

## Comportamento geoeétrico de sedimentos argilosos cenozóicos ocorrentes na região de Iranduba e Manacapuru, sudoeste de Manaus (AM)

#José Bandeira C. Silva Júnior, #João da Silva Carvalho, #\*Rutenio Luiz C. Araujo, #Carlos Augusto de A. Júnior, #Dulcimar Andrade Conceição, #Humberto Dias Abinaber, ## Roberto Matias da Silva - #UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAZONAS ## FUNTAC - Fundação de Tecnologia do Estado do Acre

Copyright 2003, SBGf - Sociedade Brasileira de Geofísica

This paper was prepared for presentation at the 8<sup>th</sup> International Congress of The Brazilian Geophysical Society held in Rio de Janeiro, Brazil, 14-18 September 2003.

Contents of this paper was reviewed by The Technical Committee of The 8<sup>th</sup> International Congress of The Brazilian Geophysical Society and does not necessarily represents 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

This paper refers to an investigation of resistivity on the sedimentary lands of the Iranduba and Manacapuru territory. This occurrence is related to the cenozoic deposits located in the Sedimentary Amazon Basin. It was accomplished in the form of vertical electric surveys, using the configurations Wenner, Schlumberger and Dipole-dipole. The results showed a larger efficiency of the survey dipolo-dipolo, comparatively to the others. It was possible to identify the collations among the loamy and sandy levels, as well as the base of the loamy package used in the production of ceramic articles.

### Introdução

A área de estudo está situada a sudoeste da cidade de Manaus, envolvendo uma porção territorial dos municípios de Iranduba e Manacapuru (Figura 1), ocupando uma faixa de terreno compreendida entre os rios Negro e Solimões, envolvendo terrenos representados por sedimentos clásticos cenozóicos, de constituição argilosa a arenosa, pertencentes à Formação Alter do Chão (Caputo et al., 1972), de idade cretácea a terciária (Daemon & Conreiras, 1972; Daemon, 1975), assim como sedimentos pelíticos de idade quaternária, normalmente relacionados a porções territoriais associados a terraços inferiores, sujeitos a regimes de sazonalidade da hidrografia da região. Todo esse pacote sedimentar está associado à seqüência estratigráfica superior da Bacia do Amazonas (Caputo, 1984; Cunha et al., 1994).

Nas calhas dos rios Negro e Solimões é notável o surgimento de ilhas formadas por depósitos aluvionares recentes, constituídos por sedimentos pouco consolidados a inconsolidados, os quais contribuirão para formação de arquipélagos, a exemplo da formação do conjunto Anavilhanas, no baixo curso do rio Negro.

Os limites entre esses depósitos quaternários e os sedimentos da Formação Alter do Chão dá-se de forma brusca e facilmente identificáveis através da observação de seus aspectos geomorfológicos (textura) e faciológicos (litologia, mineralogia, estruturas sedimentares, e fósseis).

Os sedimentos recentes (quaternário) mostram-se pouco consolidados ou inconsolidados, formando vários níveis de terraços fluviais, correspondentes aos níveis de antigos leitos de rios, que deslocaram ao longo do tempo, influenciados por processos tectônicos (neotectônicos), cujos efeitos são bastante expressivos na área (Barros & Soares, 2000).

Grande parte dos terrenos ocorrentes na região de Iranduba apresenta, por sua própria natureza, grande importância econômica e social, uma vez que possuem características apropriadas para a fabricação de produtos cerâmicos, assim como para exploração agrícola, gerando assim oportunidades de negócios para o desenvolvimento da região.

Entretanto, a exploração do material argiloso na área é, na maioria das vezes, realizado de forma inadequada, sem o desenvolvimento de estudos prévios e sem critérios técnicos eficientes, causando danos ao ambiente físico e prejuízos a comunidade local, vistos que são esses sedimentos a fonte da matéria prima utilizada pela indústria oleira para a fabricação de tijolos e telhas, além do aproveitamento agropecuário.

Nesse contexto se torna importante e necessário o desenvolvimento de levantamento geológico voltado para o entendimento desses terrenos, não apenas através de trabalhos de cartografia superficial, mas de trabalhos voltados para a qualificação e quantificação dos materiais e estruturas ocorrentes, necessários para o entendimento a respeito da gênese e evolução dos mesmos.

### Revisão de Conceitos

O método da resistividade é um dos métodos geoeétricos que empregam uma fonte artificial de corrente, a qual é introduzida no terreno através de eletrodos pontuais ou lineares (fios desnudos em contato com o terreno). A aplicação de tal método implica na utilização de uma corrente elétrica produzida por meio de fonte artificial (bateria, gerador), que é induzida no

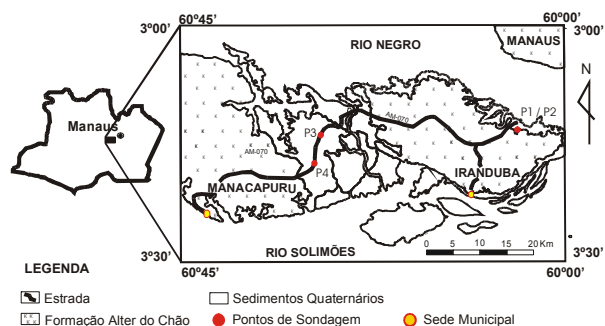


Figura 1: Mapa de localização da área

terreno, com o fim de se poder determinar a diferença de potencial entre os pontos do circuito pertinente, e assim poder determinar a resistividade dos materiais existentes em subsuperfície (Parasnis, 1976, Telford et al., 1990). A corrente elétrica é induzida no terreno através de dois eletrodos concernentes ao circuito emissor (ou de corrente), denominados A e B (*eletrodos de corrente*), e a diferença de potencial é medida por outros dois eletrodos, pertencentes ao circuito receptor (ou de potencial), denominados formalmente de eletrodos M e N (*eletrodos de potencial*) - Figura 2.

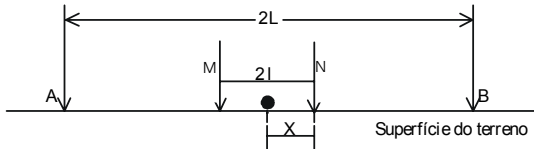


Figura 2: Esquema de distribuição eletrodos A e B (circuito de corrente) e M e N (circuito de potencial) – Arranjo Schlumberger.

O terreno se comporta como um corpo condutor, através do qual a corrente fluirá, na forma de linhas de corrente, com maior ou menor facilidade, a depender da condutividade elétrica do mesmo. Perpendiculares a estas linhas de corrente desenvolvem-se linhas de iguais valores de potenciais, denominadas linhas equipotenciais. Estas linhas representam as anomalias elétricas produzidas pela injeção de corrente elétrica na superfície do terreno, e que dependem das características geoeétricas do mesmo.

A determinação da resistividade elétrica de exemplares de materiais litológicos, considerados homogêneos, em laboratório, é feita por meio de ensaios apropriados, onde se usa uma amostra com formato de um paralelepípedo (ou cilíndrica, a exemplo de testemunhos de sondagem) e se adapta um par de placas metálicas (eletrodos) em duas faces opostas do mesmo, as quais são conectadas a uma fonte de corrente (bateria), a partir das quais se aplica uma corrente elétrica, que fluirá através da amostra. Mede-se então, em um voltímetro, a diferença de tensão resultante entre dois eletrodos (pontos M e N), alinhados perpendicularmente a essas faces. A resistividade resultante ( $\rho$ ) é dada por:

$$\rho = \frac{A}{l} \cdot \frac{V}{I} \quad (\Omega m);$$

onde A representa a área ( $m^2$ ) da face escolhida, V é a diferença de tensão (V) medida entre M e N, l é a distância (m) medida entre M e N, e i (A) é a intensidade da corrente aplicada.

Vale salientar que esse procedimento é uma das diversas maneiras usuais de se determinar a condutividade elétrica de um material, em laboratório, aplicado para materiais homogêneos, embora sendo conhecido que, na prática, essa situação raramente se verifica.

### Método de Trabalho

Sondagem Elétrica Vertical – arranjo Schlumberger

O método usado na investigação por meio da sondagem elétrica vertical (SEV), através do arranjo Schlumberger, consiste em fazer com que a distância (2l) entre os

eletrodos de potencial seja pequena quando comparada à distância (2L) entre os de corrente. Na prática, sendo a distância 2L cerca de dez vezes maior que a distância 2l (Figura 2), a resistividade aparente pode ser calculada a partir da fórmula (Parasnis, 1976):

$$\rho_a = \frac{\pi}{2l} \cdot \frac{(L^2 - x^2)^2}{(L^2 + x^2)} \cdot \frac{\Delta V}{I}$$

sendo  $\rho_a$  a resistividade aparente ( $\Omega m$ ),  $\Delta V$  a diferença de tensão (V) e I a intensidade de corrente (A).

Os eletrodos são distribuídos, sobre a superfície do terreno, de forma linear e, na evolução da investigação, são deslocados inicialmente apenas os eletrodos de corrente, até que a distância 2L seja suficientemente grande, em relação a 2l, de forma que a precisão da leitura fique prejudicada, quando se faz, então, o deslocamento dos eletrodos de potencial, guardando a relação de distâncias ( $2L \geq 2l$ ).

Sondagem Elétrica Vertical – arranjo Dipolo - Dipolo

A aplicação da configuração eletródica dipolo-dipolo para a execução de sondagem elétrica vertical é considerada como uma técnica não convencional. Os resultados de trabalhos recentes realizados por Elis & Strobino (2001), demonstram uma maior eficiência quando da aplicação dessa técnica, significando um alcance maior em profundidade com uma menor abertura dos dipolos, mostrando ser um arranjo mais eficaz quando aplicado para a determinação da base de camadas argilosas, quando comparados com outros arranjos.

A SEV–Dipolar consiste em um dispositivo formado por um dipolo AB de emissão de corrente e um dipolo MN de potencial, onde a distância entre os eletrodos que compõem um dipolo é X, sendo tais dipolos separados por uma distância nX. A metade da distância de um polo é l e o centro linear de cada dipolo está separado por uma distância E (Figura 3), a resistividade aparente pode ser calculada a partir da fórmula (Telford et al. 1990):

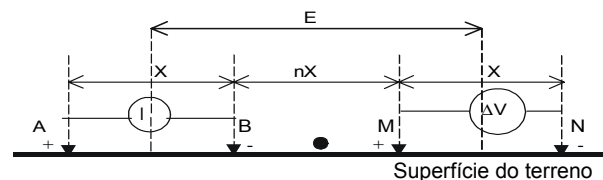


Figura 3: Esquema de campo para sondagem dipolar.

$$\rho_a = \pi \cdot X \cdot (N \cdot X / 2)^3 \cdot \Delta V / I$$

sendo  $\rho_a$  a resistividade aparente ( $\Omega m$ ),  $\Delta V$  a diferença de tensão (V) e I a intensidade de corrente (A).

A maior desvantagem da sondagem elétrica dipolar é a necessidade de se usar tensões de saída mais elevadas, a fim de garantir uma maior eficiência ao fluxo de corrente em profundidade.

Sondagem Elétrica Vertical – arranjo Wenner

O dispositivo Wenner também utiliza um sistema de eletrodos alinhados linearmente e distribuídos de modo simétricos a um ponto geométrico central (Figura 4), onde as distâncias  $AM = MN = NB = a$ , é denominada de

parâmetro do dispositivo Wenner, a resistividade aparente pode ser calculada a partir da fórmula segundo (Fiegerola, 1974):

$$\rho_a = 2\pi \cdot a \cdot \Delta V / I, \quad \text{onde}$$

a representa a distância entre os eletrodos AB, MN e NB.

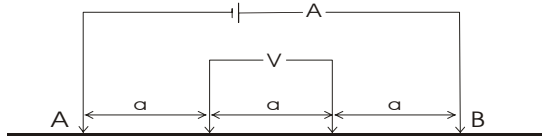


Figura 4: Disposição dos eletrodos usando a configuração Wenner.

O inconveniente prático desse dispositivo, em relação ao de Schlumberger, é o fato de que todos os eletrodos são deslocados conjuntamente, para cada medida.

As medidas foram efetuadas por meio do Resistivímetro Syscal R2 (Íris Struments), com potência de saída de até 800V, sendo a direção dos perfis obtidos por meio de bússola, a localização dos pontos por meio de GPS e as distâncias através de trenas.

**Resultados**

Foram realizados quatro ensaios de campo, dos quais dois na Vila do Cacau Pirêira (município de Iranduba), na área do distrito oleiro da região, e outros dois na zona de ocorrência de sedimentos quaternários da região de Ariau, município de Manacapuru. Os pontos investigados foram denominados de P1, P2, P3 e P4, conforme visualizados no mapa de localização (Figura 1). Os sedimentos ocorrentes nessas regiões são litocorrelacionados com os da Formação Solimões (ou provavelmente da Formação Iça), sendo denominados genericamente neste trabalho como sedimentos quaternários, até que trabalhos de detalhamento definam melhor o seu posicionamento estratigráfico.

Nos dois ensaios de campo realizados na Vila do Cacau Pirêira foram utilizados os arranjos Dipolo-dipolo e Wenner, como pode ser visto respectivamente nos gráficos 1 e 2.

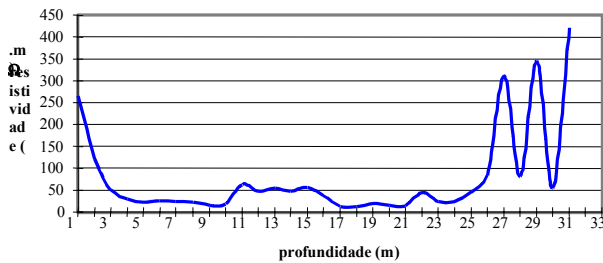


Gráfico 1: SEV1, realizada na área Vila do Cacau Pirêira, Iranduba, com emprego do arranjo dipolo – dipolo.

Os resultados da SEV1, na qual foi utilizado o arranjo dipolar, apresentaram valores de resistividade inicialmente baixos (inferiores a 60Ω.m), até a profundidade de 26m, a partir da qual se distingue uma zona com valores de resistividade superiores a 350Ω.m,

chegando a mais de 420Ω.m à profundidade da ordem de 30m.

A primeira medida, correspondente à porção mais superficial, apresenta valores mais elevados (da ordem de 250Ω.m), influenciada por alterações da superfície. À cerca de 10m verifica-se um pequeno aumento na magnitude da resistividade (alcançando valores maiores que 50Ω.m).

Com base nesses resultados observa-se que o fluxo de corrente ultrapassou a camada argilosa, fluindo por materiais mais resistivos, provavelmente camadas areníticas, possibilitando a identificação de pelo menos quatro camadas.

Na sondagem efetuada com o arranjo Wenner (Gráfico 2) a abertura dos eletrodos A e B alcançou distância de 300m. Apresenta valores iniciais de resistividade mais elevados (da ordem de 350Ω.m), devido ao terreno encontrar-se mais seco, devido à insolação direta. A partir de 2m de profundidade, os valores tornam-se mais estáveis e baixos (inferiores a 50Ω.m). A homogeneidade e magnitude dos valores resultantes dessa sondagem mostram que essa investigação aparentemente não ultrapassou a camada argilosa encontrada em superfície.

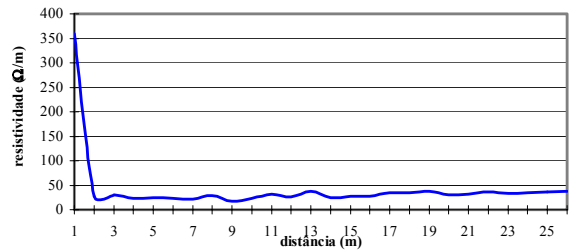


Gráfico 2: SEV2, realizada na área Vila do Cacau Pirêira, Distrito de Iranduba, com emprego do arranjo Wenner.

O terceiro ensaio de campo foi realizado na área do Ariau (Figura 1), desenvolvida sobre sedimentos quaternários, com emprego do arranjo Schlumberger, com abertura eletródica AB/2 de até 200m.

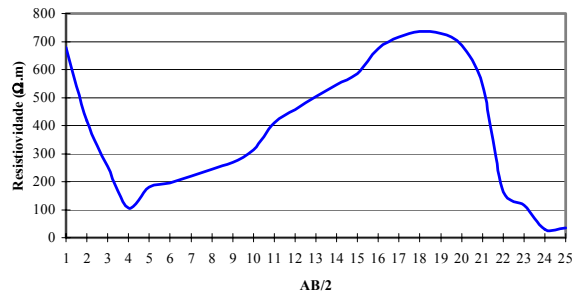


Gráfico 3: SEV3, realizada na área do Ariau, km 36 da rodovia AM-070, município de Manacapuru, por meio do arranjo Schlumberger.

Esse gráfico mostra resistividade inicial de 680Ω.m, relacionada a material compactado (margem da estrada), diminuindo à medida do aumento da profundidade, alcançando um valor de 105Ω.m, em torno de quatro metros de profundidade. Mostra também um

padrão escalonado, dividindo uma camada intermediária com cerca de 10m de espessura (até a profundidade da ordem de 20m), com valores de resistividade chegando a mais de  $700\Omega.m$ , demonstrando a existência de um material mais resistivo, de constituição mais arenosa. Abaixo dessa profundidade volta a ocorrer sedimentos mais condutivos, de constituição argilosa, com valores de resistividade menores que  $50\Omega.m$ , de características semelhantes àqueles ocorrentes na região de Cacau Pirêira.

O quarto ensaio foi efetuado com emprego da sondagem elétrica vertical usando o arranjo Schlumberger (Gráfico 4).

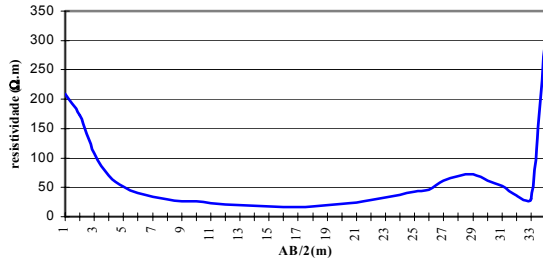


Gráfico 4: SEV4, realizada no km 41 da rodovia AM-070, município de Manacapuru, por meio do arranjo Schlumberger.

O Gráfico 4 mostra resistividade inicial com valores superiores a  $200\Omega.m$ , associados com materiais mais superficiais e influenciados por alterações artificiais dessa porção de terreno (incluindo material compactado da margem da estrada), decaindo para valores mínimos de cerca de  $17\Omega.m$  a profundidade da ordem de 15m. Em seguida mostra um pequeno aumento, chegando a cerca de  $72\Omega.m$ , a cerca de 25m de profundidade, decaindo novamente para o patamar da ordem de  $31\Omega.m$ . Por volta de 33m abaixo da superfície verifica-se um forte aumento da resistividade, alcançando valores superiores a  $300\Omega.m$ . Essas variações intermediárias estão associadas a intercalações na constituição desses materiais, variando de argiloso a argilo-arenoso. O nível de base desse terrenos é um material de constituição mais arenosa.

### Conclusões

Os resultados das investigações desenvolvidas nas regiões de Iranduba (Distrito de Cacau Pirêira) e Manacapuru (Ariau), através de medidas de resistividade elétrica, mostram ocorrências de sedimentos bastante condutivos, de constituição argilosa, intercalados com sedimentos mais resistivos, e por conseguinte mais arenosos.

As investigações realizadas na área do Cacau Pirêira, sobre área de sedimentos argilosos quaternários depositados em ambiente mais redutor e explorados para fabricação de produtos cerâmicos (principalmente tijolos e telhas), mostraram, a exemplo de relatos na literatura, que a técnica dipolar (arranjo dipolo-dipolo) é mais eficiente no sentido de alcançar maiores profundidades com menor afastamento eletródico, além de, por sua própria metodologia, permitir o fluxo de corrente por sob corpos muito condutivos.

Sedimentos mais antigos, associados a platôs mais elevados, além de sua constituição mais arenosa, são mais oxidados, resultando em maiores valores de resistividade. Concreções ferruginosas apresentam anomalias de resistividade que chegam a mais de  $3.000\Omega.m$ , conforme constatado na região e corroborado por ensaios desenvolvidos na região de Manaus (Carvalho et al., 2002).

Os sedimentos argilosos muito condutivos constituem um problema para a investigação a maiores profundidades, uma vez que tendem a canalizar o fluxo de corrente através de seu corpo.

A pesar das variações de resistividade obtidas e levando em conta que a geofísica é um método indireto, nenhum dos dados observado pode ser considerado conclusivos para o alcance ao substrato arenítico esperado, pertencente à Formação Alter do Chão.

### Agradecimentos

Agradecemos o apoio do Departamento de Pesquisa (DAP/PROESP), ao Setor de Transportes e ao Departamento de Geociências da Universidade Federal do Amazonas e à Fundação de Tecnologia do Estado do Acre.

### Referências Bibliográficas

- Barros, D. S. e Soares, E. A.**, 2000, Análise Sedimentológica e Estratigráfica dos Sedimentos Quaternários Aflorantes na parte Norte do Paraná do Ariáú, entre os Municípios de Manacapuru e Iranduba – AM. Relatório Final. PIBIC. FUA – Manaus (AM).
- Carvalho, J. S.; Simas, J. L.; Silveira, R. R.; Monteiro, D. N. C., Carvalho, P. S. S. e Araujo, R. L. C.**, 2002, Identificação de feições geológicas em sedimentos ocorrentes na região de Manaus, por meio de medidas de resistividade elétrica, através da técnica do dipolo-dipolo. Congresso Brasileiro de Geologia, SBG, João Pessoa (PB), Resumos, p.637.
- Caputo, M. V.**, 1984, Stratigraphy, tectonics, paleoclimatology and paleogeography of northern basins of Brazil. Santa Barbara, California University. p586 (pHd Thesis).
- Caputo, M. V.; Rodrigues, R. e Vasconcelos, D. N. N.**, 1972, Nomenclatura estratigráfica da Bacia do Amazonas - histórico e atualização, Congresso Brasileiro de Geologia, SBG, Belém (PA). Resumo Expandido, Vol. 3, p36-46.
- Cunha, P. R. C.; Gonzaga, F. G.; Coutinho, L. F. C. e Feijó, F. J.**, 1994, Bacia do Amazonas. Bol. Geociências, PETROBRÁS, Rio de Janeiro (RJ). Vol. 8(1), p47-55.
- Daemon, R. F.**, 1975, Contribuição à datação da Formação Alter do Chão, bacia do Amazonas. Revista Brasileira de Geociências, Rio de Janeiro (RJ). Vol. 5(2), p78 – 84 p., fev.
- Daemon, R. F. e Contreiras, C. J. A.**, 1972, Zoneamento palinológico da Bacia do Amazonas. Boletim de Geociências, PETROBRÁS, Rel. Interno, In: Eiras et

al. - 1972 - Bacia do Solimões, Belém (PA). Rio de Janeiro (RJ), Vol. 8(1), p17-45.

**Elis, V. e Strobino, E. F.**, 2001, Teste de arranjo de eletrodos não convencionais para investigação geelétricas na borda da Bacia de São Paulo. Instituto Astronômico e Geofísico, Universidade de São Paulo - USP, São Paulo, 2001, p36 (Trabalho de Graduação).

**Figuerola, J. C.**, 1974, Métodos Elétricos. In: Tratado de Geofísica Aplicada. Madrid (Espaha): Madrid. Cap. 5, p379-401.

**Parasnis, D. S.**, 1976, Métodos Elétricos. In: Geofísica Minera. Paraninfo, Madri. Cap. 5, p165-205.

**Telford, W. M.; Geldart, L. P. and Sheriff, R. E.**, 1990, Applied Geophysics, Second Edition, Cambridge University, Cambridge, p770.