

## Eletrodos não-polarizáveis de Pb-PbCl<sub>2</sub>: construção e o uso em levantamentos de potencial espontâneo (PE)

Sergio Jr. S. Fachin<sup>1</sup>, Nilton Silva<sup>1</sup>, Weliton R. Borges<sup>2</sup>, Franciso Y. Hiodo<sup>1</sup>, Carlos A. Mendonça<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Departamento de Geofísica - IAG/USP, <sup>2</sup>Departamento de Geofísica, IG/UnB

*Copyright 2010, SBGf - Sociedade Brasileira de Geofísica Este texto foi preparado para a apresentação no IV Simpósio Brasileiro de Geofísica, Brasília, 14 a 17 de novembro de 2010. Seu conteúdo foi revisado pelo Comitê Técnico do IV SimBGf, mas não necessariamente representa a opinião da SBGf ou de seus associados. É proibida a reprodução total ou parcial deste material para propósitos comerciais sem prévia autorização da SBGf.*

### RESUMO

Eletrodos no contexto da Geofísica são utilizados para se medir um sinal elétrico associado a algum processo natural que ocorre na subsuperfície terrestre. Evitar efeitos de deriva e polarização do eletrodo com o solo é primar por uma medida de qualidade. O uso de eletrodos não-polarizáveis do tipo Pb-PbCl<sub>2</sub> em levantamentos de potencial espontâneo (PE) demonstram maior estabilidade do sinal elétrico medido e menor deriva ao longo do tempo. Neste trabalho mostramos a construção de eletrodos não-polarizáveis do tipo Pb-PbCl<sub>2</sub> para o uso em levantamentos de PE na escala de campo.

### INTRODUÇÃO

Potenciais elétricos naturais, ou potenciais espontâneos (PE), ocorrem na subsuperfície terrestre sendo causados por atividade eletroquímica e eletrocínética. Esses potenciais elétricos estão associados a alteração de corpos de sulfetos, concentração e variação no conteúdo mineral das rochas, processos de oxidação-redução de materiais orgânicos ou metálicos, gradientes de temperatura e pressão. O faixa de ocorrência destes potenciais varia de alguns poucos milivolts (mV) até volts (V) em casos extremos. Um par de eletrodos fixados no solo e conectados por meio de cabos elétricos a um voltímetro é suficiente para se medir estes potenciais.

Primar pelos aparatos de medidas é de grande importância para se ter uma medida confiável, tanto dos cabos e conexões elétricas, equipamentos de medidas e eletrodos. Tendo tomado os devidos cuidados com o instrumental, cabos e conexões elétricas, a principal fonte de ruído instrumental fica por conta do eletrodo. Por muito tempo, no monitoramento destes potenciais se utilizavam eletrodos metálicos banhados por uma película de cobre, bronze ou chumbo no intuito de diminuir a resistência de contato do eletrodo com o solo (Petiau, 1998). Entretanto observou-se que a polarização produzida en-

tre o metal e o solo era muito elevada, estando na ordem de dezenas de mV, podendo chegar a V (Petiau, 1998). A polarização de um eletrodo é definida como o potencial medido entre um par de eletrodos em um dado instante na ausência de campos elétricos externos e a sua deriva como a variação do sinal de polarização no tempo (Corwin, 1990). O ideal é um eletrodo que tenha polarização e derivas nulas, independentemente do tempo, temperatura, ou quaisquer outras condições em que se encontre. A performance mais próxima disto pode ser atingido pelos eletrodos denominados de “não-polarizáveis” ou pouco polarizáveis. De todo aparato de medida para levantamentos de PE, os eletrodos não-polarizáveis não são acessíveis comercialmente, assim a sua construção é necessária. A principal contribuição deste trabalho é mostrar a construção de eletrodos não-polarizáveis do tipo Pb-PbCl<sub>2</sub> para a utilização em levantamentos de PE.

### ELETRODOS EM LEVANTAMENTOS DE PE

A utilização de eletrodos não-polarizáveis, também conhecidos como “eletrodos porosos”, em geofísica é de grande importância no intuito de se medir o sinal elétrico presente no solo com qualidade. Na década de 1920, o francês Conrad Schlumberger introduziu o conceito de eletrodo não-polarizável (Petiau, 1998) em um levantamento geofísico. Ele utilizou um pote cerâmico como eletrodo e solução de sulfato de cobre como solução.

Um eletrodo não-polarizável é constituído de um corpo de material inerte (plástico, cerâmica esmaltada, etc.) tendo em sua base uma superfície porosa, que pode ser constituída de material cerâmico ou madeira. Internamente ao eletrodo há uma haste metálica imersa numa solução que contenha um sal de mesma composição da haste metálica. O contato dos eletrodos com o solo se dá por material poroso (cerâmica ou madeira) que fica situado na porção basal, controlando a passagem da solução para o solo. A polarização se dá entre a solução contida no eletrodo e o solo, evitando assim a adição do potencial gerado caso o eletrodo fosse de material metálico.

Há vários tipos de eletrodos não-polarizáveis, citando como exemplo os eletrodos de cobre-sulfato de cobre (Cu-CuSO<sub>4</sub>), cádmio-sulfato de cádmio (Cd-CdSO<sub>4</sub>), prata-cloreto de prata (Ag-AgCl<sub>2</sub>), cádmio-cloreto de cádmio

## Eletrodos não-polarizáveis de Pb-PbCl<sub>2</sub>: construção e o uso em levantamentos de potencial espontâneo (PE)

(Cd-CdCl<sub>2</sub>) e chumbo-cloreto de chumbo (Pb-PbCl<sub>2</sub>). Em levantamentos de PE é mais comum se utilizar eletrodos de Cu-CuSO<sub>4</sub> e eletrodos de Pb-PbCl<sub>2</sub>.

O eletrodo do tipo Cu-CuSO<sub>4</sub> é classicamente mais utilizado em levantamentos de potencial espontâneo devido a praticidade na preparação e reposição da solução, composta por água e sal de sulfato de cobre (CuSO<sub>4</sub>). O eletrodo de Pb-PbCl<sub>2</sub> é denominado de "Eletrodo Petiau", levando o nome do seu idealizador, Gilbert Petiau. A primeira geração do eletrodo de Pb-PbCl<sub>2</sub> (Petiau and Dupis, 1980) foi construído para uso em levantamentos de longo período, como monitoramento de deslizamento de encostas, atividade geotermal. Uma segunda geração de eletrodos do tipo Pb-PbCl<sub>2</sub> mais compactos foi desenvolvido para utilização em levantamentos de curto período, levantamentos magnetotelúricos, potencial espontâneo (Petiau, 2000). Esta nova adaptação de eletrodos é mais compacta se comparando com a primeira geração e se demonstrou mais estável (deriva estimada da ordem de mV/ano) com vida útil estimada em 14 anos (Petiau, 2000).

O uso do eletrodo de Pb-PbCl<sub>2</sub> é visto em duas situações, em levantamentos de PE em estudos de campo e em estudos de laboratório, demonstrando resultados expressivos. Em estudos de campo (Naudet et al., 2003), realizado numa área de um antigo aterro de resíduos (*Entressen Landfill*) situado no sul da França, observou-se uma anomalia de PE com amplitude de 400 mV, associada com a pluma de contaminação gerada pelo aterro.

Em estudos num tanque de areia (Naudet and Revil, 2005), 2 m de comprimento por 0.4 m de altura, simulou-se uma situação onde a matéria orgânica estava sendo consumida por microrganismos na subsuperfície. O sinal elétrico foi monitorado na superfície do tanque. Após 45 h de monitoramento, foi observado uma anomalia de PE com 40 mV de amplitude. Os autores associaram tal anomalia com a atividade microbiana decompondo a matéria orgânica na subsuperfície do tanque. Em ambos os estudos, foram utilizados eletrodos do tipo Pb-PbCl<sub>2</sub>. Outras aplicações utilizando-se do eletrodo de Pb-PbCl<sub>2</sub> podem ser vistas com o objetivo de monitorar um potencial elétrico associado a atividades geotermiais (Legaz et al., 2009), fluxo de água subterrânea (Revil et al., 2005).

### CONSTRUÇÃO DOS ELETRODOS

Os resultados expressivos recentemente publicados na literatura geofísica nos motivaram a construir eletrodos do tipo Pb-PbCl<sub>2</sub>. Os materiais utilizados na construção do eletrodo Petiau são de fácil acesso. A mecânica pode ser executada com material plástico usinado sob medida (PVC, nylon, PP, etc.), contudo esta solução é bem mais cara quando se trata de poucas unidades. Assim, a opção mais barata e de boa qualidade é o material hidráulico plástico utilizado na construção civil. Por isso foram utilizados tubos, tampas e luvas de PVC para instalações hidráulicas de água fria. Apenas a base porosa foi feita em madeira usinada, assim como o es-

trangulador, veja figura 1. Também o fio de chumbo não necessita ser de grande pureza (Petiau, 2000). Os sais utilizados são o cloreto de potássio (KCl) e o cloreto de chumbo (PbCl<sub>2</sub>). O sal de PbCl<sub>2</sub> requer grande cuidado devido a sua toxicidade, mas seu custo não é demasiado alto e a quantidade utilizada é pequena. O KCl é muito comum e de baixo custo. Pode ser utilizado sal de cloreto de sódio (NaCl), mas a estabilidade final do eletrodo não é tão boa quanto o eletrodo construído com sal de KCl (Petiau, 2000).

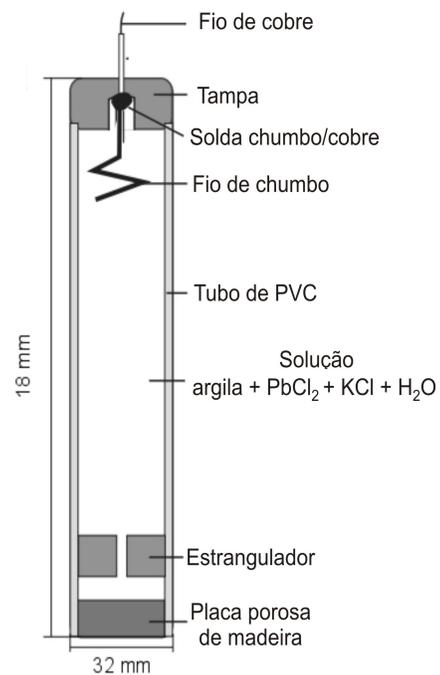


Figura 1: Desenho ilustrativo do eletrodo do tipo Pb-PbCl<sub>2</sub>: tubo e tampa de material PVC, fio de chumbo, "estrangulador" de material PVC, superfície porosa de madeira e conexões elétricas de saída.

Além dos sais, é necessário argila (do tipo caolinita) e água deionizada ou ionizada. Suas proporções são de 40 g de PbCl<sub>2</sub>, 680 g de KCl, 1.65 kg de caolinita para 1 L de água (Petiau, 2000). Ao final da preparação o aspecto visual da solução precisa ser gelatinosa, como uma massa de bolo (Petiau, 1998). Após a preparação, o pH da solução deve ser monitorado ao longo de alguns dias (uma semana) e ser mantido, caso necessário, próximo a 4 com a adição de ácido clorídrico (HCl) para menos ou sal de hidróxido de potássio (KOH) para mais. Toda a massa deve ser homogeneizada de tempos em tempos.

Um dos segredos da estabilidade e tamanho reduzido destes eletrodos é o seu estrangulador, veja Figura 1. O duto central do estrangulador, com 1.6 mm de diâmetro e 10 mm de profundidade, reduz a dessaturação da solução interna e permite o uso de menores volumes dos sais e do preenchimento. Desta forma resultando num eletrodo

## Eletrodos não-polarizáveis de Pb-PbCl<sub>2</sub>: construção e o uso em levantamentos de potencial espontâneo (PE)

compacto com um alto tempo de vida útil, estimado em 14 anos. A peça de madeira, posicionada na base do eletrodo, faz a função de superfície porosa em contato com o solo. Também o espaçamento entre o tampa porosa e o estrangulador deve ser mantido em 2 mm.

A montagem requer alguns cuidados, o fio de chumbo deve ser previamente limpo com acetona e soldado a um borne metálico (material eletrônico comum) que atravessa a tampa, no caso de se optar por um eletrodo com um borne de conexão no topo. Ou o fio de chumbo deve ser soldado diretamente a um fio de cobre que sai do topo do eletrodo para a conexão externa ao voltímetro. Esta solda feita com estanho deve ser isolada com resina plástica, ou cola tipo epóxi. Não se deve deixar a solda de estanho, ou qualquer outra parte desta conexão exposta à massa. Apenas fio de chumbo de fazer este contato. Ainda, o fio de chumbo deve ser enrolado em espiral e manter uma distância mínima de 60 mm do duto do estrangulador por questões de estabilidade (Petiau, 2000).

Um cuidado final deve ser dado no preenchimento do eletrodo com a massa já estabilizada em pH 4. Ela não deve conter bolhas de ar que poderão migrar causando ruído no eletrodo, principalmente se estas se instalarem na superfície do fio de chumbo. Por fim, os eletrodos do tipo Pb-PbCl<sub>2</sub> necessitam ter suas bases porosas sempre umedecidas. Para tanto, se faz necessário que suas bases estejam em contato com uma solução de água e sal (KCl ou NaCl, dependendo do sal usado na preparação) para que não se ressequem, nem sofram dessaturação. Uma caixa plástica com uma esponja sintética no fundo embebida em água e sal é suficiente. Uma estrutura que os mantenha na vertical dentro desta caixa e seus contatos longe da solução salina também é uma boa solução. A figura 2 ilustra o eletrodo montado.

Como resultado final é esperado que os eletrodos dentro desta caixa apresentem entre si potencial elétrico menor que 0.1 mV, tomado com voltímetro de 10 MΩ de impedância de entrada ou maior. Qualquer eletrodo que apresente potencial acima deste valor deve ser descartado, ou refeito por esta muito fora do esperado (Petiau, 2000).

### TESTES DE CAMPO

Após a construção, preparação da solução e por final a sua montagem, os eletrodos de Pb-PbCl<sub>2</sub> foram testados numa situação de campo. O teste foi realizado no Sítio Controlado de Geofísica Rasa do IAG/USP (SCGR do IAG/USP). O SCGR do IAG-USP possui as dimensões de 50 m de comprimento por 30 m de largura, com diversos alvos enterrados ao longo de linhas transversais ao sítio (Porsani et al., 2006). O sítio foi implantado em um terreno do Instituto de Física localizado em frente ao IAG, dentro do campus da USP "Armando Salles de Oliveira", em São Paulo-SP.

Este teste dos eletrodos de Pb-PbCl<sub>2</sub> foi realizado em uma linha sobre tambores metálicos de 200 L, enterra-



Figura 2: Imagem do eletrodo do tipo Pb-PbCl<sub>2</sub> após montagem.

dos em profundidades entre 0.5 e 2.0 m. Os tambores foram dispostos em posições horizontal e vertical, isoladamente e aos pares. Estes tambores foram pintados com tinta anti-ferrugem e enterrados vazios. Cortando a área central do SCGR, também há um tubo metálico enterrado com diâmetro de 3.8 cm, a 0.5 m de profundidade, que serve como um alvo de referência (Porsani et al., 2006).

Um conjunto de 13 eletrodos de Pb-PbCl<sub>2</sub>, foram dispostos a cada 2.5 m nesta linha. O procedimento de instalação dos eletrodos no solo seguiu a seqüência: **i)** perfuração do solo com um trado manual até 20 cm de profundidade; **ii)** preenchimento dos furos com uma lama composta por bentonita, água saturada com KCl; **iii)** instalação dos eletrodos e soterramento destes com solo natural; **iv)** conexão do primeiro par de eletrodos ao multímetro. É de grande importância o uso desta lama para diminuir a resistência de contato e, com isto, aumentar a razão sinal-ruído das medidas. Enterrar os eletrodos também é um procedimento importante pois a temperatura é um fator que pode influenciar na devira do potencial elétrico.

Para a realização das medidas de PE, utilizou-se a técnica conhecida como "base fixa", onde todas as medidas ao longo do perfil são tomadas em relação a um eletrodo de referência. Para cada par de eletrodo monitorou-se a diferença de potencial por 5 min, registrando uma leitura a cada 25 ms. Esta taxa de amostragem foi utilizada para remover, se necessário, por filtragem, alguma interferência.

A medição ao longo do perfil foi repetida para verificar a repetibilidade das medidas. Para a medição e registro do potencial elétrico foram utilizados um multímetro digital Agilent U1252A de alta impedância (10 GΩ) e 4 e 1/2 dígitos conectado a um computador portátil. A figura 3 ilustra o levantamento de PE realizado no SCGR-IAG/USP.

### RESULTADOS

O resultado obtido no SCGR do IAG-USP é mostrado na Figura 4. O teste mostrou-se satisfatório, pois foi observado a repetibilidade das medidas em uma área com diversas instalações elétricas nas proximidades. Uma anomalia negativa, com amplitude de -35 mV, foi observada no levantamento realizado sobre a linha de tambores metálicos. A anomalia pode estar espacialmente associada a um tubo metálico que atravessa o sítio em sua direção longitudinal. Não foram observadas anomalias da mesma magnitude sobre os tambores metálicos enterrados. Isso pode ser explicado pela pintura com tinta anti-ferrugem que os mesmos foram submetidos antes da instalação. A pintura tem evitado a corrosão dos tambores, ao contrário do tubo metálico que não foi pintado.

### CONCLUSÕES

A utilização de eletrodos não-polarizáveis está cada vez mais difundido em levantamentos geofísicos. Na aquisição de dados de PE, o uso de eletrodos não-polarizáveis é de fato importante para se medir o sinal elétrico com o menor ruído instrumental associado. Nesse contexto, eletrodos do tipo Pb-PbCl<sub>2</sub>, é mais estável e durabilidade maior se comparado aos demais eletrodos não-polarizáveis. Atenção na preparação da solução e na mecânica dos eletrodos são necessários devido aos detalhes técnicos e também na manipulação dos materiais químicos. Os testes realizados em campo se mostraram satisfatórios. Foi observado repetibilidade nas medidas e detecção de uma anomalia que pode estar associada a um tubo metálico em processo de oxidação. O conjunto de eletrodos construídos estão sendo utilizados para levantamentos de PE em escala de campo (FAPESP, 2007). Após a experiência obtida na construção de eletrodos para escala de campo, foram construídos eletrodos do tipo Pb-PbCl<sub>2</sub> numa escala reduzida, para estudos em laboratório. Estes eletrodos estão sendo utilizados em levantamentos de dados de PE em tanque (Fachin et al., 2010).

### AGRADECIMENTOS

Agradecemos ao Departamento de Geofísica do IAG/USP, ao Laboratório de Instrumentação de Geofísica Aplicada (LIGA) do IAG/USP, a Mecânica do IAG/USP e a Fapesp (Projeto nº 2007/05829-2).

### REFERÊNCIAS

- Corwin, R. F., 1990, The self-potential method for environmental and engineering applications *in* Ward, S. H., Ed., Geotechnical and environmental geophysics:: Soc. of Expl. Geophys., 127–145.
- Fachin, S. J. S., Vasconcelos, S. V., and Mendonça, C. A., 2010, Self-potential signals produced by a subsurface bioelectrochemical system: A tank experiment: AGU Joint Assembly Abstracts - Foz do Iguassu, Brazil, pages B23A–16.
- FAPESP, Projeto fapesp nº 2007/05829-2: Método do potencial espontâneo aplicado a investigações ambientais: estratégia de aquisição e inversão de dados. departamento de geofísica, iag/usp (não publicado)., 2007.
- Legaz, A., Revil, A., Roux, P., Vandemeulebrouck, J., Gouédard, P., Hurst, T., and Bolève, A., 2009, Self-potential and passive seismic monitoring of hydrothermal activity: A case study at iodine pool, waimangu geothermal valley, new zealand: *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, **179**, no. 1-2, 11 – 18.
- Naudet, V., and Revil, A., 2005, A sandbox experiment to investigate bacteria-mediated redox processes on self-potential signals: *Geophysical Research Letters*, **32**, no. L11405, 1 – 4.
- Naudet, V., Revil, A., Bottero, J. Y., and Begassat, P., 2003, Relationship between self-potential (sp) signals and redox conditions in contaminated groundwater: *Geophysical Research Letters*, **30**, no. 21, 2091.
- Petiau, G., and Dupis, A., 1980, Noise, temperature, coefficient and long time stability of electrodes for telluric observations: *Geophysical Prospecting*, **28**, no. 5, 792–804.
- Petiau G. & Perrier, F., The garchy 1995-1996 electrode experiment - chapter 2: Physics and chemistry of electrodes for geophysical applications:, Technical report, 221 pages, April 1998.
- Petiau, G., 2000, Second generation of lead-lead chloride electrodes for geophysical applications: *Pure and Applied Geophysics*, **157**, no. 3, 357–382.
- Porsani, J. L., Borges, W. R., Rodrigues, S. I., and Hiodo, F. Y., 2006, O sítio controlado de geofísica rasa do iag/usp: instalação e resultados gpr 2d-3d: *Revista Brasileira de Geofísica*, **24**, no. 1, 49 – 61.
- Revil, A., Cary, L., Fan, Q., Finizola, A., and Trolard, F., 2005, Self-potential signals associated with preferential ground water flow pathways in a buried paleochannel: *Geophysical Research Letters*, **32**, L07401.

## Eletrodos não-polarizáveis de Pb-PbCl<sub>2</sub>: construção e o uso em levantamentos de potencial espontâneo (PE)



Figura 3: Levantamento de PE realizado sobre a linha de tambores metálicos do SCGR-IAG/USP.

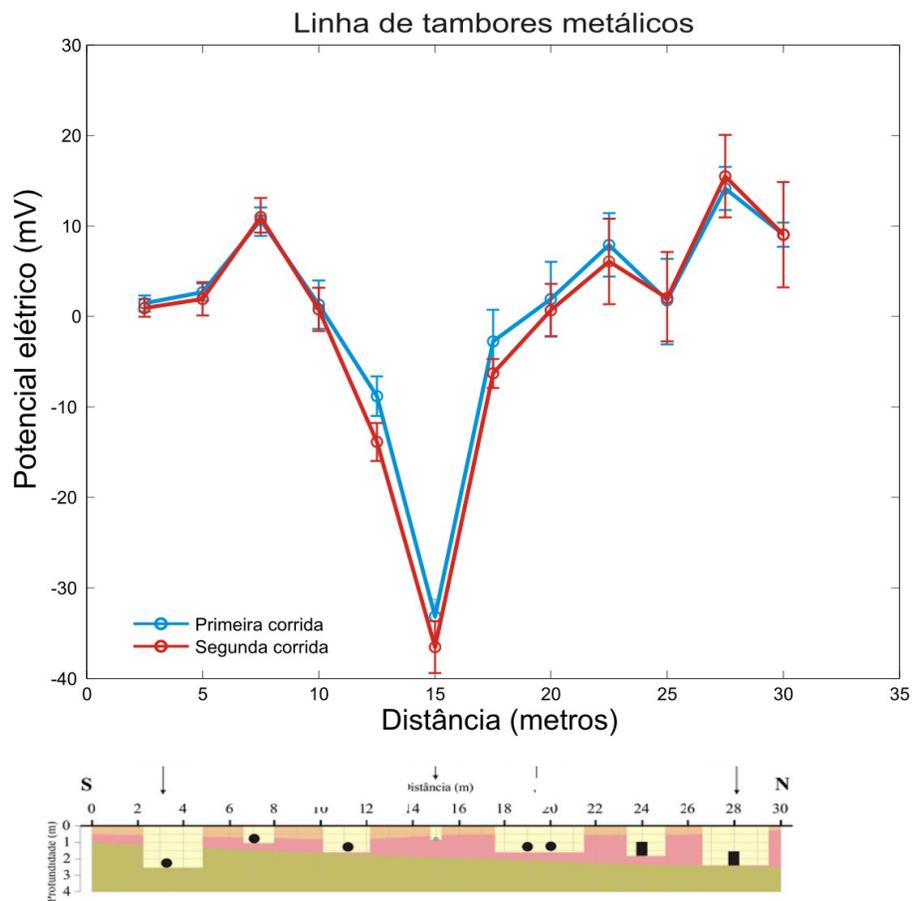


Figura 4: Perfil de PE obtido sobre a linha de tambores metálicos do SCGR-IAG/USP: anomalia negativa, com amplitude de  $-35$  mV, associada a um tubo metálico que atravessa o sítio em sua direção longitudinal.