

# ÍNDICE DE QUALIDADE DA ÁGUA SUBTERRÂNEA BRUTA (IQASB) UTILIZADA NA PRODUÇÃO DE ÁGUA POTÁVEL

RAW GROUNDWATER QUALITY INDEX (RGWQI) FOR THE PRODUCTION OF DRINKING WATER

Rosa Alencar Santana de Almeida<sup>1</sup>; Iara Brandão de Oliveira<sup>2</sup>

**RESUMO** Foi desenvolvido um Índice de Qualidade da Água Subterrânea Bruta (IQASB) para avaliação da qualidade da água subterrânea explotada em aquíferos sedimentares e aduzida à estação de tratamento para integrar o abastecimento de água potável em municípios da Região Metropolitana de Salvador – RMS. Por serem explotadas em ambientes com impactos de atividade humana e serem destinadas à produção de água potável, a avaliação da qualidade dessas águas, realizada pelo laboratório de controle de qualidade do tratamento, envolve os parâmetros físico-químicos usuais da água subterrânea, compostos orgânicos, compostos nitrogenados e coliformes termotolerantes. O IQASB, um produto de subíndices de qualidade, tem como referência o SEQ – Eaux Souterraines, índice de qualidade francês; e o IQNAS, índice aplicado às águas subterrâneas, que segue o modelo do WQI-NSF e IQA-CETESB. A metodologia para escolha dos parâmetros e dos pesos foi o consenso entre especialistas, obtido com a utilização do Método Delphi. O IQASB foi aplicado a amostras de água subterrânea e os resultados mostraram sua adequação como instrumento complementar de monitoramento da qualidade das águas subterrâneas submetidas a impactos negativos de qualidade.

Palavras-chave: Método DELPHI, Índice de Qualidade da Água Subterrânea, IQASB

**ABSTRACT** A Raw Groundwater Quality Index (RGWQI) was developed to evaluate the quality of groundwater exploited in sedimentary aquifers and taken to a treatment plant for the production of drinking water in the Metropolitan Region of Salvador - RMS. As the groundwater is possibly subjected to human impacts, and it is used to produce potable water, the analysis performed by the treatment plant laboratory, involve, besides the usual physical-chemical parameters, organic and nitrogen compounds, and fecal coliforms. The IQASB, a product of sub-indices of quality, is based on the SEQ - Eaux Souterraine, a French quality index; and the IQNAS, an index applied to groundwater, which follows the NSF-WQI and IQA-CETESB. The methodology for choosing the parameters and weights was through consensus among experts, obtained using the Delphi method. The IQASB was applied to groundwater samples and the results showed its suitability as a complementary tool for monitoring the quality of groundwater subject to the negative impacts of quality.

Keywords: Delphi method, groundwater quality index.

## INTRODUÇÃO

Muitos índices foram desenvolvidos para exprimir a qualidade das águas dos mananciais superficiais, adequados aos diversos ambientes (rios, lagos, água estuarina). Para esses ambientes, o referencial mais utilizado é o WQI - Water Quality Index - proposto pela National Sanitation Foundation (NSF), em 1970. Entretanto, são poucas as referências encontradas no que se refere aos indicadores de qualidade para as águas subterrâneas. Na França, o sistema de avaliação das águas subterrâneas, o SEQ-Eaux Souterraines, propõe um índice baseado em dois conceitos: alteração da qualidade e uso do recurso (CADILHAC e ALBINET, 2003). No Brasil, o IQNAS - Índice de Qualidade Natural de Água Subterrânea, desenvolvido por Oliveira et al. (2007), surge como a primeira tentativa de formulação de um índice de qualidade para as águas subterrâneas explotadas nos quatro domínios hidrogeológicos do Estado da Bahia: sedimentar, cárstico, metassedimentar e cristalino. Entretanto, o IQNAS, embora útil, também apresenta a mesma limitação verificada no WQI/NSF para avaliação das águas superficiais, pois o índice não incorpora a presença de elementos tóxicos, a exemplo dos

compostos BTEX (benzeno, tolueno, etilbenzeno e xilenos) e do mercúrio, normalmente associados a atividades industriais e de serviços, que cada vez mais vêm alterando a qualidade natural das águas subterrâneas. Assim, no âmbito nacional, existem lacunas quanto ao estabelecimento de índices de qualidade dos mananciais subterrâneos, sobretudo para aqueles localizados em áreas com atividades humanas poluidoras.

Com relação aos índices de qualidade de água, é importante compreender os limites e possibilidades desse instrumento. Embora um índice facilite a comunicação com o público e permita sintetizar informações em apenas um número, se deve ter cuidado na sua aplicação. Por exemplo, a disponibilidade de dados confiáveis é imprescindível; devem ser tomadas precauções na coleta de amostras para evitar contaminação ou inadequação do material; e os procedimentos de análises devem seguir padrões aceitos internacionalmente. O índice deve ser parte de um sistema de indicadores; é uma informação importante, mas complementar. Também é importante entender que se deve ter cuidado em estabelecer generalizações, pois cada

<sup>1</sup> UFRB - Universidade Federal do Recôncavo da Bahia ([rosaalencar@ufrb.edu.br](mailto:rosaalencar@ufrb.edu.br))

<sup>2</sup> Universidade Federal da Bahia ([oliveira@ufba.br](mailto:oliveira@ufba.br))

sistema hídrico possui características únicas. Por outro lado, para aquíferos impactados por atividade humana, a validade das informações é finita, pois novas substâncias ou novas informações sobre substâncias prejudiciais surgem a todo o momento, seja por novas pesquisas ou pela colocação de novos produtos no mercado.

### **Experiências de Formulação de Índices de Qualidade de Água**

O uso de índices com escala numérica para representar gradações em níveis de qualidade de água, é considerado um fenômeno recente. A literatura da área indica que se iniciou com o Índice de Horton, em 1965, considerado por Abbasi (2002) como o primeiro índice moderno de qualidade de água. Entretanto, com o aumento da coleta de amostras de água para determinação de parâmetros de qualidade, cresceu a necessidade de traduzir esses dados em uma informação que fosse facilmente compreendida. Assim, nos anos seguintes, prosperou a formulação de índices numéricos para caracterização da qualidade de água. Esses índices são de quatro tipos: de qualidade de água em geral; para usos específicos; para planejamento, e os desenvolvidos segundo abordagens estatísticas (DERÍSIO, 2000). Segundo Abbasi (2002), para o desenvolvimento de um índice de qualidade de água são necessárias quatro etapas: (i) Seleção de parâmetros; (ii) Construção de subíndices para transformação dos parâmetros de diferentes unidades e dimensões em uma escala comum; (iii) Atribuição dos pesos para todos os parâmetros; e, (iv) Agregação de subíndices para produzir uma contagem de índice final. Normalmente, a seleção dos parâmetros é feita mediante consulta e consenso de especialistas em recursos hídricos, que selecionam os parâmetros que julgam serem os mais significativos. As respostas são tabuladas e um número limitado de parâmetros é eleito, de modo a garantir a praticidade e representatividade da escolha. Uma característica importante desta escolha é que o processo da pesquisa científica é dinâmico; logo, os padrões são revisados continuamente. Uma nova pesquisa pode esclarecer, com novos fatos, os efeitos benéficos ou prejudiciais de uma substância, ou dar novas informações sobre níveis de concentração que tornam um elemento prejudicial modificando o conjunto de parâmetros essenciais ao índice, ou o peso de um deles. Alguns índices de qualidade de água foram desenvolvidos para qualificar as águas tratadas e distribuídas para abastecimento público, independente do seu compartimento de origem:

superficial ou subterrâneo. Eles possuem uma abrangência limitada, e são voltados para exprimir a eficiência dos sistemas de tratamento operados pelas concessionárias, embora incorporem parâmetros que indicam a qualidade natural da água bruta. O referencial mais utilizado para exprimir a qualidade das águas dos mananciais superficiais (rios, lagos, água estuarina) é o WQI - Water Quality Index proposto pela National Sanitation Foundation (NSF), em 1970, e adaptado no Brasil pela CETESB, utilizando também o método DELPHI, com a denominação Índice de Qualidade das Águas - IQA (PORTO et al., 1991). Para qualificar as águas subterrâneas, o sistema de avaliação criado pelo Ministério das Águas da França, SEQ-Eaux Souterraines, propõe um índice que contempla dois aspectos, a alteração da qualidade e o uso do recurso (CADILHAC e ALBINET, 2003). Quanto à alteração de qualidade, o SEQ incorpora os seguintes grupos: gosto e odor; material orgânico oxidável; partículas em suspensão; ferro e manganês; cor; microorganismos; nitrato; substâncias nitrogenadas (nitrito, amônia); minerais micropoluentes; pesticidas; hidrocarbonetos aromáticos; HPA; PCB; micropoluentes orgânicos; corrosão; formação de incrustações (pH, Eh, OD, ferro bactéria, índice de saturação); temperatura. Quanto aos usos, o SEQ-Eaux Souterraines lista os seguintes: água para abastecimento humano; dessedentação de animais; irrigação e processos industriais. No Brasil, o Índice de Qualidade Natural de Água Subterrânea (IQNAS) desenvolvido por pesquisadores da Universidade Federal da Bahia, surgiu como tentativa de formular um índice de qualidade para as águas subterrâneas do Estado da Bahia (OLIVEIRA et al., 2007). O presente trabalho apresenta o desenvolvimento de mais um índice de qualidade de água subterrânea, na sua condição natural ou bruta, que servirá para a produção de água potável em estação de tratamento e distribuição. O IQASB - Índice de Qualidade da Água Subterrânea Bruta - pretende servir para informar a qualidade da água subterrânea explorada em aquíferos com prováveis impactos antrópicos e uso para a produção de água potável; visa ampliar as informações contidas nos índices anteriores; servir como uma ferramenta voltada à realidade ambiental e como um instrumento complementar de monitoramento.

## **MATERIAL E MÉTODOS**

### **Processo de Seleção dos Parâmetros e Atribuição de Pesos**

Foi aplicado o método Delphi para a seleção de parâmetros que iriam compor o índice, bem como para atribuição dos pesos, os quais indicam a importância do parâmetro no índice. O método Delphi possui três características básicas. As respostas são anônimas porque as opiniões dos membros do grupo são obtidas através de questionários formais, não havendo comunicação entre os painelistas. Utiliza-se a repetição e controle de avaliação, pois a interação é efetuada por um exercício sistemático administrado em várias etapas, com avaliação controlada entre as rodadas. As respostas do grupo são tratadas estatisticamente e, na rodada final, a opinião do grupo é definida como consenso de opiniões individuais (GORDON, 1994).

Esse método é muito adequado aos propósitos da formulação de índices, pelas vantagens, no que se refere ao uso de grupo de especialistas e anonimato; independência da localização física do entrevistado, o que contribui para a portabilidade dos resultados; e, modo de obtenção dos resultados através do consenso de opiniões. Além disso, o método tem sido utilizado na formulação de índices de qualidade de água, desde a década de setenta, quando foi usado pelos pesquisadores da NSF para definição do WQI, e se mostrou adequado à disponibilidade de tempo e de recursos da pesquisa.

Não obstante, foram introduzidas modificações ao formato original do método, tais como a aborda-

gem via rede mundial de computadores e a introdução de uma lista inicial de parâmetros com base na legislação vigente, Resolução CONAMA N° 396/2008 (BRASIL, 2008), previamente escolhidos pela equipe, para compor o índice. A aplicação do método auxiliou a prospectar a opinião dos especialistas brasileiros sobre a influência das variadas fontes de poluição na qualidade das águas subterrâneas no território nacional. O método foi executado com duas rodadas de aplicação de questionários, e uma terceira rodada para comunicação de resultados.

### Painel de Respondentes

Foram elaboradas cartas convites enviadas via e-mail ou entregues pessoalmente aos potenciais respondentes. A seleção do grupo de especialistas que participaram do exercício foi realizada em diversos setores; universidades e centros de pesquisa, empresas concessionárias de serviços de saneamento e empresas de Engenharia com atuação no mercado da água. Um destaque positivo foi a indicação de outros participantes por painelistas que aceitaram o convite inicial e se comprometeram com a pesquisa, criando assim uma rede de respondentes. Desta maneira, foram sendo incorporados novos respondentes ao grupo inicialmente contatado. A Tabela 1 mostra o relacionamento entre o tipo de abordagem adotado e a resposta do especialista prospectado.

Tabela 1– Abordagens para montagem do Painel Delphi  
Table 1 – Approaches to assembling the Delphi Panel

Resposta	Tipo de Abordagem			
	Contato Direto		Contato via e-mail	
	Quantidade	%	Quantidade	%
Aceitaram	38	83%	35	32%
Recusaram	5	11%	8	7%
Não Responderam	3	6%	61	56%
Retornou Caixa	0	0%	5	5%
Sub-Total Convites	46		109	

Como se observa na Tabela 1, a forma de abordagem presencial foi a que obteve maior índice de aceitação: 83% aceitaram o convite, contra 32%, da abordagem via rede de computadores. A abordagem presencial se mostrou a forma mais eficiente de convite, pois foi observado que o respondente se sentiu mais próximo da pesquisa e motivado a participar e algumas dúvidas puderam ser respondidas imediatamente. Outra vantagem observada é que em apenas uma abordagem ocorre o convite, o aceite e a entrega dos questionários, em contraste com o convite enviado por e-mail onde são necessárias pelo menos três iniciativas: enviar

convite, aguardar aceite e enviar questionário.

### Elaboração dos questionários

O primeiro questionário contemplou duas perguntas para os painelistas: (i) sobre as alterações indispensáveis para compor o índice de qualidade das águas subterrâneas e (ii) sobre os parâmetros associados a cada alteração, considerados indispensáveis na qualificação da água para os usos de produção de água potável, dessedentação de animais, irrigação e processos industriais. Foi enviada aos respondentes uma lista (Tabela 2) com as alterações e os parâmetros relacionados.

Tabela 2 – Grupos de alterações e os parâmetros relacionados  
Table 2 – Packages alterations and related parameters

Alterações	Parâmetros Relacionados
Sabor e odor	Sabor e odor
Material orgânico oxidável	Carbono orgânico dissolvido
Partículas em suspensão	Turbidez e sólidos em suspensão totais
Ferro e manganês	Ferro total e manganês total
Coloração	Cor
Microorganismos	<i>Escherichia coli</i> , enterococos ou estreptococos fecais coliformes totais.
Mineralização e salinidade	Condutividade elétrica, resíduos secos e pH sulfato e dureza TAC, cálcio, magnésio, sódio, potássio, fluoreto, Índice de Saturação e RAS.
Nitrato	Nitrato
Nitrogenados (fora nitrato)	Amônia e nitrito
Micropoluentes minerais	Alumínio, antimônio, arsênio, bário, boro e cádmio cianeto, chumbo, cobre, cromo, mercúrio, níquel, prata, selênio, zinco
Pesticidas	Alaclor, aldrin e dieldrin, atrazina, bentazona clordano (isômeros), 2,4 D, DDT (isômeros), endossulfan, endrin, glifosato, heptacloro e heptacloro epóxido, hexaclorobenzeno, lindano ( $\gamma$ -BHC), metolacoloro, metoxicloro, molinato, pendimetalina, pentaclorofenol, permetrina, propanil, simazina, trifluralina, outros pesticidas
Hidrocarbonetos aromáticos policíclicos (HAP)	Benzo[a]pireno e HAP
PCB	PCB
Micropoluentes orgânicos	Acrilamida, benzeno, benzo[a]pireno cloreto de vinila, 1,2 dicloroetano, 1,1 dicloroetano, diclorometano, estireno, tetracloro de carbono, tetracloroetano, triclorobenzenos, tricloroetano.
Corrosão	CO <sub>2</sub> dissolvido, OD, salinidade, condutividade e pH cloreto, sulfatos, ferro bactérias, sulfitos, Eh (potencial óxido-redução)
Formação de incrustações	pH, Eh (potencial óxido-redução), OD Ferro Bactérias IS (Índice de Saturação)
Temperatura	Temperatura

As alterações propostas no questionário foram baseadas nas sugestões do modelo francês SEQ-Eaux Souterraines (CADILHAC e ALBINET, 2003) e complementadas com parâmetros presentes na legislação ambiental brasileira para classificação das águas subterrâneas.

### Primeira Rodada dos Questionários

Na primeira etapa da pesquisa, foram enviados três documentos aos setenta e três (73) respondentes que concordaram em participar do painel, via e-mail. O primeiro foi uma correspondência agradecendo a disposição do respondente em participar do painel e informando sobre a premissa de anonimato dos participantes. A segunda foi um formulário denominado “Formulação do Índice de Qualidade da Água Subterrânea” solicitando dados cadastrais do respondente; dando explicação da técnica Delphi e breve revisão sobre índices de qualidade de água. E o terceiro, com instruções para o preenchimento do questionário e da “Planilha Questionário”, com as perguntas fechadas sobre as alterações e os parâmetros, cujas escolhas deveriam ser marcadas com um “X”. Para garantir que os respondentes ficassem anônimos, as mensagens foram enviadas individualmente, dispensando-se a facilidade de vários destinatários para o mesmo texto. Todas as respostas foram catalogadas e tratadas de forma personalizada. Alguns respondentes exigiram mais detalhes sobre a pesquisa, outros indicaram novos participantes, mas alguns declinaram do convite. Todas as mensagens foram respondidas.

Após a tabulação dos resultados da primeira rodada, referentes às alterações escolhidas para compor o índice e os parâmetros associados a cada alteração, foi montado o segundo questionário, com o objetivo de motivar o painelista a avaliar o grau de importância (peso) de cada variável escolhida.

### Segunda Rodada dos Questionários

Foi enviado um documento com informações resumidas da metodologia utilizada para tratamento das respostas da primeira rodada e os resultados obtidos, e foi solicitado ao respondente indicar o peso que considera adequado a cada um dos parâmetros escolhidos por “Índice de Alteração”.

Nesta etapa, todos os questionários foram enviados por e-mail, dispensando-se a abordagem presencial. Esta opção se deveu ao fato de que o painel já estava montado e os respondentes motivados a participar, avaliando-se, portanto, que essa forma de abordagem era apropriada. Não obstante, o baixo percentual de respostas provocou um novo

chamamento, através de ligações telefônicas e envio de mensagens eletrônicas, convocando os painelistas a responderem a pesquisa e reiterando a importância da participação de cada um deles. Foi estabelecida uma data limite para envio das respostas e informado que, ao final desse prazo, as respostas seriam tabuladas e analisadas, para qualquer número de painelistas que tivesse atendido a convocação. A definição dos pesos dos parâmetros por subíndice ou “Índice por Alteração” foi realizada após a tabulação das respostas do segundo questionário, e teve como suporte o tratamento estatístico das respostas do painel. Os votos atribuídos aos grupos de alterações e aos parâmetros de cada grupo foram estatisticamente avaliados utilizando-se a distribuição *t-Student*, para caso unilateral, considerando como corte um nível de confiança de 60%, e conseqüentemente, rejeição de 40%. Aplicou-se a metodologia para o total de votos apurados no conjunto das dezessete alterações propostas e obteve-se o número médio de votos.

### Formulação do Índice

Após serem escolhidos todos os parâmetros que iriam fazer parte do índice e definidos os pesos dos parâmetros nos “Índices por Alteração”, utilizando tratamento estatístico, seguiu-se a formulação do índice. Esse procedimento envolveu as seguintes atividades: (i) Traçado das curvas de qualidade para cada parâmetro (ii) Definição dos pesos dos subíndices (Índices por Alteração) e (iii) Agregação dos “Índices por Alteração” para composição do índice global.

**Traçado das curvas de qualidade:** As curvas de qualidade representam a relação funcional entre a nota e o teor do parâmetro e são necessárias para definição das equações na formulação do índice. Para isso, são estabelecidas relações entre a intensidade de cada parâmetro (por exemplo, o teor de nitrato na água) e a qualidade da água, representada por uma nota de 0 a 100. As notas foram fixadas com base nos limites de potabilidade estabelecidos na legislação pertinente, a Portaria MS Nº 518/2004 (BRASIL, 2004) e a Resolução CONAMA Nº 396/2008 (BRASIL, 2008). A seguir, foram construídos gráficos das notas versus a intensidade de cada parâmetro, e os gráficos foram ajustados não linearmente na Planilha EXCEL para gerar as equações matemáticas para cada um deles. Utilizou-se como escala de nota, a mesma do IQA (PORTO, 1991), ou seja: notas 100-80 (Ótima); 79-52 (Boa); 51-37 (Regular); 36-20 (Ruim); e 19-0 (Péssima).

**Definição dos pesos dos subíndices (Índices por Alteração)** Para definição dos pesos de cada

uma das alterações selecionadas foram adotadas as premissas de que o índice deve contemplar a importância de cada grupo de alterações na qualidade da água, enquanto a qualidade da água deve satisfazer às exigências de sua utilização na produção de água para consumo humano.

Para mensurar essas exigências foram conferidos três graus de importância a cada um dos grupos: muito importante = peso 1,5; importante = peso 1,0 e importância relativa = peso 0,5; de modo que a somatória dos pesos para as oito alterações escolhidas fosse igual a oito, para permitir a forma de agregação multiplicativa na composição final do índice.

### Agregação dos “Índices por Alteração” para composição do índice global

A fórmula matemática escolhida foi a função multiplicativa, onde as funções individuais dos “Índices por alteração” são elevadas a seus pesos e multiplicadas entre si para compor o índice final. O trabalho de Abbasi (2002) mostrou que esse método foi utilizado nas formulações de outros pesquisadores, tais como as equipes coordenadas por Robert M Brown em 1970 (NSF, 2004) e por S. H. Dinius em 1972 (DINIUS, 1987); e mostrou-se bastante adequado. O método multiplicativo evita os problemas de “eclipse” e de “ambigüidade” presente nos outros modelos de agregação, como os somatórios. Para os grupos de “Índices de Alteração” com apenas um parâmetro, a equação do índice se iguala à equação do subíndice. E para os “Índices de Alteração” com mais de um parâmetro, as equações incorporam os pesos atribuídos a cada um dos parâmetros do subíndice, com a seguinte expressão:

$$IGA = I G_1^{w_1} * I G_2^{w_2} * K * I G_n^{w_n} \text{ (Equação 1)}$$

Onde:

- IGA= Índice do Grupo de Alteração;
- W1 = peso do Índice do Grupo de Alterações 1 (IG<sub>1</sub>);
- W2 = peso do Índice de Grupo de Alterações 2 (IG<sub>2</sub>);
- Wn = peso do Índice de Grupo de Alterações n (IG<sub>n</sub>);
- n= Número de Grupos de Alterações; com,

$$\text{Somatória dos Pesos} = \sum_{i=1}^{i=n} (W_i) = 1$$

### Cálculo do Índice

Para o teste da adequação do índice, foram utilizados dados de qualidade da água subterrânea fornecidos pelo Laboratório Central da Empresa Baiana de Águas e Saneamento S.A. - EMBASA. As informações são disponibilizadas pelo sistema do Controle de Qualidade de Água da empresa, que visa adquirir, registrar, manipular, armazenar e arquivar os resultados das análises realizadas pelo laboratório. São resultados de análises bacteriológicas e físico-químicas de amostras de água realizadas para atender diferentes propósitos: cumprimento da legislação ambiental, avaliação de mananciais, e de águas coletadas pela EMBASA para investigar não conformidades no abastecimento e para atender convênios com entidades públicas e instituições.

Os valores obtidos para o índice foram comparados com as características das águas subterrâneas dos locais estudados. Nessa etapa, os especialistas foram consultados. Foi realizado um “Diálogo Informativo” com a presença de trinta profissionais da Embasa, das áreas de: Biologia, Engenharia Química, Química, e técnicos operacionais envolvidos na atividade de qualidade de água da EMBASA. Esses profissionais discutiram os resultados encontrados e apresentaram sugestões.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

### Painel de Respondentes

Do conjunto inicial de 155 especialistas convidados para o Painel, apenas 73 destes confirmaram a participação e somente 30 responderam a primeira rodada, contribuindo com a seleção dos grupos de alteração de qualidade da água subterrânea e das variáveis para compor o Índice, bem como com a atribuição de pesos aos parâmetros. A Tabela 3 mostra o resultado do acolhimento dos painelistas.

Tabela 3 – Acolhimento da primeira e da segunda rodada do painel  
 Table 3 – Reception from first and second panel round

Situação 1ª Rodada	Quantidade	Percentual (%)
Entregues e sem resposta	39	53,4
Retornou da caixa e-mail	4	5,5
Questionários respondidos	30	41,1
<b>Total de questionários entregues</b>	<b>73</b>	<b>100</b>
Situação 2ª Rodada	Quantidade	Percentual (%)
Entregues e Sem Resposta	12	40
Retornou da caixa e-mail	0	0
Questionários Respondidos	18	60
<b>Total de questionários entregues</b>	<b>30</b>	<b>100</b>

Como pode ser observado, o percentual de respondentes que não retornou a primeira rodada do questionário ultrapassou 50%, revelando a dificuldade na obtenção das respostas.

Os questionários da segunda rodada foram remetidos aos 30 painelistas que retornaram o primeiro questionário, obtendo-se 18 respostas, portanto, 60% de retorno dos questionários enviados nessa etapa. Os números confirmaram as dificuldades em manter a participação dos especialistas. Os resultados da aplicação do Método DELPHI desde a montagem inicial do painel, quando foram convidados 46 especialistas via contato

direto e 109 via e-mail, num total de 155 indivíduos que receberam o convite de participação no Painel via internet, até os quantitativos finais da segunda rodada estão mostrados na Figura 1.

Os dados indicam que a aplicação da metodologia via Internet, embora seja muito ágil na troca de informações, apresenta alta taxa de evasão. Se, por um lado, há grande facilidade e agilidade de troca das mensagens, por outro, ocorre um desgaste com a falta de retorno das respostas. A Figura 1 mostra também que, embora 73 tenham aceitado o convite, somente 48 responderam o questionário (30 na primeira rodada e 18 na segunda rodada)

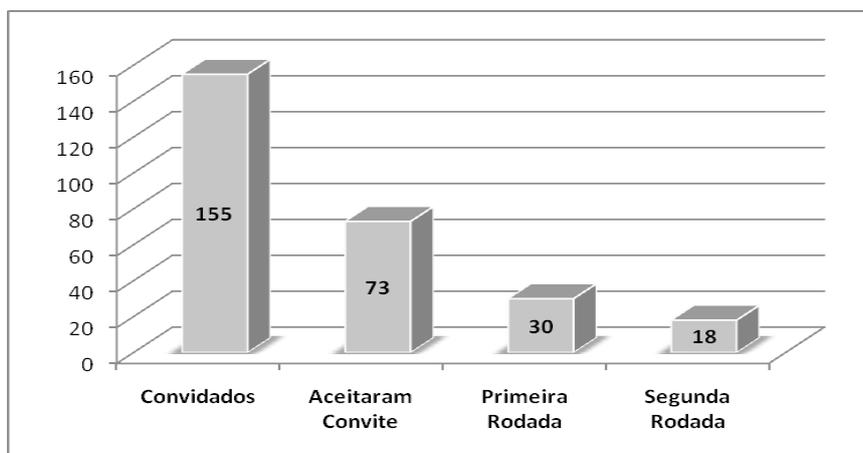


Figura 1 – Acolhimento do painel Delphi  
 Figure 1 - Delphi panel reception

Outra observação refere-se ao tempo de permanência da pesquisa na rede de computadores. Se, por um lado, a pressão para o envio das respostas em curto período de tempo pode parecer deslegante, por outro, a demora na cobrança dos questionários pode desestimular o respondente. Neste trabalho, não foi possível estimar o tempo ideal para aplicação do painel.

### Respostas dos painelistas

Na primeira rodada do painel Delphi foram selecionados sete conjuntos de alterações (Tabela 2) de um total de dezessete alterações inicialmente propostas. Os grupos de “Alteração de Qualidade” escolhidos foram designados como subíndices: partículas em suspensão - material particulado e coloidal - (IPS), ferro e manganês (IFEMN), microorganismos (IBIO), mineralização e salinidade (IMS), nitratos (INIT), nitrogenados, fora nitrato (IAMO), micropoluentes minerais

(IMIN). Embora não tenham alcançado votos suficientes entre os painelistas, os micropoluentes orgânicos (IORG) foram incluídos pela equipe do projeto, por se tratar de alteração de qualidade importante na Região Metropolitana de Salvador, que abriga um Pólo Petroquímico. A presença dessa atividade industrial, na região onde o índice seria aplicado, foi determinante para a inclusão desse último grupo, tendo o benzeno, como o parâmetro representante do grupo que alcançou 21 votos, dos 22 exigidos como mínimo.

A segunda rodada serviu também para definir os pesos dos parâmetros, dentro de cada grupo de alterações, que apresentavam mais de uma variável. O critério foi o percentual de votos recebidos. Nos demais grupos com um único parâmetro, o peso do parâmetro é 1. A tabela 4 apresenta os pesos dos parâmetros participantes de cada grupo de “Alteração de Qualidade”.

Tabela 4 – Peso dos parâmetros por grupo de alterações  
Table 4 – Weight of parameters for alteration packages

Índice	Alteração	Parâmetros	Peso Parâmetro
IBIO	Microorganismos	Coliformes Termotolerantes	1,0
IFEMN	Ferro e Manganês	Ferro	0,5
		Manganês	0,5
IMS	Mineralização - Salinidade	Cloreto	0,3
		Dureza	0,3
		Fluoreto	0,1
		pH	0,1
		Sulfatos	0,2
IPS	Partículas em Suspensão	Turbidez	1,0
INIT	Nitratos	Nitrato	1,0
IAMO	Nitrogenados (fora nitrato)	Amônia	1,0
IMIN	Micropoluentes Minerais	Mercúrio Total	1,0
IORG	Micropoluentes orgânico Orgânicos	Benzeno	1,0

### Curvas de Qualidade e Ajuste Matemático das Curvas.

As curvas de qualidade, nota versus concentração

para os doze parâmetros escolhidos no Painel, para uso preponderante no abastecimento humano, estão apresentadas na Figura 2.

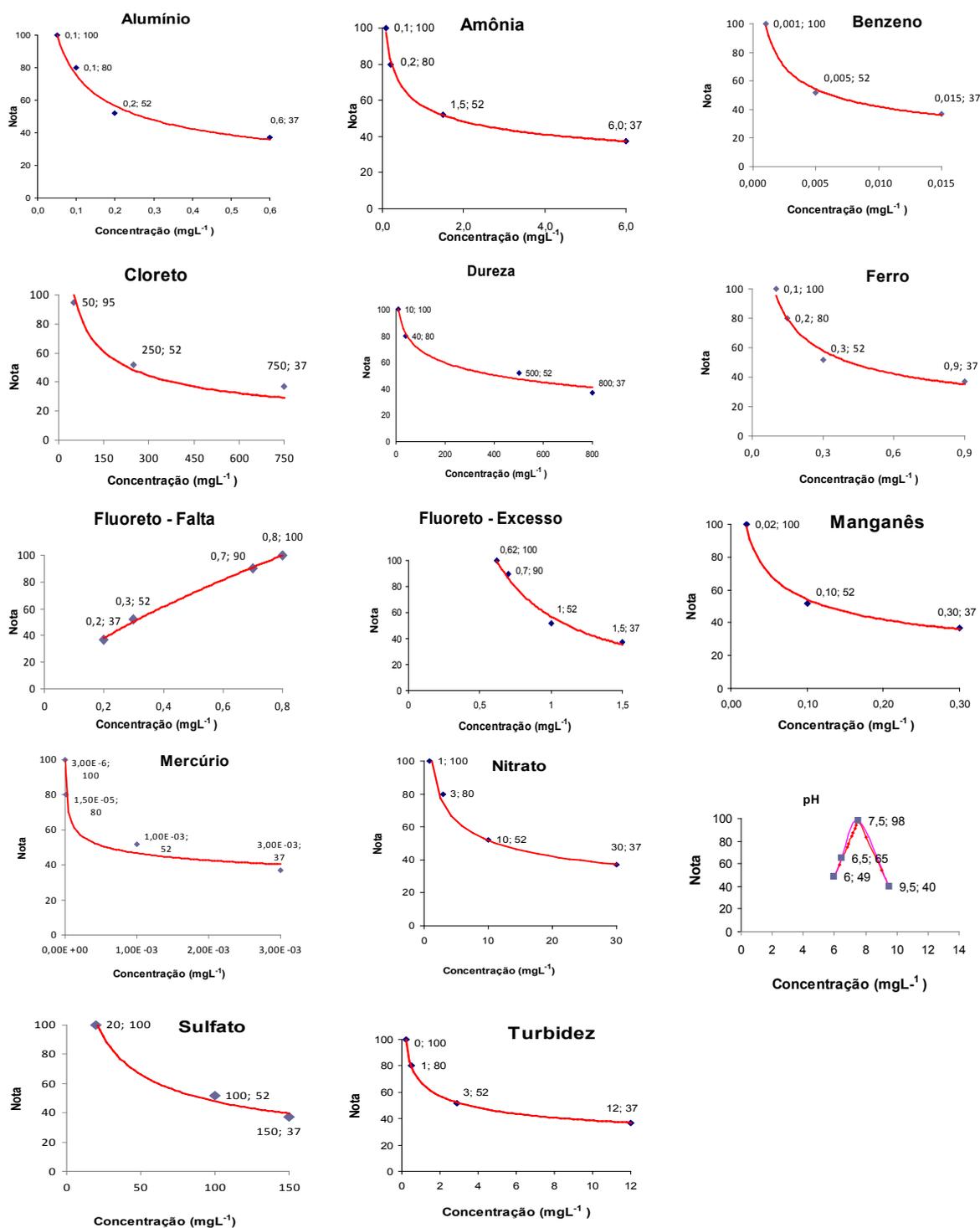


Figura 2 – Curvas de qualidade dos parâmetros  
 Figure 2 - Parameter quality curves

A tabela 5 apresenta por “Alteração de Qualidade” todos os parâmetros do índice, suas respectivas equações da “nota versus intensidade do parâmetro”, e os limites de validade de cada equação.

As determinações da concentração limite e da nota de qualidade, para cada um dos 12 parâmetros, foram realizadas pela equipe do projeto, adotando-se os limites de conformidade

com os seguintes documentos da legislação brasileira: Resolução CONAMA N° 396/2008 de águas subterrâneas (BRASIL, 2008), e Portaria MS N° 518/04 (BRASIL, 2004); bem como nas recomendações da Organização Mundial de Saúde (Diretrizes para a Qualidade da Água para Consumo Humano - *Guidelines for Drinking-water Quality - GDWQ*) (WHO, 2004). A primeira alternativa para estabelecimento

das concentrações limite foi o uso da resolução do CONAMA, porque se refere à qualidade de água no estado bruto. A Portaria MS Nº 518/04, como segunda alternativa, foi utilizada quando faltaram informações nesta resolução, e decorre do fato desse instrumento determinar teores limites dos parâmetros, para águas destinadas ao consumo humano. As recomendações da OMS foram utilizadas na ausência de informações na legislação brasileira, por serem referências aceitas e adotadas mundialmente. Deste modo, para os microorganismos, a nota máxima (100) foi imposta para a condição de ausência, sendo zero para qualquer outro valor, conforme preconiza a Portaria MS Nº. 518/04. Para os parâmetros Ferro, Manganês, Cloreto, Fluoreto, Nitrato, Mercúrio Total e Benzeno, foram utilizados os padrões referentes ao uso para

consumo humano, da Resolução CONAMA Nº 396/2008, da seguinte forma: os limites VRQ - Valor de Referência de Qualidade, para a qualidade ótima; VMP - Valor Máximo Permitido, para a qualidade boa; e, 3\*VMP, para a qualidade regular.

Para os parâmetros Dureza, pH, Sulfato e Turbidez foram utilizados os limites da Portaria MS Nº. 518/04 para a qualidade ótima, boa e regular. Para o Sulfato as recomendações dos guias da OMS foram utilizadas para as qualidades regular, ruim e péssima, entendendo-se como péssima aquelas águas com teores superiores a 500 mg/L, que, segundo o guia, apresentam efeitos laxantes. Para todas as curvas, foram interpolados valores em função do comportamento mais provável para o fenômeno, de modo a permitir um melhor ajuste não linear dos dados.

**Tabela 5 – Alteração de qualidade, parâmetros, limites de validade e equação matemática para as curvas de qualidade**

*Table 5 – Alterations of quality, parameters, limits and validity of mathematical equation for quality curves*

<b>Alteração de Qualidade</b>	<b>Parâmetros</b>	<b>Limites de Validade da Equação</b>	<b>Equação da nota versus intensidade do parâmetro</b>
Microorganismos	Coliformes Termotolerantes	$X < 1$	Y = 100 (Ausência)
		$X \geq 1$	Y = 0 (Presença)
Ferro e Manganês	Ferro	$X \leq 0,09 \text{ mg/L}$	Y = 100
		$X > 0,09 \text{ mg/L}$	$Y = 35,081 X^{-0,4261}$
	Manganês	$X \leq 0,02 \text{ mg/L}$	Y = 100
		$X > 0,02 \text{ mg/L}$	$Y = 22,847 X^{-0,3803}$

Alteração de Qualidade	Parâmetros	Limites de Validade da Equação	Equação da nota versus intensidade do parâmetro
Mineralização - Salinidade	Cloreto	$X \leq 51 \text{ mg/L}$ $X > 51 \text{ mg/L}$	$Y = 100$ $Y = 596,79 X^{-0,4553}$
	Dureza	$X \leq 10 \text{ mg/L}$ $X > 10 \text{ mg/L}$	$Y = 100$ $Y = -13,60 3\text{Ln}(X) + 130,16$
	Fluoreto	$X \leq 0,1 \text{ mg/L}$	$Y = 20$
		$0,1 < X \leq 0,8 \text{ mg/L}$	$Y = 116,79 X^{0,7001}$
		$0,8 < X \leq 2 \text{ mg/L}$ $X > 2 \text{ mg/L}$	$Y = 56,798 X^{-1,1589}$ $Y = 20$
pH	$X < 2,0$	$Y = 20$	
	$2,0 \leq X \leq 5,0$	$Y = 16,1 + (3,0 * X)$	
	$5,1 \leq X < 7,4$	$Y = 142,67 + (32,0 * X)$	
	$7,5 \leq X \leq 10,0$	$Y = 316,96 + (29,2 * X)$	
	$10,1 \leq X \leq 12,0$	$Y = 98,0 + (8,0 * X)$	
	$X > 12 \text{ mg/L}$	$Y = 20$	
Sulfatos	$X \leq 20 \text{ mg/L}$ $X > 20 \text{ mg/L}$	$Y = 100$ $Y = 409,02 X^{-0,4705}$	
	Partículas em Suspensão	Turbidez	$X \leq 0,2 \text{ NTU}$ $X > 2 \text{ NTU}$
Nitratos	Nitrato	$X \leq 1,5 \text{ mg/L}$ $X > 1,5 \text{ mg/L}$	$Y = 100$ $Y = 115,78 X^{-0,3314}$
Nitrogenados (fora nitrato)	Amônia	$X \leq 0,1 \text{ mg/L}$ $X > 0,1 \text{ mg/L}$	$Y = 100$ $Y = 56,703 X^{-0,2324}$
Micropoluentes Minerais	Mercúrio Total	$X \leq 3,5 * 10^{-6} \text{ mg/L}$ $X > 3,5 * 10^{-6} \text{ mg/L}$	$Y = 100$ $Y = 18,547X^{-0,1336}$
Micropoluentes Orgânicos		Benzeno	$X < 0,001 \text{ mg/L}$ $X > 0,001 \text{ mg/L}$

## Intervalos de validade das funções matemáticas

Com relação aos intervalos de validade das funções matemáticas apresentadas na Tabela 5, tem-se que, para todos os parâmetros, exceto fluoreto e pH, estabeleceu-se um limite à esquerda da curva, para o qual foi imposto o valor máximo de qualidade 100, porque para concentrações menores que esse limite, a função matemática passa a gerar valores inconsistentes. Para valores de Fluoreto menores do que  $0,1 \text{ mgL}^{-1}$  e maiores do que  $2,0 \text{ mgL}^{-1}$ , devido a condições inaceitáveis para a saúde humana (por falta e por excesso de flúor), foi imposta a nota 20, que corresponde a qualidade ruim. Similarmente para o pH, os valores menores do que 2,0 e maiores do que 12,0  $\text{mgL}^{-1}$ , também receberam a nota 20 de qualidade.

## Formulação do Índice

Conforme se verifica na Tabela 5, apenas dois grupos de alterações, “Ferro e Manganês” e “Mineralização e Salinidade”, têm mais de um parâmetro, o que os obriga a uma agregação intermediária. Tanto a agregação dos subíndices intermediários, quanto a agregação final do índice utilizaram o método de agregação multiplicativa.

O Índice Alteração Ferro e Manganês (IFEMN) é obtido por:

$$I_{FEMN} = Q_{FE}^{0,5} * Q_{MN}^{0,5} \quad (\text{Equação 2})$$

O Índice Alteração Mineração e Salinidade (IMS) é obtido por:

$$IMS = Q_{\text{Cloroeto}}^{0,3} * Q_{\text{Dureza}}^{0,3} * Q_{\text{Fluoreto}}^{0,1} * Q_{pH}^{0,1} * Q_{\text{Sulfato}}^{0,2} \quad (\text{Equação 3})$$

Para composição final do IQASB, foi necessária a atribuição de pesos, para cada um dos oito grupos de alteração: Partículas em Suspensão, Ferro e Manganês, Microorganismo, Mineralização e Salinidade, Nitratos, Nitrogenados (fora nitrato), Micropoluentes Minerais e Micropoluentes Orgânicos; de modo a contemplar a importância de cada grupo de alterações no índice e satisfazer o padrão de qualidade da água para consumo humano. Esse procedimento também permite a forma de agregação multiplicativa na composição final do IQASB. Considerando variados aspectos, para os macropoluentes e para os micropoluentes, foram conferidos três graus de importância a cada um dos grupos: muito importante = peso 1,5, importante = peso 1,0

e importância relativa = peso 0,5, impondo-se que a somatória dos pesos fosse igual a oito (oito grupos). Para o grupo de alteração “Microorganismo” representado pela presença de bactérias do grupo coliformes termotolerantes, considerou-se que a presença das bactérias indicadoras depõe contra a qualidade da água, pela existência de focos de poluição, credenciando o grupo como importante elemento na composição do IQASB. Assim, foi atribuído o peso 1,5. Para o grupo “Ferro e Manganês”, tanto a deficiência quanto o excesso causam agravos à saúde. Entretanto, nas regiões estudadas, as concentrações estão abaixo dos limites estabelecidos pela legislação brasileira e organismos internacionais. Assim, esse grupo foi considerado de importância relativa na composição do IQASB, sendo atribuído o peso 1,0. No grupo “Mineralização e Salinidade” cujos parâmetros podem sofrer alterações nos teores decorrentes de contaminação por efluentes domésticos e industriais; o grupo foi considerado como muito importante na composição final do IQASB, sendo atribuído o peso 1,5. Para o grupo de alteração “Partículas em Suspensão”, sabendo-se que, nas águas subterrâneas, a turbidez, quando não relacionada à presença Fe II, está diretamente relacionada a detalhe construtivo do poço; o grupo foi considerado como de importância relativa, atribuindo-se o peso 1,0. Quanto ao grupo dos “Nitratos”, cuja presença acima dos limites de potabilidade resulta comumente de atividades humanas poluidoras, foi considerado como muito importante na composição do IQASB, atribuindo-se o peso 1,5. Todavia, o grupo dos “Nitrogenados (fora nitrato)” foi considerado de menor importância na composição do índice, recebendo o peso 0,5. Para os “Micropoluentes Minerais”, o parâmetro escolhido foi o mercúrio. Sabendo-se que maiores concentrações de mercúrio na água subterrânea originam-se comumente de efluentes de indústrias (processos eletrolíticos; madeiras; resíduos de bactericidas e fungicidas; atividades de garimpo); e que essas atividades industriais não são desenvolvidas na região de estudo, este grupo de alteração foi considerado de importância relativa na composição do IQASB, recebendo peso 0,5. Deve ser destacado que, em áreas onde são desenvolvidas atividades relacionadas à poluição por mercúrio, em razão da alta toxicidade desse elemento, o peso atribuído ao grupo deve ser revisado. Quanto aos “Micropoluentes orgânicos” o parâmetro escolhido foi o benzeno, componente cancerígeno dos derivados de petróleo, que está associado às atividades industriais desenvolvi-

das na região de estudo. Dada à relevância dessa alteração, foi atribuído ao grupo o peso 1,5. Os pesos descritos acima (0,5 – 1,5) foram denominados de pesos temporários e sua somatória é igual a oito (quantidade de grupos de

alterações). Para que a somatória dos pesos seja igual à unidade, foi necessária a divisão de cada peso temporário pela soma dos pesos temporários, denominando-se estes de pesos finais dos grupos de alteração. A tabela 6 apresenta esses resultados.

Tabela 6 – Pesos temporário e final para os grupos de alterações de qualidade  
Table 6 - Temporary and final weights for alteration packages

Índice	Importância Atribuída	Peso Temporário	Peso Final
IBIO	Muito Importante	1,5	0,19
IFEMN	Importância Relativa	0,5	0,06
IMS	Muito Importante	1,5	0,19
IPS	Importância Relativa	0,5	0,06
INIT	Muito Importante	1,5	0,19
IAMO	Importância Relativa	0,5	0,06
IMIN	Importância Relativa	0,5	0,06
IORG	Muito Importante	1,5	0,19
Soma dos Pesos		8,0	1,0

A equação final para o cálculo do índice IQASB é dada por:

$$IQASB = I_{BIO}^{0,19} * I_{FEMN}^{0,06} * I_{IMS}^{0,19} * I_{IPS}^{0,06} * I_{INIT}^{0,19} * I_{IAMO}^{0,06} * I_{IMIN}^{0,06} * I_{IORG}^{0,19}$$

(Equação 4)

O cálculo do índice resulta num número adimensional na faixa de 0 a 100 que descreve as cinco classes de qualidade das águas subterrâneas: 100-80 (Ótima); 79-52 (Boa); 51-37 (Regular); 36-20 (Ruim); e 19-0 (Péssima), conforme critério utilizado pelo IQA-CETESB.

#### Aplicação do Índice

O cálculo do índice compreende, então, as etapas:

- (i) Aplicação das equações individuais a cada um dos 13 parâmetros gerando as notas de qualidade dos parâmetros,
- (ii) Cálculo dos “Índices por Alteração”, utilizando as notas dos parâmetros;
- (iii) Cálculo do índice final de qualidade da água subterrânea.

Com o objetivo de validar o Índice de Qualidade de Água Subterrânea Bruta (IQASB) a equação foi aplicada para amostras coletadas na Região Metropolitana de Salvador (RMS; BA) e os resultados estão apresentados na tabela 7.

Tabela 7 – Cálculo do IQASB para avaliação da qualidade da água em amostras da RMS  
Table 7 – Calculation of the IQASB for assessment water quality in samples from RMS

Pontos		Subíndices								IQASB
Nome Categoria	Amostra	IBIO	IFEMN	IMS	IPS	INIT	IAMO	IMIN	IORG	
Poço Machadinho - Poço 02	34395/05	100,0	77,3	87,1	48,5	92,0	100,0	100,0	100,0	<b>91</b>
Poço Machadinho - Poço 03	34396/05	100,0	100,0	90,8	100,0	100,0	84,5	100,0	100,0	<b>97</b>
Poço Jordão - Poço 02	34392/05	100,0	100,0	77,1	100,0	89,2	100,0	100,0	100,0	<b>93</b>

Poço Jordão - Poço 03	34393/05	100,0	100,0	84,4	100,0	93,6	100,0	100,0	100,0	100,0	<b>96</b>
Poço Espaço Alfa - Poço I	33519/05	100,0	100,0	86,1	66,1	84,4	92,8	100,0	100,0	100,0	<b>92</b>
Poço Espaço Alfa - Poço II	33520/05	100,0	100,0	83,8	72,7	82,3	100,0	100,0	100,0	100,0	<b>92</b>
Poço Espaço Alfa - Poço III	33521/05	100,0	100,0	83,9	66,8	92,0	100,0	100,0	100,0	100,0	<b>93</b>
Poço Espaço Alfa - Poço IV	33522/05	100,0	71,1	80,3	55,1	89,2	100,0	100,0	100,0	100,0	<b>89</b>
Poço Espaço Alfa - Poço V	33523/05	100,0	100,0	84,4	84,7	84,4	100,0	100,0	100,0	100,0	<b>93</b>
Poço Espaço Alfa - Poço I	35432/06	100,0	100,0	80,5	100,0	90,5	94,7	100,0	100,0	100,0	<b>94</b>
Poço Espaço Alfa - Poço II	35433/06	100,0	100,0	82,2	71,3	97,1	100,0	55,9	100,0	100,0	<b>91</b>
Poço Espaço Alfa - Poço III	35434/06	100,0	95,4	80,0	67,3	97,1	100,0	57,9	100,0	100,0	<b>90</b>
Poço Espaço Alfa - Poço IV	35435/06	100,0	85,1	79,6	60,2	99,1	86,8	62,0	100,0	100,0	<b>89</b>
Poço Espaço Alfa - Poço V	35436/06	100,0	100,0	80,6	65,7	92,0	86,8	66,6	100,0	100,0	<b>90</b>

Conforme mostra a tabela 7, os valores do IQASB calculados para as águas subterrâneas dos poços das localidades de Machadinho, Jordão e Espaço Alfa, no município de Camaçari, estão na faixa de 80 a 100 indicando água de qualidade ótima. Esses resultados são esperados por duas razões. A primeira de cunho hidrogeológico baseia-se no fato de que os poços estão localizados na Bacia Sedimentar do Recôncavo, aquífero composto de arenitos saturados por água de excelente qualidade. Desse aquífero são extraídas águas minerais potáveis de mesa, engarrafadas e comercializadas no estado da Bahia. A segunda razão é que esses poços fazem parte dos mananciais usados pela concessionária de água (EMBASA) no sistema de abastecimento de água potável do município de Camaçari. Como essas águas são submetidas apenas à simples cloração e fluoretação para atender ao controle exigido pela Portaria MS Nº 518/2004, devia-se encontrar, com esse índice, água de qualidade ótima como foi determinado.

## CONCLUSÕES

Os resultados obtidos para o IQASB aplicado a águas utilizadas no abastecimento de cidades da Região Metropolitana de Salvador, distribuídas pela concessionária de águas e saneamento do Estado da Bahia – EMBASA, foram compatíveis com as características das águas explotadas na região de coleta das amostras, ou seja, foram encontrados valores na faixa de 80-100 (ótima). Assim sendo, o objetivo de estabelecer um Índice de Qualidade de Água Subterrânea aplicável aos recursos destinados

ao uso na produção de água potável foi atingido.

O IQASB tem aplicação prática imediata: é possível avaliar a qualidade da água subterrânea em um ponto de coleta e comunicar o resultado de forma prática, associando a faixa de valor do IQASB às cores de qualidade: azul para as águas qualificadas como “ótimas” (IQASB na faixa de 80-100), verde para as águas “boas” (52-79), amarelo para as águas na faixa “regular” (37-51) e as duas últimas cores laranja e vermelho para as águas ruins (20-36) ou péssimas (0-19), respectivamente. O resultado pode ser apresentado na forma de um semáforo indicativo, muito útil ao público leigo. Além disso, pode ser incorporado ao conjunto de indicadores ambientais, ampliando assim a sua utilização.

## REFERÊNCIAS

ABBASI, S. A., Water Quality Indices, State of the Art Report, Scientific Contribution Nº. INCOH/SAR-25/2002, Published by: INCOH, National Institute of Hydrology, Roorkee, 73 pages. 2002. Disponível em [www.nih.ernet.in/general/Water%20Quality%20Indices.doc](http://www.nih.ernet.in/general/Water%20Quality%20Indices.doc). Acesso em: 07/08/2006.

BRASIL. Ministério da Saúde. Portaria Nº 518, de 25 de Março de 2004. Estabelece os procedimentos e responsabilidades relativos ao controle e vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade, e dá outras providências.

- BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA. Resolução N° 396, de 3 de Abril de 2008. Dispõe sobre a classificação e diretrizes ambientais para o enquadramento das águas subterrâneas e dá outras providências.
- CADILHAC, L., ALBINET, M. (Coord). Système d'évaluation de la qualité des eaux souterraines - Rapport de présentation, Version 0, Agences de l'Eau et le Ministère de l'Écologie et du Développement Durable, France, Août 2003. Disponível em [http://rdb.eaurmc.fr/eaux\\_souterraines/fichiers-telechargeables/SEQSOUT0803.pdf](http://rdb.eaurmc.fr/eaux_souterraines/fichiers-telechargeables/SEQSOUT0803.pdf). Acesso em: 26/07/ 2005.
- DERÍSIO J. C. Introdução ao Controle de Poluição Ambiental, São Paulo: Signus Editora. 2000.
- DINIUS, S. H. Design of an Index of Water Quality - Water Resources Bulletin WARBAQ Vol. 23, No. 5, p 833-843, October 1987. 5 fig, 5 tab, 16 ref. Department of the Interior Project A-054-ALA – Resumo disponível em <http://md1.csa.com/partners/viewrecord.php?requester=gs&collection=ENV&recid=8804284&q=&uid=789169512&setcookie=yes> Acesso em: 02/12/2006
- GORDON, T. J. The Delphi Method, United Nations University, USA, 1994.
- NSF – NATIONAL SANITATION FOUNDATION. Disponível em <http://www.nsf.org>> Acesso em: 28/08/ 2004.
- OLIVEIRA, I.B., NEGRÃO, F. I, e SILVA, A. G. L.S. Mapeamento dos Aquíferos do Estado da Bahia utilizando o Índice de Qualidade Natural das Águas Subterrâneas – IQNAS. Revista Científica Água Subterrânea, V.21, N°. 1, p. 123-137, 2007.
- PORTO, R. L. L. Estabelecimento de Parâmetros de Controle da Poluição. In: PORTO, R. L. L., BRANCO, S.M., CLEARY, R.W. et al., Hidrologia Ambiental. São Paulo, Associação Brasileira de Recursos Hídricos, ABRH, 1991.
- NSF – NATIONAL SANITATION FOUNDATION. Disponível em <http://www.nsf.org>> Acesso em: 28/08/2004.
- WHO - WORLD HEALTH ORGANIZATION. WHO - Guidelines for drinking - Water Quality, 3rd ed. Geneva: WHO, 2004. Disponível em [http://www.who.int/water\\_sanitation\\_health/dwq/GDWQ2004web.pdf](http://www.who.int/water_sanitation_health/dwq/GDWQ2004web.pdf) Acesso em: 24/02/2006.