



ÍNDICE DE QUALIDADE DE ÁGUA (IQACCME) APLICADO À AVALIAÇÃO DE AQUÍFEROS DO ESTADO DO RIO DE JANEIRO

WATER QUALITY INDEX (CCMEWQI) APPLIED FOR EVALUATION OF GROUNDWATER OF THE STATE OF RIO DE JANEIRO

Juliana Magalhães Menezes¹, Gerson Cardoso da Silva Jr², Rachel Bardy Prado³

Artigo recebido em: 11/12/2012 e aceito para publicação em: 11/06/2013.

Abstract: The quality of some aquifers of Rio de Janeiro State was evaluated by applying, in 168 samples, the Water Quality Index (WQI) developed by the Canadian Council of Ministers of the Environment (CCME) in 1997. The maximum allowable values for the parameters were mostly those established by Brazilian Environmental Council CONAMA Resolution 396/08 for human consumption. The index was calculated with two compositions: a) Na⁺, Fe, Al, SO₄²⁻, Mn, NO₃⁻ and Cl⁻ and b) these and other cations, anions and pH. The results of the two compositions differ. In general, the waters of Southern Rio de Janeiro State have the best rates, around 70% of the samples within the classes qualified as excellent and good. The opposite occurred with the waters of the Northwest and Coastal North and Eastern Rio de Janeiro, where most of the samples were ranked between regular and very bad.

Keywords: Waterquality index. Aquifer. Contamination. Rio de Janeiro.

Resumo: A qualidade de alguns aquíferos do Estado do Rio de Janeiro foi avaliada, por meio da aplicação, em 168 amostras, do Índice de Qualidade de Água (IQA) desenvolvido pelo *Canadian Council of Ministers of the Environment* (CCME) em 1997. Os valores máximos permitidos para os parâmetros foram, em sua maioria, os estabelecidos pela Resolução CONAMA 396/08, para consumo humano. O índice foi calculado com duas composições: a) Na⁺, Fe, Al, SO₄²⁻, Mn, NO₃⁻ e Cl⁻ e b) estes e outros cátions, ânions, pH e coliformes termotolerantes. Os resultados das duas composições apresentaram diferenças. De forma geral, as águas do Sul Fluminense obtiveram os melhores índices com cerca de 70% das amostras qualificadas dentro das classes ótima e boa. O oposto ocorreu com as águas do Noroeste e dos Litorais Norte e Leste, onde a maior parte das amostras foi classificada entre regular e muito ruim.

Palavras-chave: Índice de qualidade de água. Aquífero. Contaminação. Rio de Janeiro.

INTRODUÇÃO

Na Região Metropolitana do Estado do Rio de Janeiro (RMRJ) o uso das águas subterrâneas é relativamente pouco expressivo, pois esta é abastecida predominantemente por águas superficiais. No restante dos municípios que compõem o Estado, nos quais os domicílios são servidos por água proveniente de uma rede geral de distribuição canalizada, o uso de águas subterrâneas supre cerca de 40% do volume total, e naqueles que não possuem rede de abastecimento, a utilização de águas subterrâneas chega a 70% (IBGE, 2000). Por isso, é importante avaliar os impactos que essas águas vêm sofrendo, uma vez que trabalhos sobre a qualidade das águas do Estado do Rio de Janeiro

mostram que as águas superficiais, e também boa parte das águas subterrâneas estão contaminadas (FREITAS E ALMEIDA, 1999; SILVA et al., 2002; BARBOSA, 2005; MENEZES et al., 2005, 2008; PRADO et al., 2005).

Nesse contexto, este trabalho pretende avaliar a qualidade das águas subterrâneas de dezesseis municípios do Rio de Janeiro a partir da aplicação de um Índice de Qualidade de Água (IQA). O método utilizado é o *CCME Water Quality Index* (IQA_{CCME}), que foi desenvolvido por uma comissão de especialistas em qualidade de água do *Canadian Council of Ministers of the Environment* (CCME) em 1997. A proposta foi a de avaliar diferentes índices

¹ Laboratório de Geotecnologias e Monitoramento Ambiental, Departamento de Geografia - Universidade Federal Fluminense - Polo Campos dos Goytacazes (juliana_menezes@id.uff.br).

² Laboratório de Hidrogeologia, Departamento de Geologia - Universidade Federal do Rio de Janeiro (gerson@acd.ufrj.br).

³ Centro Nacional de Pesquisa de Solos - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (rachel@cnps.embrapa.br).

aplicados por diversas instituições e jurisdições no Canadá e formular um IQA que simplificasse os relatórios de qualidade de água e pudesse ser acessível aos não especialistas.

O índice é uma diretriz de condução, uma ferramenta que permite ao usuário extrair de grande quantidade de dados de qualidade da água um único número, ou índice (CCME, 2001a). O IQACCME tem sido aplicado no programa de monitoramento de qualidade da água do Canadá desde 2001, sempre com muito êxito (KHAN et al., 2004; LUMB et al., 2006).

No Brasil, o índice mais difundido e utilizado foi desenvolvido pela NSF (*National Sanitation Foundation*) dos Estados Unidos e adaptado pela CETESB (Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental) (MOLINA et al., 2006; OLIVEIRA et al., 2006; ZUFFO-GENOVEZ, 2006; SOUSA et al., 2007). O IQACCME tem sido pouco empregado no Brasil, com exceção de alguns trabalhos de avaliação da qualidade de águas superficiais (ALMEIDA,

2007; AMARO et al., 2008).

A presente pesquisa integra o projeto “AcquaRio – Avaliação da Qualidade das Águas do Estado do Rio de Janeiro” desenvolvido pelo Laboratório de Hidrogeologia da Universidade Federal do Rio de Janeiro em parceria com o Laboratório de Geotecnologias e Monitoramento Ambiental da Universidade Federal Fluminense.

METODOLOGIA

Base de Dados

A base de dados utilizada foi montada a partir de projetos de pesquisa desenvolvidos ao longo dos últimos anos pelos autores, e os procedimentos analíticos utilizados em laboratório seguem a metodologia do *Standard Methods* (APHA, 1995). A tabela 1 apresenta nomes dos projetos, região administrativa, municípios de abrangência, número de pontos utilizados neste trabalho, ano das coletas e principais referências bibliográficas.

Tabela 1 - Base de dados utilizada para elaboração do IQACCME

Table 1 - Sources of the database used for the preparation of this work

Projeto	Modesthi	Acost-Rio	Águas Subterrâneas na Bacia do rio Macaé	Vulnerabilidade de Aquíferos Fraturados
Região	Sul Fluminense	Litoral Leste Fluminense	Litoral Norte Fluminense	Noroeste Fluminense
Municípios	Resende, Itatiaia, Porto Real e Quatis	Araruama, Armação dos Búzios, Arraial do Cabo, Cabo Frio, Maricá, Niterói, Rio das Ostras, São Pedro d' Aldeia e Saquarema	Macaé	São José de Ubá e Itaperuna
Pontos analisados	25 pontos: 2 nascentes, 3 poços escavados e 20 poços profundos	60 pontos: 10 poços escavados e 50 poços profundos	36 pontos: 22 piezômetros, 9 poços escavados, 5 poços profundos	47 pontos: 37 poços escavados e 10 poços profundos
Ano das Coletas	1999	2000	2004 (piezômetros) e 2005 (poços)	2004
Referências Bibliográficas	Castro, 2000; Silva Jr. et al., 2000 e Pizani, 2003.	Lowsby e Alves, 2000; Silva Jr. e Pizani, 2003 e Cruz, 2006.	Barbosa e Silva Jr., 2005 e Bento, 2006.	Prado et al., 2005 e Menezes et al., 2008.

Índice de Qualidade de Água (IQACCME)

De acordo com o CCME (2001b), o IQACCME é composto por três fatores (F_1 , F_2 , F_3). O primeiro, F_1 , calculado com a equação 1, é chamado de Alcance e representa a porcentagem de parâmetros que estão em inconformidade com os valores de referência ou critérios de qualidade; ou seja, são superiores (ou inferiores,

quando o objetivo é o mínimo) ao limite estabelecido para dado fim, neste trabalho, consumo humano.

$$F_1 = \left(\frac{\text{Número de parâmetros inconformes}}{\text{Número total de parâmetros}} \right) \times 100 \quad (\text{Equação 1})$$

O segundo fator a ser calculado, o F_2 , representa a Frequência com que cada parâmetro analisado, em cada amostra, não atende aos valores de referência. Essa comparação, entre os resultados dos parâmetros com os valores de referência, é denominada "teste". A Frequência (F_2) é calculada através da equação 2.

$$F_2 = \left(\frac{\text{Número de testes em inconformidade}}{\text{Número total de testes}} \right) \times 100 \quad (\text{Equação 2})$$

O F_3 , o terceiro fator, representa a Amplitude das falhas dos testes; ou seja, refere-se à distância entre cada parâmetro e o limite de referência. A sua determinação é feita em três

passos: do cálculo da variação, da soma normalizada das variações (nse) e da padronização da soma. Define-se "variação" o número de vezes que a concentração de um indivíduo é superior (ou inferior, quando o objetivo é o mínimo) ao limite estabelecido.

O primeiro passo é calcular o número de vezes que a concentração de um parâmetro não atende os critérios de qualidade, ou seja, os objetivos definidos; a equação 3 é utilizada nos casos em que o parâmetro não deve exceder o valor de referência e a equação 4 quando o parâmetro não deve ser inferior ao valor de referência ou objetivo:

$$\text{Variação}_i = \left(\frac{\text{Valor que excede o limite de referência}_i}{\text{Valor de referência}_j} \right) - 1 \quad (\text{Equação 3})$$

$$\text{Variação}_i = \left(\frac{\text{Valor de referência}_j}{\text{Valor que excede o limite de referência}_i} \right) - 1 \quad (\text{Equação 4})$$

O segundo passo é a determinação da soma normalizada dos desvios ou variações ou nse . É calculada pela soma das variações dos testes individuais e dividida pelo número total de testes (considerando os que estão em conformidade e os que estão em inconformidade com os valores de referência), utilizando a equação 5:

$$nse = \frac{\sum_{i=1}^n \text{variação}_i}{\text{Número de testes}} \quad (\text{Equação 5})$$

O terceiro fator, F_3 , é calculado a partir da padronização da nse , em relação aos critérios estabelecidos, em uma escala entre 0 e 100, de acordo com a equação 6:

$$F_3 = \left(\frac{nse}{0,01nse + 0,01} \right) \quad (\text{Equação 6})$$

Finalmente, o IQA_{CCME} é obtido com a soma dos três fatores utilizando a equação 7; a soma dos quadrados de cada elemento é, portanto, igual ao quadrado do índice. Esta metodologia trata o índice como sendo um vetor no espaço tridimensional, definido por cada um dos fatores.

$$IQA_{CCME} = 100 - \left(\frac{\sqrt{F_1^2 + F_2^2 + F_3^2}}{1,732} \right) \quad (\text{Equação 7})$$

Nesta equação, o fator 1,732 é obtido porque cada fator varia de 0 e 100, sendo 0 o representativo da "pior" e 100 da "melhor" qualidade da água. Sendo esta faixa considerada para cada um dos três fatores ele é calculado pela equação 8:

$$\sqrt{100^2 + 100^2 + 100^2} = \sqrt{30000} = 173,2 \quad (\text{Equação 8})$$

Determinado o IQA_{CCME} , um valor entre 0 e 100, a qualidade da água pode ser classificada em uma das categorias apresentadas na tabela 2.

Aplicação do IQA_{CCME}

O IQA_{CCME} foi aplicado com dois métodos distintos em cada um dos pontos amostrados, por ser um índice aberto possibilita tanto a inclusão de n parâmetros como a utilização de valores de referência de acordo com o objetivo da análise. No caso em questão, os valores empregados foram prioritariamente os da Resolução de nº 396/08 do Conselho Nacional do

Meio Ambiente - CONAMA (BRASIL, 2008), que trata do enquadramento das águas subterrâneas. Somente quando os valores máximos permitidos não foram encontrados nessa Resolução é que foram utilizados os valores da classe 1 da Resolução CONAMA nº 357/05 (BRASIL, 2005), que trata das águas superficiais.

No primeiro método, com objetivo de comparar a qualidade das águas, os parâmetros utilizados foram iguais para as quatro áreas e foram empregados somente os parâmetros com valores de referência definidos para águas subterrâneas destinadas ao consumo humano pela Resolução de nº 396/08 do CONAMA e comuns às Bases de Dados das quatro áreas, que são: Cl^- , NO_3^- , SO_4^{2-} , Al, Fe, Mn e Na^+ .

No segundo método, para verificar ca-

racterísticas das áreas, os parâmetros utilizados na composição do índice foram os da Base de Dados de cada área que têm valores de referência no CONAMA. A tabela 3 apresenta os parâmetros utilizados e a tabela 4 os valores médios dos parâmetros utilizados nas composições do IQACCME e os valores de referência da Resolução CONAMA 396/08 (consumo humano), com exceção de Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO), Oxigênio Dissolvido (OD) e pH, que não possuem valores de referência para consumo humano na legislação de água subterrânea. Por isso, os limites adotados foram os estabelecidos para a classe 1 da Resolução CONAMA 357/05 (BRASIL, 2005), que trata das águas superficiais.

Tabela 2 – Categorias do IQACCME (CCME, 2001b)

Table 2 – Categories of CCMEWQI (CCME, 2001b)

Categoria	Faixas	Características
Ótima	95,0 a 100,0	A qualidade da água está muito perto das características naturais ou níveis desejáveis. Os valores somente são alcançados se em todos os parâmetros, todas as medições estiverem em conformidade.
Boa	80,0 a 94,9	A qualidade da água está protegida, mas existe pequena ameaça ou algum nível de deterioração foi observado; raramente difere das condições naturais ou níveis desejáveis.
Regular	65,0 a 79,9	Alguns parâmetros apresentam inconformidade, indicando que a qualidade da água está ameaçada ou comprometida; às vezes, os valores dos parâmetros se afastam das condições naturais ou níveis desejáveis.
Ruim	45,0 a 64,9	A qualidade da água está frequentemente sendo ameaçada ou está deteriorada; muitas vezes, os valores dos parâmetros se afastam das condições naturais ou níveis desejáveis.
Muito ruim	0,0 a 44,9	A qualidade da água está quase sempre em perigo ou deteriorada; os valores dos parâmetros frequentemente se afastam das condições naturais ou níveis desejáveis.

Tabela 3 - Parâmetros utilizados, por área, nas composições do IQACCME

Table 3 - Parameters used by area, in the compositions of CCMEWQI

Área de Estudo	Parâmetros
	1ª composição
Todas as áreas	Na^+ , Cl^- , NO_3^- , SO_4^{2-} , Al, Fe, Mn
	2ª composição
Sul Fluminense	Na^+ , Cl^- , NO_3^- , SO_4^{2-} , Al, Fe, Mn, NO_2^- , As, B, Ba, Be, Cd, Cr, Cu, Mo, Pb, Se, V, Zn, pH
Litoral Leste Fluminense	Na^+ , Cl^- , NO_3^- , SO_4^{2-} , Al, Fe, Mn, As, B, Ba, Cr, Cu, Mo, Pb, Se, Zn, pH
Litoral Norte Fluminense	Na^+ , Cl^- , NO_3^- , SO_4^{2-} , Al, Fe, Mn, NO_2^- (somente nos piezômetros), pH
Noroeste Fluminense	Na^+ , Cl^- , NO_3^- , SO_4^{2-} , Al, Fe, Mn, NO_2^- , As, B, Ba, Cd, Cr, Cu, Mo, Pb, Sb, Se, V, Zn STD, DBO, OD, pH, Coliformes fecais/termotolerantes

Tabela 4 - Valores médios dos parâmetros utilizados nas composições do IQA_{CCME} em cada área**Table 4** - Average by area of study of the parameters used in the compositions of CCMEWQI

Parâmetros	Limites CONAMA	Sul Fluminense			Litoral Leste Fluminense		Litoral Norte Fluminense			Noroeste Fluminense	
		NC	PE	PT	PE	PT	PZ	PE	PT	PE	PT
Coliformes fecais/ termotol- erantes (NMP)	Ausentes em 100ml (*)									91,931	72,500
DBO (mg/L)	5 dias a 20°C até 3 mg/L O ₂ (**)									3,745	2,960
OD (mg/L)	Em qualquer amostra, não inferior a 6 mg/L O ₂ (**)									4,958	5,260
pH	6,0 a 9,0 (**)	4,93	5,78	7,17	5,88	6,28	5,84	5,74	5,87	8,75	6,74
STD (mg/L)	1000 (*)									370,51	802,00
Cl ⁻ (mg/L)	250 (*)	20,37 5	5,100	2,720	453,616	1016,72 2	23,136	46,000	51,840	26,786	30,838
NO ₃ ⁻ (mg/L)	10 (*)	26,96 5	1,797	1,915	73,802	19,553	0,616	7,556	1,900	6,521	2,433
NO ₂ ⁻ (mg/L)	1 (*)	0,020	0,020	0,022			0,060			0,062	0,000
SO ₄ ²⁻ (mg/L)	250 (*)	7,485	1,393	4,138	95,230	184,467	61,818	31,200	31,600	19,212	102,09 3
Al (mg/L)	0,2 (*)	0,300	0,100	0,145	0,175	0,170		5,078	0,160	0,197	0,001
As (mg/L)	0,01 (*)	0,010	0,010	0,010	0,010	0,013				0,000	0,000
B (mg/L)	0,5 (*)				0,399	0,315				0,447	1,294
Ba (mg/L)	0,7 (*)	0,096	0,026	0,103	0,084	0,057				0,138	0,094
Be (mg/L)	0,004(*)	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001					
Cd (mg/L)	0,005(*)	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001				0,000	0,000
Cr (mg/L)	0,05(*)				0,0225	0,0254				0,0008	0
Cu (mg/L)	2(*)	0,010	0,010	0,012	0,010	0,019				0,001	0,002
Fe (mg/L)	0,3(*)	0,014	1,318	0,535	0,708	1,555	6,391	3,927	0,178	0,092	1,019
Mn (mg/L)	0,1(*)	0,210	0,083	0,135	0,114	0,074	1,058	1,421	0,390	0,074	0,477
Mo (mg/L)	0,07(*)	0,005	0,005	0,006	0,008	0,013				0	0,0001
Na (mg/L)	200(*)	11,75 0	2,900	36,855	241,830	613,723	13,318	34,600	36,660	32,127	48,767
Pb (mg/L)	0,01(*)	0,006	0,005	0,005	0,006	0,034				0,001	0,0004
Sb (mg/L)	0,005(*)									0	0
Se (mg/L)	0,01(*)	0,020	0,020	0,021	0,025	0,021				0	0
V (mg/L)	0,05(*)	0,020	0,020	0,021	0,023					0,002	0,0004
Zn (mg/L)	5(*)	0,024	0,066	0,131	0,026	0,228				0,007	0,022

NC = nascente; PE = poço escavado; PT = poço tubular; PZ = piezômetro. (*) Limites para consumo humano, Conama 396/08; (**) Classe 1, Conama 357/05.

ÁREAS DE ESTUDO

A aplicação do índice abrange aquíferos fraturados e sedimentares em dezesseis municípios (Figura 1) localizados nas Regiões Sul Fluminense, Litoral Leste, Litoral Norte e Noroeste Fluminense. No Estado predominam rochas ígneas e metamórficas pré-cambrianas (Arqueozóico e Proterozóico), porém 84,5% das áreas de cristalino do Estado do Rio de Janeiro apresentam favorabilidade hidrogeológica acima da média encontrada, em geral, para áreas de cristalino no país (BARRETO et al., 2001). A determinação da favorabilidade aplicada ao contexto dos recursos hídricos subterrâneos consiste na combinação e análise cruzada de

temas (tais como: litologia, estruturas, declividade do terreno, espessura de solos, pluviometria etc.) organizados em uma base de dados em ambiente de Sistema de Informação Geográfica, de modo a permitir a delimitação de áreas favoráveis à acumulação e extração de água subterrânea.

Região Sul Fluminense

A bacia sedimentar de Resende abrange os municípios de Resende, Itatiaia, Porto Real e Quatis, localizada no curso médio do Rio Paraíba do Sul, é uma bacia de idade terciária, de forma prolongada na direção N75E, com cerca

de 50 km de comprimento e largura média de 6 km, formando uma depressão tectônica encaixada entre a Serra da Mantiqueira e a Serra da Bocaina (MELO, 1985).

Ramos (2003) na descrição da estratigrafia da bacia de Resende reconhece a Formação Quatis, sucessão conglomerática e arenítica basal e a Formação Resende, depósitos fluviais (arenosos) e de fluxos gravitacionais (lamitos arenosos verdes), que apresentam a maior superfície aflorante na bacia. A Formação Floriano designa a delgada sucessão de camadas areníticas e pelíticas aflorantes no topo das colinas suaves presentes. Ocorrem ainda sedimentos aluviais arenosos e lamosos do Holoceno fe-

chando a sequência estratigráfica.

Pizani (2003), no modelo hidrogeológico da bacia de Resende, considerou três tipos de aquíferos: sedimentar multicamadas; sedimentar livre e cristalino. O sedimentar multicamadas é representado pelas formações Resende e Floriano, e tem espessura média de 100m, estendendo-se por toda a área da bacia. As águas deste aquífero são do tipo bicarbonatada sódica (captadas abaixo de 100m de profundidade) e bicarbonatada cálcica (captadas acima de 100m de profundidade). Há um predomínio do tipo bicarbonatada cálcica, já que o horizonte de exploração em geral é menor que 100m.

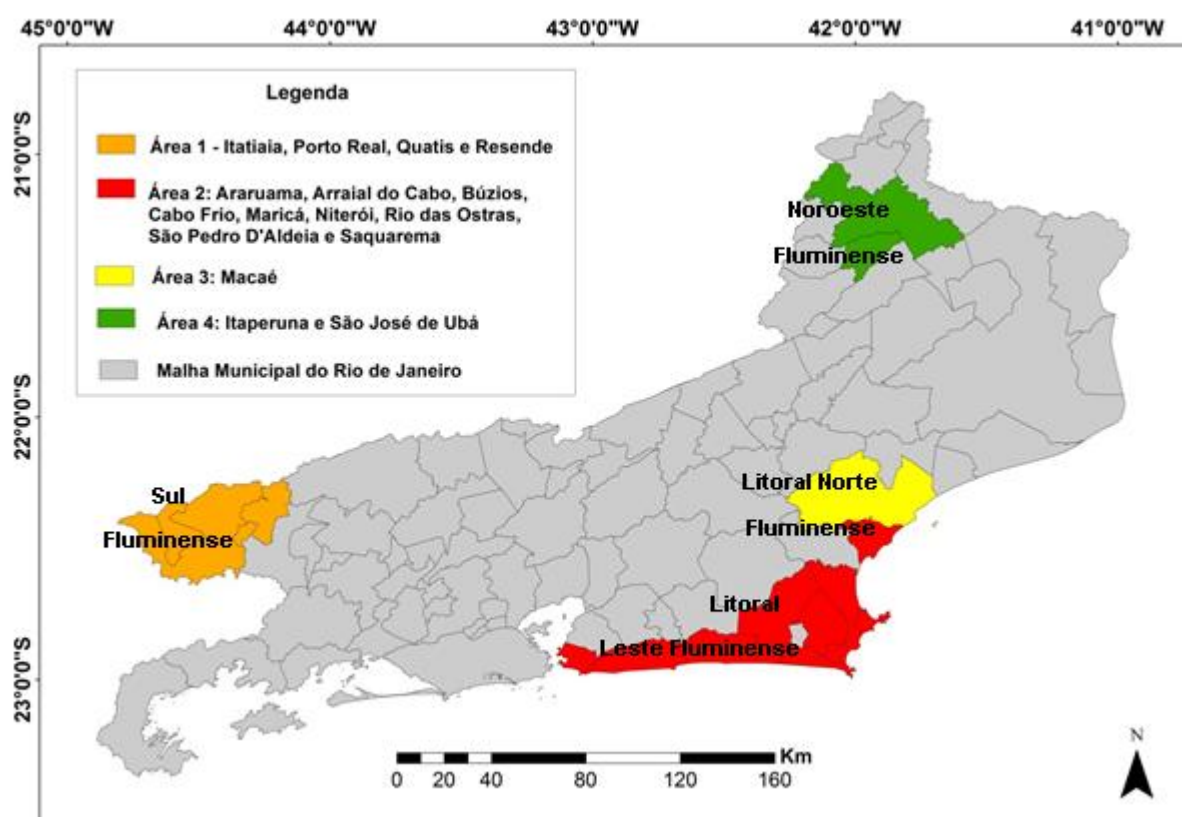


Figura 1 - Localização das áreas de estudo no Estado do Rio de Janeiro. Área 1: Sul Fluminense, Região do Médio Paraíba; área 2: Litoral Leste, Região das Baixadas Litorâneas ou Região dos Lagos; área 3: Litoral Norte Fluminense e área 4: Noroeste Fluminense

Figure 1 - Location of study areas in the State of Rio de Janeiro. Area 1: South Fluminense, Region Middle Paraíba; area 2: East Coast, Region of coastal lowland or Lakes Region; Area 3: North Coast Fluminense and area 4: Northwest Fluminense

O aquífero sedimentar livre está associado a terraços fluviais e aluviões quaternários, e as águas são geralmente utilizadas para fins de abastecimento doméstico, com composição química do tipo bicarbonatada cálcico-sódica de baixa mineralização. O aquífero cristalino é constituído pelas rochas que representam o embasamento da bacia, como os gnaisses pré-cambrianos e as rochas alcalinas. Em alguns

casos, os poços situados no fraturado captam águas tanto do aquífero cristalino quanto do aquífero multicamadas, sendo, portanto, de captação mista. O aquífero cristalino apresenta águas do tipo bicarbonatada sódica e bicarbonatadas cálcico-magnesianas.

A bacia de Resende tem recebido a instalação de distritos industriais, o que gera demanda crescente por água subterrânea na região

e torna os estudos hidrogeológicos e hidrogeoquímicos mais importantes (SILVA JR. et al., 2000).

Região Litoral Leste Fluminense

Esta área está compreendida entre os municípios de Niterói e Rio das Ostras, na qual, apesar da expansão da rede de distribuição de água superficial, vários aquíferos são explorados intensamente, por meio de poços particulares, principalmente durante o verão, quando aumenta a população devido ao fluxo de veranistas. Além disso, são submetidos a contaminação proveniente do lançamento de efluentes domésticos, pois são quase inteiramente desprovidas de sistemas de tratamento de esgotos (CRUZ et al., 2003).

Segundo o programa de levantamentos geológicos básicos do Brasil da CPRM (CPRM, 2001), do ponto de vista geológico essa região de estudo está inserida predominantemente no Domínio Região dos Lagos e no Domínio Serra do Mar. O Domínio Região dos Lagos, na parte oriental da província, é constituído por ortognaisses paleoproterozóicos e por supracrustais (Complexo Búzios) metamorfizadas na fácies anfibolito superior, em evento colisional com cavalgamento para NW, sobre o Domínio Serra do Mar, durante os estágios terminais da colagem brasileira, no Cambriano (SCHMITT et al. 1999). Adicionalmente, constata-se o desenvolvimento de formações superficiais terciárias e quaternárias continentais, e os sedimentos quaternários da plataforma continental, constituindo frequentemente cordões arenosos em geral paralelos à linha de costa.

As águas subterrâneas no Litoral Leste ocorrem em meios porosos e em aquíferos fraturados. O nível freático nos aluviões é raso, situado a menos de 2m de profundidade nas áreas mais baixas, aflorando à medida que se aproxima das lagunas, em função da influência da oscilação das marés. O aquífero fraturado, representado pelo embasamento cristalino fraturado, funciona como um aquífero semiconfinado, mal conectado com o aquífero livre, fato este corroborado por alguns testes hidráulicos realizados por Cruz et al. (2003) no material do embasamento. Os parâmetros hidráulicos obtidos foram compatíveis com a situação de semiconfinamento. As águas subterrâneas do Litoral Leste Fluminense são predominantemente do tipo cloretada sódica (CRUZ et al., 2006).

Região Litoral Norte Fluminense: Baixo curso do rio Macaé

A área de estudo compreende a área rural do município de Macaé, no extremo sul da região Norte Fluminense. A geologia da área do baixo curso do rio Macaé é constituída pelo embasamento cristalino representado por rochas gnáissicas, sotoposto a sedimentos aluvionares quaternários. O rio Macaé acompanha as direções estruturais do embasamento cristalino, apresentando tendência geral NE/SW e NW/SE (DRM-RJ, 1981). Na área estudada ocorre o aquífero aluvionar do Baixo Curso do rio Macaé, que possui aproximadamente 160 km² de área. Esse aquífero tem, em geral, caráter livre e sob o ponto de vista litológico é constituído pelos sedimentos aluvionares dos rios Macaé e São Pedro, caracterizados por materiais argilo-arenosos. A sucessão de camadas, mais ou menos permeáveis, gera a ocorrência de porções semiconfinadas em alguns trechos. O aquífero abastece para uso doméstico a população de áreas periféricas do município de Macaé (BARBOSA e SILVA JR., 2005).

Na área de estudo também ocorre um aquífero fraturado, caracterizado por rochas cristalinas que compõem o embasamento da bacia hidrográfica (BARBOSA e SILVA JR., 2005).

As águas dos piezômetros construídos para análise são classificadas, predominantemente, como bicarbonatadas magnesianas e sulfatadas magnesianas, enquanto as águas dos poços escavados e tubulares, tanto no material cristalino quanto nos sedimentos que os recobrem, como bicarbonatadas sódicas a cálcicas e cloretadas sódicas, refletindo influência marinha nestas águas e também a influência dos materiais cristalinos, pela hidrólise de silicatos e liberação de íons metálicos em solução (BENTO, 2006).

Região Noroeste Fluminense

A área de estudo Noroeste Fluminense é representada pela Bacia Hidrográfica do rio São Domingos (BHRSD), que corresponde ao município de São José de Ubá e 10% de Itaperuna. Na BHRSD, a água superficial, além de insuficiente, está poluída com presença de resíduos provenientes das atividades agrícolas. Por isso, a maior parte da população rural utiliza água subterrânea, embora estudos realizados por Menezes et al., (2008) revelem nos aquíferos a

presença de diversos parâmetros em inconformidade com a Resolução CONAMA 396/08 (BRASIL, 2008), resultado de atividades antrópicas, principalmente relacionadas a cultura do tomate onde é excessiva a aplicação de fertilizantes e pesticidas.

Do ponto de vista geológico e estrutural, na área da BHRSD afloram rochas cristalinas pré-cambrianas recobertas por sedimentos aluviais recentes ao longo das principais drenagens. O Domínio Juiz de Fora ocorre ao norte e o Domínio Cambuci a sul (HEILBRON et al., 2005). O Domínio Juiz de Fora é composto por corpos descontínuos de granada leucogranitos a leucocharnoquitos, predominando rochas ortoderivadas granulíticas, cuja composição mineralógica mais comum é composta por plagioclásio, quartzo, ortoclásio, hiperstênio, hornblenda e biotita. Intercaladas aos ortogranulitos, ocorrem níveis de metassedimentos concordantes com foliação regional, compostas predominantemente por quartzo, granada, biotita, plagioclásio e microclina. No Domínio Cambuci predominam rochas leucocráticas compostas por plagioclásio (labradorita – andesina), quartzo, biotita, microclina, hiperstênio e localmente granada (MANSUR et al., 2006). Métodos geofísicos, de levantamento resistivimétrico e de inversões unidimensionais e bidimensionais (FERREIRA et al., 2006), identificaram dois tipos de aquíferos, sedimentar e fissural, na sub-bacia Barro Branco. O aquífero sedimentar é composto por sedimentos aluviais quaternários e é caracterizado por uma camada subhorizontalizada com espessura variável de 2 a 12m. O aquífero fissural é caracterizado por duas zonas sub-verticais de baixa resistividade com largura de 30 a 50m e profundidade superior a 30m. Os tipos hidroquímicos predominantes na BHRSD são o bicarbonatado sódico e o bicarbonatado misto para as águas dos poços escavados e tubulares, respectivamente. Para as captações de poços tubulares as águas bicarbonatadas cálcicas também são recorrentes (MENEZES et al., 2007).

RESULTADOS E DISCUSSÕES

As duas composições de parâmetros utilizadas para aplicação do IQACCME apresentaram diferenças entre si. Essas diferenças foram menores, no Sul Fluminense e no Litoral Norte e maiores no Litoral Leste e no Noroeste Fluminense (Tabela 5).

No **Sul Fluminense** (Figura 2) a segunda combinação, que utiliza 21 variáveis, eleva os valores do IQACCME (Tabela 5). Nas águas dos poços escavados se constata uma transição

das amostras da classe muito ruim para ruim, enquanto que nas amostras de fonte ocorre um aumento da classe boa. Logo, o resultado depende fortemente do número de variáveis utilizadas, pois o peso de alguns parâmetros é diluído na composição com mais parâmetros. Mesmo o Sul Fluminense, apresentando os melhores resultados, mostrou sinais de contaminação produzida pela ocupação humana em zonas urbanas pela presença de nitratos.

No **Litoral Norte** foi observada pequena diferença entre os resultados das duas composições, explicitada na figura 3. O pH foi acrescentado em todas as amostras, sendo que nas dos piezômetros, além do pH, foi acrescentado o nitrito na segunda aplicação. Embora somente um parâmetro tenha sido acrescentado, as águas provenientes dos poços tubulares diminuíram de qualidade da 1ª para a 2ª combinação (Tabela 5), e nas amostras dos poços escavados houve pequeno aumento da classe regular em detrimento da diminuição da classe boa na classificação da 2ª composição. As águas dos piezômetros mantiveram o mesmo percentual nas categorias ruim e muito ruim, houve redução de amostras na classe boa e aumento na regular na composição de 9 variáveis.

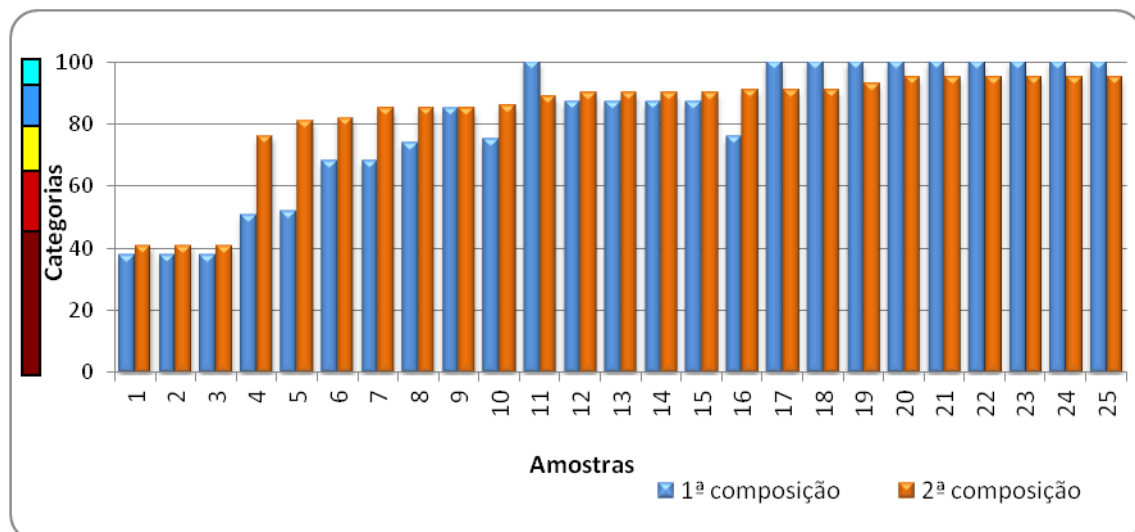
Os parâmetros alumínio, ferro e manganês estiveram acima do valor máximo permitido (VMP), porém os altos teores destes elementos são comuns em depósitos aluvionares em regiões tropicais (BENTO, 2006). O nitrato também esteve acima do VMP nos poços escavados, sendo uma indicação de contaminação por atividade antrópica (esgotos, fossas sépticas, depósitos de lixo, cemitérios, adubos nitrogenados, resíduos de animais etc.), sobretudo pelas precárias condições sanitárias de alguns destes poços (BENTO, 2006).

A aplicação da segunda composição do índice, com 17 parâmetros, nas amostras do **Litoral Leste**, apresentou valores de IQACCME mais elevados. As amostras dos poços tubulares concentraram-se nas classes boa e regular, diminuindo o percentual das categorias ruim e muito ruim (Figura 4). Comportamento semelhante foi observado nas águas dos poços escavados; na segunda composição, aumentou o número de amostras na classe boa e diminuiu na categoria muito ruim, comparado com os resultados da composição com 7 variáveis (Tabela 5). O IQACCME formado por um número maior de parâmetros diluiu o peso de algumas variáveis que exercem forte influência na qualidade dessas águas.

Tabela 5 – Percentuais das amostras nas diferentes categorias com a aplicação do IQA_{CCME} com duas composições**Table 5** - Results in percentage of applications CCMEWQI with two compositions

Região	Tipo de cap- tação	Nº de amostras	Categorias (%)				
			Ótima	Boa	Regular	Ruim	Muito Ruim
1ª Composição							
Sul Fluminense	PT	20	40	20	25	5	10
	PE	3	67	0	0	0	33
	NC	2	0	50	0	50	0
Litoral Leste Fluminense	PT	50	16	12	22	32	18
	PE	10	0	20	40	0	40
Litoral Norte Fluminense	PT	5	40	20	20	20	0
	PE	9	22	45	11	0	22
	PZ	22	0	18	23	41	18
Noroeste Fluminense	PT	10	40	20	20	0	20
	PE	37	59	22	8	11	0
2ª Composição							
Sul Fluminense	PT	20	30	55	5	0	10
	PE	3	67	0	0	33	0
	NC	2	0	100	0	0	0
Litoral Leste Fluminense	PT	50	14	30	28	18	10
	PE	10	0	50	20	20	10
Litoral Norte Fluminense	PT	5	20	20	20	0	40
	PE	9	22	33	22	0	22
	PZ	22	0	5	36	41	18
Noroeste Fluminense	PT	10	10	10	40	30	10
	PE	37	16	19	27	30	8

NC = nascente; PE = poço escavado; PT = poço tubular; PZ = piezômetro.

**Figura 2** - Gráfico mostrando as duas composições do IQA_{CCME} do Sul Fluminense. Categorias do IQA_{CCME}: Ótima (azul claro), Boa (azul), Regular (amarela), Ruim (vermelha), Muito Ruim (vinho)**Figure 2** - Graph showing the two compositions CCMEWQI South Fluminense. CCMEWQI Categories: Excellent: (Light Blue), Good (Blue), Fair (Yellow), Marginal (Red), Poor (Wine)

Do ponto de vista iônico, destacam-se nas águas subterrâneas do Litoral Leste Fluminense os altos valores de Cl^- e Na^+ , que são os principais responsáveis pela alta salinidade das águas naturais costeiras analisadas (CRUZ et al., 2006). Em quase todas as localidades, também foram encontrados teores de NO_3^- acima do valor VMP em águas subterrâneas, indicando contaminação antrópica (esgoto, fossas sépticas, depósitos de lixo, resíduo animal, etc.), principalmente em locais onde outras possíveis fontes são pouco prováveis de ocorrer (CRUZ et al., 2006).

As diferentes composições do IQACCME para as águas do **Noroeste Fluminense** indicam resultados distintos. Para o índice calculado com poucos parâmetros, as amostras foram classificadas em melhores categorias; com o aumento do número de parâmetros, a classificação dos pontos amostrados se concentrou nas categorias regular e muito ruim (Figura 5). Este resultado se deve ao fato da composição menor (7 parâmetros) não contemplar parâmetros im-

portantes para avaliar a qualidade das águas locais. São José de Ubá é um município agrícola que vem ao longo dos anos sofrendo com a contaminação, das águas superficiais e subterrâneas, por fontes pontuais e/ou difusas. Os parâmetros que apresentaram teores em inconformidade com maior frequência na Bacia Hidrográfica do rio São Domingos foram: Al, B, Fe, Mn, NO_3^- , pH, STD, OD, DBO e coliformes fecais (MENEZES et al., 2008). Destes 10 parâmetros somente 4 fizeram parte do IQACCME da primeira combinação com 7 parâmetros; ou seja, a composição com maior número de parâmetros, foi formada por variáveis que puderam avaliar como os fatores geologia e o uso do solo estão influenciando a qualidade das águas. A comparação dos tipos hidroquímicos encontrados com a geologia de cada região estudada, mostrou que fatores como a contaminação de origem antrópica e a proximidade com a zona costeira, tiveram um papel dominante, mais significativo na composição das águas subterrâneas, que as variações litológicas locais.

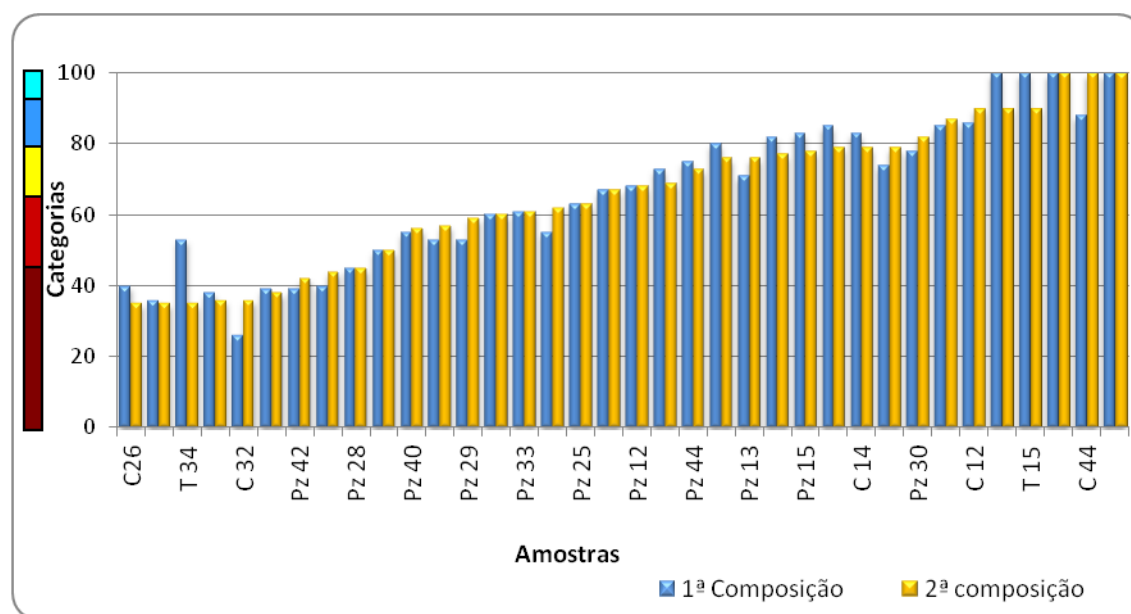


Figura 3 - Gráfico mostrando as duas composições do IQACCME do Litoral Norte Fluminense. Categorias do IQACCME: Ótima (azul claro), Boa (azul), Regular (amarela), Ruim (vermelha), Muito Ruim (vinho).

Figure 3 - Graph showing the two compositions CCMEWQI North Coast Fluminense (Macaé River Lower Course). CCMEWQI Categories: Excellent: (Light Blue), Good (Blue), Fair (Yellow), Marginal (Red), Poor (Wine).

CONCLUSÕES

O IQACCME foi desenvolvido para avaliar o corpo hídrico durante o monitoramento; é uma ferramenta poderosa por ser possível incluir ou excluir parâmetros, valores de referência e objetivos específicos (classes de enquadramento) desejados.

Neste trabalho o IQACCME mostrou-se eficaz e adequado para análise de recursos hí-

dricos subterrâneos, muito embora seja pouco difundido no Brasil para esta finalidade. A principal limitação para a replicação se dá em função da heterogeneidade da lista de parâmetros analisados em diferentes campanhas, dificultando assim, a comparação entre áreas analisadas.

No entanto, o IQACCME pode e deve ser utilizado em programas de gestão das águas,

visto que no processo de tomada de decisões relativas aos recursos hídricos é necessário ter como base uma correta interpretação da qualidade das águas. A aplicação de um IQA pode ajudar, uma vez que permite uma comunicação clara entre profissionais, gestores e o público em geral, tornando acessíveis os resultados de qualidade e de localização da alteração das

águas. Os resultados de um IQA podem mostrar quanto o recurso hídrico foi impactado, de modo que determinar regiões vulneráveis e relacioná-las com índices de qualidade de água pode auxiliar, por exemplo, na validação de um modelo de mapeamento de vulnerabilidade, tal como feito por Lima (2009).

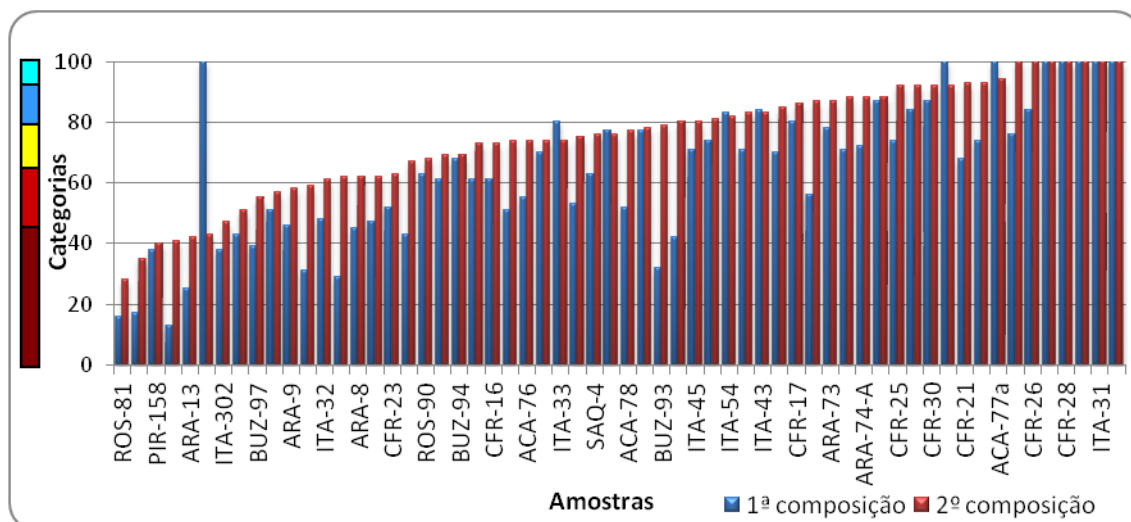


Figura 4 - Gráfico mostrando as duas composições do IQA_{CCME} do Litoral Leste. Categorias do IQA_{CCME}: Ótima (azul claro), Boa (azul), Regular (amarela), Ruim (vermelha), Muito Ruim (vinho)

Figure 4 - Graph showing the two compositions CCMEWQI East Coast. CCMEWQI Categories: Excellent (Light Blue), Good (Blue), Fair (Yellow), Marginal (Red), Poor (Wine)

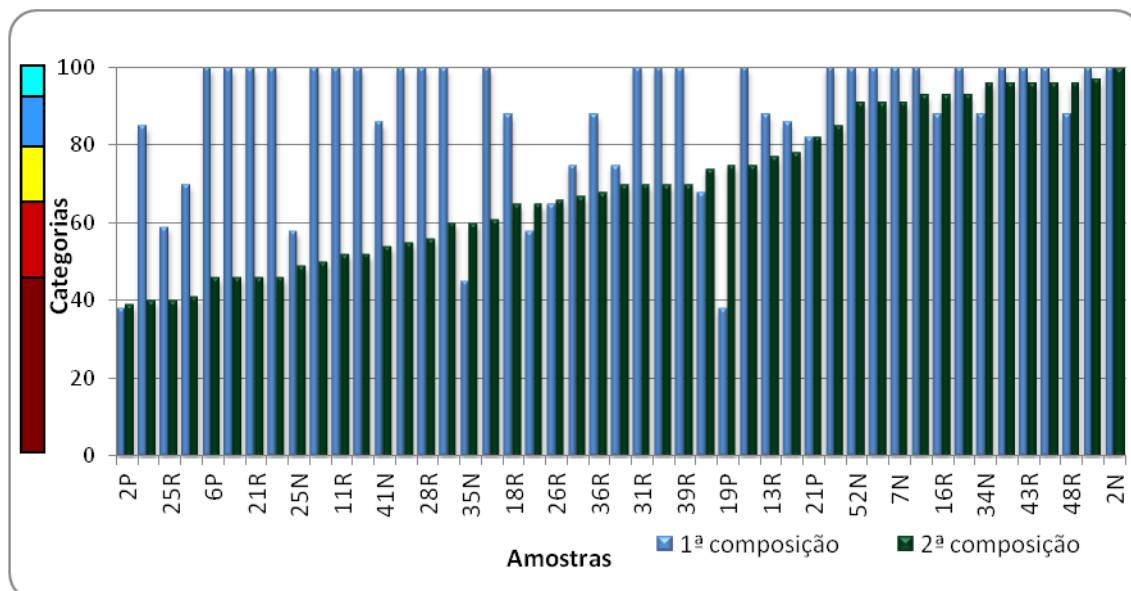


Figura 5 - Gráfico mostrando as duas composições do IQA_{CCME} do Noroeste Fluminense. Categorias do IQA_{CCME}: Ótima (azul claro), Boa (azul), Regular (amarela), Ruim (vermelha), Muito Ruim (vinho)

Figure 5 - Graph showing the two compositions CCMEWQI Northwest Fluminense. CCMEWQI Categories: Excellent (Light Blue), Good (Blue), Fair (Yellow), Marginal (Red), Poor (Wine)

Os resultados das duas composições apresentaram diferenças; mas no geral, as águas da região Sul Fluminense apresentaram os melhores índices, sendo cerca de 70% das amos-

tras qualificadas nas classes ótima e boa enquanto a maioria das águas da região Noroeste e dos Litorais Norte e Leste, foram classificadas como regular e muito ruim. No Litoral Norte

foram encontrados os piores resultados, pois os parâmetros alumínio, ferro e manganês possuem valores acima dos VMPs. Ressalta-se que, altos teores destes elementos são comuns em depósitos aluvionares, indicando que a fonte pode ser natural, conforme apontado por Bento (2006). No entanto, a presença de NO_3^- nos compartimentos Litoral Norte e Litoral Leste, indica contaminação antrópica, e em muitos casos associados à má construção e conservação dos poços.

No Litoral Leste, valores elevados de Cl^- e Na^+ , mostram influência da água do mar, seja devido à composição química da água de chuva, responsável pela recarga, seja pela possibilidade de intrusão salina; enquanto as águas da região Noroeste estão sendo contaminadas, principalmente, pelas atividades agrícolas.

Os resultados da região Noroeste e do Litoral Leste indicam que a composição de um índice de qualidade de água para consumo humano deve levar em consideração características locais. No caso do Noroeste, a composição

com maior número de parâmetros indicou mais amostras inadequadas ao consumo humano e no caso do Litoral Leste foi a composição com menor número de parâmetros que identificou menor adequação das águas. Portanto, não é o número de parâmetros que torna um índice bem sucedido, mas a escolha adequada deles, embora deva ser buscado um índice com combinação de poucos parâmetros.

Além de variáveis que expressem as condições naturais dos aquíferos, que às vezes, naturalmente, apresentam valores em inconformidade com os de referência ou critérios de qualidade, devem ser incluídas no cálculo do índice as variáveis que indiquem contaminação por atividades desenvolvidas pelos usuários; essa inserção pode ser realizada e facilitada a partir da identificação do perfil poluidor dos grupos de interesse/usuários da região estudada. Os índices se mostram mais eficientes quando adaptados à realidade local; índices genéricos tendem a mascarar a realidade.

AGRADECIMENTOS

Ao CNPq pelo apoio financeiro, através do Edital Universal 2006, para realização de parte dessas pesquisas e aos geólogos Alexandre Cruz, Cláudio Bettini, Elisa Bento, Flávia de Castro, Giselle Barbosa, Michael Lowsby e Tiago Pizani pela cooperação com a base de dados.

REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, A.A. **Estudo Comparativo entre os Métodos IQ_{ANSF} e IQ_{ACCME} na Análise da Qualidade da Água do Rio Cuiabá**. 2007. 94f. Dissertação (Mestrado em Física e Meio Ambiente)- Programa de Pós-Graduação em Física e Meio Ambiente, Universidade Federal de Mato Grosso, Mato Grosso, 2007.
- AMARO, C.A. et al. Estudo Preliminar de um Índice de Conformidade ao Enquadramento de Corpos Hídricos. In: SIMPÓSIO DE RECURSOS HÍDRICOS DO SUL-SUDESTE, 2., 2008. **Anais...** Rio de Janeiro: ABRH, 2008.1 CD-ROM.
- APHA. American Public Health Association, American Water Works Association, Water Environment Federation. **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater**. 19a. Washington: Ed. Byrd. Reprint Springfield, 1995. 1.134 p.
- BARBOSA, C.F. **Hidrogeoquímica e a contaminação por nitrato em água subterrânea no bairro Piranema, Seropédica – RJ**. 2005. Dissertação (Mestrado em Geociências). Instituto de Geociências, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, SP. Disponível em <<http://libdigi.unicamp.br/document/?code=vtls000363549>>. Acesso em: 16 maio 2007.
- BARBOSA, G.R.; SILVA JR., G.C. Potenciometria e Fluxo Subterrâneo no Aquífero Aluvionar do Baixo Curso do Rio Macaé, Município de Macaé-RJ. **Anuário do Instituto de Geociências – UFRJ**, Rio de Janeiro, v. 28, n. 2, p. 102-115, 2005.
- BARRETO, A. B. DA C. et al. **Hidrogeologia do Estado do Rio de Janeiro** – Texto explicativo do Mapa de Favorabilidade Hidrogeológica do Estado do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro: CPRM, DRM/RJ, 2001. 23p.
- BENTO, E. DE S. **Hidrogeoquímica e Modelo Hidrogeológico das Águas Subterrâneas no Baixo Curso do Rio Macaé - RJ**. 136f. 2006. Dissertação (Mestrado em Geologia). Universidade Federal do Rio de Janeiro, Instituto de Geociências, Rio de Janeiro, 2006.
- BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA. **Resolução nº 357 de 23 de Janeiro 2005**. Disponível em: <www.mma.gov.br/port/conama>. Acesso em: 3 jul. 2005.
- BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA. **Resolução nº 396 de 3 de Abril 2008**. Disponível em: <www.mma.gov.br/port/conama>. Acesso em: 1º jun. 2008.
- CASTRO, F.G. **Caracterização Hidrogeológica e Hidrogeoquímica da Bacia Sedimentar de Resende (RJ)**. 2000. Dissertação (Mestrado em Geologia). Universidade Federal do Rio de Janeiro, Instituto de Geociências, Rio de Janeiro, 2000.
- CCME - Canadian Council of Ministers of the Environment, 2001a, **Canadian Water Quality Guidelines for the Protection of Aquatic Life: CCME Water Quality Index 1.0, technical report**. Canadian Council of Ministers of the Environment, Winnipeg, Canadá. Disponível

em:

<http://www.ccme.ca/assets/pdf/wqi_techrprtftcsht_e.pdf>. Acesso em: 14 jul. 2008.

CCME - Canadian Council of Ministers of the Environment, 2001b, **Canadian Water Quality Guidelines for the Protection of Aquatic Life: CCME Water Quality Index 1.0, user's manual**. Canadian Council of Ministers of the Environment, Winnipeg, Canadá. Disponível em:

<http://www.ccme.ca/assets/pdf/wqi_usermanualfctst_e.pdf>. Acesso em: 14 jul. 2008.

CRUZ, A. **Estudo de Processos de Salinização de Aquíferos no Litoral Leste do Estado do Rio de Janeiro: Modelagem Hidrogeoquímica e Avaliação de Vulnerabilidade à Intrusão Marinha**. 117f. 2006. Dissertação (Mestrado em Geologia). Universidade Federal do Rio de Janeiro, Instituto de Geociências, Rio de Janeiro, 2006.

CRUZ, A.; SILVA JUNIOR, G.C.; ALMEIDA, G.M. Modelagem Hidrogeoquímica do Aquífero Freático da Restinga de Piratininga, Niterói-RJ. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS, 14., 2006. **Anais...** Curitiba: ABAS, 2006.1 CD-ROM.

CRUZ, A. et al. Monitoramento da Cunha Salina nos Aquíferos Costeiros de Piratininga (Niterói), Niterói - RJ. In: SIMPÓSIO DE HIDROGEOLOGIA DO SUDESTE, 1., 2003. **Anais...** Petrópolis: ABAS-RJ, 2003.1 CD-ROM.

DEPARTAMENTO DE RECURSOS MINERAIS DO ESTADO DO RIO DE JANEIRO (DRM-RJ) 1981. **Projeto Carta Geológica do Estado do Rio de Janeiro, Escala 1:50.000**. Folhas Renascença/ Conceição de Macabu/ Macaé/ Dorcas de Macabu/ Carapebus/ Cabiúnas. Relatório Final. Volume 1. Niterói 217p.

FERREIRA, C. R. C.; LA TERRA, E. F.; MENEZES, P. T. L. Modelagem Geofísica para Água Subterrânea em Aquíferos Fissurais em São José de Ubá (RJ). In: WORKSHOP DE INTEGRAÇÃO DE INFORMAÇÕES OBTIDAS NO ÂMBITO DO PROJETO PRODETAB AQUÍFEROS, 2006. **Anais...** Rio de Janeiro: Embrapa, 2006.1 CD-ROM.

FREITAS, M.B.; ALMEIDA, L.M. Qualidade da água subterrânea e sazonalidade de organismos coliformes em áreas densamente povoadas com saneamento básico precário. 1999. **Info Científicas**. Disponível em: <http://www.perfuradores.com.br/index.php?pg=info_cientificas>. Acesso em: 05 mar. 2008.

HEILBRON, M.; DUARTE, B.; NOGUEIRA, J.R.; ALMEIDA, C.G.; TUPINAMBÁ, M.; GERALDES, M.; GUIA C.; MIRANDA, A.W.A.; SILVA FILHO, R.S.; MEDEIROS F.F. F.; MANSUR, K. 2005, p. 118. Geologia da Bacia do Rio São Domingos, São José de Ubá, Rio de Janeiro. In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DO SUDESTE, 9, Niterói, 2005. **Boletim de Resumos**, Niterói, SBG.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Censo 2000**. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/censo/>>. Acesso em: 18 jun. 2007.

KHAN, A.A., PATERSON, R.; KHAN, H. Modification and application of the Canadian Council of Ministers of the Environment Water Quality Index (CCME WQI) for

the communication of drinking water quality data in Newfoundland and Labrador. **Canadian Water Quality Research Journal**, v. 39, n. 3, p. 285-293, 2004. Disponível em: <<http://www.cawq.ca/journal/temp/article/30.pdf>>. Acesso em: 19 jul. 2008.

LIMA, L. A. **Vulnerabilidade Geral de Aquíferos Fraturados: Bacia Hidrográfica do Rio São Domingos – São José de Ubá/RJ**. 116f. 2009. Dissertação (Mestrado em Geologia). Universidade Federal do Rio de Janeiro, Instituto de Geociências, Rio de Janeiro, 2009.

LOWSBY, M.G.; ALVES M.G. Characterization of Coastal Aquifers of Oceanic Area of Niterói- RJ, Brazil. 2000. In: CONGRESSO INTERNACIONAL DE GEOLOGIA, 32., 2000. **Anais...** Rio de Janeiro: 2000.1 CD-ROM.

LUMB, A.; HALLIWELL, D.; SHARMA, T. Application of CCME Water Quality Index to Monitor Water Quality: A Case Study of the Mackenzie River Basin, Canadá. **Environmental Monitoring and Assessment**. v. 113, n. 1-3, fev., 2006. Disponível em: <<http://www.springerlink.com/content/k545361v22347718/>>. Acesso em: 19 jul. 2008.

MANSUR, K. L., MEDEIROS, F., VIEIRA H., MARTINS, A.M., PRADO, R.B., MENEZES, J.M., SILVA, G.C.J. Avaliação preliminar: geologia e alguns parâmetros da qualidade da água subterrânea nas microbacias de Sta. Maria/Cambiocó e Barro Branco. 2006. In: WORKSHOP DE INTEGRAÇÃO DE INFORMAÇÕES OBTIDAS NO ÂMBITO DO PROJETO PRODETAB AQUÍFEROS, 2006. **Anais...** Rio de Janeiro: Embrapa, 2006.

MELO, M.S. Estruturas da área da Bacia de Resende (RJ) e os modelos tectônicos regionais. In: SIMPÓSIO REGIONAL DE GEOLOGIA, 5., São Paulo, 1985. **Atas...** São Paulo: SBG, 1985, v.1, p.323-336.

MENEZES, J.M.; PRADO, R.B.; SILVA JUNIOR, G.C. Manejo Inadequado do Solo e Reflexo na Qualidade dos Recursos Hídricos Superficiais e Subterrâneos em São José de Ubá/ Noroeste do Estado do RJ. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE MANEJO E CONSERVAÇÃO DO SOLO E DA ÁGUA, 18., 2008. **Anais...** Rio de Janeiro: SBGS, 2008.1 CD-ROM.

MENEZES, J.M. et al. Avaliação da Qualidade da Água Superficial e Subterrânea para Irrigação na Bacia Hidrográfica de São Domingos – RJ. In: CONGRESSO NACIONAL DE IRRIGAÇÃO E DRENAGEM, 15., 2005. **Anais...** Teresina: ABID, 2005.1 CD-ROM.

MENEZES, J.M.; SILVA JR., G.C.; SANTOS, R.T. Hidrogeoquímica de aquíferos fraturados: estudo de caso na bacia hidrográfica do rio São Domingos, Noroeste do Estado do Rio de Janeiro. **Revista Águas Subterrâneas**, v. 21, n. 1, jan./jun., 2007.

MOLINA, P.M.; HERNANDEZ, F.B.T.; VANZELA, L.S. Índice de Qualidade de Água na Microbacia Degradada do Córrego Água da Bomba – Município de Regente Feijó – SP. In: CONGRESSO NACIONAL DE IRRIGAÇÃO E DRENAGEM, 16., 2006. **Anais...** Goiânia: ABID, 2006. Disponível em: <http://www.agr.feis.unesp.br/pdf/conird2006_iqa_agua_da_bomba.pdf>. Acesso em: 19 jul. 2008.

OLIVEIRA, I. B.; NEGRÃO, F.I.; SILVA, A.G.L.S. Mapeamento dos aquíferos do Estado da Bahia utilizando o

Índice de Qualidade Natural das Águas Subterrâneas – IQNAS. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUA SUBTERRÂNEA, 14., 2006. **Anais...** Curitiba: ABAS, 2006.1 CD-ROM.

PIZANI, T.C. **Análise da Vulnerabilidade à Contaminação de Aquíferos e Modelagem Geoestatística de Dados Hidrogeológicos da Bacia Sedimentar de Resende-RJ.**

Dissertação (Mestrado em Geologia). Universidade Federal do Rio de Janeiro, Instituto de Geociências, Rio de Janeiro, 2003.

PRADO, R.B. et al. Parâmetros de qualidade da água e sua relação espacial com as fontes de contaminação antrópicas e naturais: bacia hidrográfica do rio São Domingos – São José de Ubá, RJ. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 16., 2005. **Anais...** João Pessoa: ABRH, 2005.1 CD-ROM.

RAMOS, R.R.C.; Sanson, M.S.R.; Mello, C.L. Estilos Depositionais Fluviais Terciários e a Evolução Tectono-Sedimentar da Bacia de Resende (RJ). In: Simpósio Nacional de Estudos Tectônicos, 9, Búzios (RJ). **Boletim de Resumos**, p.317-319, 2003.

SCHMITT, R.S.; TROUW, R.A.J.; VAN SCHMUS, W. R. The characterization of a Cambrian (~520 Ma) tectono-metamorphic event in the coastal domain of the Ribeira Belt (SE Brazil), using U/Pb in syntectonic veins. In: SEGEMAR, SIMPÓSIO SUDAMERICANO DE GEOLOGIA ISOTOPICA, 2, Cordoba. **Actas**, 363-366, 2003.

SILVA JR., G.C. et al. Project MODESTHI: Lithological and Structural Constraints of the Groundwater Chemical Composition in Resende Basin, Brazil. In: 31º CONGRESSO INTERNACIONAL DE GEOLOGIA. 2000. **Anais...** Rio de Janeiro, 2000.1 CD-ROM.

SILVA JR., G.C.; PIZANI T.C. Vulnerability Assessment in Coastal Aquifers Between Niterói and Rio das Ostras, Rio de Janeiro State, Brazil. **Rev. Lat. Americana de Hidrogeologia**, v. 3, n. 1, p. 93-99, 2003.

SILVA, R.L.B. et al. Estudo da contaminação de poços rasos por combustíveis orgânicos e possíveis consequências para a saúde pública no Município de Itaguaí, Rio de Janeiro, Brasil. **Caderno Saúde Pública**, Rio de Janeiro, v.18, n. 6, p.1599-1607, 2002.

SOUSA, I.V.A.; SOUZA, R.O.; PAULINO, W.D. Cálculo do Índice de Qualidade de Água em Reservatórios Tropicais com Estudo de Caso no Acarape do Meio. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 17., 2007. **Anais...** São Paulo: ABRH, 2007.

ZUFFO, A.C.; GENOVEZ, A.M. Método Multicriterial Utilizado como Indicador da Qualidade de Água. In: CONGRESSO LATINOAMERICANO DE HIDRÁULICA, 22., 2006. **Anais...** Ciudad de Guavana, 2006. Disponível em: http://www.artigocientifico.com.br/uploads/artc_1172606439_41.pdf. Acesso em 19 jul. 2008.