

QUALIDADE DA ÁGUA DO AQUÍFERO FREÁTICO NO ALTO CRISTALINO DE SALVADOR, BACIA DO RIO LUCAIA, SALVADOR, BAHIA

SERGIO AUGUSTO DE MORAIS NASCIMENTO & JOHILDO S.F. BARBOSA

Abstract *THE QUALITY OF THE PHREATIC WATER IN THE CRYSTALLINE HEIGHT OF SALVADOR, RIO LUCAIA, SALVADOR, BAHIA* The Lucaia river basin is one of the seventeen urban systems of surface drainage of the Salvador municipality. With an area of 14 km², its underground is made of highly fractured metamorphic crystalline rocks, covered by a thick weathered overburden. The crystalline rocks and the overburden form a free aquifer of mixed nature, both interstitial and fissural, inhomogeneous and anisotropic. The crystalline rocks vary in composition from monzonitic-monozodioritic to tonalitic and charnoenderbitic. The former are hydrochemically well defined by their ionic rMg/rCa ratio and the latter by their ionic rCa/rNa ratio. The tonalitic and charnoenderbitic rocks are limited by the Salvador and the Iguatemi faults, whereas the mononitic-monozodioritic rocks predominate to the easternmost side of the studied area. The underground waters are normally Na-chloridic and unusually Ca-Mg-chloridic, characterized by a downward increase of Na-bicarbonate. All these waters are fresh, with a low salt content, containing calcium, sodium, potassium, magnesium, chloride, sulfate and bicarbonate within the normal quality standards, in accordance with the 518/2004 technical norm of the Brazilian Health Ministry. The good quality of water, however, is disturbed by the densely populated urban environment, and in many places certain physical-chemical parameters are found to be altered, particularly the pH, the apparent color, turbidity, nitrate, ammonia and phosphate contents, besides the presence of several heavy metals, namely manganese, iron, lead and arsenic. Manganese and iron are of natural origin, derived from the local rocky reservoirs, whereas lead and arsenic are anthropogenic. Biological contamination by total fecal coliforms and heterotrophic bacteria is widespread. The liquid effluents from the urban and domestic sewage disposal, along with the solid waste (garbage) are the sources for the majority of this contamination. The Lucaia aquifer is open to most of the contamination hazards because it is shallow, and easily exposed to the various forms of anthropic activities, which are able to produce a diversity of pollutants.

Keywords: Groundwater, Groundwater quality, Hydrogeology

Resumo A bacia hidrográfica do rio Rio Lucaia faz parte de um dos 17 sistemas da drenagem superficial urbana do município de Salvador. Com uma área aproximada de 14 km² tem no seu subsolo rochas cristalinas metamorfozadas e fraturadas, cobertas por espesso manto de alteração intempérico e formando um aquífero de natureza livre, heterogêneo e anisotrópico, misto e interdependente, do tipo fissural e intergranular. As rochas da bacia do Rio Lucaia são monzoníticas/monzodioríticas na parte leste e, tonalíticas/charnoenderbiticas na parte oeste. As primeiras definidas hidroquimicamente pela relação iônica rMg/rCa e, as segundas, pela relação iônica rCa/rNa. Estes dois conjuntos de rochas estão limitados pela Falha do Iguatemi. As águas subterrâneas são normalmente cloretadas sódicas e, secundariamente, cloretadas calcio-magnesianas, sendo as mais profundas de natureza bicarbonatada sódica. Todas são águas doces com baixo conteúdo salino, apresentando cálcio, sódio, potássio, magnésio, cloreto, sulfato e bicarbonato, dentro dos padrões normais de potabilidade, tomando-se como referência, a portaria 518/2004 do Ministério da Saúde. Embora normais, como essas águas situam-se em meio urbano densamente habitado, em alguns locais, certos parâmetros físico-químicos apresentaram-se alterados, notadamente o pH, cor aparente, turbidez, nitrato, amônia e fosfatos, além de alguns metais pesados tais como, manganês, ferro e o chumbo. O manganês e o ferro são naturais e estão associados aos litotipos da área, enquanto o chumbo é de natureza antrópica. A contaminação biológica representada pelos coliformes termotolerantes (fecais), totais e bactérias heterotróficas está bastante disseminada na área. Portanto, os efluentes líquidos oriundos dos esgotos domésticos e urbanos e os resíduos sólidos (lixo) são as principais fontes responsáveis pela maior parte dessa contaminação. O aquífero do Rio Lucaia está exposto aos mais diversos tipos de risco de contaminação, porque é raso e está sujeito às mais variadas formas de atividades antrópicas que podem produzir os mais diversos tipos de poluentes.

Palavras-chave: Água subterrânea, Qualidade da água, Hidrogeologia

INTRODUÇÃO O rápido crescimento demográfico da cidade de Salvador nas últimas décadas vem se refletindo, como esperado, nas condições de vida de sua população, sobretudo quanto ao abastecimento de água e o saneamento básico. Apesar de grande parte da população ser servida por água tratada, com o fornecimento de 217 milhões de m³/ano para cerca de 91% da população soteropolitana (EMBASA, inf. verbal), parte dela ainda se utiliza de fontes alternativas de abastecimento. Com efeito, as fontes naturais de água subterrâneas, obtidas em cisternas e poços tubulares, são utilizadas pela população de baixa renda, devido a

economia que a alternativa proporciona, eximindo o usuário do pagamento da conta de água. Além do mais, esses meios representam fonte segura e adicional no suprimento de água em áreas onde muitas vezes o fornecimento não é regular. Essa água, embora utilizada vez por outra como potável, felizmente, na maioria das vezes, é usada apenas para lavagens de pisos, banheiros e hortas domésticas. Vale frisar que não somente a classe baixa mas também a classe média vem utilizando a água subterrânea como medida de economia no abastecimento de condomínios residenciais e clubes recreativos, tendo em alguns casos, o cuidado de realizar

tratamento simplificado com filtração e cloração. É igualmente comum o uso dessa água na lavagem de veículos em postos de gasolina, garagens de ônibus e de caminhões, entre outros.

Em áreas urbanas densamente povoadas como Salvador, o impacto ambiental sobre os mananciais de água subterrânea é agravado. No caso da bacia do Rio Lucaia, objeto desse trabalho, a maior fonte de contaminação do aquífero são os efluentes domésticos, oriundos dos esgotos sanitários e fossas sépticas, embora possa advir também de vazamento de tanques subterrâneos de alguns postos de combustíveis, sobretudo os mais antigos, de difícil detecção. Ademais, a falta de fiscalização adequada e pouco cuidadosa na carga e descarga dos derivados do petróleo também contribuem para prejudicar a qualidade das águas. Os depósitos de lixo, oficinas mecânicas, ferro-velhos, cemitérios, hospitais e clínicas médicas também podem estar contribuindo para contaminar o aquífero do Lucaia, visto ser ele relativamente raso, de elevada vulnerabilidade e com alta exposição aos agentes e fontes de contaminação antrópicas.

Esta pesquisa foi desenvolvida com a cooperação financeira da Empresa Baiana de Águas e Saneamento S/A - EMBASA, por convênio celebrado com a Universidade Federal da Bahia, o qual objetivou a caracterização hidroquímica e qualidade dos principais tipos de água subterrânea de Salvador.

Na bacia do Rio Lucaia procurou-se avaliar o nível de contaminação do aquífero freático quanto ao seu estado físico-químico e presença de metais pesados, existência de bactérias coliformes e heterotróficas. Com isso foi possível diagnosticar o grau de comprometimento das suas águas subterrâneas, embora sem abordagem detalhada da ecotoxicologia específica de cada contaminante estudado, e sem indicações epidemiológicas sobre a ocorrência de efeitos adversos à saúde da população.

LOCALIZAÇÃO DA ÁREA E ASPECTOS CLIMÁTICOS A bacia do Rio Lucaia localiza-se na cidade de Salvador (Fig. 1), possui uma área de drenagem de cerca de 14 km², situa-se entre os paralelos 12° 58' 48".0 e 13° 00' 58".5 S e os meridianos 39° 29' 19".5 e 39° 32' 05".2 W. Engloba total ou parcialmente os bairros de Salvador denominados de Brotas (Campinas, Acupe e Engenho Velho), Itaigara, Santa Cruz, Rio Vermelho, Federação, Ondina, Fazenda Garcia e Tororó (Fig. 1), que somam aproximadamente 260 mil habitantes (SRSH 1995).

Em toda Salvador, incluindo a bacia do Rio Lucaia, o clima tem sido importante no intemperismo das suas rochas. O clima é do tipo Tropical Chuvoso de Floresta (Af), segundo a classificação de Köppen (1948), e Úmido (B2rÁá), conforme a classificação de Thornthwaite (1948). Dados da estação meteorológica de Ondina mostram índice hídrico igual a 48,4, com excedente de 694,2 mm/ano e evapotranspiração potencial da ordem de 1417,9 mm/ano. As precipitações são sempre maiores que 100 mm em todos os meses do ano, sem estação seca definida. A pluviometria média no período de 1961 a 1990 foi de 2089,9 mm/ano (SEI 1998), com maior concentração de chuvas de abril a julho. A temperatura média anual para o período citado foi de 25,3°C, com máximas em janeiro, fevereiro e março e, mínimas, em julho e agosto.

GEOMORFOLOGIA E GEOLOGIA LOCAL Geomorfologicamente a bacia do Rio Lucaia localiza-se no alto cristalino de Salvador (Fig. 1), formado por rochas metamórficas de alto grau, cujos sistemas de fraturas controlaram a modelagem da paisagem, resultando na formação de planalto dissecado dos bairros de Brotas, Federação e Ondina, de altitude entre 50 e 70 m,

com vertentes íngremes e abruptas. Outra feição, também resultante do sistema de fraturas, são os morros e as colinas semi-arredondadas, de cotas por volta de 20 a 30 m das regiões do Itaigara e Rio Vermelho. O sistema de fraturas também facilitou a alteração das rochas cristalinas, servindo como canais de percolação da água de chuva. Em consequência, o intemperismo físico e químico das rochas subjacentes e a erosão resultaram na formação de vales e depressões que alojam os leitos fluviais (Sacramento 1975). A decomposição química causada pelas águas pluviais, sob condições climáticas rigorosas, gerou, na área estudada, solos residuais areno-argilosos e, por vezes, argilosos relativamente espessos. Dados de poços tubulares de determinadas áreas das bacias hidrográficas de Salvador, incluindo a do Rio Lucaia, indicam que os solos, geralmente latossolos vermelho-amarelo distróficos, podem atingir mais de 30 m de espessura. Por outro lado, essas bacias também podem conter leques coluviais ou depósitos de talus com fragmentos das rochas cristalinas, de-

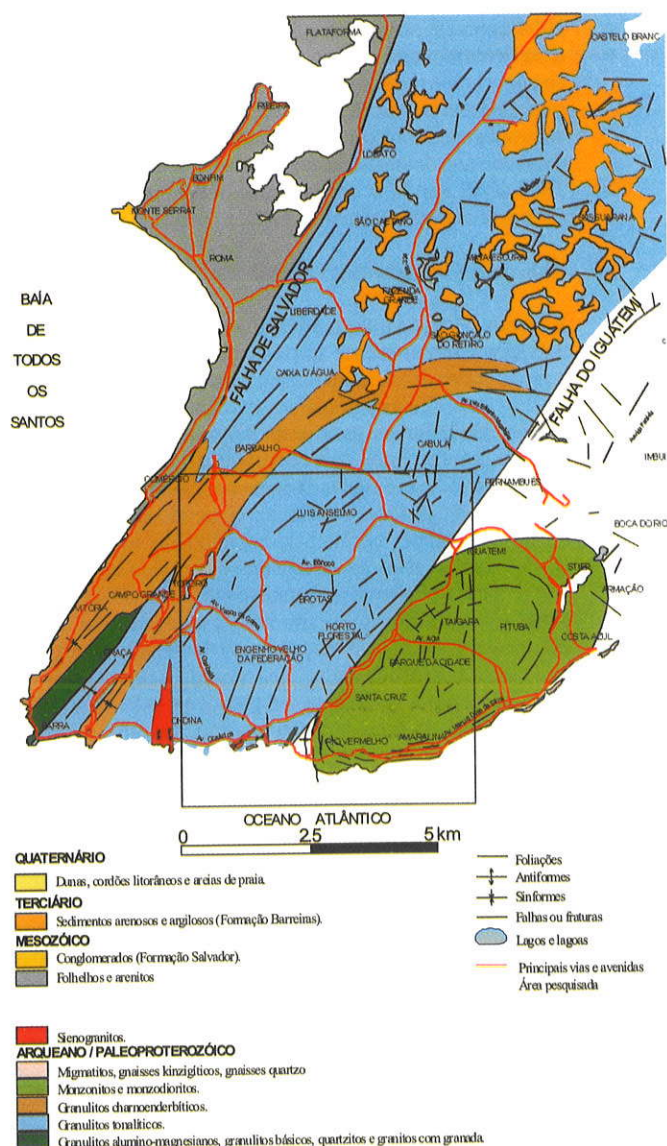


Figura 1 – Mapa geológico da cidade de Salvador (Barbosa et al. 2004, em preparação)

vido ao intemperismo mecânico, e sobre os quais desenvolveram-se solos alóctones.

Como a área estudada está incluída em região urbana, é importante ressaltar que a dinâmica morfogenética atual foi profundamente influenciada pela ação antrópica e, conseqüentemente, muitas das formas de relevo resultaram de terraplanagem, cortes de taludes, aterros e outras obras de engenharia.

O embasamento da bacia do Rio Lucaia, situada no Alto de Salvador, consiste de granulitos monzoníticos-monzodioríticos, no leste, e por granulitos tonalíticos-charnoenderbíticos, no oeste, separados pela Falha do Iguatemi (Barbosa *et al.* 2004, em preparação) (Fig. 2). Estas rochas afloram melhor na orla marítima da cidade. Os granulitos monzoníticos-monzodioríticos são compostos por plagioclásio, às vezes antiperfítico (30-35%), quartzo (15%), microclina (25-30%), ortopiroxênio (10%) e clinopiroxênio (6%), com opacos, apatita, biotita e hornblenda acessórios. Os granulitos tonalíticos são constituídos de plagioclásio (30-48%), quartzo (20-30%), ortopiroxênio (8-18%) e clinopiroxênio (6-17%), com apatita e zircão acessórios. A biotita, em geral de retrometamórfica, é comum e ocorre de 5% a 10%. Os granulitos charnoenderbíticos são compostos por plagioclásio antiperfítico (35-48%), quartzo (20-30%), mesopertita ou microclina perfítica (8-15%), ortopiroxênio (8-15%) e clinopiroxênios (1-8%), com apatita, zircão, biotita e hornblenda acessórios.

MÉTODOS DE TRABALHO Os trabalhos foram desenvolvidos obedecendo métodos de campo e laboratório, seqüenciados em três fases interrelacionadas.

Na primeira fase foi realizado o levantamento bibliográfico, aquisição de base cartográfica e fotografias aéreas, com identificação e cadastramento dos principais pontos de captação d'água e prováveis fontes de contaminação na área. Nesta fase foram localizados 35 poços tubulares, 21 cacimbas e 3 fontes naturais. Esses pontos foram revisitados e georeferenciados com GPS (*Global Positioning System*) e identificados nas bases cartográficas de Salvador, da Companhia de Desenvolvimento Urbano do Estado da Bahia - CONDER.

Na segunda fase amostrou-se as águas subterrâneas em 40 pontos dos previamente cadastrados e aleatoriamente distribuídos na área (Fig. 3). As amostras de água foram aciduladas com HNO₃ concentrado, antes de seu envio ao laboratório. A coleta foi executada em 24 poços tubulares, 13 cisternas e 3 fontes naturais (Fig. 3), alguns dos quais com água estagnada, sem bombeamento prévio. Os poços tubulares quando objetiva buscar água na cobertura de solos, são relativamente rasos, perfurados com trado manual e revestidos com tubos de PVC. Quando visa o sistema aquífero fissural, são mais profundos e, nesses casos, as amostras coletadas são mistas visto que eles captam águas das coberturas e do sistema fissural ao mesmo tempo.

Na terceira fase, as 40 amostras foram submetidas a 720 determinações físico-químicas, 440 dosagens de metais pesados e 120 determinações bacteriológicas. As análises físico-químicas basearam-se nos manuais do *Standart Methods for the Examination of Water and Wastewater* (1995) e no *American Society for Testing of Materials* (1992), com determinação do pH, temperatura, cor, turbidez, condutividade elétrica específica (CE), oxigênio dissolvido (OD), sólidos totais dissolvidos (STD), alcalinidade, dureza total, Ca, Mg, Na, K, bicarbonatos, cloretos, sulfatos, amônia, nitritos, nitratos e fosfatos (Tabela 1). Os metais pesados, dependendo dos elementos, foram analisados por espectrometria de chama ou forno de grafite (Tabela 2). Antes da análise química, as

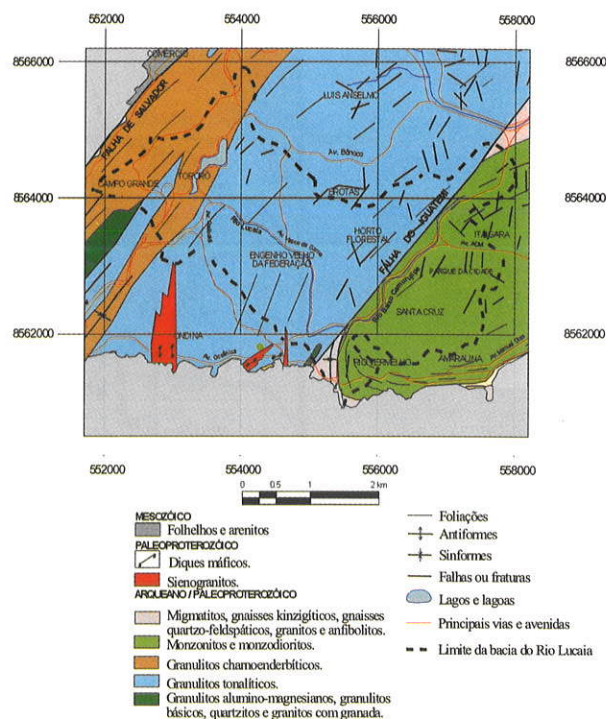


Figura 2 – Mapa geológico da bacia do Rio Lucaia

amostras de água foram tratadas com HNO₃ concentrado para, então, determinar As, Cr, Cu, Fe, Pb, Hg, Mn e Zn. As análises bacteriológicas basearam-se no método da membrana filtrante, envolvendo filtração à vácuo em membrana de acetato de celulose (UFC/100ml), para os coliformes termotolerantes (fecais) e totais e, o método *POUR PLATE* para a detecção de bactérias heterotróficas.

Em virtude das amostras de água não terem sido filtradas no ato da coleta, algumas (15) apresentaram alta turbidez, aumentando os teores dos elementos maiores e metais pesados. Como parte dos mesmos estavam adsorvidos, quer nas partículas de argila, quer nos oxi-hidróxidos de ferro, ambos em suspensão na água, descartou-se todas as amostras com turbidez superior a 5,0 UNT (Unidade Nefelométrica de Turbidez).

CARACTERIZAÇÃO HIDROGEOLÓGICA E TIPOS DE ÁGUA

No Alto de Salvador, Na região da bacia do Rio Lucaia situada no Alto de Salvador, as águas subterrâneas são armazenadas em dois domínios distintos, intercomunicáveis e de natureza livre, formando sistema aquífero heterogêneo e anisotrópico.

O primeiro domínio é representado pela cobertura de solos que formam aquíferos pouco espessos, com níveis hidrostáticos rasos (2 a 3 m), embora possa atingir, localmente, espessura de até 30 a 40 m. Devido ao seu caráter predominantemente areno-argiloso e pouca espessura, os aquíferos são de armazenamento reduzido e a capacidade de produção dos poços é limitada. Entretanto, por se tratar de região de elevada pluviosidade (> 2.000 mm/ano), este aquífero recebe uma taxa de recarga contínua o ano todo, possibilitando seu uso continuado sem grandes rebaixamentos. A maioria dos poços nesse domínio são rasos (8-10 m de profundi-

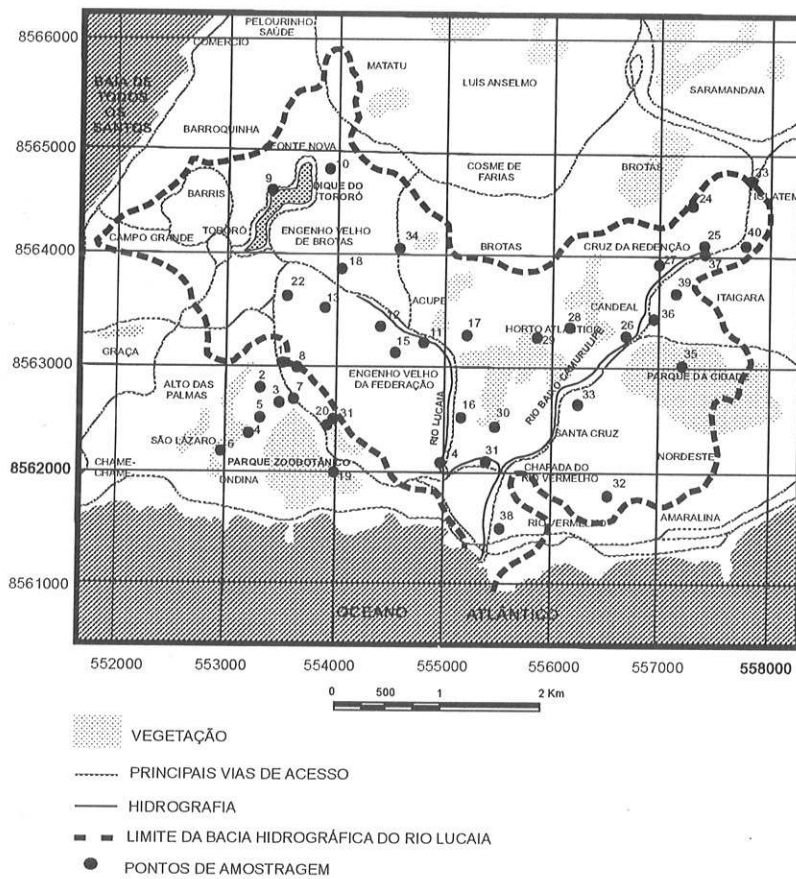


Figura 3 – Mapa de Amostragem da Bacia do Rio Lucaia.

dade), tendo sido perfurados a trado manual, captando águas apenas das coberturas, principalmente no contato do solo (saprolito) com a rocha sã.

A cobertura de solos do primeiro domínio recobrem as rochas do segundo, representado pelas litologias metamórficas de alto grau descritas anteriormente, e que foram submetidas a forte fraturamento. Este segundo domínio, por tratar-se de meio fissural, forma aquíferos com capacidade de armazenamento mais limitada e restrito às zonas onde as fraturas estão mais concentradas. Dados obtidos em 45 poços tubulares no cristalino fissural mostram uma vazão média de $4,0 \pm 1,0 \text{ m}^3/\text{h}$ e uma vazão específica de $0,6 \pm 0,3 \text{ m}^3/\text{h/m}$, revelando uma baixa potencialidade hidrogeológica (nível de significância do teste = 95% e $n = 45$). Ao contrário dos anteriores, os poços tubulares, executados nesse segundo domínio são de maior profundidade (média de 52 m) podendo produzir águas das coberturas de solo e do meio fissural ao mesmo tempo.

Com erro inferior a 10% nos cálculos do balanço iônico, efetuado pelo método de Schoeller (Santos 1997), os valores analíticos dos elementos maiores obtidos permitiram identificar três tipos de água na região: cloretada sódica, cloretada calcio-magnésiana e bicarbonatada sódica. A cloretada sódica foi observada em 68 % dos pontos estudados, a cloretada calcio-magnésiana em 28 % dos pontos investigados, enquanto as bicarbonatadas sódicas, somente em 4 % das amostras. Estes três tipos de água são mostrados no diagrama triangular de Piper (1944), o qual evidenciou também nas amostras coletadas, predomínio do cátion sódio (72 %) e do ânion cloreto (80 %) (Fig. 4). As águas procedentes dos

poços perfurados nos aquíferos fissurais do segundo domínio são preferencialmente bicarbonatadas sódicas, provavelmente devido à sua pouca circulação, enquanto que, as cloretadas sódicas e cloretadas calcio-magnésianas, predominantes nos aquíferos de cobertura, revelam a existência de uma constante renovação entre as águas atmosféricas e as subterrâneas, num processo contínuo de recarga.

As relações entre os íons dissolvidos na água subterrânea podem indicar certa relação com o litotipo do qual a água se origina (Santos 1997). Neste trabalho foram testadas mais de uma dezena de relações entre os íons e as litologias que embasam a bacia do Rio Lucaia chegando-se a conclusão que a relação magnésio/cálcio (em miliequivalente), foi a que melhor se adaptou à faixa monzonítica/monzodiorítica, enquanto a relação cálcio/sódio (em miliequivalente) separa bem os granulitos charnoenderbíticos/tonalíticos dos granulitos monzoníticos/monzodioríticos, ambos os conjuntos separados pela Falha do Iguatemi (Barbosa *et al.*, 2004, em preparação).

HIDROQUÍMICA E CONTAMINAÇÃO DO AQUÍFERO Do ponto de vista físico-químico, as águas investigadas da área do Rio Lucaia (Fig. 3) são doces em 92,5% dos poços e salobras em 7,5% deles. Essas últimas situando-se principalmente nas regiões do Parque da Cidade e Cidade Jardim que, como são distantes do mar, afasta a possibilidade de ter havido a influência da cunha marinha. Os valores de condutividade elétrica (CE) ($424,0 \pm 68,0 \mu\text{S/cm}$) e sólidos totais dissolvidos (STD) ($181,0 \pm 27,0 \text{ mg/L}$) estão

Tabela 1 – Sumário estatístico das análises físico-químicas e padrão de qualidade das águas subterrâneas da bacia do Rio Lucaia

Parâmetros	Unidade	Valor Mínimo	Valor Máximo	Média Aritmética (*)	Valor de Referência Bibliográfica (**)	Valor Recomendável (***)
pH	-	4,6	7,3	5,80 ± 0,2	5,5 - 8,5	6,5 - 8,5
Temperatura	°C	26,5	32,1	28,4 ± 0,5	-	-
Cor	Pt/L	3,5	25,0	4,4 ± 1,5	< 5	5
Turbidez	UNT	0,1	5,6	1,1 ± 0,5	< 40	5
STD	mg/L	78,0	420,0	181,0 ± 27,0	< 500	1000
CE	µS/cm	178,0	1053,0	424,0 ± 68,0	-	1250
OD	mg/L O ₂	0,4	6,4	2,7 ± 0,5	7,6 - 14,6	> 6
Cálcio	mg/L	1,3	59,0	21,0 ± 6,0	10 - 100	200
Magnésio	mg/L	5,8	22,4	3,7 ± 1,7	1 - 40	150
Sódio	mg/L	16,8	147,0	44,6 ± 10,0	0,1 - 100	200
Potássio	mg/L	0,9	9,3	4,5 ± 0,8	< 10	10
Bicarbonato	mg/L	0,2	148,0	34,50 ± 14,0	50 - 350	500
Cloretos	mg/L	31,7	274,0	75,7 ± 17,0	10 - 250	250
Sulfatos	mg/L	4,1	59,4	18,6 ± 4,0	< 100	250
Amônia	mg/L	0,07	21,0	1,4 ± 1,5	< 100	1,5
Nitrito	mg/L	0,004	0,11	0,01 ± 0,01	0,1 - 10	1,0
Nitrato	mg/L	1,3	41,0	14,6 ± 4,0	< 20	10,0
Fosfato	mg/L	0,002	0,03	0,004 ± 0,003	0,01 - 1	0,025

(*) NS= Nível de significância = 95% e n=29

(**) Segundo vários autores.

(***) Padrões de Qualidade Ambiental - Portaria 518/2004 do Ministério da Saúde, Organização Mundial da Saúde e U.S. Environmental Protection Agency (EPA).

(pH) - potencial Hidrogeniônico

(STD) - Sólidos Totais Dissolvidos

(CE) - Condutividade Elétrica

(OD) - Oxigênio Dissolvido

(UNT) - Unidade Nefelométrica de Turbidez

(Pt/L) - Platina por litro (Disco de Platina Cobalto)

(µS/cm) - microsiemens por centímetro

(mg/L) - miligrama por litro

Tabela 2 - Sumário estatístico das análises de metais pesados e padrão de qualidade das águas subterrâneas da bacia do Rio Lucaia. (Valores em micrograma/litro).

Metais	Valor Mínimo	Valor Máximo	Valor Médio	Variação da Média (*)	Valor de Referência Bibliográfica (**)	Limite de Tolerância (VMP) (***)
Arsênio	0,2	15,3	0,58	0,3 - 1,0	0,2 - 1,0	10,0
Cromo	0,1	3,9	0,29	0,2 - 0,4	0,1 - 0,3	50,0
Cobre	0,3	11,9	1,2	0,7 - 1,9	2,0 - 50,0	200,0
Ferro	16,8	5480,0	89,0	50,0 - 158,0	50,0 - 1000,0	300,0
Chumbo	0,7	257,0	3,0	1,6 - 6,0	2,0 - 20,0	10,0
Mercúrio	0,01	1,0	0,02	0,01 - 0,03	0,3 - 3,0	1,0
Manganês	9,8	1670,0	148,0	83,0 - 263,0	1,0 - 80,0	100,0
Zinco	10,5	34,8	13,0	11,2 - 14,8	5,0 - 50,0	500,0

(*) NS = Nível de significância = 95% e n = 29

(**) Allen (1974)

(***) Portaria 518/2004 do Ministério da Saúde.

VMP – Valor Máximo Permitido. µg/L – micrograma por litro

dentro dos padrões normais de potabilidade, segundo a portaria 518/2004 do Ministério da Saúde o que atesta a sua baixa salinidade (Tab. 1). A dureza da água varia de 60 a 130 mg/L, sendo portanto considerada como pouco dura à dura, segundo a classificação de Custódio & Llamas (1983).

A avaliação físico-química mostrou que os componentes maiores Ca, Mg, Na, K, Cl, CO₃, HCO₃ e SO₄, estão dentro dos padrões normais de potabilidade, segundo a portaria 518/2004 antes referida (Tab. 1). Apenas um ponto localizado na Avenida Ogunjá apre-

sentou o cloreto acima do valor máximo permitido, em área com grande quantidade de lixo. Os valores de pH estão alterados na maioria dos pontos estudados, entretanto sem maiores consequências para sua potabilidade. Os valores oscilam entre 4,6 e 7,3 com uma média de 5,8 ± 0,2 (Tab. 1). A cor e a turbidez apresentaram-se alteradas em 28% dos pontos estudados, estando a primeira associada às substâncias dissolvidas na água, principalmente quando provenientes da lixiviação da matéria orgânica (Fig. 5). A turbidez está ligada não só ao ferro, com coeficiente de correlação

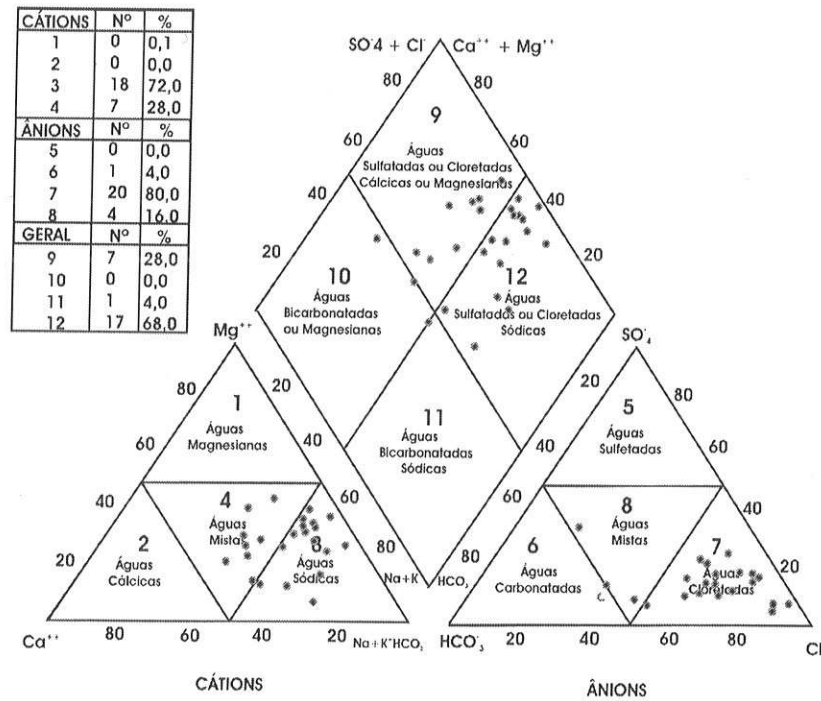


Figura 4 – Diagrama triangular de Piper (1994), aplicado às águas subterrâneas da bacia do Rio Lucaia

linear (r) = 0,78, mas também aos materiais particulados de argila e silte, observados em alguns pontos de captação, com produção de sólidos em suspensão, daí a necessidade de descartar as amostras com alta turbidez quando do tratamento estatístico dos dados. O oxigênio dissolvido está alterado em quase todos os locais estudados. Os valores oscilaram entre 0,4 e 6,4 mg/litro de O_2 com média de $2,7 \pm 0,4$ mg/litro para toda a região, sendo considerado muito baixo, apesar de comum encontrar-se valores inferiores a 5,0 mg/L nas águas subterrâneas (Tabela 1). O nitrato também está alterado em 53% dos pontos estudados (Fig. 5), e seus valores oscilam entre 1,3 e 41,0 mg/litro, com média de $14,6 \pm 4,0$ mg/litro (Tab. 1).

O nitrato é normalmente o contaminante de ocorrência mais comum nos grandes centros urbanos, devido principalmente a contaminação por atividades domésticas através das fossas, esgotos, lixo, cemitério, adubos nitrogenados e resíduos de animais. A presença de compostos de nitrogênio nos seus diferentes estados de oxidação é indicativo de contaminação do aquífero e de possíveis condições higiênico-sanitárias insatisfatórias. O nitrito e o nitrato provocam dois efeitos adversos à saúde, quais sejam, a indução à metemoglobinemia, especialmente em crianças e, a formação potencial de nitrosaminas e nitrosamidas carcinogênicas (Lewis et al. 1986). A amônia encontra-se acima do permitido em 18% dos pontos estudados e está certamente ligada, também, aos esgotos domésticos, fossas sépticas, excrementos e fezes de animais ou mesmo a fertilizantes nitrogenados. Segundo Feitosa & Manoel Filho (1997), a amônia pode estar presente em águas superficiais e subterrâneas, sendo que usualmente sua concentração é bastante baixa devido à sua fácil adsorção por partículas do solo ou à oxidação para nitrito e nitrato. Entretanto, concentrações elevadas podem ser resultantes de fontes de poluição próximas, bem como da redução de nitritos por bactérias ou por íons ferrosos presentes nos solos. O fosfato encontra-se alterado em 13% dos pontos da área, podendo estar associado às fezes e aos

produtos de limpeza, tais como, sabões e detergentes oriundos dos efluentes domésticos, além de inseticidas e pesticidas. Segundo (Fenzl 1988) nos grandes centros urbanos o ser humano libera em média 4 gramas de fósforo por dia, durante as suas atividades cotidianas. O fosfato não é tão preocupante quanto o nitrato, porque é menos móvel na água e, conseqüentemente, é mais facilmente adsorvido pela fração sólida do aquífero, atenuando a sua influência como contaminante.

A presença de metais pesados na água subterrânea pode provocar uma série de danos à saúde humana e ao meio ambiente à depender da sua maior ou menor concentração. A contribuição desses metais na contaminação de aquíferos, preocupa principalmente devido aos efeitos toxicológicos e fisiológicos nos seres vivos, mesmo em baixas concentrações. O consumo de água contaminada por metais pesados, feito de forma continuada, por longos períodos, ocasiona efeito cumulativo de metais no organismo. Em alguns casos, os efeitos no comportamento e no sistema nervoso são difíceis de serem detectados no seu estágio inicial. Alguns metais se bioacumulam no organismo, de tal maneira que se pode passar de estado crônico para agudo, sem ser percebido (Porto et al. 1991).

Devido a necessidade da realização de determinações analíticas de metais pesados visando testar a qualidade das águas na bacia do Rio Lucaia, foram analisados os metais cádmio, níquel, selênio, arsênio, cromo, ferro, chumbo, mercúrio, manganês e zinco (Tab. 2). Os metais cádmio, níquel e selênio não foram detectados, enquanto o cromo, cobre, mercúrio e zinco apresentaram teores abaixo daqueles estabelecidos pela portaria 518/2004 do Ministério da Saúde. Os metais com maior incidência de valores acima do que permite a legislação atual, foram o manganês, o ferro, o chumbo e o arsênio, razão pela qual mereceram uma maior atenção nesse trabalho.

O manganês foi detectado com valores altos em 55% dos pontos de amostragem, sendo o seu valor mínimo de 9,8 e o máximo de

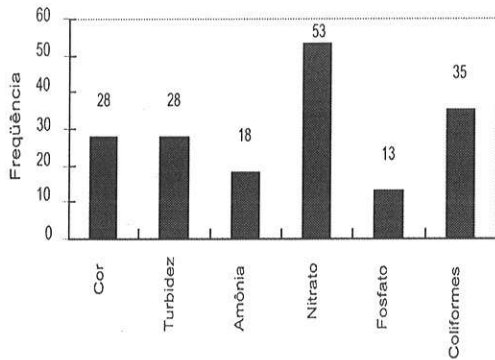


Figura 5 - Contaminantes urbanos (frequência em %) nas águas subterrâneas da bacia do Rio Lucaia.

1670,0 mg/litro, apresentando uma média de 148,0 mg/litro (Tabela 2). O manganês altera a cor e o sabor das águas quando atinge concentrações acima de 100 mg/litro, que é o valor máximo permitido. Assim como o ferro, se precipita sobre louças sanitárias, azulejos e roupas, manchando-as com uma tonalidade escura, tornando essas águas imprestáveis para o consumo humano. O excesso de manganês na dieta alimentar impede a atuação do ferro na produção da hemoglobina do sangue. Em altas doses, pode causar apatia, irritabilidade, dores de cabeça, insônia e fraqueza nas pernas. Sintomas de distúrbios psicológicos podem aparecer, tais como a prática de atos compulsivos, ausência de memória, alucinações, agressividade e euforia desmedida. Em alguns casos, pode ocasionar o aparecimento de doença similar ao mal de Parkisson. A origem desse manganês é geogênica. Em alguns locais da área, foram identificados, no contato entre a rocha sã e o saprólito, filmes escuros de óxido de manganês resultante da alteração de minerais máficos, principalmente no Campus Universitário de Ondina (Nascimento 2002).

O ferro foi detectado com valores altos em 24% dos pontos amostrados, com valor mínimo de 16,8 e o máximo 5480,0 mg/litro, apresentando uma média para toda a área de 89,0 mg/litro (Tabela 2). Teores altos de ferro na água são comuns e naturais em áreas constituídas por solos ferralíticos (latossolos), principalmente em regiões tropicais, como é o caso de Salvador. A alteração dos minerais biotita, piroxênios, anfíbios, entre outros, durante os processos de meteorização de rochas cristalinas, produzem altos valores de ferro no solo e conseqüentemente na água. Quando o ferro apresenta-se em concentrações acima de 300 mg/litro, mancham louças sanitárias e roupas quando da sua lavagem. Apesar do organismo humano necessitar de 19 mg/litro de ferro/dia, os padrões de potabilidade exigem que a água de abastecimento público não ultrapasse 300 mg/litro. Este limite foi estabelecido em função de problemas estéticos relacionados à presença desse metal na água e do sabor de ferrugem, o que leva o consumidor a recusá-la. Águas ferruginosas possibilitam o crescimento de ferrobactérias que podem causar problemas para a saúde. O teor alto de ferro no organismo humano pode ser responsável pela formação de radicais livres, muitos dos quais carcinogênicos. A sua presença em água potável favorece o aparecimento de microorganismos patogênicos, que necessitam de ferro para se desenvolver, além do que, sua presença influencia a absorção de cobre e chumbo no organismo. Os altos valores de ferro na água aumenta a turbidez. O alto coeficiente de correlação linear ($r=0,78$) verificada entre os valores de ferro e turbidez pode atestar esta afirmativa (Tabelas 1 e 2).

O chumbo ocorre com valores acima do permitido em 17% dos locais de amostragem, sendo o seu valor mínimo de 0,7 e o máximo de 257,0 mg/litro, apresentando uma média de 3,0 mg/litro (Tabela 2). O chumbo possui alta toxicidade e pode causar diversos prejuízos à saúde. A contaminação por esse metal pode levar a problemas de audição, alteração de crescimento, desenvolvimento cerebral deficiente, redução na síntese da vitamina D, o que diminui a produção de hemoglobina, enfraquecendo o sistema imunológico, provocando dores nos músculos, nas articulações, elevação da pressão arterial, infertilidade, convulsões e perda de memória. A presença do chumbo nas águas coletadas pode estar associada à fontes antropogênicas (baterias de veículos automotores, canos de chumbo enterrados de antigos sistemas de distribuição de água), ou mesmo à contaminações atmosféricas.

O arsênio apresentou valores acima do permitido em 14% dos pontos amostrados, com valor mínimo de 0,2, máximo de 15,3 mg/L e teor médio de 0,58 mg/L em toda a área estudada. O arsênio ocorre nas águas de forma natural, entretanto altos valores podem estar associados, à utilização de fungicidas, inseticidas, herbicidas, resíduos industriais e proteção de madeiras, tornando necessário sua prevenção em águas superficiais ou subterrâneas voltadas para o abastecimento doméstico. Uma moderada correlação linear com a amônia ($r=0,57$) na região, sinaliza para uma associação com efluentes domésticos ou mesmo fertilizantes nitrogenados.

A água embora seja fundamental para a vida humana, pode também ser veículo importante para a transmissão de numerosas doenças epidêmicas. Além das bactérias e dos vírus, a água serve também como vetor para inúmeros protozoários e vermes que podem provocar efeitos patológicos, não somente no ser humano, mas também em muitos animais. Os indicadores microbiológicos mais aceitos, vêm das bactérias do grupo coliforme, pois procurar seres patogênicos individualmente na água é muito difícil, e os exames bacteriológicos com esta finalidade são complicados e onerosos (Rocha 1994). Os coliformes compreendem todos os bacilos gram-negativos, não formadores de esporos, aeróbicos ou anaeróbicos facultativos. Fazem parte deles, gêneros e espécies indicativas de poluição por fezes, embora possam ser também provenientes do solo e de determinados vegetais (Rocha 1994).

Visando identificar possíveis contaminações biológicas entre os locais pesquisados, foram executadas análises bacteriológicas nas águas subterrâneas da bacia do Lucaia. Os resultados das análises bacteriológicas mostraram que 35% dos pontos de coleta estão contaminados (Fig. 6), com bactérias em níveis acima do permitido. Em 52,5% dos pontos coletados, ocorrem águas com coliformes e que só podem ser destinadas ao abastecimento doméstico após tratamento simplificado com filtração e cloração para eliminação dos microorganismos patogênicos. Em apenas 12,5% dos pontos analisados, as águas apresentaram ausência total de coliformes, o que permite sua utilização para o abastecimento doméstico, após uma simples desinfecção.

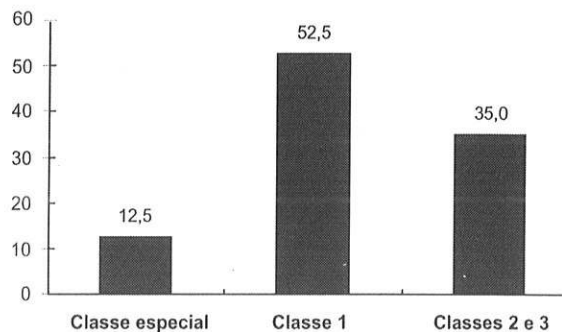
CONSIDERAÇÕES FINAIS No aquífero da bacia do Rio Lucaia as águas subterrâneas são principalmente de natureza cloretada sódica (>68%) e secundariamente cloretada calcio-magnésiana (>28%) as quais situam-se sobretudo no domínio da cobertura de solos. As águas classificadas como bicarbonatadas sódicas, correspondem à cerca de 4% e estão localizadas principalmente no domínio fissural.

Em todos os tipos de água, seus componentes maiores (Ca, Mg, Na, K, Cl, HCO_3 , SO_4) estão dentro dos padrões normais de potabilidade. O oxigênio dissolvido, como é natural nas águas

subterrâneas, apresentam valores baixos (< 6,0 mg/litro) devido a presença de matéria orgânica, observada durante a amostragem de campo. A cor e a turbidez também aparecem alteradas em alguns locais devido a presença de ferro, materiais particulados de argila e silte, notadamente em poços abandonados e sem exploração. Os parâmetros físico-químicos que contribuem mais para a alteração dos padrões normais da água, são os nitratos, amônia e os fosfatos oriundos dos esgotos domésticos e urbanos e de prováveis fossas sépticas. Esta contaminação é sem dúvida a mais comum e a mais bem difundida por toda área, sendo típicas de zonas urbanas.

Dos metais pesados investigados, destacam-se o manganês, ferro, chumbo e o arsênio como os mais disseminados na área. O manganês está bem distribuído, apresentando em muitos pontos, teores altos devido a contaminação natural causada pela presença constante de filmes de óxido de manganês na rocha alterada - saprolito. Esses teores altos inviabiliza essas águas para o consumo humano em muitos dos pontos estudados. Os altos valores de ferro é em boa parte também de origem natural, sendo a sua ocorrência nas águas subterrâneas, conseqüência da alteração dos minerais ferromagnesianos existentes em algumas rochas metamórficas que formam o alto cristalino de Salvador. O chumbo detectado pode estar associado a algumas fontes antrópicas, entre as quais, as sucatas constituídas por baterias de veículos automotivos, embora não se possa descartar a provável contaminação atmosférica.

Considerando-se conjuntamente todos os indicadores analisados, conclui-se que as águas subterrâneas da área estudada apresentam algum tipo de contaminação, principalmente aquela proveniente da presença de coliformes, o que restringe o seu uso



águas subterrâneas da bacia do Rio Lucaia

para fins domésticos, na sua forma bruta. Essas águas só podem ser consumidas pela população depois de passar por tratamento convencional. Entretanto, deve-se destacar que elas poderão ser amplamente utilizadas para lavagens em geral, irrigação de praças e jardins, etc. conforme demonstram, não somente os níveis de salinização, mas também os valores da condutividade elétrica específica, os sólidos totais dissolvidos, além dos teores de sódio e de cloretos.

Agradecimentos À EMBASA- Empresa de Águas e Saneamento da Bahia pelo financiamento para a realização das análises das águas e, aos colegas, geólogos Ari Medeiros Guerra e Telésforo Martinez Marques pela colaboração e incentivo durante todas as etapas de pesquisa.

Referências

- Allen S.E. 1974. Chemical analysis of ecological materials. *Blackwell Sci. Publ.* 374p.
- Barbosa J.S.F, Correa-Gomes L.C., Diminguez J.M.L., Souza Cruz S.A, Souza J.S. 2004. Mapa e Geologia de Salvador e Arredores. (em preparação).
- Custódio E. & Llamas M. R. 1983. Hidrologia Subterrânea. In: A.C. Feitosa & J. Manoel Filho J. (eds.) *Hidrogeologia: Conceitos e Aplicações*. CPRM, LABHID-UFPE : 97-102.
- Feitosa A.C. & Manoel Filho J. 1997. *Hidrogeologia: Conceitos e Aplicações*. CPRM, LABHID-UFPE, 412 pp.
- Fenzl N. 1988. *Introdução a Hidrogeoquímica*. UFPE. 189 pp.
- Köppen W. 1948. *Climatologia: com un estudio de los climas de la Tierra*. F. de Cultura. Mexico. 478pp.
- Lewis W. J., Foster S. S. D., Drasar B. S. 1986. O risco de poluição do lençol freático por sistemas de disposição local de esgotos; uma visão geral da literatura técnica. In: De Andre G. T. Pires (trad.) *The Risk of Groundwater pollution by on-site sanitation in developing countries*. Brasília, MDU, 91pp.
- Nascimento S.A.M. 2002. Estudo da Qualidade das Águas Subterrâneas no Campus Universitário de Ondina: Salvador, Bahia. Instituto de Geociências/UFBA/EMBASA. Relatório Final. 35p.
- Piper A.M. 1944. A Graphic Procedure in the Geochemical Interpretation of Water Analysis. *Trans. Am. Geophysical Union*. 25:911-923.
- Porto M.F.A., Branco S.M., De Luca S. J. 1991. Caracterização da qualidade das águas. In: S.M. Branco & R.L.L. (eds.) *Hidrologia Ambiental*. Coleção ABRH de Recursos Hídricos, 411, EDUSP-São Paulo, pp.:27-165.
- Rocha A.A. 1994. A problemática da água. In: L.L. Joaquina (ed.) *Problemas Chave do Meio Ambiente EXPOGEO*, Salvador, pp.: 91-113.
- Sacramento M.G P. 1975. *Estudos das Encostas Sobre Rochas Cristalinas: Arredores de Salvador*. Dissertação de Mestrado, IG/UFBA, 87p.
- Santos A C. 1997. Noções de Hidroquímica. In: Feitosa A C. & Manoel Filho J. (eds.) *Hidrogeologia: Conceitos e Aplicações*. CPRM, LABHID-UFPE: 81-108.
- SEI. 1998. Superintendência de Estudos Econômicos e Sociais da Bahia. Análises de Atributos Climáticos do Estado da Bahia, Série Estudos e Pesquisas. 58p
- SRHSH - Secretaria de Recursos Hídricos, Saneamento e Habitação. 1995. Revisão e Atualização do Plano Diretor de Esgotos de Salvador, Estudo da População e Demandas. I, II, III:210-211.
- Thornthwaite C.W. 1948. An approach toward & a rational classification of climate. *Geographical Review*., 38 (1) : 55-94.

Manuscrito-A 1532

Recebido em 30 de agosto de 2004

Revisão dos autores em 01 de setembro de 2005

Revisão aceita em 11 de setembro de 2005