



MAPEAMENTO HIDROQUÍMICO E QUALIDADE DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS EM MACEIÓ-AL

Rosane Cunha Maia Nobre

Universidade Federal de Alagoas, Instituto de Geografia, Desenvolvimento e Meio Ambiente
Maceió, AL, Brasil
rosanemaia@igdema.ufal.br

Manoel de Melo Maia Nobre

Universidade Federal de Alagoas, Instituto de Geografia, Desenvolvimento e Meio Ambiente
Maceió, AL, Brasil
maianobre@igdema.ufal.br

RESUMO – Uma investigação preliminar da qualidade das águas do aquífero de Maceió-AL foi conduzida através da avaliação dos resultados analíticos obtidos para um total de 1204 amostras de águas subterrâneas para um período de cerca de 20 anos. Esses dados foram coletados a partir de 322 poços tubulares da região com profundidades entre 50m e 250m. Foi utilizada a metodologia gráfica de *Stiff* para elaboração dos mapas hidroquímicos objetivando a detecção de tendências espaciais da qualidade da água. Os resultados indicaram que há uma predominância de águas do tipo cloretada magnésiana, seguida do tipo bicarbonatada magnésiana. As águas são, em geral, apropriadas ao consumo humano, onde são satisfeitos, na maioria dos casos, os critérios de potabilidade definidos pelas leis ambientais vigentes com base apenas nos dados físico-químicos fornecidos pela Companhia de Saneamento de Alagoas (CASAL). Vale lembrar, entretanto, que não há disponibilidade de dados para verificação da existência de compostos tóxicos como, por exemplo BTEX, PCBs e metais pesados nas águas subterrâneas de Maceió tendo em vista a inexistência de um programa específico de preservação e controle do uso dessas águas.

Palavras-chave: Qualidade da água; Diagrama de *Stiff*; Mapas hidroquímicos.

HYDROCHEMICAL MAPPING AND QUALITY OF UNDERGROUND WATERS IN MACEIÓ-AL

ABSTRACT – A preliminary water quality investigation program has been conducted through the evaluation of a total of 1204 chemical data analyses obtained from the groundwater beneath the city of Maceió-AL for a period of 20 years. These data have been collected from 322 wells, with varying depths from 50 to 250m. The *Stiff* graphical procedure has been applied in order to develop the hydrochemical maps to verify possible trends in the water quality of the city aquifer. The results indicate that the water is predominantly magnesium chloride followed by bicarbonate water. These waters are, in general, appropriate to human consumption where drinking water criteria are satisfied in most cases, based exclusively on physical-chemical data provided by the *Companhia de Saneamento de Alagoas (CASAL)*. It is important to mention that analytical data relative to toxic compounds such as BTEX, PCBs and heavy metals are not available due to the inexistence of a specific water resources management program.

Keywords: Water quality; *Stiff* Diagram; hydrochemical maps.

INTRODUÇÃO

A gestão dos recursos hídricos e da qualidade de suas águas superficiais e de sub-superfície só é possível através da pesquisa, tecnologia, e programas de proteção. O empenho da sociedade e dos órgãos públicos é essencial nessa tarefa, através do investimento e priorização das atividades

necessárias. Verifica-se que o monitoramento da qualidade das águas de superfície e dos mananciais subterrâneos vem se tornando prática cada vez mais comum nos últimos anos. Novos métodos de detecção de contaminantes em concentrações bem reduzidas (ppb) e a constatação da existência de diversos casos de contaminação de solo e águas subterrâneas motivaram as agências ambientais e setores governamentais a investirem no monitoramento específico da qualidade das águas do subsolo. Os desafios existentes para atender aos rígidos padrões ambientais, entretanto, podem ser superados através do melhor entendimento dos processos e reações químicas que ocorrem nas camadas subterrâneas, rasas e profundas.

A maior parte das águas subterrâneas contém partículas em suspensão em pequenas quantidades e são praticamente isentas de bactérias e de matéria orgânica. São normalmente limpas e inodoras. Essas características contrastam com aquelas das águas de superfície, mais facilmente sujeitas à contaminação de superfície. Embora as águas subterrâneas sejam consideradas, de uma forma geral, mais higiênicas, elas contêm maior quantidade de minerais dissolvidos. Alguns desses minerais são essenciais à saúde. Outros, dependendo da quantidade e de sua natureza, podem comprometer o uso das águas do subsolo para diversos fins, demandando tratamento apropriado para posterior uso.

As empresas de perfuração de poços são normalmente solicitadas a realizar amostragem de águas subterrâneas para análise química em laboratório quando da execução de um poço. Uma análise química típica inclui a avaliação da dureza, condutividade elétrica, pH, total de sólidos dissolvidos e concentração dos principais constituintes iônicos. Cada uma dessas propriedades é útil na avaliação da natureza química das águas subterrâneas. As técnicas de amostragem, no entanto, podem interferir nos resultados da análise e comprometer a sua representatividade.

Este trabalho tem como objetivo sistematizar a consolidação e tratamento dos dados de monitoramento das águas subterrâneas do sistema aquífero subjacente à cidade de Maceió. Dados de 1204 análises químicas de água, correspondentes a 322 poços tubulares da Companhia de Saneamento do Estado de Alagoas (CASAL), foram inicialmente utilizados para esse trabalho preliminar. A metodologia do diagrama de *Stiff* (1951) foi aplicada na elaboração dos mapas hidroquímicos para melhor visualização de tendências espaciais da qualidade da água subterrânea (Driscoll, 1987). Esses mapas são normalmente utilizados para explicar a origem dessas águas bem como a causa de possíveis alterações, seja por processos naturais ou por atividades antrópicas. As águas subterrâneas de Maceió foram classificadas segundo tipos químicos de água, incluindo águas bicarbonatadas, águas sulfatadas ou águas cloretadas.

EVOLUÇÃO HIDROQUÍMICA DA QUALIDADE DAS ÁGUAS

A dinâmica de interações envolvida entre as águas subterrâneas e as formações rochosas envolve uma sequência de processos físicos, químicos e biológicos, incluindo o intemperismo, a dissolução e/ou precipitação de minerais na solução, a troca iônica entre a água e a rocha, a mistura entre águas de diferentes composições e a liberação de gases como resultado de reduções de pressão.

A maioria das águas subterrâneas tem origem nas águas meteóricas que se infiltram através do solo e atingem os mananciais subterrâneos. O solo tem a capacidade única de alterar as águas quimicamente, uma vez que a infiltração se inicia através da fina camada vadosa, biologicamente ativa. Em zonas de recarga, o solo oferece uma quantidade elevada de minerais para as águas que se infiltram. Assim que as águas subterrâneas se deslocam de zonas de recarga para zonas de descarga, sua constituição química é gradativamente alterada por uma variedade de reações geoquímicas. É importante o conhecimento das principais reações que ocorrem ao longo de seu percurso de forma a poder avaliar a origem e estágio de evolução das águas do subsolo.

As águas de chuva têm valores de pH entre 5 e 6, sendo que em áreas industriais o pH dessas águas é reduzido para 3 ou 4, ou seja, são chuvas ácidas. O pH de equilíbrio para as águas não salinas em

contato com o CO_2 é igual a 5,7, para a pressão parcial daquele gás igual a $10^{-3,5}$ bar. A espécie iônica dissolvida, presente em quantidades significativas, é o bicarbonato (HCO_3^-). Assim, pode-se dizer que, de uma forma geral, as águas de precipitação são soluções moderadamente ácidas, oxidantes, que podem facilmente alterar a estrutura química dos solos ou das formações geológicas pelas quais elas se infiltram.

Os solos têm uma capacidade de gerar grandes quantidades de ácidos e de consumir quase todo o oxigênio dissolvido disponível nas águas que se infiltram (Freeze e Cherry, 1979). Geoquimicamente, o ácido mais importante que é produzido na porção do solo é o ácido carbônico (H_2CO_3), com origem na reação do CO_2 e H_2O (Domenico e Schwartz, 1990). O gás carbônico é gerado através da oxidação da matéria orgânica do solo bem como pela respiração das raízes das plantas. Reações anaeróbicas tais como a redução do sulfato e nitrato podem também gerar CO_2 . Esses processos, entretanto, contribuem de forma pouco significativa para o balanço de gás carbônico no meio poroso.

A quantidade de sólidos e íons dissolvidos nas águas subterrâneas é normalmente incrementada durante o seu percurso na porção saturada do solo. Como esperado, tem-se verificado, em inúmeras investigações, que as águas subterrâneas pouco profundas em áreas de recarga possuem, de fato, menor quantidade de sólidos dissolvidos em relação às águas mais profundas do aquífero ou mesmo em relação às águas pouco profundas de áreas de descarga daquele mesmo sistema.

O trabalho clássico de Chebotarev (1955) revisou mais de 10.000 análises químicas de amostras de poços na Austrália e concluiu que as águas subterrâneas tendem a evoluir quimicamente em direção à composição das águas do mar. Domenico (1972) percebeu que a química das águas subterrâneas, em grandes bacias sedimentares, é modificada com a profundidade de acordo com a seguinte correlação: i) Zona superficial: caracterizada pela percolação e lixiviação das águas subterrâneas nas formações porosas. Há uma reduzida quantidade de material dissolvido nas águas e o HCO_3^- é o ânion dominante. ii) Zona intermediária: apresenta menor circulação das águas subterrâneas e maior quantidade de sólidos dissolvidos. O sulfato (SO_4^-) se torna o íon dominante. iii) Zona profunda. Uma reduzida quantidade de água se desloca através dessa zona. A lixiviação mineral é intensa, produzindo enorme quantidade de sólidos dissolvidos e relativo aumento das concentrações de íons de cloretos (Cl^-). Essas águas salinas são geralmente muito antigas, mas a idade pode variar de milhares a milhões de anos (Freeze and Cherry, 1979).

Do ponto de vista geoquímico, a sequência da evolução dos ânions descrita acima pode ser explicada em termos de duas variáveis principais, ou seja, disponibilidade mineral e solubilidade mineral. O teor de bicarbonato nas águas subterrâneas deriva, normalmente, do CO_2 do solo e da dissolução da calcita e dolomita. Assim, a pressão parcial do CO_2 no solo e a solubilidade daqueles minerais são fatores limitantes para as concentrações de sólidos dissolvidos nas águas. De qualquer forma, o HCO_3^- é, invariavelmente, o ânion dominante em áreas de recarga.

A Tabela 1 indica a existência de diversos minerais sedimentares solúveis que liberam o SO_4^- em sua dissolução. Os minerais mais comuns nesse aspecto são o gesso e a anidrita. O motivo pelo qual as águas subterrâneas, na maioria das bacias sedimentares, precisam percorrer distâncias consideráveis antes que o sulfato seja o ânion dominante é que aqueles minerais são raramente presentes em quantidades significativas.

Em mananciais subterrâneos profundos em bacias sedimentares e em alguns sistemas mais superficiais, as águas subterrâneas evoluem para um estágio de salmoura com o Cl^- sendo o ânion dominante da solução. Entretanto, isto só ocorre no caso de contato das águas com formações minerais específicas, tais como a halita ou silvita (Drever, 1997). Em algumas bacias sedimentares profundas, estratos de sal podem ocorrer durante um período de evaporação intenso em regiões litorâneas restritas durante milhões de anos. Este é o caso dos depósitos de salgema na Bacia Sedimentar Alagoas Sergipe, sobretudo na cidade de Maceió (Lima, 1990).

O estudo da sequência de evolução de ânions e da tendência de aumento dos sólidos totais dissolvidos durante o percurso das águas subterrâneas nas formações geológicas são generalizações que, quando utilizadas num contexto geoquímico mais rigoroso, pode fornecer informações valiosas sobre a origem e natureza das águas subterrâneas em determinado local.

Tabela 1. Reações de dissociação e solubilidades de alguns minerais que se dissolvem em água a 25°C e pressão de 1 bar (Fonte: Freeze and Cherry, 1979)

MINERAL	REAÇÃO	CONSTANTE DE EQUILÍBRIO (K_{eq})	SOLUBILIDADE (mg/L ou g/m ³)
Gibbsita	$Al_2O_3 \cdot 2H_2O + H_2O = 2Al^{3+} + 6OH^-$	10^{-34}	0,001
Quartzo	$SiO_2 + 2H_2O = Si(OH)_4$	$10^{-3,7}$	12
Sílica Amorfa	$SiO_2 + 2H_2O = Si(OH)_4$	$10^{-2,7}$	120
Fluorita	$CaF_2 = Ca^{2+} + 2F^-$	$10^{-9,8}$	160
Dolomita	$CaMg(CO_3)_2 = Ca^{2+} + Mg^{2+} + 2CO_3^{2-}$	$10^{-17,0}$	90*
Calcita	$CaCO_3 = Ca^{2+} + CO_3^{2-}$	$10^{-8,4}$	100*
Gesso	$CaSO_4 \cdot 2H_2O = Ca^{2+} + SO_4^{2-} + 2H_2O$	$10^{-4,5}$	2.100
Silvita	$KCl = K^+ + Cl^-$	$10^{+0,9}$	264.000
Epsomita	$MgSO_4 \cdot 7H_2O = Mg^{2+} + SO_4^{2-} + 7H_2O$	-	267.000
Mirabilita	$Na_2SO_4 \cdot 10H_2O = 2Na^+ + SO_4^{2-} + 10H_2O$	$10^{-1,6}$	280.000
Halita	$NaCl = Na^+ + Cl^-$	$10^{+1,6}$	360.000

* Pressão Parcial do $CO_2 = 10^{-3}$ bar

Grandes variações nos principais cátions também ocorrem na maioria dos sistemas de águas subterrâneas. Como as trocas catiônicas mais comuns causam alterações na sequência de cátions, uma generalização similar àquela utilizada por Chebotarev (1955) para os ânions é de pouca utilidade uma vez que haveria muitas exceções à regra.

Não apenas a evolução da sequência iônica é importante na classificação das águas subterrâneas mas também a evolução da sequência eletroquímica das mesmas. A evolução eletroquímica refere-se à tendência do potencial redox das águas subterrâneas a decrescerem ao longo de seu percurso na formação geológica. As condições redox iniciais geralmente refletem elevadas concentrações de oxigênio dissolvido (OD), com valores de Eh próximo a 750 mV, para um pH 7.

Embora o OD seja um importante fator na caracterização hidroquímica das águas subterrâneas, há poucos estudos na literatura que tratam desse assunto. Sabe-se que em áreas de recarga e sistemas superficiais de formações arenosas o OD é normalmente superior a 0,1 mg/l. Para solos argilosos, por outro lado, o oxigênio dissolvido é normalmente não detectável.

PADRÃO DA QUALIDADE DA ÁGUA

O principal objetivo do tratamento analítico da água é determinar se as suas características são apropriadas para um determinado fim. As principais classes para o uso incluem o uso doméstico, industrial e agricultura. O abastecimento de água para uso municipal poderá incluir todas as classes acima e, para isso, normalmente adota padrões de qualidade mais rigorosos. Para o uso doméstico, as águas necessitam satisfazer padrões de potabilidade, que compreendem critérios que dizem respeito à proteção contra a contaminação por microorganismos patogênicos e/ou compostos tóxicos à saúde humana.

A evolução de técnicas analíticas, físico-químicas e biológicas nos últimos anos permitiu o aprimoramento dos padrões de potabilidade das águas para o consumo humano. Os constituintes químicos que são avaliados são de natureza orgânica e inorgânica. A Tabela 2 apresenta uma lista

parcial com padrões de potabilidade de alguns compostos orgânicos, inorgânicos e índices físicos, incluindo aqueles definidos tanto pela agência ambiental americana (USEPA) quanto pela Portaria 2914 do Ministério da Saúde.

A qualidade bacteriológica das águas de uso municipal é determinada através da análise de bactérias do grupo coliformios, como indicadores de níveis de contaminação perigosos. O estudo desses organismos é vantajoso porque eles são não patogênicos e são facilmente identificados.

ESTUDO DE CASO: ÁGUAS SUBTERRÂNEAS DE MACEIÓ

Nesse estudo, foram utilizados 1204 dados de análises químicas para a caracterização da qualidade da água, para um período de cerca de vinte anos, ou seja, 1980 a 2002. A elaboração dos mapas hidroquímicos para o período de 1996-1997 envolveu 64 análises. Posteriormente, serão elaborados os demais mapas para as diferentes épocas de análise bem como adicionar resultados analíticos que ainda não foram incluídos nessa etapa, de forma a investigar tendências espaciais e temporais da qualidade das águas subterrâneas em Maceió.

Para esse estudo, foram utilizados inicialmente dados de um total de 322 poços de abastecimento de água em Maceió, incluindo poços da CASAL e alguns particulares, com profundidades que variaram entre 50 e 250 m. Cabe lembrar que um estudo específico sobre a caracterização hidrogeológica da região, incluindo modelagem hidrológica e balanço hídrico, já foi realizado para a mesma região em estudo (Nobre e Nobre, 2001; Nobre et al, 2007).

ASPECTOS HIDROGEOLÓGICOS

A área em estudo situa-se na região da Bacia Sedimentar Alagoas-Sergipe, ocorrendo ao longo de todo o litoral alagoano, e é limitada, a oeste, pela linha da falha principal, no contato com o cristalino (Lima, 1990). Os sedimentos da Bacia Alagoas-Sergipe assentam-se sobre rochas ígneas e metamórficas, que formam o Complexo do Embasamento, a cerca de 6.000m de profundidade. A estratigrafia dessa bacia é consequência direta da sua evolução estrutural, sendo o preenchimento sedimentar variável de um compartimento tectônico para outro, configurando várias sub-bacias.

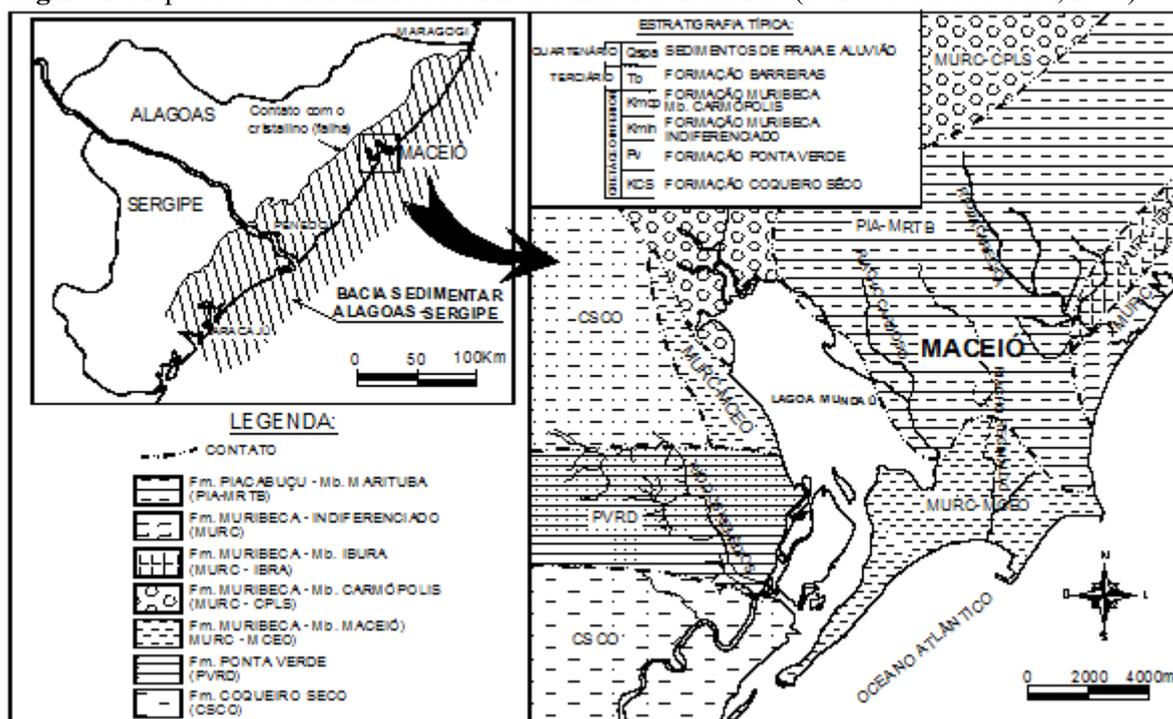
Tabela 2. Tabela parcial de padrões de potabilidade (Fonte: Autor)

PARÂMETRO	USEPA (MCL)	PORTARIA 1469 (Ministério da Saúde)	UNIDADE
Cloretos	250	250	mg/L Cl
Cobre	1	2	mg/L Cu
Ferro	0,3	0,3	mg/L Fe
Manganês	0,05	0,1	mg/L Mn
pH	6,5 - 8,5	6,0 - 9,5	
Sulfato	250	250	mg/L SO ₄
Nitrato	10	10	mg/L N
STD	500	1000	mg/L
Zinco	5	5	mg/L Zn
Arsênio	0,05	0,01	mg/L As
Bário	1	0,7	mg/L Ba
Cádmio	0,01	0,005	mg/L Cd
Cromo	0,05	0,05	mg/L Cr
Fluoretos	4	1,5	mg/L F
Chumbo	0,05	0,01	mg/l Pb
Mercúrio	0,002	0,001	mg/L Hg
Selênio	0,01	0,01	mg/L Se
Lindano	4	2	µg/L
Benzeno	5	5	µg/L
Cloreto de Vinila	2	5	µg/L
Tetr. de Carbono	5	2	µg/L
1,2 Dicloroetano	5	10	µg/L
PCBs	0,5	1	µg/L

A espessa seção de sedimentos acumulados nesta depressão, na região enfocada, apresenta um mergulho suave e uma grande variação faciológica, definindo, da base para o topo, as formações Coqueiro Seco, Ponta Verde, Muribeca (membros Maceió, Carmópolis e Ibura), Piaçabuçu (membro Marituba) e Barreiras. Estas últimas, mais superficiais, constituem-se nos horizontes com maiores potenciais de fluxo da região em estudo, com espessuras superiores a 200 m, caracterizados pelos aquíferos Barreiras e Barreiras/Marituba. A formação Ponta Verde apresenta-se como uma espessa seção de folhelhos e, desse modo, funciona como um importante aquífero na região. A geologia de superfície da área pode ser representada pelo mapa de sub-afloramentos da discordância pré-Barreiras, apresentado na Figura 1.

O grande pacote sedimentar dos tabuleiros corresponde a Formação Barreiras, de idade terciária, constituído por rochas clásticas continentais, ou seja, seixos e areias quartzosas de diversos tamanhos, com intercalações de argilas caulínicas e óxidos de ferro (Lima, 1990). No mapa de sub-afloramentos da discordância pré-Barreiras da Figura 1, são encontradas as formações relacionadas acima e seus respectivos membros. O sistema de aquíferos explorados na cidade de Maceió é constituído pela formação Barreiras e pelo membro Marituba da formação Piaçabuçu. Estas apresentam grandes espessuras de arenitos e areias que deram origem a excelentes aquíferos.

Figura 1. Mapa de Sub-afloramentos da Discordância Pré-Barreiras (Fonte: Nobre e Nobre, 2001).



ESTUDO HIDROQUÍMICO

Para o estudo hidroquímico, foram catalogados em formulários, até a presente data, 1204 análises, incluindo os principais íons expressos em mg/l e meq/l, a percentagem de cada íon em relação à soma total dos cátions ou à soma total dos ânions e a classificação das águas para o consumo humano.

As águas procedentes do sistema aquífero de Maceió são, em geral, águas moles com 63,9% das amostras indicando valores de dureza total inferiores a 50 mg/L de CaCO₃ conforme indicado na Tabela 3, com uma média igual a 81,5 mg/L de CaCO₃. Predominam, no sistema aquífero de Maceió, águas ácidas, com 60% das amostras com valores de pH inferiores a 5. Assim, os valores de pH, para a maior parte das amostras de água, não obedecem aos padrões de potabilidade indicados na Tabela 2. Apenas 2,2% das amostras apresentou pH superior a 7. Valores obtidos para os sólidos totais dissolvidos (STD) indicaram que cerca de 96% das amostras de água ficaram abaixo do limite de 1000 mg/L. Uma média igual a 291,5 mg/L foi obtida. As amostras apresentaram valores de cloretos reduzidos, sendo cerca de 90% inferiores ao limite máximo permissível igual a 250 mg/L. Os valores de nitrato ficaram, da mesma forma, abaixo do limite máximo da Tabela 3, com 98% das amostras com valores inferiores a 10 mg/L. A condutividade elétrica, um dos parâmetros normalmente usados na classificação de águas para irrigação, apresentou nos dados de análises químicas um valor médio igual a 345 microhms/cm.

Tabela 3. Tabela parcial de padrões de potabilidade. (Fonte: Autor).

INTERVALO	Nº DE ANÁLISES	% AMOSTRAS
DUREZA TOTAL (mg/L CaCO₃)		
abaixo de 50	769	63.9%
entre 50 e 100	210	17.4%
entre 100 e 150	54	4.5%
entre 150 e 200	57	4.7%
acima de 200	114	9.5%
Média = 81,51 (mg/L CaCO ₃)		
pH		
Abaixo de 5	723	60.1%
entre 5 e 7	454	37.7%
acima de 7	27	2.2%
Média = 4,91(mg/L CaCO ₃)		
SOLIDOS TOTAIS DISSOLVIDOS (mg/L)		
abaixo de 500	1046	86.9%
entre 500 e 1.000	108	9.0%
acima de 1.000	50	4.1%
Média = 291,49 mg/L		
CLORETOS (mg/L Cl)		
abaixo de 100	931	77.3%
entre 100 e 250	148	12.3%
acima de 250	125	10.4%
Média = 120,90 mg/L		
NITRATOS (mg/L N)		
abaixo de 5	1136	94.4%
entre 5 e 10	44	3.6%
acima de 10	24	2.0%
Média = 1,26 mg/L N		
TOTAL DE AMOSTRAS = 1204		

MAPAS HIDROQUÍMICOS

Um importante mecanismo de investigação da qualidade das águas subterrâneas é a compilação e apresentação dos dados químicos de uma maneira conveniente para inspeção visual. Para esse fim, há vários métodos gráficos disponíveis (p.e., CPRM, 1997). Todos esses métodos apresentam a quantidade relativa de íons, em cada amostra de água, para vários pontos de amostragem. Nesse trabalho, foi aplicado o método do diagrama de *Stiff* (1951), no qual todas as concentrações iônicas em unidades de meq/L são representadas sobre linhas paralelas horizontais. Assim, é obtida uma figura geométrica para cada ponto de amostragem que indica a classificação química da água naquele poço a depender do percentual relativo dos ânions e cátions (Domenico e Schwartz, 1990). Esses diagramas podem também definir o padrão de tendências espaciais entre diferentes unidades geológicas, ao longo de uma seção ou linha de fluxo.

A Tabela 4 sumariza os resultados obtidos com a aplicação do método de *Stiff* (1951) para todas as análises químicas relativas aos anos de 1996-1997, indicando a distribuição da frequência dos diversos tipos químicos, para um total de 64 análises. Essas análises foram subdivididas em duas faixas de profundidade, até 100 m (poços rasos) e superior a 100 m (poços profundos). Os diagramas elaborados com os percentuais de íons dissolvidos foram lançados no mapa de Maceió, conforme ilustrado nas Figuras 2 e 3.

Tabela 4. Classificação dos tipos químicos. (Fonte: Autor).

TIPO QUÍMICO	QUANTIDADE DE AMOSTRAS		%
	POÇO RASO (P ≤ 100)	POÇO PROFUNDO (P > 100)	
Bicarbonatada Cálcica	2	-	3%
Bicarbonatada Sódica	-	-	0%
Bicarbonatada Magnésiana	3	5	12,5%
Sulfatada Cálcica	1	-	1,5%
Sulfatada Sódica	-	-	0%
Sulfatada Magnésiana	1	1	3%
Cloretada Cálcica	3	2	7,8%
Cloretada Sódica	1	3	6,2%
Cloretada Magnésiana	18	24	66%
TOTAL	29	35	100%
TOTAL DE ANÁLISES: 64			

Conforme os resultados resumidos na Tabela 4 e ilustrados nas Figuras 2 e 3, verifica-se que há uma predominância de águas do tipo cloretada magnésiana no sistema aquífero de Maceió com 66% das amostras, para os anos de 1996 e 1997. Em seguida, águas do tipo bicarbonatada magnésiana ficaram com 12,5 % das amostras, grande parte relativa às áreas de maior recarga do aquífero, ou seja, na porção norte da cidade. Como a maior parte das amostras analisadas é proveniente de zonas de descarga naturais do aquífero, próximo ao litoral, era de se esperar uma quantidade pouco significativa de águas bicarbonatadas. No total, foi calculado um percentual de 15,5% de águas bicarbonatadas (cálcicas, sódicas e magnésianas), 4,5% de águas sulfatadas e 80% de águas cloretadas. Não foram observadas diferenças significativas para os resultados das análises dos poços rasos (até 100m) e profundos (100-250m). Verifica-se, com base nas Figuras 2 e 3, uma maior quantidade de íons dissolvidos nas regiões de descarga do aquífero.

INTRUSÃO MARINHA

O fluxo de água doce, em condições naturais, encontra-se normalmente em estado de equilíbrio onde o oceano se constitui na zona preferencial de descarga hidráulica. Este equilíbrio só é alterado quando ocorrem mudanças climáticas ou interferências externas. No caso em estudo, com o bombeamento elevado na faixa litorânea na cidade de Maceió, a zona de captura do sistema de poços deve já ter atingido, em algumas áreas, a interface de água doce/salgada (Nobre e Nobre, 2001). A verificação de águas com elevado teor de cloretos em diversos poços tubulares na faixa costeira, e até mesmo em muitos poços construídos em bairros mais afastado do litoral ratifica a ocorrência de processos de intrusão marinha. Como exemplo, a Figura 4 apresenta a evolução das concentrações de cloretos com o tempo, onde se verifica uma nítida tendência de elevação dos valores de cloretos, que eram da ordem de 60 mg/L em 1993 e passou a valores superiores a 3000 a partir de 2002. É necessário, então, que sejam estabelecidas as condições de exploração na cidade, através da implementação da lei estadual de recursos hídricos, para que tal ascensão de sal não afete as demais captações.

Figura 2. Mapeamento hidroquímico das águas subterrâneas de Maceió, utilizando dados de poços rasos ($p < 100$ m) no período de 1996 – 1997. (Fonte: Autor).

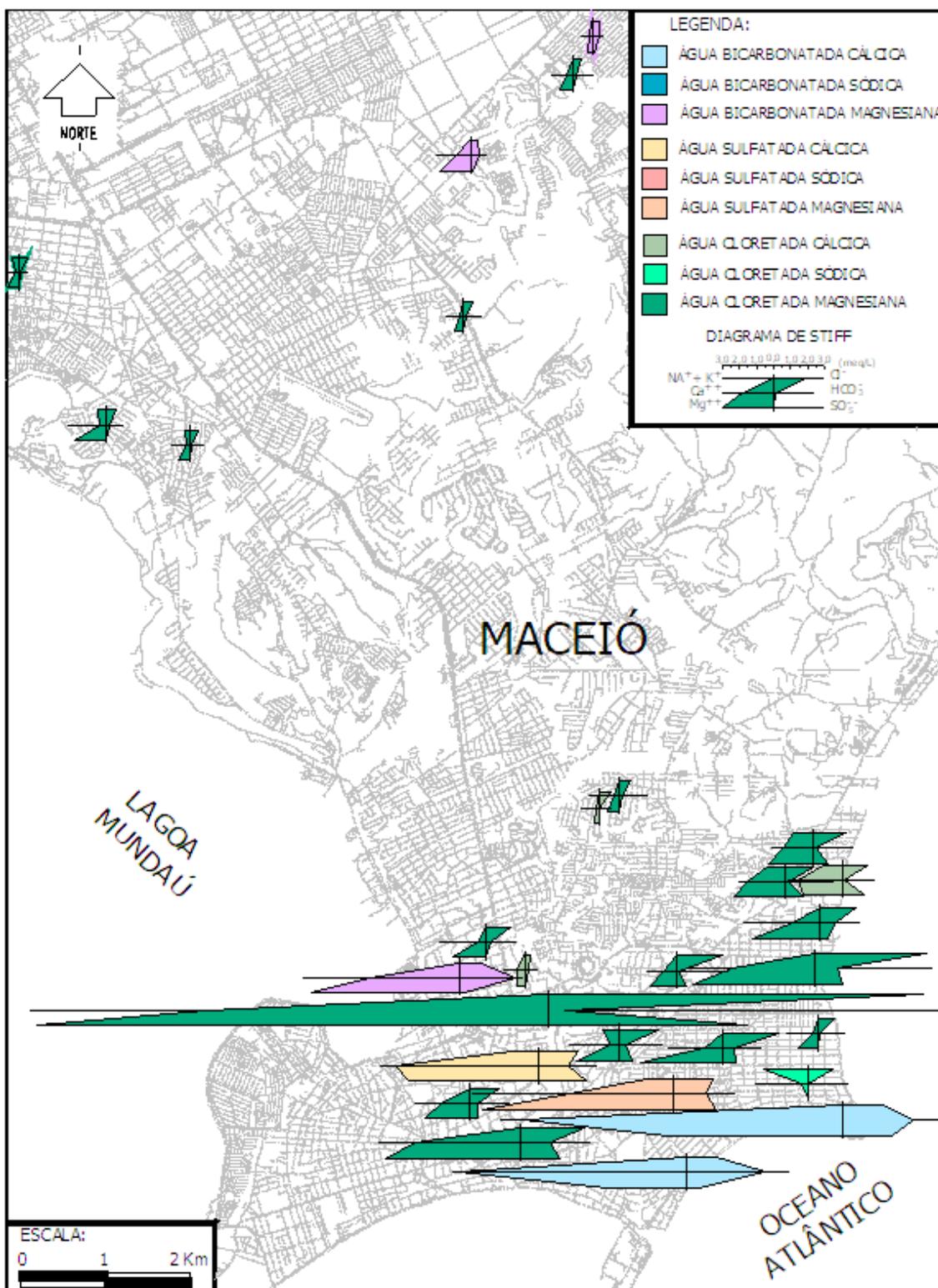


Figura 3. Caracterização hidroquímica das águas subterrâneas de Maceió, utilizando dados de poços profundos ($P > 100$ m) no período de 1996 – 1997. (Fonte: Autor).

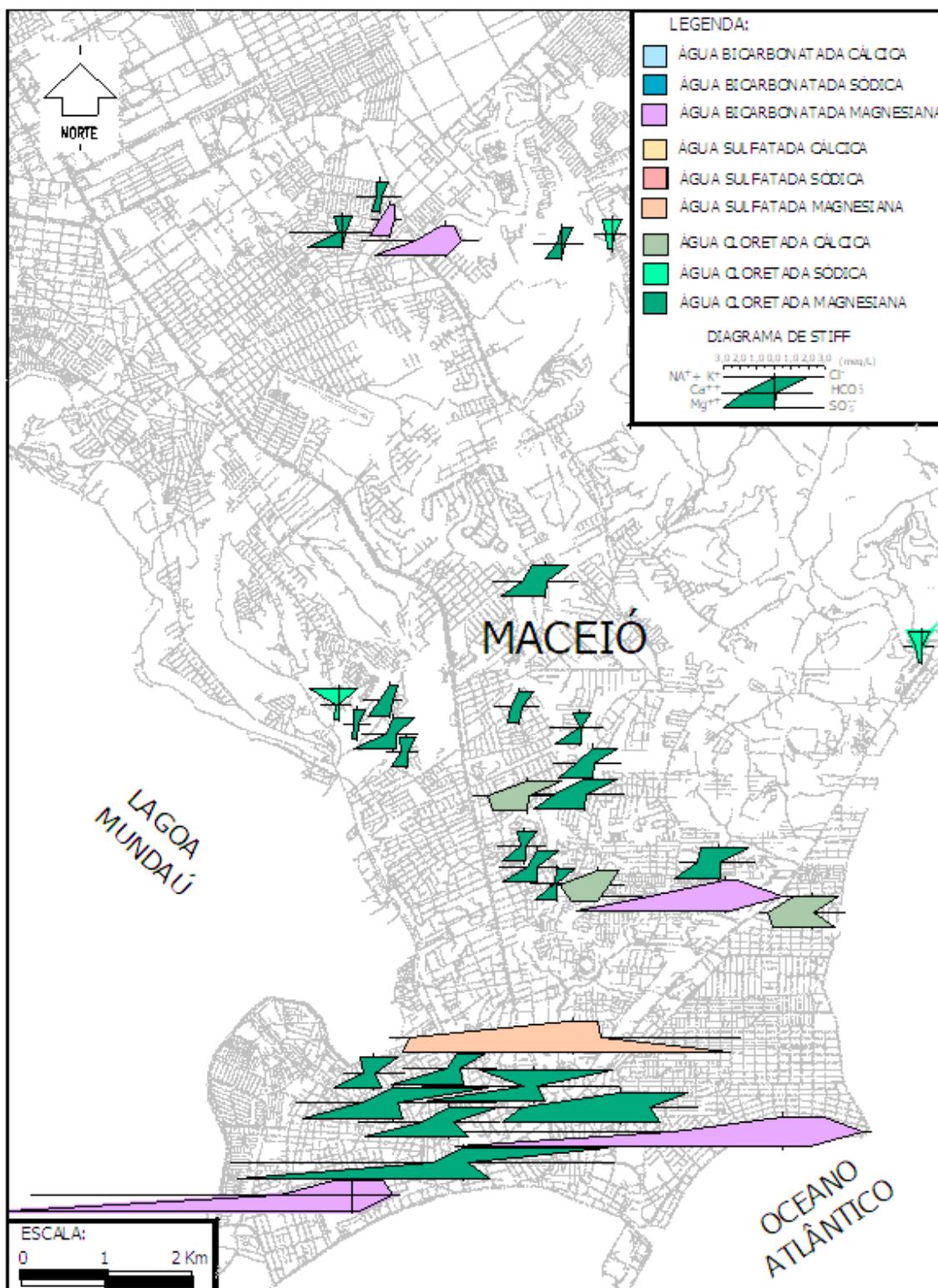
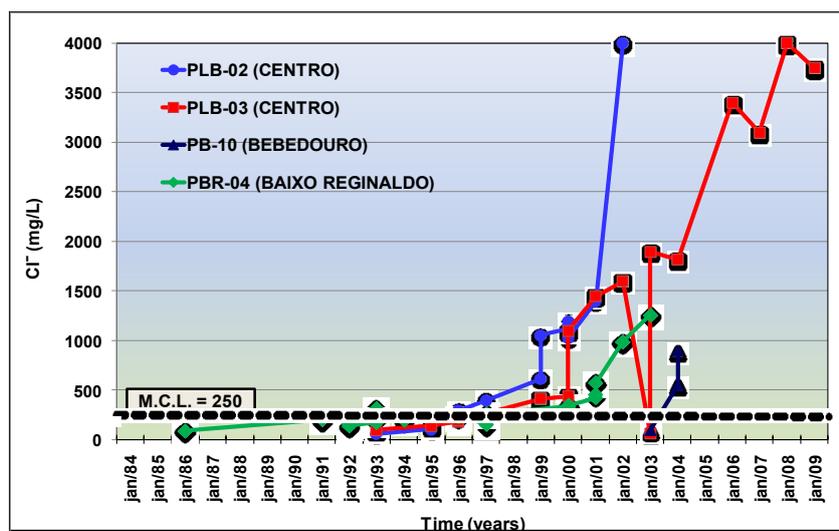


Figura 4. Evolução das concentrações de cloretos em 4 poços de Maceió

CONSIDERAÇÕES FINAIS

As águas subterrâneas são sensíveis às diversas alterações ambientais e impactos de origem antrópica. Assim, as suas características geoquímicas devem ser avaliadas periodicamente de forma a garantir a sua integridade e padrões de qualidade. Neste trabalho, foi realizada uma investigação preliminar da qualidade das águas do sistema aquífero de Maceió-AL, através da consolidação de uma lista parcial de resultados analíticos padrões de amostras de águas subterrâneas de poços da região, relativos ao período de cerca de 20 anos.

Foi verificado que, de uma forma geral, são satisfeitos os critérios de potabilidade definidos pelas leis ambientais vigentes. Entretanto, como não foi avaliada a possibilidade da existência de compostos tóxicos como hidrocarbonetos aromáticos, (p.e., BTEX), metais pesados e PCBs (p.e., ascarel), não se pode afirmar que as águas subterrâneas estão isentas de qualquer contaminação. Teores de cloretos bastante elevados já são constatados em poços isolados da cidade. Esta tendência é preocupante pois pode haver uma extensão da ascensão da cunha salina.

Portanto, um tratamento sistêmico faz-se necessário (p.e., modelamento matemático regional) de forma a avaliar zonas de captura de poços de abastecimento e a vulnerabilidade dos aquíferos da região frente às potenciais fontes de contaminação. Assim, um diagnóstico mais rigoroso, através de análises químicas adicionais (específicas a determinados contaminantes) deverá ser realizado para poços inseridos em regiões de maior vulnerabilidade da cidade com definição de zonas de captura dos principais poços de abastecimento na Região Metropolitana de Maceió.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao CNPq – Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico - e à CASAL pelas informações fornecidas.

REFERÊNCIAS

- CHEBOTAREV, I.I., 1955. **Metamorphism of natural waters in the crust of weathering.** Geochim. Cosmochim. Acta, 8, pp. 22-48.
- CPRM. 1997. **Hidrogeologia – Conceitos e Aplicação.** CPRM, Serviço Geológico do Brasil.

- DOMENICO, P.A., 1972. **Concepts and Models in Groundwater Hydrology**. McGraw-Hill, NY.
- DOMENICO, P.A. e Schwartz, F.W., 1990. **Physical and Chemical Hydrogeology**. John Wiley & Sons, 824p.
- DREVER, J. I., 1997. **The Geochemistry of Natural Waters**. Prentice Hall, Inc. NJ, 436p.
- DRISCOLL, F.G., 1987. **Groundwater and Wells**. Johnson Division, Minnesota, 1089p.
- FREEZE, R.A. e Cherry, J.A., 1979. **Groundwater**. Englewood Cliffs, N.J., Prentice Hall, 604p.
- LIMA, I. F. 1990. **Maceió, a Cidade Restinga** – Contribuição ao Estudo Geomorfológico do Litoral Alagoano. EDUFAL, 130 p.
- NOBRE, M.M.M. e Nobre, R.C.M., 2001. Caracterização Hidrogeológica para o Uso Racional e Proteção dos Mananciais Subterrâneos em Maceió-AL. **Revista de Recursos Hídricos da ABRH**, V.6, N1, pp. 7-20.
- NOBRE, R.C.M., Rotunno Filho, O.C., Mansur, W.J., Nobre, M.M.M., Cosenza, C.A.N. (2007). Groundwater Vulnerability and Risk Mapping Using GIS, Modeling and a Fuzzy Logic Tool. *Journal of Contaminant Hydrology*, 94: 277-292.
- STIFF., H. A., 1951. The interpretation of chemical water analyses by means of patterns. **Journal Petroleum Technology**, V3, N10.