

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO
INSTITUTO DE CIÊNCIAS EXATAS E DA TERRA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM FÍSICA E MEIO AMBIENTE

**MAPEAMENTO DA PLUMA DE CONTAMINAÇÃO
EM DEPÓSITOS DE RESÍDUOS DA INDÚSTRIA DE
COURO, ATRAVÉS DE MÉTODOS GEOFÍSICOS-
DOIS CASOS EM MATO GROSSO.**

LUIZ FERNANDO JORGE DA CUNHA

Prof. Dr. SHOZO SHIRAIWA
Orientador

Cuiabá, MT, Março de 2005

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO
INSTITUTO DE CIÊNCIAS EXATAS E DA TERRA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM FÍSICA E MEIO AMBIENTE

**MAPEAMENTO DA PLUMA DE CONTAMINAÇÃO
EM DEPÓSITOS DE RESÍDUOS DA INDÚSTRIA DE
COURO, ATRAVÉS DE MÉTODOS GEOFÍSICOS-
DOIS CASOS EM MATO GROSSO.**

LUIZ FERNANDO JORGE DA CUNHA

*Dissertação apresentada ao Programa
de Pós-Graduação em Física e Meio
Ambiente da Universidade Federal
de Mato Grosso, como parte dos
requisitos para obtenção do título
de Mestre em Física e Meio Ambiente*

SHOZO SHIRAIWA
Orientador

Cuiabá, MT, Mar 2005

FICHA CATALOGRÁFICA

C972m Cunha, Luiz Fernando Jorge da
Mapeamento da pluma de contaminação em depósitos de resíduos da indústria de couro, através de métodos geofísicos – dois casos em Mato Grosso / Luiz Fernando Jorge da Cunha.- 2005.
viii, 118p. : il. ; color.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Mato Grosso, Instituto de Ciências Exatas e da Terra, 2005.

“Orientação Prof. Dr. Shozo Shiraiwa”

CDU – 550.837.6:556.388(817.2)

Índice para Catálogo Sistemático

1. Água subterrânea – Contaminação – Cuiabá (MT)
2. Água subterrânea – Contaminação – Cromo
3. Água subterrânea – Contaminação – Métodos geofísicos
4. Método eletromagnético indutivo – Água subterrânea
5. Água subterrânea – Eletrorresistividade- Método geofísico
6. Curtume

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO
INSTITUTO DE CIÊNCIAS EXATAS E DA TERRA
Programa de Pós-Graduação em Física e Meio Ambiente

FOLHA DE APROVAÇÃO

**TÍTULO: MAPEAMENTO DA PLUMA DE
CONTAMINAÇÃO EM DEPÓSITOS DE RESÍDUOS DA
INDÚSTRIA DE COURO, ATRAVÉS DE MÉTODOS
GEOFÍSICOS- DOIS CASOS EM MATO GROSSO**

AUTOR: LUIZ FERNANDO JORGE DA CUNHA

Dissertação defendida e aprovada em 04 de Março de 2005, pela comissão julgadora:

Prof. Dr. Shozo Shiraiwa

Instituto de Ciências Exatas e da Terra/UFMT
Orientador

Profa. Dra. Luciana Sanches

Programa de Absorção Temporária de Doutores/ Capes
Examinadora Interna

Prof. Dr. Vagner Roberto Elis

Universidade de São Paulo
Examinador Externo

DEDICATÓRIA

Aos meus Pais Luiz Jorge (In memoriam) e Ecila que souberam me alicerçar na busca do conhecimento, a minha esposa Márcia e aos meus filhos Vinicius e Luiz Felipe que souberam compreender o esforço e dar o apoio e o incentivo necessários.

AGRADECIMENTOS

- Ao Prof. Dr. Shozo Shiraiwa orientador deste trabalho que não mediu esforços e esteve sempre a disposição para tirar dúvidas e propor melhorias no andamento dos trabalhos, sempre com presteza no atendimento
- Ao Curso de Pós Graduação do Instituto de Ciências Exatas e Tecnológicas (ICET) Tecnológicas (ICET), da UFMT, representado pelo prof. Dr. José de Souza Nogueira (Paraná) pela oportunidade de ter trabalhado nesta pesquisa e pela atenção e simplicidade no atendimento aos pós-graduandos.
- Ao Prof. Dr. Renato Blat Migliorini Coordenador do Projeto de Pesquisa apoiado pela FAPEMAT, pelo acompanhamento e pelas inestimáveis contribuições na área de geologia.
- Aos Professores Dr. Shozo Shiraiwa, Dr. Renato Blat Migliorini, Dr. Vagner Roberto Elis, Dra. Luciana Sanches pelas inestimáveis observações e sugestões pertinentes na ocasião do exame de qualificação.
- A FAPEMAT- Fundação de Amparo a Pesquisa do Estado de Mato Grosso pelo apoio financeiro a realização da pesquisa “Estudo da disposição final de resíduos sólidos de curtume como fonte de contaminação em águas subterrâneas. Inovação tecnológica auxilia na preservação do meio Ambiente
- Aos amigos e colegas do Mestrado, Prof. Mario José Pereira, Fernanda Marciellis Santos e Renata Aguiar com quem tivemos a oportunidade de conviver mais intensamente pelas valorosas discussões e auxílios nos nossos trabalhos de grupo.
- Aos graduandos do Curso de Geologia da UFMT, Sérgio Fachin Júnior e, Félix Huber, e ao técnico Alexandrino Leite que estiveram juntos nas nossas jornadas de campo sempre nos apoiando com presteza e dedicação e colaborando com suporte imprescindível nas questões específicas da geologia.
- As empresas Curtume Viposa S.A e Durlicouros pelo total apoio aos nossos trabalhos sempre liberando o nosso acesso aos locais necessários para pesquisa e fornecendo o apoio nas valiosas informações sobre o tratamento de resíduos líquidos e sólidos e a constituição do aterro em análise.
- A empresa Tannery do Brasil, que de forma muito prestativa possibilitou várias visitas nossa ao seu parque industrial, inclusive possibilitando que trabalhássemos experimentalmente com alunos da graduação dentro das suas instalações.

- A UFMT que de forma muito nostálgica me acolheu depois de exatos 20 anos do término da minha graduação nos seus corredores, me fazendo lembrar um pouco da minha juventude que agora mais do que nunca esta impregnada dessa fonte da sabedoria.
- A minha família, que sempre soube valorizar o meu esforço e dedicação e compreender as minhas ausências com apoio e incentivo fundamentais no decorrer desta caminhada.

Para o crente, Deus está no começo;
para o físico, Deus está no ponto de
chegada de toda a sua reflexão.

(Max Plank).

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	i
LISTA DE TABELAS	iv
LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS	v
LISTA DE SIMBOLOS	vi
RESUMO	viii
ABSTRACT	Viii
1. INTRODUÇÃO	1
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	4
2.1. O Problema Ambiental	4
2.2. A Água Subterrânea	6
2.3. A Qualidade da Água	8
2.4. A Legislação	11
2.4.1. Legislação Federal	13
2.4.2. Legislação Estadual	18
2.4.3. Normas Brasileiras	19
2.5. A Geologia	20
2.5.1. Geologia Regional	20
2.5.2. Geologia Local	20
2.6. O Processo Industrial do Couro	22
2.7. Os Resíduos do Curtume	31
2.8. A Área de Disposição dos Resíduos	34
2.9. O Sistema de Tratamento	38
2.10. O Processo de Contaminação	41
2.10.1. Processos Físicos	42
2.10.2. Processos Químicos	43
2.11. O Mapeamento com Geofísica	47

3. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	51
3.1. Localização	51
3.1.1. Localização da área da Pesquisa	51
3.2. Caracterização Físio-Climática e Vegetação	54
3.2.1. Fisiografia	54
3.2.2. Clima	55
3.2.3. Vegetação	55
4. MATERIAL E MÉTODOS	56
4.1. Levantamento Altimétrico	56
4.2. Teoria Eletromagnética	57
4.2.1. Princípios Básicos	57
4.2.2. Relação entre a densidade de corrente elétrica (J) e o campo elétrico (E)- Lei de Ohm	60
4.2.3. Relação entre a densidade de fluxo magnético (B) e o campo magnético (H)	61
4.2.4. Relação entre a densidade de fluxo elétrico (D) e o campo elétrico (E)	62
4.3. Métodos Eletromagnéticos em Geofísica	64
4.3.1. Método TDEM (Eletromagnético Domínio do Tempo).....	67
4.3.2. Método FDEM (Eletromagnético Domínio da Freqüência).	69
4.3.2.1. Condutividade Aparente e Profundidade de Penetração	75
4.3.2.2. Equipamentos	77
4.3.2.3. Aquisição de dados	78
4.3.2.4. Apresentação dos dados e interpretação	81
4.3.3. Método da Eletrorresistividade	81
4.3.3.1. Equipamentos	84
4.3.3.2. Técnicas de Aquisição de dados	85
4.3.3.3. Apresentação dos dados e interpretação	89
4.4. Plotagem dos dados	89

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES	94
5.1. Área localizada em Várzea Grande	94
5.2. Área localizada em Cuiabá	104
6. CONCLUSÕES FINAIS	110
6.1- Área localizada em Várzea Grande.....	110
6.2- Área Localizada em Cuiabá.....	112
6.3- Recomendações.....	113
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	114

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	Início do processo de descarga das peles na industria de curtume.....	23
Figura 2	Processo de depilação e caleiro dentro dos “Fulões”	24
Figura 3	Operação de Descarne.....	24
Figura 4	Operação de recorte da pele.....	25
Figura 5	Processo de divisão da pele em duas camadas.....	25
Figura 6	Retirada do resíduo líquido em excesso das peles.....	27
Figura 7	Classificação das peles.....	27
Figura 8	Tanque de decantação.....	28
Figura 9	Tanque de deposição de resíduos orgânicos.....	28
Figura 10	Tratamento de resíduos dos caleiros.....	29
Figura 11	Decantação dos resíduos que contém cromo.....	29
Figura 12	Lodo de cromo final.....	30
Figura 13	Liberação final dos líquidos resultantes do processo de tratamento.....	30
Figura 14	Modelo em corte transversal de célula tipo para resíduos perigosos.....	36
Figura 15	Modelo em planta de célula tipo para disposição de resíduos industriais perigosos.....	37
Figura 16	Execução de impermeabilização em uma célula tipo para disposição de resíduos industriais perigosos.....	37
Figura 17	Localização Regional.....	51
Figura 18	Mapa Hidrográfico mostrando a localização da área de estudo situado no município de Várzea Grande.....	52
Figura 19	Mapa hidrográfico da área de estudo localizada no município de Cuiabá.....	53
Figura 20	Mapa Hidrográfico mostrando a distância de separação das duas áreas de estudo localizadas em Cuiabá e Várzea Grande.....	54
Figura 21	Nível da Marca LEICA em que foi realizado o trabalho de altimetria.....	56
Figura 22	Esquema mostrando a propagação de um campo eletromagnético.....	58
Figura 23	Esquema mostrando a propagação do campo elétrico	58

Figura 24	Os vetores de campo elétrico e magnético (E e B) são perpendiculares entre si e paralelos aos eixos de coordenadas.....	59
Figura 25	Ampliação de um modelo de campo elétrico em uma bobina.....	60
Figura 26	Diminuição do campo magnético em um semi-espaço.....	68
Figura 27	Profundidade de penetração, tangente de perda e efetivo comprimento de onda versus frequência.....	71
Figura 28	Modelo mostrando o funcionamento do equipamento EM-34 através dos campos magnético primário e secundário. (Fonte Borges, 2002).....	72
Figura 29	Orientação das Bobinas.....	73
Figura 30	Posicionamento do Campo Elétrico perpendicular a Bobina.....	73
Figura 31	Fases do campo eletromagnético.....	74
Figura 32	Equipamento EM-34 – Geonics Ltda.....	78
Figura 33	Trabalhos de campo em que se observa o emprego do método eletromagnético indutivo.....	79
Figura 34	Configurações de espaçamentos das bobinas com respectivas profundidades teóricas de investigação (Borges, 2002).....	80
Figura 35	Equipamento de Eletrorresistividade Syscal R-2.....	85
Figura 36	Arranjo Eletródico Schlumberger (Adaptada de Elis,1998).....	86
Figura 37	Arranjo Dipolo-dipolo utilizado em Sondagem Elétrica Vertical.....	87
Figura 38	Arranjo Dipolo-Dipolo utilizado em Caminhamento Elétrico.....	87
Figura 39	Esquema de configurações eletródicas de sondagens dipolares. a)SDD axial; b) SDD equatorial; c)SDD azimutal (adaptado de Borges,2002).....	88
Figura 40	Forma de plotagem dos dados para construção da seção de resistividade aparente (N= níveis de investigação).....	89
Figura 41	Semivariograma.....	93
Figura 42	Curvas de Nível da área Localizada na cidade de Várzea Grande.....	94
Figura 43	Mapa de localização das linhas de aquisição de dados da área situada na cidade de Várzea Grande.....	95
Figura 44	Planta da área de resíduos do curtume de Várzea Grande com visualização das linhas de investigação realizadas no presente trabalho e dos poços de monitoramento analisados por LANNES em 2002.....	96

Figura 45	Seções de condutividade aparente das linhas 0,4, 5 e 6 sentido NE-SW da área de disposição de resíduos localizada na cidade de Várzea Grande.....	97
Figura 46	Seções de Condutividade aparente das linhas de investigação 1, 2 e 3 da área de resíduos do curtume da cidade de Várzea Grande.....	98
Figura 47	Seção de resistividade aparente resultante do caminhamento elétrico realizado sobre a linha de investigação N° 1 sentido SE-NW na área de rejeitos de Várzea Grande.....	100
Figura 48	Mapa de condutividade aparente da área de resíduos sólidos do curtume da cidade de Várzea Grande nas profundidades teóricas de 7,5m, 15m, 30m e 60 m.....	102
Figura 49	Vizualização espacial das linhas de isocondutividade aparente aos níveis teóricos de 7,5m, 15m, 30m e 60 m da área de rejeitos localizada na cidade de Várzea Grande.....	103
Figura 50	Vista em perspectiva das curvas de nível da área localizada na cidade de Cuiabá.....	104
Figura 51	Visualização em planta da área de deposição de resíduos sólidos do curtume localizado na cidade de Cuiabá.....	105
Figura 52	Seções de condutividade aparente das linhas de Investigação de N°s 1,2,3,e 4 sentido NW-SE da área de deposição de resíduos do curtume localizado na cidade de Cuiabá.....	107
Figura 53	Seções de condutividade aparente no sentido SW-NE das linhas de investigação de N° 5 e 6 da área de resíduos do curtume localizado na cidade de Cuiabá.....	108
Figura 54	Visualização espacial das isolinhas de condutividade aparente da área de resíduos do curtume localizado na cidade de Cuiabá nas profundidades teóricas de 7,5m, 15m, 30m e 60m.....	109

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	Padrões de Potabilidade da Água estabelecidos pelo Ministério da Saúde em 2004 Constituintes inorgânicos.....	10
Tabela 2	Estratigrafia do Grupo Cuiabá, na área do Projeto Coxipó (Luz et al,1980).....	21
Tabela 3	Características dos banhos descartados no processo de curtimento mineral(ao cromo) (CETESB 1989).....	32
Tabela 4	Resultados das Análises das concentrações de cromo nos poços PM1, PM2,PM3, PM4- Ano de Estudo de 1999. (Adaptado de LANNES, 2002).....	101

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABAS	Associação Brasileira de Águas Subterrâneas
ARIP	Aterro de resíduos industriais perigosos
ANA	Agência Nacional de Águas
CEE	Comunidade Econômica Européia
CEEIBH	Comitê Especial de Estudos Integrados de Bacias Hidrográficas
CNAE	Conselho Nacional de Águas e Energia Elétrica
COFEHIDRO	Conselho de Orientação do Fundo Estadual de Recursos Hídricos
CONAMA	Conselho Nacional de Meio Ambiente
DNAEE	Departamento Nacional de Águas e Energia Elétrica
DNPM	Departamento Nacional de Produção Mineral
DBO	Demanda Bioquímica de Oxigênio
DQO	Demanda Química de Oxigênio
ETE	Estação de Tratamento de Efluentes
MINTER	Ministério do Interior
NBR	Norma Brasileira
OD	Oxigênio Dissolvido
ONU	Organização das Nações Unidas
SS	Sólidos Suspensos
STD	Sólidos Totais Dissolvidos
RBRH	Revista Brasileira de Recursos Hídricos

LISTA DE UNIDADES E SIMBOLOS

m	metro
mm	milímetro
m ³	metro cúbico
mS	miliSiemens
mg/l	miligrama por litro
ρ	resistividade elétrica (Ω m)
kg	quilograma
σ	condutividade elétrica (mS/m)
mS	milisiemens (10^{-3} Siemens, unidade de σ)
ϵ	permissividade dielétrica
∇	operador nabla
μ	permeabilidade magnética
E	campo elétrico (V/m)
B	densidade de fluxo magnético (Wb/m ²)
D	densidade de fluxo elétrico (C/m ²)
H	campo magnético (A/m)
J	densidade de corrente elétrica (A/m ²)

RESUMO

CUNHA, L. F. J. **Mapeamento da Pluma de Contaminação proveniente de dois depósitos de resíduos do couro em Mato Grosso, através de Métodos Geofísicos.** Cuiabá, 2005. 135p. Dissertação (Mestrado)- Universidade Federal de Mato Grosso.

Neste trabalho procedeu-se a investigação de dois depósitos de resíduos da indústria do couro localizados nos municípios de Cuiabá e Várzea Grande MT, verificando a sua interação com o ambiente. Através dos métodos geofísicos, Eletromagnético Indutivo (EM-34) e Caminhamento Elétrico com técnicas não invasivas de investigação foi feito o mapeamento de duas áreas destinadas ao recebimento dos rejeitos do curtume. Na área de Várzea Grande, já interdita pela FEMA devido a técnicas inadequadas de deposição dos resíduos, a investigação procurou mapear a pluma de contaminação do lençol freático através das medidas de condutividade elétrica do solo/subsolo. Os resultados da investigação do método Eletromagnético Indutivo, mostraram uma elevada condutividade em algumas regiões da área localizada no município de Várzea Grande. Na área localizada no município de Cuiabá os valores obtidos pelo mesmo método foram bem mais suaves indicando uma possível ausência de contaminação pela adequação do acondicionamento do resíduo ou pelo pouco tempo de estocagem do mesmo no local. A associação de tais indicadores de condutividade com a contaminação só foi possível graças ao trabalho anterior desenvolvido na área através da análise química da água. Confirma-se neste trabalho que técnicas inadequadas de construção e armazenamento da área localizada na cidade de Várzea Grande estão contribuindo para a proliferação do chorume destes materiais lentamente para a água subterrânea o que é extremamente preocupante pelo tipo de material presente nestes resíduos como é o caso dos metais pesados.

Palavras-chave: Contaminação da Água Subterrânea, Cromo, Curtume, Eletromagnético Indutivo.

ABSTRACT

CUNHA, L. F. J. **Mappging of the Feather of Contamination from two deposits of leather residues in Mato Grosso, by Geophysical Methods.** Cuiabá,2005. 135p. Dissertation (Master) - Federal University of Mato Grosso.

At this composition it was performed the investigation on two deposits of residue from the leather, industry located in the cities of Cuiabá and Várzea Grande-MT, being verified their interaction with the environment. Through the Geophysical Methods, Inductive Eletromagnetic (EM-34) and Electrical Ways with non-invasive techniques of investigation, it was performed the outline of two areas intended for the leather industry's scraps. At the area of Várzea Grande, wich has been already closed up by the "FEMA- (State's foundation of Environment), due to inadequate techniques of deposition of residue, the investigation aimed to outline the water table through the measures of electrical conductivity of the soil/subsoil. The results of investigation of the Inductive Eletromagnetic Method have shown a high conductivity in some parts of the area located in the city of Várzea Grande. At the area of the city of Cuiabá, the values obtained through the same method were even softer, indicating a possible absence of contamination by the adequation of the conditioning of residue, or by the short time of storage of the residue itself at the local. The association of such indicators of conductivity with contamination was only possible due to the last job, wich was performed at the area, through the chemical analysis of water. It is confirmed at this composition that the inadequate techniques of construction and storage of the area located it the city of Várzea Grande are contributing for the proliferation of the chrome of these materials slowly to the groundwater, what is extremely worrying due to the kind of material present in these residues, like the heavy metals, as well.

Key Words: Contamination of Groundwater, Chrome, Leather Industry, Inductive Eletromagnetic.

1. INTRODUÇÃO

O início do novo século (e milênio) está sendo marcado internacionalmente pela busca de uma maior eficiência no uso dos recursos hídricos, em respeito aos princípios básicos aprovados na Rio 92. O uso sustentável da água é uma questão que tem suscitado grande preocupação aos planejadores, sendo considerada como uma das bases de desenvolvimento da sociedade moderna. Até a década de setenta, a preocupação com os recursos hídricos era incipiente, a escassez ocorria, principalmente por motivos climáticos e não por aumento da densidade demográfica. A partir da década de 70, principalmente após conferências como a de Estocolmo em 1972 e Rio 1992, que a preocupação e a conscientização mundial sobre a necessidade de conduzir o desenvolvimento das nações, no sentido de preservar o meio ambiente, tem aumentado consideravelmente.

Segundo o IBGE (2004), o Estado de Mato Grosso conta com uma economia baseada na agroindústria com o maior rebanho bovino do País, apresentando um dos maiores índices de crescimento, batendo recordes sucessivos na produção de soja e algodão. Com farta matéria prima no caso do couro com um rebanho bovino estimado em mais de 24 milhões de cabeças, proliferam em todo o estado indústrias de tratamento do couro muitas vezes carentes de uma melhor técnica no tratamento deste couro e na preocupação com o meio ambiente. Segundo o INDEA-MT (2003) o Estado de Mato Grosso conta com excelente estrutura de pastagem (14 milhões de ha), em função das condições naturais favoráveis a criação de bovinos (pantanal, mata e cerrado), qualidade e riqueza mineral do solo de algumas regiões e abundância de chuvas (1.800 a 2.500 mm por ano).

A participação de empresas de beneficiamento, industrialização e comercialização tanto de carne como do couro e do leite vêm sendo incentivadas pelo governo local na esperança de que esta política contribua com um aumento na geração de emprego e renda na região. De acordo com o governo de Mato Grosso, o PIB estadual mais do que dobrou nos últimos 10 anos, puxado principalmente pelo setor primário. O modelo de desenvolvimento do Estado seguindo o modelo nacional

onde as exportações são o carro chefe com um crescimento nos últimos 10 anos no estado de mais de 230%, concentrou a economia do estado basicamente no ciclo da soja e do algodão.

Com uma imensidão de terras disponíveis a um custo relativamente baixo, ocorreu uma corrida de populações de outros estados para o Estado de Mato Grosso, onde a boa qualidade da terra para a agricultura em algumas regiões e em outras a pequena necessidade de investimentos para o desenvolvimento da pecuária em relação a agricultura, propiciou que se estabelecesse neste Estado o chamado agronegócio. Este tipo de economia em franco desenvolvimento servindo-se do grande rebanho bovino do estado contribuiu para a instalação de frigoríficos e curtumes para aproveitamento dos insumos do boi.

Com uma biodiversidade riquíssima, fazendo parte do complexo do pantanal, hoje o Estado se prepara para dar sustentabilidade ambiental aos seus projetos com uma adequação tecnológica para competição nos mercados interno e externo. Desenvolver de forma sustentada os recursos naturais, principalmente os seus três ecossistemas (Pantanal-Turismo), (Cerrado-Agropecuária) e (Amazônia-Turismo e Extrativismo) pode vir a ser a única alternativa econômica e social viável para o estado.

Atualmente existe uma tendência mundial das populações concentrarem-se cada vez mais em áreas urbanas. Essa concentração populacional e o conseqüente aumento da produção de resíduos domésticos e industriais, vêm gerando muitos problemas relacionados a forma de disposição desses resíduos e conseqüentemente em relação a contaminação de solos e águas subterrâneas. A natureza dos métodos geofísicos, aliados ao baixo custo operacional e rapidez e facilidade de aplicação dos ensaios, torna-os particularmente adequados para aplicação no estudo de tais problemas como pode ser visto em (ELIS, 1998). Um dos maiores problemas ambientais são os rejeitos decorrentes do desenvolvimento tecnológico. Efluentes industriais são, neste contexto, um problema particular, pois a natureza não os absorve facilmente. A poluição e por conseqüência a contaminação por metais pesados de ecossistemas aquáticos ou terrestres ocorre de maneira lenta e, por este motivo pode ser avaliado de maneira errada, ao passo que vão se acumulando nos organismos e seus efeitos muitas vezes só serão sentidos quando os prejuízos forem

irreversíveis. Para que ocorra o desenvolvimento sustentável dessa região torna-se necessário que paralelamente aos projetos de instalações de complexo industriais seja realizado um monitoramento da poluição causada pela operacionalização destas plantas industriais, mais especificamente no caso dos resíduos advindos do tratamento do couro com a possibilidade da poluição do subsolo e da água subterrânea. Ressalte-se ainda que alguns destes curtumes estão localizados em bacias hidrográficas importantes, podendo estar indiretamente comprometendo a qualidade da água disponível para o abastecimento a população.

“A política ambiental no País começou em 1934 com a adoção do Código de Águas, Código Florestal e do Código de Mineração, a criação em 1937, do Parque Nacional de Itatiaia e da legislação de proteção do patrimônio histórico e artístico nacional” (CLASS, 1994). O meio ambiente é citado na Constituição da República Federativa do Brasil no Título VIII da Ordem Social inserido através do Capítulo VI do Meio Ambiente: Art. 225- “Todos têm direito ao meio ambiente ecologicamente equilibrado, bem de uso comum do povo e essencial à sadia qualidade de vida, impondo-se ao Poder Público e à coletividade o dever de defendê-lo e conservá-lo para as gerações presentes e futuras”.

Os resíduos sólidos resultantes do beneficiamento do couro (Classe I) constituem problema de gerenciamento nas indústrias devido a situação problemática de remoção da área industrial até se encontrar local adequado para a sua disposição final. Muitas vezes constata-se situações em que tais resíduos são lançados nos rios ou enterrados no solo de forma inadequada causando danos ao meio ambiente.

Este trabalho tem como objetivos principais, verificar a abrangência da área que esta sofrendo a ação destes depósitos de resíduos bem como determinar a direção de propagação da pluma de contaminação na água subterrânea. Dessa forma procurou-se estabelecer alguns parâmetros físicos adquiridos através de métodos geofísicos em comparação com análises químicas da água efetuadas em outros trabalhos em áreas de despejos de resíduos industriais situadas em municípios distintos com diferentes formas de acondicionamento dos resíduos.

2 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. PROBLEMA AMBIENTAL

O impacto ecológico da indústria de couros no mundo é estimada em 40 bilhões de equivalentes-habitante, se forem considerados os efluentes sem nenhum tratamento.

O Brasil é um dos cinco maiores produtores de peles bovinas do mundo com a posição de liderança entre os países da América Latina, com 4,5 % da produção mundial, contudo não consegue ter a mesma performance quando diz respeito à produção de couros acabados.

“A falta de maior rapidez e empenho político das recentes administrações no Brasil, na busca de um uso mais racional das suas águas propiciou um uso descontrolado e sem parâmetros pelo país. Como exemplo pode-se citar Israel sendo um dos países mais pobres de água com uma pluviometria média em torno de 200 mm/ano, conseguindo alta produtividade agrícola com uma taxa de irrigação da ordem de 6.000 m³/ha/ano. Essa taxa situa-se entre 12.000 e 20.000 m³/ha/ano em outras regiões do mundo, relativamente mais favorecidas em termos de disponibilidade de água e clima”, (REBOUÇAS, 2002).

“Os parâmetros de poluição da indústria de couros acabados tipo vaqueta, por tonelada de peles processadas são: 75 a 90 kg de Demanda Bioquímica de Oxigênio; 200 a 260 kg de Demanda Química de Oxigênio; 140 kg de Sólidos em Suspensão; 12,6 kg de Nitrogênio Total; 9,0 kg de Sulfetos; 5,0 kg de Cromo total e 55 m³ de águas residuárias”,(KOETZ et al,1995).

Segundo Chernicharo (2000), nos efluentes de curtume, obtém-se por tonelada de pele cru cerca de 100 kg de resíduos sólidos contendo cerca de 4 kg de cromo. “Entre a grande variedade de substâncias que entram no solo, nas águas continentais e nos oceanos, como produtos de rejeito (por descuido ou de maneira proposital), os metais pesados criam problemas a longo prazo. Isso ocorre não somente porque se acumulam nos organismos e, dessa forma, percorrem as cadeias

tróficas, mas também por esses metais permanecerem nos ecossistemas em concentrações perigosas por um longo período no sedimento” (LARCHER, 2000).

“A absorção de elementos metálicos pelas células, particularmente pelas raízes, é facilitada por mecanismos próprios de transporte e acumulação, pois vários metais pesados são realmente necessários as plantas como micronutrientes. No entanto, a planta não pode evitar a entrada de elementos tóxicos pelos mesmos mecanismos. Os metais pesados exercem um efeito tóxico devido, principalmente, a sua interferência no transporte eletrônico da respiração e da fotossíntese e na inativação de enzimas vitais” (LARCHER, 2000).

“O cromo é um elemento traço essencial (mas também tóxico) para o ser humano. Este elemento químico se encontra naturalmente no solo, na poeira e gases de vulcões. No meio ambiente são três os números de oxidação do metal: cromo(0), cromo (III) e cromo (VI). Cromo (III) tem ocorrência natural no meio ambiente, enquanto cromo(VI) e cromo (0) são geralmente produzidos por processos industriais. Cromo (III) faz parte do centro de biomoléculas que se encontram em pequeníssimas quantidades em nosso organismo. Sua principal função está relacionada ao metabolismo da glicose, do colesterol e de ácidos graxos. Nosso cérebro se nutre de glicose, e sem este alimento, nossa mente sofre sérios distúrbios. Se nosso corpo não pode metabolizar glicose, nosso fígado não pode produzir glicogênio, que é a energia de nossos músculos” (GIANNETTI et al, 2000).

O processo de curtimento de peles no Estado de Mato Grosso, possui grande importância econômica, contudo a atual disposição dos resíduos no solo constitui uma prática de alto risco, devido ao acúmulo e concentração de uma grande quantidade de poluição orgânica e inorgânica, tendo o cromo como o elemento potencialmente mais tóxico.

2.2. ÁGUA SUBTERRÂNEA

Um aquífero é definido como uma formação que contenha água subterrânea e seja suficientemente permeável para transmitir água em quantidade utilizável. Existem dois tipos principais de aquíferos: confinados e não confinados. Aquíferos não confinados, também conhecidos como aquíferos livres, são reservatórios de água subterrânea que estão sob o efeito da pressão atmosférica. A fonte principal de água subterrânea em aquíferos não confinados é a precipitação pluviométrica que infiltrou no solo acima do aquífero, diretamente quando cai sobre o solo ou indiretamente através do escoamento a partir de corpos de água superficiais.

Um aquífero confinado é uma camada de material que contém água confinada entre outras camadas de um material muito menos permeável como, por exemplo, uma camada de areia entre duas camadas de argila.

A fonte de água de um aquífero confinado é, principalmente, a precipitação que eventualmente move-se através das camadas confinantes ou que se infiltra no material nas suas zonas de recarga.

As áreas de recarga de aquíferos confinados e os aquíferos livres são os mais suscetíveis a contaminação a partir de locais de disposição, pois estão desprovidas do isolamento por camadas de menor condutividades hidráulicas.

Do total da reserva de água existente, quase 80% consiste em água subterrânea, parte da qual não esta disponível ou não é utilizável por encontrar-se a grandes profundidades ou apresentar elevado teor salino. Praticamente todos os países do mundo, desenvolvidos ou não, utilizam a água subterrânea para suprir suas necessidades, seja no atendimento total ou apenas suplementar do abastecimento público e de atividades como irrigação, produção de energia, turismo e indústria.

“Quase toda a água subterrânea existente na terra tem origem no ciclo hidrológico, isto é, no sistema pelo qual a natureza faz a água circular do oceano para a atmosfera e daí para os continentes, de onde retorna, superficial e subterraneamente, ao oceano” ,(FEITOSA, 2000).

De acordo com REBOUÇAS (2002), em regra geral a água subterrânea não necessita ser tratada para ser consumida, como acontece com as águas dos rios, tendo em vista ser naturalmente filtrada e purificada, muito além do que poderia obter por

meio do processo usual de tratamento. Como resultado, a utilização do manancial subterrâneo é relativamente muito mais barata, sobretudo quando 90% dos esgotos e 70% dos efluentes industriais são lançados sem tratamento nos rios.

Segundo LEAL (2000), no Brasil as águas subterrâneas ocupam diferentes tipos de reservatórios, desde as zonas fraturadas do embasamento cristalino até os depósitos sedimentares cenozóicos. Dessa diversificação, resultaram sistemas aquíferos que, pelo seu comportamento, podem ser reunidos em: a) sistemas porosos (rochas sedimentares); b) sistemas fissurados (rochas cristalinas e cristalofilianas); c) sistemas cársticos (rochas carbonáticas com fraturas e outras discontinuidades submetidas a processos de dissolução cárstica).

A exploração da água subterrânea esta condicionada a três fatores:

a) quantidade: intimamente ligada à condutividade hidráulica e ao coeficiente de armazenamento dos terrenos;

b) qualidade: influenciada pela composição das rochas e condições climáticas e de renovação das águas;

c) econômico: que depende da profundidade do aquífero e das condições de bombeamento.

As águas de superfície (dos lagos, represas e rios) e as águas subterrâneas (dos aquíferos) não são necessariamente recursos independentes. “Em muitos casos podem existir ligações entre corpos de água superficial e aquíferos” (FEITOSA, 2000). Embora parecendo óbvio que o planejamento e gestão dos recursos hídricos deva ser feito envolvendo o conjunto da água de superfície com a água subterrânea, ainda existe um certo preconceito na abordagem da questão dessa forma.

De acordo com LEAL (2000), a província hidrogeológica do Centro-Oeste é representada em superfície, principalmente por sedimentos do Cenozóico, constituídos por aluviões e coberturas detrito-lateríticas.

A despeito de sua grande área de ocorrência (30% de Mato Grosso do Sul, 55% de Mato Grosso e 6% de Goiás), o potencial hidrogeológico pode ser considerado pequeno devido a predominância de uma permeabilidade baixa. Ainda segundo LEAL, merece destaque a subprovíncia dos Parecis, que ocorre no Centro-Oeste de Mato Grosso, na Chapada dos Parecis, compreendendo uma extensa ocorrência de sedimentos clásticos, consolidados ou não de média permeabilidade.

Para as águas subterrâneas as piores condições podem ocorrer no nível anual mais elevado (quando o lençol freático sobe e atinge uma região superficial contaminada, dissolvendo substâncias perigosas), ou quando o bombeamento remove águas superficiais, permitindo o surgimento de águas profundas poluídas com contaminantes densos.

O conhecimento do regime hidrológico/hidrogeológico é fundamental para a investigação do meio hídrico. Informações sobre a variação do freático no ano, direção e intensidade do fluxo da água são importantes não apenas na investigação como também na avaliação de risco e remediação.

2.3- QUALIDADE DA ÁGUA

Ao escoar pela superfície do solo, a água faz uma espécie de lavagem, carregando substâncias orgânicas, terra, fezes, microorganismos e outros materiais que encontram no caminho. Já a água que percola na terra vai sendo filtrada pelas diversas camadas do solo. Por isso, em princípio, as águas subterrâneas são consideradas de melhor qualidade para o consumo. Contudo, como foi dito anteriormente, elas podem sofrer contaminação ou conter uma concentração excessiva de substâncias minerais. Como a qualidade da água é muito variável, ela deve ser avaliada por meio de análises físico-químicas e bacteriológicas, que irão determinar seu índice de qualidade e potabilidade.

A poluição de corpos d'água associada aos processos de urbanização é bastante conhecida e, de maneira geral, as formas que mais despertam a atenção, e portanto são alvo de uma maior vigilância, são as decorrentes de lançamentos de esgotos domésticos não tratados e efluentes industriais. Mais recentemente, no entanto, vem crescendo a preocupação com relação às formas de poluição associadas ao escoamento superficial em áreas impermeáveis, áreas em fase de consolidação, depósitos de lixo ou de resíduos industriais, entre outros.

A poluição gerada pelo escoamento superficial é dita de origem difusa, uma vez que provém de atividades que depositam poluentes de forma esparsa sobre a área de contribuição da bacia hidrográfica. As principais características do que se entende por poluição difusa são que o lançamento é intermitente, relacionado à precipitação e

os poluentes provém de extensas áreas, sendo praticamente impossível localizar as origens exatas do mesmo. Por estas características, o controle da poluição deve incluir ações sobre as áreas geradoras. Devido também à grande variabilidade da carga poluidora, torna-se difícil o estabelecimento de padrões de qualidade.

A classificação mundial das águas, feita com base nas suas características naturais, designa como *água doce* aquela que apresenta teor de Sólidos Totais Dissolvidos (STD) inferior a 1.000 mg/l. As águas com STD entre 1.000 e 10.000 mg/l são classificadas como *salobras* e aquelas com mais de 10.000 mg/l são consideradas salgadas. Vale ressaltar que a legislação ambiental vigente-resolução CONAMA (Conselho Nacional do Meio Ambiente) nº 20/86- classifica as águas do território brasileiro, de acordo com a sua salinidade, em *água doce* (salinidade inferior ou igual a 0,5%), *salobra* (salinidade entre 0,5 % e 30%) e *salina* (salinidade superior a 30%) (REBOUÇAS et al, 2002).

“A informação disponível, entretanto, nos permite afirmar que o problema da qualidade da água é mais sério do que se pensava anteriormente, em virtude da poluição causada pelos metais pesados, nitratos e micropoluentes orgânicos”, (REBOUÇAS, 1995).

“O problema é mais grave nos países em desenvolvimento, pela falta de sistemas adequados de monitoramento e controle, e atinge muitos rios e lagos próximos a grandes centros urbanos, regiões costeiras e também os aquíferos subterrâneos. Isto significa que se no futuro, padrões de qualidade mais rígidos não forem adotados, algumas fontes de água, em uso hoje, não poderão mais ser utilizadas” (REBOUÇAS, 2002).

Segundo SANTOS (2002), a qualidade dos corpos hídricos pode ser avaliada em função de indicadores físicos, químicos e biológicos ou ecotoxicológicos:

- a) Indicadores Físicos mensuram as características organolépticas da água: cor, odor, turbidez, temperatura
- b) Indicadores químicos: DBO (Demanda Bioquímica de Oxigênio), DQO (Demanda Química de Oxigênio), OD (Oxigênio Dissolvido), SS (Sólidos em Suspensão), ph, coliformes e ainda medição de concentração de diversas substâncias

(metais, cloretos, fluoretos, nutrientes, óleos e graxas, pesticidas, micropoluentes orgânicos, etc.)

Em relação a potabilidade da água quanto a presença de produtos químicos que podem ser nocivos a saúde humana, no Brasil o Ministério da Saúde estabeleceu através da portaria nº518/2004 os valores máximos permitidos que não acarretam danos a saúde (Tabela 1).

Tabela 1: Padrões de potabilidade da água estabelecidos pelo Ministério da Saúde através da Portaria N° 518 de Março de 2004 para substâncias químicas que representam risco à saúde.

INORGÂNICOS

PARÂMETRO	UNIDADE	VMP
Antimônio	mg/l	0,005
Arsênio	mg/l	0,01
Bário	mg/l	0,7
Cádmio	mg/l	0,005
Cianeto	mg/l	0,07
Chumbo	mg/l	0,01
Cobre	mg/l	2
Cromo	mg/l	0,05
Mercúrio	mg/l	0,001
Nitrato (como N)	mg/l	10
Nitrito (como N)	mg/l	1
Selênio	mg/l	0,01

Fonte: Ministério da Saúde (2004).

“Níveis de Oxigênio Dissolvido (OD) abaixo de 5 mg/l causam problemas à vida animal, sendo este um dos principais indicadores de qualidade da água de um corpo hídrico” (SANTOS, 2002).

Segundo FEITOSA et al (2000), em geral a água subterrânea é muito menos vulnerável física e biologicamente do que a água superficial, contudo quando acontece a contaminação o seu tratamento torna-se muito mais difícil e onerosa podendo tornar-se irreversível devido ao lento movimento da água subterrânea, principalmente em camadas de materiais finos.

A depender da sua abundância relativa, os constituintes da qualidade das águas são denominados de maiores, menores e traços. Regra geral, um constituinte é denominado maior ou principal quando está presente na água em teores superiores a 5 mg/l. Quando os teores ficam entre 5 e 0,01 mg/l, os constituintes são chamados de menores. Quando os teores dos constituintes são inferiores a 0,01 mg/l, estes são considerados de traços ou micropoluentes. “Os metais pesados, outros metais tóxicos e os constituintes orgânicos sintéticos estão presentes nas águas em teores muito baixos que, regra geral, os enquadram como elementos menores ou traços”, (REBOUÇAS, et al, 2002).

2.4. LEGISLAÇÃO

A experiência brasileira na gestão da água inicia-se, praticamente, nos anos 30 do século passado, com a criação da Diretoria de Águas do Ministério da Agricultura, base para o Código de Águas, estabelecido pelo Decreto nº 24.643, de 10/07/1934. No entanto, a instalação de um sistema nacional de gerenciamento de recursos hídricos só tomou impulso bem depois, com a edição das portarias interministeriais dos anos de 1978 e 1979, que recomendaram a classificação e o enquadramento dos corpos de água brasileiros, e criaram o Comitê Especial de Estudos Integrados de Bacias Hidrográficas – CEEIBH (GARRIDO & CARRERA FERNANDEZ, 2002).

Se por um lado a legislação referente aos recursos hídricos alcança hoje um grau de excelência na sua generalidade, o mesmo ainda não se pode dizer quanto ao aspecto das águas subterrâneas como diz REBOUÇAS (2002): “Observe que o projeto de Lei 7.127/86, proposto pela Associação Brasileira de Águas Subterrâneas (ABAS), tramita no Congresso Nacional e não é votado porque há disputa entre as

entidades federais de água e de recursos minerais para o exercício de atribuições de supervisão da gestão das águas subterrâneas”.

“O controle da poluição de origem industrial é fixado no Brasil pela resolução CONAMA 20 de 18/06/1986, que classifica as águas doces, salobras e salinas do território nacional em nove classes fixando limites máximos de concentração (mg/l) por poluente presente no efluente. Esta resolução em alguns Estados sofre ainda uma acentuação maior quanto a restrição por parte de alguns poluentes” (SANTOS, 2002).

Segundo REBOUÇAS (2002) o novo modelo brasileiro de gerenciamento de recursos hídricos com base na lei 9.433 de 8 de janeiro de 1997 e nas leis estaduais correspondentes define o regime de outorga de direitos de uso de recursos hídricos que tem como objetivo assegurar o controle quantitativo e qualitativo dos usos da água e o efetivo exercício dos direitos de acesso à água, estando sujeitos a outorga pelo poder público os direitos dos seguintes usos de recursos hídricos:

- Derivação ou captação de parcela da água existente em um corpo de água para consumo final, inclusive abastecimento público, ou insumo de processo produtivo.
- Extração de água do aquífero subterrâneo para consumo final, ou insumo de processo produtivo
- Lançamento em corpo de água de esgotos e demais resíduos líquidos ou gasosos, tratados ou não, com o fim de sua diluição, transporte ou disposição final.
- Aproveitamento dos potenciais hidrelétricos.
- Outros usos que alterem o regime, a quantidade ou a qualidade da água existente em um corpo de água.

Apesar do impedimento constitucional para os estados legislarem sobre as águas, e com a demora da promulgação da lei 9433/97 que se arrastou de 1991 a 1997, alguns estados adiantaram-se e promulgaram as suas respectivas leis para o gerenciamento dos recursos hídricos, com a criação do conselho estadual dos recursos hídricos. Com isso criaram-se em algumas regiões do país situações que poderiam gerar conflito pela duplicidade de interpretação de legislação. “Juristas especializados em águas subterrâneas entendem que os Estados, ao legislarem sobre

o gerenciamento das águas de seu domínio, não contrariam a disposição constitucional de exclusividade da união para legislar sobre as águas, pois não estão criando direitos sobre as águas, mas somente exercem o poder e, mais que isso, o dever de zelar pela quantidade e qualidade de seus recursos hídricos” (REBOUÇAS, 2002).

“No Brasil, os estudos de águas subterrâneas sempre estiveram mais vinculados à investigação geológica que a hidrológica. A hidrogeologia tem sido tratada mais como uma ciência da terra do que da água. Isso deve-se, provavelmente, a uma política de utilização das águas voltadas quase que exclusivamente para os recursos de superfície e uma organização gerencial que separa as águas superficiais das águas subterrâneas” (LEAL, 2000).

2.4.1 Legislação Federal

A Evolução da legislação sobre recursos Hídricos No Brasil:

- 1907 – É apresentado no Congresso Nacional o código de águas.
- 1934- Decreto 24.643- 10/07/1934- Promulga o código de águas, as vésperas da promulgação da Constituição Federal ocorrida em 16 de julho de 1934 que apesar de tão antigo já fazia constar nos capítulos 111 e 112, o princípio de poluidor/pagador tão em moda nos dias de hoje.

“Tanto as normas anteriores ao código de águas de 1934, como suas disposições, seguiam modelos adotados pelos países de clima úmido e são aplicáveis basicamente, as águas de superfície para geração de energia elétrica. A parte do código relativa as águas subterrâneas e as regiões periodicamente assoladas pelas secas deixou de receber a complementação e regulamentação necessárias, por ele previstas, o que resultou no quadro caótico atual do uso das águas subterrâneas em nosso país” (REBOUÇAS, 2000).

- 1939- Criado o CNAE- Conselho Nacional de Águas e Energia Elétrica.

- 1946- Com a constituição de 1946, descentralizando o poder para os Estados e Municípios, os Estados passam a poder legislar sobre águas em caráter complementar.

- 1965- Lei 4.904 de 17/12/1965- O governo federal volta a centralizar o poder, cria o DNAE- Departamento Nacional de Águas e Energia, incorporando ao DNAE a divisão de águas do DNPM.

- 1967- Decreto lei 227 de 28/02/1967- Cria o Código de mineração que em seu art.5º Inciso IX, classifica entre as jazidas minerais as águas subterrâneas e fixa que as mesmas serão regidas por leis especiais (Artigo 10, V).

- 1967/1969- Constituições em que passa a ser privativo da união legislar sobre as águas.

- 1968- Decreto lei 63.951 de 11/12/1968 – Altera a denominação do DNAE para DNAEE- Departamento Nacional de Águas e Energia Elétrica, acentuando ainda mais a hegemonia do setor elétrico nas decisões sobre o aproveitamento da água. Como consequência dessa hegemonia a regulamentação do Código de Águas, foi feito com vistas ao aproveitamento Hidrelétrico. Com a lacuna deixada pelo governo federal no tocante ao controle da poluição da água, em 1970 os Estados passaram a legislar sobre o controle da poluição das águas, com base em objetivos de proteção da saúde, criando um artifício para contornar a exclusividade federal de legislar sobre as águas.

- 1972- Assembléia da ONU em Estocolmo, sobre o meio ambiente, desperta a sociedade brasileira para a necessidade de proteção e conservação do meio ambiente e em particular, das águas.

- 1978- Criação do (CEEIBH) – Comitê Especial de Estudos Integrados de Bacias Hidrográficas, com o objetivo principal de classificação dos cursos de água da união e o estudo integrado.

- 1979- Lei 6662 de 25/07/1979- Estabelece a política nacional de irrigação e transfere para o (MINTER) Ministério do Interior, a responsabilidade sobre o uso dos recursos hídricos para a irrigação, até então atribuição do DNAEE. Contudo o seu alcance abrange somente as águas superficiais do domínio da união, pois esta não pode dispor a respeito de águas do domínio estadual, entre as quais estão as subterrâneas. Dessa forma a legislação das águas, passou a gerar conflitos entre as decisões do setor elétrico e de irrigação, entre quantidade e qualidade das águas, entre decisões estaduais e federais.
- 1981 - Lei 6.938 de 31/08/1981- Estabelece a Política Nacional do Meio Ambiente, tendo entre seus princípios a racionalização do uso da água junto a uma imposição ao poluidor e ao predador, da obrigação de recuperar ou indenizar os danos causados pela utilização de recursos ambientais com fins econômicos.
- 1986- Projeto de Lei- 7.127/ 1986 (Não Aprovado)- Proposto pela ABAS- Associação Brasileira de Águas Subterrâneas, ficou mais de 10 anos no Congresso Nacional, até ser arquivado. Este projeto não foi a votação pela disputa entre as entidades federais de águas e de recursos minerais sobre a gestão das águas subterrâneas.
- 1988- A Constituição Federal em seu artigo 21, inciso XIX, dispõe que a união instituirá o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos. A constituição deu aos Estados o domínio das águas subterrâneas, ampliando consideravelmente o domínio dos recursos hídricos que os levou a promulgarem normas disciplinadoras da gestão e da utilização das águas estaduais em suas constituições. “A Constituição Federal de 1988, em vigência, muito pouco modificou o texto do Código de Águas. Uma das poucas alterações feitas foi a extinção do domínio privado da água, previsto em alguns casos naquele antigo diploma legal. Todos os corpos d’água a partir de outubro de 1988, passaram a ser de domínio público”, (COSTA, 2000).

A Constituição Federal de 1988 estabelece em seu art. 26, I que “incluem-se entre os bens dos Estados as águas superficiais ou subterrâneas, efluentes,

emergentes e em depósitos, ressalvadas, neste caso , na forma da lei, as decorrentes de obras da União”.

•1992- Segundo COSTA (2000), a agenda 21, resultado da Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente e Desenvolvimento, realizada no Rio de Janeiro em junho de 1992, recomenda que o recurso hídrico seja cobrado, levando-se em conta o seu custo marginal. “Com a demora da promulgação da lei 9433, sobre o sistema Nacional de Gerenciamento dos Recursos Hídricos, em discussão desde 1991 e que se arrastou até 1997, alguns Estados adiantaram-se e promulgaram as suas leis respectivas”, (REBOUÇAS et al, 2002). Dessa forma vários Estados criaram suas leis estaduais sobre gerenciamento de Recursos Hídricos, com a implantação dos Conselhos Estaduais de Recursos Hídricos e Comitês de Bacias Hidrográficas, prevendo inclusive a cobrança pelo uso dos recursos hídricos, com fundamentos semelhantes a lei nacional 9433 que viria a ser promulgada em 1997.

O Poder Executivo Federal, regulamentando o inciso XIX do Art. 21 da Constituição Federal de 1988, elaborou o Projeto de Lei 2249 de 1991, instituindo a Política Nacional de Recursos Hídricos e criando o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, que tramitou durante mais de cinco anos no Congresso Nacional, tendo recebido dois projetos substitutivos e diversas propostas de emendas, sendo finalmente sancionado em 8 de janeiro de 1997, na forma da Lei 9.433 de 1997. O que se observa, atualmente, no que tange ao ordenamento, é um esforço nacional no sentido de se implementarem aquelas diretrizes jurídico-institucionais estabelecidas por legislação.

•1997- Lei 9433 de 08/01/1997- Institui a política Nacional de Recursos Hídricos e cria o sistema nacional de gerenciamento de recursos hídricos. Regulamenta o inciso XIX do art.21 da Constituição Federal. Esta lei dá grande ênfase a participação social na gestão e introduz, apesar de não regulamentar, o instrumento da cobrança.

“Este novo instrumento, previsto na lei 9433/97, repercute de forma significativa no setor de saneamento, pois segundo o artigo 20, serão cobrados os usos dos Recursos Hídricos sujeitos à outorga de direitos de uso. Dessa forma, também nas duas pontas do sistema - captação de água bruta e lançamento de

efluentes- o setor de saneamento será afetado pela cobrança” (REBOUÇAS et al 2002). Nos termos da legislação em vigor (Lei Federal 9433/97), serão os comitês de bacia que decidirão, quando e quanto cobrar dos usuários pelo direito de uso da água dos rios, seja para abastecimento público, industrial ou agrícola (usuário/pagador), seja para transporte e diluição de esgotos domésticos, efluentes industriais ou agrícolas (poluidor /pagador).

A Lei Federal 9433/97 estabelece ainda no Artigo 12 que “estão sujeitos à outorga pelo poder público os direitos dos seguintes usos de recursos hídricos:...II- extração de água de aquífero subterrâneo para consumo final ou insumo do processo produtivo”. Como os usos sujeitos à outorga serão cobrados (Artigo 20), as águas subterrâneas são passíveis de cobrança.

- 2000- Lei 9984 de 17/07/2000- Cria a ANA- Agência Nacional de Águas com a função de regular a utilização dos rios de domínio da união, que integra o sistema nacional de recursos hídricos. Esta lei vem complementar a Lei 9433 de 1997 regulamentando alguns aspectos de gestão relativos a outorga. Após a descentralização da gestão preconizada pela lei 9433, a criação da ANA foi considerada por muitos como um retrocesso no processo, e por outros como uma percepção da necessidade de uma entidade motora do gerenciamento dos recursos hídricos.

Com tanta lei sendo criada e com tantas experiências novas sendo exercitadas no gerenciamento dos recursos hídricos é normal que se passe um tempo de ajustes até que os diversos mecanismos criados possam definitivamente serem legitimados pela sociedade, sem o qual nenhuma lei poderá vir a ter sucesso. “A legislação de Recursos Hídricos é incompleta, e sobre vários aspectos. Primeiro porque o gerenciamento dos rios como recurso natural é algo novo, e é natural que a legislação não espelhe uma experiência que não tem. À medida em que vamos acumulando experiência, vai ser necessário desenvolver uma nova legislação que ordene a utilização dos recursos hídricos. Estamos identificando as falhas, mas seria *precoce tentar reformular a legislação antes de termos um pouco mais de experiência*” (KELMAN, 2001).

2.4.2. Legislação do Estado de Mato Grosso

- Lei Nº 7.663 de 30/12/1991- Cria o Conselho de Orientação do Fundo Estadual Recursos Hídricos- COFEHIDRO.

- Decreto nº 37.300 de 25/08/1993 - Regulamenta o COFEHIDRO. Deliberação COFEHIDRO Nº 1/94 de 14/09/1994- Aprova o regimento interno do Conselho de Orientação do Fundo Estadual de Recursos Hídricos - COFEHIDRO, criado pela Lei nº 7.663 de 30/12/1991 e regulamentado pelo decreto nº37.300 de 25/08/1993

- Lei nº 6945 de 05/11/1997 – Dispõem sobre a política estadual de Recursos Hídricos, institui o sistema estadual de Recursos Hídricos e dá outras providências

- Decreto nº 2.545 de 14/09/1998 - Modificado pelo Decreto nº 2.548 de 10/05/01 Regulamenta o Conselho Estadual de Recursos Hídricos do Estado de Mato Grosso de acordo com as disposições dos artigos 18,19 e 20 da Lei nº7663.

- Decreto nº 1291 de 14/04/2000- Regulamenta o inciso VI do artigo 2º da Lei nº 7.153 de 21/07/1999, que altera o §4º do artigo 1º da Lei nº 7.083 de 23/12/1998 que dispõem sobre o licenciamento de poços tubulares no Estado de Mato Grosso, consoante a Lei nº 6.945 de 05/11/1997, que dispõem sobre a política estadual de recursos hídricos e dá outras providências.

2.4.3. Normas Brasileiras

- **NBR 10157**
- **NBR 8418**

A elaboração de um projeto de avaliação do impacto ambiental causado por uma indústria de beneficiamento de couros que consome uma grande quantidade de água e descarrega uma quantidade razoável de efluentes no meio ambiente deve ser fruto de um minucioso estudo baseado tanto na legislação federal e estadual, como também nas devidas normas pertinentes ao assunto como é o caso das NBR 10157 e NBR 8418.

A NBR 8418 de 1983 foi a primeira norma brasileira a especificar as condições necessárias para a apresentação de um projeto de aterros de resíduos industriais perigosos descrevendo de forma genérica as premissas básicas a serem levadas em consideração na formatação de um projeto de aterros. A NBR 10157 de 1987 de caráter muito mais abrangente pois não apenas incorpora os fundamentos básicos necessários a apresentação de projetos constantes na NBR 8418, como amplia o campo de atuação fazendo considerações relevantes também quanto a critérios na construção e operação destes aterros. Esta norma prevê uma série de requisitos para projeto, construção e operação de um aterro, a serem seguidos pelas empresas interessadas em operar plantas industriais que produzam efluentes caracterizados como de classe (I) perigosos e que necessitem ser acondicionados em ARIP- Aterros de Resíduos Industriais Perigosos. Esta norma segue em princípio as diretrizes básicas da NBR 8418 e as aperfeiçoa ainda mais em diversos aspectos e principalmente quando apresenta com maiores detalhes um programa de monitoramento do aterro inclusive com indicação de técnicas estatísticas de maneira a se conseguir cumprir de maneira mais eficaz as considerações de proteção ao meio ambiente.

2.5. GEOLOGIA

2.5.1- Geologia Regional

Migliorini (1999) apresenta uma síntese sobre a geologia do Grupo-Cuiabá, levando-se em conta as suas relações de contatos, sua divisão em unidades estratigráficas, sua evolução tectônica e metamórfica e, finalmente o magmatismo associado. Dessa forma a apresentação do Grupo Cuiabá refere-se basicamente em exposições no domínio da Baixada Cuiabana.

O Grupo Cuiabá se caracteriza por uma seqüência predominantemente de filitos com intercalações de quartzitos, metagrauvas, metarenitos, metaparaconglomerados, com raras ocorrências de metacalcários e filitos calcíferos (Migliorini, 1999).

2.5.2. Geologia Local

A unidade litoestratigráfica do Grupo Cuiabá, descrita inicialmente por Evans apud Migliorini (1999) como *Cuyiaba Slates*, constitui, juntamente com os granitóides do tipo São Vicente, o Domínio Tectônico Interno do Cinturão de Dobramentos Paraguai. Esta unidade, caracterizada como um expressivo conjunto metassedimentar, constituído por metarenitos, metargilitos, metadiamicritos, metarcósios, filitos sericíticos, filitos carbonosos, além de formações ferríferas, calcários e margas, apresenta-se universalmente metamorfisada na fácies xisto-verde (Luz et al 1980).

Luz et al, no Projeto Coxipó sistematizou uma subdivisão estratigráfica para o Grupo Cuiabá em oito sub-unidades que apresentam feições geológicas bastante distintas como mostrado através da tabela de N° 2

Tabela 2. Unidades Estratigráficas do Grupo Cuiabá, na área do Projeto Coxipó (Luz et Al, 1980).

SUB-UNIDADES DO GRUPO CUIABÁ, NA ÁREA DO PROJETO COXIPÓ				
P R É C A M B R I A N O	G R U P O C U I A B Á	Sub Unidades	Litologias	Espessura (m)
		8	Mármore calcítico e dolomítico, margas e filitos sericíticos	60
		7	Metaparaconglomerados petromíticos, com matriz areno-argilosa e clastos de quartzo, quartzitos, feldspato, calcário, rochas graníticas e básicas com raras intercalações de filitos.	600
		6	Filitos conglomeráticos com matriz areno-argilosa e clastos de quartzitos e filitos, com intercalações subordinadas de metarenitos.	800
		5	Filitos e filitos sericíticos com intercalações subordinadas e lentes de metarenito, metarcósios, quartzitos e metaconglomerados.	350
		4	Metaparaconglomerados petromíticos com matriz silte-arenosa e clastos de quartzo, feldspato, quartzito, rochas graníticas e básicas com raras intercalações de filitos e metarenitos.	150
		3	Filitos, filitos conglomeráticos, metaconglomerados, metarcósios, metarenitos, lentes de metacalcário, além de níveis de hematita no topo.	550
		2	Metarenitos arcossianos, metarenitos calcíferos, metarcósios, filitos grafitosos e lentes de mármore calcífero.	350
		1	Filitos sericíticos cinza-claro com intercalações de metarenitos grafitosos.	300

Na avaliação que faz em sua Tese de Doutorado Migliorini (1999), dá uma especial atenção a Formação Miguel Sutil, Subunidade 5 do Projeto Coxipó (Luz et al 1980) e a Formação Rio Coxipó, Subunidade 6 de (Luz et al 1980). Em relação a Formação Miguel Sutil caracteriza como metargilitos ou filitos de cor cinza esverdeada a marrom avermelhada, normalmente sericíticos, onde as laminações plano-paralelas centimétricas a milimétricas são freqüentes e indicadoras de mudança na granulometria ou composição dos sedimentos. Classifica como comum as intercalações de camadas tabulares de arenitos finos a médios, de cor branca com

tons róseos, principalmente quartzosos, em contatos abruptos com os pelitos laminados ou maciços.

Segundo Migliorini (1999), a formação Rio Coxipó sobrepõem-se à Formação Miguel Sutil através de contatos transicionais e tectônicos e aflora principalmente na porção sul das cidades de Cuiabá e Várzea Grande. O mapeamento desenvolvido em seu trabalho propiciou a identificação e individualização de duas associações litológicas principais: a dos metadiamicritos com matriz argilosa, maciços, com raras intercalações de areia fina a média e a dos metadiamicritos, com matriz arenosa, intercalados a arenitos quartzosos grossos e médios.

2. 6. O PROCESSO INDUSTRIAL DO COURO

O processo industrial no tratamento do couro começa com a descarga do caminhão de peles de boi vindo do frigorífico para o curtume através de ganchos rotatórios onde ficam pendurados as peles para seguir o processo industrial. As peles já penduradas pelos trilhos chegam a máquina de PRÉ-DESCARNE (passam por dois rolos, um de borracha e outro de metal corrugado enquanto facas rotativas removem a parte indesejável) onde com a ajuda de operários são colocados na máquina para retirar da parte inferior da pele (carnal) resíduos de gordura, restos de carne ou fibras, não aproveitáveis deixados pelo frigorífico na esfolia do animal.



Figura 1: Início do processo de descarga das peles na indústria de curtume.

Depois de passar pelo pré descarte as peles seguem pelos trilhos (Figura 1) para a DEPILAÇÃO E CALEIRO nos Fulões (Figura 2) onde sofrem um primeiro tratamento químico com a presença de sulfeto de sódio, cal e sal. Esta parte do processo tem como função principal remover os pêlos e o sistema epidérmico, provocando o inchamento das peles, preparando as fibras colágenas e elásticas para serem curtidas.

Este processo pode ser altamente poluidor, principalmente quando são usados sistemas de depilação com destruição dos pêlos, que são responsáveis por até 85% da carga poluidora dos efluentes. A duração do processo varia de 14 a 16 horas dentro dos fulões. Normalmente, a prática industrial, a composição do caleiro é de 2 a 5% de sulfeto de sódio e de 2 a 4% de cal, sendo que para obterem-se bons resultados, não é necessário empregar mais que 2,0 a 2,5% de cal e 2% de Sulfeto de Sódio em relação a massa das peles. A quantidade de água pode variar de 200 a 300% em relação a massa das peles.

Dessa forma se em cada um dos fulões da indústria são colocados aproximadamente 8.000 kg de pele (200 peles), com aproximadamente 240 kg de Sulfeto de Sódio (3%), 200 kg de Cal (2,5%) com aproximadamente 8.000 litros de água. O pelo que sai deste processo pode ser separado das águas residuárias por filtração e aproveitado como adubo agrícola. Contudo para que isto ocorra as peles

não podem ser deixadas por muito tempo pelo tratamento alcalino, que dissolveria os pelos tornando-se impossível a sua filtração.



Figura 2: Processo de depilação e caleiro dentro dos “fulões”.

Na seqüência o DESCARNE (Figura 3) que é uma operação que tem por finalidade eliminar os resíduos ainda restantes no couro após o pré descarne. Os resíduos oriundos desta operação são chamados de carnaça.



Figura 3. Operação de descarne.

O RECORTE (Figura 4) é a operação realizada manualmente nas mesas que aparecem na foto visando aparar a pele e remover apêndices.



Figura 4. Operação de recorte da pele

A DIVISÃO (Figura 5) é uma operação que consiste em dividir em duas camadas a pele inchada e depilada. A camada que estava em contato com a carne toma o nome de *raspa ou crosta* e a que continha a parte externa denomina-se *flor ou vaqueta*.



Figura 5: Processo de divisão da pele em duas camadas.

No segundo processo dentro novamente de fulões tanto a FLOR como a RASPA vão para a DESENCALAGEM ou DESCALCINAÇÃO visando a remoção de substâncias alcalinas, tanto as que se encontram depositadas como as quimicamente combinadas. A duração do processo é de aproximadamente 16 horas

dependendo do artigo que se quer fabricar. O volume do banho é de 20 a 30% em relação a massa das peles. Como produto desengalante é utilizado o Ácido Sulfúrico para abaixar o ph.

PIQUEL E CURTIMENTO

O piquel é um processo salino ácido visando basicamente preparar as fibras colágenas para facilitar a penetração dos agentes curtentes. Os produtos químicos empregados são 6 a 10% de Cloreto de Sódio, 1 a 1,5% de Ácido Sulfúrico e 60 a 100% de água em relação a massa de peles.

O curtimento é um processo que consiste na transformação das peles em material estável e imputrescível, ou de outra forma a transformação da pele em couro. No Curtimento os produtos mais utilizados são:

- Inorgânicos - Sais de Cromo, Zircônio, Alumínio e Ferro.
- Orgânicos- Curtentes Vegetais, Curtentes Sintéticos, Aldeídos e Parafinas Sulfocloradas

Na utilização do Cromo são usados teores em torno de 2 a 3,0 % de Cr_2O_3 em relação a massa de peles, adicionados a banhos novos com 50% de água.

DESCANSO

Nesta etapa a finalidade é a de retirar o resíduo líquido em excesso antes de ser levado a pele até o enxugamento. As peles são deixadas em repouso por um período de 8 a 24 horas para que os mesmos adquiram a espessura normal.



Figura 6: Retirada do resíduo líquido em excesso das peles.

Após o descanso vem o Enxugamento (Figura 6) que é uma operação mecânica visando a remover o excesso de água dos couros. É realizado na máquina mostrada na foto. Após o enxugamento os couros são deixados em repouso por um período de 8 a 24 horas para que os mesmos adquiram a espessura normal.

Na seqüência o couro é medido por um processo mecânico através de células fotoelétricas. Em seguida é feita a classificação manual das peles (Figura 7) para serem enquadradas em níveis que vão de 1° ao 6°. Finalizando o processo são acondicionadas em embalagens próprias para serem transportadas até o mercado interno ou externo.



Figura 7: Classificação das peles

Os resíduos que são esgotados pelo 2º fulão são depositados nestes tanques (Figura 8) onde após algumas horas sofrem o processo de decantação com o depósito de uma massa de lodo no fundo e os resíduos líquidos na parte superficial. Nestes tanques são adicionados alguns produtos químicos como soda caustica para levantar o ph.



Figura 8: Tanque de decantação

Os resíduos do FULÃO que não são tratados com cromo, utilizados na descalcinação, purga e lavagem são depositados nestes tanques (Figura 9).



Figura 9: Tanque de deposição de resíduos orgânicos

Os resíduos dos caieiros com sulfetos que posteriormente estão sendo utilizados na irrigação, passam antes por um cozimento da matéria orgânica (Figura 10) após o qual vão ser depositados em tanques equipados com aeradores.



Figura 10: Tratamento de resíduos dos caieiros



Figura 11: Decantação dos resíduos que contém cromo.

Resultante da decantação dos resíduos que contém cromo após serem desidratados em leitos de secagem, formam este lodo (Figuras 11 e 12) que vão para o aterro em valas impermeabilizadas com geo-membranas.



Figura 12: Lodo de cromo final

Finalmente depois de todo o processo de tratamento residual de efluentes a água vai ser despejada em um córrego ou rio (Figura 13) .



Figura 13: Liberação final dos líquidos resultantes do processo de tratamento.

2.7. OS RESÍDUOS DO CURTUME

O anexo 10 da resolução CONAMA N° 235 JAN/1998- (Conselho Nacional do Meio Ambiente) que trata da classificação dos resíduos criou três classes como apresentadas a seguir:

▪Classe 1- Resíduos Perigosos (NBR 10004): São os que apresentam periculosidade ou uma das seguintes características- inflamabilidade, corrosividade, reatividade, toxicidade ou patogenicidade. Os resíduos resultantes da industrialização do couro estão inseridos nesta classe.

▪Classe 2- Resíduos Não Inertes: São os que podem ter propriedades tais como combustibilidade, biodegradabilidade ou solubilidade em água. Os resíduos domésticos são assim classificados.

▪Classe 3- Resíduos Inertes: Resíduos que não sofrem transformações físicas, químicas ou biológicas significativas a ponto de acarretar riscos a saúde e ao meio ambiente.

“A indústria de curtume produz resíduos sólidos contendo cromo na forma trivalente que, na maioria das vezes, apresenta concentração na faixa situada entre 25 a 30 g.kg⁻¹ de óxido de cromo” (BRITO et al, 2002).

De acordo com COIADO (1999), as indústrias de curtumes do Brasil segundo o projeto Senai-Unido (1985), descarregam cerca de 10 a 20 milhões de m³ de efluentes anualmente, com características poluentes de DBO > 2.500 mg/l e SS > 4.000 mg/l.

Segundo a CETESB através de nota técnica de 1989, as características das emissões de poluentes em curtume seguem a tabela 3.

Tabela 3: Características dos banhos descartados no processo de curtimento mineral(ao cromo) (CETESB 1989)

OPERAÇÃO	PARÂMETRO (*)				
	D.B.O.	D.Q.O.	CROMO TRIV.	SULFETO	pH
REMOLHO	5.456	12.633	-	-	7,3
CALEAÇÃO	11.083	43.966	-	-	12,5
LAVAGEM	2.280	4.880	-	1.893	12,9
DESCARNAGEM	13.700	36.800	-	461	12,9
DESCALCINAÇÃO E PURGA	2.541	11.670	-	439	11,5
LAVAGEM	2.790	4.400	-	51	9,1
PEIQUELAGEM E CURTIMENTO	903	4.070	2.024	-	3,9
RECURTIMENTO	1.830	4.345	174	-	4,4
LAVAGEM	1.980	2.960	153	-	3,9
NEUTRALIZAÇÃO	695	2.130	387	-	4,67

(*) Todos os parâmetros em mg/l , exceto o pH

De acordo com KOETZ et al, (1995), os parâmetros de poluição da indústria de couros acabados tipo vaqueta, por tonelada de peles processadas são: 75 a 90 kg de Demanda Bioquímica de Oxigênio; 200 a 260 kg de Demanda Química de Oxigênio; 140 kg de Sólidos em Suspensão; 12,6 kg de Nitrogênio; 9,0 kg de Sulfetos; 5,0 kg de Cromo total e 55 m³ de águas residuárias.

“Existe polêmica com relação aos efeitos que o cromo pode causar na natureza (solo e meio hídrico). Quando na forma trivalente, é considerado pouco tóxico, mas quando na forma hexavalente, causa danos à saúde, como hemorragias intestinais graves, anemia severa e pneumoconiose”,(MORAES et al, 1991).

Segundo BARROS et al (2000), cerca de 80-95% das fábricas do mundo utilizam Cr (III) no processo de curtimento. A importância da toxicidade do Cr (III) está na possibilidade de oxidação a Cr (VI), o que pode ocorrer durante o despejo do efluente no corpo receptor. De acordo com BRITO et al (2002), os resíduos sólidos do beneficiamento do couro podem ser divididos em três grupos: a)resíduos não curtidos (aparas caleadas e não caleadas e carnaças); b) resíduos curtidos (aparas

curtidas ao cromo, farelo da rebaixadeira, pó da lixadeira/ desempoadeira e aparas de couro acabado) e c) lodo de Estação de Tratamento de Efluentes (ETE).

Segundo COIADO (2000), SPEWRLING(1996) e o Projeto SENAI-Unido (1985) um descarregamento de efluente resíduo típico de curtume tem características poluentes de DBO > 2.500 mg/l, SS > 4.000 mg/l. Dessa forma se utiliza a metodologia descrita por SPERLING, para calcular o equivalente populacional de uma indústria típica de curtume com produção 1.000 Peles/ dia que é o caso das indústrias objeto deste estudo chegará a uma carga diária de 1.875,00 kg DBO/dia. Os despejos de um indústria deste porte possuem um potencial poluidor (em termos de DBO) equivalente a uma população de 34.722 Habitantes.

$$\begin{aligned} \text{DBO} &= 2.500 \text{ mg/l} & 25 \text{ kg /pele} \quad 1000 \text{ peles} &= 25 \text{ Ton} \\ \text{Consumo específico de água} & \text{m}^3/\text{ton} &= 20 \text{ a } 40 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

$$25 \text{ Ton} \cdot 30 \text{m}^3 = 750 \text{ m}^3 \text{ H}_2\text{O}/ \text{dia}$$

Carga de DBO:

$$\text{Carga} = \text{vazão} \cdot \text{concentração} = \frac{750 \cdot 2500}{1000 \text{ g/kg}} = 1.875 \text{ kg DBO}/ \text{dia}$$

Equivalente Populacional

$$Ep = \frac{C}{Cpc} = \frac{1.875,00}{0,054} = 34.722 \text{ Hab}$$

Segundo a Universidade Nacional do Nordeste da Argentina, Faculdade de Ciências Agrárias, em texto publicado na Internet “Apesar de necessitar-se de concentrações maiores para produzir os mesmos efeitos biológicos do Cr⁺³ ao Cr⁺⁶, principalmente por que não tem tanta facilidade para penetrar no organismo, existe pouca evidência para afirmar que o Cr⁺³ não tem efeitos genotóxicos “in vivo” em animais. Alguns dos riscos mais assinalados referem-se a capacidade dos agentes curtentes para estabilizar o colágeno, que é precisamente a base do curtimento, abrindo a possibilidade de que esses mesmos agentes possam interagir com a estrutura da hélice dupla do DNA. Ainda segundo esta mesma publicação, “Todas

as formas de cromo, incluindo o Cr^{+3} , causam câncer a roedores, pelo que se deduz serem provavelmente cancerígenos para seres humanos. Os despejos que contêm cromo devem ser avaliados com pensamento crítico. São resíduos perigosos, tendo em conta especialmente o comportamento desta substância nas camadas do subsolo debaixo dos aterros sanitários. Estima-se que em um ambiente alcalino, os cromatos permanecem estáveis até 50 anos e que são capazes de atravessar inclusive solos compactos para migrar até o lençol freático. Em contato com a natureza o cromo hexavalente é capaz de causar danos irreversíveis tanto na saúde dos animais e dos homens como na vegetação, na água, terra e no ar.

Há ainda a preocupação com a poluição através de compostos nitrogenados. O Nitrogênio que existe em abundância na atmosfera e é essencial a vida humana, ameaça as águas subterrâneas. “Além do Nitrato, o Nitrogênio ocorre também sob a forma de Amônio (NH_4^+), Amônia (NH_3), Nitrito (NO_2^-), Nitrogênio (N_2) e Ácido Nítrico (N_2O) e Nitrogênio Orgânico” ELIS (2003). A poluição através de nitrogênio é de especial interesse para a saúde pública. O excesso de Nitrato (NO_3) pode causar a methemoglobinemia na população infantil (no sistema digestivo, o Nitrato é reduzido a Nitrito, que se liga com a hemoglobina e limita a transferência de oxigênio aos pulmões), além da formação de substâncias cancerígenas (Ward Elliot, 1995 apud ELIS, 2003). Entre os diversos temas tratados na realização do Projeto Couro em Santa Catarina, o processo de desnitrificação através dos mais variados métodos ganhou relevância como forma de proteção das águas.

2.8. ÁREA DE DISPOSIÇÃO DE RESÍDUOS

Segundo as normas brasileiras NBR-8418 e NBR-10157 os resíduos da Classe 1 (Perigosos) deveriam ser depositados em Aterro Industrial com especificações a fim de atender um maior controle ambiental, capas impermeabilizantes mais fortes e seguras, compartimentalização e dreno sentinela, drenagem superficial das águas além de não poder emanar gases e nem produzir chorume (Figuras 14 e 15).

Os resíduos dos curtumes vêm sendo descartados após os tratamentos em aterros sanitários que deveriam estar preparados para a disposição destes resíduos ou através do descarte como suprimento de nutrientes na agricultura. Como os fertilizantes comerciais vem apresentando preços cada vez maiores, e com a dificuldade de descarte dos resíduos industriais e urbanos, tem se tornado alternativa corrente e atrativa tanto do ponto de vista econômico como do ponto de vista de reciclagem de nutrientes. “A utilização desses resíduos em áreas agrícolas, tem trazido benefícios, bem como preocupações, devido a presença de cromo e do acúmulo de nitrato na água e no solo” (COSTA et al, 2001).

Segundo a NBR- 10157 os resíduos da Classe I deveriam obedecer algumas recomendações como a colocação no fundo das valas de camadas de solo praticamente impermeável (argila) e mais abaixo areia grossa onde são colocados drenos ligados a caixa de inspeção nas laterais das valas (Figuras 14 e 15) . A colocação de sistemas de impermeabilização (Figura 16) devem ser feitos com o fim de garantir a estanqueidade, durabilidade, resistência mecânica, resistência a intempéries e compatibilidade com os resíduos a serem aterrados. A colocação de solos com alto teor de argila tem interesse particular por apresentar baixa permeabilidade resultantes da sua pequena condutividade hidráulica, que contribuem para serem usados como verdadeiras barreiras naturais em áreas de disposição de resíduos limitando o escape dos contaminantes, tanto para os lençóis de água como para o solo (Figura 14). Dessa forma na fase de projeto e implantação é de fundamental importância que se opte por uma base de assentamento estável, pela melhor técnica de impermeabilização e principalmente pela execução de uma proteção eficiente quanto aos esforços mecânicos e as intempéries. Ainda de acordo com a NBR-10157 estas áreas deveriam conter um plano de encerramento pós fechamento das valas com aterro, com a preocupação em se fazer um ajardinamento a fim de evitar o desenvolvimento de plantas de maior porte, cujas raízes poderiam danificar a camada de impermeabilização superior propiciando o processo erosivo que poderia ser danoso a capa selante do aterro.

Além de chorume, a infiltração de água de chuva em depósitos de resíduos produz vários tipos de gases por decomposição bioquímica de matéria orgânica (FEITOSA et al, 2000). Em aterros sanitários situados sobre materiais permeáveis,

como por exemplo, areias, cascalhos ou rochas fissuradas, a migração do chorume, ocorre após algumas décadas de contaminação das águas subterrâneas ao longo de áreas muito maiores do que as ocupadas pelos resíduos.

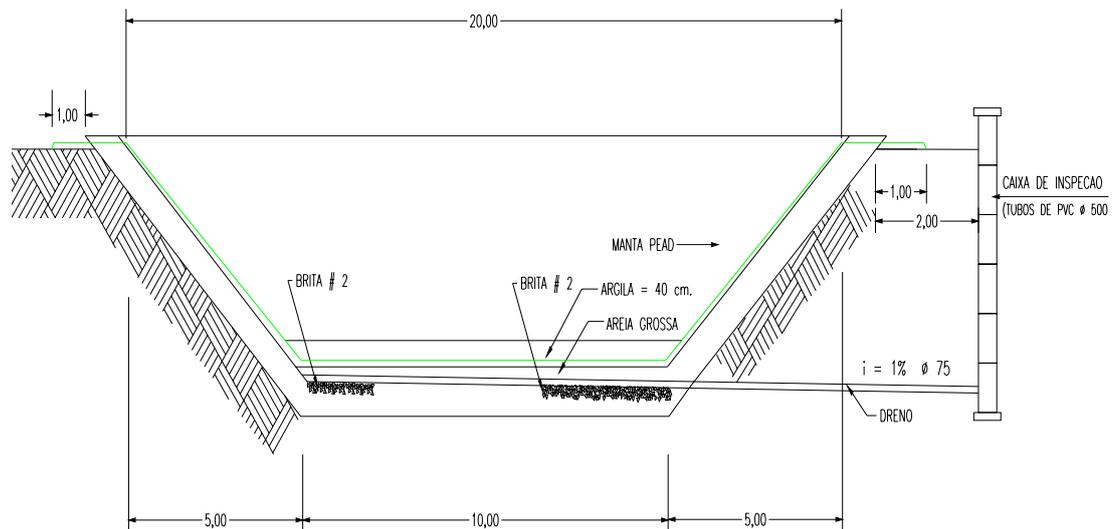


Figura 14: Modelo em corte transversal de célula tipo para resíduos Perigosos (Coiado, 1999).

“Já está comprovado que em regiões úmidas, as infiltrações de água de chuva nos aterros sanitários produzem chorume pelo menos durante os primeiros 30 ou 40 anos de sua existência” (FEITOSA et al, 2000). Ainda segundo o mesmo autor, foi observado que alguns aterros sanitários da época do império Romano ainda estão produzindo chorume.

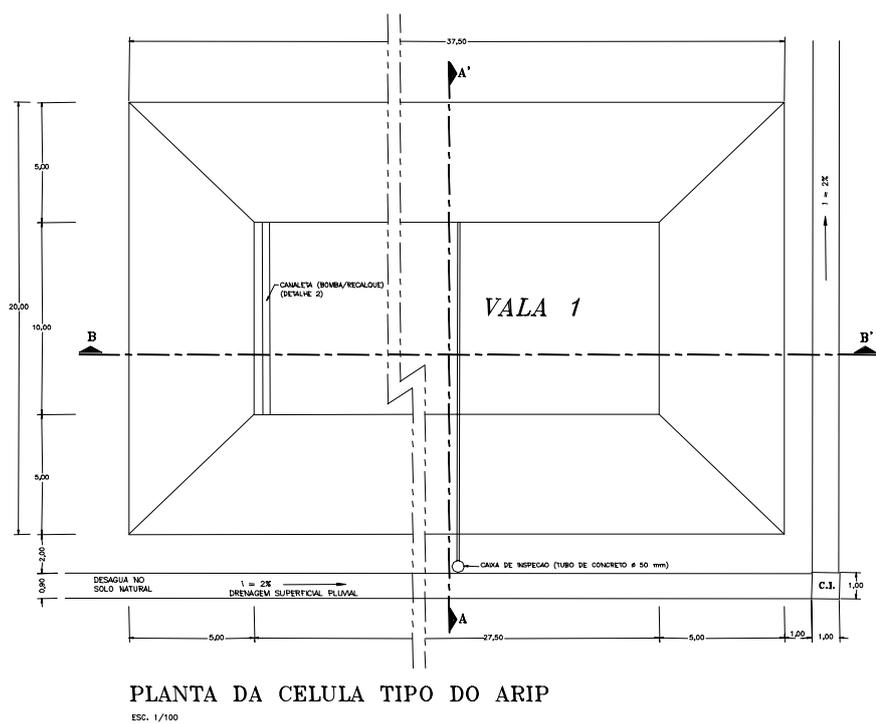


Figura 15. Modelo em planta de célula tipo para disposição de resíduos industriais perigosos (Coiado, 1999)



Figura 16. Execução de impermeabilização em uma célula tipo para disposição de resíduos industriais perigosos.

2.9. O SISTEMA DE TRATAMENTO

O controle da poluição industrial realizado através de medidas de “fim de linha” permaneceu por muito tempo como a única medida para reduzir o impacto ambiental causado pelos lançamento de efluentes. Contudo estas ações se mostraram ineficientes representando um custo não produtivo.

Com as exigências ambientais e o custo da água cada vez maiores, há uma tendência na indústria a otimizar o uso da água e reutilizá-la. Para alcançar este objetivo novos tipos de tratamentos tem sido testados, tanto em escala real, como em escala piloto. “Os processos integrados de controle buscam a redução da carga poluente nas diferentes etapas do processo produtivo, abrangendo desde o uso de matérias primas mais limpas, até a reciclagem de determinadas substâncias antes do descarte final do efluente” (SANTOS, 2002).

No caso da indústria de beneficiamento do couro devido ao seu alto consumo de água, qualquer tentativa de minimizar os impactos causados pelo processo industrial deve passar necessariamente por um novo fluxograma do processo industrial que seja valorizado as reciclagens de banhos residuais além da redução na quantidade de produto químico adicionado limitando-se ao mínimo necessário. Os valores máximos permitidos para as emissões no meio ambiente variam muito de país para país. As leis de águas residuárias dos curtume são bastante flexíveis e há uma variedade enorme de possibilidades de tipos de tratamento. Os efluentes contém em geral uma grande carga orgânica, a qual está caracterizada pelos altos valores de DQO, DBO, Sólidos Totais, Sólidos em Suspensão e Dissolvidos.

O sistema de tratamento (ETE-Estação de Tratamento de Efluentes) compreende basicamente três fases:

a) Tratamento Preliminar (mecânico)

Envolve operações físicas como remoção de areia, gorduras e resíduos de pele. A finalidade além de abater uma parcela considerável de carga poluidora, é prevenir o entupimento das vias de fluxo, assegurando o bom funcionamento dos equipamentos e unidades das etapas de tratamentos posteriores.

b) Tratamento Primário. (físico-químico)

O tratamento primário tem importância relevante no sistema depurativo já que o tratamento secundário é dimensionado segundo as características do efluente desta fase. Quando o tratamento primário não consegue uma boa neutralização dos despejos, às vezes se faz necessário ajustar o pH, a fim de conferir melhores condições de floculabilidade ($7 < \text{pH} < 9$). Caso específico das indústrias que processam apenas algumas etapas do processo de industrialização das peles como é o caso do “Wet-blue”, cujo despejo possui caráter ácido. Como produtos de ajuste do pH são mais utilizados a cal hidratada e o ácido sulfúrico. Em pH superiores a 7,5 a quase totalidade do cromo solubilizado precipita sob a forma de hidróxido, podendo ser removido por decantação. A precipitação do cromo ocorre através da adição de álcalis como, hidróxido cálcico, óxido de magnésio, carbonato sódico, hidróxido sódico e aluminato sódico. Nessas situações o cromo é precipitado, bem como outros metais pesados cujos hidróxidos sejam altamente insolúveis.

c) Tratamento Secundário (biológico)

Este tratamento, visa reduzir o teor de matéria orgânica biodegradável remanescente, que não foi possível remover com os tratamentos anteriores. O processo ocorre por via bioquímica no qual microorganismo adequadamente desenvolvidos degradam a matéria orgânica do efluente, transformando em massa celular e produtos metabólicos. De acordo com a cultura desenvolvida o processo pode ser aeróbico ou anaeróbico. O processo anaeróbico para alguns pode levar vantagem pelo fato de não necessitar de oxigênio ocasião em que grande parte da matéria orgânica degradada é convertida em metano com propriedade calorífica apreciável, além de produzir muito menos lodo biológico (massa celular). Apesar de todas essas considerações as exigências do processo anaeróbico dificultam a sua implantação, levando os processos aeróbicos como lodos ativados, leitos e lagoas serem mais aplicados.

Segundo MORAES (2002), hoje em dia, uma grande parte dos resíduos sólidos de curtume está sendo reciclada, como o lodo do reciclo de caleiro (rico em cálcio) utilizado como corretivo na acidez do solo. Ainda em artigo publicado em 2002 na RBRH, MORAES afirma: “Comprovou-se, assim que o couro- Wet-blue-

lixívia, inicialmente, grandes quantidades de cromo quando exposto a uma simulação de precipitações na natureza, ainda mais se possuírem caráter ácido”.

De acordo com a Dra. Eliza Coral, Coordenadora do projeto Couro desenvolvido em Santa Catarina em 2002, fruto de uma parceria do governo brasileiro e do governo alemão além de uma série de indústrias do setor coureiro, para transferência de tecnologia da Alemanha para o Brasil, a reutilização da água no processo industrial é de vital importância para o processo e muito importante para o futuro pois a água é um insumo precioso e esgotável. De acordo com Eliza o metro cúbico de água custa cerca de \$ 4,00 na Alemanha, ao passo que no Brasil em muitas regiões ainda não é cobrada e em outras não chega a ultrapassar R\$ 0,15/m³, contudo se não houver cuidado com os recursos hídricos, logo poderá ocorrer problemas de abastecimento em algumas regiões do país.

“A moderna abordagem em termos de tratamento de efluentes e poluição industrial tem a ver não com o chamado tratamento de “Fim de Linha”, que representa um custo não produtivo continuamente crescente para a indústria, agravado por restrições cada vez maiores aos tipos de concentrações de poluentes que podem ser lançados ao meio ambiente, mas sim com uma mudança nos processos industriais com uma tecnologia mais limpa e avançada resultando com isso numa redução do volume e da carga das emissões geradas” (LEÃO et al,1997).

O reaproveitamento dos resíduos líquidos é feito principalmente sobre os banhos da depilação e de curtimento das peles. A principal vantagem da reutilização do banho de depilação é a considerável quantidade de matéria orgânica que não é despejada no efluente. A reutilização dos banhos de curtimento com precipitação do cromo e posterior decantação, efetuando-se a acidificação ou redissolução para ser usado no processo de curtimento novamente. As vantagens do reciclo ou recuperação do cromo são de caráter econômico, na medida em que se deixa de gastar um produto caro e de natureza ambiental, quando o lodo da estação de tratamento irá conter muito menos metal pesado. Acontece que o uso de tecnologias limpas e mais avançadas tem um custo em termos de investimento maior de forma que precisarão de um gerenciamento dos processos com uma otimização de funções muito mais eficiente.

“Além da preocupação com a poluição das águas resultantes da liberação dos efluentes industriais nos corpos hídricos, existe ainda uma grande preocupação mundial com a exeqüibilidade de se garantir água potável em volume suficiente para as próximas gerações. Preocupação que até bem pouco tempo poderia parecer ridícula, mas que com o passar do tempo e com a nova configuração do mundo em termos ambientais surge a preocupação real de que a água em condições de uso pela humanidade é muito diferente da noção corrente até pouco tempo de ser infinita.

Esta nova tomada de consciência por parte da maioria das nações, principalmente as mais desenvolvidas tem levado países a imporem uma política de gestão dos recursos hídricos em que oneram com taxas razoáveis o uso da água no sentido de se punir monetariamente os processos de desperdício e que possam resultar em lançamento de efluentes para um corpo hídrico. Fundamentalmente também aparece o instrumento do valor da água a ser tarifado tanto quando é captada bruta pelo usuário através da superfície ou da subsuperfície e também quando é fornecida tratada através de abastecimento regular de água” (SANTOS, 2002).

2.10. O PROCESSO DE CONTAMINAÇÃO

A contaminação da água subterrânea na maioria das vezes se realiza tendo a própria água intersticial localizada nos poros do solo como agente de transporte da fase contaminante. Principalmente no caso dos sais de cromo devido a sua difícil solubilização, o processo de contaminação do lençol freático deve ocorrer quando estes sais entram em contato com a zona saturada do solo e aí sim inicia o seu transporte já na fase líquida.

Segundo COELHO et al (2003) a contaminação do subsolo de aterros de disposição de resíduos sólidos urbanos tem origem na infiltração dos lixiviados através das camadas impermeabilizantes. De acordo com estes autores, a interação solo-contaminante é muito complexa, uma vez que, muitos fenômenos físicos, químicos e biológicos podem ocorrer simultaneamente, além do que são inúmeros os fenômenos que controlam o transporte de contaminantes em meios porosos, onde o contaminante a ser considerado é a massa de alguma substância tóxica dissolvida (poluente), movendo-se com algum fluido (água) nos vazios do meio poroso (solo)

seja ele saturado ou não. A compreensão destes mecanismos de movimento dos poluentes não deve depender apenas do fluxo do fluido no qual essas substâncias estão dissolvidas, mas sim de mecanismos que por sua vez dependem de processos físicos, químicos e biológicos, aos quais estas substâncias são submetidas.

De acordo com ELIS (2003), o mecanismo de transporte dos contaminantes através das águas subterrâneas, se realiza por: processos físicos e químicos.

2.10.1 Processos Físicos

- **Advecção:** Neste caso, o transporte é realizado pelo simples movimento da água subterrânea carregando consigo os solutos dissolvidos. Com o deslocamento da água, os contaminantes (solutos) presentes na mesma se movem na direção das linhas de fluxo com uma velocidade que, em princípio, é igual à velocidade linear da água não alterando a sua concentração. A quantidade de soluto transportado depende de sua concentração na água subterrânea, do volume de água fluindo e da velocidade da água subterrânea.

- **Difusão:** Na difusão ocorre o movimento espontâneo de disseminação de uma substância no interior de uma outra substância, dando como resultado uma outra solução entre as duas substâncias. Este é o processo através do qual as espécies moleculares e iônicas dissolvidas na água se movem devido a um gradiente de concentração, indo das áreas de maior concentração para menor concentração, mesmo na ausência de fluxo de água subterrânea. Devido ao gradiente de concentração existente em um fluido, ocorre o transporte de contaminantes por difusão molecular ou simplesmente difusão, ou seja o soluto dissolvido em água desloca-se de uma área de maior concentração para uma área de menor concentração, visando equalizar a concentração em toda a massa de fluido. De acordo com COELHO et al (2003), este fenômeno ocorre independente da velocidade do fluido, sendo mais acentuado pela turbulência resultante dos mecanismos de mistura mecânica.

- Dispersão hidrodinâmica : O espalhamento por dispersão caracteriza-se por ser transversal à direção da pluma de contaminação. Engloba o processo de dispersão mecânica e o transporte por difusão. A medida que o soluto se movimenta no meio poroso, o processo de dispersão age no sentido de diluir o soluto e reduzir a sua concentração.

2.10.2. Processos Químicos

Na dependência do tipo de solo e da solução contaminada, diversos processos químicos podem ocorrer. Na maioria das vezes essas reações atrasam o fenômeno de transporte de poluentes em solos. As reações de adsorção e desorção pode causar uma transferência real de poluente da fase líquida para a fase sólida.

- Sorção: Neste processo ocorre tanto a adsorção como a desorção. Na adsorção ocorre a adesão de moléculas ou íons as superfícies de partículas do solo, enquanto que na desorção ocorre a liberação da fase sólida. No caso da ocorrência da adsorção haverá uma diminuição da concentração de poluentes na fase aquosa, com um retardamento no transporte dos contaminantes. De forma natural, o solo apresenta a habilidade limitada em reter substâncias. Dessa forma se a fonte de contaminação tiver alimentação constante, a taxa de retenção tende a diminuir com o tempo, podendo chegar a se anular. COELHO et al (2003), diz ainda que quando o solo chega a alcançar este ponto de equilíbrio, ele atingiu a sua capacidade de retenção de partículas. Dessa forma a quantidade de substância que permanece dissolvida na água percolante aumenta à medida que a quantidade acumulada no solo se aproxima da sua capacidade de retenção. A medida que vai ocorrendo uma transferência da substância para a fase sólida durante o fluxo irá haver uma redução da frente de contaminação, em relação a velocidade do fluido, resultando com isso no processo conhecido como retardamento da frente de contaminação.

▪ **Dcaimento:** Num sistema de águas subterrâneas vão ocorrer reações que resultarão naturalmente numa degradação simples de poluentes biológicos, minimizando a fonte de contaminação com o passar do tempo.

No caso específico do aterro em estudo grande parte da contaminação da água subterrânea ocorre devido a percolação de águas pluviais gerados pela própria degradação dos resíduos que por infiltração no solo sob o aterro atingem o nível d'água. Segundo FEITOSA et al (2000), nos aquíferos devido a lenta circulação das águas subterrâneas, a capacidade de adsorção dos terrenos aliado ao pequeno tamanho dos canalículos, leva a que uma contaminação pode demorar muito até ser manifestada claramente. “Em contato com a água, cujas moléculas são polarizadas (H^+ , OH^-), as partículas sólidas atraem seus íons positivos H^+ , formando, assim uma película de água adsorvida, denominada camada adsorvida. Este fenômeno assim se explica: as moléculas de água, pela distribuição assimétrica dos seus átomos, comportando-se como dipolos elétricos, são atraídas pelas partículas de argila, que possuem uma carga elétrica negativa” (CAPUTO, 1990).

As propriedades da água adsorvida são diferentes das da água comum, em vista da grande pressão a que está submetida pelas forças eletrostáticas de adsorção. “Os resíduos sólidos dos curtumes são essencialmente resíduos orgânicos: pêlo, gordura, carne e lodos do tratamento biológico. O problema específico dos curtumes é a contaminação destes resíduos com cromo sendo que, a ocorrência da parte orgânica em conjunto com a parte inorgânica tóxica, constitui a dificuldade central do tratamento dos resíduos” (KELLER et al, 1998).

O afluxo de nutrientes como nitrogênio e fósforo as águas superficiais provoca a fertilização do ecossistema aquático, aumentando a população de algas e vegetais aquáticos superiores, num processo denominado eutrofização. Este processo manifesta-se pela diminuição dos teores de oxigênio dissolvido na água, condições anóxicas junto ao fundo do corpo d'água, episódios de mortandade de peixes e alterações estéticas, resultando em profundas alterações no balanço ecológico do corpo receptor. É um problema associado principalmente a lagos e estuários devido aos respectivos altos tempos de residência, sendo um impacto de longo prazo, tanto

no que se refere ao tempo necessário para que comece a afetar o ecossistema, como no tempo necessário para sua correção.

O problema clássico da poluição por matéria orgânica é o consumo do oxigênio dissolvido na água pelos organismos que processam sua decomposição. Como consequência direta, os baixos níveis de oxigênio resultantes prejudicam os peixes e outros organismos aquáticos sensíveis. Contribuem para isto a matéria orgânica e compostos sujeitos à oxidação presentes na água. Outra fonte de depleção de oxigênio é a ressuspensão de sedimentos no ponto de lançamento. A matéria orgânica presente junto ao sedimento, bem como outros compostos, ao serem retirados das camadas anóxicas, são rapidamente expostos à biodegradação.

“O resíduo a ser depositado no ARIP (Aterro de Resíduos Industriais Perigosos) é oriundo do tanque de precipitação de cromo, após ser desidratado em leito de secagem, bem como os resíduos provenientes de diversos setores (aparos, embalagens, etc). O principal resíduo em questão, face as características dos produtos utilizados e análises qualitativas realizadas, foi considerado um Resíduo Classe I, portanto, Resíduo Perigoso, de acordo com a NBR 10.004”, (COIADO, 1999).

Ainda de acordo com BARROS et al (2000), o Cr^{+6} é considerado como substância carcinogênica. Diversos estudos comprovaram o aparecimento de câncer de pulmão devido a exposição de trabalhadores a Cr^{+6} . O Cr^{+3} apesar de ser considerado um nutriente essencial e relativamente não tóxico para humanos e mamíferos, pode oxidar-se na natureza, transformando-se assim na sua forma mais tóxica Cr^{+6} .

A concentração do cromo varia grandemente com a natureza da rocha ou sedimentos. As maiores concentrações de cromo são encontradas geralmente associadas a grãos bastante pequenos, sendo a argila um dos melhores tipos de solo para se encontrar grandes concentrações. Segundo BARROS et al (2000), o lodo de curtume vêm sendo utilizado muitas vezes como adubo na agricultura.

Apesar do cromo presente nos resíduos sólidos encontrar-se via de regra na forma trivalente, uma grande parte deste elemento no resíduo encontra-se complexado pela matéria orgânica ou precipitado na forma de Cr^{+3} , forma de difícil assimilação pelas plantas. Estes lodos possuem uma ação fertilizante devido a riqueza de nutrientes. No entanto, a aplicação em solos nem sempre é benéfica, pois

pode haver a oxidação do Cr^{+3} , transformando o elemento em uma forma tóxica, Cr^{+6} . A formação do Cr^{+6} no solo após a aplicação de resíduo de curtume já foi verificada mesmo ante a presença de altos níveis redutores orgânicos presentes nestes resíduos. Ainda segundo os autores “... via de regra, tais resíduos possuem alta concentração de sal, que pode prejudicar de forma definitiva o efeito benéfico do fertilizante”.

A presença de metais pesados, é prejudicial ao ecossistema aquático e prejudica o uso do corpo receptor para o abastecimento humano, irrigação e recreação. O impacto causado pela presença dos tóxicos pode ser avaliado pelos índices de mortalidade provocados após o lançamento, pelos efeitos a longo prazo que são mais difíceis de serem avaliados e usualmente levam a danos fisiológicos que alteram o crescimento e as taxas de reprodução, tornando as populações mais susceptíveis a doenças e desgastes. Vários poluentes tóxicos como, os metais pesados e pesticidas sofrem a chamada bio-acumulação ou ampliação biológica, fenômeno que leva ao aumento da concentração da substância tóxica no tecido dos organismos nos níveis mais elevados da cadeia alimentar. A ingestão desses organismos pelo homem pode causar graves danos à saúde. Muitos tóxicos acumulam-se no sedimento, o que pode tornar a sua permanência no ecossistema bastante longa; a toxicidade depende de vários fatores como, por exemplo, a forma química na qual se encontra o elemento tóxico. A toxicidade depende ainda de complexas interações dos tóxicos com outras características das águas superficiais como dureza, alcalinidade, pH e concentração de oxigênio dissolvido.

De acordo com Gunsé et al (1991), a adição de Cromo ao solo pode causar séria fitotoxicidade, mesmo com concentrações de Cromo total geralmente consideradas inofensivas. Para chegar a essa conclusão os autores realizaram pesquisa com vários tipos de tratamentos envolvendo análises do solo e das sementes de feijão e milho analisando o crescimento das plantas em ambiente suprido com lodo de curtume. Segundo os mesmos pesquisadores, dessa forma, não se pode confiar cegamente em indicadores de cromo total como condição para isenção de fitotoxicidade pois as amostras ensaiadas provaram o contrário. Isto é, apesar de apresentarem valores de cromo totais considerados inofensivos ao consumo humano, as frutas estavam comprometidas com séria fitotoxicidade. Talvez

por isso, em 1988 a CEE- Comunidade Econômica Européia- impôs limites as concentrações de cromo permitidas em solos em 100-200 mg/kg e, em lodos, em 1000-1750 mg/kg, o que na prática impede o uso do lodo de curtume em terras cultivadas e gera problemas para a destinação final dos efluentes.

2.11. MAPEAMENTO COM GEOFÍSICA

Em estudos ambientais, a principal aplicação da geofísica está na avaliação da contaminação do subsolo e das águas subsuperficiais, (GIACHETI et al, 1999). A prospecção geofísica se constitui em um conjunto de técnicas físicas e matemáticas aplicadas à exploração do subsolo visando identificar estruturas, falhamentos ou corpos estranhos. Baseia-se na variação de uma ou mais propriedades físicas do solo e no contraste entre materiais, sejam eles corpos ou estruturas presentes no meio hospedeiro, ou interfaces naturais, produto de estratificações, contatos litológicos, falhamentos, lentes, paleocanais, etc. Os métodos geofísicos são técnicas indiretas de investigação das estruturas de subsuperfície através da aquisição e interpretação de dados instrumentais, caracterizando-se, portanto, como métodos não invasivos ou não destrutivos.

Essa metodologia permite avaliar as condições geológicas locais através dos contrastes das propriedades físicas dos materiais de subsuperfície, por exemplo condutividade ou resistividade elétrica, permissividade dielétrica, magnetismo, densidade, etc, que podem ter como origem as diferenciações litológicas e outras heterogeneidades naturais ou não. Uma das principais vantagens da aplicação das técnicas geofísicas em relação aos métodos tradicionais de investigação de subsuperfície, como por exemplo, as sondagens, é a rapidez na avaliação de grandes áreas com custo relativamente menor. Além disso, os levantamentos geofísicos propiciam a execução de perfis contínuos, possibilitando a identificação com maior precisão das variações laterais decorrentes das mudanças litológicas ou originadas pela presença da contaminação subterrânea

Segundo JUNIOR (2002) a investigação geoambiental apresenta a vantagem de limitar a execução de furos desnecessários que poderiam induzir possíveis zonas

de fluxo de contaminantes. No diagnóstico ambiental de áreas contaminadas, a realização de levantamentos geofísicos tem por objetivo básico a identificação da presença da contaminação subterrânea, além da definição das feições geológicas e hidrogeológicas dos locais investigados. As características do meio geológico, além da natureza da contaminação, podem determinar o comportamento dos contaminantes em subsuperfície.

Nesse contexto, a interpretação dos dados geofísicos pode contribuir para a obtenção de informações sobre a litologia, estratigrafia, profundidade do nível d'água, presença de falhas ou fraturas, existência de aquíferos importantes, caminhos preferenciais de propagação subterrânea e outras feições geológicas de interesse.

Na avaliação da presença da contaminação em profundidade, o emprego dos métodos geofísicos está voltado, especificamente, à localização de valas contendo resíduos, investigação da contaminação disseminada no solo e nas águas subterrâneas, detecção de tambores e tanques enterrados e determinação de vazamentos em tanques ou dutos. A aplicação de dois ou mais métodos geofísicos distintos aumenta a precisão das interpretações, sendo que a natureza dos contaminantes e a geologia local são os fatores decisivos na seleção das técnicas geofísicas a ser utilizadas. Os desvios significativos do padrão normal das medidas geofísicas, que são as anomalias, pode do ponto de vista ambiental, indicar a presença de contaminantes em subsuperfície. A interpretação das anomalias é fundamental, pois pode indicar a intensidade da contaminação presente, proporcionando assim dados importantes para as atividades de diagnóstico, monitoramento da propagação dos contaminantes e acompanhamento da recuperação de uma área contaminada.

De acordo com ELIS (2003), as plumas de contaminação geradas pela maioria das fontes de poluição mais comuns (áreas de disposição de resíduos urbanos e uma grande parte de resíduos industriais) possuem normalmente altas concentrações de sais, como cloretos e sulfatos. Essa característica torna os métodos elétricos e eletromagnéticos de prospecção geofísica especialmente adequados a detecção e mapeamento de pluma de contaminação, pois a presença de sal afeta diretamente a condutividade eletrolítica de solos e rochas.

Dessa forma, as informações derivadas dos levantamentos geofísicos são úteis para a locação dos poços de monitoramento, como também podem fornecer estimativas de área e volume para as atividades de remoção e remediação de solos contaminados. Além disso, podem ser aplicadas para reduzir o risco de perfuração de tanques e tambores enterrados contendo resíduos, ou de dutos e galerias subterrâneas. A realização dos levantamentos geofísicos pode ser efetuada nas diferentes etapas de atividades estabelecidas para o gerenciamento de áreas contaminadas:

Na etapa de investigação confirmatória, as técnicas geofísicas são utilizadas para localizar os pontos de amostragem mais adequados, através da determinação de anomalias que representam os locais com maiores concentrações de contaminantes.

Quando da investigação detalhada e investigação para remediação, os métodos geofísicos podem ser empregados para o mapeamento e monitoramento da propagação da contaminação. Na fase de remediação de áreas contaminadas, estes métodos podem ser aplicados na avaliação da eficiência dos trabalhos de recuperação pela confirmação das reduções das concentrações dos contaminantes.

Segundo MCNEILL (1980) geralmente a condutividade é eletrolítica e é determinada para solos e rochas através dos seguintes parâmetros: a) porosidade, forma e tamanho dos poros, número, tamanho e forma de interconexão das passagens. b) A extensão em que os poros são preenchidos com água e conseqüentemente a umidade contida. c) A concentração de eletrólitos dissolvidos encontrados no solo úmido d) A temperatura e o estado da água dos poros e) A quantidade de composição coloidal. De acordo com AQUINO & CAMARGO (2000), em trabalho para verificar o efeito da adição de lodo de curtume sobre o rendimento e absorção de nutrientes em soja, os maiores impacto da aplicação ao solo dos resíduos do calcário e do lodo de cromo foram a “*elevação acentuada da condutividade elétrica*” possivelmente devido a alta concentração de sódio no mesmo.

MCNEILL (1980), apresenta um exemplo através de um resumo de um trabalho desenvolvido em um aterro sanitário em Camp Borden, Ontário no Canadá, onde foi utilizado o EM-34 no mapeamento de chorume produzido por um aterro sanitário em que a área sob o aterro apresentou valores máximos de condutividade com o dipolo vertical a 15m de profundidade de 40 mS/m e a profundidade de 45m

valores máximos de 60 mS/m. GREENHOUSE et al (1988), relata um trabalho realizado em Novo Horizonte, no estudo da contaminação da água subterrânea de um aterro sanitário, considerou um *background* na área de 5,0 mS/m utilizando o dipolo vertical com alcance aproximado de 15 metros. MC QUOWN (1988), ainda apresenta um trabalho desenvolvido no oeste da Pensilvânia sobre um aterro sanitário de uma indústria química, com métodos eletromagnéticos. Na ocasião foram encontrados valores de condutividade aparente variando de 12 a 65 mS/m. Segundo MC QUOWN, valores para a área maiores que 25 mS/m, sugerem a presença de muita porosidade com preenchimento de seus vazios por outros materiais.

SCHUTTS (1991), comenta em seu trabalho de investigação de contaminação da água subterrânea executado na Carolina do Sul, USA ter encontrado em algumas áreas valores de condutividade aparente entre 7 a 13 mS/m, valores estes que segundo o autor isentam aquelas áreas de qualquer possibilidade de contaminação por material inorgânico.

Uma publicação da USACE (1995), avalia um trabalho em que é usado o método eletromagnético indutivo de investigação nas proximidades de uma mina de carvão em Appalachia- USA onde são encontrados valores de condutividade entre 6 a 10mS/m, sendo considerada pelo manual como característica de remota presença de água subterrânea ou mesmo que ocorra água esta certamente deve ser pouco mineralizada.

HUTCHINSON (2000) citando outros autores em seu trabalho exemplifica que a variação de condutividade em um terreno argiloso pode ser de 20 até 80mS/m, contudo avalia que 30 mS/m pode ser tomado como um valor aceitável de condutividade aparente em terreno argiloso.

Segundo RISCH (2000) na avaliação de um trabalho empregando método eletromagnético indutivo desenvolvido próximo a um depósito de sal em Indiana-U.S.A de 1994 a 1998, os valores de condutividade encontrados na faixa de 70 a 100 mS/m em alguns locais eram compatíveis com análises de água subterrânea em que eram evidentes as altas concentrações de cloretos nas amostras coletadas.

3. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

3.1. LOCALIZAÇÃO:

Situado no oeste da Região Centro Oeste do Brasil, o Estado de Mato Grosso ocupa uma superfície de 906.807km², equivalente a 10,59% da área do país. Limita-se a oeste com Rondônia e Bolívia; a leste, com Tocantins e Goiás, e ao sul, com o Mato Grosso do Sul. Sua capital é Cuiabá

3.1.1. Localização da Área da Pesquisa

Este estudo foi desenvolvido na região Centro Oeste do Brasil, nos municípios de Cuiabá e Várzea Grande, localizada a 15° 35' 56" Latitude Sul e 56° 06' 01" de longitude Oeste e a 176 m do nível do mar (Figura 17). Nesta área encontra-se a divisão das águas das bacias Amazônica e Platina. Entre os principais rios dessas redes hidrográficas estão o Cuiabá e o das Mortes. O Rio Cuiabá que corta a cidade, divide dois municípios: Cuiabá e Várzea Grande.



Figura 17: Localização regional.(Fonte FEMA 2003)

As principais rodovias que dão acesso as áreas estudadas são: Br 364, Br 163 e Br 070.

- Área localizada na cidade de Várzea Grande.

A área está localizada no Município de Várzea Grande na localidade denominada de Capão Grande (Figura 18) a aproximadamente 4 Km da indústria, que foi utilizada durante 10 anos para receber os resíduos (lodo) da Estação de Tratamento de Efluentes do Curtume. Este resíduo era disposto em valas de aproximadamente 2,5 m de largura por 2,5 m de profundidade e comprimento indeterminado onde era usada uma lona de 0,3 mm para impermeabilização. Esta área encontra-se atualmente interdita pela FEMA-MT (Fundação Estadual de Meio Ambiente de Mato Grosso).

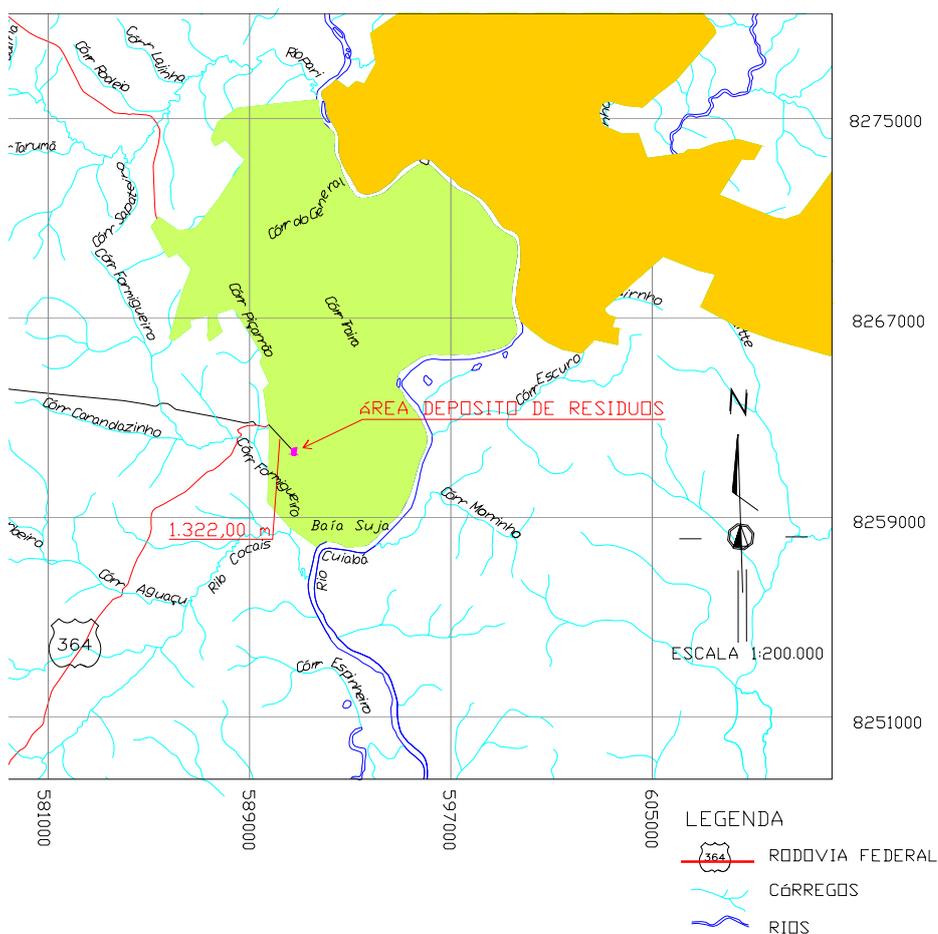


Figura 18: Mapa Hidrográfico mostrando a localização da área de estudo situado no município de Várzea Grande.(Fonte FEMA, 2003)

▪ Área Localizada na Cidade de Cuiabá.

A área localizada na cidade de Cuiabá, situada a aproximadamente 30 Km do perímetro urbano da cidade as margens da Br 364 (Figura 19), anexo a localização da planta industrial de tratamento do couro. Esta área vem sendo utilizada recentemente como depósito de resíduos sólidos de curtume com uma preocupação em atender as normas referentes ao acondicionamento de resíduos sólidos perigosos. No local foi executado uma vala com as dimensões aproximada de 50 m de comprimento, 3,0 m de largura, x 3,0 m de profundidade com impermeabilização de manta de neoprene e cobertura com telha de cimento amianto..

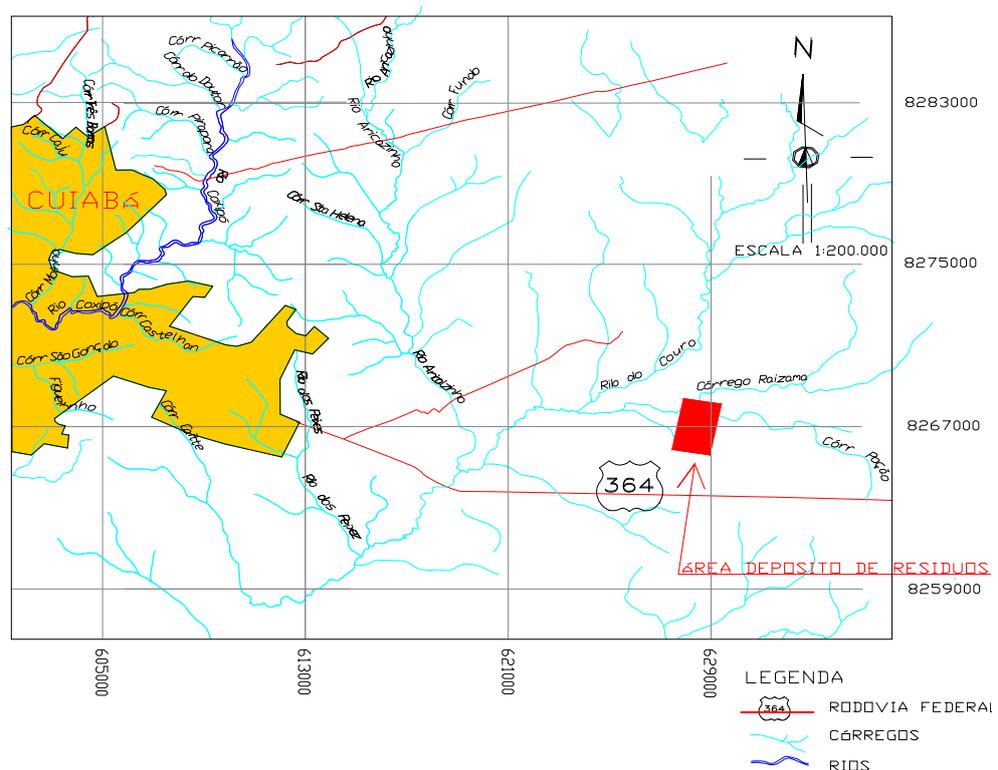


Figura 19: Mapa hidrográfico da área de estudo localizado no município de Cuiabá. (Fonte FEMA,2003)

Na Figura 20 pode-se verificar a localização das duas áreas com a separação de aproximadamente 37 Km em linha reta.

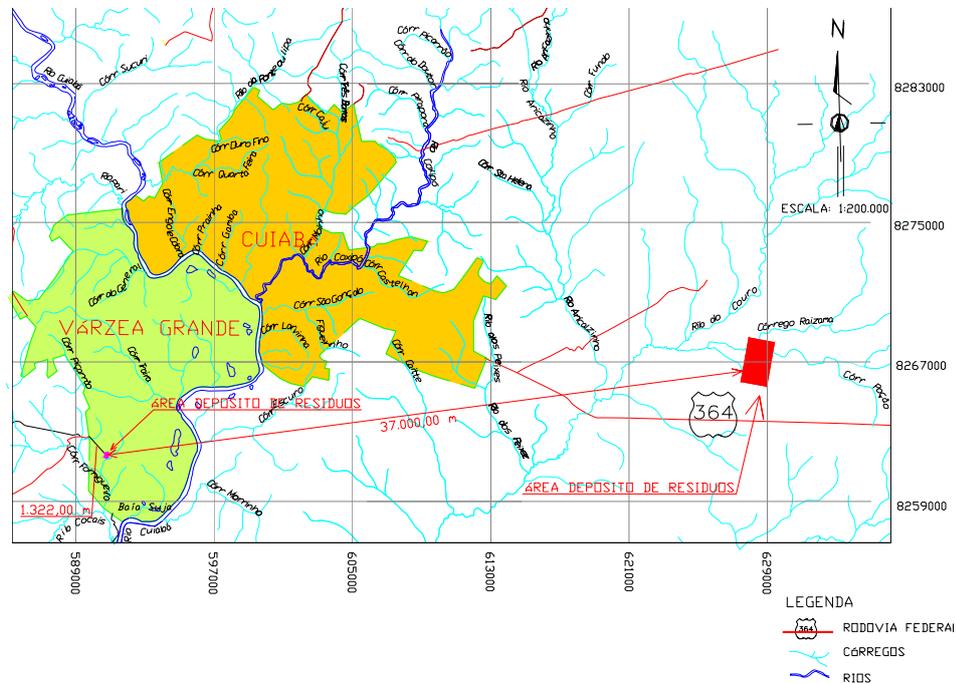


Figura 20: Mapa Hidrográfico mostrando a distância de separação das duas áreas de estudo localizadas em Cuiabá e Várzea Grande. (Fonte FEMA, 2003)

3.2- CARACTERIZAÇÃO FISIO-CLIMÁTICA E VEGETAÇÃO.

3.2.1. Fisiografia

Segundo Migliorini (1999), O conjunto Cuiabá e Várzea Grande situa-se na região Centro-Oeste do Brasil, com a designação de Depressão Cuiabana feita pelo projeto Radambrasil em 1982. Esta região compreende uma área rebaixada entre o Planalto dos Guimarães e a Província Serrana. Limita-se ao sul com o Pantanal Matogrossense, a oeste, noroeste e norte com a província Serrana. O Planalto dos Guimarães está no limite a Leste.

Com relação a caracterização Geomorfológica esta região possui uma topografia rebaixada em torno de 150 a 200m de altitude, com característica de relevo de planície, desenvolvido sobre rochas Pré-Cambrianas fortemente deformadas.

3.2.2 Clima

“O clima da região de Cuiabá e Várzea Grande está na categoria Aw da Classificação de KOPPEN, tropical semi-úmido, (Migliorini, 1999). Caracteriza-se por apresentar duas estações bem definidas: a seca que vai de abril a outubro, e a chuvosa que vai de novembro a março. A pluviometria média anual da região é de 1.350 mm, com sazonalidade marcada por dois períodos bem distintos: no verão verifica-se os maiores índices pluviométricos, que oscila entre 1.000 e 1.500 mm e na estação seca a precipitação chega a ser quase nula (Migliorini, 1999).

3.2.3 Vegetação

Segundo o Projeto RadamBrasil (1982), a vegetação desta região é considerada como de área pertencente à região fitoecológica da savana, correspondente ao que é regionalmente chamado de cerrado.

4. MATERIAL E MÉTODOS

4.1. LEVANTAMENTO TOPOGRÁFICO

O Levantamento topográfico teve como objetivo representar as elevações da área em estudo em relação a um plano topográfico. A representação gráfica deste levantamento são as curvas de nível do terreno que foram desenhadas após serem processadas através do software Surfer (GOLDEN, 1994). Para o registro das cotas do terreno foi tomado como base um nível arbitrário. O levantamento constou da realização ao longo das linhas de investigação de visadas à vante e visadas à ré. A visada à vante consistiu em visar uma régua graduada no ponto posterior à posição da localização do aparelho, enquanto que as visadas à ré consistiam em visar a régua graduada no ponto anterior a localização do aparelho. O resultado das visadas é a diferença de altura entre o aparelho (Nível) (Figura 21) e o ponto onde foi instalada a régua graduada.



Figura 21: Nível da marca Leica em que foi realizado o trabalho de altimetria.

Dessas alturas registradas em campo procedeu-se ao processamento das curvas de nível em que as linhas representam o relevo do terreno.

4.2. TEORIA ELETROMAGNÉTICA .

4.2.1 - Princípios Básicos

A Teoria Eletromagnética fundamenta-se nas equações de Maxwell, descrevendo o comportamento do campo magnético em qualquer meio. As relações que constituem o meio, relacionam o campo elétrico externo aplicado ao campo interno pelas propriedades elétricas (condutividade elétrica e permissividade dielétrica) e magnética (permeabilidade magnética).

Oersted em 1820, observou que a corrente elétrica que percorre um fio também pode produzir efeitos magnéticos, isto é que ela pode mudar a orientação da agulha de uma bússola (HALLYDAY,2003). Pela primeira vez havia sido demonstrado experimentalmente a relação entre os fenômenos elétricos e magnéticos. Mais tarde outros cientistas como Joseph Henry e Michael Faraday verificaram o inverso de que uma corrente elétrica surgia quando um ímã era deslocado nas proximidades de um condutor.

Maxwell, baseou-se nos trabalhos e experiências de Ampère, Gauss e Faraday para elaborar a sua teoria. Coube a Maxwell através das suas equações sintetizar e harmonizar as leis empíricas de Ampère e de Faraday, generalizando-as em função de posição e de tempo constituindo até hoje a “Teoria Eletromagnética” fundamentada nas chamadas equações de Maxwell descrevendo o comportamento do campo magnético em qualquer meio. Para tanto Maxwell introduziu a noção da corrente de deslocamento que generalizou a Lei de Ampere e a fez ficar válida em todas as situações.

Estas equações relacionam o campo elétrico (\mathbf{E}) e o campo magnético (\mathbf{B}) (Fig. 22) juntamente com suas variações no espaço (representadas pelo operador diferencial nábla ∇) e no tempo $\left(\frac{\partial}{\partial t}\right)$.

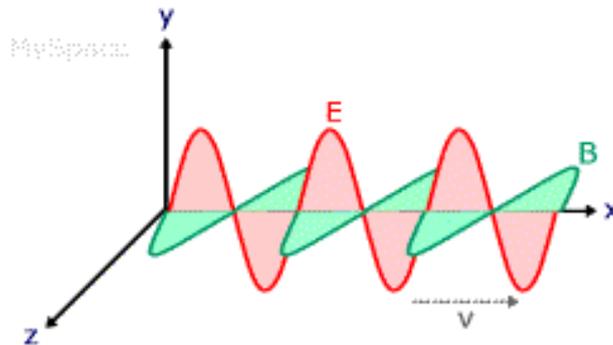


Figura 22. Esquema mostrando a propagação de um campo eletromagnético
(Fonte: <http://myspace.eng.br/fis/eletr/eletr6A.asp>)

O campo eletromagnético (Figuras 22 e 23) se caracteriza por quatro funções vetoriais dependentes da posição no espaço (x, y, z em metros) e do tempo: o campo elétrico \mathbf{E} , a densidade de fluxo elétrico \mathbf{D} , o campo magnético \mathbf{H} , e a densidade de fluxo magnético \mathbf{B} . As leis básicas do campo eletromagnético são as equações de Maxwell que relacionam esses quatro vetores.

$$\nabla \times \mathbf{E} + \frac{\partial \mathbf{B}}{\partial t} = 0 \quad (1)$$

$$\nabla \cdot \mathbf{D} = \rho \quad (2)$$

$$\nabla \times \mathbf{H} = \mathbf{j} + \frac{\partial \mathbf{D}}{\partial t} \quad (3)$$

$$\nabla \times \mathbf{B} = 0 \quad (4)$$

A equação $\nabla \times \mathbf{H} = \mathbf{j} + \frac{\partial \mathbf{D}}{\partial t}$ também conhecida como Lei de Ampère, (Fig. 23 e 24) demonstra que quando uma corrente flui ao longo de um condutor, existe um campo magnético em uma direção perpendicular.

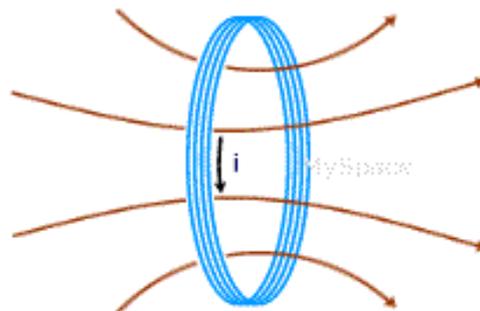


Figura 23. Esquema mostrando a propagação do campo elétrico primário.
(Fonte: <http://myspace.eng.br/fis/eletr/eletr4.asp>)

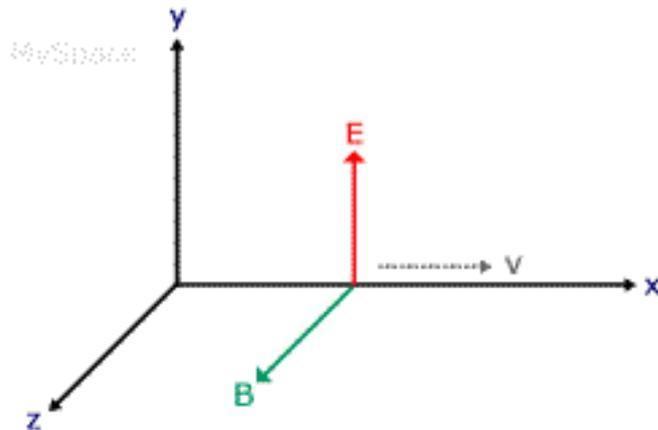


Figura 24: Os vetores de campo elétrico e magnético (**E** e **B**) são perpendiculares entre si e paralelos aos eixos de coordenadas.

(Fonte: <http://myspace.eng.br/fis/eletr/eletr6A.asp>)

A Lei de Faraday, $\nabla \times \mathbf{E} + \partial \mathbf{B} / \partial t = 0$ expressa o fenômeno da indução eletromagnética. Esta equação verifica a variação do fluxo magnético com o tempo induzindo uma voltagem em seu redor. O campo elétrico **E** é produzido pela variação do campo indução magnética **B**. Desse modo, um campo magnético alternado oscilando com determinada freqüência induz uma corrente também alternada e de mesma freqüência em um condutor próximo. Este fenômeno é a base para a aplicação do método geofísico eletromagnético.

O processo representado na Figura 25 é conhecido como indução eletromagnética, onde a Corrente AC fluindo na bobina cria um campo eletromagnético primário nas proximidades da bobina.

Como apresentado anteriormente, quando se estabelece uma corrente AC, num fio colocado sobre a superfície do terreno, fluem correntes elétricas nos condutores subsuperficiais.

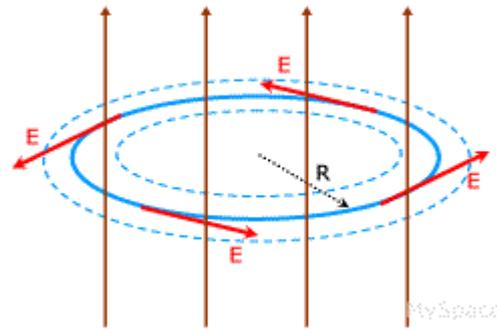


Figura 25: Ampliação de um modelo de campo elétrico em uma bobina.

(Fonte: <http://myspace.eng.br/fis/eletr/eletr5.asp>)

Estas 4 equações não contém, explicitamente, nenhuma informação sobre as propriedades elétricas e magnéticas dos meios onde os campos atuam. Para isso, é necessário introduzir as relações constitutivas:

4.2.2 - Relação entre a densidade de corrente de condução (\mathbf{J}) e o campo elétrico (\mathbf{E})- Lei de Ohm.

Nas condições físicas encontradas no ambiente superficial da Terra, as formas de cargas elétricas livres mais importantes são os elétrons nos minerais metálicos e os íons contidos nas soluções eletrolíticas inclusas nos poros, fissuras e fraturas das rochas. A ocorrência dessas cargas elétricas, livres para se deslocar sob a ação de campos elétricos, caracteriza um meio condutor. Porém, acompanhando a trajetória de uma dessas cargas, ver-se-ia que ela seria bastante complicada. Além da força elétrica, a partícula carregada interage continuamente com o meio do qual ela faz parte mas, estatisticamente, pode-se admitir uma velocidade média de deslocamento. Considerando uma taxa de deslocamento de cargas por unidade de área, pode-se definir que a densidade de corrente de condução \mathbf{J} é linearmente proporcional ao campo elétrico \mathbf{E} e a constante de proporcionalidade é a condutividade elétrica σ . Assim:

$$\mathbf{J} = \sigma \mathbf{E} \quad (5)$$

O parâmetro σ designa-se por **condutividade** elétrica do material e é um escalar: a densidade de corrente tem a direção e sentido do campo. A lei de ohm é válida para os metais e soluções químicas. Há no entanto materiais para os quais ela

não se verifica, por exemplo os materiais semicondutores. Mesmo nos metais a lei não se aplica a determinadas temperaturas muito baixas

À grandeza inversa da condutividade dá-se o nome de *resistividade* elétrica:

$$\rho = 1/\sigma \quad (6)$$

Considerando-se agora o caso particular de um condutor de secção reta S e comprimento L . Ao ligarem-se os seus extremos a uma fonte de tensão com uma diferença de potencial U , o campo elétrico que se estabelece no condutor será, em módulo, $E = U / L$. Pela Lei de ohm estabelece-se no condutor uma densidade de corrente tal que:

$$J = \sigma E = \sigma U / L \quad (7)$$

mas como $J = I / S$, fica $I = \frac{S}{L} \sigma U$ ou ainda:

$$U = R \cdot I \quad R = \sigma \frac{L}{S} \quad (8)$$

A constante de proporcionalidade σ é denominada condutividade elétrica (S/m). Em meios isotrópicos, σ é uma grandeza escalar. Em muitas situações as formações geológicas são anisotrópicas, em que a condutividade é uma matriz, deixando o vetor \mathbf{J} de ter o sentido do campo elétrico, e nesse caso, a condutividade elétrica é um tensor do tipo :

$$[\sigma] = \begin{bmatrix} \sigma_x & 0 & 0 \\ 0 & \sigma_y & 0 \\ 0 & 0 & \sigma_z \end{bmatrix}$$

onde σ_x , σ_y , σ_z são as condutividades na direção dos eixos principais de anisotropia. No vácuo σ é identicamente nula.

4.2.3- Relação entre o campo indução magnético (\mathbf{B}) e o campo magnético (\mathbf{H}).

Na maioria das situações, a relação entre a indução magnética \mathbf{B} e o campo magnético \mathbf{H} , é adotado na forma :

$$\mathbf{B} = \mu \mathbf{H} \quad (9)$$

Onde a constante de proporcionalidade μ é denominada de permeabilidade magnética. No vácuo a permeabilidade magnética μ_0 , é igual a $4\pi \times 10^{-7}$ H/m. O efeito da variação da permeabilidade magnética não é considerado quando são feitas medidas eletromagnéticas na terra, por admitir-se que a mesma não varia significativamente em relação a permeabilidade magnética do espaço livre (OLHOEFT, apud BORGES, 2002).

4.2.4 - Relação entre a corrente de deslocamento (D) e o campo elétrico (E)

A relação entre a corrente de deslocamento (D) e o campo elétrico (E) obedece a relação :

$$D = \varepsilon E \quad (10)$$

onde a constante de proporcionalidade ε é denominada de permissividade elétrica. No vácuo a permissividade dielétrica do material ε_0 , é aproximadamente igual a $\frac{1}{36\pi} \times 10^{-9}$ F/m. O Deslocamento é caracterizado pela movimentação dos elétrons, núcleos e moléculas polares da posição de equilíbrio neutro para outra (polarizada), devido a influência de um campo elétrico externo (KELLER, apud BORGES, 2002).

A condutividade elétrica, a permissividade dielétrica e a permeabilidade magnética constituem os parâmetros que descrevem as propriedades eletromagnéticas de um meio e do vácuo. Nas rochas da crosta terrestre, a condutividade elétrica apresenta, em média, uma faixa de variação entre 10^{-1} S/m a 10^{-5} S/m. Os outros dois parâmetros variam muito pouco quando comparados aos valores no vácuo. Portanto, os valores destes parâmetros podem ser considerados constantes para as rochas da crosta terrestre, ou seja $\mu \approx \mu_0 = 4\pi \times 10^{-7}$ H/m e

$$\varepsilon \approx \varepsilon_0 = \frac{1}{36\pi} \times 10^{-9} \text{ F/m.}$$

Geralmente as propriedades eletromagnéticas nas rochas não variam com o tempo, com exceção, da condutividade elétrica, em alguns casos especiais tratados pelo método geofísico da Polarização Elétrica Induzida, (MIRANDA, 2001).

Substituindo as equações das relações constitutivas (5), (9) e (10), obtém-se as equações de Maxwell na forma acoplada, mais conveniente para os objetivos geofísicos:

$$\nabla \times \mathbf{E} = -\mu \frac{\partial \mathbf{H}}{\partial t} \quad (11)$$

$$\nabla \times \mathbf{H} = \sigma \mathbf{E} + \varepsilon \frac{\partial \mathbf{E}}{\partial t} + \mathbf{J} \quad (12)$$

$$\nabla \cdot (\mu \mathbf{H}) = 0 \quad (13)$$

$$\nabla \cdot (\varepsilon \mathbf{E}) = q \quad (14)$$

Relações Constitutivas:

$$\mathbf{J} = \sigma \mathbf{E}$$

$$\mathbf{B} = \mu_0 \mathbf{H}$$

$$\mathbf{D} = \varepsilon_0 \mathbf{E}$$

Onde: \mathbf{E} é o campo elétrico (V/m)

\mathbf{B} é a densidade de fluxo magnético ($\text{Wb/m}^2 = \text{Vs/m}^2$)

\mathbf{D} é a densidade de fluxo elétrico (C/m^2)

\mathbf{H} é o campo magnético (A/m)

\mathbf{J} é a densidade de corrente elétrica (A/m^2)

ρ e \mathbf{j} são as densidades de carga e corrente.

μ_0 é a permeabilidade magnética do vácuo

ε_0 é a constante dielétrica do vácuo

Sob certas condições essas quatro equações são válidas para qualquer meio onde exista o campo eletromagnético

Os meios materiais podem ser divididos segundo suas características em condutores, dielétricos, magnéticos e semi-condutores de acordo com a importância

dos fenômenos físicos da condução, polarização, magnetização ou se a condução e a polarização são da mesma ordem de grandeza. Diz-se ainda que um meio é linear quando suas características físicas (ϵ , μ , λ ou σ) são independentes da intensidade do campo aplicado. Se essas características dependem da orientação dos campos, então o meio é dito anisotrópico, caso contrário ele é isotrópico. Se ainda essas características dependem da posição, o meio é dito ser não-homogêneo. Embora essas características possam variar com o tempo em alguns casos essa variação pode ser ignorada (PHILLIPS, 2004).

4.3- MÉTODOS ELETROMAGNÉTICOS EM GEOFÍSICA

Os métodos elétricos e eletromagnéticos são amplamente utilizados na exploração de recursos minerais, de hidrocarbonetos e da água subterrânea. Estes métodos geofísicos se baseiam no estudo da distribuição de correntes e cargas elétricas induzidas por campos eletromagnéticos gerados natural ou artificialmente. A análise da distribuição dessas correntes e cargas elétricas é, em geral, muito difícil devido a complexidade das estruturas geológicas, (BATISTA, 2001)

Segundo PORSANI (2004), as propriedades elétricas principais dos materiais a serem consideradas em um estudo geológico são a condutividade elétrica, a permissividade dielétrica e a permeabilidade magnética. Apesar de serem importantes no contexto geral de um estudo eletromagnético, tanto na atenuação como na propagação das ondas eletromagnéticas, em geral a condutividade é dominante para ondas EM de baixas frequências ($\text{freq} < 1 \text{ MHz}$), enquanto que em altas frequências ($\text{freq} > 1 \text{ MHz}$) a permissividade dielétrica é dominante. No caso da permeabilidade magnética supõem-se que esta seja independente da frequência na maioria dos materiais geológicos e com isso não variando significativamente em relação a permeabilidade magnética do espaço livre. Em alguns casos especiais, em formações geológicas mais complexas, anisotrópicas, a permeabilidade magnética não pode ser totalmente ignorada, necessitando de análises mais complexas.

A descrição das propriedades eletromagnéticas de um meio semelhante às rochas da crosta terrestre se resume, assim em determinar a variação dos parâmetros eletromagnéticos dentro do meio, sendo a condutividade elétrica o mais importante, a

partir do conhecimento da distribuição de um ou mais componentes do campo eletromagnético no seu contorno. Em prospecção geofísica terrestre, o meio é constituído pela subsuperfície e o contorno é a superfície do terreno (Batista, 2001).

Os métodos eletromagnéticos em Geofísica são distinguidos por:

1-Uso de diferentes frequências como forma de investigar a terra (e outros planetas). Algumas vezes as técnicas são desenvolvidas no domínio da frequência, usando o espectro das frequências naturais ou, com uma fonte controlada, através de frequências fixas (Método FDEM- Eletromagnético Domínio da Frequencia). Algumas vezes as maravilhas da teoria de Fourier são empregadas na transmissão de um único sinal (como função do tempo) contendo muitas frequências (Método TDEM- Eletromagnético Domínio do Tempo). Estas técnica tem se tornado muito populares.

2- Operando em baixa frequência, as correntes de condução predominam sobre correntes de deslocamento. O inverso também é verdadeiro para o método GPR- Radar de Penetração no Solo, onde correntes de deslocamento predominam sobre correntes de condução. O método GPR, utiliza-se do fenômeno de propagação da onda, tornando-se fácil de ser entendido em termos de óptica geométrica. A reflexão e a refração de ondas planas são governadas pela Lei de Snell e pelas Equações de Fresnel. A Lei de Snell especifica uma relação angular entre a onda EM incidente, a onda refletida e a onda refratada. As Equações de Fresnel relacionam as amplitudes dos campos elétrico e magnético (PORSANI, 2004).

Relembrando as equações de Maxwell, elas podem ser combinadas na forma de equações de ondas envolvendo o campo elétrico \mathbf{E} e o campo magnético \mathbf{H} (PHILLIPS, 2004):

$$\nabla^2 \mathbf{E} - \mu\sigma \frac{\partial \mathbf{E}}{\partial t} - \mu\epsilon \frac{\partial^2 \mathbf{E}}{\partial t^2} = 0 \quad (15)$$

$$\nabla^2 \mathbf{H} - \mu\sigma \frac{\partial \mathbf{H}}{\partial t} - \mu\epsilon \frac{\partial^2 \mathbf{H}}{\partial t^2} = 0 \quad (16)$$

Escrevendo a equação da onda abaixo em 1-D:

$$\frac{\partial^2 H_x}{\partial z^2} - \mu\sigma \frac{\partial H_x}{\partial t} - \mu\varepsilon \frac{\partial^2 H_x}{\partial t^2} = 0 \quad (17)$$

e na forma harmônica

$$H_x = H_x(\omega, z)e^{-i\omega t}$$

como $\omega = 2\pi f$

A segunda derivada em relação a profundidade z desta ultima equação é:

$$\frac{d^2 H_x}{dz^2} + (\omega^2 \mu\varepsilon + i\omega\mu\sigma)H_x = 0 \quad (18)$$

que pode-se reescrever como:

$$\frac{d^2 H_x}{dz^2} + i\omega\mu\sigma \left(1 - i \frac{\omega\varepsilon}{\sigma}\right) H_x = 0 \quad (19)$$

O primeiro termo em paranteses fornece a contribuição relativa de *correntes de condução*, e corresponde ao termo $\frac{\partial}{\partial t}$ da equação da onda. O segundo termo entre parênteses corresponde a *correntes de deslocamento* e correspondem ao termo $\frac{\partial^2}{\partial t^2}$ na equação da onda. Para frequências muito altas, e particularmente se $\frac{\omega\varepsilon}{\sigma} \gg 1$, o segundo termo é dominante e descreve o comportamento da onda EM como em um dielétrico. O comportamento EM que é verdadeiro para a propagação de ondas como no caso do GPR. Se, de outra forma $\frac{\omega\varepsilon}{\sigma} \ll 1$, trabalha-se com o comportamento da onda EM em um condutor. Nesse caso conserva-se somente o termo $\frac{\partial}{\partial t}$, e temos:

$$\frac{\partial^2 H_x}{\partial z^2} - \mu\sigma \frac{\partial H_x}{\partial t} = 0 \quad (20)$$

O transporte de energia eletromagnética é feita por difusão, não pela propagação da onda. Este é o regime da maioria dos métodos eletromagnéticos.

4.3.1.- Método TDEM (Eletromagnético Domínio do Tempo)

Um problema muito importante em muitas técnicas de pesquisa que investigam EM é que o campo magnético secundário (fraco) deve ser medido na presença de um campo primário muito maior, com uma conseqüente diminuição de precisão (PHILLIPS,2004). Isto é evitado até certo ponto na definição do método (FDEM- Eletromagnético Domínio do Tempo) medindo aproximadamente o componente fora de fase. Em uma definição simplificada do método TDEM, o sinal não é uma freqüência continua mas ao invés consiste por uma série de pulsos separadas por períodos onde não há nenhum sinal gerado, mas o campo secundário mais fraco é medido. As correntes de indução circulam em torno do condutor de subsuperfície difundindo para fora quando a energia induzida é interrompida repentinamente. A medida do campo a vários períodos é equivalente a medida de várias freqüências em um sistema FDEM.

Normalmente sistemas de duas bobinas são usados e os resultados podem ser empilhados para reduzir o ruído. Modelando a diminuição para sistemas de camadas, e uma mais complicada geometria de condutividade, pode ser definida como (PHILLIPS,2004) :

$$H_x \approx \text{erf} \left(z \sqrt{\frac{\mu\sigma}{4t}} \right) \quad (21)$$

onde erf é uma função do erro com a propriedade que erf (0) = 0, erf (∞) = 1. Se em um semi-espaco tem um campo magnético constante H que é de repente desligado, então a solução será:

$$H_x = H^0_x \text{erf} \left(z \sqrt{\frac{\mu\sigma}{4t}} \right) \quad (22)$$

Esta descrição não apresenta a solução para o problema mais complicado de uma fonte finita semelhante um transmissor em forma de bobina, mas dá os fundamentos físicos da diminuição do campo magnético no solo (Figura 26).

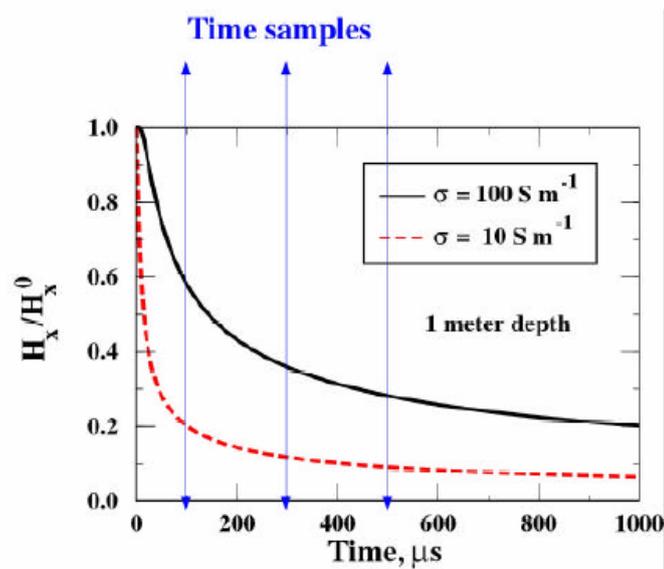


Figura 26. Diminuição do campo magnético em um semi-espaço (Phillips,2004).

A Figura 26 apresenta o comportamento do campo para duas condutividades diferentes. Se amostragem em tempos diferentes fossem registradas, então poderia ser feita a distinção entre as duas condutividades. Este é o princípio do Eletromagnético Domínio do Tempo (TDEM).

4.3.2- Método FDEM (Eletromagnético Domínio da Frequência)

Em exploração geofísica, a variação temporal da densidade de corrente J na fonte é em geral na forma de pulso de curta duração ou na forma senoidal. No primeiro caso, denomina-se regime no domínio do tempo ou transiente eletromagnético e no segundo de domínio da frequência. Em algumas outras situações, a densidade de corrente elétrica na fonte é considerada constante, e nesses casos o regime é dito galvânico ou por corrente contínua (DC).

A transformação do domínio do tempo para o domínio da frequência se faz através da transformada de Fourier. A transformação inversa (domínio da frequência para o domínio do tempo) é feita através da transformada inversa de Fourier.

Recordando as discussões das equações de Maxwell, elas podem ser combinadas em uma equação de onda envolvendo o campo elétrico \mathbf{E} e o campo magnético \mathbf{H} :

$$\nabla^2 \mathbf{E} - \mu\sigma \frac{\partial \mathbf{E}}{\partial t} - \mu\varepsilon \frac{\partial^2 \mathbf{E}}{\partial t^2} = 0 \quad (23)$$

e

$$\nabla^2 \mathbf{H} - \mu\sigma \frac{\partial \mathbf{H}}{\partial t} - \mu\varepsilon \frac{\partial^2 \mathbf{H}}{\partial t^2} = 0 \quad (24)$$

que pode-se ser reescrita como:

$$\frac{\partial^2 E_x}{\partial z^2} - \mu\sigma \frac{\partial E_x}{\partial t} - \mu\varepsilon \frac{\partial^2 E_x}{\partial t^2} = 0 \quad (25)$$

e assume um campo harmônico da forma ($\omega = 2\pi f$)

$$E_x = E_x(\omega, z)e^{-i\omega t}$$

$$\frac{d^2 E_x}{dz^2} + (\omega^2 \mu\varepsilon + i\omega\mu\sigma)E_x = 0$$

$$\frac{d^2 E_x}{dz^2} + k^2 E_x = 0$$

Onde define-se a constante de propagação:

$$K^2 = \omega^2 \mu \varepsilon + i \omega \mu \sigma \quad (26)$$

$$K = \alpha + i\beta$$

O primeiro termo representa a corrente de deslocamento e o segundo termo, correntes de condução. Isto volta para a Lei de Ampère na forma harmônica:

$$\nabla \times \mathbf{H} = -i\omega \mathbf{D} + \mathbf{J} \quad (27)$$

$$\nabla \times \mathbf{H} = -i\omega \varepsilon \mathbf{E} + \sigma \mathbf{E} \quad (28)$$

Assim a equação da onda pode ser escrita:

$$\left(\frac{d^2}{dz^2} + K^2 \right) E_x = 0$$

como onda plana:

$$E_x = Ae^{ikz} + Be^{-ikz} = Ae^{i\alpha z} e^{-\beta z} + Be^{-i\alpha z} e^{+\beta z} \quad (29)$$

aqui presume-se que a frequência é muito baixa e que então nós podemos eliminar as correntes de deslocamento. Isto é equivalente a tangente da perda

$$\tan \delta = \frac{\sigma}{\omega \varepsilon} \quad (30)$$

A Figura 27 é um gráfico de profundidade de penetração ($1/\beta$), tangente da perda, e comprimento de onda efetivo versus frequência. É claro que altas frequências (radar) alcançam o espectro de ótimas resoluções mas pouca penetração. O oposto é verdadeiro com as baixas frequências.

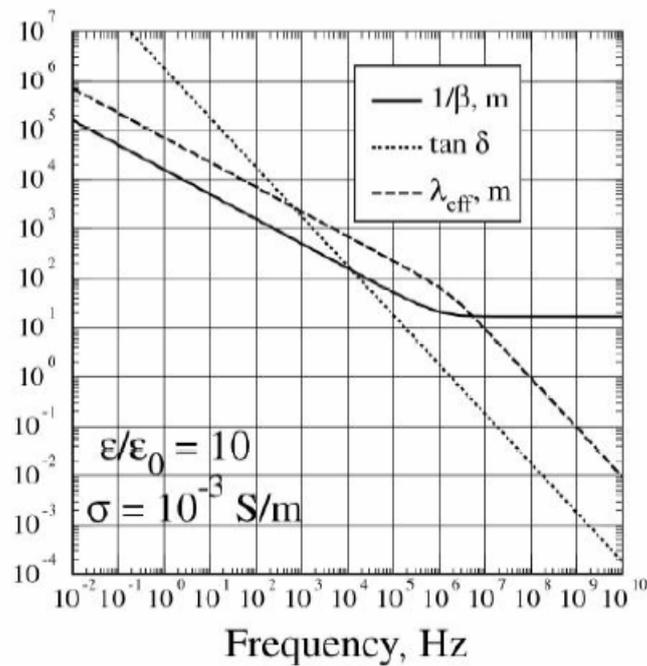


Figura 27. Profundidade de penetração, tangente de perda e efetivo comprimento de onda versus frequência (Phillips,2004).

A vantagem principal é que a fonte de campo EM pode ser muito bem controlado. No caso do emprego de um método EM de fonte natural ou descontrolada, a profundidade de penetração fica necessariamente limitada. Existem uma variedade de instrumentos e técnicas de FDEM (Eletromagnético Domínio da Frequência). Na Figura 28 é apresentado uma analogia com a Lei de Ampère (campos magnéticos dando origem a correntes de condução) e Lei de Faraday (corrente dando origem a variação periódica do campo magnético secundário) contribuindo para a produção de um campo magnético secundário na bobina receptora.

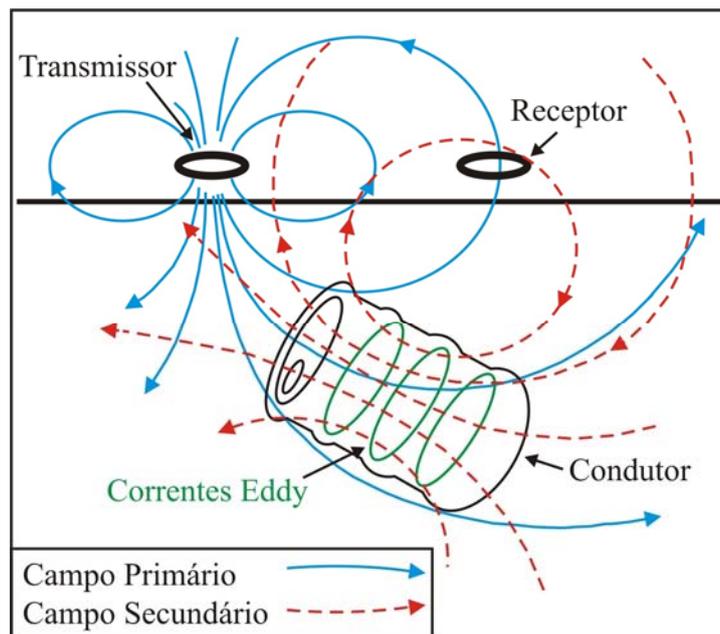


Figura: 28 Modelo mostrando o funcionamento do equipamento EM-34 através dos campos magnético primário e secundário (Borges, 2002).

O Campo Magnético primário causa o fluxo de correntes secundárias (*eddy currents*) em qualquer condutor presente. As correntes secundárias, ao fluírem pelo condutor criam um novo campo, o campo magnético secundário, que traz consigo informações sobre o condutor. O campo secundário altera o primário e como consequência disso tem o campo resultante, que nada mais é do que uma composição do primário com o secundário.

A bobina transmissora emite um campo magnético primário H_p , que induz em subsuperfície correntes elétricas que geram um campo secundário H_s . A combinação destes dois campos é medida pela receptora (Figura 28). Em determinadas condições, definidas teoricamente como “operação de baixa indução”, admite-se que a relação entre os módulos dos dois campos seja dada por $H_s = k.H_p$. Onde k depende da frequência do campo, da permeabilidade magnética do material no vácuo, do espaçamento entre as bobinas e da condutividade elétrica do meio.

A bobina receptora mede primeiramente o campo magnético secundário. No EM-34 é estabelecido um campo primário como uma referência de fase e uma componente fora de fase dependendo da condutividade do solo. O acoplamento dos campos depende da orientação da bobina com o terreno. Uma orientação comumente

usada e indicada pelo fabricante da unidade EM-34 a Geonics é apresentada na Figura 29.

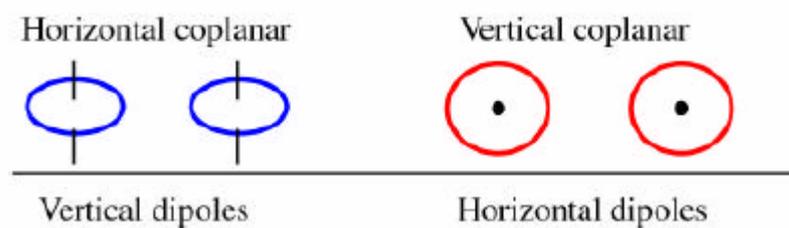


Figura 29: Orientação das Bobinas (Phillips, 2004)

Com vários diâmetros de bobina, o campo eletromagnético registra as características do dipolo magnético. Na Figura 30 é apresentada a posição do campo elétrico **E** perpendicular a bobina.

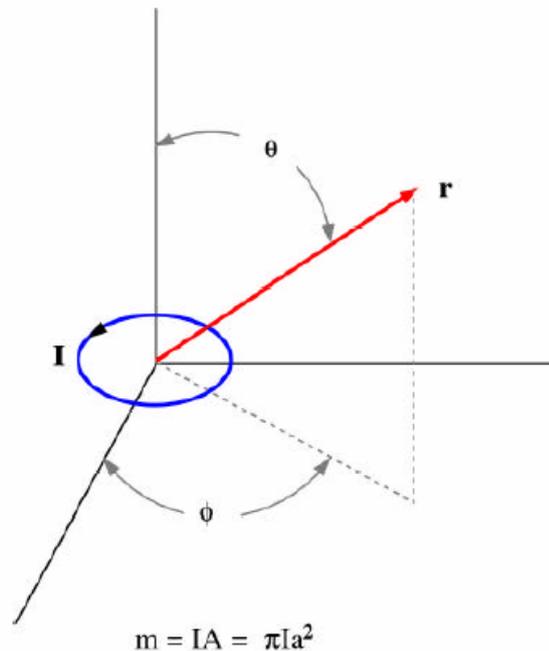


Figura 30. Posicionamento do Campo Elétrico perpendicular a Bobina. (Phillips, 2004)

Na unidade do EM-34 por exemplo, o transmissor e o receptor dos campos são conectados por um cabo para transmitir uma referência de fase. Por definição o sinal do transmissor que deixa a bobina é em fase somente. A presença de um solo

condutor produz um campo secundário em fase e em quadratura (fora de fase). A componente quadratura portanto é extremamente sensível a condutividade do solo com a componente em fase seria forçado uma separação entre o campo magnético secundário e o campo magnético primário.

Conforme descrito anteriormente, durante a operação, uma corrente oscilante de frequência conhecida passa a circular na bobina transmissora. A mesma produzirá um campo magnético primário, que induzirá uma força eletromotriz e, conseqüentemente corrente em corpos condutores existentes na subsuperfície. O campo secundário, por sua vez, induzirá uma voltagem oscilante na bobina receptora que alcança o seu máximo num tempo diferente daquele em que o máximo do campo primário é alcançado (USACE, 1995). Por isso, os campos primário e secundário são ditos estarem fora de fase. A voltagem induzida pelo campo secundário é separada em duas componentes durante a sua medida na bobina receptora: uma que se encontra em fase com o campo primário (componente em fase ou componente real) e uma segunda que se encontra um quarto de período fora de fase (componente em quadratura ou componente imaginária).

As medidas do campo magnético secundário são tomadas como porcentagens do primário gerado no transmissor, o qual é transmitido ao receptor via cabo. A modificação do campo eletromagnético medido no receptor em relação ao campo primário, depende das distribuições das condutividades elétricas dos diferentes meio na subsuperfície do terreno (BAHIA, 2004).

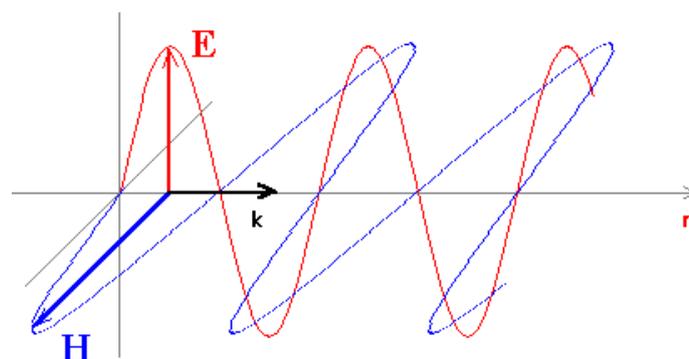


Figura 31: Fases do campo eletromagnético.

Em um meio indefinido, os vetores **E** e **H** são sempre ortogonais, ou seja, no espaço, fazem um ângulo de 90 graus. Podem estar em fase, (como no vácuo) na Figura 31, ou não, ou seja, podem não ter máximos ou mínimos simultaneamente

O EM-34 mede ambos o em fase e a componente quadratura. O componente em fase é usado para medições eletrônicas de 3 distâncias pré definidas (10,20 e 40 metros) usados na unidade. A condutividade do solo é obtida somente do componente quadratura. Como o solo não é um semi-espaço homogêneo de condutividade constante, a condutividade determinada pelo EM-34 é uma condutividade aparente σ_a .

4.3.2.1. Condutividade Aparente e Profundidade de Penetração

Considerando as configurações das duas bobinas apresentadas na Figura 31 Em cada caso a bobina transmissora é energizada com corrente alternada a uma frequência f hertz. A quantidade medida é uma relação entre o campo magnético secundário medido no receptor e o campo magnético primário, quando ambas as bobinas são colocadas coplanares sobre a superfície de um semi-espaço homogêneo (considerando o vácuo). O espaçamento entre as bobinas é medido em metros. As relações entre os campos magnéticos para as configurações de dipolo vertical e horizontal são dadas pelas equações (31) e (32) (Mc Neill, 1980).

$$\left(\frac{H_s}{H_p}\right)_V = \frac{2}{(\gamma s)^2} \left\{ 9 - \left[9 + 9\gamma s + 4(\gamma s)^2 + (\gamma s)^3 \right] e^{-\gamma s} \right\} \quad (31) \quad \text{Vertical}$$

$$\left(\frac{H_s}{H_p}\right)_H = 2 \left[1 - \frac{3}{(\gamma s)^2} + \left[3 + 3\gamma s + (\gamma s)^2 \right] \frac{e^{-\gamma s}}{(\gamma s)^2} \right] \quad (32) \quad \text{Horizontal}$$

onde: $\gamma = \sqrt{i\omega\mu \circ \sigma}$

$$\omega = 2\pi f$$

f = frequência (Hz)

$\mu \circ$ = permeabilidade do vácuo $i = \sqrt{-1}$

Estas expressões são funções complexas da variável (γ^s) que é transformada em uma função complexa de frequência e condutividade. Porém como é mostrado a seguir, sob certas condições estas podem vir a ser simplificadas. Uma característica bem conhecida de um semi-espaço homogêneo é a penetração da corrente elétrica na superfície, que é definida como a distancia de propagação da onda plana onde a amplitude sofre a atenuação de $1/e$ da amplitude da superfície.

A penetração é dada por :

$$\delta = \sqrt{\frac{2}{\omega\mu_0\sigma}} = \frac{\sqrt{2i}}{\gamma} \quad (33)$$

e portanto:

$$\gamma^s = \sqrt{2i} \frac{s}{\delta}$$

A relação s/δ , o espaço entre as bobinas dividido pela profundidade de penetração, é definido como indução B, em que :

$$\gamma^s = \sqrt{2i} B$$

Pela equação (33) está claro que para atingir profundidades maiores será preciso trabalhar com menores frequências (OSKOOI, 2004)

Agora se **B** for muito menor que a unidade (com $\gamma^s \ll 1$) é uma forma simples de mostrar que as relações de campo magnético das equações (31) e (32) podem ser reduzidas a uma simples expressão:

$$\left(\frac{H_s}{H_p}\right)_v \cong \left(\frac{H_s}{H_p}\right)_H \cong \frac{iB^2}{2} = \frac{i\omega\mu_0\sigma s^2}{4} \quad (34)$$

A magnitude do campo magnético secundário é agora diretamente proporcional a condutividade do terreno e a fase do campo magnético secundário orientado em 90° em relação ao campo magnético primário.

Para fazer B muito menor que a unidade deve-se ter (s) muito menor que (δ) e assim :

$$\omega \ll \frac{2}{\mu_0 \sigma s^2} \quad (35)$$

Isto é, tendo definido um valor para (s) (que fixa a efetiva profundidade de penetração sob a condição $B \ll 1$), a condutividade provável máxima é estimada e a frequência de operação é alterada de modo que a equação (35) estará sempre satisfeita.

A condutividade aparente que o instrumento lê é definido pela equação:

$$\sigma_a = \frac{4}{\omega \mu_0 s^2} \left(\frac{Hs}{Hp} \right)_{\text{componente quadratura}} \quad (36)$$

4.3.2.2. Equipamentos

Os equipamentos utilizados neste método são genericamente chamados de condutímetro. Os condutímetro são compostos de duas bobinas (emissão e recepção) além de um transmissor e um receptor (Figura 33). O modelo de equipamento utilizado neste trabalho foi o EM-34-3 da empresa Geonics Limited do Canadá (Figura 32).



Figura 32 Equipamento EM-34 – Geonics Ltda.

O aparelho de leitura digital possibilita a operação com cabos de 10,20 e 40m. O equipamento EM-34 opera a 6,4 kHz (10 m afastamento das bobinas), 1,6 kHz (20 m afastamento das bobinas) e 0,4 kHz (40 m afastamento das bobinas).

4.3.2.3. Aquisição de Dados

O primeiro passo na aquisição dos dados foi estender várias trenas ao longo da linha de aquisição dos dados. Em seguida foi separada as duas bobinas até a distância de 10m onde foi feita a calibração do aparelho num local longe da interferência de possíveis fontes de ruídos como, linhas de transmissão, estruturas de aço e outras, zerando os seus registros.

Após estes procedimentos preliminares foi dado inicio aos trabalhos de aquisição de dados com o equipamento EM-34 sendo operado por 2 pessoas, cada uma com uma bobina, conectadas por um cabo de corrente (Figura 33). O espaçamento entre as bobinas é feito eletronicamente de modo que o operador do receptor realiza a leitura do espaçamento para ajustar o correto espaçamento entre as bobinas que pode ser de 10, 20 ou 40 m e que irá variar diretamente com a profundidade de penetração das ondas.

A medida da condutividade aparente do subsolo é feita pelo operador do receptor movendo a bobina receptora para trás ou para frente até que se verificar a indicação correta do espaçamento entre as bobinas e fazer a leitura da condutividade do solo. Importante de se frisar a preocupação constante que se deve ter com o acoplamento dos planos das bobinas transmissora e receptora, sem o qual a qualidade de aquisição dos dados pode estar comprometida.

A cada linha de investigação eram realizados os ajustes no equipamento receptor em relação ao comprimento do cabo utilizado. Após os ajustes iniciais foram sendo adquiridos dados de condutividade ao longo das linhas planejadas e anotadas em uma planilha de campo para serem posteriormente processadas.



Figura 33 Trabalhos de campo em que se observa o emprego do método eletromagnético indutivo.

O equipamento utilizado de fabricação canadense, denominado de EM-34, construído para investigar as profundidades teóricas pré determinadas de 7,5 ,15 , 30 e 60m dependendo da orientação das bobinas e do comprimento do cabo de referência. Foram feitas aquisições de campo com cabos de 10 m com bobinas posicionadas na horizontal (dipolo vertical) investigando profundidades teóricas de 15m e com as bobinas posicionadas na vertical (dipolo horizontal) investigando profundidades teóricas de 7,5 m. As aquisições de campo com cabos de 20 m com bobinas posicionadas na horizontal (dipolo vertical) investigando profundidades teóricas de 30m, na vertical (dipolo horizontal) a profundidades teóricas de 15m. As aquisições de campo com cabos de 40m com bobinas posicionadas na horizontal (dipolo vertical) investigando profundidades teóricas de 60m e com as bobinas

posicionadas na vertical (dipolo horizontal) investigando profundidades teóricas de 30 m (Figura 34).

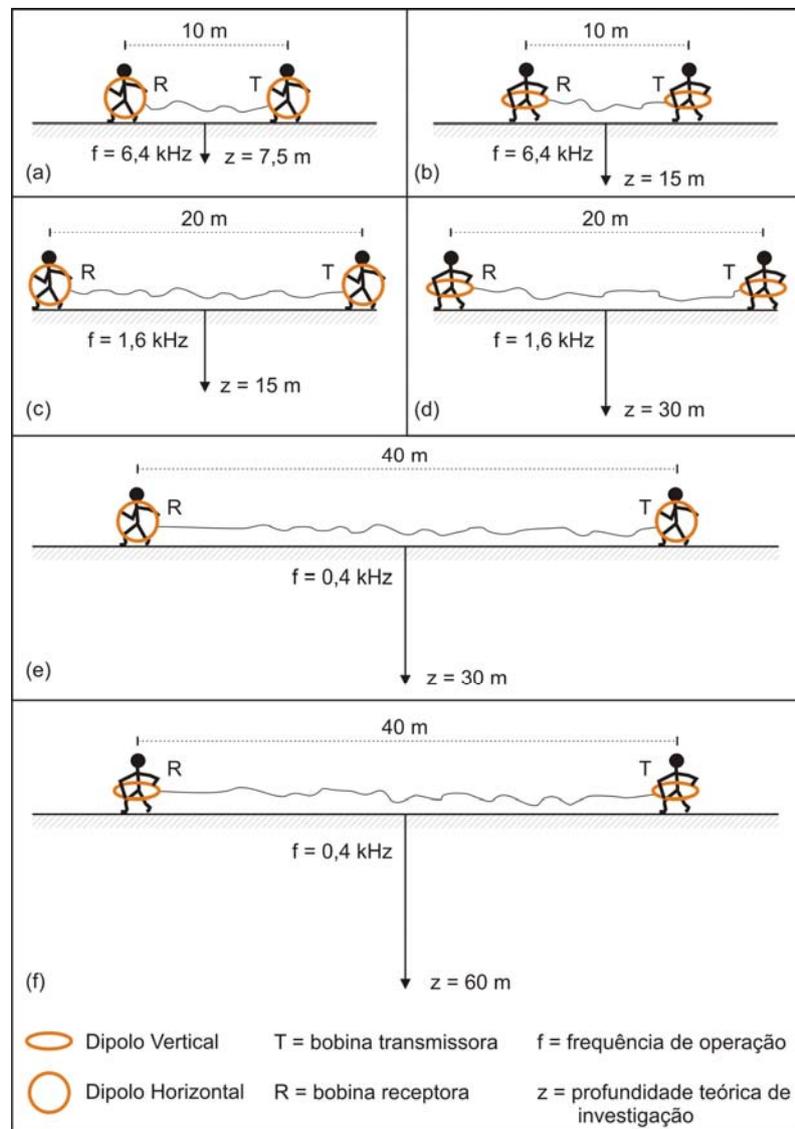


Figura 34. Configurações de espaçamentos das bobinas com respectivas profundidades teóricas de investigação (Borges, 2002).

4.3.2.4- Apresentação dos Dados e Interpretação.

A apresentação dos dados foi feita através do processamento em computador com o traçado de seções verticais de cada linha investigada e posteriormente com o agrupamento destes dados em planos de níveis teóricos de 7,5; 15; 30 e 60m traçando mapas de condutividade.

4.3.3. MÉTODO DA ELETORRESISTIVIDADE

A resistividade de uma rocha é uma das propriedades físicas mais significantes na prospecção elétrica e mede a dificuldade de transporte de cargas livres pelo meio. De modo geral os minerais formadores das rochas resistem muito a passagem de corrente elétrica (TELFORD et al, 1990).

A eletrorresistividade é um método geoeletrico baseado na determinação da resistividade elétrica dos materiais, tendo sido utilizado nos mais variados campos de aplicação das geociências (BORGES, 2002). O método da eletrorresistividade baseia-se no estudo do potencial elétrico tanto dos campos naturais, existentes na crosta terrestre, como dos campos artificialmente provocados.

Segundo ORELLANA (1972) a aplicação dos métodos geoeletricos exige o conhecimento das propriedades eletromagnéticas das rochas e dos minerais que as constituem. Estas propriedades são expressas fundamentalmente por meio de três magnitudes físicas que são: a resistividade ρ (ou sua inversa a condutividade σ), a constante dielétrica ε e a permeabilidade magnética.

O mais freqüente no método geoeletrico é enviar energia ao terreno, criando assim campos artificiais cuja deformação permite deduzir características geológicas do subsolo. Neste método a corrente elétrica é injetada através de contatos diretos com o solo feito por eletrodos metálicos. Emprega-se uma corrente artificial que é introduzida no terreno através de dois eletrodos (denominados de A e B), com o objetivo de medir o potencial gerado em outros dois eletrodos (denominados de M e N) nas proximidades do fluxo de corrente, permitindo assim determinar a resistividade real ou aparente em subsuperfície.

As frequências utilizadas em prospecção devem ser preferencialmente as mais baixas possíveis devido ao fato de que a profundidade de penetração diminui a medida que se aumenta a frequência. O parâmetro resistividade é o inverso da condutividade elétrica, e pode ser definido como a resistência dos materiais em conduzir a corrente elétrica. Depende da natureza e estado físico do material e pode ser expressa na forma da resistência de um cilindro condutor homogêneo cuja área e comprimento apresentam valores unitários como abaixo:

$$\rho = R.S/L \quad (37)$$

Onde: ρ = resistividade elétricas (ohm.m)

R = resistência elétrica (ohm)

S = área da seção transversal do cilindro (m²)

L = comprimento do cilindro (m)

Se o cilindro é atravessado por uma corrente elétrica (I), será submetido a uma diferença de potencial (ΔV) e sua resistência será :

$$R = \Delta V/I \quad (38)$$

Se aplicar numa superfície plana de um semi-espaco homogêneo e isótropo, um dispositivo arbitrário de quatro eletrodos, sendo dois para injetar a corrente (A e B) e dois para medir a diferença de potencial (M e N), a resistividade é assumida como constante e pode ser calculada através da seguinte expressão:

$$\rho = K. \Delta V/I \quad (39)$$

onde:

ρ = resistividade elétrica (ohm.m)

K = fator geométrico (depende da geometria do arranjo de eletrodos na superfície) .

ΔV = diferença de potencial entre os eletrodos M e N

I = intensidade de corrente que passa entre os eletrodos A e B

$$K = 2 \pi / \left[\left(\frac{1}{AM} \right) - \left(\frac{1}{AN} \right) - \left(\frac{1}{BM} \right) + \left(\frac{1}{BN} \right) \right] \quad (40)$$

A resistividade elétrica (e seu inverso, a condutividade elétrica) relaciona-se aos mecanismos de propagação de corrente elétrica nos materiais, sendo que a condutividade em solos e rochas pode ser devida a presença de minerais metálicos e grafita (condutores) em sua matriz, o que é denominado de condutividade eletrônica, ou devido ao deslocamento de íons dissolvidos na água contida nos poros e fissuras dos solos e rochas, o que é denominado de condutividade eletrolítica. Em geral a condutividade é eletrolítica, pois apenas em casos específicos os minerais condutores ocorrem em rochas em quantidades suficientes para aumentar sua condutividade global. A resistividade dos solos e rochas que possuem condutividade eletrolítica é afetada principalmente por quatro fatores: composição mineralógica, porosidade, teor em água e quantidade e natureza de sais dissolvidos.

Dentre esses fatores, os mais importantes são, sem dúvida, a quantidade de água contida e a salinidade dessa água. O aumento do valor desses fatores, teor de umidade e quantidade de sais dissolvidos, leva a uma diminuição dos valores de resistividade. Essa condição é que permite a imensa possibilidade de aplicação do método em estudos ambientais e hidrogeológicos. No caso específico de áreas de disposição de resíduos, de uma forma geral ocorre a formação de líquidos com alta concentração de sais, o que faz com que a área afetada pela poluição seja caracterizada por valores de resistividade bastante baixos. Dentro do método da eletrorresistividade existem várias técnicas de aplicação dos ensaios em campo. São divididas basicamente em técnicas de sondagem elétrica e caminhamento elétrico, dentro das quais existe uma grande variedade de configurações possíveis de eletrodos.

Normalmente os ensaios de sondagem elétrica são aplicados quando é desejada uma informação pontual com observação vertical do parâmetro físico, e o caminhamento elétrico é aplicado quando o interesse é pelo estudo da variação lateral da resistividade em profundidade teoricamente constante. Na caracterização da resistividade nos ensaios de eletrorresistividade, é importante lembrar que como é mostrado na Figura 36 a medida que os espaçamentos forem aumentando a corrente irá percorrer um número maior de camadas com diferentes valores de resistividades a serem determinadas pelo quadripolo AMNB, resultando com isso numa resistividade

aparente influenciada pelos valores das resistividades de todas as camadas investigadas.

Quando se realiza uma prospecção através da injeção de corrente no solo, aparecem os seguintes problemas: a) As dimensões do material através do qual passa a corrente varia com a geometria do arranjo usado para injetar a corrente e, b) o meio não é homogêneo pois engloba o solo, a rocha subjacente, a influência do nível freático e de outras rochas intercaladas.

Num meio heterogêneo, os valores de área e comprimento já não podem ser definidos *a priori* porque dependem da geometria do arranjo dos eletrodos no terreno e são portanto, substituídos na fórmula da resistividade por uma constante K , que será diferente para cada arranjo. A resistividade aparente vai depender do tipo de arranjo usado na investigação; da natureza do solo e do subsolo atravessado pela corrente injetada no terreno; e da situação do corpo rochoso (pouco, muito ou não fraturado).

4.3.3.1. Equipamentos

O equipamento utilizado, nas medidas de campo, foi um resistivímetro SYSCAL R-2 (Figura 35) fabricado pela *Íris Instruments* o qual dispõe de uma unidade receptora e transmissora totalmente digital. O aparelho é alimentado por uma bateria de 250 W. Com ele é possível estudar as variações da resistividade com a profundidade (sondagem), bem como as variações laterais da resistividade ao longo de linhas (caminhamento elétrico). A forma de onda é quadrada, a largura do sinal ajustável entre 250 e 10000 ms, com opção de período de repouso (corrente=0) ou não. A alimentação é realizada com uma bateria comum de automóvel (12 V), conectada a um conversor DC-DC de 250 W, com voltagem de saída variável de 100 a 800 V. Armazena até 1022 registros em uma memória interna, possibilitando conexão com um computador pessoal. Visando otimizar a aquisição de dados, empregou-se um sistema de multi-eletrodos.



Figura 35. Equipamento de Eletrorresistividade Syscal R-2

4.3.3.2- Técnicas de Aquisição de dados:

No método da eletrorresistividade existem várias técnicas de levantamentos de campo, divididas basicamente em sondagem elétrica vertical e caminhamento elétrico, dentro dos quais existe uma grande variedade de configurações possíveis de eletrodos que conferem ao método grande versatilidade.

Normalmente, os ensaios de sondagem elétrica são aplicados quando se deseja uma informação pontual, com observação da variação vertical da resistividade. O caminhamento é aplicado quando o alvo de interesse é o estudo da variação lateral da resistividade, mantendo-se uma profundidade teoricamente constante .

▪Arranjo Schlumberger

O arranjo de campo mais utilizado para os ensaios de sondagem elétrica vertical é o denominado de Schlumberger que utiliza quatro eletrodos, sendo 2 para injetar corrente (A e B) e 2 para a leitura de diferença de potencial (M e N), todos dispostos no terreno de acordo com um mesmo alinhamento. O ponto de atribuição do ensaio é o centro geométrico do arranjo. A principal característica desse arranjo é que a distância MN deve ser bastante pequena em relação a AB, procurando sempre satisfazer a relação $MN \leq AB/5$ (Figura 36) .

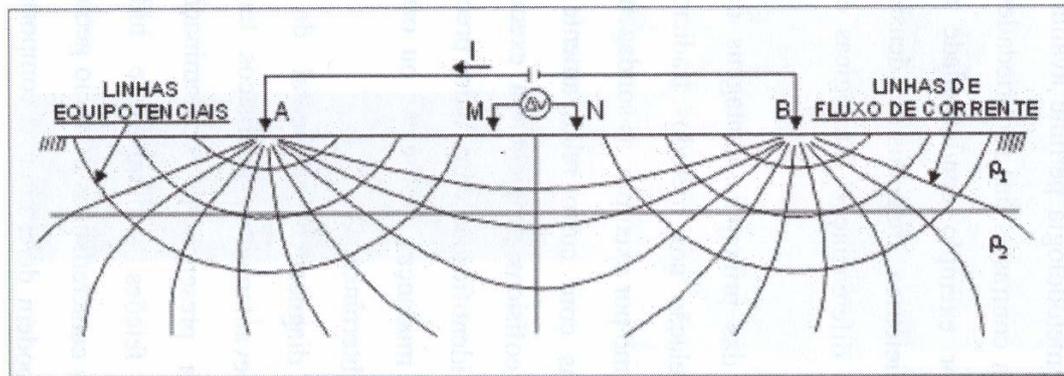


Figura 36 Arranjo Eletródico Schlumberger (Adaptada de Elis, 1998).

A corrente elétrica é injetada no solo através do contato direto feito por eletrodos metálicos ou porosos. A resposta é medida na forma de diferença de potencial (voltagem), observada também através de contato direto com o solo. Tendo-se os valores da corrente e do potencial registrado, é possível estimar a resistividade dos materiais do local investigado.

Para terrenos homogêneos e isotrópicos e considerando uma disposição de eletrodos simétricos, a resistividade aparente do meio pode ser obtida através da expressão:

$$\rho = K \cdot \frac{\Delta V}{I}$$

O fator geométrico K do arranjo para uma disposição de eletrodos simétrica pode ser obtida através da equação:

$$K = \frac{2\pi}{\left[\left(\frac{1}{AM} \right) - \left(\frac{1}{AN} \right) - \left(\frac{1}{BM} \right) + \left(\frac{1}{BN} \right) \right]} \quad (41)$$

▪ Arranjo Dipolo-Dipolo

O arranjo dipolo-dipolo pode ser utilizado tanto em sondagens elétricas verticais (Figura 37) como em caminhamentos elétricos (Figura 38). Neste arranjo,

os eletrodos AB de injeção de corrente e MN de potencial são dispostos segundo uma linha e o arranjo é definido pelos espaçamentos entre os eletrodos $X = AB = MN$. A profundidade de investigação cresce com a distância entre os eletrodos de potencial e os de corrente (R) e, teoricamente, corresponde a $R/2$. As medidas são efetuadas em várias profundidades de investigação (n), isto é, $n = 1, 2, 3, 4, 5, \dots$. É o ponto de intersecção entre uma linha que parte do centro do arranjo de eletrodos AB e outra que parte do centro do arranjo MN, com ângulos de 45° (Figura 37).

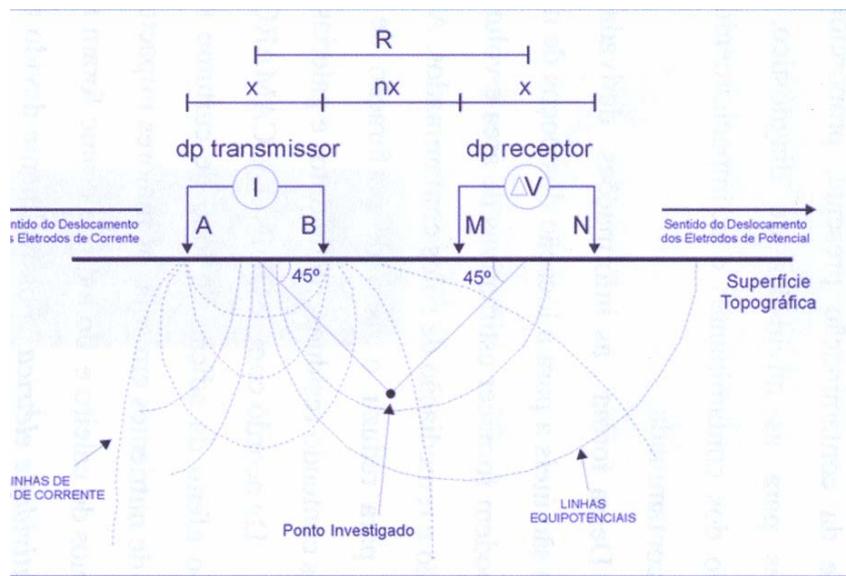


Figura 37. Arranjo Dipolo-dipolo utilizado em Sondagem Elétrica Vertical.

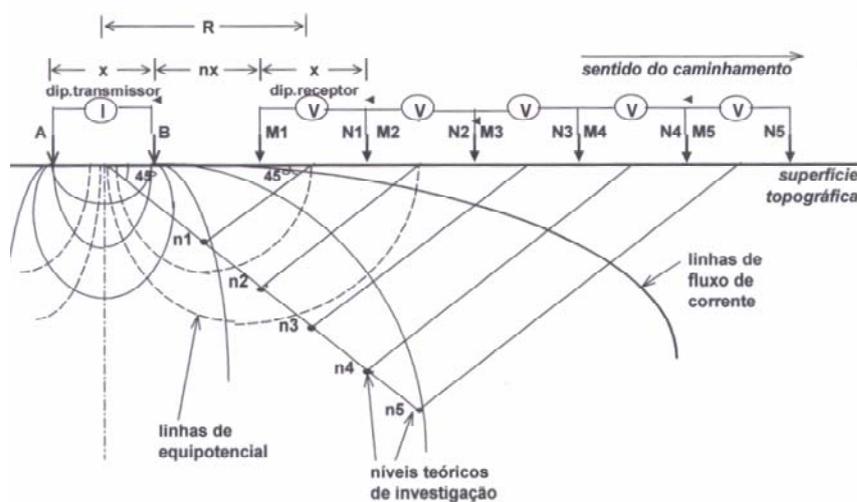


Figura 38. Arranjo Dipolo-Dipolo utilizado em Caminhamento Elétrico.

Na sondagem elétrica vertical com o arranjo dipolo-dipolo (SDD), os quatro eletrodos podem ser dispostos de diversas maneiras, sendo elas SDD axial, SDD equatorial e SDD azimutal (Figura 39). Neste trabalho utilizou-se somente a SDD axial, onde os eletrodos são expandidos simetricamente a partir de um centro que permanece fixo e cujas profundidades de investigação crescem com o aumento da distância entre os eletrodos de corrente (A e B) e os eletrodos de potencial (M e N).

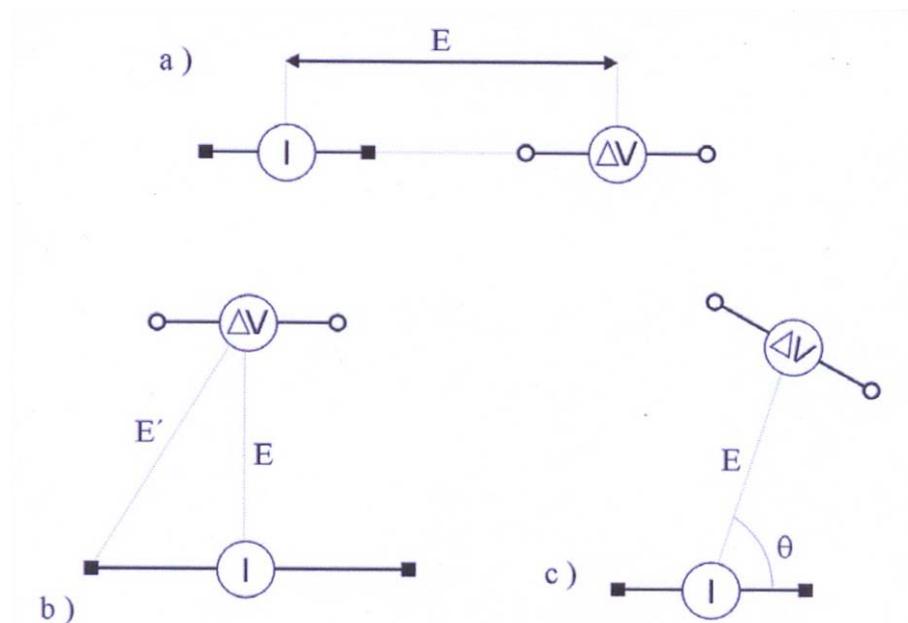


Figura 39 : Esquema de configurações eletródicas de sondagens dipolares.a) SDD axial; b) SDD equatorial; c) SDD azimutal (adaptado de Borges,2002).

Quando o interesse do estudo é saber as variações laterais de resistividade, como no caso desta pesquisa, utilizamos a técnica de Caminhamento Elétrico (CE), onde os eletrodos são expandidos simetricamente a partir de um centro que permanece fixo e cujas profundidades de investigação crescem com o aumento da distância entre os eletrodos de corrente (A e B). A cada medida, os dipolos são deslocados de uma distância igual a X e os dados são novamente obtidos nas profundidades $n= 1,2,3,4,5, \dots$, gerando uma seção de distribuição de pontos de resistividade aparente como mostrado na Figura 40 .

A resistividade aparente do meio é dada pela equação e o fator geométrico K para o arranjo dipolo-dipolo é dado por:

$$K = 2 \pi \cdot G. \quad (42)$$

Onde G é expresso pela equação:

$$G = \frac{1}{\left[\left(\frac{1}{n} \right) - \left(\frac{2}{n+1} \right) + \left(\frac{1}{n+2} \right) \right]} \quad (43)$$

4.3.3.3. Apresentação dos dados e interpretação

A cada medida, os dipolos são deslocados de uma distância igual a X e os dados são novamente obtidos nas profundidades $n = 1, 2, 3, 4, 5, \dots$, gerando uma seção de distribuição de pontos de resistividade aparente como na Figura 40.

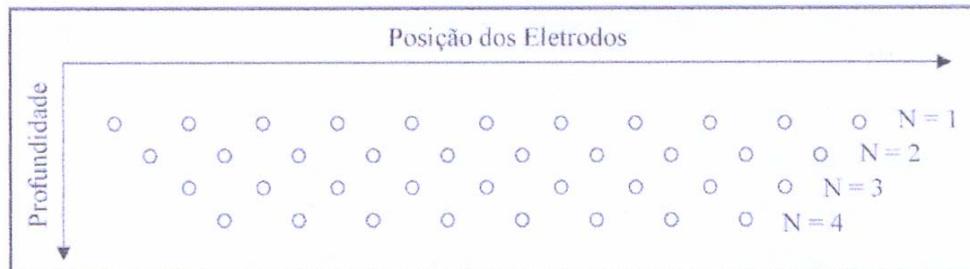


Figura 40. Forma de plotagem dos dados para construção da seção de resistividade Aparente (N= níveis de investigação).

4.4 PLOTAGEM DOS DADOS

Até algum tempo atrás os trabalhos de pesquisa em sua maioria baseavam-se na sua generalidade na comprovação de suposições através de base estatística clássica, que se utilizava de parâmetros como média, desvio padrão eram suficientes para representar um fenômeno assumindo a hipótese de que as variações de um local para outro fossem aleatórias. De acordo com LANDIM (2003), com o desenvolvimento das pesquisas na década de 1950, muitos cientistas chegaram a conclusão de que somente as informações fornecidas pela variância eram

insuficientes para explicar com maior precisão os fenômenos da natureza. Dessa forma, verificou-se a necessidade de se levar em consideração a localização geográfica e a dependência espacial.

Dessa nova concepção de abordagem dos processos surgiu o conceito de variáveis regionalizadas, que por sua aplicação mais freqüente no campo da geologia e da mineralogia ganhou a denominação de “Geostatística”, que hoje é amplamente empregada em climatologia, hidrogeologia, geotecnia entre outros. Essas variáveis regionalizadas obedecem a uma função que varia de um lugar para outro no espaço com certa aparência de continuidade, relacionada de algum modo com a posição espacial que ocupam. De acordo com ORTIZ (2002) a característica específica dessas variáveis regionalizadas, se assim pode-se dizer vem exatamente do conceito de continuidade que lhes é atribuída que vai contra os princípios básicos da estatística clássica que prega a independência total entre as diversas observações.

Dessa forma, qualquer medida feita em um determinado ponto vai guardar uma certa dependência com outras medidas tomadas em pontos adjacentes, sugerindo que ela faça parte de uma estrutura de correlação. Muitos pesquisadores já mostraram em estudos anteriores que a variabilidade de propriedades do solo é espacialmente dependente, ou seja, dentro de um certo domínio, as diferenças entre os valores de uma propriedade do solo podem ser expressas em função da distância de separação entre as observações medidas. Como consequência dessa afirmação temos que os valores em locais mais próximos entre si são mais semelhantes, até um determinado limite, que aqueles tomados a maiores distâncias. Se passar a aceitar estas considerações logo não se poderá tratar os dados como independentes. Em muitos dos nossos estudos, muitas vezes existe a necessidade em obter valores em pontos não amostrados ou de outra forma representar através de mapas ou gráficos de superfície uma malha de pontos interpolados que possibilite a visualização do comportamento da variável. Um dos métodos geoestatísticos de interpolação é conhecido como “*Krigagem*”. O método utilizado no presente trabalho foi o de “*Krigagem Ordinária*” sendo uma combinação linear dos pontos conhecidos, em que os ponderadores são proporcionais às distâncias euclidianas entre o ponto a ser estimado e os demais pontos conhecidos, incorporando a estrutura de variabilidade na região de estimação.

A plotagem dos dados da pesquisa foi feita com a utilização do software SURFER obedecendo a utilização da Geoestatística, calculando estimativas dentro de um contexto regido por um fenômeno natural com distribuição no espaço e, desse modo, supondo que os valores das variáveis consideradas como regionalizadas, sejam espacialmente correlacionados. “De uma forma geral, a metodologia geoestatística procura extrair, de uma aparente aleatoriedade dos dados coletados, as características estruturais probabilísticas do fenômeno regionalizado, ou seja uma função de correlação entre os valores situados numa determinada vizinhança e direção no espaço amostrado” (LANDIN et al, 2002).

Na pesquisa foram realizadas diversas simulações com o método da *Krigagem*. A *Krigagem* é um conjunto de técnicas de regressão linear generalizadas para minimizar uma variância de estimação a partir de um modelo de covariância definido a priori. No método de estimativa de “*Krigagem*”, utiliza-se um processo de médias móveis, de valores de variáveis distribuídas no espaço a partir de valores adjacentes, enquanto considerados como interdependentes por uma função denominada variograma. Se uma variável regionalizada $v(i)$ for coletada em diversos pontos (i), o valor de cada ponto estará relacionado com valores obtidos a partir de pontos situados a uma certa distância (h) e a influência será tanto maior quanto menor for a distância entre os pontos. O grau de relação entre pontos numa certa direção pode ser expresso pela covariância, sendo os pontos regularmente espaçados por múltiplos inteiros de h . O vetor h apresentando-se infinitamente pequeno faz com que a variância seja mínima e a covariância máxima. Haverá um valor h , para qual ambas podem apresentar valores aproximadamente iguais, porém a medida que (h) aumenta a covariância diminui enquanto a variância aumenta, porque ocorre progressivamente maior independência entre os pontos a distâncias cada vez maiores.

A *Krigagem* é feita para estimar um valor em um local não amostrado. Um estimador *de Krigagem* ordinária utiliza médias locais ou tendências locais estimadas a partir dos elementos amostrais vizinhos, ao invés de uma única média estacionária, como o faz um algoritmo de interpolação simples. Segundo LANDIN (2002) no estudo do comportamento das variáveis regionalizadas, há duas ferramentas fundamentais dos métodos geoestatísticos: o semivariograma e a *Krigagem*.

Os semivariogramas, expressam o comportamento espacial da variável regionalizada e mostram:

- a) O tamanho da zona de influência em torno de uma amostra.
- b) A anisotropia, quando os semivariogramas mostram diferentes comportamentos nas diferentes direções de linhas de amostragem.
- c) Continuidade, pela forma do semivariograma, em que para $h=0$, $\gamma(h)$ já apresenta algum valor (efeito pepita)

$$\gamma(h) = \frac{1}{2N} \sum [Z_{(xi)} - Z_{(xi+h)}]^2 \quad (44)$$

onde: $\gamma(h)$ - é o valor do semivariograma estimado para a distância h ;

x - é a medida de posições

h - é a distância entre as medições. $\gamma_{(h)}$

O semivariograma (Figura 41) analisa o grau de dependência espacial entre as amostras dentro de um campo experimental, além de definir parâmetros necessários para a estimativa de valores para locais não amostrados, através da técnica de *Krigagem*.

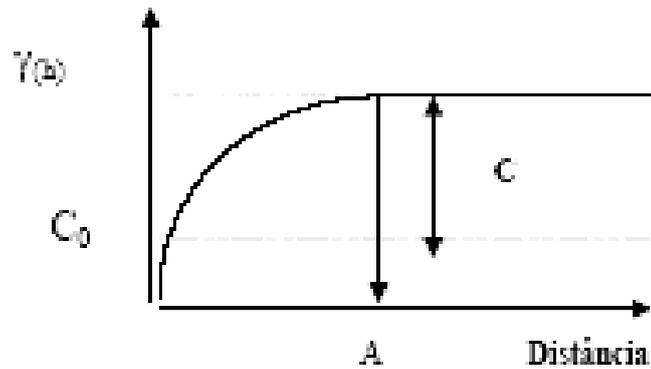


Figura 41: Semivariograma (Fonte: ZIMBACK, 2003)

onde:

$\gamma_{(h)}$ - Semivariância;

C_0 - Efeito Pepita;

C - Semivariância Estrutural ou Espacial;

$C+C_0$ - Patamar ou Soleira;

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os levantamentos de campo foram realizados em dois curtumes que apresentavam duas plantas industriais que apesar da semelhança do processo industrial cada uma dispunha de características próprias quanto aos processos de armazenamento dos resíduos. O primeiro Curtume denominado no presente trabalho como Curtume Várzea Grande está localizado na cidade de Várzea Grande no distrito de Capão Grande. A área trabalhada pertencente a este Curtume já se encontra interditada há vários anos pela FEMA- Fundação Estadual do Meio Ambiente- MT, tendo sido servido de local para depósito de rejeitos sólidos resultantes do processo de industrialização das peles por aproximadamente 10 anos. Esta área de Várzea Grande já havia sido estudada no trabalho de mestrado LANNES (2002), cujos poços de monitoramento de qualidade da água são citados no presente trabalho como forma da integração dos estudos geofísicos a análises químicas da qualidade da água.

5.1. ÁREA LOCALIZADA EM VÁRZEA GRANDE

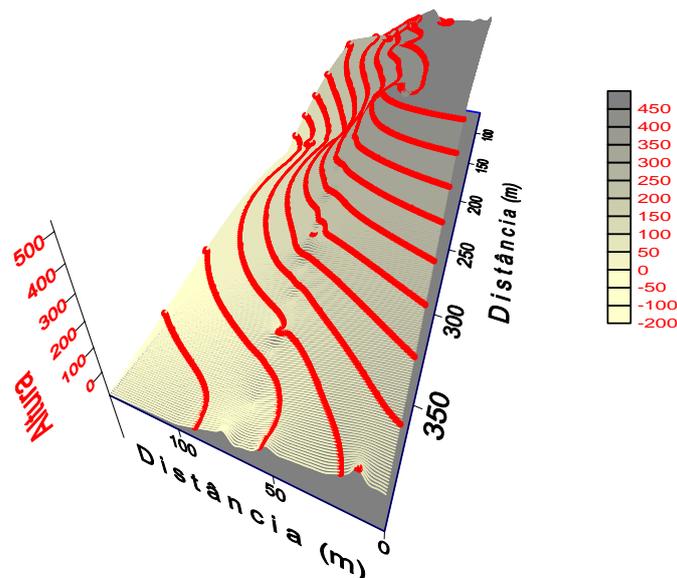


Figura 42. Vista em perspectiva das curvas de nível da área localizada na cidade de Várzea Grande

O Planejamento dos levantamentos de campo foram feitos levando-se em consideração o traçado de 6 linhas (Figura 43) sobre o terreno preocupando-se em mapear a maior extensão possível sobre as valas de resíduos bem como verificar a possibilidade de determinar a direção do fluxo do material contaminante. Os trabalhos foram realizados nesta área nos meses de outubro de 2003 e março, abril e maio de 2004.

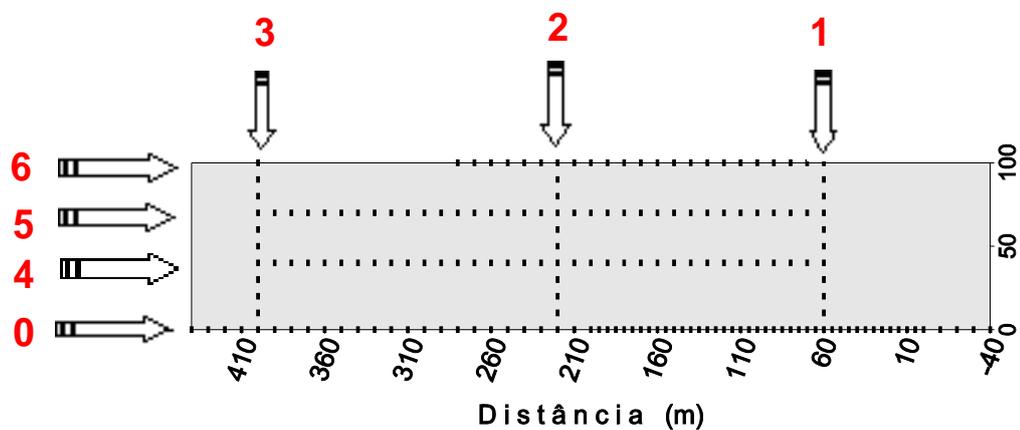


Figura 43 Mapa de localização das linhas de aquisição de dados da área situada na cidade de Várzea Grande.

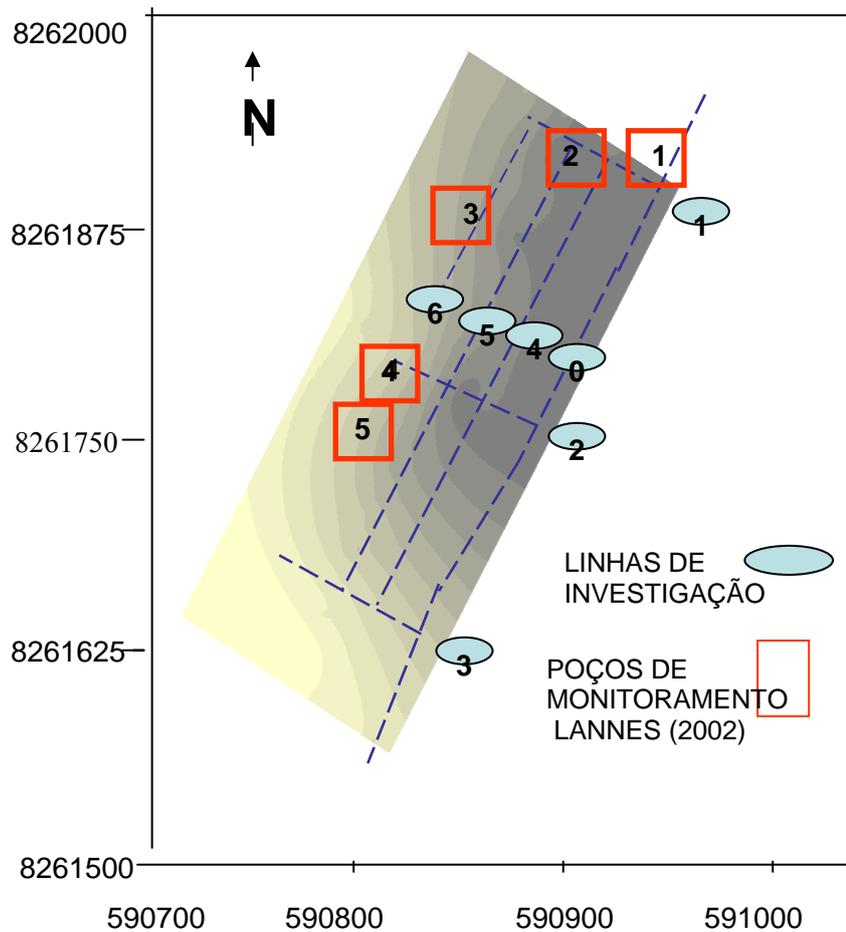


Figura 44. Planta da área de resíduos do curtume de Várzea Grande com visualização das linhas de investigação realizadas no presente trabalho e dos poços de monitoramento analisados por LANNES em 2002.

Na análise das isolinhas foi considerada uma escala genérica de valores de condutividade aparente para todos os gráficos variando de 0 até 70 mS/m. Conforme podemos verifica-se na Figura 45 a aquisição dos valores de condutividade aparente obtidos na linha 0 (zero) sobre a estrada que margeia a área de deposição dos resíduos os valores de condutividade aparente foram mais acentuados entre os espaços de 70 e 230 m a profundidades teóricas a partir de 15 m os valores de condutividade aparente começaram a acentuar-se registrando valores desde 20 mS/m até 50 mS/m.

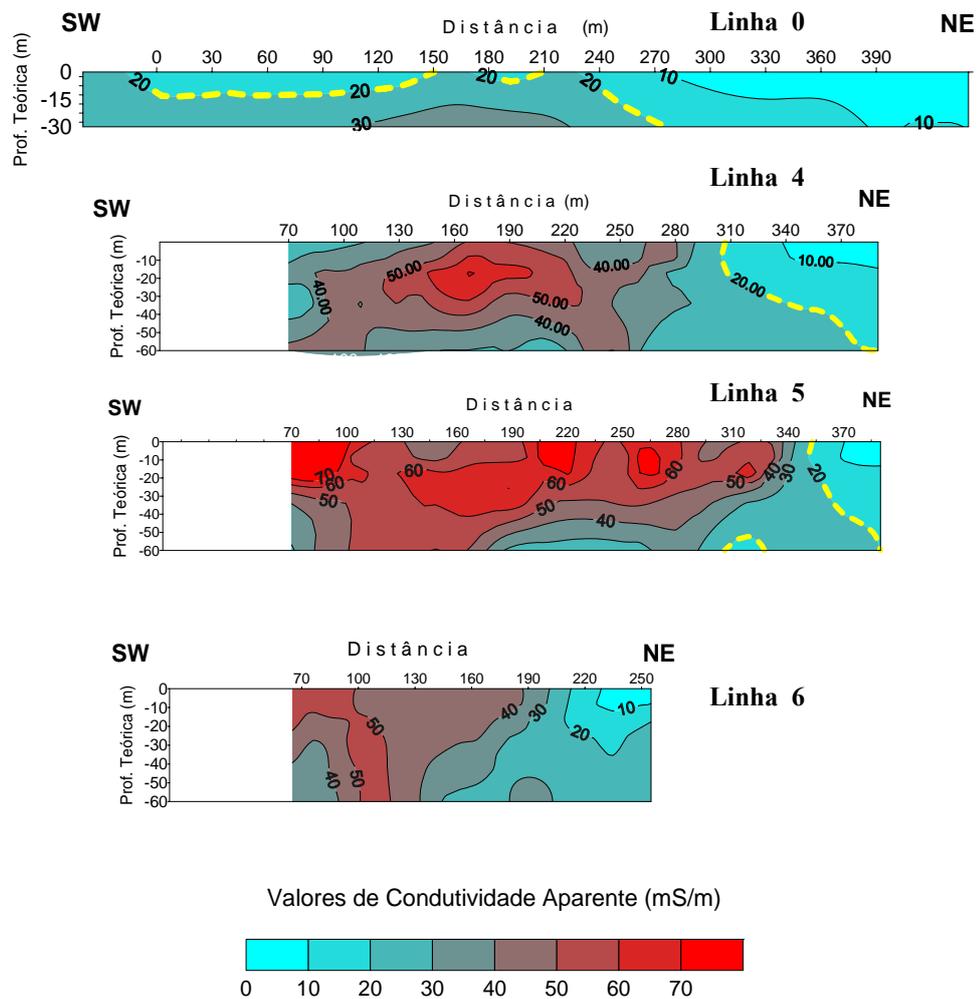


Figura 45. Seções de condutividade aparente das linhas 0,4, 5 e 6 sentido NE-SW da área de disposição de resíduos localizada na cidade de Várzea Grande.

Com exceção da linha 5 (situada sobre o comprimento da vala) (Figura 45) o fluxo de contaminação (condutividades superiores a 20 mS/m) concentrou-se preferencialmente entre os pontos de 70 e 220 m ao longo das linhas longitudinais a área. Na linha 5 os valores acentuados de condutividade estenderam-se até o ponto de 340 m preferencialmente mais a superfície por ser a direção de locação predominante das valas. Pelas informações obtidas no local pelo técnico da empresa do Curtume de Várzea Grande e pela verificação no local, as valas estão situadas em uma região aproximada de 50m na direção SE-NW estendendo-se por mais ou menos a 200 m na direção NE-SW.

As linhas de condutividade aparente adquiridas nas posições perpendiculares a estrada, sentido SE-NW (Figura 46), linhas 1, 2 e 3 confirmam uma predominância de contaminação até a profundidade aproximada de 40 m (linhas 1 e 2).

Nota-se uma nítida ausência de valores acentuados de condutividade nos 100 m no final da área na parte de terreno localizada a jusante do lançamento e paralela a estrada que margeia a área.

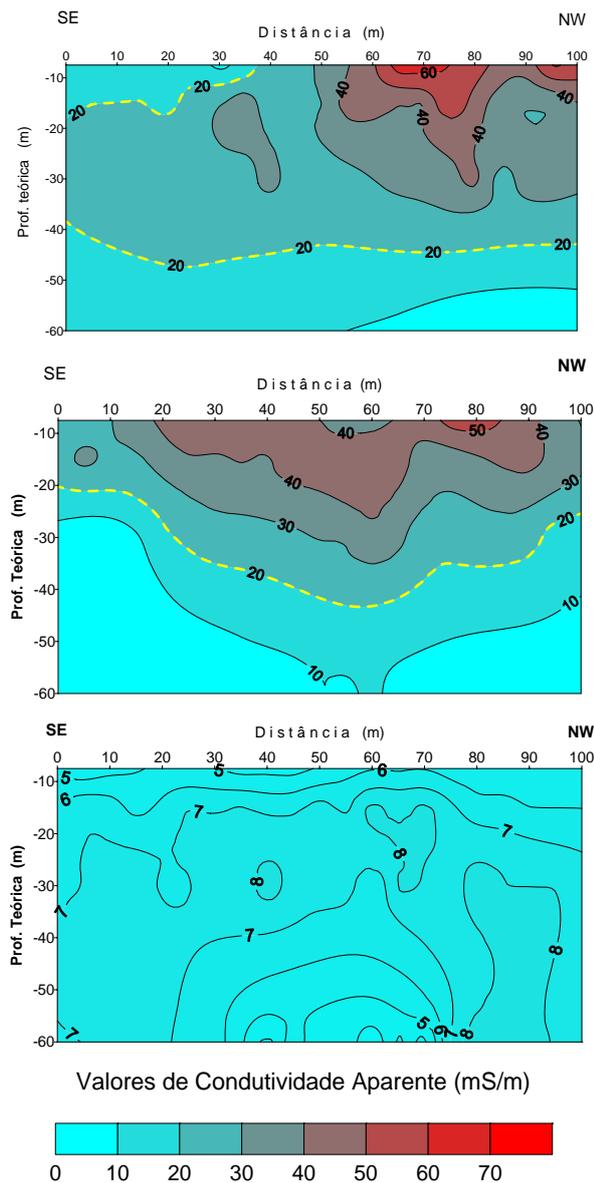


Figura 46. Seções de Condutividade aparente das linhas de investigação 1, 2 e 3 da área de resíduos do curtume da cidade de Várzea Grande.

Esta ausência de valores acentuados de condutividade e por correlação de contaminação na parte mais a jusante da área no sentido NE-SW talvez poderia ser explicada pelos inúmeros dobramentos de filitos característicos dessa região. Este pressuposto poderia vir a ser confirmado pela característica dos poços de monitoramento (LANNES, 2002). Segundo LANNES, (2002) enquanto o poço de monitoramento de N°3 apresentava água a profundidade de 6,00m na época da chuva entre agosto a março de 1999, o poço de N° 4 (12 m) e 5 (6m) situado poucos metros a jusante e mesmo na época das chuvas não possibilitou a análise de água pois os mesmos estavam seco. Em Novembro de 2003 quando estivemos na área verificou-se a ausência de água nestes dois poços. Talvez esta abrupta interrupção do fluxo de água subterrânea poderia ser fruto da mudança da característica geológica do subsolo, como caminham na mesma direção as análises geofísicas atuais de mudança do perfil de contaminação do subsolo nesse sentido.

LANNES corrobora esta afirmação quando diz que o comportamento hídrico do lençol devido a geologia do terreno permite o fluxo dos contaminantes pelas fissuras, bem como a possível existência de uma barragem impermeável subterrânea que permite o represamento das águas em profundidade.

Como avaliado anteriormente que a água subterrânea seria o veículo transmissor da pluma de contaminação, na ausência desta a jusante do terreno no sentido NE-SW, confirmaria a ausência também da contaminação nesta região sugerido pelos baixos valores de condutividade aparente registrado nos perfis e mapas de EM-34.

De outra forma na direção perpendicular a estrada sentido SE-NW na posição de localização aproximada das valas os valores de condutividade acentuaram-se nas posições de 70 a 100 m podendo configurar com isso uma mobilidade do fluxo de contaminação nesta direção.

Através do perfil de caminhamento elétrico executado sobre a linha de investigação n° 1 (Figura 47) verificou-se mais uma vez a influência das localizações das valas de rejeitos sobre os níveis de resistividade/ condutividade da área. Como o próprio mapa da área apresenta, as valas começaram a ser locadas aproximadamente após os primeiros 35-40 metros coincidindo com a região superficial onde apresenta indicadores de resistividade superiores 4.000 ohm.m.

Seguindo a direção da linha mais a jusante da área fica evidente a ocorrência do depósito dos resíduos no local pelos valores muito baixos de resistividade chegando a dezenas de unidades de resistividade.

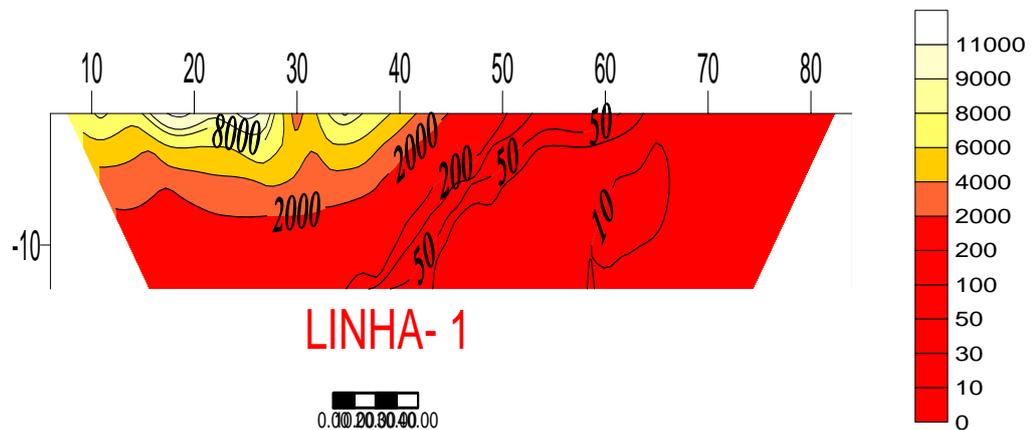


Figura 47. Seção de resistividade aparente do caminhamento elétrico sobre a linha de investigação N°1 sentido SE- NW na área de rejeitos de Várzea Grande.

Observa-se também que a medida que é vencida a camada de aterro superior de cascalho executado no local e a maiores profundidades a propagação do fluxo passa a ser visualizado nessa linha também como indicam os valores na posição de 10 a 40 metros de distância nas profundidades superiores a 10 metros. Há enfatizar ainda mais as nossas sugestões, vem a localização do poço de monitoramento N°2 (LANNES, 2002) situado a 67m na direção SE-NW sobre a linha N° 1 que em uma profundidade de 7 metros apresentou uma concentração média de cromo de 1,99 mg/l (Tabela 4) quando no limite máximo Tab.1 (Minist. Saúde, 2004) não deve exceder 0,05 mg/l, o que viriam a confirmar os baixos valores de resistividade obtidos nessa linha de caminhamento após os 40 m iniciais.

Tabela 4. Resultados das Análises das concentrações de cromo nos poços PM1, PM2, PM3, PM4 - Ano de Estudo de 1999. (Adaptado de LANNES, 2002).

	P O Ç O	N	Média	Mediana	Desvio Padrão	Mínimo	Máximo
Cromo	P1	6	2,9767	2,2950	2,6956	1,01	8,32
	P2	8	1,9950	1,8300	1,0804	1,07	4,42
	P3	11	1,5427	1,3100	0,5453	0,92	2,41
	P4	12	5,4483	1,4600	13,3098	0,91	47,65

A análise das linhas transversais, sentido SE-NW da Figura 46 que cortam a área vem enfatizar ainda mais o que já ficou evidente na visualização das linhas longitudinais, sentido NE-SW. As linhas n^os 1 e 2 que cortam as linhas longitudinais nas posições respectivas de 0 e 215 m apresentam valores de condutividades maiores do que 50mS/m propagando-se de cima para baixo com mais ênfase na linha de n^o 2 por estar situada sob as valas de resíduos. A linha de n^o 1 por estar situada no início da localização das valas, a montante da área apresenta uma menor presença de valores acentuados de condutividade.

De forma bem clara, já a linha de n^o 03 sentido SE-NW, não apresenta nenhum vestígio dos valores de condutividades aparente registrados no início e no meio da área, o que nos leva a supor que a pluma de contaminação desenvolve-se com menos intensidade no sentido NE-SW, e está mais ou menos em conformidade com o perfil topográfico do terreno.

A visualização dos mapas de condutividade aparente tanto em planta (Figura 48) quanto posicionados no espaço (Figura 49) permitem uma análise comparativa da mobilidade do fluxo contaminante nas direções NE-SW e SE-NW, presumindo-se que apesar da área apresentar séria declividade nas duas direções, na direção SE-NW houve uma maior uniformidade nos altos valores de condutividade aparente registrados ao contrário da direção NE-SW em que houve um decréscimo considerável dos valores de condutividade aparente quando aproximou-se da direção a jusante da área.

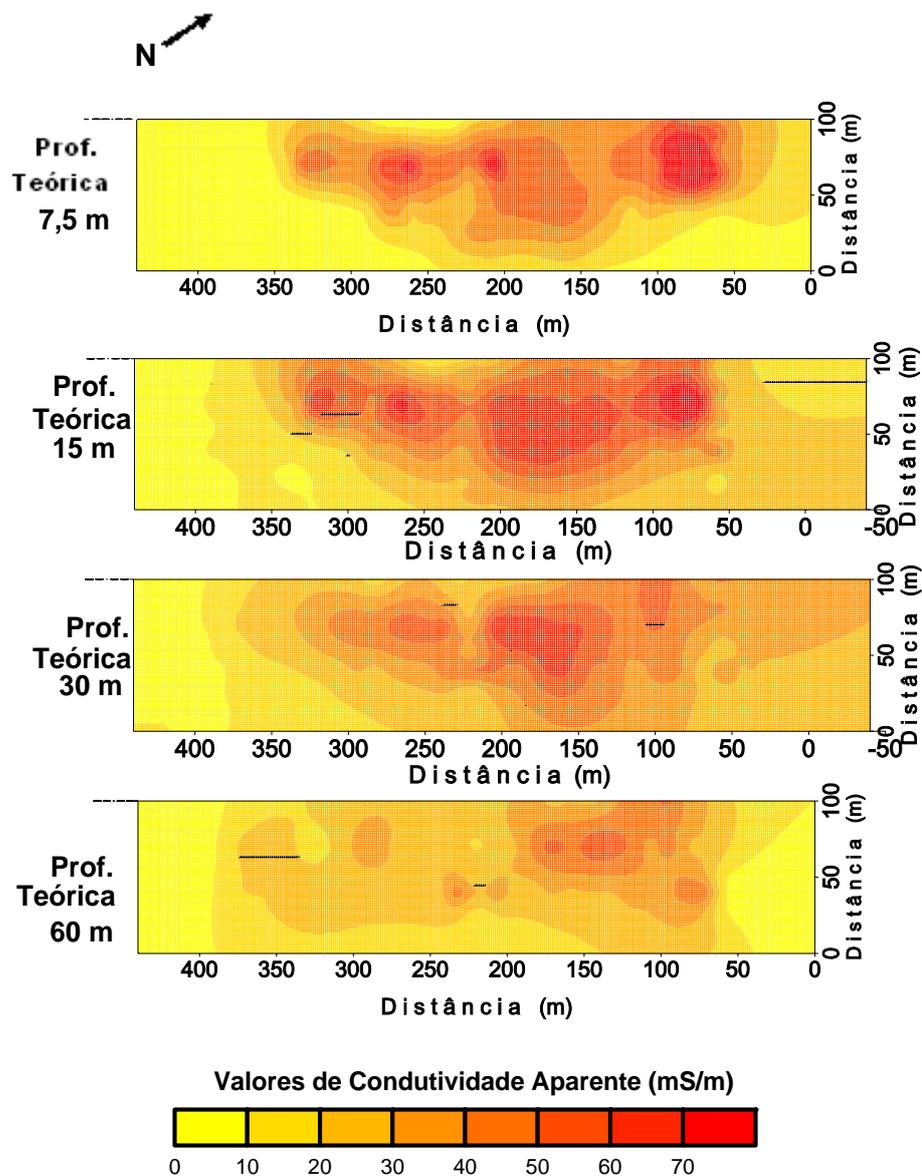


Figura 48. Mapa de condutividade aparente da área de resíduos sólidos do curtume da cidade de Várzea Grande nas profundidades teóricas de 7,5m, 15m, 30m e 60 m.

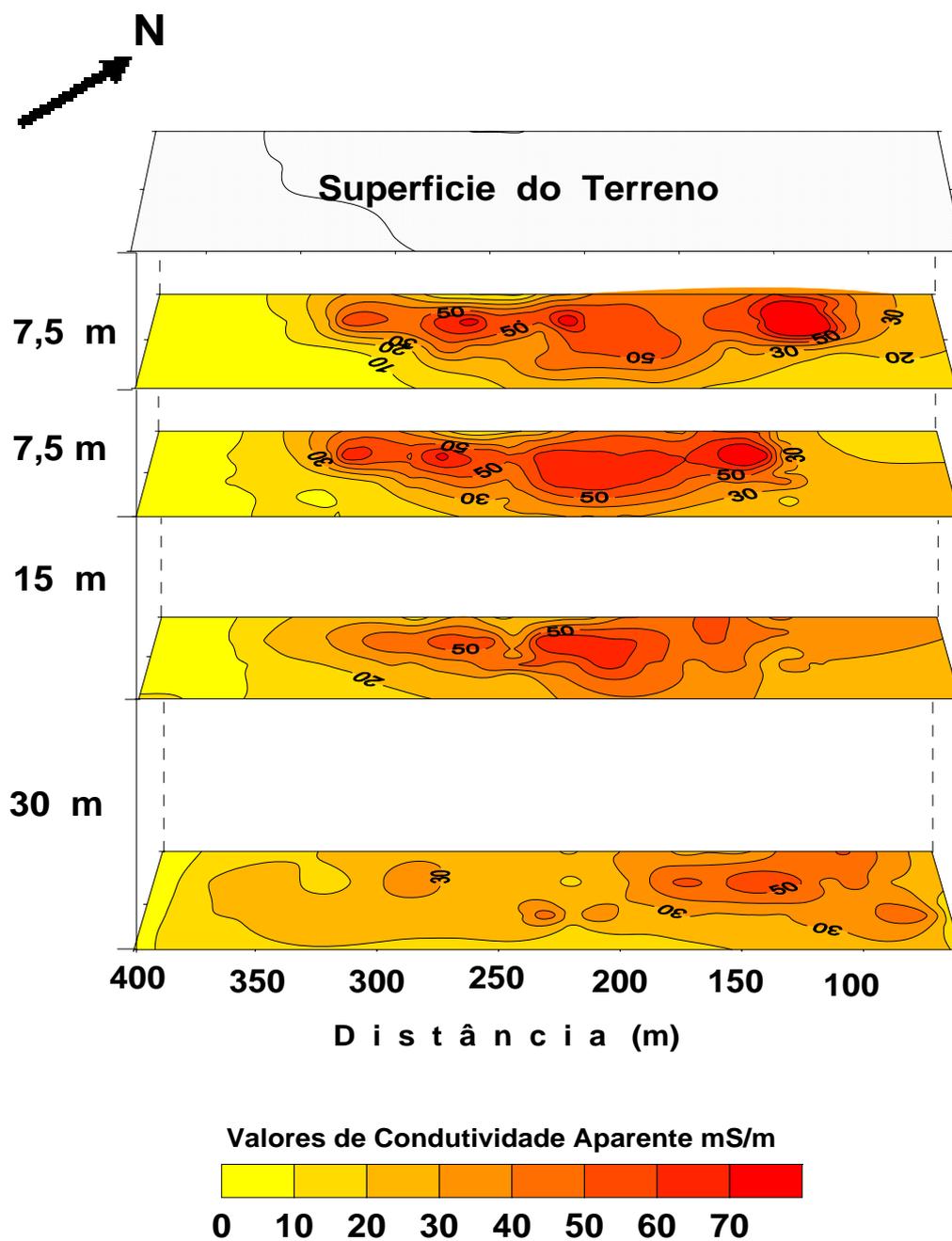


Figura 49. Visualização espacial das linhas de isocondutividade aparente aos níveis teóricos de 7,5m, 15m, 30m e 60 m da área de rejeitos localizada na cidade de Várzea Grande.

5.2. ÁREA LOCALIZADA EM CUIABÁ

Esta área (Figura 50) passou a ser utilizada recentemente como depósito do lodo de curtume desta indústria, com resultados inconclusivos pelo pequeno acúmulo de resíduos até a época da realização do trabalho e talvez também pela preocupação um pouco maior referente as normas de segurança no acondicionamento de materiais perigosos.

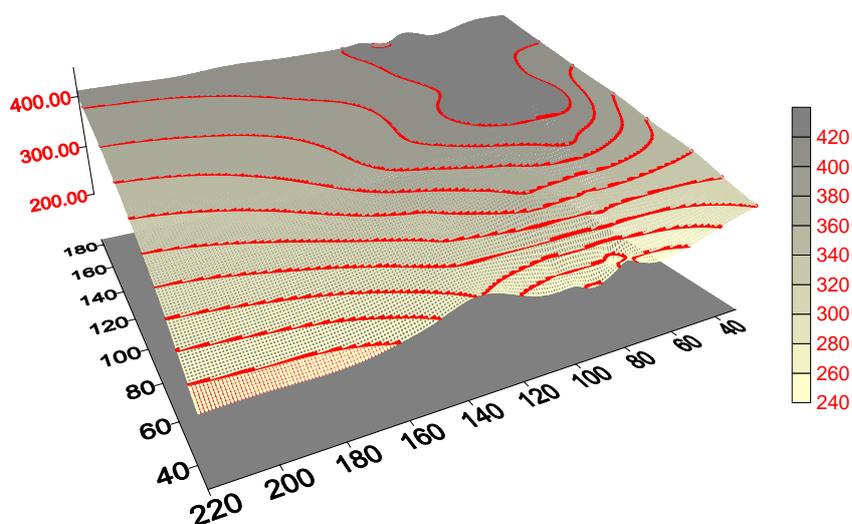


Figura 50. Vista em perspectiva das curvas de nível da área localizada na cidade de Cuiabá.

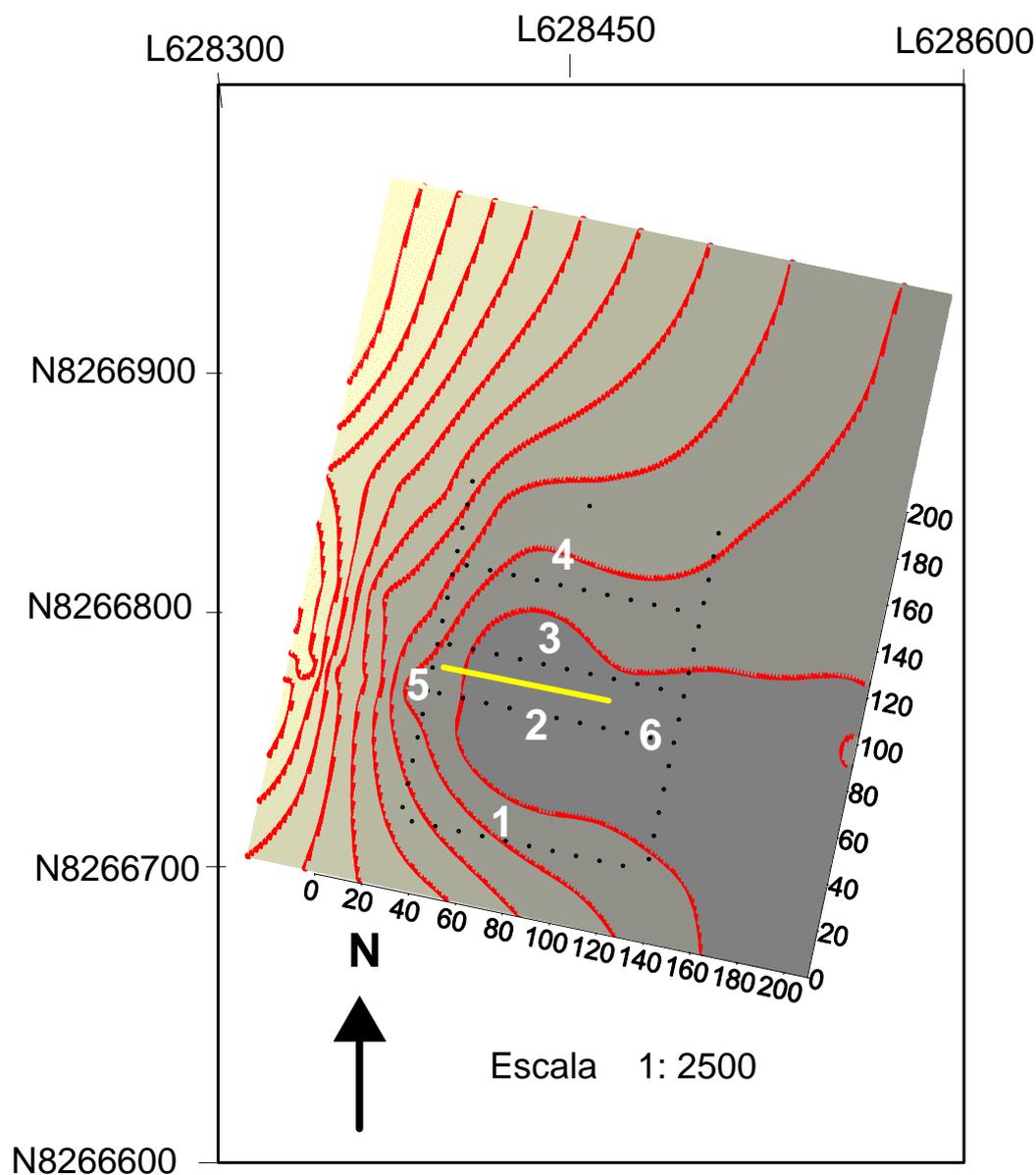


Figura 51. Visualização espacial e em planta da área de deposição de resíduos sólidos do curtume localizado em Cuiabá.

Nas aquisições de dados de condutividade aparente realizadas com EM-34 no Curtume de Cuiabá em maio de 2004, o perfil dos valores de condutividade mostraram-se de uma forma muito mais suave com os maiores valores apresentando uma estabilização ao redor de 20 a 30 mS/m, devido possivelmente a pequena carga de resíduos armazenados na vala recém construída.

Possivelmente estes mesmos valores possam ser oriundos do fluxo lento de outras posições de descarte localizadas em outras áreas próximas a esta mas que não foram identificadas pelos técnicos da empresa. Quase sempre os maiores valores registrados situaram-se perto da profundidade de 20 m.

Como mostra a Figura 51, as linhas de investigação de N^os 1,2,3 e 4 foram locadas paralelas a vala de resíduos sendo que as linhas 1 e 2 situadas a montante da vala e as linhas 3 e 4 a jusante da mesma vala. Analisando a Figura 52 em que são apresentadas as seções de condutividade aparente destas linhas verificou-se que apenas na linha 3 situada a jusante e mais próxima da vala mostrou uma pequena alteração no perfil de condutividade aparente entre as posições de 40 a 70 metros e nas profundidades teóricas de 25 a 60 metros com valores de condutividade no patamar de 30 mS/m.

As outras 3 linhas não apresentaram condutividades que ultrapassassem os 20 mS/m que em principio poderia ser tomada como condutividade natural daquela formação (Figura 52).

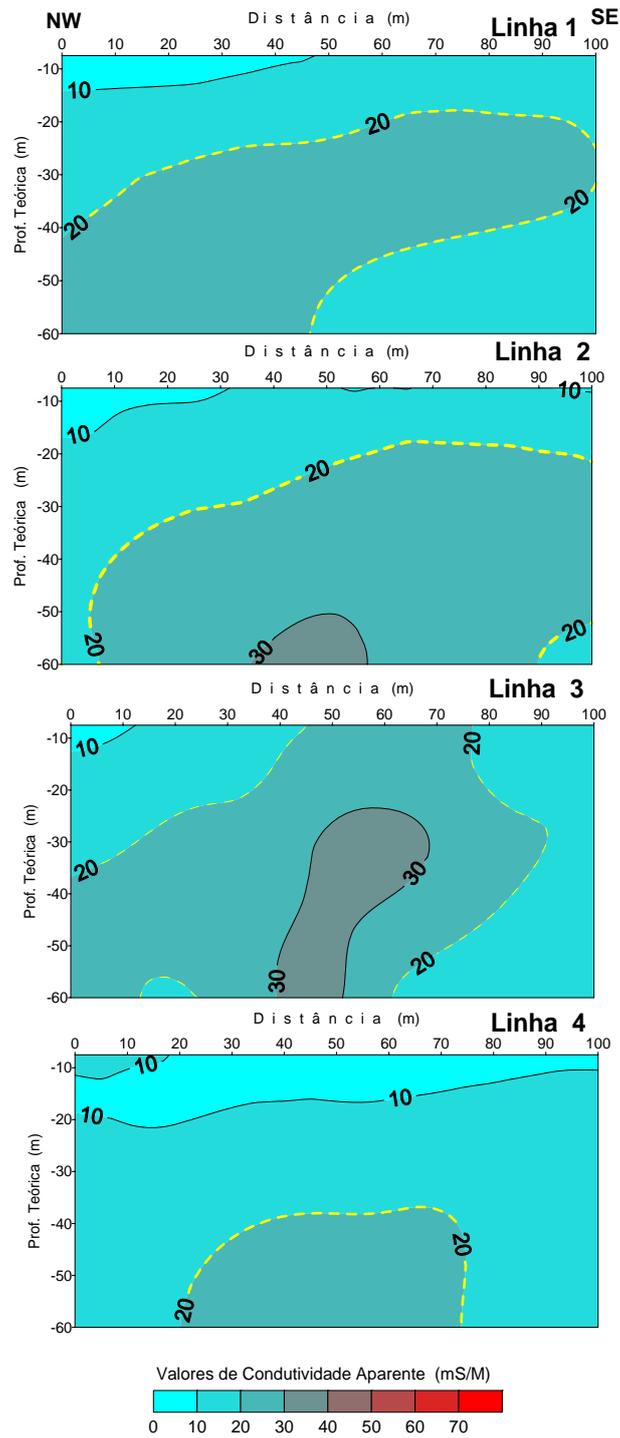


Figura 52. Seções de condutividade aparente das linhas de investigação de N^os 1,2,3,e 4 sentido NW-SE da área de deposição de resíduos do curtume localizado na cidade de Cuiabá.

A linha 5 (Figura 53 superior) situada 25 metros a jusante da vala, apresentou perfil de condutividade semelhante ao apresentado nas linhas 1,2 e 4 com uma relativa estabilidade em torno de 20 mS/m. Já na linha 6 (Figura 53 inferior) situada 30 metros a montante da vala, as seções de condutividade aparente na profundidade teórica de 50 a 60 metros apresentaram valores ao redor de 40 mS/m. Esta anomalia talvez possa ser explicada pela característica do solo sob a linha investigada (6) que apresentava sinais de terem sido trazidos de outro local constituindo um aterro que possivelmente poderia abrigar em seu interior despejos realizados em outras épocas de forma desordenada na área.

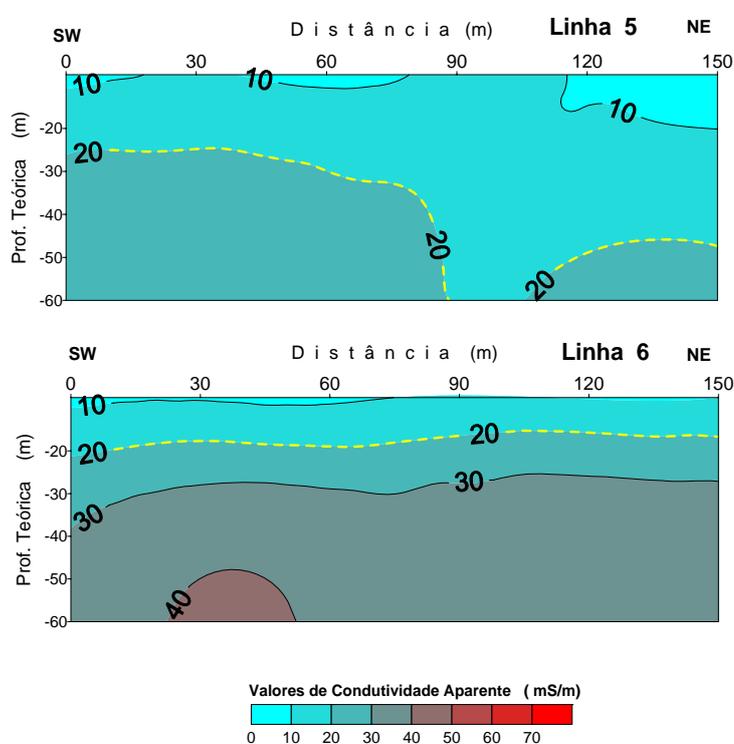


Figura 53. Seções de condutividade aparente no sentido SW-NE das linhas de investigação de N° 5 e 6 da área de resíduos do curtume localizado na cidade de Cuiabá.

A análise espacial dos mapas de condutividade aparente da área (Figura 54) não nos trazem grandes revelações pois quase não há diferenças significativas ao longo da área que poderiam trazer representatividade de uma anomalia.

Não se pode desprezar também a informação de que a indústria localizada nesta área desenvolve tecnologia de aproveitamento dos resíduos orgânicos para a

fertilização de pastagens. O movimento de gado bovino na área circundante a vala era constante, presumindo-se que a utilização destes materiais ricos em matéria orgânica nesta área poderiam mascarar a definição de uma anomalia em termos de condutividade no subsolo.

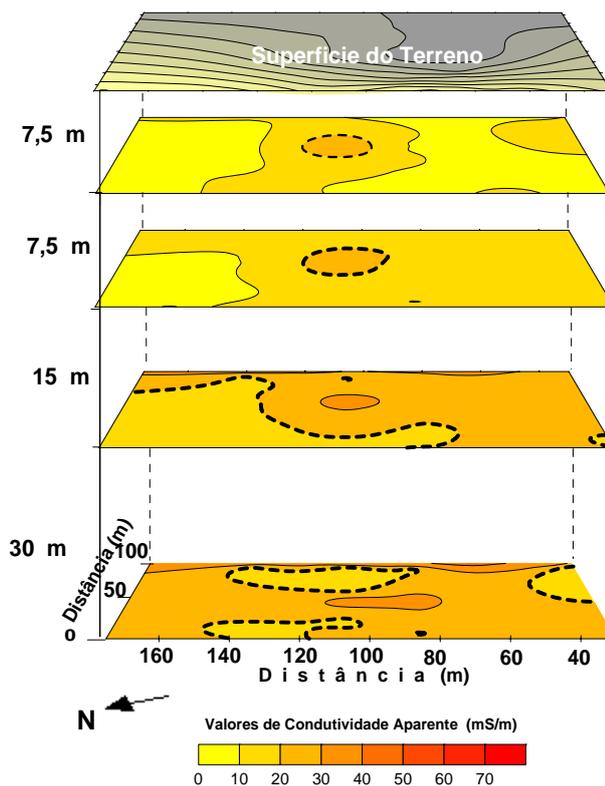


Figura 54. Visualização espacial das isolinhas de condutividade aparente da área de resíduos do curtume localizado na cidade de Cuiabá nas profundidades teóricas de 7,5m, 15m, 30m e 60 m.

A comparação dos mapas de condutividade aparente obtidos no Curtume de Cuiabá, indicam uma pequena acentuação nos níveis de 30 e 60 m com valores entre 20 a 30 mS/m localizados preferencialmente a jusante da vala.

6. CONCLUSÕES FINAIS

6.1 ÁREA LOCALIZADA EM VÁRZEA GRANDE

- Os resultados foram obtidos através da integração da pesquisa de análise da água e da geologia da área. Os resultados de investigação geofísica aliados aos trabalhos anteriores de química da água da região desenvolvido por LANNES (2002) possibilitaram o mapeamento da pluma de contaminação na área de rejeitos da indústria do couro localizada em Várzea Grande.
- Os trabalhos de mapeamento demonstraram que existe uma direção predominante na propagação da pluma de contaminação no sentido SE-NW. Medidas de condutividade aparente na camada de aterro até 7,5 m de profundidade ficaram em torno de 40 a 50 mS/m no limite da área NW mostrando que a pluma poderia estar ultrapassando os limites da área interdita. A confirmação ou não desta suspeita poderia ser realizada através de novas pesquisas adjacentes a área investigada.
- O acentuado decréscimo de condutividade até o valor de 10 mS/m nos 100 m finais na direção NE-SW é verificado em paralelo a ausência de águas nos poços 4 e 5 próximos a essa região. Esses baixos valores de condutividade indicam que não há contaminação e talvez possa ser que não haja água no subsolo desta região. Nesta área não há indícios de deposição de rejeitos da indústria do couro pois a região está coberta de vegetação arbórea.
- Conclui-se que apesar do poder poluente dos materiais depositados sobre a área, o mapeamento mostrou que se não houver um veículo condutor (água) que propague o contaminante para a região SW não haverá fluxo nesta direção e sim na direção NW. Onde não há fluxo de água não haverá fluxo de contaminação pois este sofre grandes atenuações no solo retido em sua maioria pelo sedimento, como é o caso observado em outros trabalhos de geoquímica. Segundo COELHO et al (2003) o cromo apresenta dificuldade de solubilizar-se no sedimento.

- Fazendo-se uma comparação entre os valores de condutividade aparente das linhas zero,4,5 e 6 sentido NE-SW na profundidade teórica de investigação de 30 m entre as posições de 70 e 200 metros pode-se observar o seguinte: Valores de condutividade aparente em torno de 20 a 30 mS/m na linha zero. Valores de condutividade aparente em torno de 40 a 50 mS/m na linha 4. Valores de condutividade aparente próximos dos 50 mS/m na linha 6. Verifica-se que a pluma de contaminação nesta direção obedece em parte a topografia da área, fluindo das partes mais altas do terreno para as partes mais baixas no sentido SE-NW.
- Verifica-se que mesmo nestas regiões onde foram verificados maiores valores de condutividade, nos níveis superiores abrange áreas maiores e a medida que desce a níveis inferiores a área de abrangência vai reduzindo mostrando que a pluma de contaminação tem uma forma de cunha. A propagação da pluma de contaminação em forma de cunha pode ser explicada pela concentração maior de rejeitos na superfície, sendo que em profundidades maiores a pluma estaria seguindo a direção de fluxo da água.
- Constata-se que a extremidade inferior da cunha apresenta um desvio em relação ao seu centro para a direção NE, explicando a alta concentração de cromo verificada no poço de nº 1, em área que em principio estaria isenta de contaminação por não haver resíduos em superfície.
- Os valores de condutividade (50 a 60 mS/m) verificados nos primeiros planos das projeções espaciais diminuem com o avanço da profundidade (30 a 20 mS/m) verificando que o sedimento se comporta como um sistema filtrante em relação ao contaminante inorgânico. Dessa forma a tendência é que o sedimento comporte uma carga maior de contaminante.
- A associação de valores superiores a 20 mS/m a contaminação na área localizada em Várzea Grande foi possível pela verificação da correlação com os valores de condutividade encontrados com o das análises químicas das águas dos poços de monitoramento. Trabalhos semelhantes desenvolvidos por MCNEILL (1980), GREENHOUSE et al (1988), MC QUOWN et al (1988), USACE (1995), HUTCHINSON (2000) avaliam que indicadores de

condutividade aparente em torno de 10 a 20 mS/m em geral configuram uma ausência de água no subsolo, ou quando muito uma água pouco mineralizada.

- O mapeamento através da pesquisa geofísica possibilitou que se avaliasse a totalidade da extensão da área interditada com custos relativamente baixos e sem a necessidade de novas perfurações que poderiam comprometer a impermeabilização de possíveis capas selantes

6.2- ÁREA LOCALIZADA EM CUIABÁ

- Os trabalhos desenvolvidos no curtume localizado em Cuiabá, mostraram que os valores de condutividade elétrica aparente não ultrapassaram 40 mS/m, sendo que na maioria dos locais não chegou a ultrapassar os 20 mS/m. O aumento da condutividade neste caso ocorreu com o aumento da profundidade provavelmente devido ao maior conteúdo de água e não como contaminação por resíduos do cromo. Esclarecimentos maiores sobre estes valores de condutividade aparente poderão ser verificados quando as análises químicas das águas dos poços de monitoramento do local estiverem concluídas.
- O desenvolvimento de tecnologia na recuperação do lodo de caleiro na indústria localizada em Cuiabá, para utilização como adubo orgânico pode também ter influência sobre os resultados de condutividade aparente encontrados no subsolo da área. Esta composição orgânica está sendo experimentada no preparo de solos para pastagens na área. Esta carga de alta concentração orgânica se lançado ao solo pode em alguns casos mascarar indicadores de acidez (contaminação por sais) o que poderia ter ocorrido nas imediações da vala em estudo.
- No caso da área de rejeitos localizada em Cuiabá, as valas de rejeitos procuraram seguir as normas NBR 8418 e 10.157. Entretanto poderia ser melhorada com uma maior cobertura das valas e drenagem de prevenção as enxurradas, evitando que a água das chuvas penetrem nas valas.

6.3- RECOMENDAÇÕES

- Os trabalhos desenvolvidos nos dois curtumes mostram que é necessário que se continue a monitorar estas áreas através de outros trabalhos, tanto de geofísica como de geoquímica a fim de analisar a evolução do processo num determinado tempo.com as suas possíveis conseqüências sobre o ambiente.
- Desenvolver projetos de investigação semelhantes no interior do Estado de Mato Grosso onde o grande rebanho bovino propicia a instalação de grandes parques industriais do tratamento do couro.
- Integrar os estudos de geofísica na contaminação ambiental por resíduos industriais (tratamento do couro) comparando com os trabalhos realizados em áreas que receberam resíduos de lixo urbano.
- Desenvolver em conjunto com as industrias processos de fabricação que produzam menos efluentes e reutilizem em vários níveis os efluentes líquidos.
- Desenvolver em conjunto com as indústrias processos de fabricação que usem agentes químicos menos agressivos e que possam ser melhor controlados quando dispostos nos ambientes de depósito.

7- REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Apresentação de Projetos de aterros de Resíduos Industriais Perigosos**, NBR 8418. Rio de Janeiro, 1983.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Aterros de Resíduos Perigosos- Critérios para Projeto, Construção e Operação**, NBR 10157. Rio de Janeiro, 1987.

AQUINO N.V; CAMARGO, O. A. **Crescimento e acúmulo de crômio em alface cultivada em dois latossolos tratados com CrCl₃ e resíduos de curtume**. Revista Brasileira de Ciências do Solo, v.24, p.225-235, 2000.

BAHIA, V.E.; LUIZ, J.G.,FENZI N. **Influência do Depósito Sanitário Metropolitano de Belém (Aurá) Sobre as Águas Subterrâneas da Área**. Rev. Águas Subterrâneas N° 18/ Janeiro /2004 – Belém - PA.

BARROS, A.M; SILVA, R.M; CARDOSO, O.R.F.A; FREIRE, F.A **Radambrasil**, Folha SD-21 - SG(Levantamento de Recursos Naturais). Vol. 26, Cuiabá, Rio de Janeiro, 1982.

BARROS, M.A.S.; ARROYO, P.A, AGUIAR, E.F.S. **O Processamento de Peles**, Departamento de Engenharia Química/UEM- Maringá-PR, 2000

BATISTA, L. S. **Espalhamento de Ondas Planas Eletromagnéticas por um Dique Vertical com Cobertura**, Tese de Doutorado, UFBA, Salvador- BA, 2001.

BEAL, L.L.; MONTEGGIA, L.O **Tratamento Anaeróbio de Efluente de Curtume de Acabamento auxiliado com Membranas**. Revista Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental, v.8 N° 01,p. 01, jan 2003.

BORGES, W.R. **Investigações Geofísicas na Borda da Bacia Sedimentar de São Paulo, Utilizando-se GPR e Eletroressistividade**. 2002. Dissertação (Mestrado em Geociências) – IAG, Universidade de São Paulo. São Paulo – SP, 2002.

BRITO,A. L.F; MUNIZ A.C.S.; LOPES W.S. **Processo de codisposição de resíduos sólidos industriais de curtume**. Revista Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental, v.7 N°3,p.01,dez.2002.

CAPUTO, H. P. **Mecânica dos Solos e Suas Aplicações**,LTC,1990,RJ.

CETESB. **Nota técnica sobre tecnologia de controle-curtume**. Diretoria de Normas e Padrões Ambientais- São Paulo, 1989.

CHERNICHARO, C. **A Tratamento de Efluentes de curtumes através de filtros anaeróbios seguidos por biofiltros aerados.** In: 21º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. João Pessoa- PB, 2000.

CLASS, I.C.; MAIA, R.A.M.- **Manual Básico de Resíduos Industriais de Curtume:** SENAI/RS, 1994. 664 p.

COELHO, H. M. C. **Estudo Preliminar da Contaminação por Metais Pesados na Área do Aterro de Disposição de Resíduos Sólidos Urbanos do Município de Catas Altas- MG.** In: Congresso Brasileiro de Geotecnia Ambiental, Porto Alegre, 2003.

COIADO, M.F.L. **Caracterização e Disposição final dos resíduos sólidos gerados em Curtume.** In: 20º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. In: Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, Rio de Janeiro, 1999.

CONAMA-Resolução Nº 20 de 18/06/1986- **Classifica as Águas do Território Brasileiro em nove classes segundo seus usos preponderantes.**

CONAMA- Resolução Nº 235 – **Classificação dos Resíduos Sólidos-** 1998

COSTA, A.C.M. **A Gestão dos Recursos Hídricos no Brasil e a Questão da Água Subterrânea.** Rio de Janeiro, COPPE/UFRJ, 2000.

COSTA, **Efeito da Adição de Lodos de Curtumes Sobre as Alterações Químicas do Solo, Rendimento de Matéria Seca e Absorção de Nutrientes em Soja,** Revista Brasileira de Agrociências, v.7 n.3 p.189-191, set-dez, 2001.

ELIS, V.R. **Aplicação da Geofísica para análise do meio físico: importância para elaboração de mapeamento geotécnico.** Dissertação de Mestrado, Rio Claro- SP, 1993.

ELIS, V.R.; ZUQUETTE L.V. **Aplicação de Técnicas Geofísicas no estudo de área de disposição de resíduos urbanos:** Revista Geotecnia 84, Lisboa- Portugal. , pp. 5-22, 1998.

ELIS, V.R.; **Avaliação da aplicabilidade de Métodos elétricos de Prospecção Geofísica no estudo de áreas utilizadas para disposição de resíduos:** Tese de Doutorado- UNESP-1998.

ELIS, V.R. **Geofísica Aplicada ao Estudo da Poluição de Solos e Águas Subterrâneas .** V Escola de Verão de Geofísica- IAG/USP- São Paulo-SP, 2003.

FEITOSA F.A.C. **Hidrogeologia, Conceitos e Aplicações.** 2º edição. Fortaleza. CPRM/REFO, LABHID-UFPE- 2.000.

GARRIDO, R. J; CARRERA-FERNANDEZ, J. **Algumas experiências de gestão dos recursos hídricos.** *Economia dos Recursos Hídricos.* Edufba, Salvador, 2002.

GIACHETI,H.L.; ELIS,V.R.; ZUQUETE,L.V.; ESQUIVEL,E.R.& HAMADA,J. **Perspectivas de utilização de técnicas combinadas para investigação e caracterização geoambiental.** In: Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia, São Pedro- SP, 1978.

GIANETTI, B.F.; ALMEIDA,C.M.V.B.; BONILLA,S.H.; VENDRAMET,^o , **Nosso Cromo de cada dia: Benefícios e Riscos**, Laboratório Físico Química teórica e aplicada da Universidade Paulista,São Paulo, 2003. Disponível em [http:// www.hottopos.com.br/regeq8/biaggio.htm](http://www.hottopos.com.br/regeq8/biaggio.htm)

GOLDEN SOFTWARE Inc., **Surfer- User Guide-** Version 5. Golden- 1994

GREENHOUSE, J.P.; ELLERT, N.; SLAINE, D.D. **Geophysical Methods in Groundwater Contamination Studies** Centre for Ground Water Research, Department of Earth Sciences, The University of Waterloo, - Canadá, 1988.

GUNSE, B. **Cromiun and agricultural use of tannery sludges**, In: Congresso da IULTCS, Barcelona, 1991. v.2 p.587-596.

HALLYDAY, D. ; RESNICK, R. **Física I** – Livros Técnicos e Científicos Editora, Rio de Janeiro- RJ. 2003.

HUTCHINSON, P.J.; BARTA L.S. **Geophysical Applications to Solid Waste Analysis**, in Sixteenth International Conference on Solid Waste Tecnology and Management , Philadelphia, U.S.A, 2000.

JÚNIOR, L.B., PEIXOTO,A.S.P., GIACHETI,H.L., ELIS,V.R., HAMADA,J., MIO,G., CAVAGUTI,N. X Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia Ambiental. Ouro Preto, 2002.

KOETZ, Paulo R, FARIA, Osvaldo L.V., NUNES, Wolney A . –**Tratamento de Efluentes Homogeneizados de Curtume por digestão anaeróbia em reatores de fluxo ascendente.**- Rev. Brás. de AGROCIÊNCIA , V.1 n° 1 Jan- Abr., 1995.

KELMAN, J. 2001. **Jornal Hoje em dia**, 29/7 a 4/8/2001.

KELLER, Wilfrid, CHERNICHARO, C. A; LAUFFER, J.; MOREIRA,R. V. - **O Cromo nos resíduos sólidos de Curtumes- Imobilização em materiais Cerâmicos.** In: 19° Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental , Foz do Iguaçu, 1998.

LANDIN, P.M.B. **Análise Estatística de Dados Geológicos.** São Paulo, Ed. UNESP, 2003

LANDIN, P.M.B & STURARO, J.R. – **Krigagem indicativa aplicada à elaboração de mapas probabilísticos de riscos.** DGA, IGCE, UNESP/ Rio Claro, Lab. Geomatématica, **Texto Didático** 06, 19 pp. 2002. Disponível em <http://www.rc.unesp.br/igce/aplicada/textodi.html>

- LARCHER, W. **Ecofisiologia Vegetal**, Rima, São Carlos- SP, 2000.
- LEAL, A S., **As Águas Subterrâneas no Brasil. O Estado das Águas no Brasil.** ANEEL,SIH,MMA,SRH Brasília- DF.2000.
- LEÃO,M.D., VIEIRA, M.R., **Redução da Carga Poluidora gerada em Curtumes através de melhor processo industrial.** Anais do 19º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, Salvador- BA,1997.
- LUZ, J. S.; OLIVEIRA, A. M.; SOUZA, J. O.; MOTTA, J. F. M.; TANNO, L. C.; CARMO, L. S. & SOUZA, N. B. **Projeto Coxipó.** DNPM/CPRM, v.1 (Relatório Final) Goiânia –GO, 1980.
- MIRANDA, J.M.A, **Introdução ao Geomagnetismo**, Centro de Geofísica da Universidade de Lisboa, Portugal, 2003.
- MORAES, B.S. **Disposição e Tratamento de Resíduos Sólidos de Curtumes em Aterros Sanitários- Aparas de Couros.**, Revista Brasileira de Recursos Hídricos, RS, vol. 07 N° 01 jan/mar 2002,p. 69-80.
- MCNEILL,J.D. **Electrical Conductivity of Soils and Rocks**, Geonics, Canada, 1980
- MCNEILL, J.D. **Electromagnetic Terrain Conductivity measurement at Low induction numbers** ,Technical Note TN-6 Geonics Ltd, Mississauga,Ontário Canadá, 1980.
- MCQUOWN, M.S. BECKER, S.R., MILLER,P.T. **Subsurface characterization of a Landfill Using Integrated Geophysical Techniques**, in Proceedings of the Fifth National Outdoor Action Conference on Aquifer Restoration, Ground Water Monitoring and Geophysical Methods, Las Vegas, USA, 1991.
- ORELLANA, E **Prospeccion Geoeléctrica em Corrente Continua** , Biblioteca Técnica Philips , Madri, 1972.
- ORTIZ, G. C. **Aplicação de Métodos Geoestatísticos para identificar a magnitude e a Estrutura da Variabilidade Espacial de Variáveis Físicas do Solo** –Dissertação de Mestrado,ESALQ, Piracicaba- SP, 2002
- OSKOOI, B. **A Broad View on the Interpretation of eletromagnetic data**, Dissertação de Mestrado, Acta Universitatis Upsaliensis, Uppsala- Suécia, 2004.
- PHILLIPS, D. **Electromagnetic Methods** – The University of Melbourne, Applied Geophysics, Melbourne, 2004 Disponível em [:www.epsc.wustl.edu/classwork/454/pdfs/lecture_phillips_em.pdf](http://www.epsc.wustl.edu/classwork/454/pdfs/lecture_phillips_em.pdf)
- PORSANI, J.L. **Método GPR: Aplicações em Geologia, Geotecnia, Meio Ambiente e Planejamento Urbano.** IAG/USP, São Paulo- SP, 2004.

REBOUÇAS, A.C. **Water's Crisis: Myth and Reality**. In: Conferência Internacional Solutions 95. Edmonton, 1995.

REBOUÇAS, A.C; BRAGA, B; TUNDISI, J.G., **Águas Doces no Brasil, Capital Ecológico, Uso e Conservação, Escrituras SP**, 2002.

REBOUÇAS, A . C. **Água Subterrânea no Novo Modelo do Saneamento Básico**, Instituto de Estudos Avançados , USP- 2002

RISCH, M.R., ROBINSON,B.A, **Use of borehole and surface geophysics to investigate groundwater quality near a road-deicing salt-storage facility, Valparaiso, Indiana** U. S. Geological Survey, 2000 disponível em : <http://in.water.usgs.gov/newreports/marty-borehole.pdf> .

SANTOS, M.O.R.M **O Impacto da Cobrança Pelo Uso da Água no Comportamento do Usuário**. Tese de D.Sc.,COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, RJ,Brasil, 2002.

SCHUTTS, L.D.,NICHOLS,D.G., **Surface Geophysical Definition of Ground Water Contamination and Buried Waste: Case Studies of Electrical Conductivity and Magnetic Applications**. In Proceedings of the Fifth National Outdoor Action Conference on Aquifer Restoration, Ground Water Monitoring and Geophysical Methods,Las Vegas, USA, 1991.

SPERLING, M.V, **Introdução à Qualidade das Águas e ao Tratamento de Esgotos**.- 2 Ed. Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental- UFMG- Belo Horizonte, 1996.

TELFORD, W.M.; GELDART L.P.; SEHERIFF, R.E; KEYS, D.A- **Applied Geophysics**. Cambridge University Press- 1990.

THOMAS, L. **Beginnings Operation EM** – The University of Melbourne, Applied Geophysics, Melbourne, 2004, disponível em www.earthsci.unimelb.edu.au/thomas/lt304elec.html

USACE- United States Army Corps of Engineers , **Electrical and Eletromagnetic Methods**, disponível em: www.usace.army.mil/inet/usace-docs/eng-manuals/em1110-1-1802/c-4.pdf , USA, 1995

ZIMBACK, C.R.L. **Apostila de Geoestatística**, Grupo de Estudos e Pesquisas Agrárias Georreferenciadas, UNESP- Botucatu-SP, 2003

