



## Mapeamento de condutividade elétrica em áreas com acúmulo e emanação de biogás

Israel A. Dragone, Carlos A. Mendonça,  
Departamento de Geofísica – IAG/USP

Copyright 2015, SBGf - Sociedade Brasileira de Geofísica

This paper was prepared for presentation during the 14<sup>th</sup> International Congress of the Brazilian Geophysical Society held in Rio de Janeiro, Brazil, August 3-6, 2015.

Contents of this paper were reviewed by the Technical Committee of the 14<sup>th</sup> 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

Environmental problems caused by emanation of biogas (CH<sub>4</sub> and CO<sub>2</sub>) have become frequent as urbanization grows over areas previously used as dump sites for wastes and sediments with high organic content. Application of non-invasive methods for mapping biogas accumulations is attractive due to minor risk and costs, if compared with direct sampling with monitoring wells. This work initially presents a profile of apparent conductivity (EM-34) over a place with proved occurrence of biogas, well characterized by multilevel monitoring wells and resistivity sections. This profile shows that at the place with trapped biogas the apparent conductivity increases, due to a conductive layer between 3m and 5m depth as recognized in the resistivity sections. This EM-34 response was then regarded as a kind of “signature” to map the lateral continuity of the area with trapped biogas. This was accomplished by extending a set of parallel profiles until outline the area of the conductive anomaly. The results were compared with available records of biogas emanation with good agreements.

### Introdução

Sedimentos orgânicos em condições anaeróbicas no substrato experimentam processos de biodegradação com etapas de fermentação e metanogênese que como produtos principais geram metano (CH<sub>4</sub>) e dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) (Christensen, 2010). Com a conversão de parte da matéria orgânica em gás, a pressão interna da fração gasosa nos poros aumenta, expulsando a água de poro e, em estado avançado, permitindo que o biogás escape pela superfície. A mobilidade da fração gasosa é alta, podendo ser transportada por difusão pela coluna d'água ao longo de poros ou fissuras ou dutos produzidos por plantas vasculares porosas. Ao interceptar camadas pouco permeáveis o biogás pode ser aprisionado, desenvolvendo acumulações em regime de sobre pressão (Mendonça et al., 2015). Se encontrar caminhos de escape até a superfície, o fluxo de gás pode ser abrupto, em processos denominados de ebulição (Stamp et al., 2013).

A geofísica tem se mostrado efetiva na determinação de acumulações de biogás, com o uso do GPR (*Ground Penetrating Radar*) para profundidades de até 2 m, ou

com imageamento elétrico para alvos mais profundos. O imageamento elétrico apenas com perfis de superfície normalmente não tem resolução para detectar feições mais profundas associadas aos bolsões de gás. Para tanto é necessário combinar arranjos em superfície e poço que aumentam a sensibilidade da base de dados a níveis mais profundos. A interpretação dos resultados deve ser feita com base em amostragem direta, se possível utilizando poços de monitoramento multi-nível.

Este trabalho apresenta um estudo efetuado em uma área teste no campus da USP Leste, São Paulo, em região de várzea do rio Tietê. O local foi anteriormente estudado com poços de monitoramento multi-nível (Abreu, 2012), identificando acumulações de biogás em dois níveis distintos. Apresentamos uma breve descrição do método EM-34, a resposta obtida sobre um perfil de teste e, por fim, o mapeamento da continuidade lateral dessa unidade.

### Métodos

O trabalho de campo empregou um condutivímetro EM-34 (Geonics) com medidas de condutividade elétrica aparente ( $\sigma_a$ ). O equipamento é composto por uma bobina emissora, T<sub>x</sub>, e uma receptora R<sub>x</sub>, ligadas por um cabo de referência, a frequência dependendo do espaçamento entre T<sub>x</sub> e R<sub>x</sub>. Utilizando o modo VCP (vertical coplanar) com espaçamento entre bobinas de 10m e frequência de 6.4 kHz o nível com maior contribuição no sinal (profundidade de investigação) é maior na faixa até 5 m. A condutividade aparente (McNeill, 1980) é dada por:

$$\sigma_a = \frac{4}{\omega \mu_0 s^2} \left( \frac{H_s}{H_p} \right)$$

sendo  $\sigma_a$  a condutividade aparente (mSm<sup>-1</sup>);  $\omega=2\pi f$  a frequência angular,  $f$  a frequência do campo no transmissor,  $\mu_0$  a permeabilidade magnética no vácuo;  $s$  o espaçamento entre as bobinas Tx e Rx,  $H_s$  o campo secundário (quadratura) e  $H_p$  o campo primário da bobina Tx calculado na posição da bobina Rx.

### Local de Estudo

A área de teste está situada na zona leste de São Paulo, no campus da USP-Leste (figura 1), na antiga planície de inundação do Rio Tietê, contendo uma camada antropogênica com espessura de 4m. Poços se estendendo até 10 m de profundidade cortam sedimentos fluviais do Quaternário, ricos em areia e argilas, com

altos teores de matéria orgânica, ultrapassando 40% em algumas amostras (Abreu, 2012; Mendonça et. al, 2015).



Figura 1: Campus da USP-Leste (vermelho).

### Trabalhos Realizados

A tomada de dados foi realizada em duas campanhas de campo, iniciando-se sobre um perfil EM34 (2.a) coincidente com seções de resistividade obtidas por (Abreu, 2012), antes da perfuração de poços (2.b) e depois da perfuração (2.c), nesse caso empregando eletrodos em superfície e poço. A interpretação da seção de resistividade em 2.c é apresentada na figura 2.d, incorporando dados de amostragem de gás e água em 15 níveis de profundidade.

Na segunda campanha foram feitas medidas em perfis paralelos, com separação de 10m e espaçamento entre medidas de 5m. Para minimizar interferências causadas por construções, uma distância mínima de 10m dos edifícios foi mantida. Em cada ponto do perfil três medidas foram tomadas e sua média calculada. O posicionamento do centro do arranjo foi medido com GPS (primeira campanha), ou tiradas diretamente do Google Earth (segunda campanha). A segunda campanha teve como objetivo delimitar a continuidade sul-sudoeste da anomalia de condutividade. Ao longo do perfil de teste, as medidas foram tomadas a cada 5 m.

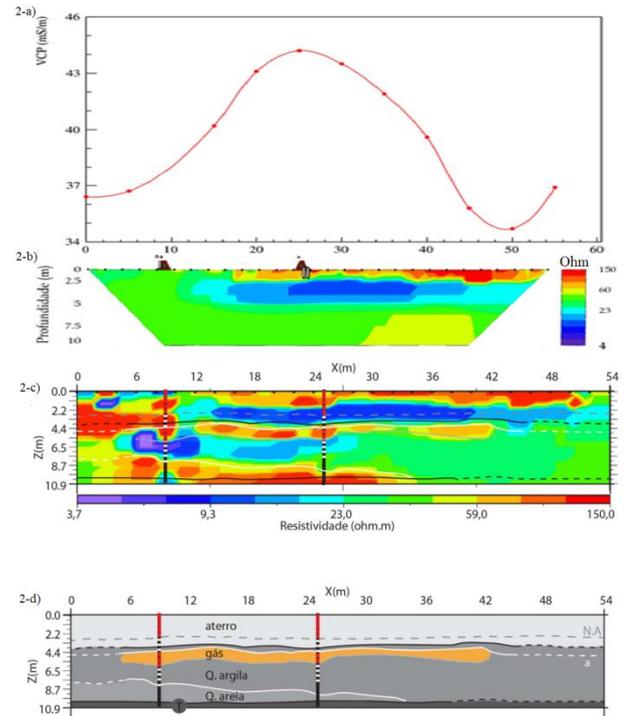


Figura 2: Diferentes respostas para um mesmo alvo: 2.a) Condutividade aparente EM-34 (VCP/10m); 2.b) Seção de resistividade elétrica (eletrodos só em superfície); 2-c) Seção de resistividade com arranjo poço e superfície; 2-d) interpretação geológica. Seções de resistividade adaptadas de Abreu (2012).

### Processamento de dados

Em posse das coordenadas espaciais de cada ponto e suas respectivas condutividades, utilizou-se o software Surfer, versão 9, para gerar os mapas de condutividade aparente interpolando os dados pela função vizinho natural (Sibson, R., 1981). Os pontos amostrados foram subdividido em três áreas, sendo gerado três mapas de condutividade, posteriormente apresentado em uma base comum, com imagem Google Earth de fundo.

Os valores de condutividade medidos na linha de teste, na segunda campanha, tiveram um deslocamento praticamente constante,  $15 \text{ mSm}^{-1}$ , em todos os pontos de dados (figura 3). O valor de  $15 \text{ mSm}^{-1}$  foi adicionado às leituras realizadas na primeira campanha de medidas.

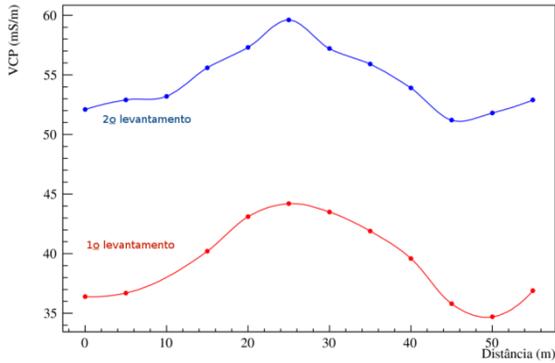


Figura 3: Medidas de condutividade no perfil de teste, nas duas tomadas de campo, shift médio entre as curvas azul e vermelha de  $15 \text{ mS} \cdot \text{m}^{-1}$ .

Para se minimizar influências externas em cada medida aplicou-se uma janela móvel de três amostras, suavizando possíveis variações bruscas em medidas consecutivas. Os mapas de condutividade mostram os pontos amostrados, a condutividade interpolada sobreposta sobre uma figura do campus permitindo visualizar quais áreas estariam mais comprometidas (figura 4). Um mapa com os erros das leituras é apresentado na figura 5.

### Resultados

O mapa de condutividade aparente (figura 4) mostra que as porções mais condutivas do terreno se encontram próximas aos edifícios, alguns deles apresentando acumulações no subsolo que requerem ventilação e monitoramento constantes. Outra região, na porção oeste do mapa, também chama atenção pelos altos índices de condutividade. Nesse local havia um edifício conhecido como "laranjinha" que precisou ser demolido por causa da acumulação de biogás no subsolo.

Mais ao centro da figura (estrela verde), no perfil menor, pode-se notar também altos valores de condutividade, até o momento não se tem indícios da ocorrência de biogás neste local, talvez explicado por ser uma área mais aberta, ou então pode não haver fissuras ou dutos naturais para o escape do gás neste local.

Destaca-se na Figura 4 a ocorrência de zonas mais condutivas circundando a área com construções, sugerindo que a condutividade aumenta na área construída. A interferência causada pelas construções impede que o EM-34 seja aplicado nessa área.

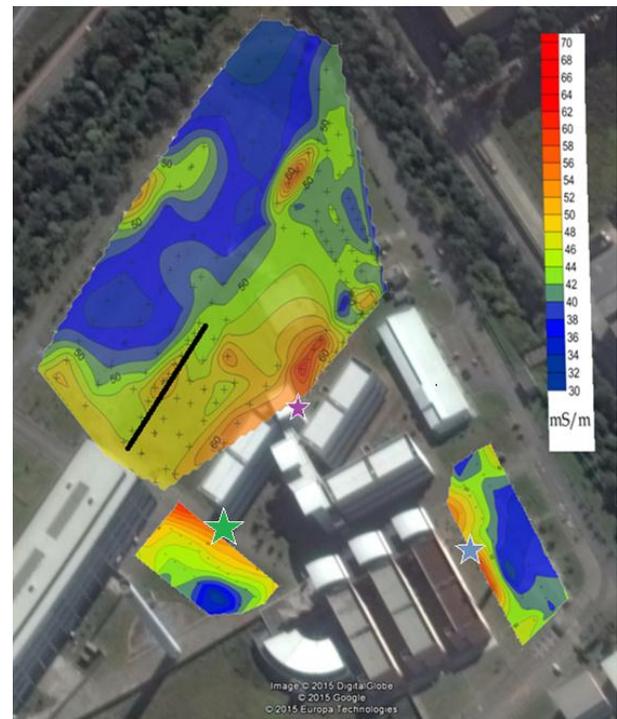


Figura 4: Mapa de condutividade (Surfer 9) sobre imagem do Google Earth, com o posicionamento da linha teste (o traço preto); edifício com infiltração de gás (estrela rosa); região com edifício (estrela azul) que foi demolido devido a riscos causados pela acumulação de gás.

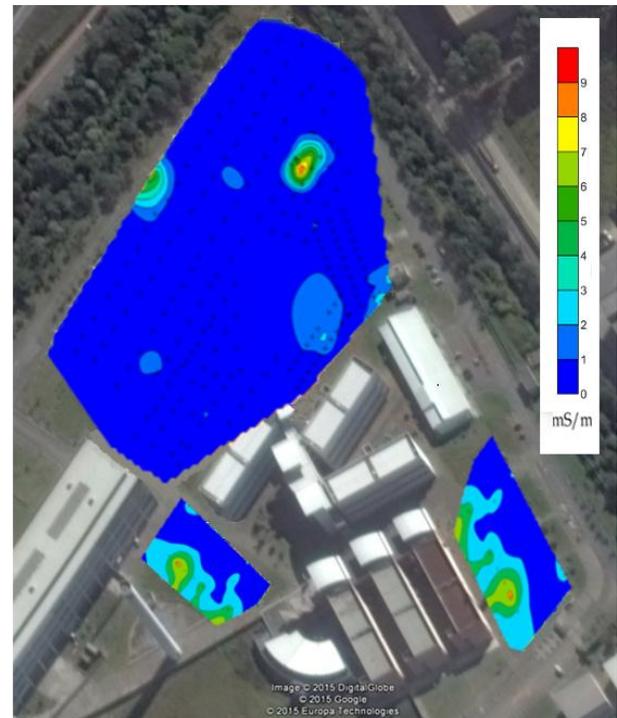


Figura 5: Mapa do erro de condutividade associado na interpolação justaposto com imagem da área de estudo.

## Conclusão

O presente estudo mostra que uma região contendo acumulações de gás biogênico apresenta diferentes expressões, dependendo da metodologia empregada. Níveis com acumulação de gás são melhores definidos quando as seções de resistividade empregam eletrodos em superfície e no interior de poços (Mendonça et al., 2015, Abreu, 2012). Já no perfil de condutividade elétrica (EM-34) e na seção de resistividade obtida com eletrodos em superfície, apenas uma feição condutiva mais rasa é reconhecida. Desconhece-se se essa feição mais condutiva, também reconhecida na seção com eletrodos em superfície e poço, guarda alguma relação genética com o biogás acumulado logo abaixo. Existe, porém uma notável associação de níveis condutivos mais rasos (3-5m de profundidade) e a acumulação de biogás mais abaixo. O mapeamento de condutividade (EM-34) mostrou-se efetivo em delimitar unidades potencialmente associadas com locais com maior emanção de metano. Além da linha de teste, dois outros locais com emanção estão em terrenos mais condutivos. Nossos resultados sugerem que mapeamento de condutividade elétrica podem auxiliar estudos de planejamento e zoneamento de solo ou definição de áreas para estudos mais detalhados visando procedimentos de caracterização e remediação.

## Agradecimentos

Agradecemos o apoio da SBGf, Sociedade Brasileira de Geofísica, por bolsa de iniciação Científica (IAD). Ao Geofísico Otávio C. B. Gandolfo e ao IPT (Instituto de Pesquisas Tecnológicas) pelo empréstimo do equipamento.

## Referencias

Abreu, E. L., 2012, *Imageamento de resistividade elétrica de áreas contaminadas utilizando arranjos poço-superfície: Dissertação de Mestrado, IAG-USP*

Christensen, T.R., 2010, *Wetlands, in Methane and climate change*, Ed. D. Reay, P. 639 Smith, and A. Van Amstel. Earthscan Ltd. ISBN 978-1-84407-823-3

Mendonça, C.A., R. Doherty, A. Fornaro, E. L. Abreu, G. C. Novaes, S. Jr. S. Fachin, 727 M. A. La-Scalea, 2015, *Integrated earth resistivity tomography (ERT) and multilevel sampling gas: a tool to map geogenic and anthropogenic methane accumulation on brownfield sites: Environ Earth Science*. doi:10.1007/s12665-015-4111-6 McNEILL, J.D. - 1980 - *Eletromagnetic terrain conductivity measurement at low induction numbers*. Nota técnica n0 6, Geonics, 15p.

Sibson, R. (1981). "A brief description of natural neighbor interpolation (Chapter 2)". In V. Barnett. *Interpreting Multivariate Data*. Chichester: John Wiley. pp. 21–36

Stamp, I., A. J. Baird, and C. M. Heppell, 2013, *The importance of ebullition as a mechanism of methane (CH4) loss to the atmosphere in a northern peatland*, *Geophys. Res. Lett.*, 40, 2087–2090, doi:10.1002/grl.50501