



## Utilização dos Métodos Elétricos e de GPR no estudo de sequência sedimentar costeira – Distrito de Tamoios, Cabo Frio - RJ

\* Marcelo dos Santos Salomão<sup>1</sup>; Alex Muniz Rodrigues<sup>2</sup>; Miguel Angelo Mane<sup>1</sup>; Alan Freitas Machado<sup>2</sup>.

<sup>1</sup>Faculdade de Geologia, Uerj. <sup>2</sup>Instituto de Física, Uerj;

Copyright 2013, SBGf - Sociedade Brasileira de Geofísica

This paper was prepared for presentation during the 13<sup>th</sup> International Congress of the Brazilian Geophysical Society held in Rio de Janeiro, Brazil, August 26-29, 2013.

Contents of this paper were reviewed by the Technical Committee of the 13<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

The present work consists of the geophysical investigation of the region of Municipal Ecological Park of the Mico Leão Dourado in the city of Cabo Frio, obtaining grants to assist local people in the operation of potable water. The work was done by using two methods of geophysical exploration: the electrical resistivity and GPR in order to characterize the sedimentary sequences in the region. With this combination of methods, we believe to reduce the error to find potential aquifers. The first method was used to measure the resistivity of the rock material and the second delimits the sedimentary sequences.

### Introdução

A área do Parque Ecológico Municipal do Mico Leão Dourado do Município de Cabo Frio está situada na Bacia Hidrográfica do Rio São João que possui área de drenagem em torno de 2190 km<sup>2</sup>, onde se insere a área de Cabo Frio (189 km<sup>2</sup>) (Costa, 1999) de topografia plana.

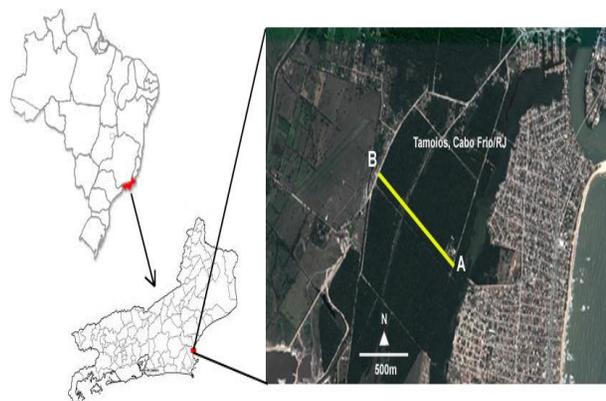
A água subterrânea desempenha um papel vital para a população do estado do Rio de Janeiro de modo geral, sendo que a sua escassez ou o aumento da exploração, é mais acentuada em regiões de urbanização crescente e desordenada. Esse fator é bem evidente na Região dos Lagos, Niterói e Baixada Fluminense. Outro fator que ainda é observado é com relação à atitude generalizada de subestimar os riscos de contaminação ou poluição das águas subterrâneas, o que justifica conhecer o substrato e a estrutura dos pacotes de sedimentos que podem conter aquíferos confinados. De certa forma, não se pode ignorar a necessidade crescente de estudos relativos ao uso e proteção dos recursos hídricos como um fator de desenvolvimento sustentável das atividades humanas e da qualidade ambiental.

A parceria entre a prefeitura de Cabo Frio e a Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ), se

insere no âmbito de formação de recursos humanos e ao mesmo tempo na geração de informações, técnicas com ferramentas de investigação em subsuperfície de modo a contribuir com o enriquecimento do banco de dados da referida área.

### A região de estudo

A área de estudo está situada no Parque Natural Municipal do Mico-Leão-Dourado (PMMLD), 2º Distrito de Tamoios, no município de Cabo Frio, litoral leste do Estado do Rio de Janeiro (Figura 01). Distante 165 quilômetros da Cidade do Rio de Janeiro e com uma área de 6 km<sup>2</sup>, o Parque foi criado em 1997 com o objetivo de preservar a flora e a fauna da Mata Atlântica da Baixada Litorânea Fluminense, composta por diversas espécies em extinção, como o mico-leão-dourado. Os levantamentos geofísicos foram realizados ao longo de uma estrada (um perfil) secundária de terra, com cerca de 980 m de extensão, dentro do PMMLD.



**Figura 01** - Localização da área de estudo. A linha amarela corresponde à seção dos levantamentos geofísicos executados na área de estudo.

A região do município de Cabo Frio/RJ é formada por depósitos quaternários (como mostra a figura 02, representada pela linha amarela) que correspondem por depósitos marinhos e flúvios-marinhos. Ou seja, depósitos flúvios-marinhos siltyco-areno-argiloso, ricos em matéria orgânica, englobando linhas de praias atuais e antigas, além de manguezais. O mapa, na escala 1:500.000, abaixo esquematiza a formação geológica da região dos lagos.

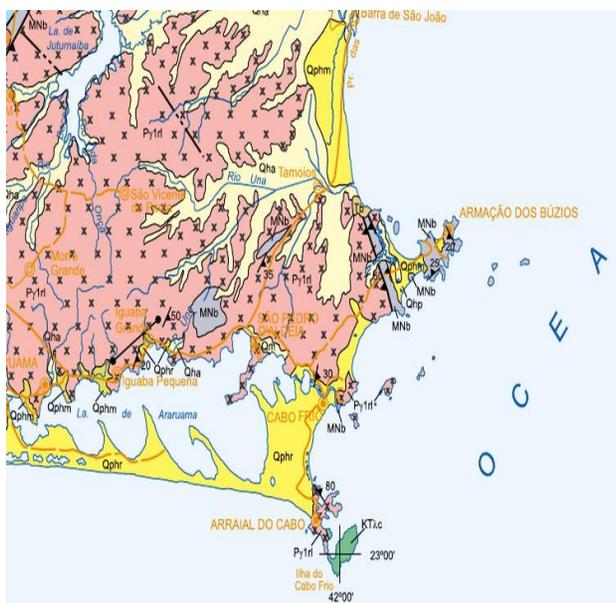


Figura 02 - Mapa geológico da região dos lagos no estado do Rio de Janeiro, fornecido pelo Serviço Geológico do Brasil- CPRM.

Localizada na região sudeste do Brasil, a área de estudo está situada na Faixa Ribeira, desenvolvida durante a Orogênese Brasileira no Neoproterozóico.

A complexidade estrutural e litológica do segmento Central da Faixa Ribeira está relacionada ao registro termotectônico dos processos colisionais que resultaram na formação do Gondwana Oriental entre o Neoproterozóico e o Paleozóico Inferior (Heilbronet al 2000, 2008). O conjunto de terrenos acrescionados e colididos é reconhecido em cincotectono-estratigráficos (Heilbron 1993,1995; Heilbronet al 1998,2000; Trouw et al 2000, Heilbron& Machado 2003): Ocidental, Oriental, Paraíba do Sul, Embú e Cabo Frio (Fig.03). Os quatro primeiros foram amalgamados há ca. 580 Ma; o terreno Cabo Frio há ca. 520 Ma.

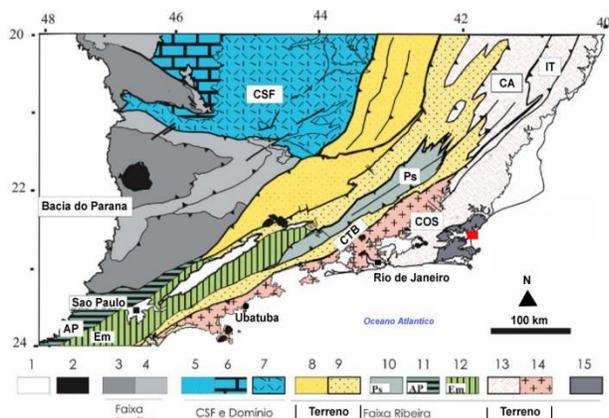


Figura03 - Mapa tectônico do sudeste brasileiro (Heilbron et al. 2004a, b). 1- Coberturas Fanerozóicas; 2- Rochas Alcalinas; 3 a 4: **Faixa Brasília**:3-Domínio Externo, 4- Domínio Interno; 5 a 7: **Craton do São Francisco e Domínio autóctone**; 5- Gr. Andrelândia, 6- Sg. Bambuí, 7- Embasamento cratônico; 8 a 15: **Faixa Ribeira**: 8- Terreno Ocidental/Domínio Andrelândia, 9- Terreno Ocidental/Domínio Juiz de Fora, 10- Terreno Paraíba do Sul, 11- Terreno Apiaí, 12- Terreno Embú, 13- Terreno Oriental: Ca- Domínio Cambuci, IT- Klippe Itáva, Cos-Domínio Costeiro, 14- Terreno Oriental/Arco magmático Rio Negro, 15- Terreno Cabo Frio. O polígono em vermelho representa a área de estudo.

### Metodologia

O trabalho atual consiste na caracterização da sequência sedimentar para a possível caracterização dos aquíferos rasos, para isso, foram empregados dois métodos geofísicos: a Eletrorresistividade e o GPR.

### ELETORRESISTIVIDADE

O método geofísico da eletrorresistividade é utilizado para estudar as discontinuidades nas propriedades elétricas do solo e também para determinar anomalias que podem existir na subsuperfície. É frequentemente usada para a investigação geológica em superfícies rasas.

Os métodos elétricos utilizam correntes elétricas de baixa frequência para investigar as propriedades elétricas das anomalias geológicas. Neste trabalho as correntes elétricas são introduzidas artificialmente no solo, e as voltagens resultantes são medidas na superfície. Os resultados obtidos das diferenças de potencias fornecem informações sobre as características elétricas do corpo submerso.

O método geofísico da eletrorresistividade é amplamente utilizado, devido à possibilidade de aplicação nos diversos campos de estudo, como mineração, geologia, engenharia, hidrogeologia e estudos ambientais. Esse método de prospecção geofísica emprega uma corrente elétrica direta baseada na emissão artificial que é introduzida no terreno através de dois eletrodos na sub-superfície, com o objetivo de medir o potencial gerado em outros dois eletrodos (M e N) nas proximidades do fluxo de corrente, permitindo assim calcular a resistividade aparente em subsuperfície. Enquanto a corrente está circulando, é feita a leitura da diferença de potencial ( $\Delta V$ ) entre outros dois eletrodos (M-N) e da intensidade de corrente (I) e, conseqüentemente, a resistividade real através do processo de inversão.

Podemos lançar mão da segunda lei de Ohm para a eletricidade e com respeito a resistência de um determinado condutor, temos:

$$R = \rho \frac{L}{A} \quad (7)$$

Onde, **R** é a resistência do corpo,  **$\rho$**  é a resistividade, **L** é o comprimento do condutor e **A** é a área por onde flui a corrente. Analogicamente podemos definir a resistividade de uma rocha como sendo:

$$\rho = \frac{\delta R \cdot \delta A}{\delta L} \quad (8)$$

Para um material cuja resistência é definida entre as extremidades das faces de um cubo unitário. No SI a unidade de resistividade é expressa em ohm-metro (ohm.m). Consideraremos um cilindro como mostra a figura abaixo:

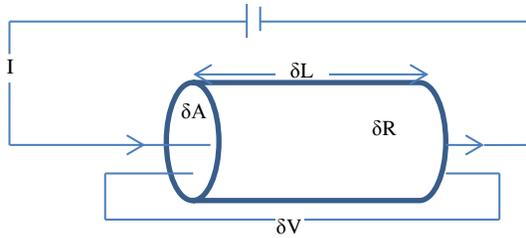


Figura 04 - Grandezas usadas para medir a resistividade.

Para um corpo homogêneo podemos expressar a primeira lei de Ohm como:  $V = RI$  e comparando com a equação (8), temos para uma queda de potencial:

$$\frac{\delta V}{\delta L} = - \frac{\rho I}{\delta A} = -\rho d \quad (9)$$

Onde,  $\frac{\delta V}{\delta L}$  representa o gradiente de potencial e  $d$  é a densidade de corrente.

Agora, podemos considerar um eletrodo de corrente em uma superfície com  $\rho$  constante. A corrente que penetra no solo flui radialmente podemos considerar que a corrente flui segundo uma casca esférica. A casca tem uma área de  $2\pi r^2$ ,  $r$  é o raio da casca, sendo assim a densidade de corrente, será:

$$d = \frac{I}{2\pi r^2} \quad (10)$$

e ainda podemos definir:

$$\frac{\delta V}{\delta L} = - \frac{\rho I}{2\pi r^2} \quad (11)$$

Podemos obter o potencial a uma distância  $r$ :

$$V = \int \delta V = \frac{\rho I}{2\pi r} \quad (12)$$

Com a normalização  $V = 0$  quando  $r \rightarrow \infty$ .

Considerando os espaçamentos entre os eletrodos como mostra a figura 05:

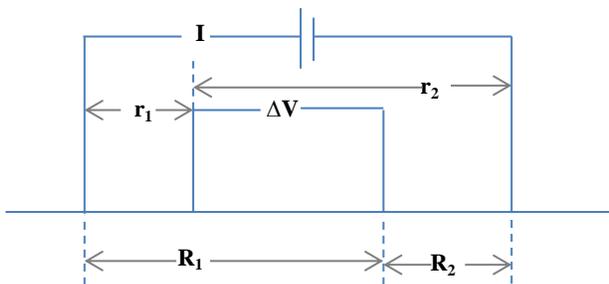


Figura 05 - Espaçamentos entre os eletrodos.

Fazendo o cálculo para  $\Delta V$  em relação aos pontos de potenciais  $V_2$  e  $V_1$ :

$$\Delta V = V_2 - V_1 = \frac{\rho I}{2\pi} \left[ \left( \frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right) - \left( \frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2} \right) \right] \quad (13)$$

Logo podemos expressar a resistividade como:

$$\rho = \frac{2\pi \Delta V}{I \left[ \left( \frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right) - \left( \frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2} \right) \right]} \quad (14)$$

Quando o meio estudado não é homogêneo a resistividade irá variar conforme a mudança dos eletrodos. Então os valores calculados são chamados de resistividade aparente ( $\rho_a$ ).

A resistividade aparente é calculada pela expressão:

$$\rho_a = \frac{K \cdot \Delta V}{I} \quad (15)$$

onde,  $K$  é um fator que depende dos arranjos entre os eletrodos de corrente e os eletrodos de potenciais.

O arranjo dos eletrodos e a aquisição dos dados caracteriza um método diferente empregado. O método empregado neste trabalho foi o dipolo-dipolo, esse método o espaçamento entre os eletrodos de corrente (A, B) e os eletrodos de potenciais (M, N) permanecem constantes. Para o mapeamento do subsolo utilizamos uma técnica chamada de imageamento.

O Imageamento é uma técnica de investigação em duas dimensões (2D), a partir de medidas tomadas na superfície do terreno. A finalidade é estudar as variações laterais da resistividade do subsolo, sendo muito adequado para detectar contatos geológicos verticais ou inclinados, mineralizações, diques, fraturamentos e/ou falhamentos, blocos de rochas, contaminações por produtos inorgânicos ou orgânicos e outros corpos ou estruturas que se apresentem como heterogeneidades laterais deste parâmetro.

As investigações efetuadas pelo imageamento são, geralmente, efetuadas ao longo de perfis e os resultados obtidos se relacionam através de um estudo em planta a uma profundidade determinada, ou ainda, através de seções com várias profundidades de investigação. O imageamento consiste na obtenção de valores de um parâmetro físico – novamente, a resistividade elétrica – a partir da superfície terrestre e ao longo de uma seção, e na interpretação da sua variação horizontal a uma ou mais profundidades determinadas. A figura 06 mostra a aquisição dos dados por imageamento elétrico.

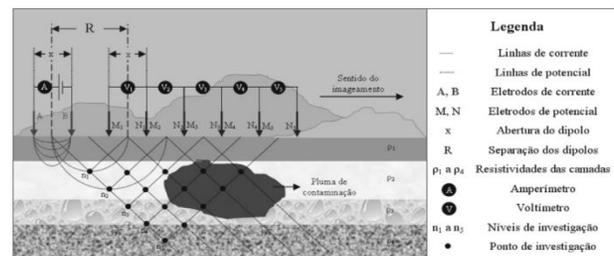


Figura 06 Técnica do Imageamento Elétrico com arranjo Dipolo-Dipolo (BORTOLIN, 2009)

Para aquisição dos dados foi utilizado o resistivímetro SYSCAL KID/SYSCAL KID SWITCH-24 da IRIS instruments® com voltagem máxima de 200V, potência máxima de 25W e corrente elétrica máxima de 500mA. Os dados foram obtidos em um perfil de 900m com um espaçamento de 5m entre os eletrodos.

#### RADAR DE PENETRAÇÃO DE SOLO (Gpr)

O Radar de Penetração no Solo (GPR) usa ondas eletromagnéticas (EM) ondas transmitidas de uma antena (Tx), que reflete nas camadas e objetos no chão. Estas reflexões são recebidas com uma antena (Rx) e criar uma imagem da subsuperfície. À medida que a antena de transmissão e de recepção são movidas ao longo da superfície, as gravações são recolhidas e dispostas lado a lado, resultando em uma secção transversal, também conhecida como perfil de radar.

O GPR pode ser usado em uma variedade de meios, incluindo solo, gelo, água fresca, concreto, pavimentos e estruturas, e que pode detectar objetos, vazios, fendas e mudanças no material. A resolução e profundidade de investigação é, dependendo da frequência da antena, geralmente variando de 10 MHz a 3 GHz. Antenas de alta frequência dar imagens de alta resolução e antenas de baixa frequência dá profundidade melhor de penetração.

Para materiais geológicos, o campo eletromagnético gerado pela antena do GPR propaga-se com uma velocidade que depende da constante dielétrica ( $\epsilon'$ ) do material.

$$V = \frac{c}{\sqrt{\epsilon'}} \quad (16)$$

E o comprimento de onda depende da frequência ( $f$ ) utilizada:

$$\lambda = \frac{c}{f\sqrt{\epsilon'}} \quad (17)$$

Onde “c” é a velocidade da luz no vácuo.

O dados do GPR foram obtidos em um perfil chamado de perfil de reflexão com afastamento constante. Nesta técnica, a geometria da antena transmissora e receptora é mantida com uma distância fixa constante sendo transportada, passo a passo, ao longo do perfil. O resultado obtido é uma imagem onde o eixo horizontal representa a posição das antenas (distância) e o eixo vertical é o tempo duplo do sinal de GPR (tempo de ida e volta), mostrando as variações das propriedades dielétricas de subsuperfícies (reflexões) (BORGES\_2002\_CAP).

A aquisição dos dados foi obtida com o equipamento, Mala OPR Proex System com espaçamento entre as antenas emissora e receptora mantida constante de um metro. Com frequência de 100MHz.

#### Resultados

Para a inversão dos dados de eletrorresistividade foi utilizado o software Res2dinv ver 3.59 da *Geotomo Software* com correção robusta. O resultado está apresentado na figura 09.

O processamento dos dados mostraram os contrastes de resistividade apresentados pelas delimitações em linhas pretas.

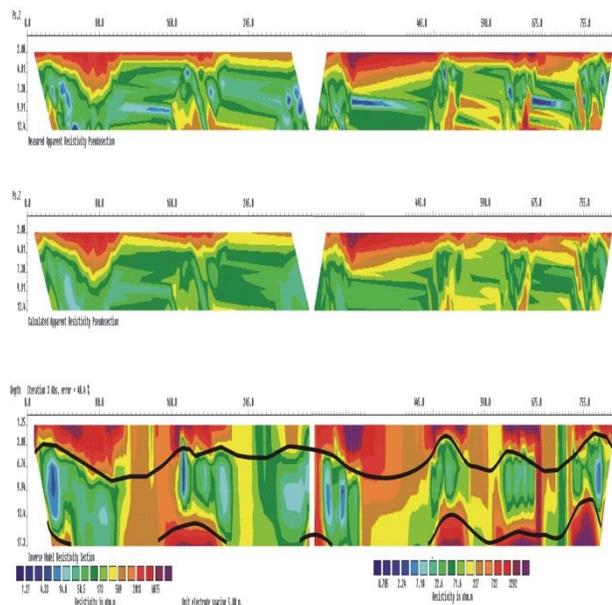


Figura 07 - Inversão dos dados de resistividade.

Para o processamento dos dados de GPR utilizamos o software Reflex-Win versão 4.5.

Com o processamento dos dados podemos destacar as camadas dos depósitos sedimentares apresentados pela delimitação em linhas amarelas.

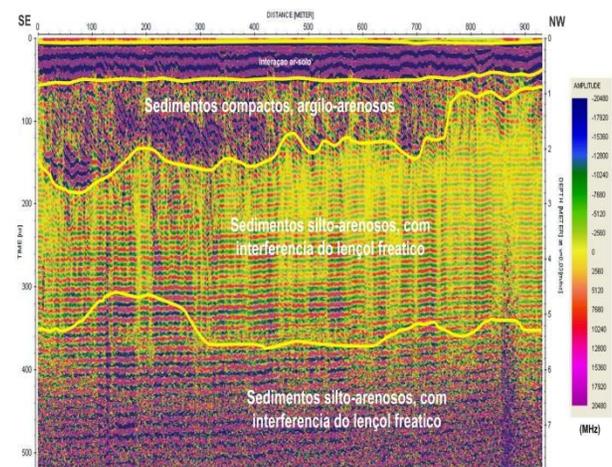


Figura 08 - Processamento dos dados de Gpr.

## Conclusão

Com os fatos apresentados no decorrer do trabalho podemos concluir que na seção de resistividade interpretada podemos distinguir três grandes depósitos sedimentares. O primeiro apresenta um resistividade em torno de 2000 Ohm.m que é formado por sedimentos compactados, argilo arenoso. O segundo pacote sedimentar formado por sedimentos sito arenosos começam a partir de uma profundidade em torno de cinco metros onde dados da eletrorresistividade apresentam acentuados contrastes de resistividade, ou seja, a partir dessa profundidade existe uma divisão das camadas de sedimentos cujos valores de resistividade apresentam mudanças significativas. Nessa camada a resistividade apresenta valores em torno de 50,5 ohm.m o que pode significar condições para a existência de aquíferos confinados. O terceiro pacote de sedimentos começa a partir de dezessete metros onde encontramos valores de resistividade bastante elevados o caracteriza o início do embasamento. Os contrastes mostrados pela inversão dos dados de resistividade concordam com o processamento dos dados de GPR em que ambos os métodos mostram três sequências sedimentares bem definidas.

## Referências

HEILBRON, M.;VALERIANO, C. M.;TASSINARI, C. C. G.;ALMEIDA, J. ; TUPINAMBA, M.;Siga, O., TROUW, R. Correlation of Neoproterozoic terranes between the Ribeira Belt, SE Brazil and its African counterpart: comparative tectonic evolution and open questions. Geological Society Special Publication, v. 294, p. 211-237, 2008.

HEILBRON, M.; MACHADO, N. 2003. Timing of terrane accretion in the Neoproterozoic-Eopaleozoic Ribeira orogen (SE Brazil). Precambrian Research, 125: 87-112.

HEILBRON, M.; BRITO NEVES, B. B.; PIMENTEL, M. M.; PEDROSA-SOARES, A. C.; VALERIANO, C. M. 2000. Neoproterozoic orogenic systems in Eastern, Central and Northeastern Brazil and the assembly of Gondwana. In: Extended Abstracts of the 31st International Geological Congress.

HEILBRON, M.; DUARTE, B. P.; NOGUEIRA, J. R. 1998. The Juiz de Fora complex of the Central Ribeira belt, SE Brazil: a segment of Palaeoproterozoic granulitic crust thrust during the Pan-African Orogen. Gondwana Research, 1: 373-382.

HEILBRON, M. 1995. O Segmento Central da Faixa Ribeira: Compartimentação tectônica e Ensaio Evolutivo. Tese de Livre Docência, Universidade Estadual do Rio de Janeiro, 115p.

HEILBRON, M.; PIRES, F. R. M.; VALERIANO, C. M.; BESSA, M. 1993. Litoestratigrafia, evolução tectonometamórfica e magmatismo no Pré-Cambriano do setor sudeste do Município do Rio de Janeiro. Anais do III

Simpósio de Geologia do Sudeste, Rio de Janeiro, Outubro/1993.

MARTIN, L.; SUGUIO, K.; DOMINGUEZ, J. M.; FLEXOR, J. M. 1997. Geologia do Quaternário Costeiro do litoral norte do Rio de Janeiro e do Espírito Santo. São Paulo, FAPESP/CPRM.

SCHMITT, R. S. 2001. Orogenia Búzios – Um evento tectonometamórfico-cabroordoviciano caracterizado no Domínio Tectônico de Cabo Frio, Faixa Ribeira – Sudeste do Brasil. Tese de Doutorado, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 273p.

TROUW, R.; HEILBRON, M.; RIBEIRO, A.; PACIULLO, F.; VALERIANO, C. M.; ALMEIDA, J. C. H.; TUPI NAMBA, M.; ANDREIS, R. R. 2000. The Central Segment of the Ribeira Belt, Tectonic Evolution Of South America In: Tectonic Evolution of America Rio de Janeiro, p. 287-310.