



Levantamento magnetométrico em aterro de resíduos sólidos – Rincão dos Bitencourt, Município de Caçapava do Sul – RS.

Maura Motta Silveira^{1*}, Fernanda Garcia e Maximilian Fries²

¹ Geofísica da Universidade Federal do Pampa, Centro de Ciências Exatas e da Terra – Campus Caçapava do Sul

² Professor Adjunto da Universidade Federal do Pampa, Centro de Ciências Exatas e da Terra – Campus Caçapava do Sul

Copyright 2011, SBGf - Sociedade Brasileira de Geofísica

This paper was prepared for presentation during the 12th International Congress of the Brazilian Geophysical Society held in Rio de Janeiro, Brazil, August 15-18, 2011.

Contents of this paper were reviewed by the Technical Committee of the 12th International Congress of the Brazilian Geophysical Society and do not necessarily represent any position of the SBGf, its officers or members. Electronic reproduction or storage of any part of this paper for commercial purposes without the written consent of the Brazilian Geophysical Society is prohibited.

Abstract

Geophysical investigations in several environmental studies are common. The aim objective of this study is to detect contaminations in different levels of investigation (shallow and depth) in a non-invasive form. The main objective is to evaluate and detect the lateral and deep limits from a waste landfill site located in Bitencourt farm near Caçapava do Sul city, Rio Grande do Sul State-Brazil. The area served as landfill and received an amount of 28.000 ton. during 14 years of different waste types without any environmental criteria worldwide established. In 1994 the area has to be recuperated and started a recovering plan determined by the environmental agency (FEPAM). The results indicate that may have accured a significant material deposition due the presence of faults and fractures in the rocks that act as substract for the waste landfill. Total magnetic field map and processment techniques allows to detect anomalies in shallow and in depth levels and also its geometry and depth recognition. The geophysical modeling in the A – B profile permits the better understanding, analysis and visualization from the studied area. The waste were deposited in the landfill area in a regular manner (depth and in area) and a 12 meters limit and 1 meter minimum were established for the landfill. The magnetometric method in landfill waste sites is unusual but in this case was effective by the fact that the area have low noise presence (powerlines, antennas, vehicles, etc). The method is a valuable tool and recommended to contaminated áreas where the magnetic fiel is undisturbed.

Introdução e Objetivos

Diariamente são lançadas cerca de 200.000 toneladas de resíduos domésticos no meio ambiente, 96% tem o destino final em algum aterro não controlado. Isso acontece em 95% das cidades do País, estas cidades possuem áreas comprometidas sem nenhum controle sanitário ou ambiental causando problemas

como o aumento da poluição e a proliferação de doenças, insetos e mau-cheiro. Órgãos ambientais como o IBAMA (Instituto Brasileiro do Meio Ambiente) e a FEPAM (Fundação Estadual de Proteção Ambiental) trabalham na recuperação destas áreas junto com as prefeituras dos municípios.

Nos últimos anos a geofísica tem realizado vários estudos ambientais. No diagnóstico ambiental de áreas contaminadas, a aplicação de métodos geofísicos tem por objetivo básico a identificação de presença da contaminação subterrânea e seus limites, além da definição das feições geológicas/estruturais e hidrogeológicas dos locais investigados.

A metodologia aplicada consiste no levantamento magnetométrico aplicada em uma área de deposição de resíduos domiciliares, próximo a cidade de Caçapava do Sul, RS.

As principais etapas de desenvolvimento deste estudo preliminar, objetivos gerais e específicos são:

- Levantamento bibliográfico, digitalização e geração de mapas;
- Levantamento magnetométrico terrestre;
- Processamento dos dados (geração de um *grid*);
- Mapa de isovalores com os valores magnetométricos de campo total;
- Determinar os principais gradientes horizontais (anomalias) e sua correlação com as litologias, lineamentos e estruturas na área.
- Correlacionar os mapas magnetométricos de isovalores das anomalias detectadas;
- Correlacionar os resultados das anomalias magnetométricas com as características do local investigado;
- Elaborar um modelo geofísico 2D^{1/2} a partir de perfis ao longo das principais anomalias observadas;
- Propor hipóteses e análises acerca da geometria e profundidade da área de acúmulo de resíduos, presença de falhas/fraturas condicionantes a percolação do chorume.

Localização da área e histórico

A área de estudo localiza-se no município de Caçapava do Sul, situado a 255km da cidade de Porto Alegre, na porção sul do Estado do Rio Grande do Sul, Brasil. O acesso dá-se pela Avenida Pedro Anunciação, Vila Batista ou pelo Forte Dom Pedro II(Figura 1). Durante 14 anos, 28.000 toneladas de lixo urbano foram depositados em um local impróprio para esse fim,

causando poluição no meio ambiente e transtorno aos moradores próximos a área através do aumento da população de insetos e mau-cheiro. A produção diária de chorume era grande ocorrendo poluição nos dois cursos de água que existem próximo a área. Em julho de 1994, a Prefeitura Municipal de Caçapava do Sul foi autuada pelo IBAMA que estabeleceu um prazo para a recuperação da área. Através das normas do IBAMA e da Metroplan em 11/09/1994 começaram os trabalhos de recuperação da área (PMC, 1994).

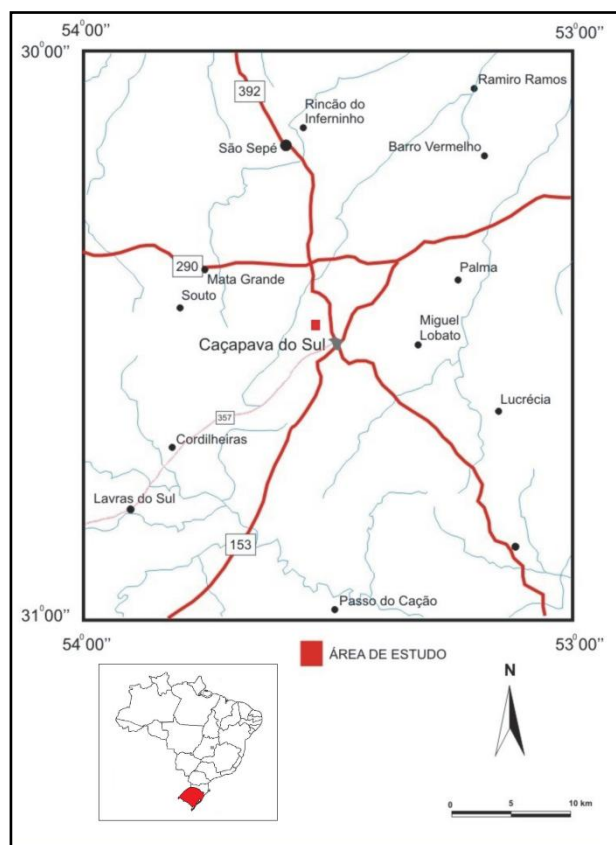


Figura 1 - Mapa de localização da área de estudo com as principais rodovias.

Contexto geológico

A área encontra-se regionalmente localizada na Bacia do Camaquã. O contexto geológico é marcado pela complexidade e seu registro estratigráfico compreende rochas sedimentares de origem marinha, aluvial e eólica e também rochas vulcânicas e vulcanoclásticas de composição variada. Sua complexidade é contribuída pelos sucessivos eventos tectônicos.

A litologia predominante é “Sequência Metamórfica Vacacaí”, esta denominação foi introduzida na estratigrafia do Escudo Sul-Rio-Grandense por Goñi *et al.* (1962), para designar associações de filitos, quartzitos, mármore, anfibólio xistos e clorita xistos, que juntamente com associações magnesianas agruparam no Grupo Porongos. Fragozo Cesar (1980) restringiu o termo Vacacaí as sequências metamórficas de baixo a médio

grau da porção oeste do escudo, reunindo metamorfitos vulcano-sedimentares e rochas básico-ultrabásicas. Na década de 80, em face da descontinuidade física de exposição desses metamorfitos, passaram a ser utilizadas as seguintes denominações estratigráficas locais: Complexo Bossoroca, Complexo Passo do Feio, Metamorfitos Arroio da Porteira, Complexo Marmeleiro, Maciço Máfico-Ultramáfico Cerro da Mantiqueira, Complexo Palma, Complexo Batovi e Complexo Ibaré. Chemale Jr. *et al.* (1995) retornam à utilização do termo Vacacaí, no qual reúnem unidades máfico-ultramáficas justapostas a sequências de rochas supracrustais metamorfizadas.

A sequência Metamórfica Vacacaí é constituída por rochas juvenis com idades correspondentes ao período Neoproterozóico, 753 ± 2 Ma (Machado *et al.*, 1990) e 705 ± 2 Ma (Hartmann *et al.*, 2003). Próximo a área de estudo temos limites com diferentes coberturas como o Complexo Granítico Caçapava do Sul e o Grupo Santa Bárbara.

O Complexo Granítico Caçapava do Sul, composto principalmente por granodioritos, monzogranitos e sienogranitos (Nardi *et al.*, 1989), é intrusivo nos metamorfitos e possui idade magmática em torno de 550 Ma (Sartori *et al.*, 1985). Essas rochas afloram sob a forma de blocos na superfície do terreno ou como lajeiros nos leitos das drenagens e exibem uma marcante foliação milonítica, orientada NNE-SSW com mergulho forte e vertical.

O Grupo Santa Bárbara constitui uma sucessão com aproximadamente 2,5 km de espessura de conglomerados, arenitos e siltitos de coloração castanha avermelhada. Esta unidade aflora de forma contínua ao longo de 400 km². Este grupo possui em sua base a 22 Formação Acampamento Velho, composta por rochas vulcânicas e piroclásticas de composição ácida com idade de $545,1 \pm 12,7$ Ma (Almeida *et al.*, 1996).

Porcher *et al.* (2000a) considerou que, na área abrangida pela Folha Cachoeira do Sul, a Sequência metamórfica Vacacaí (Figura 2) é constituída por duas associações: 1) rochas metassedimentares, anteriormente agrupadas no Complexo Passo do Feio e na Sequência Metamórfica Arroio da Porteira; e 2) rochas vulcânicas metamorfizadas localmente denominadas Sequência Campestre. A Sequência Metamórfica Vacacaí é limitada principalmente por coberturas vulcano-sedimentares não metamórficas e é intrudida por granitóides sintranscorrentes, tardi a pós-tectônicos e pós-tectônicos. Na região noroeste de sua área de exposição faz contato com o Complexo Metamórfico Básico-Ultrabásico, o qual está tectonicamente sobreposto às rochas meta-vulcanoclásticas.

A associação Metavulcânica (Nvv) da Sequência Metamórfica Vacacaí está representada em duas áreas principais: na região entre o Cerrito do Ouro e o arroio Bossoroca onde foi denominada Sequência Campestre (Koppe *et al.*, 1985); e a sul do Granito Caçapava do Sul, região em que foram caracterizadas as *Pillow* Lavras do Arroio Mudador.

Na área de estudo, especificamente observa-se rochas metamórficas com coloração cinza claro/escuro, pouco alterada. Há presença de foliação principalmente relacionada ao Batólito Granítico Caçapava do Sul. Há também presença de veios quartzosos em escala

métrica/centimétrica. Estruturalmente, as rochas apresentam fraturas verticais/sub-verticais e horizontais em algumas áreas das rochas aflorantes. As principais direções de foliação variam de N50° a N80° com mergulhos sub-verticais de até 80°. As medidas são correlacionáveis ao trend na área em escala regional e, especificamente nas áreas limítrofes das bordas do corpo granítico.

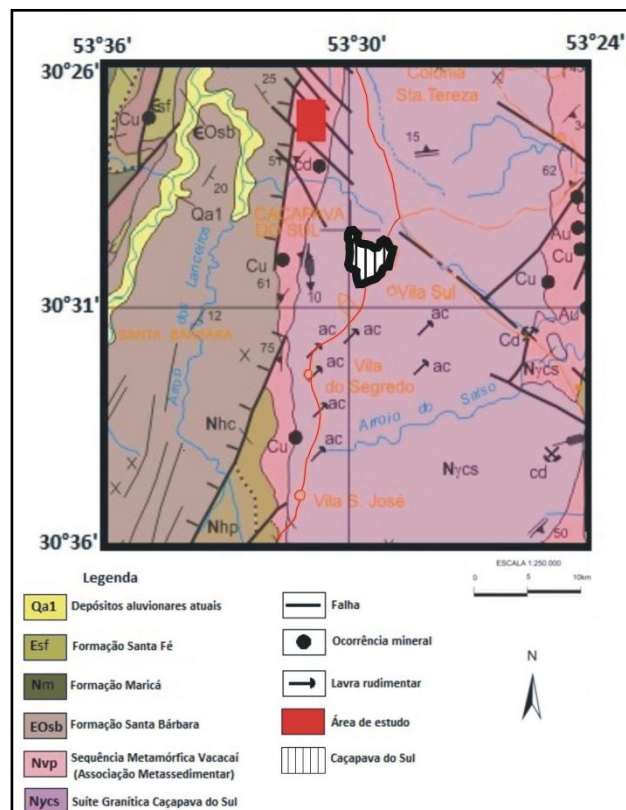


Figura 2– Mapa geológico da região de Caçapava do Sul e principais unidades aflorantes na região (Modificado de Porcher, 2000b).

Metodologia

Foram adquirida um total de 362 estações magnetométricas terrestres (Figura 3). As estações magnetométricas situadas dentro do limite do aterro, foram constituídas em 11 linhas, com um espaçamento de 10 metros entre cada uma delas. O espaçamento entre as estações magnetométricas foi de 5 metros. As demais estações foram adquiridas na área adjacente ao aterro. As coordenadas horizontais (X e Y) para localização geográfica das estações foram determinadas usando-se um GPS portátil de mão. As leituras magnéticas das estações levantadas foram obtidas através de um magnetômetro de precessão de prótons da marca GEM Systems Inc, modelo GSM – 19T.

Os dados adquiridos neste estudo são representados graficamente após o processamento e tratamento inicial, na forma de mapa sombreado de contorno de isovalores, gerado através de um grid com um

espaçamento pré-determinado de 5 metros que gera as respectivas curvas de isovalores obtidas.

Ao ser gerado o *grid* com os valores de interesse (residual), pode-se detectar por meio de perfis magnetométricos e posterior modelagem dos dados, os efeitos causados nos campos magnéticos. O *grid* gerado na plataforma Oasis Montaj da GEOSOFT Inc., fornece subsídios para a elaboração dos mapas aqui apresentados e possibilita o processamento dos dados de interesse.

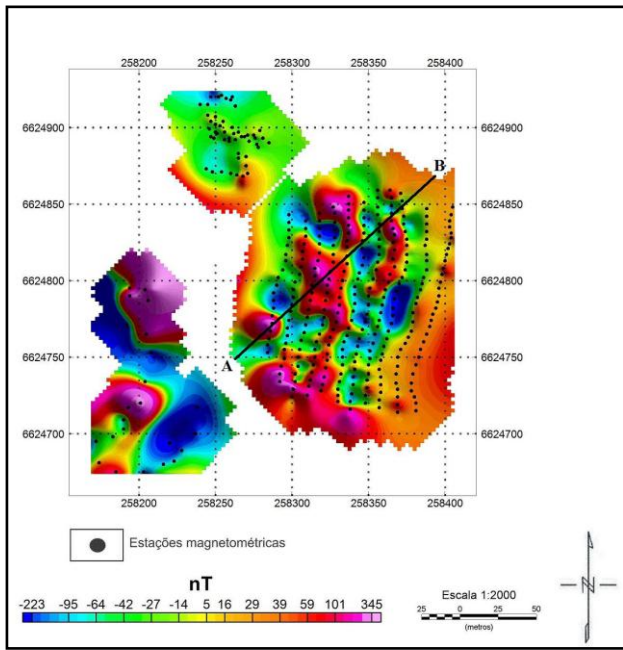
Características do mapa magnetométrico

O mapa magnetométrico residual gerado a partir de uma superfície de tendência de polinômio grau 2 é produto de um *grid* gerado por interpolação pelo método da mínima curvatura. O *grid* é composto por 64 X 77 pontos (direções X e Y respectivamente), com uma separação da malha de 2 metros. Os valores interpolados no *grid* permitem a geração de um mapa de cores com os respectivos isovalores das anomalias magnéticas apresentadas. A base de dados com as estações magnetométricas, coordenadas, dados das anomalias magnéticas e o mapa de contorno, foram elaborados por rotinas próprias no software OASIS/MONTAJ comercializado pela Geosoft Inc.

O mapa residual gerado a partir dos dados de campo anômalo total (Figura 3) apresenta uma anomalia regular, homogênea com valores em torno de 300 nT presentes no setor SW e W central; Anomalia com valores baixos, em torno de -223 até -80 nT, pertencentes ao setor SW, ao lado do aterro onde não ocorreu a deposição de lixo em nenhum momento; Valores de nT variando entre -42 até -10 nT. Região sem deposição de resíduos, mas vizinhas a área com deposições; Nos setores NE e SE. Anomalias causadas pela presença de resíduos depositados de forma irregular na área do aterro, lixos que não foram depositados em valas. Região que apresenta valores elevados, variando de 59 até 345 nT; Valores médios para a região onde possuíam valas, portanto, resíduos enterrados de forma regular. Pertencentes aos setores NE e Se, com valores médios de 20 nT.

Características da Modelagem Magnetométrica

A modelagem, magnetométrica feita nesse estudo, consiste na elaboração de modelos denominados de $2^{1/2}D$ tendo como base as características geológicas, estruturais e, também dos resíduos responsáveis pela assinatura magnetométrica da região. O modelo aqui proposto procurou atender as principais feições litológicas conhecidas em superfície, assim como delinear seus limites e profundidades na área estudada. Tendo-se como base o mapa residual gerado a partir de uma superfície de tendência de polinômio grau 2, sua compartimentação e anomalias detectadas. O modelo proposto para esse estudo segundo o perfil pré-determinado (A – B). Este perfil possui 175 metros de comprimento e 20 metros de profundidade segundo a Figura 4.



De acordo com os dados magnetométricos adquiridos no campo, o acúmulo dos resíduos foi realizado ao longo da área de forma irregular e de profundidades diferentes. O material depositado é desconhecido e de diversas composições, por tratar-se de um lixão de acordo com a classificação do IBGE, (2000) foi estabelecido os valores de susceptibilidade magnética possuem variações que podem ter de 10 a 130 SI (Brenner, 1973) e 40.000×10^{-6} (Knödel *et al.*, 2007). Os valores (SI) adotados para um ajuste aceitável para a curva calculada dos dados observados são os seguintes:

- Crosta: 0.03 SI
- Lixo: 0.09 SI

Figura 3 -Mapa residual gerado a partir de uma superfície de tendência de polinômio grau 2, com perfil adotado para modelagem.

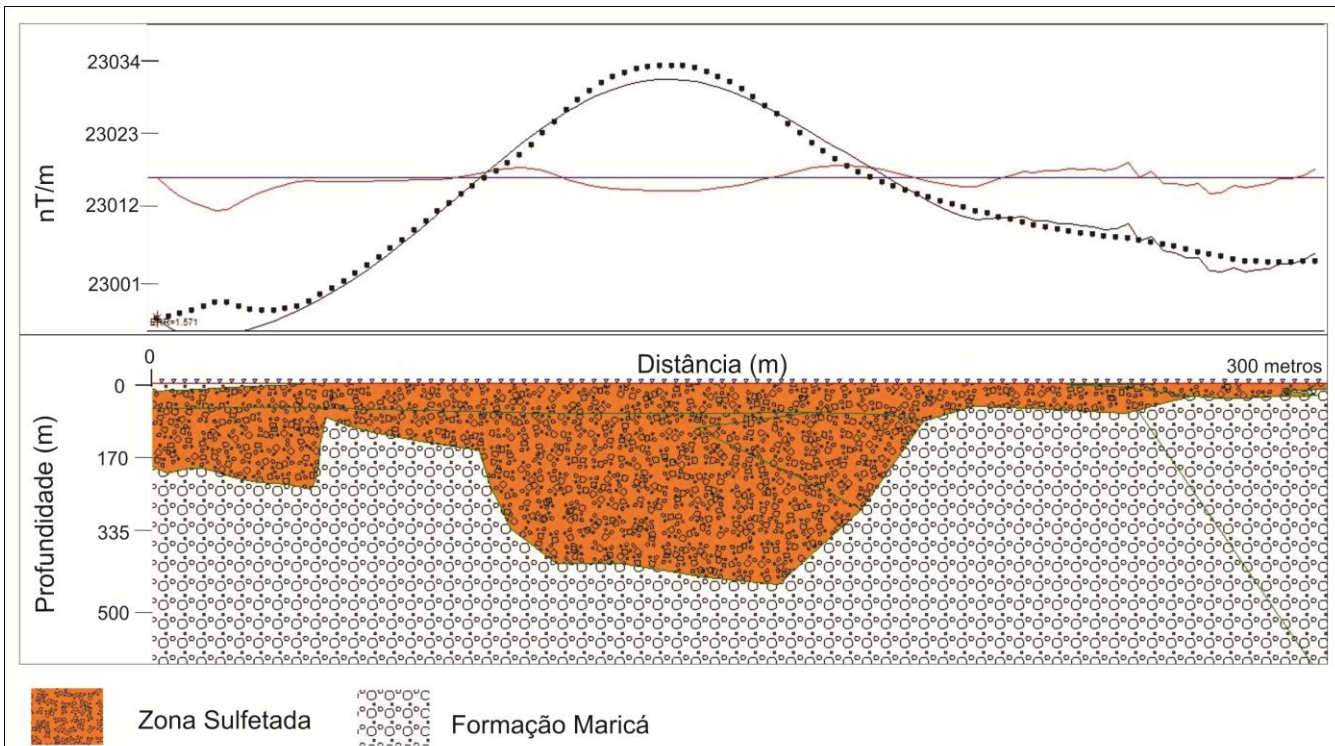


Figura 4 – Perfil A-B proposto para a modelagem magnetométrica. Os pontos representam os valores observados no campo e a linha contínua a curva calculada.

Discussões e Conclusões

Uma aquisição geofísica aplicada ao estudo de resíduos urbanos (lixo) com nível de detalhe local nessa região ainda é inédita.

É importante considerar a localização da área, livre de ruídos urbanos (fios elétricos, veículos, casas, etc) propício ao método proposto e, também. A importância de determinar-se, de forma indireta, acúmulos de materiais danosos ao meio ambiente considerando a proximidade com os córregos, a fauna e flora presentes e a conseqüente contaminação em toda região circunvizinha em níveis rasos e profundos.

A litologia da área, ou seja, o substrato que aloja esses materiais diversos possui fraturas e foliação proeminente permitindo uma fácil percolação de todo material (chorume) em níveis profundos mesmo sendo a área de abrangência do lixão pequena (100 x 150 metros). O método usado da magnetometria possibilitou detectar, na sua grande maioria materiais de características sólidas e metálicos de diferentes tamanhos e susceptibilidades magnéticas. A verificação da contaminação causada por percolações no meio (de caráter geoquímico) como chorume é possível, somente, por meio de outros métodos geofísicos de investigação (eletromagnéticos e geoeletrônicos por exemplo).

Tendo como dado principal os valores do campo magnético anômalo total adquiridos em campanha de aquisição terrestre, foi necessário utilizar métodos de processamento a fim de detectar-se as principais anomalias em especial, as localizadas em níveis rasos que é o objeto principal deste estudo.

Como ferramenta auxiliar e importante, a modelagem magnetométrica realizada permitiu parcialmente uma visualização, análise e compreensão da área estudada, mesmo em tratando-se de um perfil.

É possível concluir que o mapa de resíduos foi o que melhor mostrou a realidade do aterro. Mostrando os diferentes locais em que foram enterrados os materiais, com as evidentes anomalias com formas irregulares e distribuídas irregularmente na área.

No perfil A – B, as acumulações de material (lixo) possuem 12 metros de profundidades máximas e de 1 metro, para profundidades mínimas. É possível detectar feições alongadas com profundidade de 10 e 12 metros, situadas a 30 e 55 metros na eixo X do perfil (comprimento). Essas feições, devido ao caráter penetrativo que possuem no embasamento, são evidências de prováveis fraturas pré-existentes na rocha a qual encontra-se o material depositado (lixo).

No modelo são contrastantes as áreas com mais acúmulo de lixo (até 90 metros no eixo X) e com menor quantidade de material depositado (de 90 a 175 metros no eixo (x)).

A modelagem segundo o perfil A – B é correlacionável com as feições anômalas do mapa de resíduos permitindo, desta forma, concluir que a deposição de lixo foi realizada sem nenhum critério técnico ambiental e com deposição do material sem avaliação prévia das características geológicas e estruturais. As prováveis fraturas existentes que alojaram o material em níveis mais profundos, segundo o modelo gerado, são evidências do risco ambiental provocado. O uso do

método geofísico da magnetometria mostrou-se uma ferramenta eficaz em áreas distantes do meio urbano sem a presença de ruídos externos.

A magnetometria associada ao conhecimento geológico e estrutural possibilitou o entendimento e análise parcial do lixão localizado no Rincão dos Bittencourt, próximo ao município de Caçapava do Sul – RS. Permitiu, também, avaliar um problema freqüente em diversas regiões do país que, associado a outros métodos geofísicos auxilia no diagnóstico mais acurado do nível de contaminação de contaminantes não magnéticos que também são um grande fator de risco para a população e o meio ambiente.

Agradecimentos

Os autores agradecem o auxílio prestado pelo acadêmico Lenon Ilha, nas aquisições magnetométricas na área estudada. Ao professor doutor César Moreira que possibilitou o conhecimento e acesso aos dados de localização dos perfis geoeletrônicos previamente adquiridos.

Referências

BITENCOURT, M. de F. Metamorfitos da Região Caçapava do Sul, RS - Geologia e Relações com o Corpo Granítico. *In: SIMPÓSIO SUL-BRASILEIRO DE GEOLOGIA*, 1, Porto Alegre, 1983. *Atas...* Porto Alegre:SBG, 1983. p. 37-49.

FRAGOSO CESAR, A.R.S. O Cráton Rio de La Plata e o Cinturão Dom Feliciano no Escudo Sul-Riograndense. *In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA*, 31 Balneário Camboriú, 1980. *Anais...* Florianópolis: SBG, 1980. v. 5, p.2679-2692.

GEM SYSTEMS – GSM 19 v 7.0 *Instruction manual*, <http://www.gemsys.ca>.

GEOSOFT INCORPORATED. 1999. Montaj MAGMAP filtering; 2 – D frequency domain of potential field data extension for Oasis Montaj v.6.1. Toronto, Ontario, Canadá.

KOPPE, J.C.; HARTMANN, L.A.; LISBOA, P.F.C.; MONTEIRO, R.N. Aspectos geológicos e estratigráficos do Complexo Bossoroca, São Sepé – RS. *Simpósio Sul Brasileiro de Geologia*, 2, Florianópolis, 1985. *Atlas*. Florianópolis: SBG, 1985. P.32-36.

MACEDO, P.M.; BECKEL, J.; SANTOS, E.L.; CHABAN, N.; GONZALES FILHO, F. Ocorrência de *Pillow-Lavas* no Arroio Mudador, município de Caçapava do Sul - RS. *In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA*, 30, Recife, 1978. *Anais...* Recife: SBG, 1978. v. 3, p.1268-1278.

OLIVEIRA, Mônica Teixeira de; Aplicação integrada de métodos geoeletricos em área de disposição de resíduos sólidos domiciliares no município de Caçapava do Sul. Trabalho de Conclusão de Curso, UNIPAMPA, Caçapava do Sul, 2010.

PORCHER, Carlos Alfredo; LOPES, Ricardo da Cunha. Relatório folha Cachoeira do Sul SH.22 - Y - A: 2000a. Porto Alegre. 147p.

PORCHER, Carlos Alfredo; LOPES, Ricardo da Cunha. Cachoeira do Sul, folha SH.22 - Y -A. Porto Alegre:CPRM, Programas Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil, 2000b. Escala 1: 250.000.

PREFEITURA MUNICIPAL DE CAÇAPAVA DO SUL (Brasil). Relatório Secretária Municipal do Meio Ambiente. 1994. Caçapava do Sul, RS.

TELFORD, W.M.; GELDART, L.P.; SHERIFF, R.E. & KEYS, D.A. 1976. Applied Geophysics. Cambridge: Cambridge University, 860p.