

HIDROGEOLOGIA DA ÁGUA MINERAL MAR DOCE, PAÇO DO LUMIAR (MA)

Ozorio Mont'Alverne Silva⁽¹⁾; Antonio Carlos F. N. S. Tancredi⁽²⁾;
Eduardo Marechal Tagliarini⁽³⁾

Resumo – A Água Mineral Mar Doce, localizada no Município de Paço do Lumiar, na Ilha de São Luiz (MA) tem clima tropical úmido e situa-se na bacia do Rio Paciência próximo ao interflúvio com a bacia do Rio Santo Antonio.

A geologia na Ilha de São Luiz apresenta rochas da Bacia do Parnaíba e de bacias marginais cretáceas, de Barreirinhas e São Luiz, sobrejacendo ao embasamento.

A Formação Itapecuru da Bacia do Parnaíba com arenitos, siltitos e folhelhos aflora em grande parte da Ilha, sendo recoberta por sedimentos pelíticos do Paleógeno e pela litologia de areias, siltes e argilas do Grupo Barreiras. Depósitos pleistocênicos ocorrem na parte sul e os depósitos holocênicos nas faixas costeiras e aluviões dos rios.

As pesquisas possibilitaram a determinação das características hidrogeológicas na área da Água Mineral, sendo perfurados poços para pesquisas, monitoramento e captação; realizados ensaios de bombeamentos, amostragens e análises da qualidade da água mineral.

A composição química em diversas épocas apresentou pequenas variações dos constituintes dissolvidos, indicando não haver interferência de outras águas. A vulnerabilidade do aquífero capado é baixa com boa proteção, estando as zonas de contribuição, influência e transporte na área da Água Mineral Mar Doce.

Abstract – The Água Mineral Mar Doce, located in Paço do Lumiar Municipality, in São Luiz Island has tropical humid climate and is situated in Paciência River basin near from the watershed divide of Santo Antonio River basin.

Geology in São Luiz Island presents Parnaíba Sedimentary Basin and Cretaceous Rift Basins of Barreirinhas and São Luiz that are recovering the basement.

(1) Ozorio Mont'Alverne Silva - Estrada do Iguaiaba n° 100 – Paço do Lumiar (MA) ojr@mardocenet.com.br.

(2) Antonio Carlos F. N. S. Tancredi actancredi@gmail.com

(3) Eduardo Marechal Tagliarini etagliarini@nassau.com.br

The Itapecuru Formation from Parnaíba Sedimentary presents sandstones, siltstones and claystones that are recovered by pelitics sediments of Paleogene and by the Barreiras Group lithology with sands, silts and clays. Pleistocenic deposits are in the South of the Island and Holocenic deposits in the cost and in floodplain rivers.

The research revealed the hydrogeologic characteristics of the area. It was drilled wells for research, monitoring and captation; made pumping tests, sampling and mineral water quality analysis.

The chemical composition in several time presented little variation in the dissolved material showing not having other waters interference. The tapped aquifer vulnerability is low, within good protection. The contribution, influence and transport zones are inside of Água Mineral Mar Doce's area.

Palavras-Chave: água mineral, aquíferos.

1- INTRODUÇÃO

Desde épocas remotas se atribuem a certas águas, propriedades especiais. As águas minerais podem apresentar pequenas concentrações de elementos que apresentam ação terapêutica.

A água mineral é a água subterrânea que além da potabilidade mantêm as características físico-químicas inalteradas, nos padrões exigidos pela legislação, ou seja, pelo Código de Águas Minerais. Sua característica físico-química a distingue das águas subterrâneas comuns.

A água mineral constitui-se num importante patrimônio natural. A distinção prática entre as águas minerais das demais águas subterrâneas decorre de diferentes legislações que regulam a captação e o consumo das águas minerais.

O Maranhão possui água subterrânea com características de envase, ou seja água mineral. A Água Mineral Mar Doce situa-se no município de Paço do Lumiar, nordeste da Ilha de São Luiz, a 2 km de Paço do Lumiar e a 30 km de São Luiz.

A Figura 1 apresenta a localização da área.

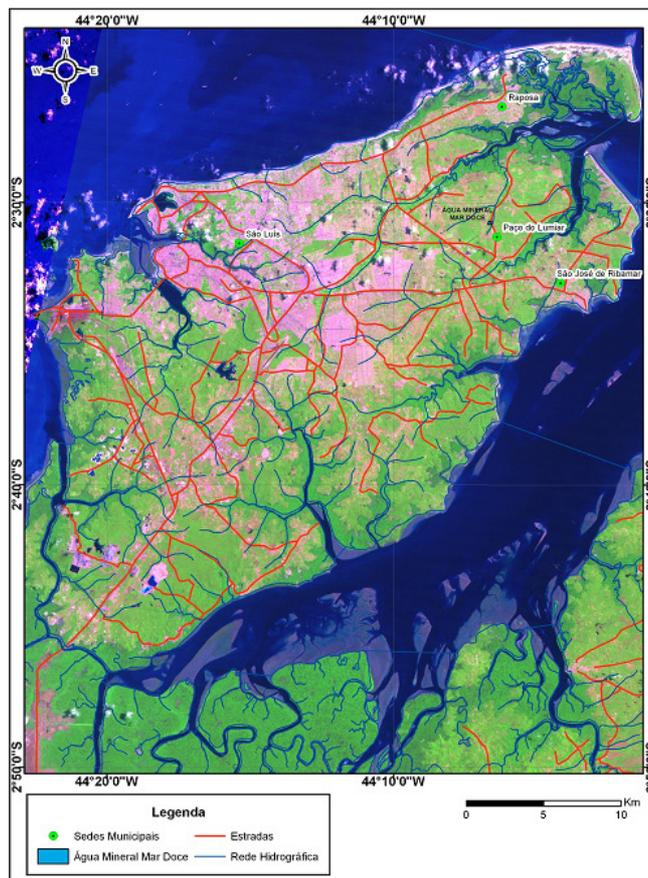


Figura 1 – Localização da Água Mineral Mar Doce.

2 – CARACTERÍSTICAS AMBIENTAIS

A área da Água Mineral Mar Doce situa-se no domínio de clima tropical úmido, tipo Aw, segundo a classificação de Köppen (SUDAM, 1984).

As características climáticas médias anuais apresentam os seguintes valores (DNMET, 1992):

- . Temperatura 26,1 °C
- . Precipitação pluviométrica total 2.325,1 mm
- . Evaporação Total 1.020,3 mm
- . Umidade relativa do ar 85,0 %
- . Insolação total 2.354,3 H.

O período chuvoso mais intenso concentra-se nos meses de janeiro a maio e o período mais seco de agosto a novembro.

A vegetação na Ilha de São Luiz apresenta Floresta Densa de Platô, Floresta de Formações Pioneiras, Floresta Secundária e Vegetação de Mangue. A vegetação de Floresta Densa e a Floresta de Formações Pioneiras ocupam as partes altas com arbustos e palmeiras como o babaçu e a jussara. A Vegetação de Mangue margeia os baixos cursos dos rios e as baías de São José e São Marcos.

Devido à ação antrópica, a floresta primitiva foi alterada, devido à urbanização. Ocorre como Florestas Secundárias, Áreas de Campos e as Áreas de Capoeiras, onde havia a floresta original.

A pedologia apresenta latossolos amarelos, podzólico vermelho-amarelo, areias quartzosas, laterita hidromórfica, e solos aluviais. Os solos lateríticos e latossolos originam-se de sedimentos argilo-arenosos, apresentam abundantes concreções ferruginosas. Ocupam partes altas da Ilha. Os solos podzólicos hidromórficos são originados de sedimentos areno-argilosos, situam também nas partes elevadas. Os solos aluviais, formados a partir de sedimentos recentes do Quaternário têm elevado teor argiloso e siltoso. Situam-se nas planícies de inundação dos rios da Ilha de São Luiz.

A hidrologia na Ilha de São Luiz apresenta ao norte o Oceano Atlântico; a parte oriental e sul é ocupada pela Baía de São José e a parte ocidental pela Baía de São Marcos. As principais bacias hidrográficas do sistema de drenagem na Ilha de São Luiz são formadas pelos rios Bacanga, Tibiri, Tijupá, Jeniparana, Santo Antonio e Paciência. Essa drenagem tem direção subordinada a lineamentos estruturais, e nos baixos cursos dos rios, está sob a influência da maré.

A área da Água Mineral Mar Doce é drenada para a bacia do Rio Paciência estando porém próxima do interflúvio com a bacia do Rio Santo Antônio. Essas duas bacias são drenadas para a Baía de Curupu na parte norte da Baía de São José e na parte nordeste da Ilha de São Luiz.

A Figura 2 mostra a drenagem da área.

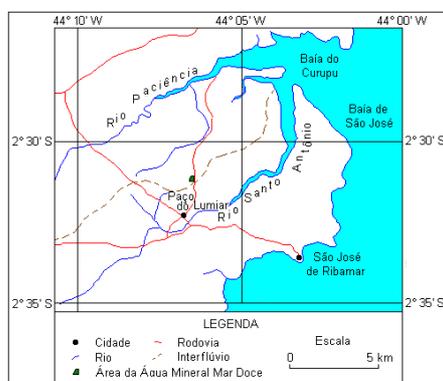


Figura 2 – Drenagem na área da Água Mineral Mar Doce.

3 – GEOLOGIA

A geologia na Ilha de São Luiz apresenta sedimentos da bacia intracratônica do Parnaíba pela Formação Itapecuru e das bacias marginais cretáceas, do tipo rift estrutural, de Barreirinhas e São Luiz, sobrejacendo ao embasamento cristalino. A Figura 3 apresenta o mapa geológico da Ilha de São Luiz.

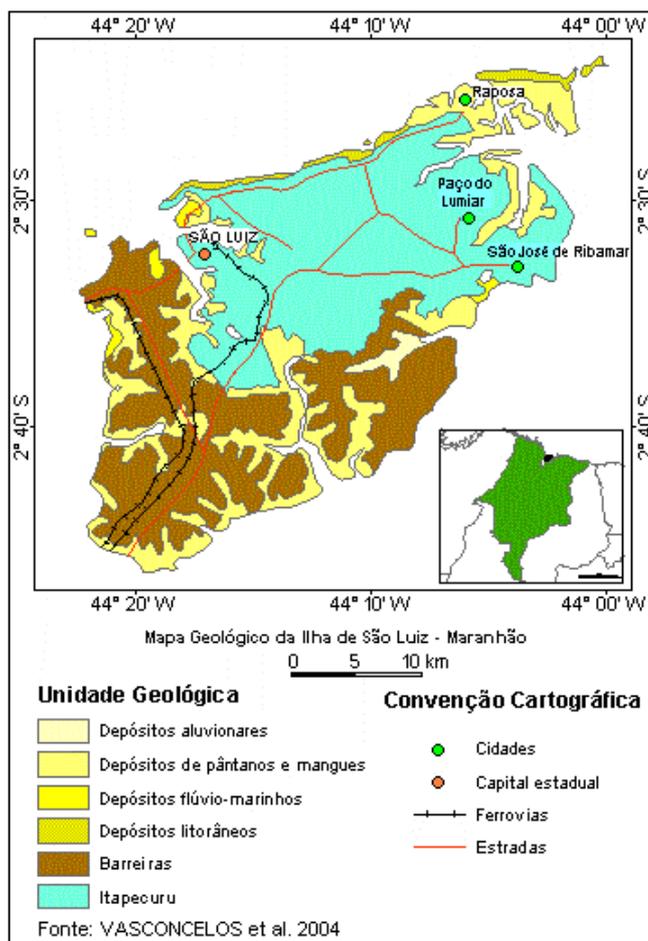


Figura 3 – Mapa geológico da Ilha de São Luiz.

As rochas cretácicas da Bacia de São Luiz pertencem à Formação Itapecuru, com arenitos, siltitos e folhelhos que repousam concordante sobre a Formação Codó e discordante sobre sedimentos do Mesozóico, Paleozóico e do Embasamento Cristalino (CAPUTO, 1984). A espessura na Folha São Luiz atinge 1.388 m em perfurações petrolíferas (CPRM, 1994).

Os sedimentos da Ilha de São Luiz sobrejacente à Formação Itapecuru são considerados como pertencentes ao Terciário antigo (Paleógeno). São sedimentos pelíticos arenosos e ocorrem em

extensão contínua na porção setentrional da Ilha e na porção oeste entre as planícies de inundação dos rios Aurá e Pericumã. A espessura desta unidade é 15 m a 20 m; estão esses sedimentos laterizados com pacotes caulinizados intercalados a bancos arenosos de cor rósea.

Recobrando os sedimentos do Paleógeno, ocorrem as rochas do Grupo Barreiras, sendo a unidade terció-quaternária de cobertura da porção emersa da Bacia de São Luiz. Compõe um relevo de interflúvios tabulares e colinas semi-arredondadas, cortadas geralmente em falésias junto ao mar. A espessura dessa unidade nessa área não excede 30 m. A litologia do Grupo Barreiras com areias, siltes e argilas está recoberta discordantemente pelos sedimentos holocênicos, notadamente ao longo do litoral onde se observa a migração de dunas sobre falésias esculpidas nas rochas terciárias.

Os depósitos pleistocênicos argilosos pertencem ao Grupo Açui, ocorrem nos campos das baixadas de Perizes, ao sul da Ilha de São Luiz. Os depósitos holocênicos, de composição areno-argilosos, são de ambiente variando desde continental fluvial a marinho litorâneo. Têm maior distribuição ao longo da faixa costeira, onde os manguezais são fácies típicos e extensos. São também importantes os depósitos aluvionares das planícies de inundação dos rios Aurá e Pericumã. Os depósitos coluviais são de menor extensão, ocorrendo em áreas restritas, normalmente em frente aos paredões de falésias e das escarpas mais íngremes no interior da Ilha.

3.1 – Geomorfologia

A geomorfologia na Ilha de São Luiz pertence ao domínio morfo-estrutural do litoral setentrional do Nordeste Brasileiro. As unidades morfo-estruturais são constituídas pela Planície Flúvio-Marinha do Golfão Maranhense e pela Superfície Sub-Litorânea de Bacabal ou Superfície Pediplanada Dissecada em Colinas Tabulares.

A Ilha de São Luiz encontra-se na parte central da Planície Flúvio-Marinha do Golfão Maranhense, com estuários, como a Baía de São Marcos e a Baía de São José. Apresenta numerosas lagoas fluviais, várzeas inundáveis, áreas colmatadas e um sistema hidrográfico com muitos canais. A Superfície Sub-Litorânea de Bacabal ou Superfície Pediplanada Dissecada em Colinas Tabulares é formada por colinas suaves, recoberto por crostas ferruginosas, nas partes altas da Ilha.

3.2 – Geologia Local

Na área da Água Mineral Mar Doce, no local das perfurações, a geologia apresenta uma cobertura sedimentar do Paleógeno e da Formação Itapecuru.

Essas unidades lito-estratigráficas encontram-se inconsolidados e são constituídos por clásticos arenosos, areno-argilosos e argilosos. As areias de cor rosa do Paleógeno atingem 19,50 m de profundidade. Subjacente ocorrem os sedimentos argilosos e arenosos da Formação Itapecuru.

4 – HIDROGEOLOGIA

A natureza e ocorrência da água subterrânea na Ilha de São Luiz são controladas pela geologia, essencialmente pela litologia do Grupo Barreiras, do Paleógeno e da Formação Itapecuru. Essas formações geológicas, representadas por material arenoso, siltoso argiloso e areno argilosos em proporções variadas, predominam na região, e sua espessura e continuidade lateral variam bastante.

As pesquisas hidrogeológicas abrangeram a Ilha de São Luiz para delineamento das condições hidrogeológicas e com nível de detalhe a área da Água Mineral Mar Doce.

Foram perfurados para estudo e posteriormente, captação da água mineral, um poço tubular com 75,00 m de profundidade que constitui a Fonte Lumiar (fonte, segundo a denominação do Departamento Nacional da Produção Mineral – DNPM, órgão ao qual estão ligadas as águas minerais) e dois poços potenciométricos ou piezômetros com a mesma profundidade. Em uma segunda fase foi perfurado outro poço tubular, com 40,00 m de profundidade, a Fonte Bruguelo, situado a 33,5 m da Fonte Lumiar.

Os estudos desenvolvidos propiciaram a obtenção das características hidrogeológicas do aquífero captado pelas fontes, sendo o mesmo do tipo confinado, em que a pressão hidrostática no topo do aquífero é maior que a pressão atmosférica.

O sistema hidrogeológico apresenta em sua parte superior a zona não saturada, com espessura de 15,20 m, com areias e areias argilosas do Paleógeno.

Subjacente ocorre a zona saturada com estratos argilosos, areno-argilos e arenosos, com aquíferos, aquíferos e aquícludes da Formação Itapecuru.

A espessura do aquífero foi obtida baseada nos perfis litológicos, na perfilagem geofísica e nas cotas topográficas das perfurações dos poços e piezômetros. A determinação do gradiente

hidráulico e do sentido de fluxo tiveram com base as cotas topográficas do terreno e dos respectivos níveis hidrostáticos do poço da Fonte Lumiar e dos piezômetros, formando uma figura triangular.

As porosidades foram determinadas em laboratório de amostras indeformadas obtidas na perfuração do poço da Fonte Lumiar. As porosidades efetivas apresentaram os valores de 0,22 para a camada de areia fina amarela, 0,18 para o estrato de areia fina amarela com pelotas de argila, 0,19 para a camada de areia média amarelada, 0,20 para o estrato de areia fina a média cinza clara e 0,22 para a camada de areia fina branca. Para o aquífero todo e fazendo-se uma média ponderada, o valor obtido foi de 0,20 ou 20,0 %.

A partir da condutividade hidráulica (obtida através de bombeamentos), do gradiente hidráulico e da porosidade específica, foram determinadas as velocidades de fluxo e velocidade linear média, da água subterrânea no aquífero, baseados na Lei Darcy.

A Figura 4 apresenta o perfil lito-contrutivo dos poços das Fontes Lumiar e Bruguelo. As Figuras 5 e 6 apresentam respectivamente, o mapa hidrogeológico e o bloco hidrolitológico da área.

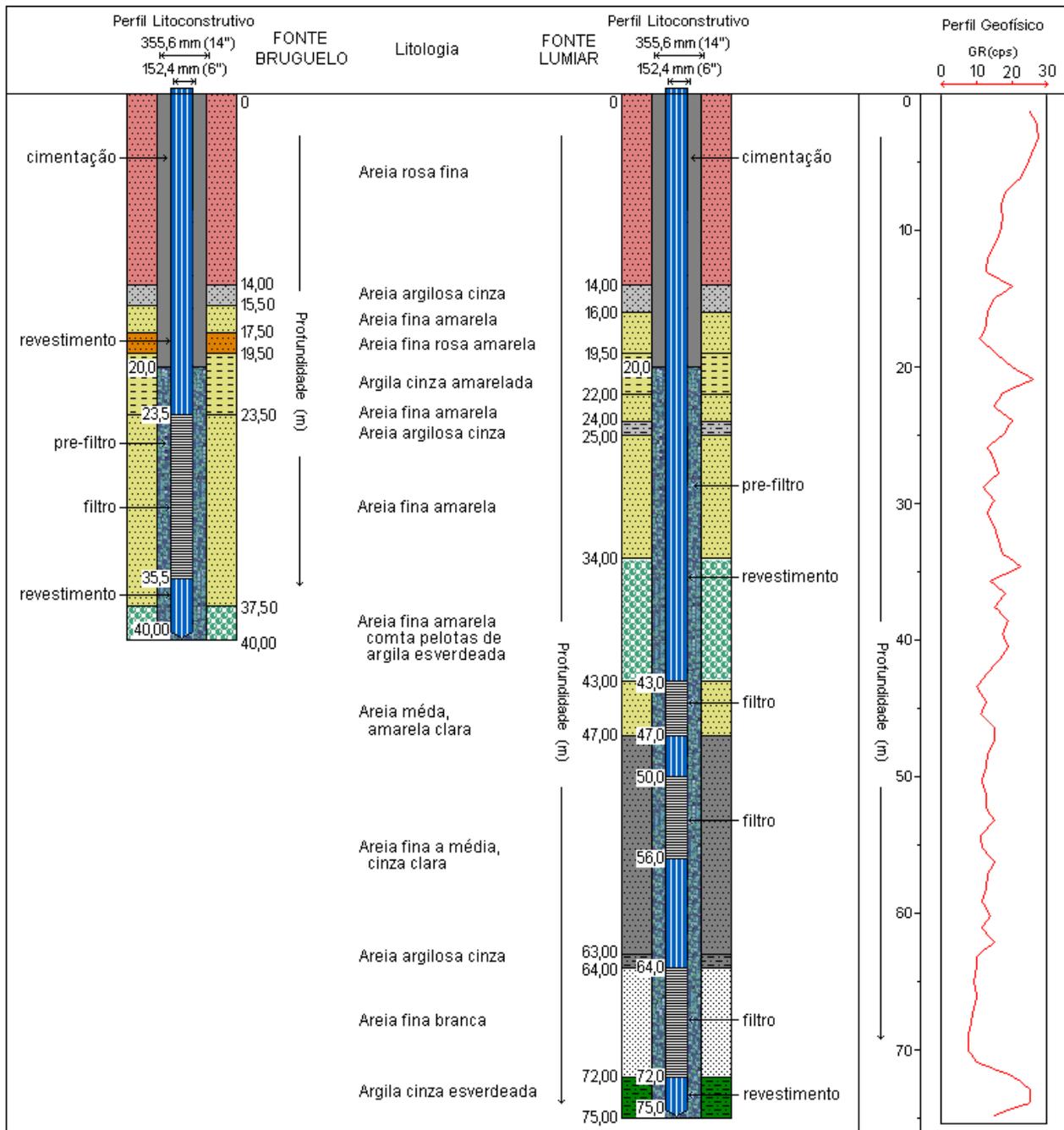


Figura 4 – Perfis litoconstrutivos dos poços das Fontes Lumiar e Bruguelo.

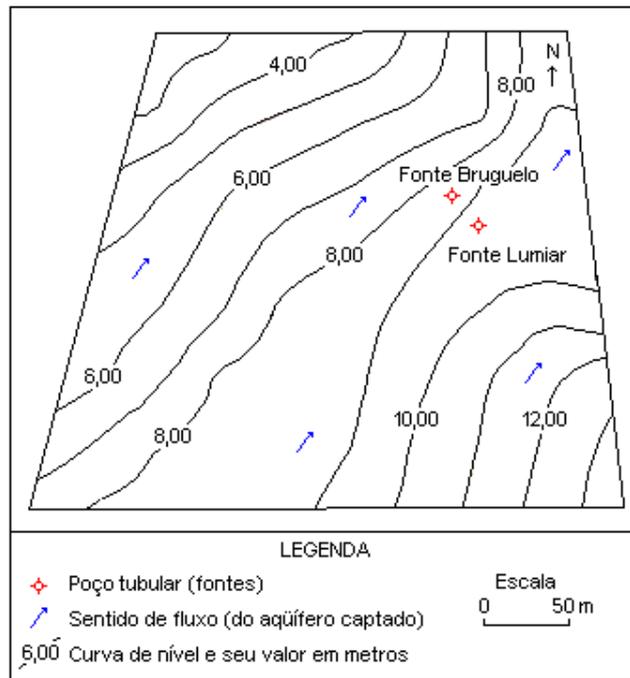


Figura 5 – Mapa hidrogeológico da área da Água Mineral Mar Doce.

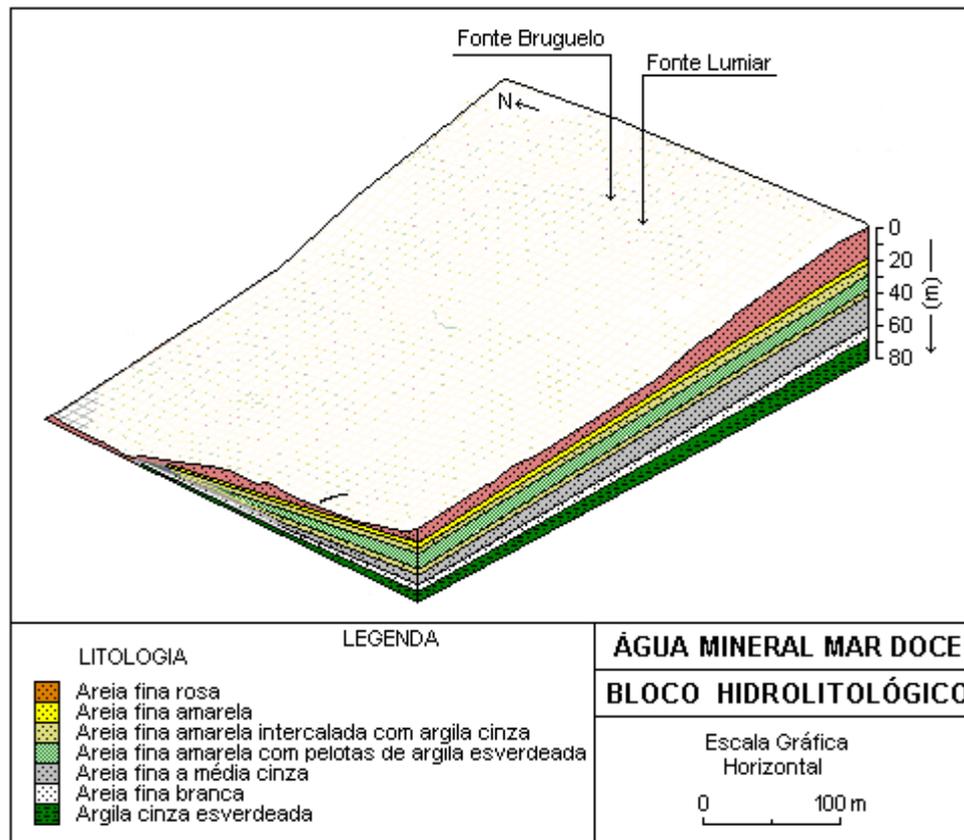


Figura 6 – Bloco hidrolitológico da área da Água Mineral Mar Doce.

4.1 - Características Hidrodinâmicas

As características hidrodinâmicas do aquífero captado, foram determinadas através de ensaios de bombeamento, possibilitando a determinação do coeficiente de armazenamento, da transmissividade e da condutividade hidráulica.

As soluções analíticas desenvolvidas na hidráulica de poços são baseadas na análise do fluxo da água subterrânea em direção ao poço durante o bombeamento.

Os valores obtidos através de ensaios de bombeamento fornecem uma média representativa de grande volume do aquífero.

As Tabelas 1 e 2 apresentam os dados do ensaio de bombeamento obtidas no poço da Fonte Lumiar (poço de bombeamento) e no piezômetro (poço de observação), este situado à 10,00 m do poço bombeado. A Tabela 3 apresenta os dados do ensaio de bombeamento obtido no poço da Fonte Bruguelo.

As Figuras 7 e 8 apresentam a evolução do cone de rebaixamento com o tempo em diagrama semilogarítmico e bilogarítmico, respectivamente, do poço bombeado (Fonte Lumiar) e do poço de observação (Piezômetro). A Figura 9 mostra a evolução do cone de rebaixamento com o tempo em diagrama semilogarítmico, do poço da Fonte Bruguelo.

As características hidrodinâmicas foram calculadas através da interpretação dos dados dos bombeamentos. Utilizou-se nessa interpretação o método de Theis e o método de Theis modificado, de Jacob e Cooper.

Tabela 1 – Dados do ensaio de bombeamento do poço da
Fonte: Lumiar (poço de bombeamento).

Local: Água Mineral Mar Doce		
Poço: Poço da Fonte Lumiar		
Data: 1/12/2001		
Vazão de Bombeamento: 19,80 m ³ /h		
Nível Estático: 15,20 m		
t (min)	N. D. (m)	s (m)
1	18,30	3,10
3	18,45	3,25
5	18,51	3,31
7	18,54	3,34
10	18,59	3,39
15	18,62	3,42
20	18,64	3,44
25	18,69	3,49
30	18,70	3,50
40	18,73	3,53
50	18,75	3,55
60	18,76	3,56
80	18,80	3,60
100	18,83	3,63
120	18,84	3,64
150	18,86	3,66
180	18,89	3,69
240	18,90	3,70
300	18,95	3,75
360	18,96	3,76
540	18,98	3,78
720	19,01	3,81
900	19,02	3,82
1020	19,02	3,82
1080	19,03	3,83
1320	19,03	3,83
1440	19,05	3,85
1720	19,04	3,84
1800	19,05	3,85

Tabela 2 – Dados do ensaio de bombeamento do piezômetro
(poço de observação) distante 10,00 m.

Local: Água Mineral Mar Doce		
Poço: Piezômetro distante 10,00 m (poço de observação)		
Data: 1/12/2001		
Vazão de Bombeamento: 19,80 m ³ /h		
Nível Estático: 14,09 m		
t (min)	N. D. (m)	s (m)
1	14,21	0,12
2	14,26	0,17
3	14,29	0,20
5	14,33	0,24
7	14,35	0,26
10	14,38	0,29
15	14,40	0,31
20	14,42	0,33
30	14,46	0,37
40	14,48	0,39
50	14,50	0,41
60	14,52	0,43
80	14,54	0,45
100	14,54	0,45
130	14,54	0,45
180	14,55	0,46
240	14,60	0,51
360	14,65	0,56
540	14,68	0,59
720	14,71	0,62
900	14,71	0,62
1080	14,71	0,62
1260	14,71	0,62
1440	14,71	0,62
1620	14,71	0,62
1800	14,71	0,62

Tabela 3 – Dados do ensaio de bombeamento do poço da Fonte Bruguelo.

Local: Água Mineral Mar Doce		
Poço: Poço da Fonte Bruguelo		
Data: 17/08/2006		
Vazão de Bombeamento: 19,00 m ³ /h		
Nível Estático: 12,54 m		
t (min)	N. D. (m)	s (m)
2	16,40	3,86
5	16,54	4,00
7	16,58	4,04
10	16,61	4,07
15	16,62	4,08
20	16,63	4,09
25	16,64	4,10
30	16,65	4,11
40	16,67	4,13
50	16,68	4,14
60	16,68	4,14
80	16,69	4,15
100	16,69	4,15
120	16,67	4,13
150	16,70	4,16
200	16,69	4,15
260	16,70	4,16
300	16,72	4,18
360	16,74	4,20
420	16,75	4,21
520	16,76	4,22
650	16,77	4,23
800	16,78	4,24
900	16,78	4,24
1100	16,78	4,24
1260	16,79	4,25
1440	16,79	4,25

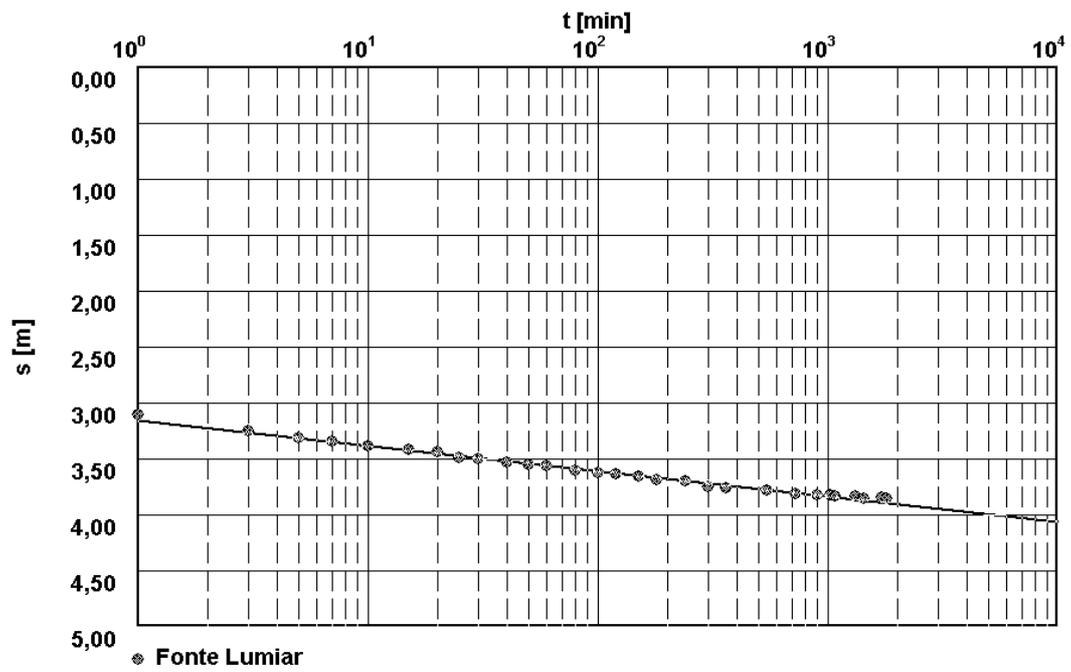


Figura 7 – Evolução do cone rebaixamento com o tempo, em diagrama semi-logarítmico, da Fonte Lumiar.

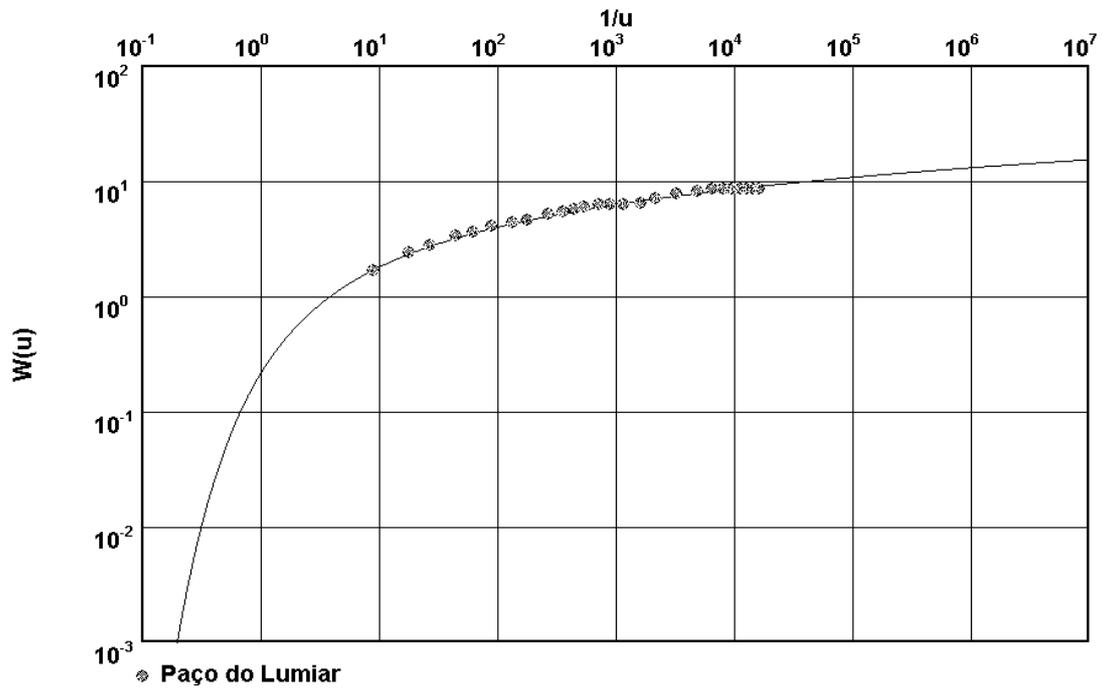


Figura 8 – Evolução do cone rebaixamento com o tempo, em diagrama bilogarítmico, do Piezômetro (poço de observação) distante 10,00 m.

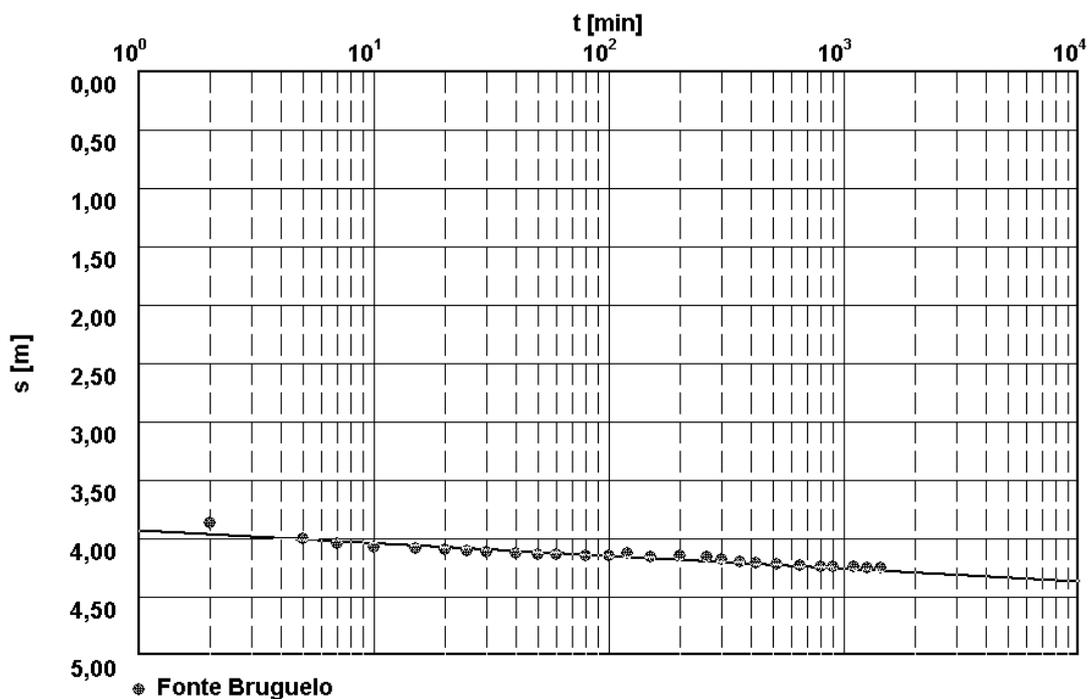


Figura 9 – Evolução do cone rebaixamento com o tempo, em diagrama semi-logarítmico, da Fonte Bruguelo.

O aquífero no local das captações apresenta as seguintes características:

- tipo de aquífero: confinado
- topo do aquífero: 22,00 m
- base do aquífero: 72,00 m
- espessura do aquífero: 50 m
- nível hidrostático: Poço da Fonte Lumiar 15,20 m (medido no dia 01/12/2001),
Poço da Fonte Bruguelo 12,54 m (medido no dia 17/08/2006)
- porosidade efetiva média: 0,20 ou 20,0 %
- sentido de fluxo: 35° NE
- gradiente hidráulico: 0,052 ou 52 m/km
- velocidade de fluxo: 0,40 m/dia
- velocidade linear média: 2,00 m/dia
- transmissividade: 385 m²/dia
- coeficiente de armazenamento: 1,4 x 10⁻³
- condutividade hidráulica: 7,7 m/dia.

4.2 – Qualidade da Água

As águas subterrâneas entram em contacto com uma variedade de minerais em condições de pressão e temperatura variáveis. A alta capacidade de dissolução da água e sua elevada reatividade fazem com que as águas naturais contenham uma grande variedade de substâncias dissolvidas.

As análises de qualidade das águas minerais são rigorosamente controladas pelo DNPM. Os resultados das amostragens e análises físico-químicas foram obtidos dos Boletins 461/LAMIN/02, 744/LAMIN/05 e 658/LAMIN/08 para a Fonte Lumiar; para a Fonte Bruguelo os Boletins 745/LAMIN/05 e 657/LAMIN/08. Essas análises são efetuadas pelo Laboratório Central de Análises Mineraias (LAMIN), da Companhia de Pesquisa de Recursos Mineraias (CPRM), com intervalos de 3(três) anos para cada fonte.

A Tabela 4 apresenta os resultados das análises físico-químicas.

Tabela 4 – Análises físico-química de água das Fontes Lumiar e Bruguelo.

Parâmetro	Unidade	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
Cor	U Hazen	0	0	0	0	0
Turbidez	u T	0,5	0,5	0,5	0,02	0,02
Condutividade elétrica	µS/cm	61,7	50,0	42,0	52,0	62,7
Resíduo de Evaporação a 110°C	mg/L	40,50	33,81	31,61	34,88	35,31
pH		4,70	4,87	5,31	4,73	4,35
Dureza total	mg/L CaCO ₃	13,0	8,50	5,50	10,00	11,50
Sódio	mg/L	5,86	4,75	4,73	5,31	5,76
Potássio	mg/L	0,39	0,43	0,30	0,23	<0,1
Cálcio	mg/L	0,81	0,62	0,45	0,43	0,32
Magnésio	mg/L	1,19	1,14	0,94	0,89	1,35
Ferro total	mg/L	0,315	0,581	<0,002	<0,002	<0,002
Manganês	mg/L	0,094	0,066	0,059	0,061	0,019
Lítio	mg/L	0,002	0,001	<0,001	0,001	0,001
Bário	mg/L	0,014	0,011	0,007	0,012	0,010
Níquel	mg/L	0,009	0,009	0,006	0,002	<0,002
Selênio	mg/L	<0,02	<0,02	<0,02	<0,01	<0,02
Arsênio	mg/L	0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Alumínio	mg/L	0,2	0,1	<0,1	<0,1	0,1
Silício	mg/L	7,09	5,81	4,92	6,68	4,48
Cloreto	mg/L	7,02	7,40	7,21	8,13	6,17
Bicarbonato	mg/L	0,00	0,00	0,66	0,32	0,00
Sulfato	mg/L	7,4	5,3	3,00	2,1	1,9
Fluoreto	mg/L	0,03	0,03	0,02	0,02	0,01
Nitrito	mg/L	<0,005	<0,005	<0,005	0,005	0,005
Nitrato	mg/L	3,0	1,2	2,1	3,3	10,2
Fosfato	mg/L	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2

(1) 461/LAMIN/02, (2) 744/LAMIN/05, (3) 745/LAMIN/05, (4) 657/LAMIN/08, (5) 658/LAMIN/08

A composição química das águas minerais pode ter pequenas variações em suas concentrações dos constituintes dissolvidos, indicativas de que não há interferência de outras águas.

Pequenas concentrações de alguns elementos nas águas subterrâneas as classificam como águas minerais. O DNPM tem classificado a água das fontes da Água Mineral Mar Doce como *Água mineral fluoretada e hipotermal na fonte*. Deve-se ressaltar que o lítio é um elemento raro nas águas que o contêm e em pequenas concentrações apresenta interesse (DNPM, 1978).

Os parâmetros analisados apresentam concentrações baixas dos principais constituintes dissolvidos. Esses baixos teores resultam da natureza do material geológico, constituído por sedimentos de origem continental, através dos quais a água subterrânea circula; e da elevada pluviosidade, característica do clima tropical úmido da região.

Há portanto, intensa circulação da água no sistema hidrogeológico, desde a infiltração pelas águas pluviais até as captações e finalmente as descargas nos exutórios.

A Figura 10 apresenta a composição dos principais constituintes dissolvidos no diagrama de Piper (PIPER, 1944) em uma base de percentagem.

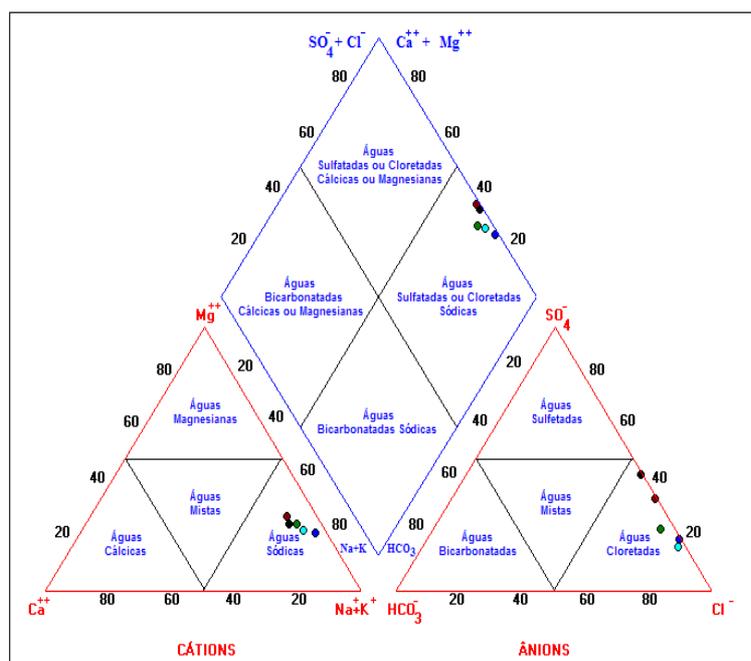


Figura 10 – Diagrama de Piper das águas minerais das Fontes Lumiar e Bruguelo.

4.3 – Vulnerabilidade e Proteção

A vulnerabilidade da água subterrânea é função das características hidrogeológicas que propiciam maior ou menor grau de proteção. Os materiais geológico podem atuar com filtros naturais devido principalmente às suas permeabilidades.

A vulnerabilidade do aquífero explorado, está relacionado à inacessibilidade hidráulica para a penetração de contaminantes e à capacidade de atenuação dos estratos acima do aquífero.

A zona não saturada tem grande capacidade de atenuação de compostos químicos, oxidação e biodegradação da matéria orgânica e eliminação de micro-organismos. Constitui-se na função filtro do aquífero (HORDON, 1977)

Sobrejacente ao aquífero captado temos a zona não saturada, até a profundidade de 15,20 m, o aquífero livre até a profundidade de 19,50 m e um estrato argila até a profundidade de 22,00 m, esta a camada confinante da parte superior do aquífero captado.

O aquífero livre atua como restaurador das condições naturais, transportando e não propiciando o acúmulo de substâncias poluentes dissolvidas. A camada de argila cinza esverdeada a partir de 72,00 m de profundidade constitui a camada confinante da parte inferior do aquífero captado.

A vulnerabilidade do aquífero captado apresenta índice compreendido entre 0,1 e 0,3 correspondendo ao grau de vulnerabilidade baixo, no Sistema de Avaliação do índice de Vulnerabilidade, de Foster e Hirata (FOSTER, S; HIRATA, R, 1988), o qual tem variação de 0 a 1, com graus de vulnerabilidade negligenciável, baixo, moderado, alto e extremo.

A área de proteção das captações da Água Mineral Mar Doce engloba a superfície e subsuperfície das mesmas, sendo restrito o uso do terreno para atividades de ocupação humana. O traçado dessas áreas resulta das características hidrogeológicas do aquífero no local das captações.

Para a manutenção da qualidade da água mineral, a mesma deve ser bem captada. Os poços das captações obedeceram a todos os critérios técnicos de construção e de proteção.

A distância do interflúvio das captações, de 400 m e dentro na área da Água Mineral Mar Doce propicia melhores condições de proteção da área toda.

As zonas de contribuição, de influência e de transporte, esta com isócronas de até 1 (um) ano estão contidas dentro da área da Água Mineral Mar Doce.

5 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

CAPUTO, M. V. 1984. *Stratigraphy, Tectonics, Paleoclimatology and Paleogeography of Northern Basins of Brazil*. Santa Bárbara. California University. Tese (Doutorado) 586 p.

CPRM, 1994. *São Luís, Folha SA.23-Z-A. Cururupu. Folha SA23-X-C; Estado do Maranhão*. Programa Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil, Brasília, CPRM, 185 p.

DNMET; 1992. *Normais Climatológicas (1961– 1990)*. DNMET, Brasília, 84 p.

- DNPM, 1978. *Perfil Analítico de Águas Minerais*. Rio de Janeiro, Boletim nº 49 vol. II, 160p.
- FOSTER, S. & HIRATA, R. 1988. *Groundwater pollution risk evaluation: the methodology using available data*. Lima. CEPIS-OPIS-OMM. 81 p.
- HORDON, R. M. 1977. *Water Supply as a Limiting Factor in Developing Communities*. Endogenous vs. Exogenous Sources. *Water Res. Bull.*(13):933-939.
- PIPER, A. M. 1944. *A graphic procedure in the geochemical interpretation of water analyses*. *Amer. Geophys. Union*. 25:914 – 923.
- SUDAM. 1984. *Atlas Climatológico da Amazônia Brasileira*. Belém. 125 p.
- VASCONCELOS, A. M.; VEIGA JUNIOR, J. Q. S.; RIBEIRO, J. A. P.; GOMES, I. P.; FORGIARINI, L. L. 2004. *Carta Geológica do Brasil ao Milionésimo*, SIG Prog Geol do Brasil CPRM, CD-ROM, Brasília.