

SALINIZAÇÃO DOS AQUÍFEROS DA PRAIA DO PACHECO - MUNICÍPIO DE CAUCAIA - REGIÃO METROPOLITANA DE FORTALEZA - CEARÁ

Sabadia, J.A.B.^{1,2,3}; Casas, A.²; Maia L.P.³ & Himi, M.²

Resumo - No âmbito da Região Metropolitana de Fortaleza (RMF), os problemas relacionados com a contaminação dos aquíferos costeiros por sais são ainda efetivos a nível local. Ocorrem associados a extrações por baterias de poços tubulares rasos operando em formações de dunas/paleodunas ou, através de poços tubulares profundos dispostos ao longo da orla marítima, caoticamente operados, no geral, e desprovidos de qualquer sistema de controle, quase sempre. A presente contribuição sintetiza os bases teóricas e metodológicas de utilização do método eletromagnético indutivo no domínio das frequências (FDEM), cartografando a diferentes profundidades o fluxo salino contaminante preferente na praia do Pacheco. Ressalta-se a utilização do método como ferramenta versátil no estudo da contaminação por sais, e para controle temporal e espacial da sua evolução, além de permitir subsidiar, com maior definição, o estabelecimento de uma rede de poços e piezômetros de controle.

Palavras-chave: Água Subterrânea; Salinização; Geofísica.

1. INTRODUÇÃO

A contaminação por sais tem origem diversa, podendo ocorrer de forma variada e simultaneamente em um determinado aquífero. Evidentemente, seu estudo requer um perfeito reconhecimento hidrodinâmico para que se possa proceder uma boa análise e gestão sustentável e portanto, responsável dos recursos existentes.

A inadequada localização do poço, associada a sua baixa qualidade técnico-construtiva e a seguinte submissão a um regime operativo descontrolado, irresponsável,

¹Bolsista de Doutorado da CAPES. (janton@natura.geo.ub.es).

² Facultad de Geología. Universidad de Barcelona. Fone: 93.402.1418. Fax: 93. 402.1340. (acasas@natura.geo.ub.es)

emergencial e/ou especulativo, concorrem veementemente para que se manifestem os processos de contaminação.

No âmbito da Região Metropolitana de Fortaleza (RMF), os problemas relacionados com a contaminação por sais são ainda efetivos a nível local. Ocorrem associados a extrações por baterias de poços tubulares rasos operando em formações costeiras (dunas/paleodunas), ou, através de poços tubulares profundos dispostos ao longo da orla marítima, caoticamente operados, no geral, e desprovidos de qualquer sistema de controle, quase sempre.

Pode-se destacar como reconhecidos pontos afetados pela contaminação salina, a bateria de poços da Abreulândia (desativada em 1984), a ponta do Iguape (Aquiraz) e alguns locais da avenida Beira Mar (César Park Hotel; Torres de Melo Alimentos; rua Monsenhor Catão e rua dos Tabajaras; estes últimos de acordo com Cavalcante, 1998).

Os estudos existentes são poucos, de cunho local, carecendo a RMF de um plano integral que atribua uma atenção primordial aos recursos hídricos subterrâneos costeiros, permitindo assim, o estabelecimento de uma rede de poços e piezômetros para o controle espacial e temporal da qualidade, quantidade e fluxo das águas subterrâneas. Evidentemente, a construção e manutenção de uma rede monitoramento permanente é custosa e, infelizmente, não se consegue proporcionar uma completa cobertura.

O presente trabalho pretende mostrar a eficiente utilização do método eletromagnético indutivo, em complemento aos estudos hidroquímicos e isotópicos, como ferramenta versátil em estudos da contaminação salina, permitindo cartografar a diferentes profundidades o fluxo contaminante preferente, controlar temporal e espacialmente sua evolução e subsidiar, com maior definição, o estabelecimento de uma rede de poços e piezômetros de controle.

2. LOCALIZAÇÃO

A urbanização do Pacheco está localizada no município de Caucaia, entre as praias de Iparana e Icaraí, ao noroeste da capital do estado do Ceará, a cidade de Fortaleza, região nordeste do Brasil, compondo parte da Região Metropolitana de Fortaleza/RMF (Figura 1).

Abranje uma área de cerca de 3 km², encontrando-se inserida entre as coordenadas UTM 9591000 e 9593000 N e 538000 e 541000 E.

^{3 3} Departamento de Geologia. Universidade Federal do Ceará. Fone: 085.288.9867. Fax: 085.2877012. (parente@ufc.br)

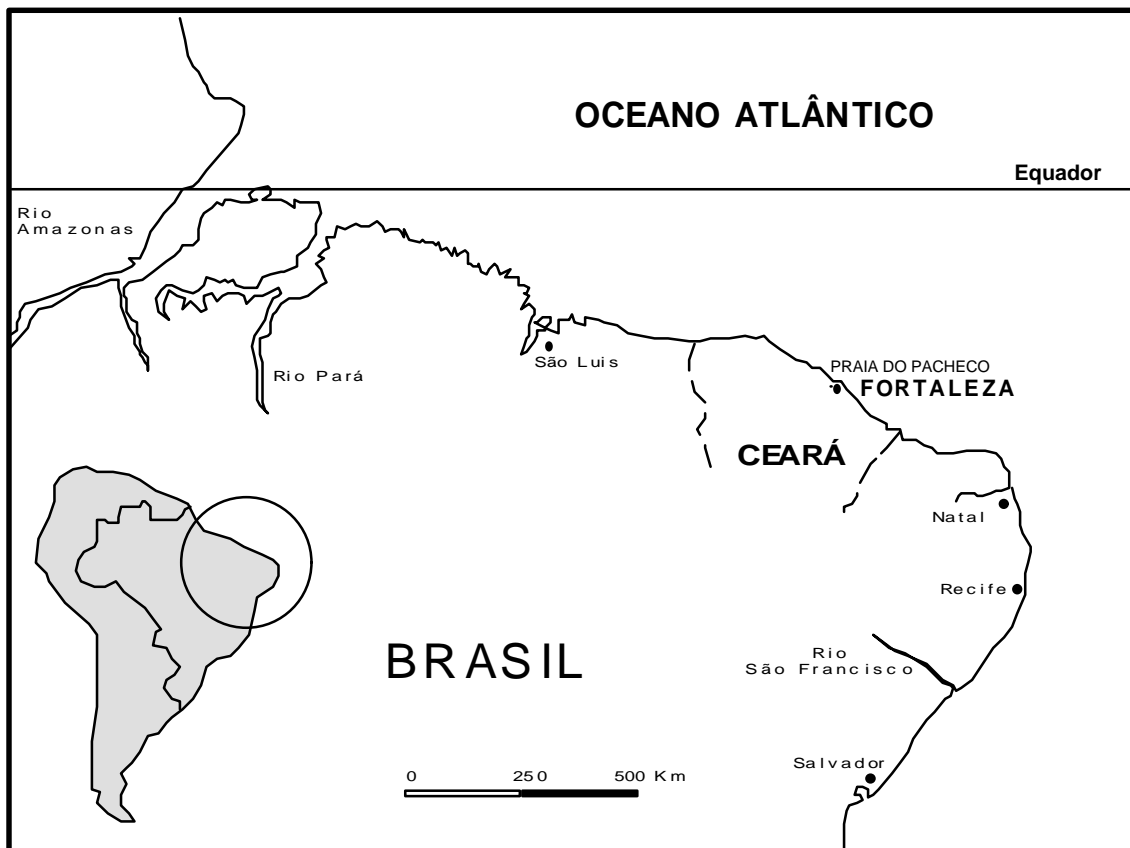


Figura 1: Localização da Praia do Pacheco (Região Metropolitana de Fortaleza/RMF).

3. ASPECTOS FISIAGRÁFICOS

A precipitação média anual é da ordem de 1.300mm, com notável densidade de chuvas de janeiro a julho (quase 90%). A temperatura média anual encontra-se em 26,5+/-0,5°C, com amplitude térmica sempre inferior a 5°C. As temperaturas mínimas encontram-se próximas dos 19°C, correspondendo a estação considerada invernos e máximas de 29°C no verão. O tempo médio anual de insolação é de cerca de 3.000 horas, apresentando média anual de umidade relativa do ar de 78%. Os ventos predominantes são de leste, podendo alcançar mais de 7 m/s de velocidade média anual (Maia, 1998; Iplance, 1997; SRH-CE, 1992 & FUNCEME).

Geomorfologicamente, a localidade do Pacheco compõe parte da denominada Planície Litorânea (Brandão, 1995), apresentando cotas médias de 10 metros cobertas por vegetação gramíneo-herbácea no litoral, e com floresta à retaguarda das pequenas dunas existentes. Os solos mostram-se como areias quartzosas marinhas (norte da área), areias quartzosas distróficas (centro) e solos halomórficos ao sul, dentro das informações coligidas por Brandão, op. cit..

4. SÍNTESE GEOLÓGICA

A região do Pacheco encontra-se sob o domínio das Coberturas Sedimentares Cenozóicas, compartimentando geomorfologicamente a denominada Planície Litorânea, como já dito. O embasamento cristalino Proterozóico encontra-se sotoposto, podendo ocorrer em profundidades inferiores a 30 metros, devendo corresponder às rochas do Complexo Gnáissico-Migmatítico de Brandão, 1995.

Sobrepondo-se ao embasamento Proterozóico, ocorrem os sedimentos da Formação Barreiras (miocênica superior a pleistocênica, Brandão, op. cit.), constituídos de areias argilosas de coloração avermelhada, amarelada e/ou creme, com aspecto mosqueado, mal selecionados, apresentando níveis conglomeráticos, matriz argilosa caulínica com cimento argilo-ferruginoso e, às vezes, silicoso.

Repousando discordantemente sobre a sedimentação Barreiras distribuem-se as denominadas Paleodunas (Quaternário). Representam uma geração mais antiga de dunas, pedogeneticamente modificadas (edafizadas), ocorrendo à retaguarda das dunas recentes e com conseqüente recobrimento vegetal de maior porte. Constituem-se de areias bem, a moderadamente selecionadas, de granulação fina a média, por vezes siltosa, em tons amarelos, alaranjados e acinzentados, com composição quartzosa e/ou feldspática (Maia, 1998; Brandão, 1995).

Estratigraficamente acima das Paleodunas destacam-se os Depósitos Marinhos, representando os terraços marinhos holocênicos (+/- 5.000 anos). Estão formados por dois níveis distintos: o inferior; constituído por depósitos de praia com estratificações cruzadas e material mais grosseiro, conchas e níveis de minerais pesados e, a parte superior, apresentando areias médias bem selecionadas, indicativas de deposição eólica (Maia, 1998).

Estratigraficamente mais acima, depositadas diretamente sobre a superfície aplainada das Paleodunas, encontram-se as Dunas Recentes. São formadas por acumulação de areias esbranquiçadas, bem selecionadas pela deflação eólica da face de praia, com granulação fina a média, basicamente compostas por grãos de quartzo foscos e arredondados.

Subindo-se na coluna estratigráfica, estão as Praias Recentes. Representam acumulações de areias com granulação média a grossa, com abundantes concentrações de conchas, matéria orgânica e minerais pesados. Ocasionalmente, em associação as desembocaduras dos principais rios, destacam-se cascalhos.

Por último, encontram-se os Depósitos Flúvio-Aluvionares (Quaternário), essencialmente compostos por areias, cascalhos, siltes e argilas, com ou sem matéria

orgânica, representados na área pela sedimentação fluvial, lacustre e estuarina (zona correspondente as antigas salinas).

5. SÍNTESE HIDROGEOLÓGICA

Na região da praia do Pacheco pode-se distinguir quatro zonas hidrogeológicas distintas: o embasamento cristalino; a formação Barreiras; a associação dunas (paleodunas e recentes) e os terraços marinhos holocênicos e os depósitos aluvionares.

As litologias cristalinas Proterozóicas encontram-se não aflorantes porém, dominam na qualidade de aquífero fissural em todos os poços cadastrados pela CPRM, no Atlas dos Recursos Hídricos Subterrâneos do Ceará, 1999. Retrabalhando os dados desse levantamento em relação a 25 poços próximos da área de estudo, tem-se a tabela 1.

Nº Ordem	Coord. N	Coord. E	Ano	Revest./Diâm.	Prof. (m)	Vazão (l/h)	C.E.(μ S/cm)	S.T.D. (mg/l)
1	9591719	538747		pvc/6" (pol.)	50	2700	371	241
2	9592124	539721	92	pvc/6" (pol.)	30	100	1166	758
3	9592228	538845	97		36	1500	639	415
4	9592343	538282	88	pvc/4" (pol.)		1000	509	331
5	9591983	539651	90	Pvc	36		32200	20930
6	9591903	538324	94	Pvc		1500	538	350
7	9591880	538545	94	pvc/6,5" (pol.)	46	2000	465	302
8	9592090	538010	90	pvc/6,5" (pol.)	50	5000	832	541
9	9592778	538200		pvc/5" (pol.)	60	1000	428	278
10	9591307	538863	70	pvc/6" (pol.)			683	444
11	9591056	539378	90	pvc/6" (pol.)	45	1000	451	295
12	9591223	539385	89			1000	412	268
13	9591245	539428	96	pvc/6" (pol.)	37	1000	776	504
14	9591266	539449	90	Pvc		1000	437	284
15	9591015	539623	80	Pvc		1000	472	307
16	9591390	539529			36	4000	1036	673
17	9591228	539653	97	pvc/6" (pol.)	44	1500	600	390
18	9591252	539786	88	ferro/6" (pol.)		1000	2630	1709
19	9592478	538007	92	pvc/6" (pol.)	40	2000	295	192
20	9592520	538109	80	pvc/6" (pol.)	45	1000	522	339
21	9591850	538227	92		39	2000	608	395
22	9591595	538181	46	pvc/6" (pol.)	30	1000	681	443
23	9591607	538312	95	pvc/6" (pol.)	60	1000	585	380
24	9592758	538640	92	pvc/6" (pol.)	43	1000	1312	853
25	9592651	538662	94	pvc/6" (pol.)	43	1000	1275	829

Tabela 1. Dados dos poços tubulares profundos da região do Pacheco. Cadastro no domínio do meio fissural cristalino (CPRM, 1999; modificado).

A profundidade média dos poços cadastrados no domínio das rochas cristalinas é de cerca de 43 metros (mínima de 30 e máxima de 60 metros), com vazão média informada

da ordem de 1500 l/h (1,5 m³/h), predominantemente revestidos em PVC de 6 polegadas. Apresentam águas com média de condutividade elétrica (C.E.) de 1.996,92 µS/cm e valor médio de sólidos totais dissolvidos (S.T.D.) de 1.298,04 mg/l.

Ressalta-se o anômalo valor referente a condutividade elétrica de 32.200 µS/cm e sólidos totais dissolvidos com 20.930 mg/l do poço 5 (numeração nossa). Desconsiderando-se esses valores excêntricos as médias de condutividade elétrica e de sólidos totais dissolvidos baixariam respectivamente, para 738,45 µS/cm e 480,04 mg/l. Ou seja, 2,7 vezes menores.

A formação Barreiras está caracterizada por uma expressiva variação faciológica, produzindo-se alternâncias de níveis com distintas condutividades hidráulicas, o que lhe confere parâmetros hidrogeológicos diferenciados segundo o contexto local. Regionalmente é considerada como um aquífero com permeabilidade hidráulica da ordem de 10⁻⁶ m/s (Brandão, 1995; Bianchi et. al., 1984 e Beltrão e Manoel Filho, 1973). Adjacente à área de estudo, no município de Fortaleza, os poços que exploram a formação Barreiras apresentam vazões médias de 3,7 m³/h, com registros de locais cujas vazões alcançam até 10 m³/h (Morais, Sampaio e Sales, 1984).

A associação dunas (paleodunas e recentes) e terraços marinhos holocênicos representam, em função de sua natureza e características sedimentológicas, o conjunto de melhor vocação hidrogeológica. Entretanto, não se dispõe a nível local da área de estudo, de informações que permitam respaldar seu uso potencial. No município vizinho de Fortaleza, o sistema aquífero dunas (paleodunas e recentes) é de relevante importância estratégica e hidro-ambiental, apresentando condutividades hidráulicas da ordem de 10⁻⁴ m/s (Beltrão e Manoel Filho, 1973; Campos e Menezes, 1982 e CAGECE/PLANAT 1976a, 1976b e 1977 in: Vasconcelos, 1999).

Os depósitos aluvionares recentes ocorrem distribuídos ao sul da área, limitado à calha de drenagem de um afluente da margem esquerda do rio Ceará. Constituem um meio aquífero livre, com espessuras de até uma dezena de metros, mostrando uma grande variação faciológica e tendo o nível estático a pouca profundidade. Representam uma antiga área de exploração de sal, favorecida pela penetração das marés altas e represamento de suas águas, à época (antiga área plana de salinas).

6. PROSPECÇÃO GEOFÍSICA ELETROMAGNÉTICA

Os materiais geológicos que compõem o substrato apresentam valores de resistividade elétrica em função de sua composição mineralógica, porosidade, conteúdo em água e concentração de sais dissolvidos nestas águas. Os minerais constituintes dos

distintos tipos litológicos são dielétricos, ou seja, caracterizam-se por mostrar elevados valores de resistividade elétrica. Sob essas condições, a resistividade aparente de um meio geológico está relacionada diretamente com a resistividade elétrica do fluido existente nos seus poros através da equação de 'Archie', mediante o denominado fator de formação (Busquet, et. al., 1995):

$$\sigma_a = F \cdot \sigma_w$$

Aonde,

σ_a – resistividade aparente global do terreno;

σ_w – resistividade aparente do fluido existente nos poros; e,

F – fator de formação.

O fator de formação de uma determinada rocha depende de:

$$F = a \Phi^{-m} S^{-2}$$

Aonde,

Φ - porosidade;

S - grau de saturação dos poros; e,

a e m - constantes empíricas (em função da textura da rocha).

A contaminação inorgânica produz um incremento na quantidade de íons dissolvidos na água, concorrendo para a diminuição dos valores de resistividade de todo o conjunto considerado. Um aumento de 25 mg/l na concentração de sólidos totais dissolvidos de uma água subterrânea gera, aproximadamente, uma elevação de condutividade aparente da ordem de 1 mili Siemen/metro (1mS/m) no terreno (Busquet, et. al., 1995).

Portanto, no caso da ocorrência de fluxo contaminante preferente e/ou plumas de contaminação de origem inorgânico, os métodos de prospecção eletromagnéticos indutivos são fiáveis e muito eficazes na cartografia das variações laterais da resistividade elétrica do subsolo a profundidades praticamente constantes.

A medida da condutividade elétrica do terreno mediante dispositivos de bobinas móveis é, quiçá, uma das técnicas geofísicas mais versáteis e melhor adaptadas as necessidades dos estudos de zonas contaminadas (Greenhouse & Slaine, 1983).

Os condutímetro eletromagnéticos indutivos são equipamentos portáteis, manejáveis por dois operadores, consistindo basicamente em uma antena transmissora e outra, receptora, posicionada coplanarmente em relação a primeira, operando no domínio das freqüências (“Frequency Domain Elettro-Magnetics - FDEM”).

O transmissor energiza com uma corrente alternativa na freqüência de audio, induzindo baixas correntes no terreno através da bobina transmissora. Essas correntes geram, por sua vez, um campo eletromagnético secundário (“H_s”), que é captado conjuntamente com o campo magnético primário (“H_p”), pela bobina receptora.

O campo eletromagnético secundário (“H_s”) produzido em um equipamento destas características (bobinas móveis; emissora e receptora) é geralmente uma função complexa da distância entre as bobinas (“s”), a freqüência de operação (“f”) e a condutividade do terreno (“σ_a”). Entretanto, sob determinadas condições, tecnicamente conhecida como ‘teoria de operação com baixo número de indução’, o campo eletromagnético secundário (“H_s”) torna-se uma função bem simples destas variáveis. A denominada profundidade efetiva (“skin depth”; McNeill, 1980) está definida como a distância percorrida pela onda plana de propagação, quando sua amplitude decresce um fator e^{-1} em relação a amplitude em superfície. O número de indução (“B”) representa um parâmetro adimensional, razão entre a distância entre as bobinas (“s”) e a profundidade efetiva (“δ”). Quando este número de indução (“B”) é muito inferior a unidade (“B” = “s/δ” << 1), a magnitude do campo eletromagnético secundário torna-se diretamente proporcional a condutividade do terreno. Assim sendo, o condutímetro eletromagnético está desenhado para operar simplesmente medindo a razão entre os campos eletromagnéticos secundário (“H_s”) e primário (“H_p”), podendo obter a condutividade aparente do terreno a partir da seguinte expressão (McNeill, 1980):

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

Aonde,

σ_a = condutividade aparente do terreno (mho/m ou S/m);

$$\omega = 2\pi f ;$$

f = frequência do emissor (Hz);

μ_0 - permeabilidade magnética do vácuo;

s – distância entre as bobinas (m);

H_s – amplitude do campo eletromagnético secundário; e,

H_p – amplitude do campo eletromagnético primário.

A profundidade de exploração é função da separação (10, 20 e 40 metros) e da orientação das bobinas, sempre coplanarmente dispostas, podendo operar deitadas horizontalmente no terreno (dipolo na posição vertical; “VD”), ou verticalmente apoiadas no solo (dipolo na posição horizontal; “HD”), como se apresenta na tabela 2

Separação entre Bobinas (m)	Frequências Usadas (Hz)	Profundidade de Investigação (m)	
		Dipolo na Horizontal (HD)	Dipolo na Vertical (VD)
10	6400	7.5	15
20	1600	15	30
40	400	30	60

Tabela 2. Separação entre bobinas, frequências utilizadas e profundidades de operação relacionadas ao Geonics EM-34.

Considerando-se uma fina camada horizontal e homogênea de espessura “ d_z ”, situada a uma profundidade “z” (aonde “z” é a profundidade dividida pela separação entre bobinas “s”), pode-se construir as seguintes equações que descrevem a contribuição relativa para o campo eletromagnético secundário que surge em função dessa camada a qualquer profundidade “z” (McNeill, 1980):

$$\Phi_H(z) = 2 - \frac{4z}{(4z^2 + 1)^{1/2}} \quad (1)$$

$$\Phi_V(z) = \frac{4z}{(4z^2 + 1)^{3/2}} \quad (2)$$

Quando as bobinas encontram-se coplanarmente apoiadas em posição vertical sobre o terreno (dipolo horizontal; equação 1), configura-se no arranjo mais sensível aos materiais mais próximos da superfície, com a sensibilidade de resposta decrescendo em

profundidade (Figura 2). Dispostas horizontalmente no solo, as bobinas configuram-se com o dipolo na vertical (equação 2), apresentando máxima contribuição para o campo magnético secundário na profundidade de aproximadamente 0,4 “s” (“s” = distância entre bobinas), embora que o material a profundidade de 1,5 “s” contribua ainda significativamente. É importante notar que, com a disposição de bobinas em dipolo vertical, a contribuição para o campo magnético secundário em função dos materiais próximos da superfície (profundidade zero) é muito pequena e, conseqüentemente, esta configuração de bobinas é insensível as mudanças de condutividade próximas da superfície (McNeill, 1980).

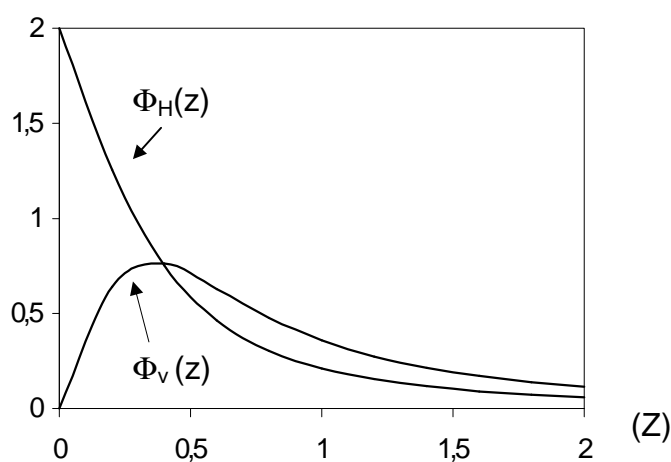


Figura 2. Influência relativa de uma camada delgada sobre o campo magnético secundário em função da profundidade. $\Phi_V(z)$: para o caso de dipolos verticais. $\Phi_H(z)$: para o caso de dipolos horizontais.

7. RESULTADOS E DISCUSSÕES

O instrumento utilizado foi um condutímetro eletromagnético indutivo marca ‘Geonics’, modelo EM-34-3XL. Trata-se de um equipamento portátil, manejável por dois operadores, consistindo basicamente em uma antena transmissora (100 cm de diâmetro) e outra, receptora (63 cm de diâmetro), posicionada coplanarmente em relação a primeira.

Para levar a cabo a cartografia da condutividade elétrica aparente do subsolo a diferentes profundidades, realizou-se uma campanha com 38 estações, 4.160 metros de perfís, buscando-se cobrir o melhor possível a área de estudo (Figura 3).

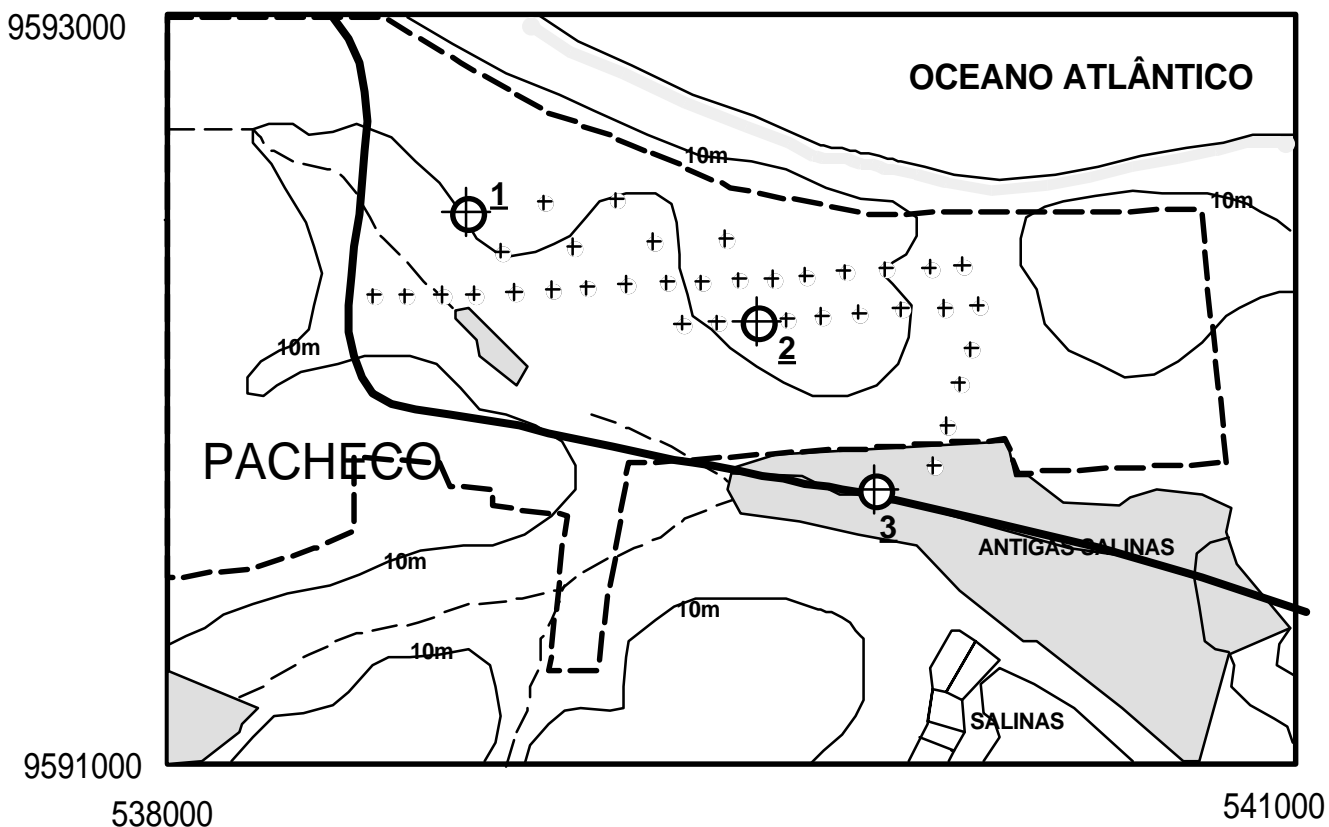


Figura 3. Distribuição das 38 estações utilizadas para cartografia eletromagnética indutiva da região do Pacheco (1, 2 e 3 = SEV's indutivos).

Foram realizadas leituras seqüenciais, adotando-se uma separação entre bobinas de 10 metros e, portanto, cobrindo aproximadamente, as profundidades de 7,5 metros (com dipolo na horizontal; HD) e 15 metros (dipolo na vertical; VD). As estações numeradas de um a três, representam os pontos aonde foram feitas sondagens eletromagnéticas verticais (SEV's), com leituras em posição de dipolo horizontal e vertical e com o espaçamento entre bobinas de 10, 20 e 40 metros. Ou seja, profundidades de operação de 7,5 a 60 metros, objetivando-se o traçado do perfil NW-SE (1, 2 e 3) de tendências de evolução da condutividade aparente do terreno (Figura 4).

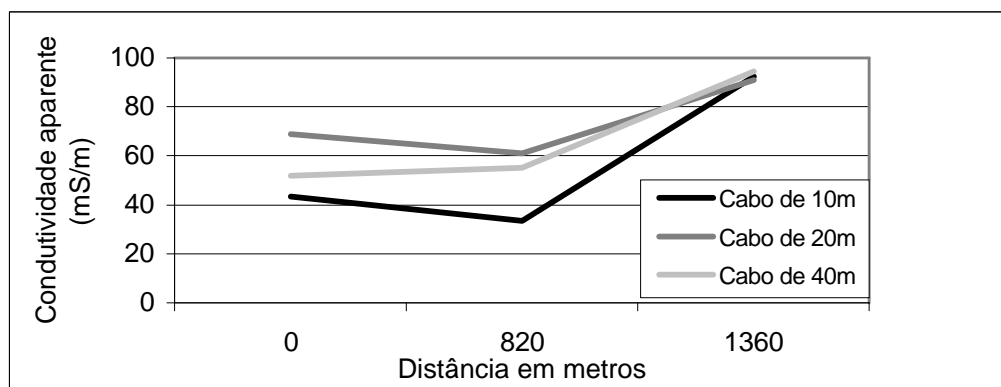


Figura 4. Perfil NW-SE (1, 2 e 3) apresentando as tendências de evolução da condutividade aparente do terreno.

Observam-se decréscimos da condutividade aparente do terreno do ponto 1 (início do perfil) ao ponto 2 (820 metros; NW-SE), da ordem de 23% para o alcance de profundidades do cabo de 10 metros e, de aproximadamente 11%, para o arranjo com cabo de 20 metros, por efeito da elevação topográfica (zona vadosa, arenosa mais espessa). Para as profundidades operativas com cabo de 40 metros, neste mesmo intervalo do perfil (1 a 2), a tendência evolutiva da condutividade aparente do terreno se mantém praticamente constante (menos vulnerável ao efeito topográfico). Já no ponto 3 (1360 metros), a tendência das condutividades aparentes do terreno é de forte subida, agrupando-se próximas ao valor de 93 mS/m.

As Figuras 5 e 6 representam, respectivamente, o mapa das condutividades aparentes relativas as profundidades de investigação de 7,5 metros (HD) e 15 metros (VD), tratadas em “kriging”, na área imediata de entorno das 38 estações geofísicas consideradas. O poço 5 (Tabela 1), foi plotado em função dos anômalos valores cadastrados para sólidos totais dissolvidos (20.930 mg/l) e condutividade elétrica (32.200 μ S/cm).

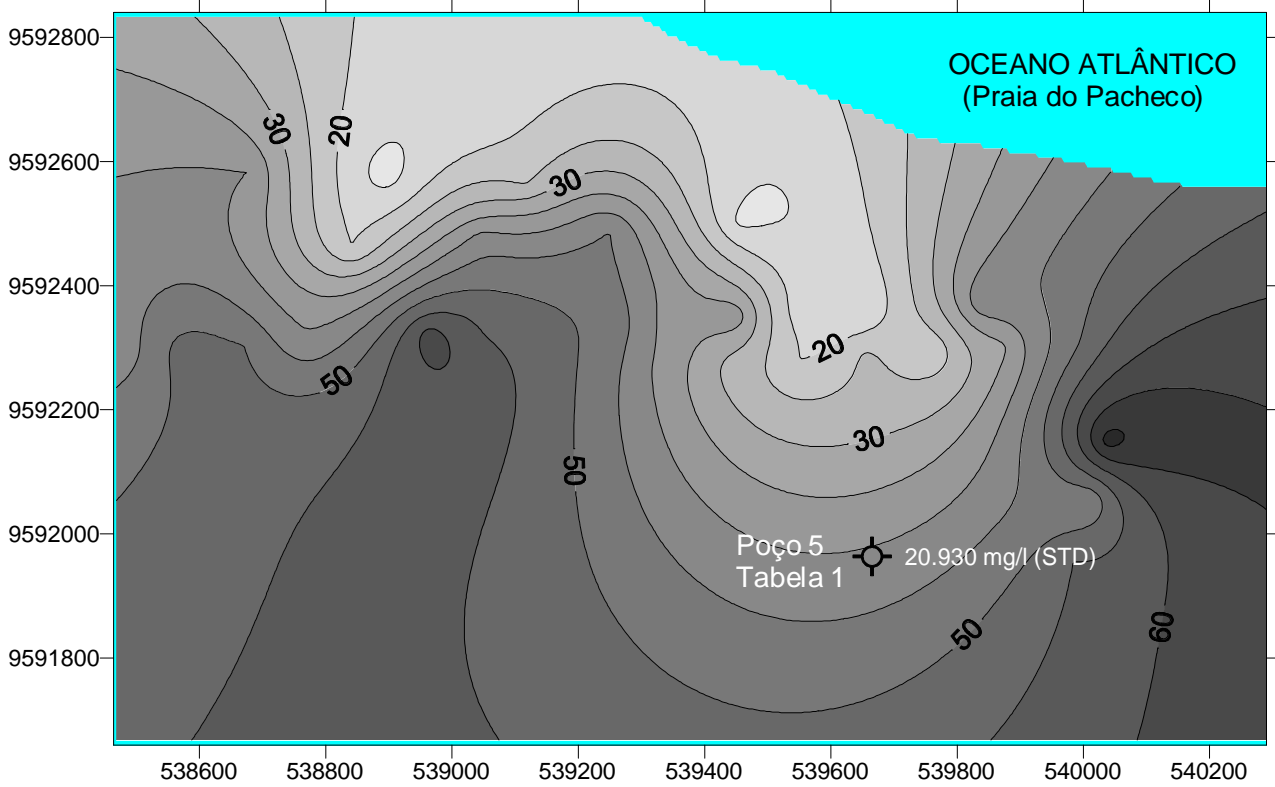


Figura 5. Distribuição das condutividades aparentes EM-34 (HD;7,5m), na área de entorno das 38 estações geofísicas consideradas (unidades em mS/m).

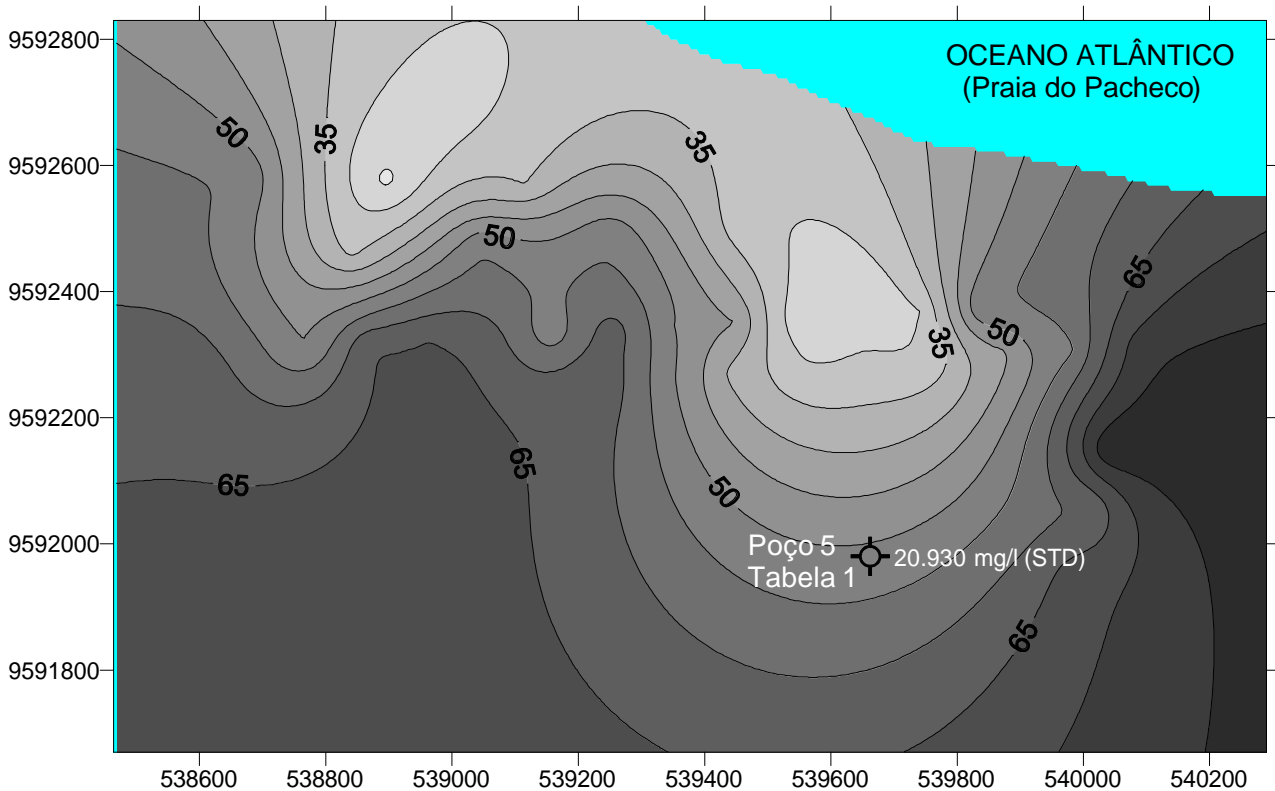


Figura 6. Distribuição das condutividades aparentes EM-34 (VD;15m), na área de entorno das 38 estações geofísicas consideradas (unidades em mS/m).

A distribuição das condutividades aparentes com dipolo na vertical (VD;15m/figura 6), apresenta-se com valores superiores ao mapa da figura 5 (HD; 7,5m) da ordem de 10 mS/m.

Em ambas figuras percebem-se digitalizações com valores mais altos de condutividade aparente do terreno provenientes do SW e E da área. Ou seja, a possível frente de contaminação seria proveniente das zonas correspondentes as antigas salinas por lixiviação e fluxo natural em direção a linha de costa. Ao norte da área (próximo a costa), encontram-se os mais baixos valores de isocondutividade aparente do terreno, estando relacionados a zona de recarga das pequenas dunas.

Os anômalos valores cadastrados para sólidos totais dissolvidos (20.930 mg/l) e condutividade elétrica (32.200 $\mu\text{S}/\text{cm}$) para a água do poço 5, representando mais de 43 vezes a média regional (tabela 1), permitem sugerir uma sobrexcedida exploração pontual e o conseqüente encontro com a água salgada. Poderiam significar a ascensão da água marinha atual, na forma de um cone invertido, e/ou a captação de bolsões de água salgada proveniente das antigas salinas.

As Figuras 7 e 8 representam, respectivamente, o mapa de tendência da distribuição regional das condutividades aparentes relativas as profundidades de investigação de 7,5 metros (HD) e 15 metros (VD), utilizando-se regressão polinomial, na área imediata de entorno das 38 estações geofísicas consideradas.

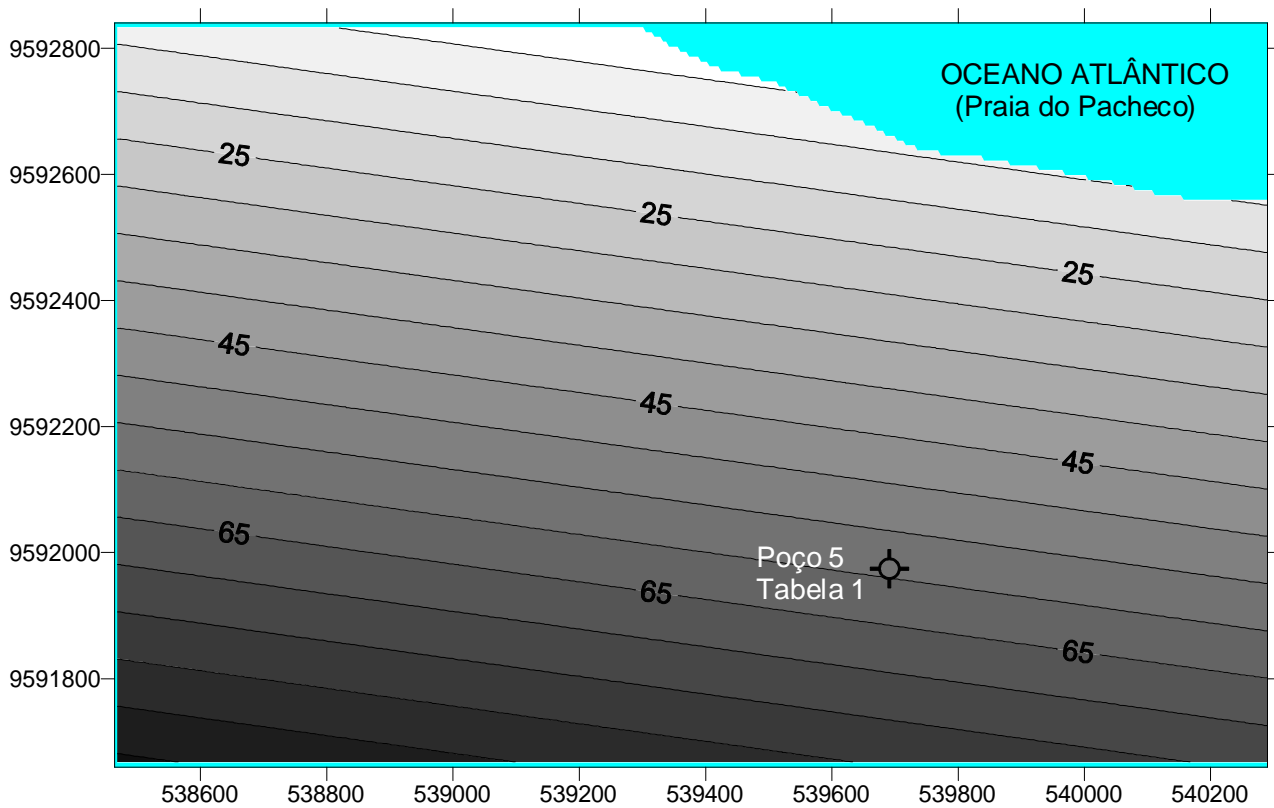


Figura 7. Reajuste por regressão polinomial da distribuição das condutividades aparentes EM-34 (HD;7,5m), na área de entorno das 38 estações geofísicas consideradas (unidades em mS/m).

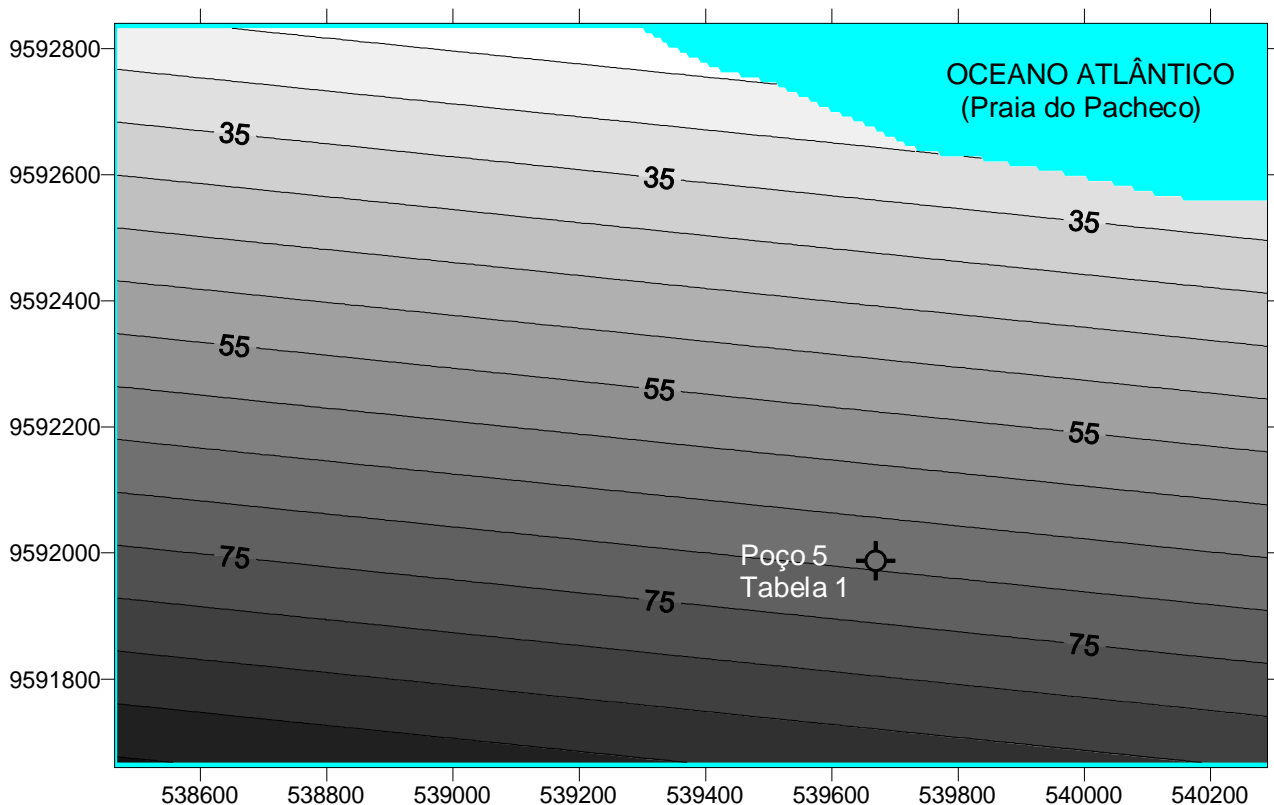


Figura 8. Reajuste por regressão polinomial da distribuição das condutividades aparentes EM-34 (VD;15m), na área de entorno das 38 estações geofísicas consideradas (unidades em mS/m).

O ajuste por regressão polinomial, em ambas profundidades de exploração (7,5 e 15 metros; figuras 7 e 8, respectivamente), apresenta uma tendência regional com direção NNE, com a condutividade aparente do terreno decrescendo em direção a linha de costa.

8. CONCLUSÕES

A aplicação da prospecção eletromagnética mediante dispositivos de bobinas móveis (tipo EM-34), mostrou-se versátil e bem adaptada as necessidades dos estudos em zonas aquíferas contaminadas por sais.

No caso específico da praia do Pacheco, a possível frente de contaminação seria proveniente das zonas das antigas salinas por lixiviação e fluxo natural em direção ao mar. Próximo a linha de costa (ao norte da área), encontram-se os mais baixos valores de isocondutividade aparente do terreno, estando relacionados a recarga em função do pequeno cordão de dunas existente.

Percebe-se que o ajuste por regressão polinomial, em ambas profundidades de exploração (7,5 e 15 metros), corrobora uma tendência regional com direção NNE, decrescendo as condutividades aparente do terreno em direção a linha de costa.

Os excêntricos valores cadastrados para sólidos totais dissolvidos (20.930 mg/l) e condutividade elétrica (32.200 $\mu\text{S}/\text{cm}$) para a água do poço 5, salvaguardando-se acidentes ou contaminação intencional, permitem sugerir uma sobrexcedida exploração pontual e a conseqüente ascensão da água marinha atual, na forma de um cone invertido, e/ou a captação de bolsões de água salgada proveniente das antigas salinas.

Em conseqüência, a utilização sistemática da prospecção eletromagnética no domínio das frequências, pode contribuir para um eficaz controle da evolução espacial e temporal dos processos de contaminação por sais, com alto rendimento em função da baixa relação custo/benefício.

9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Beltrão, A.E. de A. & Manoel Filho, J. (1973). Abastecimento de Água da Área Metropolitana da Cidade de Fortaleza – CE. Recife, Pernambuco, SUDENE (Hidrogeologia, 44). 296pp..
- Bianchi, L.; Marques, J.C. de S.; Padilha, M.W.M.; Teixeira, J.E.M.; Coelho, M. do C.; Martins Júnior, M. & Aguiar, M.T.R. (1984). Recursos de Água Subterrânea na Região Metropolitana de Fortaleza. Fatores Condicionantes. Plano de Aproveitamento dos Recursos Hídricos na Região Metropolitana de Fortaleza. Fase I. Fortaleza. SEPLAN/AUMEF, v.1, 139pp..
- Brandão, R.L. (1995). Sistema de Informação para Gestão e Administração Territorial da Região Metropolitana de Fortaleza – Projeto SINFOR: Diagnóstico Geoambiental e os Principais Problemas de Ocupação do Meio Físico da Região Metropolitana de Fortaleza: CPRM, 1995. 105pp. il..
- Busquet, E.; Casas, A.; Pinto, V.; Rivero, L. & Sabadia, J.A.B. (1995) “Geofísica Ambiental: Técnicas no Destructivas para el Reconocimiento de Zonas Contaminadas por Vertidos”. Acta Geológica Hispánica, v. 30, nº 1-3, p. 73-82.
- Campos, L.A.S. & Menezes, M.A.S. (1982). Pesquisa e Aproveitamento de Água Subterrânea para Abastecimento Urbano nas Dunas Costeiras do Ceará. ANAIS II Congresso Brasileiro de Água Subterrânea. ABAS. Salvador, BA, p. 29-42.
- Cavalcante, I.N. (1998). Fundamentos Hidrogeológicos para a Gestão Integrada de Recursos Hídricos na Região Metropolitana de Fortaleza, Estado do Ceará. Tese

- de Doutorado. Pós-Graduação em Geologia Econômica e Hidrogeologia. Instituto de Geociências. Universidade de São Paulo (IG-USP). 164pp.
- CPRM (1999). Atlas dos Recursos Hídricos Subterrâneos do Ceará. Programa Recenseamento de Fontes de Abastecimento por Água Subterrânea. Atlas Digital. Residência de Fortaleza. Ceará.
- Greenhouse, J.P. & Slaine, D.D. (1983). The use of Reconnaissance Elettromagnetic Methods to Map Contaminant Migration. Ground Water Monitoring Review. Vol. 3, nº 2, 47-49pp..
- IPLANCE – Fundação Instituto de Planejamento do Ceará (1997). Atlas do Ceará. Fortaleza, CE. 65pp. Mapa colorido, Escala 1:1.500.000.
- Maia, L.P. (1998). Procesos Costeros y Balance Sedimentario a lo Largo de Fortaleza (NE-Brasil): Implicaciones para una Gestión Adecuada de la Zona Litoral. Departamento de Ecología, Facultad de Biología. Universidad de Barcelona. Tesis Doctoral, 269 pp..
- McNeill, J.D. (1980). Electromagnetic Terrain Conductivity Measurement at Low Induction Numbers; TN-6 Geonics Ltd.. Mississauga, Ontario (Canada).
- Morais, J.B.A.; Sampaio, T. de Q.S. & Sales, J.W.M. (1984). Projeto Fortaleza: Hidrogeologia e Controle Técnico nas Perfurações dos Poços no Município de Fortaleza – CE. Relatório Final. Fortaleza, CE. DNPM/CPRM, vol.1, 208pp..
- SRH – Secretaria de Recursos Hídricos do Estado do Ceará (1992). Plano Estadual de Recursos Hídricos. 4 vol. Fortaleza, CE.
- Vasconcelos, S.M.S. (1999). Recarga do Aquífero Dunas/Paleodunas, Fortaleza – CE. Tese de Doutorado. Pós-Graduação em Geologia Econômica e Hidrogeologia. Instituto de Geociências. Universidade de São Paulo (IG-USP). 100pp..