

# Monitoramento de acidente com carga perigosa em Coxilha Velha/RS

Roberto Naime

Prof. Dr., Departamento de Engenharia Civil – FENG – PUCRS; Departamento de Engenharia Industrial – ICET – Feevale; e-mail: [naimedec@pucrs.br](mailto:naimedec@pucrs.br) / [rnaime@feevale.br](mailto:rnaime@feevale.br)

## Resumo

Um caminhão carregado de cargas perigosas, contendo cromo, fenol e alumínio, sofreu um acidente rodoviário em 07/10/2002, no km 387,3 da BR 386, na localidade de Coxilha Velha, RS. Após realizado atendimento de emergência no local, foi removida toda carga tóxica restante, inclusive solos contaminados. A parte dos produtos químicos, espalhada durante o acidente, produziu uma contaminação nos solos e nos lençóis aquíferos fráticos do local. O presente trabalho descreve o monitoramento efetuado no local acidentado, incluindo análises químicas dos solos e rochas, monitoramento dos peixes dos açudes e determinação da pluma de contaminação do local, através de eletroresistividade, utilizando métodos de corrente contínua, envolvendo sondagens elétricas verticais e caminhamentos duplo dipolo-dipolo. Também, são feitas interpretações sobre a significância dos dados diagnosticados, e efetuados prognósticos sobre a situação da área.

## Palavras-chave

Geotecnia ambiental; monitoramento; pluma de contaminação.

## Abstract

A truck with dangerous loads of phenol, Cr and Al suffered an accident on a highway on Oct, 7/2002, km 387,3 of BR 386, in the town of Coxilha Velha, RS, Brazil. After an emergency attendance, all remaining dangerous load was removed, including contaminated soils. Nevertheless, chemical products spread during the accident caused soil and water contamination in the place. This work describes monitoring in the place, including chemical analysis of soils, water, fish and determination of plume contamination by electroresistivity. The electrical measures include Vertical Electrical probing and double dipole-dipole walking. The present work also puts an Interpretation on the significance of the diagnosed data and on the prognosis of the situation of the area.

## Key words

Environmental geotechnical; monitoring; plume of contamination.

## Introdução

O acidente ocorreu por volta das 20h30min, do dia 07/10/2002, no km 387,3 da BR 386. A equipe de emergência chegou ao local do acidente às 03h25min, do dia 08 de outubro de 2002, averiguando a área afetada e definindo um plano de ações.

Os produtos transportados eram os seguintes:

1. Chromossal B-A;
2. Dipropileno Glicol;
3. Sulfato de Alumínio;
4. Bicarbonato de amônia;
5. Ácido Adípico;
6. Agente para acabamento de couro;
7. Resina compacta;
8. Laca aquosa.

Foram removidos solos contaminados, sendo necessárias duas viagens de um caminhão caçamba, com capacidade de 20 m<sup>3</sup>. O restante das cargas foi remetido para destinação final no aterro de resíduos sólidos perigosos, no município de Gravataí. Posteriormente, foi removido um montante de 53m<sup>3</sup> de solos contaminados do local e remetidos a aterro de resíduos perigosos.

## Materiais e métodos

Ao considerar que:

- Foram efetuadas várias análises químicas de solos e água desde a ocorrência do acidente;
- A determinação do que sejam valores próprios de “background” dos constituintes químicos para cada área sempre é um processo singular;
- A natureza das rochas e os processos pedogênicos de solo atuam de forma própria em cada local, vinculados à condições de pluviosidade, taxas de escoamento superficial (“run off”), taxas de infiltração nos solos e taxas de evapotranspiração da água;
- É evidente que um acidente, envolvendo fenol, alumínio e cromo, vai produzir contaminações em solos e águas. Mas é necessário avaliar a extensão e o significado dos registros de análises químicas, referidos com a bibliografia disponível e com as características existentes no próprio local.

Por isso, diante da enorme dispersão de dados e referências, buscamos realizar um estudo estatístico das análises de cada constituinte, a saber: fenol, alumínio e cromo, para determinação da média encontrada, tanto nas análises dentro da área mais afetada quanto fora, separando o meio solo do meio água, para buscar a partir da definição do desvio padrão, valores anômalos.

Foram arbitrados como anômalos valores da média mais o intervalo de um desvio padrão, correspondendo a um valor referente a obtenção de amostras contaminadas (fora da população média mais um desvio padrão). Nota-se que os valores elevados de desvio padrão, muitas vezes acima da média, significam que populações ou amostragens muito diferenciadas foram comparadas. Por exemplo, horizontes argilosos de solo, com níveis de transição para as rochas.

Com esta proposta de trabalho, buscamos dar ordenação e alguma significância para todos os dados avaliados, ainda que não conseguindo evitar as comparações entre amostras diferentes.

Na tabela 1, a seguir, são apresentados os valores médios de fenol, alumínio e cromo para as amostras de solo e na água, que serviram de base para classificar os resultados como significativos de contaminação ou dentro do “background” regional.

Tabela 1 – Estatística dos dados da área.

| Solo |            |                |               |              |
|------|------------|----------------|---------------|--------------|
|      | Substância | Média          | Desvio Padrão | Limite (95%) |
|      | Fenol      | 0,47 mg/Kg     | 0,48          | 0,95         |
|      | Al         | 7.576,38 mg/Kg | 3.784,97      | 11.361,35    |
|      | Cr         | 24,47 mg/Kg    | 13,43         | 37,9         |
| Água |            |                |               |              |
|      | Substância | Média          | Desvio Padrão | Limite (95%) |
|      | Fenol      | 0,072 mg/l     | 0,14          | 0,21         |
|      | Al         | 5,02 mg/l      | 7,95          | 12,97        |
|      | Cr         | 4,13 mg/l      | 21,12         | 25,29        |

A partir desta tabela, valores acima da coluna de “Limites”, das tabelas seguintes 2, 3, 4 e 5, referentes a diferentes baterias de análise de monitoramento, é que foram classificadas as amostras como contaminadas ou não contaminadas.

Os valores considerados contaminados, acima do Limite referente à média + desvio padrão, estão indicados com asterisco entre parênteses ao lado do número.

A seguir, para facilitar a visualização, foi elaborado um mapa de contaminação, com as amostras localizadas, tendo por base o Mapa de Localização georreferenciado por GPS marca Garmin, modelo Etrex.

Foram realizados 3 mapas de contaminação para cada bateria de análises, sendo um para fenol, outro para alumínio e um para cromo. No presente trabalho, são apresentados apenas os mapas de contaminação referentes a última bateria de análises.

Nesses mapas, os pontos de amostragem georreferenciados, que estão apresentados em cor verde, sofrem o seguinte tratamento:

- Permanecem de cor verde, caso não tenham sido analisados na bateria de análise em questão;
- Passam para a cor vermelha, se foram analisados na bateria em questão e se encontram em valores estatisticamente significativos para contaminação;
- Passam para a cor azul, se foram analisados na bateria em questão e se encontram em valores estatisticamente não significativos para contaminação.

## Análises químicas

### Análises de 08/10/02

Nas análises datadas de 08/10/02, foram encontrados valores anômalos de fenol nos seguintes locais:

1. Ponto 2;
2. Banhado;
3. Açude 3.

Para o Alumínio, o tratamento estatístico não indicou nenhum valor de contaminação; Para o Cromo, não foram considerados anômalos nenhum dos valores encontrados em amostras retiradas nesta data. Os resultados das análises químicas realizadas nesta data, estão assinalados na tabela 2 a seguir.

Tabela 2 - Análises químicas de 08/10/2002.

| Físico/Solos (mg/kg)            | Fenol     | Al      | Cr      |
|---------------------------------|-----------|---------|---------|
| Ponto 1                         | 0,813     | 4,900   | 14,97   |
| Ponto 1 - (Profundidade = 30cm) |           |         |         |
| Ponto 2                         | 22,2 (*)  | 5.649,9 | 13,35   |
| Meio Físico /Água (mg/l)        | Fenol     | Al      | Cr      |
| Banhado                         | 0,649 (*) | 10,73   | 114,1   |
| Açude 1                         | < 0,001   | 3,98    | 0,192   |
| Açude 2                         |           |         |         |
| Açude 3 Entrada                 | 0,299 (*) | 3,86    | 4,12    |
| Açude 3 Saída                   |           |         |         |
| Poço Artesiano (Casa Atingida)  | < 0,001   | 1,49    | < 0,003 |

### Análises de 14/10/02

Na data de 14 de outubro de 2002, foram realizadas análises químicas dos seguintes pontos, apresentados na tabela 3:

1. Pontos 1, 2 e 3 dos solos;
2. Açudes 1, 2 e 3;
3. Poço artesiano da casa atingida.

Os resultados, interpretados dentro dos critérios adotados e já discutidos, apontam que há contaminação para fenol, nos solos dos pontos 1 e 2, nas profundidades entre 30cm e 50cm, e na amostra recolhida no banhado. Para o Alumínio, só pode ser considerada contaminada, pelo valor registrado, a amostra recolhida no banhado. O Cromo só registra contaminação no ponto 3, conforme se observa na maioria das análises efetuadas para Cromo, nos vários locais e durante todo o tempo do monitoramento. O ponto 3 registra, de fato, o ponto mais afetado pela contaminação de Cromo.

Tabela 3 - Análises químicas de 14/10/2002.

| Data: 14/10/2002                |           |          |            |
|---------------------------------|-----------|----------|------------|
| Físico/Solos (mg/kg)            | Fenol     | Al       | Cr         |
| Ponto 1                         | < 0,001   | 6.843,86 | 11,98      |
| Ponto 1 - (Profundidade = 30cm) | 5,66 (*)  | 8.566,19 | 14,98      |
| Ponto 2                         | < 0,001   | 3.575,93 | 6,27       |
| Ponto 2 (Profundidade = 50cm)   | 15,38 (*) | 6.176,9  | 7,39       |
| Ponto 3                         | < 0,001   | 3.880,57 | 345,99 (*) |

| Meio Físico /Água (mg/l)       | Fenol     | Al        | Cr      |
|--------------------------------|-----------|-----------|---------|
| Banhado                        | 0,384 (*) | 26,15 (*) | 0,046   |
| Açude 1                        | < 0,001   | 4,09      | < 0,003 |
| Açude 2                        | < 0,001   | 2,95      | < 0,003 |
| Açude 3 Entrada                | 0,035     | 4,11      | 0,046   |
| Açude 3 Saída                  | 0,077     | 3,24      | 0,034   |
| Poço Artesiano (Casa Atingida) | < 0,001   | 1,63      | < 0,003 |

### Análises de 6 a 11/11/02

Entre os dias 6 e 11 de novembro de 2002, também foram executadas novas baterias de análises químicas do local, objetivando acompanhar o andamento do acidente na área.

Nestas coletas, foram contemplados os seguintes locais:

1. Pontos 1, 2 e 3 do solos, inclusive em profundidade;
2. Banhado;
3. Açudes 1, 2 e 3;
4. Poço artesiano da casa atingida;
5. Poço da oficina;
6. Poço da Casa Branca;
7. Poço da Lenir Cabeleireira;
8. Poço da Polícia Rodoviária Federal.

Foram coletadas amostras de vários locais fora do acidente para melhor avaliar o significado dos valores encontrados nas áreas afetadas pelo acidente.

A observação dos dados, interpretados de acordo com os critérios estatísticos adotados, indica que, para fenol, apenas o ponto 1 de análises em solo exibe valores representativos de contaminação;

para os valores registrados de Alumínio, apenas a amostra coletada na zona de banhado apresenta valores que podem ser considerados anômalos;

para o Alumínio, cabe registrar que as amostras dos solos estão em populações de dados muito abaixo dos valores normalmente encontrados, nas 2 baterias anteriores e na fase de análise posterior.

As amostras de Cromo são anômalas, novamente, somente no ponto 3 das coletas em solos, mas em valores bastante inferiores aos valores encontrados nas baterias anteriores. Os resultados estão apresentados na tabela 4, a seguir.

Tabela 4 - Análises químicas de 06 a 11/11/2002.

| Físico/Solos (mg/kg) | Fenol    | Al     | Cr        |
|----------------------|----------|--------|-----------|
| Ponto 1              | 0,71     | 39,47  | 7,17      |
| Ponto 1 - (P = 30cm) | 1,19 (*) | 98,64  | 7,19      |
| Ponto 2              | 0,72     | 77,64  | 5,76      |
| Ponto 2 (P = 50cm)   | < 0,001  | 153,74 | 7,53      |
| Ponto 3              | 0,17     | 52,89  | 95,47 (*) |

| Meio Físico/Água (mg/l)        | Fenol   | Al        | Cr      |
|--------------------------------|---------|-----------|---------|
| Banhado                        | 0,17    | 36,02 (*) | 1,351   |
| Açude 1                        | 0,060   | 2,59      | < 0,003 |
| Açude 2                        | 0,196   | 2,19      | < 0,003 |
| Açude 3 Entrada                | < 0,001 | 1,79      | 0,057   |
| Açude 3 Saída                  | 0,154   | 1,65      | 0,023   |
| Poço Artesiano (Casa Atingida) | < 0,001 | 0,655     | < 0,003 |
| Poço da Oficina                | < 0,001 | 0,34      | < 0,003 |
| Poço Casa Branca               | < 0,001 | 0,35      | < 0,003 |
| Poço Lenir Cabeleireira        | < 0,001 | 0,23      | < 0,003 |
| Poço Polícia Rod. Federal      | < 0,001 | 0,42      | < 0,003 |

#### Análises de 28/01/03

No final do mês de janeiro de 2003, foi realizada nova bateria de análises químicas no local, apresentadas na tabela 5. Para efetuar um controle adequado dos pontos monitorados, foram instalados 4 piezômetros e demarcados, com marcos para registro dos locais, os pontos de coleta de solos.

Foram realizadas coletas nos seguintes pontos:

1. Pontos 1 e 2, de solos, a 20 e a 50cm de profundidade;
2. Açudes 1, 2 e 3;
3. Piezômetros 1, 2, 3, e 4;
4. Poço da Lenir Cabeleireira;
5. Poço da Casa Amarela.

A análise das amostras para o elemento fenol indica que não há registro de qualquer contaminação persistente para este elemento em nenhum dos locais analisados.

Para Alumínio, a população de valores para solo novamente é alta nesta bateria, como ocorre nas fases 1 e 2 de análises, diferentemente da fase 3, por motivos que não sabemos explicar a origem. Mas nenhum valor se encontra dentro do campo estatístico da amostra contaminada para solo.

Na água, apenas o piezômetro de número 4 registra valor de Alumínio, considerado contaminado na área. Para o Cromo, apenas o ponto 2 dos solos assinala valor dentro do campo estatístico da contaminação. Não ocorre mais qualquer contaminação na água.

Os mapas, referentes a esta bateria de análises, estão apresentados nas Figuras 1, 2 e 3, a seguir, adotando os mesmos critérios de cores dos demais mapas, objetivando facilitar a visualização espacial do monitoramento.

Tabela 5 - Análises químicas de 28/01/2003.

| Físico/Solos (mg/kg)            | Fenol   | Al        | Cr        |
|---------------------------------|---------|-----------|-----------|
| Ponto 1 - (Profundidade = 20cm) | < 0,001 | 4.505,38  | 21,26     |
| Ponto 1 - (Profundidade = 50cm) | < 0,001 | 313,21    | 22,95     |
| Ponto 2 - (Profundidade = 20cm) | 0,3     | 9.364,90  | 33,94     |
| Ponto 2 - (Profundidade = 50cm) | 0,128   | 10.252,76 | 39,94 (C) |

| Meio Físico/Água (mg/l) | Fenol   | Al        | Cr      |
|-------------------------|---------|-----------|---------|
| Agude 1                 | < 0,001 | 4,27      | < 0,003 |
| Agude 2                 | < 0,001 | 2,46      | < 0,003 |
| Agude 3 Entrada         | < 0,001 | 3,48      | < 0,003 |
| Piezômetro 1            | < 0,001 | 4,57      | < 0,003 |
| Piezômetro 2            | < 0,001 | < 0,20    | < 0,003 |
| Piezômetro 3            | < 0,001 | 4,12      | < 0,003 |
| Piezômetro 4            | < 0,001 | 14,94 (C) | < 0,003 |
| Poço Lenir Cabeleireira | < 0,001 | 2,09      | < 0,003 |
| Poço Casa Amarela       | < 0,001 | 1,23      | < 0,003 |

Para esta bateria de análises, são apresentados os mapas de contaminação nas Figuras 1, 2 e 3.

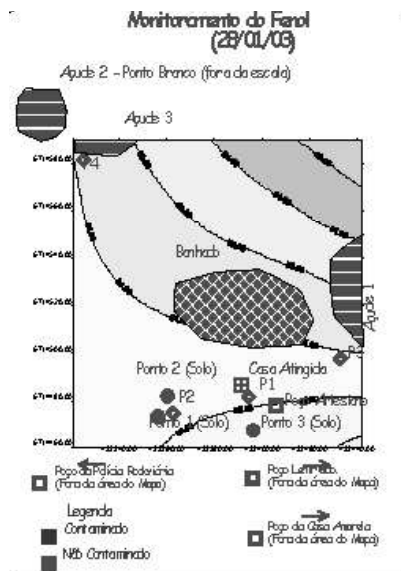


Figura 1 - Mapa de monitoramento do Fenol em 28/01/03.

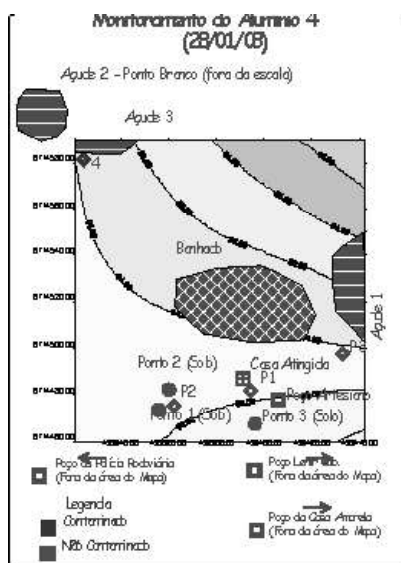


Figura 2 - Mapa de monitoramento do Alumínio em 28/01/03.

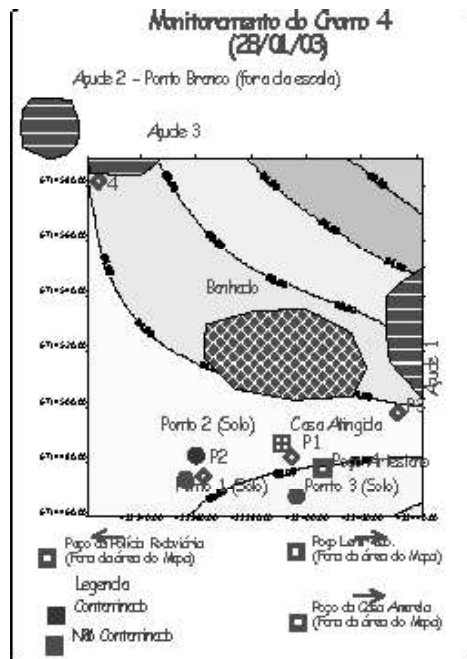


Figura 3 - Mapa de monitoramento do Cromo em 28/01/03.

## Mapeamento da pluma de contaminação

Na eletroresistividade, método de prospecção geofísica, injeta-se uma corrente elétrica "I" (medida em miliampères) no terreno através de 2 eletrodos, denominados por convenção de A e B, dispostos paralelamente, e se mede a diferença de potencial "V" (medida em milivolts), produzida no terreno pela passagem da corrente em outros dois pontos, por convenção denominados M e N, também alinhados aos dois primeiros já citados. O resultado é uma medida de resistividade aparente da região do terreno penetrada.

O distanciamento sucessivo do par A e B produz um aumento da penetração de corrente no terreno e, portanto, na profundidade de investigação. Sob o ponto de vista teórico, esse aumento de profundidade é rigorosamente verdadeiro em meio homogêneo.

A resistividade medida é proporcional à fração  $V/I$ , onde  $V$  é a diferença de potencial e  $I$  a intensidade de corrente. Esta fração  $V/I$ , pela Lei de Ohm, equivale à resistência ôhmica, para os casos em que é constante (meio homogêneo e isotrópico). O produto dessa fração por uma constante  $K$  função do espaçamento e disposição entre os 4 eletrodos, resulta no valor de resistividade aparente procurada.

Na medida em que os materiais rochosos são isolantes elétricos, a maior ou menor resistividade aparente, calculada a partir das medições de campo, representa a umidade presente no interior da rocha e responsável pela condutividade elétrica existente. Assim, espera-se de terrenos com elevada resistividade elétrica pequena presença de umidade ou água, e de terrenos com baixa resistividade elétrica maior presença de umidade ou água. Como é medida apenas a condutibilidade ou seu oposto, a resistividade, o método é qualitativo não podendo oferecer projeções sobre quantidade de umidade ou vazões.

A eletroresistividade mostrou excelentes resultados na determinação da área contaminada, na medida em que a maior quantidade de produtos químicos solubilizados determina a redução dos valores de resistividade elétrica aparente.

Dessa forma, juntamente com o monitoramento químico, será mantido o controle através de eletroresistividade, com a medição das resistividades aparentes, para controlar o avanço e a dissipação da pluma de contaminação.

A Figura 4 apresenta o Mapa da Pluma de Contaminação do local, com as Curvas de iso-resistividade elétrica aparente, mapeadas no local da Casa atingida pelo acidente.

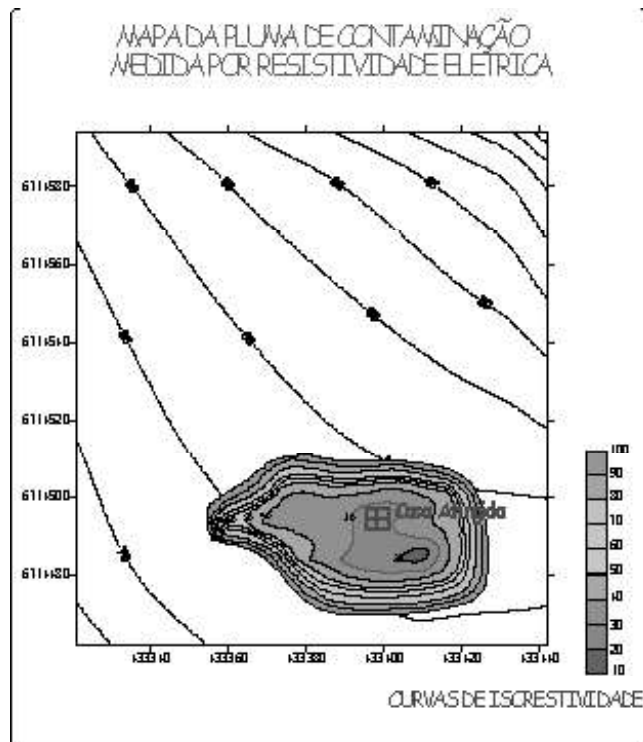


Figura 4 - Mapa da Pluma de Contaminação.

## Conclusões

- Todos os procedimentos recomendáveis para a proteção ambiental da área afetada foram executados;
- Foram providenciadas barreiras de contenção, visando impedir a ampliação dos efeitos do acidente e removidos todos os solos contaminados para aterros de disposição de resíduos perigosos;
- Foi fornecido apoio às populações atingidas, mantendo ininterrupto o fornecimento de água potável para a casa afetada;
- Manteve-se monitoramento adequado dos solos, das águas e da fauna atingida nos açudes;
- Foram ampliados os trabalhos de monitoramento, empregando eletro-resistividade por corrente contínua, para aprimorar o controle da pluma de contaminação do local e de seu comportamento;
- Os dados aqui apresentados e interpretados permitem concluir que o “estresse”, produzido pelo acidente, já foi parcialmente recuperado pelo ecossistema local;
- Os valores de fenol já se encontram totalmente dentro da normalidade;
- Os registros das análises de Alumínio são elevados na região devido a tipologia dos solos locais, conforme amplamente demonstrado e apresentado na bibliografia com a análise estatística dos valores, confirmando que os mesmos se encontram dentro do padrão de normalidade para o local;
- E, finalmente, os dados de Cromo confirmam que ainda ocorrem contaminações pontuais, que deverão ser alvo de controle;
- A grande capacidade da geofísica elétrica em mapear e controlar o comportamento da



pluma de contaminação torna recomendável seu emprego como técnica de monitoramento;

- Como regra geral, é possível concluir que o acidente se encontra totalmente controlado, com os contaminantes químicos em acelerado processo de dissipação.

## Referências Bibliográficas

KOEFIED, O. Resistivity Sounding Measurements. In: **Geosounding Principles, 1**.

Netherlands: Elsevier Scientific Publishing Company, 1979. 276 p.

ODUM, P. E. **Ecologia**. Rio de Janeiro: Guanabara, 1983.

ORELLANA, E. **Prospeccion Geoelectrica en Corriente Continua**. Madrid: Editorial Paraninfo, 1972, 523 p.

RAMGRAB, G. E.; WILDNER, W.; CAMOZZATO, E. In: Brasil. Ministério das Minas e Energia. Secretaria de Minas e Metalurgia. Programa Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil.

**Porto Alegre Folha SH.22-Y-B. Estado do Rio Grande do Sul**. Brasília: CPRM, 1997. 143p.

STRECK, E. V.; KÄMPF, N.; DALMOLIN, R.S.D.; KLAMT, E.; NASCIMENTO, P. C. DO.;

SCHNEIDER, P. **Solos do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre, UFRGS, 2002, 123p.

