



## **Integração dos Métodos Eletromagnéticos *FDEM-GCM* e *GPR* na investigação de uma possível contaminação por um curtume, derivada de resíduos de químicos no município de Caçapava do Sul, RS.**

Fernanda S. Silva\*, José Pedro Rebés Lima<sup>1</sup>, Felipe Caron, Alini Nunes<sup>1</sup>, Marcos Vinicius Ferreira<sup>1</sup>, Marco Antonio Fontoura Hansen<sup>1</sup> e Carolina Gonçalves Leandro<sup>1</sup>.

1 Universidade Federal do Pampa.

### **Resumo**

O presente trabalho pretende realizar um diagnóstico de impacto ambiental por contaminação no subsolo e no sistema hídrico por poluentes químicos. Devido a essa possibilidade de contaminação. A contaminação investigada é proveniente do tratamento de couros. O estudo foi realizado num curtume localizado na zona rural do município de Caçapava do Sul (RS), o mesmo está em atividade aproximadamente à 10 anos. As metodologias geofísicas utilizadas foram o *Ground Penetrating Radar (GPR)*, e o método Eletromagnético domínio da frequência (*FDEM*) de investigação rasa *Ground Conductivity Meter (GCM)*. Os resultados obtidos evidenciaram a presença de possível contaminação no aquífero.

### **Introdução**

A necessidade do ser humano de se vestir, usar calçados, bem como outros artigos oriundos de couros bovinos, faz com que a indústria dos curtumes aumente cada vez mais.

O Brasil ocupa o 5º lugar na produção de couros bovinos no mundo, possuindo assim um dos maiores rebanhos mundiais. Conforme (CETESB, 2005), o Brasil é detentor de 450 curtumes de couro, sendo que, a produção e a indústria de couros localizam-se principalmente no sul e sudeste do país.

A tabela 1 apresenta a produção de couro por região no ano 2000.

**Tabela 1:** Produção de couro por região em 2000. Fonte: CNPC/IBGE/Aicsul.

<b>Região</b>	<b>Nº Couros</b>	<b>Part. (%)</b>
Sul	12.385.750	38
Sudeste	11.027.250	33
Centro-Oeste	4.920.500	15
Nordeste	3.562.000	11
Norte	604.500	2
Total	32.500.000	100

O processamento do couro passa basicamente por seu curtimento e acabamento nos curtumes (ABDI, 2011). Esse processo proporciona também enorme carga poluidora com a produção de resíduos sólidos e gasosos, como também dejetos líquidos, que contêm grande quantidade de material putrescível (sangue, proteína e fibras musculares) e compostos químicos dos elementos cromo, alumínio, ferro, magnésio, zinco e cobre. Além disso, o processo gera sulfeto de sódio e cloretos, que quando descartados sem tratamento e/ou acondicionamento podem provocar a contaminação do solo e das águas, bem como a geração de odores, causando grandes danos ao ambiente. Estes dejetos também apresentam alta carga orgânica que podem exaurir todo o oxigênio dissolvido nos cursos d'água. Por tudo isso, a indústria de curtumes é tida como uma das mais potencialmente poluidoras (NUNES, 2005).

Esse trabalho teve como objetivo identificar uma possível contaminação do aquífero, oriunda do processo industrial

de couros. Utilizando os métodos eletromagnéticos *GPR* e *FDEM-GCM*, caracterizando geotectonicamente a hidrogeologia da área de estudo e inferindo o fluxo de água subterrânea, aplicando o método eletromagnético no domínio da frequência (*FDEM*) de investigação rasa *Ground Conductivity Meter (GCM)*, utilizando o sistema EM-34-3XL, e o *GPR (Ground-Penetrating Radar)* utilizando o arranjo common off-set e a antena de 200 MHz para identificar pontualmente as áreas anômalas.

## Fisiografia e Geologia

A área de estudo localiza-se na zona rural do município de Caçapava do Sul, o qual conta com uma população de aproximadamente 33. 690 mil habitantes, distribuídos numa área de 3.047,126 Km<sup>2</sup>, tendo uma densidade demográfica de 11,06 (hab/Km<sup>2</sup>). Possui um clima tipo subtropical, apresentando verões quentes e secos e invernos frios e úmidos, tendo também uma precipitação pluviométrica varia entre 1.300 mm e 1.500 mm anuais para a região, (RADAMBRASIL, 1986). Caçapava do Sul apresenta um relevo montanhoso, com uma altitude de aproximadamente de 450 metros, e uma vegetação rasteira e herbácea.

A localização detalhada e os dados do referido ao curtume não será divulgado devido ao caráter sigiloso destas informações.

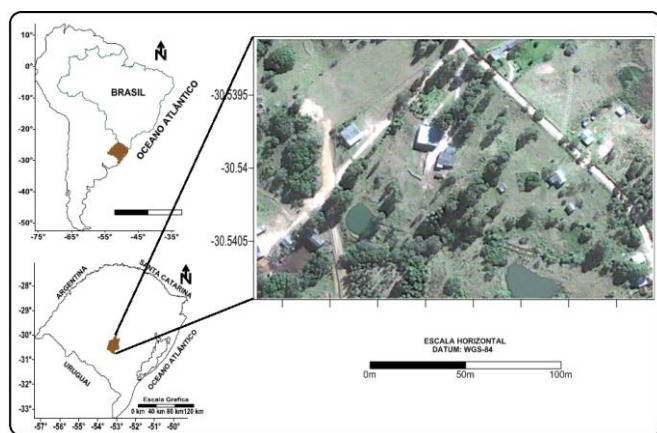


Figura 1 – Mapa de localização da área de estudo.

Segundo (ALMEIDA et Al., 1977) a região de Caçapava do Sul, localiza-se na unidade geotectônica denominada Escudo Sul-rio-grandense situada na porção meridional da Província Mantiqueira.

Esta área registra os eventos relacionados ao Ciclo Brasileiro/Pan-Africano no sudeste da América do Sul, (PORADA, 1979).

O arcabouço geológico do município de Caçapava do Sul é composto por rochas dos domínios tectônicos da Província Mantiqueira, Bacia do Camaquã, da Província Paraná e de Depósitos Aluviais Recentes (CPRM, 2006). A área de estudo geologicamente é caracterizada por formações de idade neoproterozóica, a mesma se insere na borda oeste da Suíte granítica Caçapava do Sul (~ 540 ± 11 Ma), figura 2. Um contexto geológico composto por metagranitóides de composição sieno e monzogranítica, variando a granodiorítica (CPRM, 2000), apresentando nos primeiros horizontes do solo uma cobertura formada por um manto de alteração de cor avermelhada com presença de material orgânico. O marco tectônico mostra a área inserida num contexto regional caracterizado pela presença de falhas com transcorrência sinistral seguindo um *Trendo* na direção NW-S, (BITENCOURT, 1983).

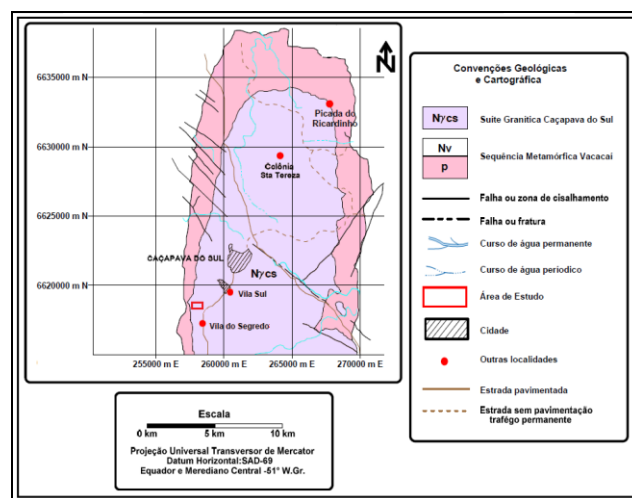


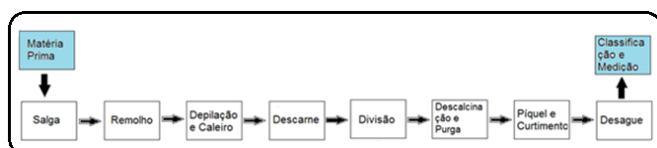
Figura 2 – Mapa Geológico Regional. Fonte: Adaptado da Folha Cachoeira do Sul (CPRM, 2000).

A hidrogeologia da área esta enquadrada no Sistema Aquífero Embasamento Cristalino II. São aquíferos limitados em rochas com porosidade intergranular ou por

fraturas. Geralmente apresentam capacidades específicas inferiores a  $0,5 \text{ m}^3/\text{h/m}$  (MACHADO e FREITAS, 2005).

Conforme (NUNES, 2005), a transformação de peles em couros é realizado por meio de uma série de etapas físicas, químicas (utilizando a água como veículo para a difusão dos produtos químicos e a eletricidade) e mecânicas, até o produto ficar pronto para ser transformado em produtos de consumo. O processo de produção de couro é contínuo e durante cada etapa são gerados diversos tipos de resíduos.

Na figura 3 é mostrado um fluxograma de cada etapa das fases do processo de curtimento do couro.



**Figura 3** – Fluxograma geral da fabricação de couros (modificado de NUNES 2005).

Os Processos que são desenvolvidos em um curtume vão além do curtimento, e devido a essa complexidade é preciso se ter uma ideia da potencialidade de contaminação de um curtume, tendo como finalidade a importância de se conhecer cada etapa do processo de produção.

### Metodologia

Os métodos geofísicos tradicionais, utilizados na prospecção mineral, podem também ser utilizados para solucionar questões relativas à detecção e monitoramento de fluxos de contaminantes uma vez que eles quase sempre apresentam teores elevados de ácidos e sais dissolvidos, que elevam consideravelmente a condutividade da água subterrânea (BERES & HAENI, 1991).

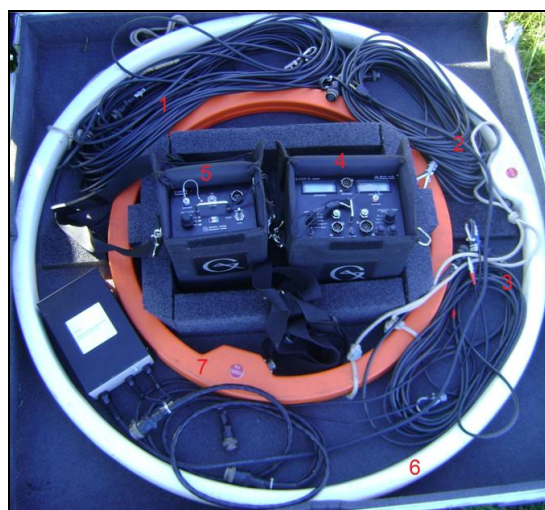
Foram utilizados na investigação geofísica do presente trabalho os métodos eletromagnéticos *FDEM-GCM Ground Conductivity Meter* (McNEILL, 1980) e o *GPR* (Ground-Penetrating Radar) (JOL, 2009).

Os princípios físicos são fundamentados pelas equações de Maxwell, que explicam a interação entre os campos elétricos e magnéticos variando no tempo.

### *FDEM-GCM (Ground Conductivity Meter)*

O levantamento de dados com o método *FDEM-GCM* (Figura 4) foi realizado utilizando o equipamento EM-34-3XL. As medidas foram realizadas ao longo de quatro linhas, orientadas na direção O-E/90°.

As linhas mediram aproximadamente 150 m de extensão, tendo um espaçamento de 10 m entre cada linha, foi utilizado o cabo de 10 m, que atinge uma profundidade teórica de 7,5 m e as leituras foram realizadas a cada 5 m. (Figura 5). O ponto inicial e final de cada linha foi marcado com o (GPS *Extrex Summit* da *Garmin corporation*). Posteriormente os dados adquiridos em campo foram digitados numa tabela do (*software Excel 2007*). Em laboratório, foram confeccionados gráficos para cada linha com a condutividade aparente versus a distância e o modo dipolo horizontal e vertical. Foram utilizando os *softwares de interpolação* para confeccionar secções em corte, gráficos e mapas de superfícies a partir dos valores de condutividade aparente.



**Figura 4** – Equipamento *EM-34-3XL*. 1, 2 e 3 cabos de espaçamentos 10, 20 e 40 m. 4 transmissor e 5 receptor. 6 bobina receptora (branca) e 7 bobina transmissora (laranja).

A figura 5 mostra é do croqui da área de estudo com as linhas de *FDEM-CGM* e *GPR*.

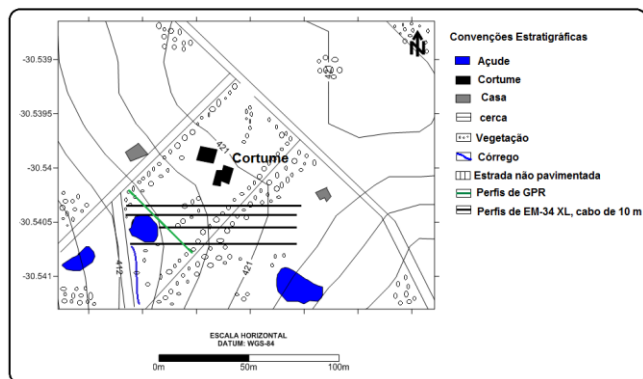


Figura 5 – Croqui da área de estudo.

### GPR (Ground-Penetrating Radar)

O Levantamento GPR foi desenvolvido com um *Ground probing radar*, modelo TR80 SS11297 e com a antena de 200 MHz fabricado pela empresa *IDS* (Ingegneria Dei Sistema S.p.A Made in Italy). A aquisição foi realizada no modo *common off-set* na qual se obtém uma seção de profundidade por distância. Foram realizadas linhas paralelas cruzando a área de estudo onde selecionou-se o perfil AA.

Os dados adquiridos foram processados no programa GRED (2008). O processamento passou pelas etapas: *Passa Banda Vertical* (TD), *Move Star Time*, *Background Removal*, *Smoothed Gain*, *Linear Gain*. Não foi necessária a correção topográfica uma vez que a seção escolhida não apresentava irregularidades importantes.

### Discussão dos Resultados

#### *FDEM-CGM* (Ground Conductivity Meter)

Analisando os gráficos produzidos a partir das medidas de condutividade (Figura 6) foi possível identificar áreas que foram associadas a fraturas da rocha encaixante.

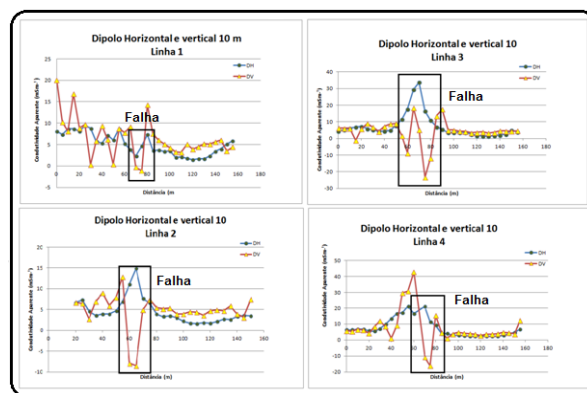


Figura 6 – Gráficos de condutividade aparente versus distância das quatro linhas realizadas em campo.

É possível observar nas linhas 1, 2, 3, e 4 (Figura 7), falhas na direção NW-SE. Foram encontrados valores de condutividade aparente que variam entre 0 à 46 mSm<sup>-1</sup>. Nos lineamentos analisados os valores de condutividade iniciam em torno de 7,5 m.

As observações de campo juntamente com os dados obtidos sugerem uma cobertura de solo pouco espessa, visto que em alguns locais o embasamento cristalino aflora na superfície na forma de pequenas extensões e/ou matacões livres. O mapa de superfície (Figura 8) encontra-se a uma profundidade relativa ao aquífero livre semi-regional, correspondendo a depósitos formados pelo manto de alteração do granito Caçapava do Sul, ocorrendo ainda nesse meio geológico a presença de matacões. Portanto é esperado que os altos valores de condutividade aparente (acima de 6.6 mSm<sup>-1</sup>) estejam associados a presença de contaminante no meio.

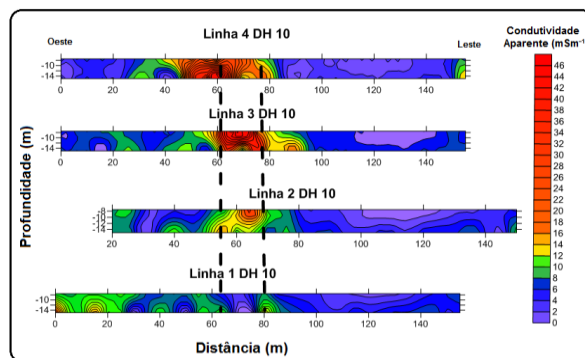
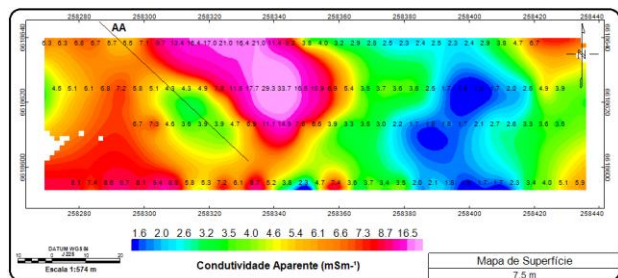


Figura 7 – Integração das Seções de Condutividade Aparente (mSm<sup>-1</sup>) das linhas 4, 3, 2 e 1.



A presença de fraturas no meio atua como ocorrência de aquíferos fraturados que controlam a direção de fluxo de água subterrânea da área estudada.



**Figura 8** – Mapa de superfície com o método *FDEM-CGM*, profundidade teórica de 7,5 m.

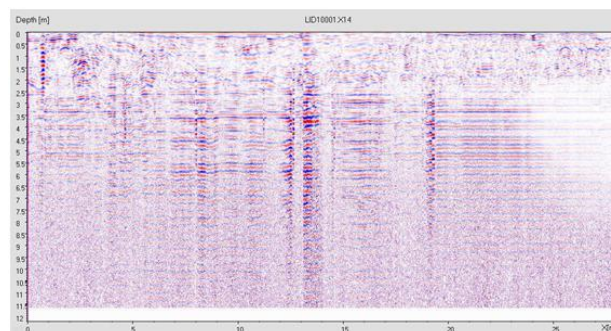
### **GPR (Ground-Penetrating Radar)**

O perfil AA foi realizado perpendicularmente as linhas de *FDEM-CGM*, no sentido NW-SE (Figura 5), e teve 67 m de extensão.

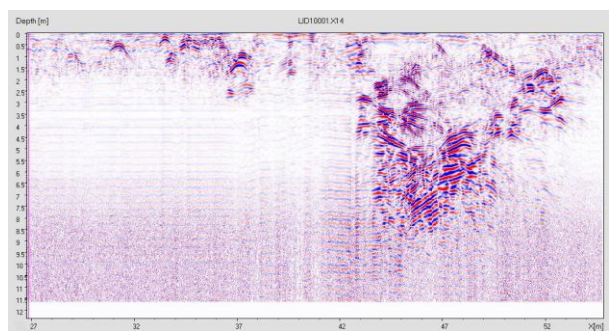
De modo geral, se obteve variações quanto a profundidade mínima e máxima relativas à penetração do sinal. Do início do radargrama até 42 m uma zona até no máximo 2,5 m de profundidade com pequenas e dispersas reflexões. De 31 até 37 m de distância em profundidades que variavam de 0,5 a 1,5 m notam-se a presença de hipérbolos. Este conjunto pode ser atribuído ao manto de alteração juntamente com o solo e as hipérbolos aos matações dispersos na matriz (Figura 9). Já de 43 m à 53 m entre as profundidades de 0,5 até 8 m encontra-se um padrão com alta reflexão composta por diversos refletores com formas distintas (Figura 10). Estes refletores foram atribuídos a rochas que chegam a aflorar na superfície e o padrão pode ser associado aos falhamentos bem como preenchimentos parciais entre rochas e solo.

Outro importante padrão observado no radargrama é uma zona sem reflexão ou de grande atenuação no sinal. Observa-se, que dos 25 m à 42 m, entre as profundidades de 2 m à 7 m nota-se este padrão, e novamente nas mesmas profundidades de 54 m de até 67m (Figuras 9, 10 e 11).

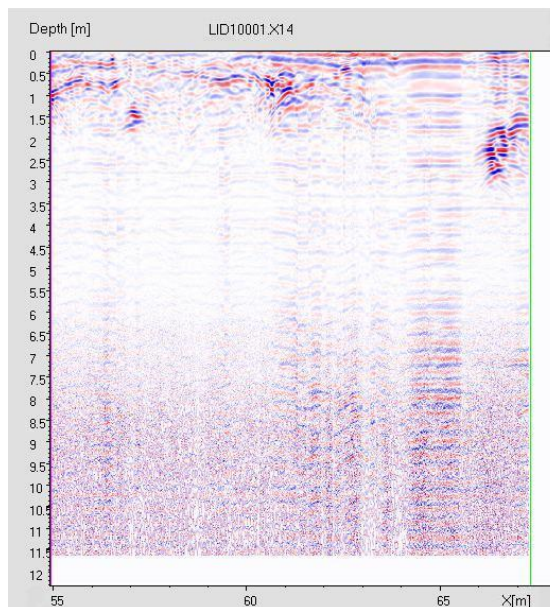
A ausência de sinal encontrada pelo método GPR, tiveram uma resposta muito semelhante ao trabalho de (Sergio et al, 2006).



**Figura 9** – Radargrama de GPR, realizado ao longo da linha AA de 0 à 27 m.



**Figura 10** – Radargrama de GPR, realizado ao longo da linha AA1 de 27 à 55 m.



**Figura 11** – Radargrama de GPR, realizado ao longo da linha AA2 de 55 à 67 m.

Sugere-se que a ausência do sinal em alguns trechos do radargrama, que coincidem concomitantemente com áreas de alta condutividade, devem estar atreladas à uma possível contaminação gerada através da percolação de líquidos ricos em sais (para o tratamento do couro), sendo introduzidos no sistema de aquíferos alterando, portanto, os padrões de condutividade aparente do meio.

### Conclusão

A interpretação dos dados eletromagnéticos na forma de gráficos de condutividade aparente *versus* distância e de secções em corte de valores de condutividade aparente identificaram a ocorrência de fraturas de direção NW-SE, as quais controlam a direção de fluxo da água subterrânea. A partir do mapa de condutividade aparente para a profundidade teórica de 7,5 m foi possível evidenciar áreas muito condutivas sugerindo assim uma possível contaminação associadas a estas áreas.

As zonas sem reflexão identificadas nos radargramas, foram atribuídas a presença de contaminantes no aquífero correspondente.

A integração dos métodos eletromagnéticos *FDEM-CGM* e *GPR* possibilitou a identificação de uma possível contaminação do aquífero livre bem como o imageamento da pluma de contaminação no sistema de aquíferos, na área estudada.

### Agradecimentos

Agradecemos à pró-reitoria de pesquisa PROPESQ/Unipampa pela aquisição do equipamento Condutímetro EM-34-3XL através do edital de Apoio a Pesquisa/2009 referente ao projeto de registro N<sup>o</sup> 03.002.09. Agradecemos ainda ao proprietário do Curtume que autorizou a execução do trabalho em sua e ao meus colegas do curso de Geofísica da Unipampa que ajudaram nos levantamentos geofísicos.

### Referências Bibliográficas

ALMEIDA, F. F. M.; HASUI, Y.; BRITO NEVES, B. B. & FUCK, R. A. 1977. Províncias Estruturais Brasileiras. In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DO NORDESTE, 8., Campina Grande, 1977. Atas..., SBG, p. 363-391.

Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial (ABDI) (2011). Relatório de Acompanhamento Setorial. Indústria de Couro. **Série Cadernos da Indústria ABDI**. Brasília, 2011.

BERES JR, M & HAENI, F.P. 1991. **Application of Ground-Penetrating-Radar Methods in Hydrogeologic studies**. *Ground Water*, v. 29 (3): p. 375-386.

BITENCOURT MF. 1983. Metamorfitos da região de Caçapava do Sul, RS: Geologia e relações com o corpo granítico. Atas do I Simpósio Sul-brasileiro de Geologia, Porto Alegre, RS, PP. 37-48.

CETESB. COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL. 2005. **Curtime**. São Paulo, 77 pp.

**CPRM - COMPANHIA DE PESUISA**. 2000. Programa Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil. Cachoeira do Sul, Folha SH.22-Y-A. Estado do Rio Grande do Sul. Escala 1:250.000. Organizado por Carlos Alfredo porcher e Ricardo da Cunha Lopes. Brasília, DF.

**CPRM - COMPANHIA DE PESUISA**. 2006. Mapa Geológico do Estado Rio Grande do Sul. Escala 1:750.000. Superintendência Regional de Porto Alegre, RS.

GRED. 2008. Software GRED: Elaborazione Dati Georadar. User's Manual. V. 02.01.008. IDS Ingegneria Dei Sistemi S.p.A: 133 p.

JOL, M. H. Ground Penetrating Radar: Theory and Applications. 402p, 2009.

MACHADO, J. L. F.; FREITAS, M. A. **Projeto Mapa Hidrogeológico do Rio Grande do Sul**: Relatório Final – Porto Alegre: CPRM, 65p. 2005.

McNEILL, J. D. **Eletromagnetic Terrain Conductivity Measurement at Low Induction Numbers, Technical note TN, 6**: 1980, 15 p. Disponível em: <http://www.geonics.com>.< Acesso em 15 de setembro de 2012>.

NUNES, L. P. M. Caracterização geolétrica da área de curtume localização no distrito de Icoaraci, Belém – PA. 2005. 88p. Tese (Dissertação de Mestrado) – Centro de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém, 2005.

RADAMBRASIL, 1986. **Folha SH22-Porto Alegre e Parte das Folhas SH21 Uruguaiana e SI21-Lagoa Mirim**.IBGE. Rio de Janeiro. V33.

FACHIN, S. J. S.; HUBER, F.; SHIRAIWA, S.; BORGES, R.W.; MIGLIORINI, B. R. Aplicação de Métodos Geofísicos para Identificar áreas Contaminadas por Resíduos de um Curtume. Revista Brasileira de Geofísica. V. 24, n.1, p. 129-138. 2006.