

# A PROBLEMÁTICA DA DESTINAÇÃO FINAL DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS: O ATERRO DO JANGURUSSU E OS RECURSOS HÍDRICOS SUBTERRÂNEOS DA CIDADE DE FORTALEZA – CEARÁ

**Sabadia, J.A.B.<sup>1,2</sup>; Casas, A.<sup>2</sup>; Santiago, M.M.F.<sup>3</sup> & Mendes Filho, J.<sup>3</sup>**

**Resumo** - O presente trabalho busca caracterizar os impactos causados ao meio-ambiente, particularmente aos recursos hídricos subterrâneos da cidade de Fortaleza, em função da disposição final de resíduos sólidos urbanos (RSU) no aterro do Jangurussu. As atenções ficam potencializadas em função de que uma parcela da população não dispõe de saneamento básico no bairro, obrigando-se a que esta comunidade se abasteça através de poços cuja a água é utilizada para todos os fins. As condutividades hidráulicas relativas a formação Barreiras e aluviões foram avaliadas através de “slug test”. Registrou-se em campo o pH, temperatura e condutividade elétrica (CE), sendo realizadas análises para Cl, Na, Mg, K, Ca, Ba, Fe, Al, Mn, Ni, Co, Cr, Cu, Cd, B, P, Pb e Zn, das distintas surgências de chorume e das águas subterrâneas locais em dois poços, considerados como “background”, oito piezômetros e um poço de monitoramento. Foram realizadas leituras seqüenciais (cada 40 metros) com condutivímetro eletromagnético Geonics EM-34-XL, com bobinas espaçadas de 10 metros e com leituras em HD (7,5m) e VD (15m), ao longo dos 2500 metros de perímetro do aterro. Mapeou-se com um condutivímetro Geonics EM-31, de 10 em 10 metros (258 estações), com leituras HD (3m) e VD (6m), cobrindo-se aproximadamente, uma área de 29 ha., ao norte do aterro.

**Palavras-chave** - RSU; Águas Subterrâneas; Poluição.

## 1. INTRODUÇÃO

<sup>1</sup>Bolsista de Doutorado da CAPES. Departamento de Geologia. Universidade Federal do Ceará. Fone: 85.288.9867. Fax: 85.287.7012. (janton@natura.geo.ub.es).

<sup>2</sup>Facultad de Geologia. Universidad de Barcelona. Fone: 93. 402 1418. (albertc@natura.geo.ub.es)

<sup>3</sup>Departamento de Física. Universidade Federal do Ceará. (marlucia@fisica.ufc.br).(josué@fisica.ufc.br) .

O acentuado processo de crescimento experimentado pelos países desenvolvidos e em desenvolvimento vem acarretando transformações profundas no cotidiano das populações. Os problemas ambientais são uma conseqüência da busca do que se entende hoje por praticidade e melhor qualidade de vida, originando maior diversidade, quantidade e qualidade de embalagens e produtos.

Distinto da notada redução obtida nas cargas contaminantes industriais nos últimos anos, a produção de resíduos sólidos urbanos (RSU) permanece crescente, principalmente nas grandes cidades, concentrando o risco potencial poluidor.

Admite-se que um brasileiro produza em média 1,5kg de RSU (resíduos sólidos urbanos) por dia. Em Fortaleza a cifra oficial chega a 1,7kg de RSU/dia. Considerando-se o índice de coleta de 85%, os descontroles existentes desde a coleta e a destinação final e os inumeráveis e deploráveis hábitos de disposição clandestina do lixo, estima-se que em realidade o fortalezense produza uma média de 2,4kg de RSU/dia, o que corresponderia hoje a 4800 toneladas diárias.

A reciclagem parece ser a opção de gestão de resíduos preferida pela sociedade, entretanto, a almejada reciclagem a 100% não é econômica nem tecnicamente possível, pelo menos no momento. O percentual de lixo passível de ser reciclado pode alcançar 50% nos planos mais arrojados, sendo mais comuns experiências com até 35% de RSU reutilizáveis.

Há anos o homem deposita em valas o lixo que produz. O uso do solo e subsolo como meio de transferência remonta aos primórdios das civilizações, como evidenciam os registros arqueológicos existentes e, ainda hoje, esta prática é imprescindível para o destino final de resíduos, cada vez mais volumosos e perigosos.

As áreas de disposição de resíduos urbanos e industriais vêm se transformando em focos potenciais de geração de poluição no mundo todo, em função da demora de atuação das leis de proteção do solo/subsolo, quando comparadas a legislação de proteção do ar e das águas superficiais. Torna-se necessário o conhecimento dos condicionantes geológicos e hidrogeológicos e dos níveis dos impactos produzidos e a conscientização de que a elevação dos custos desta alternativa de destinação final representam maiores garantias para o desenvolvimento sustentável. Deve-se destinar hoje, maior capital físico e humano nas ações de gestão desta atividade, com a finalidade de repassar menores custos e problemas à sociedade futura.

Os custos da destinação final de resíduos urbanos e industriais na forma de aterros têm sofrido fortes acréscimos, face ao esgotamento volumétrico e as restrições ambientais para a instalação de novos depósitos. De acordo com Corson (1993), nos

E.U.A, estes custos passaram de US\$ 80.00/ton., em meados dos anos 80, para US\$ 225.00/ton., ao final da década. Segundo os dados de Heitzmann Jr. (1994), na Alemanha, os custos encontram-se entre US\$ 60.00 e US\$ 72.00/ton., sem contar com gastos de coleta e transporte. No Brasil (São Paulo), nas condições atuais (Hahner, 1994), os custos de disposição variam de US\$ 7.50 a US\$ 18.00/ton., o que explica a precariedade e vulnerabilidade dos sistemas utilizados.

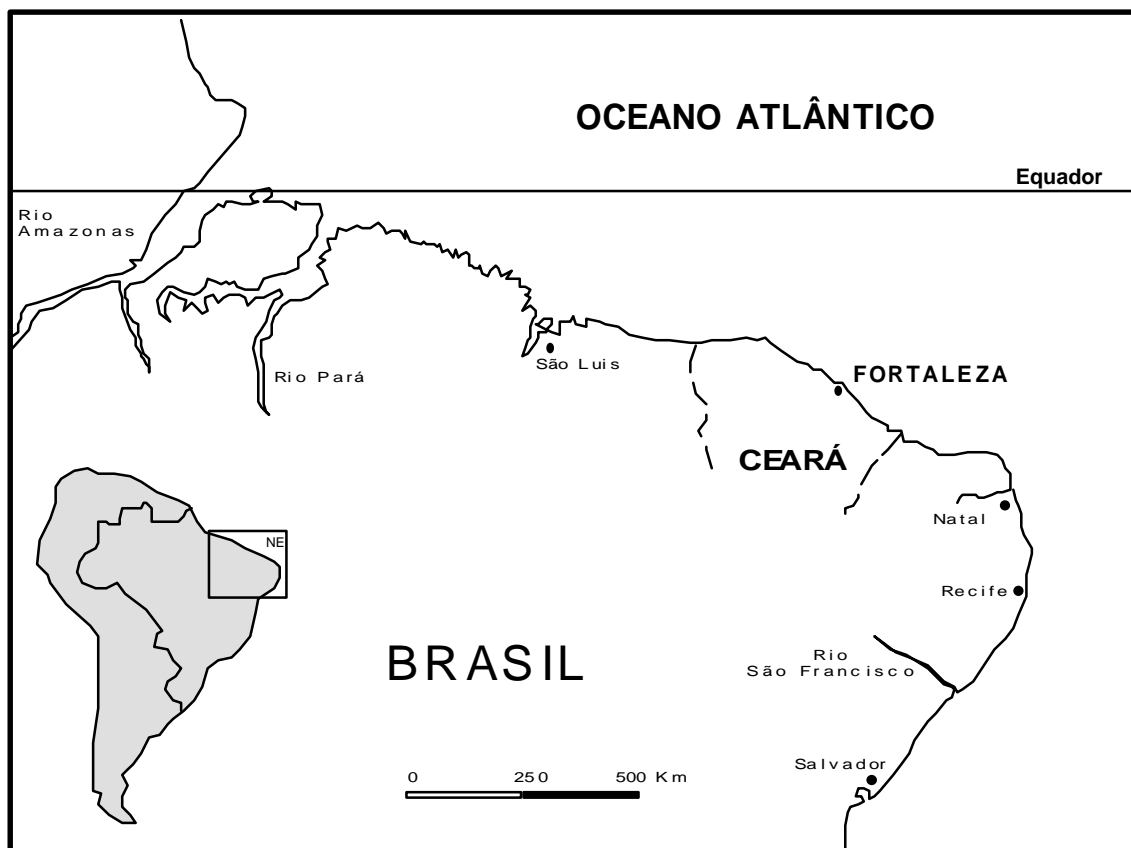
Embora estes custos mostrem-se crescentes, vale ressaltar que, caso o comprometimento hídrico subterrâneo registre valores críticos, envolvendo resíduos considerados perigosos (“hazardous wastes”- EPA) e, haja a necessidade de descontaminação (“clean-up”), as cifras envolvidas atingem de US\$ 10 a US\$ 16 milhões (Cleary, 1989), em função das dificuldades técnicas impostas.

Os problemas relacionados com a gestão integral de resíduos tornam-se potencializados em países com acentuada concentração de renda, como no caso do Brasil, aonde as flagrantes desigualdades sócio-econômicas induzem a que a maior parte da população seja tolerante diante dos grandes problemas ambientais. O incremento continuado da produção de resíduos, associado as ineficientes práticas políticas de gestão, dentro deste frágil contexto sócio-econômico, extremamente vulnerável, acentuam o risco toxicológico para a população, através da sua atuação direta com o lixo e/ou indiretamente, com a interação dos resíduos com o meio físico.

As restrições impostas ao uso da água pela contaminação e as preocupações ambientais vêm criando problemas de difícil solução em muitas regiões. A crise de qualidade da água, prevista como o próximo grave problema de abastecimento, parece estar se delineando como o resultado de uma degradação constante (Sabadia, 1994).

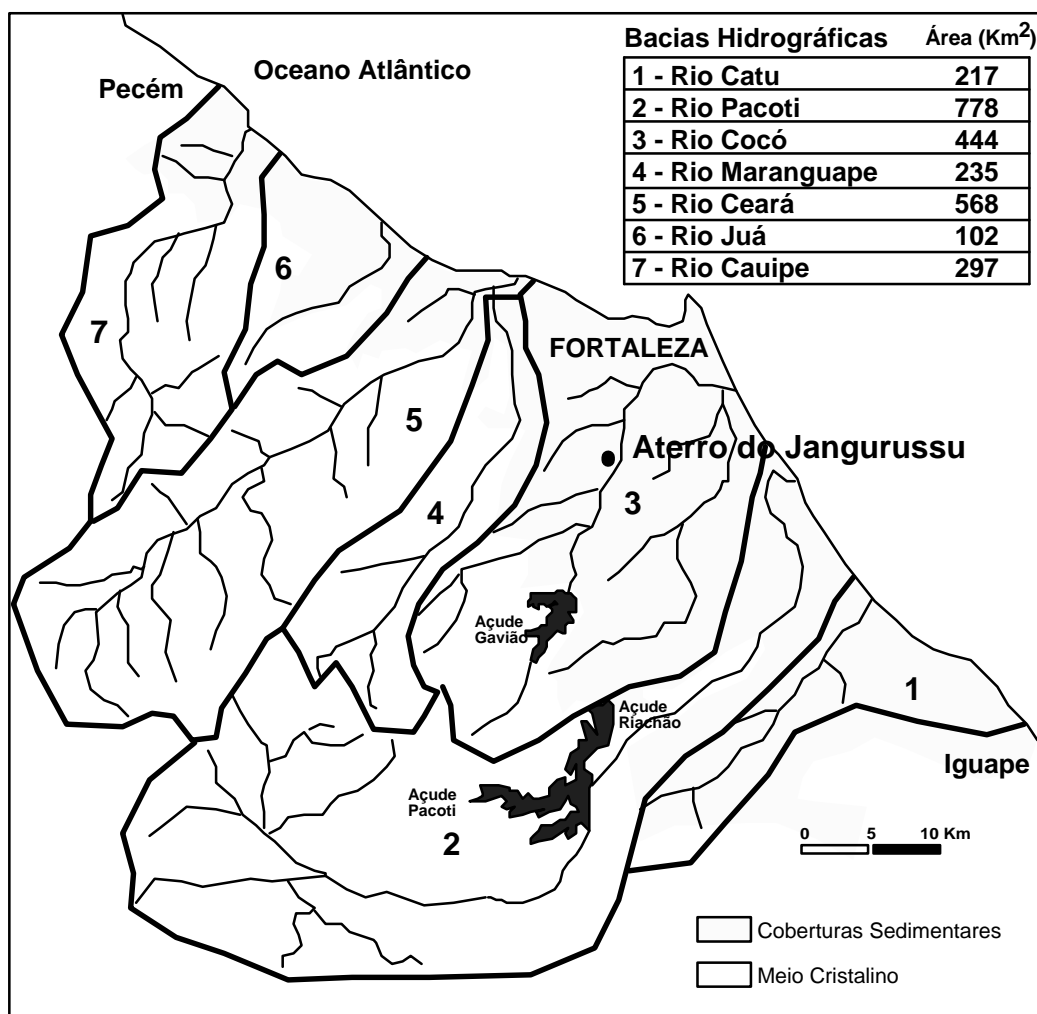
## **2. SITUAÇÃO E ASPECTOS MORFOCLIMÁTICOS**

Fortaleza, a capital do estado do Ceará, constitui-se na quinta cidade brasileira em população com cerca de 2 milhões de habitantes, estando localizada na região Nordeste do Brasil entre os paralelos 3°40' e 3°55' de latitude sul e meridianos 38°20' e 38°40' de longitude oeste (Figura 1).



**Figura 1.** Localização da cidade de Fortaleza, capital do estado do Ceará. Região Nordeste do Brasil.

O aterro de resíduos sólidos urbanos do Jangurussu está localizado na porção centro-sul da cidade de Fortaleza, encaixado contigüamente à margem esquerda do rio Cocó (Figura 2). A bacia hidrográfica do rio Cocó domina 64,3% dos 336km<sup>2</sup> totais do município de Fortaleza, sendo considerado o setor com maiores perspectivas de ocupação e crescimento demográfico (IPLANCE, 1994), incluindo-se aí, aproximadamente, 375ha de área de proteção de manguezais (Parque Ecológico do Cocó).



**Figura 2.** Localização do Aterro do Jangurussu na bacia hidrográfica do rio Cocó. Centro sul da cidade de Fortaleza.

Oficialmente inaugurado em março de 1978, o aterro do Jangurussu encontrava-se anteriormente já em operação provisória, induzindo-se assim seu descontrole continuado. Em março de 1998 parou de receber lixo, após 20 anos de destino final de todo e qualquer tipo de resíduo quando, com seus 40 metros de projeção topográfica e 30ha de área aflorante, passa a ser o ícone das ineficientes práticas políticas da administração estatal no processo de gestão integral de RSU da quinta capital brasileira.

Geomorfologicamente, o aterro do Jangurussu está inserido na planície fluvial do rio Cocó, no domínio morfológico dos Glacis Pré-Litorâneos (Brandão, 1995), destacando-se por sua pungente expressão topográfica.

A precipitação média anual é da ordem de 1400mm, com notada densidade de chuvas de janeiro a julho (quase 90%). A temperatura média anual encontra-se pouco acima dos 26°C, com máxima e mínima absoluta correspondendo a 36°C e 17°C, respectivamente. O tempo médio anual de insolação é de cerca de 2800 horas, com média anual de umidade relativa do ar de 78%. A evapotranspiração potencial é sempre superior a 1500mm/ano, enquanto que a evapotranspiração real assume valores médios anuais inferiores a 1000mm. Os ventos provêm de leste, atingindo velocidade média anual de 4,2m/s (IPLANCE, 1997). De acordo com os dados de Maia (1998), a velocidade média anual dos ventos pode alcançar valores superiores a 7 m/s.

### **3. SÍNTESE HIDROGEOLÓGICA**

Na região de entorno do aterro do Jangurussu pode-se distinguir três formações hidrogeológicas distintas: o embasamento cristalino, na qualidade de aquífero fissural; a formação Barreiras (livre a semi-confinado) e os depósitos aluvionares recentes (freático).

As litologias cristalinas proterozóicas estão representadas por rochas do complexo gnáissico migmatítico (Proterozóico Inferior; Brandão, 1995), ocorrendo em profundidades de cerca de 20 metros no oeste da área e aflorando ocasionalmente no leito do rio Cocó, na forma de pequenas cristas quartzíticas, a leste. Os poços tubulares que exploram este meio aquífero apresentam vazão média de 2,26 m<sup>3</sup>/h (proximidades do aterro), com registros locais que podem produzir até 5,2 m<sup>3</sup>/h. Normalmente a produção destes poços provêm do meio fissural passível de armazenar e ceder água (o próprio aquífero fraturado), assim como das formações sedimentares subjacentes (meio de transferência). É comum ocorrerem mudanças nas características hidroquímicas originais da água bombeada desde o início de operação do poço, até quando se estabelece a incorporação (mescla) da água proveniente das coberturas sedimentares de transferência.

Recobrimo o embasamento cristalino, assentam-se discordantemente, os sedimentos areno-argilosos da formação Barreiras (miocênica superior a pleistocênica; Brandão, op. cit.), com cores avermelhadas, amareladas ou creme, aspecto mosqueado, mal selecionados, apresentando níveis conglomeráticos e matriz argilosa caulínica com cimento argilo-ferruginoso e, às vezes, silicoso. 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<sup>-6</sup> m/s (Brandão, 1995; Bianchi et. al., 1984

e Beltrão e Manoel Filho, 1973). Os ensaios realizados em campo (tipo variação instantânea; “slug test”; Hvorslev, 1951), apresentaram valores de condutividade da ordem de  $10^{-7}$  m/s.

No âmbito do município de Fortaleza, os poços que exploram a formação Barreiras apresentam vazões médias de  $3,7 \text{ m}^3/\text{h}$ , com registros de locais cujas vazões alcançam até  $10 \text{ m}^3/\text{h}$  (Morais, Sampaio e Sales, 1984). Dados mais recentes, coligidos por Cavalcante (1998), mostram vazões médias de  $2,8 \text{ m}^3/\text{h}$ , com registro de captações que chegam a produzir  $17,6 \text{ m}^3/\text{h}$ , na abrangência da Região Metropolitana de Fortaleza.

No topo da seqüência, restritos ao norte e leste da área, ocorrem areias com matéria orgânica que correspondem a sedimentação fluvial recente (Quaternário). Os depósitos aluvionares ocorrem distribuídos limitados a calha de drenagem de um pequeno afluente da margem esquerda do rio Cocó (ao norte do aterro) e a leste, no leito principal do próprio rio Cocó. Constituem um meio aquífero livre, com espessuras de poucos metros e ampla variação faciológica, encontrando-se muitas vezes antropogenicamente mobilizados e alterados. Os ensaios do tipo variação instantânea (“slug test”; Hvorslev, 1951), resultaram em valores da ordem de  $10^{-5}$  m/s para a condutividade hidráulica local.

#### **4. MECANISMOS GERADORES DE POLUIÇÃO E ASPECTOS HIDROQUÍMICOS**

Os vertidos incontrolados, aterros e lixões clandestinos, tolerados ou administrados pelo poder público tem sido uma prática crescente recebendo, indiscriminadamente, todo tipo de resíduo. A dinâmica do ciclo hidrológico atua de forma a promover a infiltração/percolação e a conseqüente solubilização de parte dos compostos destes resíduos, produzindo um lixiviado multicomposicional tóxico (conhecido no Brasil como chorume), que pode vir a comprometer seriamente a qualidade das águas locais. No caso específico do aterro do Jangurussu, as atenções ficam potencializadas em função de que um parcela da população não dispõe de saneamento básico no bairro, obrigando esta comunidade a se abastecer através de poços cuja água é utilizada para todos os fins.

O chorume é uma solução que contém matéria dissolvida e em suspensão (inorgânica e orgânica), além de microorganismos. Sua composição encontra-se relacionada a quantidade de água disponível, ao tipo de resíduo depositado, aos processos físico-químicos atuantes e a atividade biológica que ocorre no corpo do aterro. Uma vez incorporado ao fluxo subterrâneo, o chorume migra em função da intensidade de atuação dos processos de advecção, dispersão, sorção e retardamento, e das transformações químicas e biológicas. A infiltração da água através do lixo causa uma elevação do lençol freático abaixo do aterro, conduzindo a uma movimentação

descendente e para fora, definindo uma pluma de contaminação delineada segundo as direções do fluxo subterrâneo preferente, podendo surgir como fontes na periferia do aterro e/ou acessar rios e outros corpos superficiais migrando como fluxo de base efluente.

A tabela 1 apresenta alguns parâmetros físico-químicos utilizados para a caracterização do chorume produzido no aterro do Jangurussu.

Parâmetro	Surgência ao Norte (12/97)	Surgência ao Leste (12/97)	Colar de Dreno (11/98)	Média
pH (campo)	7.77	7.74	8.44	7.98
Temperatura (°C)	28.5	27.5	36	30.67
CE (microS/cm)	24500	28000	21000	24500
Cl <sup>-</sup> (ppm)	4568	4654	4240	4487
Na <sup>+</sup> (ppm)	2006	2108	1735	1950
Mg <sup>++</sup> (ppm)	168	123	227	173
K <sup>+</sup> (ppm)	2367	2378	2086	2277
Ca <sup>++</sup> (ppm)	75.2	64.6	96	78.6
Ba (ppm)	0.68	0.97	0.31	0.65
Fe (ppm)	7.79	16.49	9.63	11.3
Al (ppm)	2.09	2.69	0.86	1.88
Mn (ppm)	0.12	0.16	0.23	0.17
Ni (ppm)	0.4	0.32	0.22	0.31
Co (ppm)	0.12	0.1	0.07	0.1
Cr (ppm)	0.28	0.9	0.313	0.5
Cu (ppm)	0.16	0.13	0.07	0.12
Cd (ppm)	0.002	0.002	0.018	0.007
Zn (ppm)	0.2	0.32	0.16	0.22
Pb (ppm)	0.22	0.1	0.082	0.13
P (ppm)	11.99	8.22	6.79	9
B (ppm)	1.55	1.88	2	1.81

**Tabela 1.** Parâmetros físico-químicos característicos do chorume gerado no aterro do Jangurussu.

Destacam-se os valores registrados para cloro (Cl), sódio (Na) e potássio (K), este último ocorrendo em concentrações não usuais, superando inclusive os valores de sódio. Também são importantes as concentrações de magnésio (Mg), cálcio (Ca), ferro (Fe) e fósforo (P), além dos demais elementos analisados e parâmetros registrados.

A tabela 2 apresenta alguns parâmetros físico-químicos destacáveis na caracterização das águas subterrâneas locais.



Parâmetro	Poços considerados como "background"			Piezômetros/poços de monitoramento		
	Barreiras/meio cristalino; SW do aterro			Barreiras/aluviões; N do aterro		
	Mínimo	Máximo	Média	Mínimo	Máximo	Média
pH (campo)	6.12	7.77	7	5.52	7.77	6.65
Temperatura (°C)	28.8	29.5	29.15	28	31.5	29.8
CE (microS/cm)	442	2100	1271	1010	34400	17705
Cl <sup>-</sup> (ppm)	87.13	619.47	353	225.2	14070	7148
Na <sup>+</sup> (ppm)	49.05	219.97	134.5	113.15	6335	3224
Mg <sup>++</sup> (ppm)	18.59	70.73	44.7	9.76	938.35	474
K <sup>+</sup> (ppm)	9.03	35.81	22.4	5.03	216.25	110.6
Ca <sup>++</sup> (ppm)	11.88	49.86	30.90	22.97	368.45	195.7
Ba (ppm)	0.09	2.48	1285	0.483	71.56	36
Fe (ppm)	0.024	0.286	0.155	0.477	110.3	55.4
Al (ppm)	0.013	0.191	0.1	0.254	19	9.6
Mn (ppm)	0.03	0.237	0.13	0.279	11.58	5.93
Ni (ppm)	ND	0.0311	0.031	ND	0.172	0.172
Co (ppm)	ND	ND	ND	ND	0.175	0.175
Cr (ppm)	0.0138	0.0145	0.014	0.0063	0.039	0.0227
Cu (ppm)	0.005	0.006	0.0055	ND	0.021	0.021
Cd (ppm)	ND	ND	ND	ND	0.031	0.031
Zn (ppm)	0.047	0.052	0.05	0.0736	1.33	0.702
Pb (ppm)	ND	ND	ND	0.0218	0.3075	0.1647
P (ppm)	0.21	0.24	0.225	0.119	0.83	0.47
B (ppm)	0.08	0.129	0.105	0.073	1.05	0.56

**Tabela 2.** Parâmetros físico-químicos utilizados para a caracterização das águas subterrâneas no entorno do aterro do Jangurussu.

Observando-se os valores médios dos parâmetros analisados nas águas amostradas nos piezômetros e poços de monitoramento, nota-se um acréscimo acentuado, em termos gerais, podendo exceder em mais de 350 vezes os parâmetros correspondentes relacionados as médias das análises nos poços considerados como de "background". Comparando-se os valores máximos obtidos nas análises para as águas dos piezômetros e poços de monitoramento, verifica-se que excedem de 2,69 a 385,66 vezes, os correspondentes parâmetros relacionados as análises das águas nos poços de "background" (excetuando-se o pH e a temperatura).

Tomando por base a Resolução CONAMA nº 20 (18/06/86), do Ministério do Desenvolvimento Urbano e Meio Ambiente, os seguintes parâmetros analisados excederam os limites estabelecidos para águas doces (classe1): cloro (Cl), magnésio

(Mg), cálcio (Ca), bário (Ba), ferro (Fe), alumínio (Al), manganês (Mn), níquel (Ni), cádmio (Cd), zinco (Zn), chumbo (Pb), fósforo (P) e boro (B).

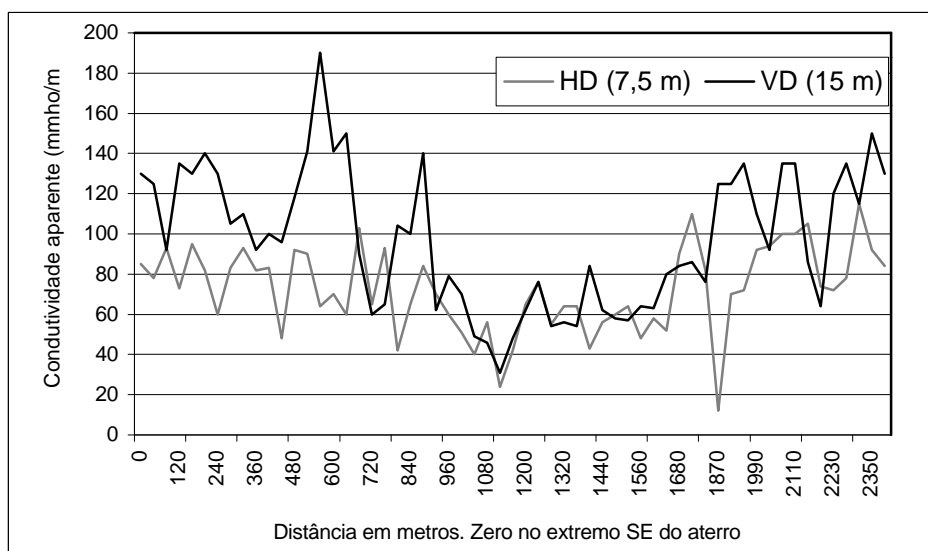
Destaca-se que os valores registrados para a condutividade elétrica (CE), cloro (Cl) e sódio (Na), nos piezômetro e poços de monitoramento, podem ocorrer superando as concentrações encontradas nas análises do próprio chorume.

## **5. PROSPECÇÃO GEOFÍSICA**

Os métodos de prospecção geofísica, mais especificamente os eletromagnéticos indutivos (EM-31 e 34), possibilitam obter um reconhecimento geral dos aterros, definindo os setores aonde ocorram fluxo preferente de contaminantes, subsidiando assim, com baixo custo, uma melhor exatidão e precisão (definição) em relação a escolha dos locais para instalação de poços de reconhecimento e piezômetros de controle. Evidentemente, a prospecção geofísica não é suficiente para sintetizar a complexa problemática ambiental da disposição final de resíduos mas, sim, necessária para avaliar e poder planejar de forma mais segura e eficiente as fases seguintes de estudo e saneamento.

### **5.1. LEVANTAMENTO EM-34 DO PERÍMETRO DO ATERRO**

Foram realizadas, de 40 em 40 metros, leituras seqüenciais com condutivímetro eletromagnético Geonics EM-34-XL, com bobinas espaçadas de 10 metros, ao longo dos 2500 metros de perímetro do aterro do Jangurussu. As leituras foram realizadas em final de março de 1999, correspondendo aproximadamente a metade do período de maior densidade pluviométrica, buscando-se identificar as zonas preferentes de fluxo no entorno imediato do aterro. Os setores aonde a condutividade aparente do meio mostrou-se extremadamente mais elevada nas leituras com dipolo vertical (VD; 15m) em relação as medidas com dipolo na horizontal (HD; 7,5m), sugerem zonas hidraulicamente mais condutoras e potencialmente mais permeáveis e portanto, preferentes ao fluxo subterrâneo contaminante. A Figura 3 apresenta a distribuição das condutividades aparentes ao longo do perímetro do aterro.



**Figura 3.** Condutividades aparentes ao longo do perímetro do aterro.

A prospecção perimétrica EM-34 realizada no aterro sugere um incremento de saturação por chorume no setor leste, nordeste, sudoeste e sul, em função da tendência de registros acentuados das condutividades aparentes nas leituras com dipolo vertical (VD; 15m), quando contrastadas com as leituras com dipolo horizontal (7,5m).

## 5.2. LEVANTAMENTO EM-31: MAPEAMENTO DA ZONA AO NORTE DO ATERRO

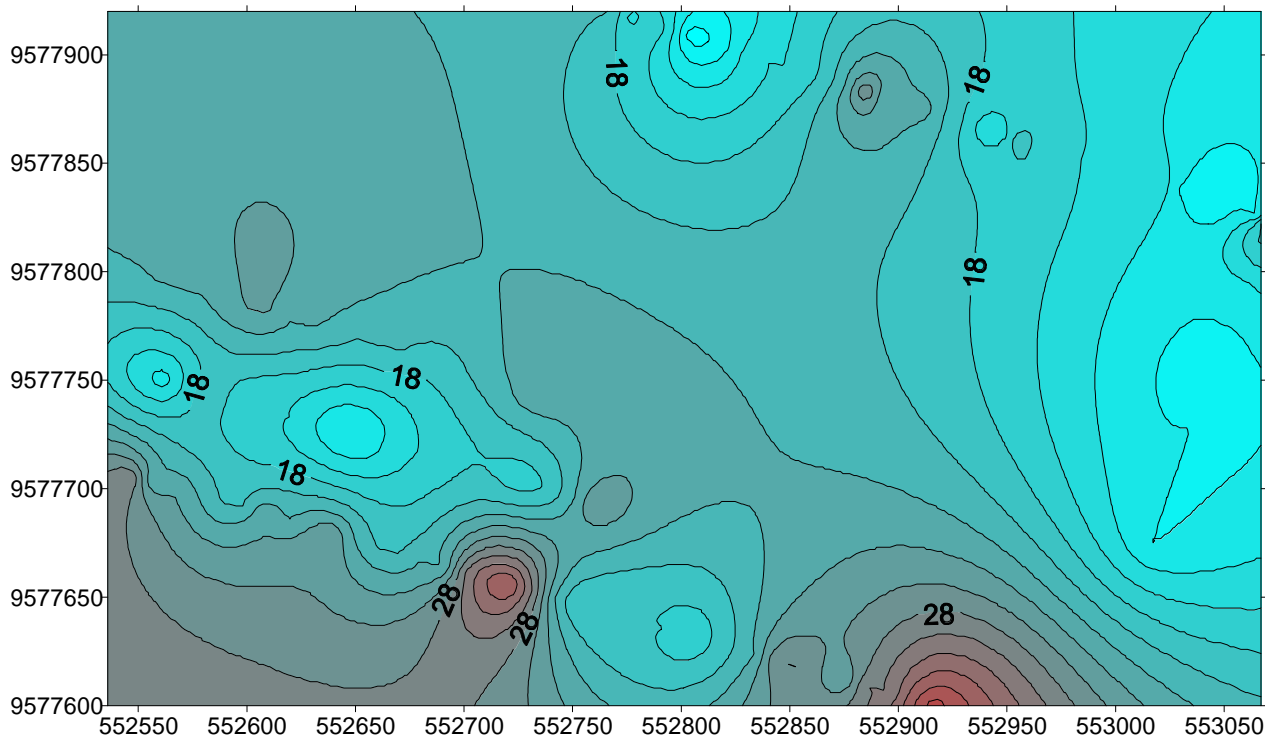
A profundidade média do nível freático na região ao norte do aterro é inferior a 1,4 metros, optando-se assim, pela realização de um mapeamento com um condutímetro eletromagnético Geonics EM-31 em uma área de aproximadamente 29 ha..

Foram realizadas, de 10 em 10 metros, 258 estações, com leituras com dipolo horizontal (HD; 3m) e com dipolo vertical (VD; 6m). Com o objetivo de reduzir os efeitos da topografia e preservar os valores de condutividade aparente obtidos em campo, a área para o recobrimento geofísico foi dividida nos setores NNE, correspondendo a cotas mais baixas e N (norte), topograficamente mais destacado (Figura 4 ).

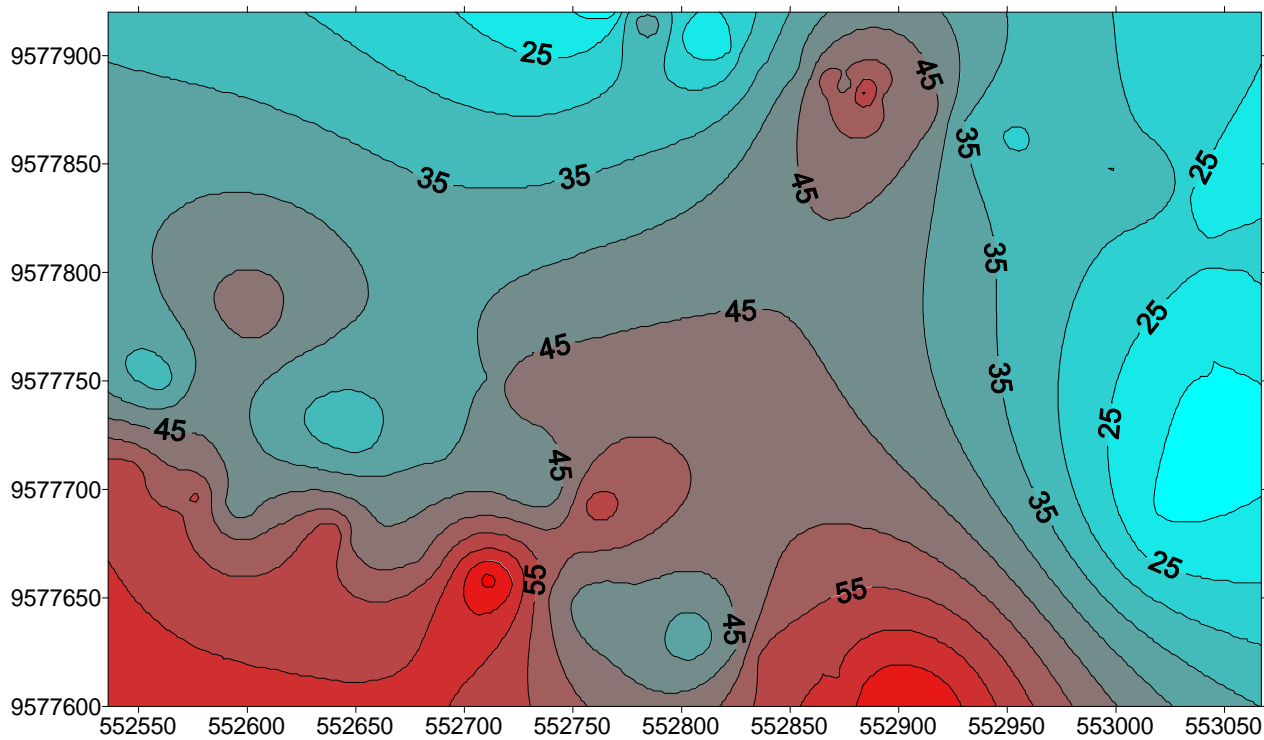


**Figura 4** . Localização das áreas do mapeamento eletromagnético indutivo. Área norte (N) com cotas entre 16 e 12 metros, e setor NNE topograficamente mais deprimido.

As Figuras 5 e 6 representam, respectivamente, a distribuição das condutividades aparentes relativas as profundidades de investigação de 3 metros (HD) e 6 metros (VD), do setor ao N do aterro.



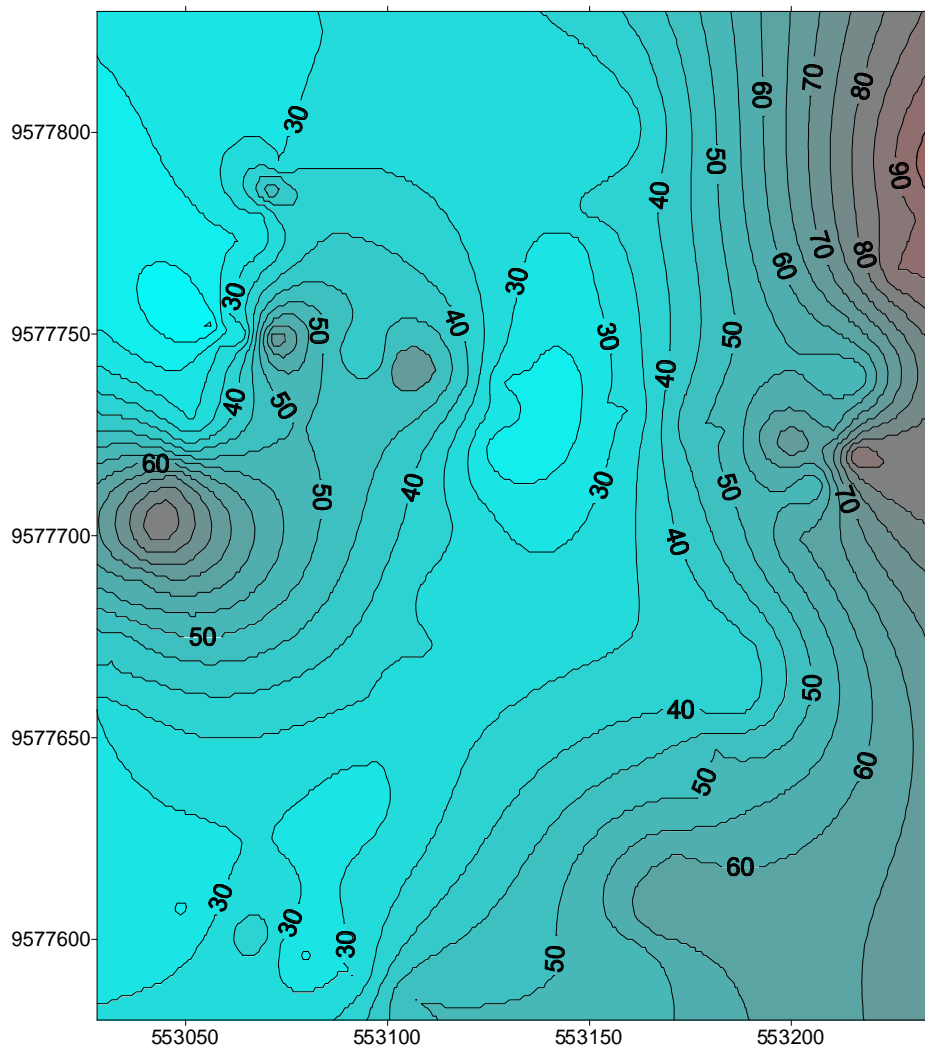
**Figura 5.** Distribuição das condutividades aparentes EM-31 (HD;3m) ao N do aterro (unidades em mS/m).



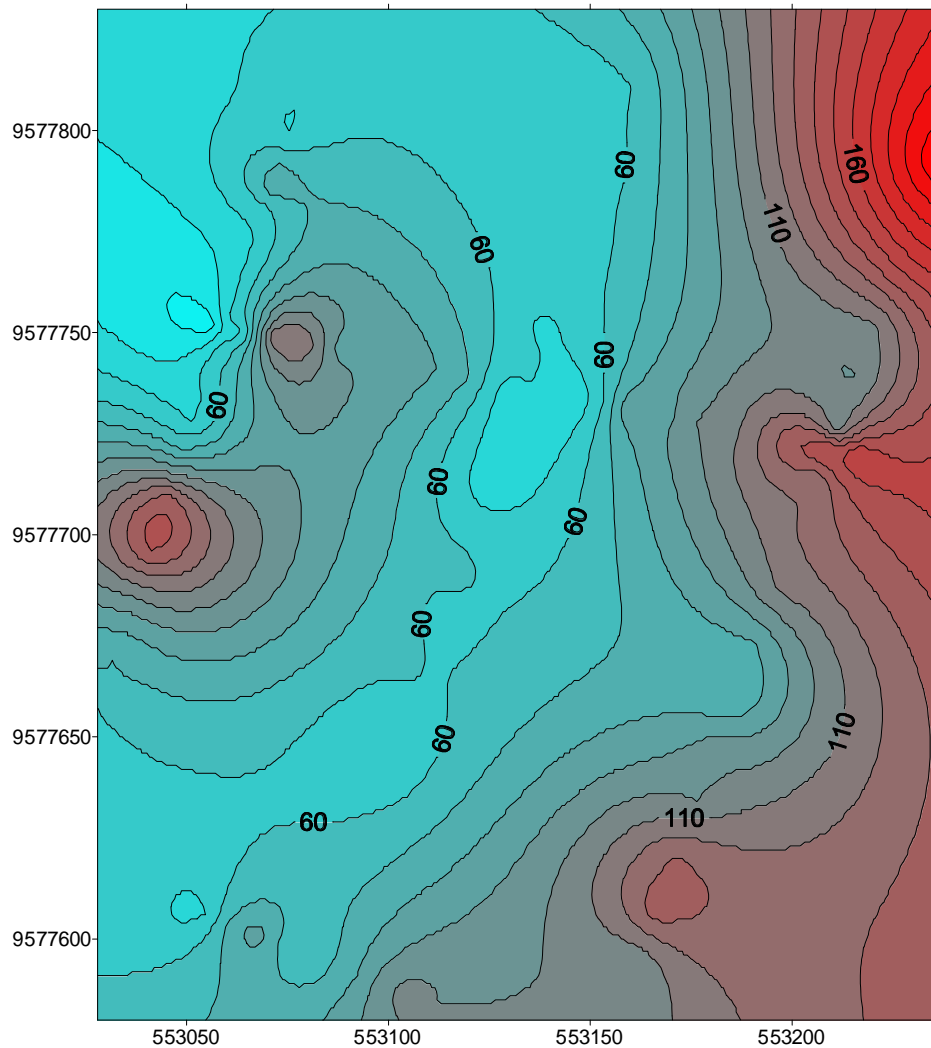
**Figura 6.** Distribuição das condutividades aparentes EM-31 (VD;6m) ao N do aterro (unidades em mS/m).

O mapeamento EM-31 da área ao norte (N) do aterro mostra claras digitações com sentido NE, representando a migração seletiva da pluma contaminante. As leituras com dipolo na vertical (VD; 6m) apresentam-se com praticamente o dobro dos valores das medidas com dipolo na horizontal (HD; 3m).

As Figuras 7 e 8 representam, respectivamente, a distribuição das condutividades aparentes relativas as profundidades de investigação de 3 metros (HD) e 6 metros (VD), do setor ao NNE do aterro.



**Figura 7.** Distribuição das condutividades aparentes EM-31 (HD;3m) ao NNE do aterro (unidades em mS/m).



**Figura 8.** Distribuição das condutividades aparentes EM-31 (VD;6m) ao NNE do aterro.

Na área de mapeamento EM-31 ao NNE do aterro (contígua a primeira), registra-se concentrações de condutividades aparentes isoladas alinhadas, entretanto, também segundo a direção NE. Este comportamento pontualizado das condutividades aparentes pode encontrar-se relacionado a distorções por infiltração pluviométrica, e posterior concentração de sais em função da forte evaporação, uma vez que se trata de um baixio topográfico, em parte inundável e com profundidades de nível freático de 93 cm em média. As leituras em VD (6m) mostram-se também duas vezes mais altas que as medidas em HD (3m).

## 6. CONCLUSÕES

Os ensaios realizados em campo (tipo variação instantânea; “slug test”) apresentaram valores de condutividade hidráulica local da ordem de  $10^{-7}$  m/s para a formação Barreiras e  $10^{-5}$  m/s para os aluviões.

Em relação as análises realizadas para as diferentes surgências de chorume vale destacar os valores registrados para cloro (Cl), sódio (Na) e potássio (K), este último ocorrendo em concentrações pouco freqüentes, superando inclusive os valores de sódio. São também importantes as concentrações de magnésio (Mg), cálcio (Ca), ferro (Fe) e fósforo (P), além dos demais elementos analisados e parâmetros registrados, caracterizando-se como um efluente tóxico, potencialmente perigoso e merecedor de estrito controle.

Os parâmetros físico-químicos analisados nas águas amostradas nos piezômetros e poços de monitoramento mostram-se, em termos gerais, acentuadamente acrescidos, podendo exceder em mais de 350 vezes os parâmetros correspondentes relacionados as médias das análises nos poços considerados como de “background”. Tomando-se como referência os valores máximos obtidos nas análises para as águas dos piezômetros e poços de monitoramento, verifica-se que excedem de 2,69 a até 385,66 vezes, os correspondentes parâmetros relacionados as análises das águas nos poços de “background” (excetuando-se os valores de pH e temperatura).

Referidos a Resolução CONAMA nº 20 (18/06/86), do Ministério do Desenvolvimento Urbano e Meio Ambiente, os seguintes parâmetros analisados excederam os limites estabelecidos para águas doces (classe1): cloro (Cl), magnésio (Mg), cálcio (Ca), bário (Ba), ferro (Fe), alumínio (Al), manganês (Mn), níquel (Ni), cádmio (Cd), zinco (Zn), chumbo (Pb), fósforo (P) e boro (B).

Destaca-se que os valores registrados para a condutividade elétrica (CE), cloro (Cl) e sódio (Na), nas águas dos piezômetro e poços de monitoramento, podem ocorrer superando as concentrações encontradas nas análises do próprio chorume atual. Este fato pode representar uma contaminação anterior, por produção e percolação de um chorume mais concentrado e/ou, uma simples concentração por evapotranspiração, relacionada as zonas com nível freático a menos de um metro de profundidade.

A prospecção perimétrica EM-34 realizada no aterro sugere um incremento de saturação por chorume e fluxo preferente em todo o setor leste, sudoeste e sul, em função da tendência de registros acentuados das condutividades aparentes nas leituras



com dipolo vertical (VD; 15m), quando contrastadas com as leituras com dipolo horizontal (HD; 7,5m).

O mapeamento EM-31 da área ao norte (N) do aterro mostra claras digitações com sentido NE, representando a migração seletiva da pluma contaminante. As leituras com dipolo na vertical (VD; 6m) apresentam-se com praticamente o dobro dos valores das medidas com dipolo na horizontal (HD; 3m).

Na área de mapeamento EM-31 ao NNE do aterro (contígua a primeira), registra-se concentrações de condutividades aparentes isoladas alinhadas, entretanto, também segundo a direção NE. Este comportamento pontualizado das condutividades aparentes pode encontrar-se relacionado a distorções por infiltração pluviométrica, e posterior concentração de sais em função da forte evaporação, uma vez que se trata de um baixio topográfico em parte inundável e com profundidades de nível freático de 93 cm em média (planície de inundação do rio Cocó). As leituras em VD (6m) mostram-se também duas vezes mais altas que as medidas em HD (3m). Registram-se nesta área, os mais altos valores de condutividade elétrica (CE), cloro, sódio e magnésio para as águas subterrâneas locais.

## **7. 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..
- 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.

- CLEARY, R. W. (1989) Groundwater Pollution and Hydrology. Modernas Técnicas de Análises de Poluição de Água Subterrânea. IG/USP, 500 p.
- CORSON, W. H.(1993) Manual Global de Ecologia. O que você pode fazer a respeito da crise do meio ambiente. Ed.Augustus. São Paulo, 413 pp.
- HEITZMANN JR., J. F.(1994). Mesa Redonda Sobre Aterros Sanitários. Boletim ABGE. 3(4).
- HAHNER, I. (1994). Mesa Redonda Sobre Aterros Sanitários. Boletim ABGE. 3(4).
- HVORSLEV, M.J. (1951). Time Lag and Soil Permeability in Groundwater Observations. Bulletin nº 36. Waterways Experiment Station Corps of Engineers. U.S. Army, Vicksbourg, Miss., 50 pp..
- IPLANCE - Fundação Instituto de Planejamento do Ceará (1997). Secretaria de Planejamento e Coordenação. Atlas do Ceará. Governo do Estado do Ceará. Fortaleza, CE. 65pp. Mapa colorido, Escala 1:1.500.000.
- IPLANCE - Fundação Instituto de Planejamento do Ceará (1994). Secretaria do Planejamento e Coordenação. Informações Básicas Municipais. Governo do Estado do Ceará. Fortaleza, CE. 73pp..
- 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..
- 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..
- SABADIA, J.A.B. (1994). Impactos da Estocagem de Vinhaça e das Águas de Lavagem da Cana-de-Açúcar nos Domínios do Aquífero Bauru - Dobrada - São Paulo. Dissertação de Mestrado. IG/USP. São Paulo (SP), 123 pp.