

GEOFÍSICA EM AUXÍLIO À PERFURAÇÃO DE POÇOS ARTESIANOS PARA COMUNIDADES AFETADAS PELA SECA. ESTUDO DE CASO EM TERRAS ÁRIDAS

Yesus Emmanuel Medeiros Vieira, Gerlane Cavalcante Messias, Renata Albergaria de Mello Bandeira e Orivade Soares da Silva Júnior

RESUMO

A locação de poços em aquíferos fraturados é uma atividade desafiadora, uma vez que nestes ambientes as zonas produtoras de água estão localizadas em pontos preferenciais, dificultando a obtenção de poços produtivos. O presente artigo apresenta um estudo de caso relativo à locação e perfuração de cinco poços artesanais executados pelo Exército Brasileiro no contexto das obras de atendimento a comunidades afetadas pela seca na região semiárida do Brasil. Utilizou-se a técnica geoeletrica da eletroresistividade, com o objetivo de identificar lineamentos estruturais nas rochas em subsuperfície, regiões estas com poten-

cial de armazenamento de água subterrânea. As investigações geofísicas ocorreram em aquíferos fraturados do Complexo Caiçó, com ocorrência de ortognaisses graníticos e dioríticos, e do Grupo Seridó, com ocorrência de rochas supracrustais de idade neoproterozoica, constituído por uma sequência de supracrustais metavulcânicas e metassedimentares. A associação dos dados geofísicos com as características geológicas locais foi fundamental no processo de interpretação das seções modeladas de resistividade, contribuindo para a obtenção de um maior índice de sucesso na perfuração de poços produtivos.

Introdução

No Brasil, a seca é o tipo de desastre natural que mais afeta a população: apenas na região Nordeste os danos atingiram mais de 41×10^6 pessoas afetadas entre 1991 e 2012 (CEPED UFSC, 2015). Assim, com a provável intensificação das mudanças climáticas no país e em muitas regiões do planeta, tem aumentado a importância de medidas para aumentar a resiliência aos impactos advindos deste tipo de desastre. Com esse objetivo, o Exército Brasileiro, em parceria com o Ministério da Integração Nacional, executa obras de perfurações de poços artesanais no norte do estado de Minas Gerais e em mais sete estados da região Nordeste. As atividades se iniciaram em maio

de 2016, ao custo de 16×10^6 reais, e previram a perfuração de 500 poços artesanais, na busca por aumentar a disponibilidade de água e prover segurança hídrica à população do semiárido brasileiro (Exército Brasileiro, 2017). Entre os maiores desafios envolvidos nestes trabalhos, destaca-se o processo de locação dos poços, sendo comum no domínio fraturado do semiárido brasileiro, conforme destacam Feitosa *et al.* (2008), a ocorrência de poços produtivos localizados nas vizinhanças de outros completamente secos, não sendo exaustivos, portanto, os estudos de caso relacionados às pesquisas geofísicas visando a locação e a exploração de poços artesanais.

Entre os procedimentos que podem auxiliar na identificação

de aquíferos fraturados, o método da eletroresistividade, através de uma de suas principais técnicas de investigação em superfície (o caminhamento elétrico) é um dos que apresenta maior abrangência nas aplicações voltadas aos estudos geológicos (hidrogeologia, mapeamento, mineração), engenharia civil e estudos ambientais em geral (Gandolfo, 2007). Tal método oferece vantagens quanto à rapidez, baixo custo e resultados satisfatórios (Silva *et al.*, 2018).

Nesse contexto, o presente artigo apresenta o resultado de pesquisas geofísicas conduzidas no contexto da locação dos poços artesanais perfurados pelo Exército Brasileiro em atendimento a comunidades que cadastradas na Operação carro

Pipa, na região semiárida do Brasil. Utilizou-se o método do caminhamento elétrico em uma amostra de cinco localidades, visando auxiliar na definição de locais e profundidades da perfuração de novos poços tubulares. Os casos estão inseridos no contexto geológico de aquíferos cristalinos, caracterizados pela ocorrência de água subterrânea em sistemas de fendas e fraturas interconectadas, descontínuas e de limitadas extensões.

Área de Estudo e Contexto Geológico

Os locais dos ensaios estão inseridos no contexto geológico do Domínio Rio Piranhas-Seridó (DPS), conforme ilustra a Figura 1. O DPS ocupa uma

PALAVRAS CHAVE / Aquífero Fraturado / Eletroresistividade /

Recebido: 14/01/2020. Modificado: 23/03/2020. Aceito: 24/03/2020.

Yesus Emmanuel Medeiros Vieira (Autor correspondente). Engenheiro de Fortificação e Construção e Mestrando em Engenharia de Transportes, Instituto Militar de Engenharia, Brasil. Acadêmico, Instituto Militar de Engenharia, Brasil. Endereço: Praça Gen. Tibúrcio, 80 - Urca, Rio de Janeiro

- 22290-270, Brasil. e-mail: yesuscad@gmail.com.
Gerlane Cavalcante Messias. Engenheira de Minas, Mestre em Geofísica, Universidade Federal de Pernambuco, Brasil. Acadêmica, Universidade Federal de Pernambuco, Brasil. e-mail: gerlanec@hotmail.com.

Renata Albergaria de Mello Bandeira. Doutora em Administração de Empresas, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Brasil. Doutora em Engenharia de Transportes, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Brasil. Acadêmica, Instituto Militar de Engenharia,

Brasil. e-mail: renatabandeira@ime.eb.br.
Orivade Soares da Silva Júnior. Doutor em Engenharia de Produção, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Brasil. Acadêmico, Instituto Militar de Engenharia, Brasil. e-mail: orivalde@ime.eb.br.

LA GEOFÍSICA EN APOYO DE LA PERFORACIÓN DE POZOS ARTESANALES PARA COMUNIDADES AFECTADAS POR LA SEQUÍA. ESTUDIO DE CASO EN TIERRAS ÁRIDAS

Yesus Emmanuel Medeiros Vieira, Gerlane Cavalcante Messias, Renata Albergaria de Mello Bandeira y Orivade Soares da Silva Júnior

RESUMEN

La ubicación de los pozos en acuíferos fracturados es una actividad desafiante, ya que en estos entornos las zonas productoras de agua se encuentran en puntos preferenciales, lo que dificulta la obtención de pozos productivos. Este artículo presenta un estudio de caso sobre la ubicación y perforación de cinco pozos artesanos ejecutados por el ejército brasileño en el contexto del trabajo de ayuda por sequía en la región semiárida de Brasil. Se utilizó la técnica de electroresistividad geoelectrica para identificar lineamientos estructurales en rocas subterráneas que tienen potencial para el almacenamiento de

agua subterránea. Las investigaciones geofísicas se realizaron en acuíferos fracturados del Complejo de Caicó, con ocurrencia de ortogneises graníticos y dioríticos, y del Grupo Seridó, con ocurrencia de rocas supracrustales neoproterozoicas, que consisten en una secuencia de supracrustales metavolcánicos y metasedimentarios. La asociación de datos geofísicos con características geológicas locales fue fundamental en el proceso de interpretación de las secciones modeladas por resistividad, contribuyendo a obtener una mayor tasa de éxito en la perforación de pozos productivos.

GEOPHYSICS IN SUPPORT OF DRILLING OF ARTISAN WELLS FOR DROUGHT-AFFECTED COMMUNITIES. CASE STUDY IN ARID LANDS

Yesus Emmanuel Medeiros Vieira, Gerlane Cavalcante Messias, Renata Albergaria de Mello Bandeira e Orivade Soares and Silva Júnior

SUMMARY

Water well site location in fractured aquifers is a challenging activity, since in these environments the water producing areas are located at preferential points, making it difficult to obtain productive wells. This paper presents a case study on the location and drilling of five artisan wells executed by the Brazilian Army in the context of works to help the communities affected by drought in the Brazilian semi-arid region. The geoelectric technique of electrical resistivity imaging was used, with the objective of identifying structural lineaments in subsurface rocks of regions

with potential groundwater storage. The geophysical investigations took place in fractured aquifers of the Caicó Complex, with occurrence of granite and diorite orthogneisses, and of the Seridó Group, with occurrence of supracrustal rocks of neoproterozoic age, constituted by a sequence of metavolcanic and metasedimentary supracrustal. The association of the geophysical data with the local geological characteristics was fundamental in the process of interpretation of the resistivity modeled sections, contributing to obtain a higher success rate in drilling productive wells.

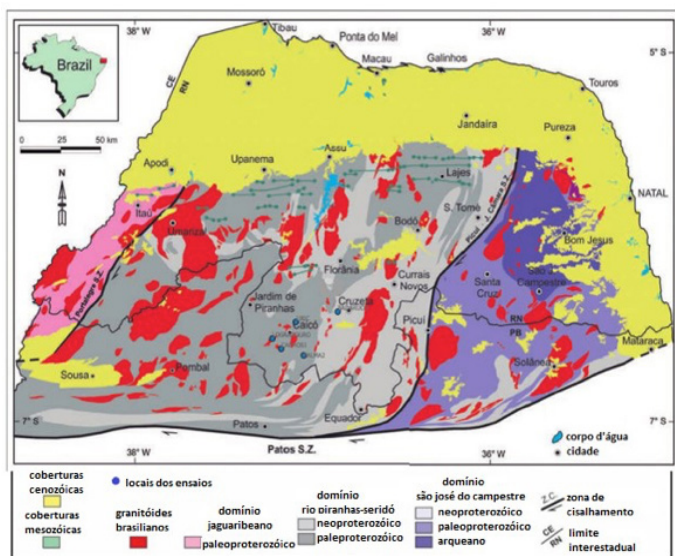


Figura 1. Arcabouço geológico do extremo nordeste da Província Borborema, contendo o Domínio Rio Piranhas-Seridó (DPS). Adaptado de Medeiros (2017).

vasta área localizada na porção centro-sul do Estado do Rio Grande do Norte, abrangendo diversas litologias, e delimita-se tectonicamente a oeste pela zona de cisalhamento Portalegre e a leste pela zona de cisalhamento Picuí-João Câmara (Angelim *et al.*, 2006). Jardim de Sá (1994) descreve o embasamento paleoproterozoico Rio Piranhas como composto por ortogneises equigranulares, anfíbolitos e rochas metavolcánicas-metasedimentares, tais como paragneises, xisto, quartzitos feríferos, de idade paleoproterozoica-riaciana, incluindo possíveis remanescentes de idade arqueana, que caracterizam o Complexo Caicó. Sobre o embasamento, repousam rochas supracrustais de idade neoproterozoica do Grupo Seridó. O

Grupo Seridó, por sua vez, é constituído por uma sequência de supracrustais metavolcânicas e metasedimentares, inserido no Domínio Rio Piranhas-Seridó.

As comunidades onde as pesquisas foram conduzidas situam-se nos municípios de Caicó, São José do Seridó e São João do Sabugi. Nestes locais, espera-se que os perfis geoelectricos cruzem possíveis falhas ou fraturas, aumentando as chances de obtenção de poços produtivos.

Métodos

Os trabalhos de prospecção de água subterránea ocorreram por meio do método do caminhamento elétrico, uma vez que este, segundo Giampá e

Gonçales (2006), satisfaz a condição básica para identificação de um aquífero, que é a presença de contraste entre as grandezas, delimitando, por exemplo, as zonas de fraturas saturadas em água, vertical e horizontalmente. O método da eletrorresistividade adota como procedimento a busca por medir a intensidade de uma grandeza física presente no material, denominada resistividade elétrica (ρ), que varia conforme as suas características de composição mineralógica ou química, granulometria, saturação, compactação, cimentação entre outros aspectos (Kearey *et al.*, 2009). A resistividade elétrica pode ser definida matematicamente de acordo com a equação

$$\rho = K \cdot \Delta V \cdot I^{-1}$$

onde I: intensidade da corrente que percorre o embasamento, K: valor que varia conforme a geometria do arranjo dos eletrodos adotada, e ΔV : diferença de potencial medida pelos eletrodos receptores. A unidade da resistividade aparente é medida em Ohm.m.

O arranjo de eletrodos adotado neste trabalho foi o dipolo-dipolo (D-D), escolhido por apresentar, conforme destacam Martorana *et al.* (2017), resolução aceitável e ao mesmo tempo uma alta velocidade de aquisição de dados. Neste tipo de arranjo, os eletrodos A e B, que são os de envio de corrente, e os eletrodos M e N, que são os de recepção, encontram-se alinhados sobre um mesmo perfil, onde os espaçamentos

$l = AB = MN$. A profundidade de investigação cresce com $(n+1)l/2$, sendo n os níveis de investigação em subsuperfície (Figura 2).

Para os experimentos realizados com D-D, utilizou-se o equipamento Superisting R8, que possui 8 canais e potência de 200W. O equipamento dispõe de 84 eletrodos, que foram espaçados de acordo com as características de espaço físico disponíveis nas áreas de pesquisa, influenciando também nos comprimentos das linhas de caminhamento elétrico, que variaram de 249 a 350m (Tabela I). Estas variações na geometria do arranjo permitiram alcançar profundidades teóricas de investigação de até 44m.

As cinco linhas de pesquisa geofísica executadas nos municípios de Caicó, São José do Seridó, e São João do Sabugi foram dispostas conforme a Tabela I, buscando capturar as principais tendências dos lineamentos estruturais que, segundo o banco de dados corporativo (Geobank) do Serviço Geológico do Brasil (CPRM), ocorrem nesta região conforme as orientação oés-noroeste - é-sudeste (ONO-ESE); existindo, porém, lineamentos de menor expressão na direção sudoeste-nordeste (SO-NE). A Figura 3 ilustra um dos exemplos de investigação de campo adotados.

Os dados de resistividade aparente foram medidos e processados através do software RES2DINV, um programa de inversão para dados de eletrorresistividade que possui suporte

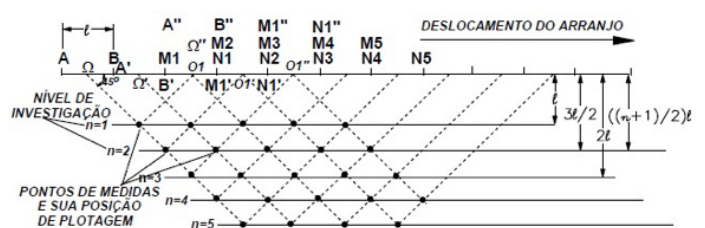


Figura 2. Caminhamento Resistividade/Disposição do arranjo dipolo-dipolo (Gallas, 2000, adaptado de Hallof, 1957).

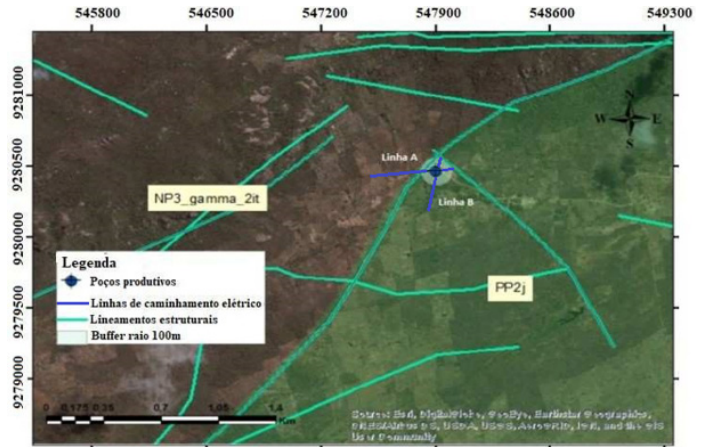


Figura 3. Localização das linhas de pesquisa geofísicas.

a dois algoritmos de inversão (robusto e suavidade), dados de topografia do terreno, e interface gráfica amigável. O método adotado na inversão dos dados foi o método de inversão robusta (Oldenburg e Li, 1999). A perfuração dos poços foi realizada utilizando uma broca Prominas modelo R-1S, com capacidade para perfurar poços até 250m de profundidade. Na perfuração, 10,1/2" ou 9,7/8"

bits de diâmetro foram utilizados na fase inicial do poço. Na fase intermediária, foi utilizada broca de 8" e, na etapa final, de 6" de diâmetro.

Resultados e Discussão

Após executados os ensaios de eletrorresistividade, foi possível estimar a ocorrência de água subterrânea nas cinco localidades estudadas, confirma-

TABELA I
LOCALIZAÇÃO E DISPOSIÇÃO GEOMÉTRICA DOS ARRANJOS

Município	Localidade	Coordenadas 1º eletrodo	Coordenadas último eletrodo	Espaçamento entre eletrodos	Comprimento da linha
Caicó	Bairro Penedo	-06°28'40,10" -37°05'33,80"	-06°28'33,30" -37°05'34,80"	3 m	249m
São José do Seridó	Comunidade Badaruco	-06°25'18,81" -36°51'23,18"	-06°26'11,80" -36°51'28,84"	3,5m	290,5m
Caicó	Comunidade Logradouro	-06°33'59,50" -37°13'28,30"	-06°33'54,40" -37°13'22,50"	2,80m	232,4m
Caicó	Comunidade Palma	-06°39'23,77" -37°02'51,41"	-06°39'25,17" -37°03'02,40"	4m	332 m
São João do Sabugi	Comunidade cachos	-06°37'17,75" -37°10'27,54"	-06°37'09,64" -37°10'27,09"	3m	249m

das em quatro das cinco perfurações posteriores, conforme resultados descritos na Tabela II.

Na Figura 4 estão apresentadas as seções modeladas de eletrorresistividade, obtidas do software RES2DINV. As interpretações das imagens consideraram o litotipos predominantes da região de estudo, destacados em Medeiros *et al.* (2012) como com a presença de ortognaisses dioríticos a graníticos no Complexo Caicó, e de micaxistos e granada micaxistos na Formação Seridó. De acordo com o formato assumido pelas seções modeladas, alguns pontos específicos da linha de caminhamento foram associados a prováveis fraturamentos e/ou regiões onde há um aprofundamento do topo da rocha sã, e estão representados nas quatro primeiras imagens pelas cores azuis e verdes, possuindo menores valores de resistividade, variando de 60Ω·m a 300Ω·m. Áreas com elevados valores de resistividade (cores amarelo-avermelhadas nas figuras) foram associadas a possíveis ocorrências de rochas graníticas/gnásicas e locais pouco ou nada alteradas (baixo grau de faturamento), variando de 3250Ω·m a mais de 5000Ω·m.

Na quinta imagem, referente à comunidade Badaruco, são percebidos menores amplitudes e valores absolutos de resistividade, o que se associou à presença de rochas xistosas alteradas, litotipo bem avaliado quanto ao favorecimento de ocorrência de águas subterrâneas, segundo Brandão e Gomes (2003), e que pode justificar a ótima vazão obtida nesta perfuração. Baixas

resistividades ocorrem em camadas superficiais de cerca de 8m de espessura em todos os perfis estudados, e foram associadas à ocorrência de camadas de solo ou rocha alterada. Em todos os casos, a presença de variações laterais entre zonas fortemente condutivas e zonas resistivas pode ser interpretada como fraturas abertas, com potencial de ocorrência de água subterrânea, ou mesmo como a presença de terrenos soltos argilosos ocupando o espaço gerado pelos falhamentos. Considerando que há a presença de fortes lineamentos estruturais na região, e que houve o cruzamento com os perfis geoeletricos executados, decidiu-se pela interpretação da ocorrência de falhamentos nos perfis analisados. Dessa maneira, todos os locais de ensaios foram atendidos com perfurações, escolhendo-se cinco pontos, um para cada linha de caminhamento elétrico. Estas locações estão representadas na Figura 3 pelas setas na cor vermelha (locação mais favorável), e delimitadas da seguinte maneira: Linha A (1º BEC): ponto 210m. Linha B (Logradouro): ponto 87m. Linha C (Palma): ponto 192m. Linha D (Cachos): ponto 135m. Linha E (Badaruco): ponto 128m.

Após perfurados os poços, apenas o localizado na comunidade Palma se revelou improdutivo, pois embora tenham sido identificadas fraturas durante a perfuração, a presença de terrenos soltos argilosos preenchendo os seus espaços inviabilizou a ocorrência de água. Conforme destaca Neves (2005), as fraturas preenchidas com água ou argila possuem

TABELA II
RESULTADO DO MÉTODO DO CAMINHAMENTO ELÉTRICO

Caso	Local	Indicação de água	Vazão instantânea obtida
1	Quartel do 1º BEC	Sim	3m ³ ·h ⁻¹
2	Logradouro	Sim	4m ³ ·h ⁻¹
3	Palma	Sim	seco
4	Cachos	Sim	2,5m ³ ·h ⁻¹
5	Badaruco	Sim	10m ³ ·h ⁻¹

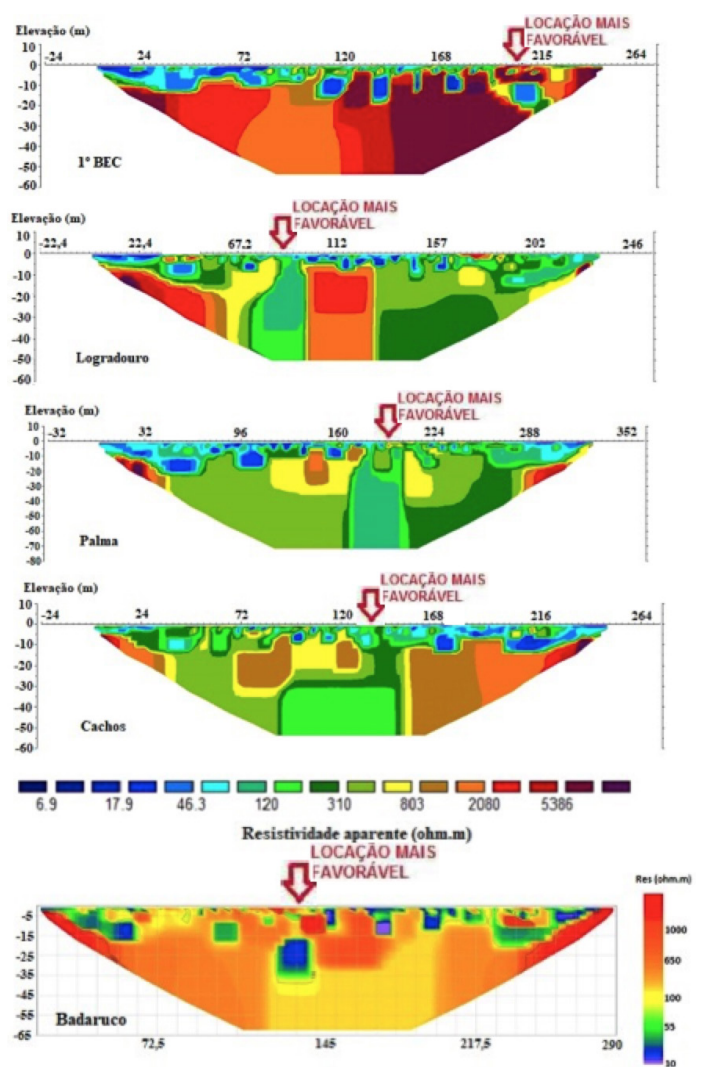


Figura 4. Seções modeladas de resistividade das cinco localidades estudadas. Em sequência: 1º BEC, Logradouro, Palma, Cachos e Badaruco.

respostas geoeletricas semelhantes, sendo então um risco associado à perfuração, caso os ensaios de eletrorresistividade não sejam acompanhados de investigações adicionais. A obtenção, no entanto, de quatro poços produtivos nas cinco perfurações realizadas, correspondendo ao índice de sucesso de 80%, destaca a eficácia do método geofísico na prospecção de águas subterrâneas em aquíferos fraturados na região em análise.

Conclusões

Da análise dos resultados obtidos nas cinco localidades, verificou-se que o método geoeletrico se mostrou viável na

prospecção de águas subterrâneas nos aquíferos fraturados situados na área de estudo, tendo obtido a técnica do caminhamento elétrico, através do arranjo dipolo-dipolo, altos contrastes nas variações horizontais de resistividade elétrica. A associação dos dados geofísicos com as características geológicas locais foi fundamental no processo de interpretação das seções modeladas de resistividade, pois permitiu uma melhor interpretação de ocorrência de possíveis zonas de fraturas, possuidoras de menor resistividade elétrica, contrastando com áreas de maior resistividade da rocha sã, assim como na estimativa da profundidade do topo rochoso

e regiões de regolito. Tais ferramentas auxiliaram no processo de locação dos poços artesianos e contribuindo para a obtenção uma maior probabilidade de perfuração de poços produtivos.

REFERENCIAS

- Angelim LAA, Medeiros VC, Nesi JR (2006). *Mapa Geológico do Estado do Rio Grande do Norte*. Escala: 1:500.000. Programa Geologia do Brasil. Projeto Geologia e Recursos Minerais do Estado do Rio Grande do Norte. Recife: CPRM/FAPERN.
- Brandão RL, Gomes FEM (2003) Técnicas de geoprocessamento e sensoriamento remoto aplicadas na avaliação de potencial hidrogeológico da Folha Irauçuba. *Rev. Geol. Fortaleza* 16: 109-134.
- CEPED UFSC (2015) *Seca e Estiagem no Brasil – Conheça os Dados, Referências e Outras Informações*. <http://www.ceped.ufsc.br/seca-e-estiagem-no-brasil-conheca-os-dados-ate-2012>.
- Exército Brasileiro (2018) Exército perfura poços artesianos no Nordeste e em Minas Gerais, melhorando a vida de nosso povo. 1º Gpt E, João Pessoa, 20 de jun. de 2017. http://www.eb.mil.br/amazonlog17/noticias/asset_publisher/BsJDxIc4XCbS/content/operacao-semiarido-exercito-perfura-pocos-no-nordeste/8032597 (Cons. 20/06/2018).
- Gallas JDF (2000) *Principais Métodos Geoelétricos e suas Aplicações em Prospecção Mineral, Hidrogeologia, Geologia de Engenharia e Geologia Ambiental*. Tese. Universidade Estadual Paulista. Brasil. 174 pp.
- Gandolfo OCB (2007) *Um Estudo do Imageamento Geoelétrico na Investigação Rasa*. Tese. Universidade de São Paulo. Brasil. 215 pp.
- Gonçalves VG, Giampá CEQ (2006) Águas subterrâneas e poços tubulares profundos. *Eng. Sanit. Amb.* 14(3): IV-IV.
- Hallof PG (1957) *On the Interpretation of Resistivity and Induced Polarization Measurements*. Tese. Massachusetts Institute of Technology. Cambridge, MA, EUA. 216 pp.
- Jardim de Sá EF (1994) *A Faixa Seridó (Província Borborema, NE do Brasil) e o seu Significado Geodinâmico na Cadeia Brasileira/Pan-Africana*. Tese. Universidade de Brasília. Brasil. 803 pp.
- Feitosa FAC (2008) *Hidrogeologia: Conceitos e Aplicações/Organização e Coordenação Científica*. 3ª ed. CPRM: LABHID. Rio de Janeiro, Brasil. 812 pp.
- Keary P, Brooks M, Hill I (2009) *Geofísica de Exploração*. Ofítexto. São Paulo, Brasil. 438 pp.
- Martorana R, Capizzi P, D'Alessandro A, Luzio D (2017) Comparison of different sets of array 245 configurations for multichannel 2D ERT acquisition. *J. Appl. Geophys.* 137: 34-48.
- Medeiros VC, Cavalcante R, Cunha ALC, Costa AP, Sá JM, Silveira FV, Rodrigues JB, Silva MA, Dantas AR (2017). Magmatismo ediacarano-cambriano da região das mineralizações de W de Currais Novos (RN), domínio Rio Piranhas-Seridó. *Anais XXVII Simp. Geologia do Nordeste*. Vol. 27(3). João Pessoa, Brasil. 3-44 pp.
- Medeiros VC, Nascimento MAL, Dantas BL, Cunha ALC (2012) Currais Novos. Folha SB.24-Z-B-II. *Estados do Rio Grande do Norte e Paraíba*. Carta Geológica Escala 1:100.000. Programa Geologia do Brasil. CPRM.
- Neves MA (2005) *Análise Integrada Aplicada à Exploração de Água Subterrânea na Bacia do Rio Jundiá (SP)*. Tese. Universidade Estadual Paulista. Brasil. 200 pp.
- Oldenburg DW, Li Y (1999) Estimating depth of investigation in DC resistivity and IP surveys. *Geophysics* 64: 403-416.
- Silva MA, Moreira CA, Borssatto K, Ilha LM, Santos SF (2018) Geophysical prospecting in tin mineral occurrence associated to greisen in granite São Sepé (RS). *REM-Int. Eng. J.* 71: 183-189.