



**UNIVERSIDADE FEDERAL DA BAHIA  
ESCOLA POLITÉCNICA  
MESTRADO EM ENGENHARIA AMBIENTAL URBANA**

**ROSA ALENCAR SANTANA DE ALMEIDA**

**ÍNDICE DE QUALIDADE DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS  
DESTINADAS AO USO NA PRODUÇÃO DE ÁGUA  
POTÁVEL (IQUAS)**

Salvador  
2007

# **Livros Grátis**

<http://www.livrosgratis.com.br>

Milhares de livros grátis para download.

**ROSA ALENCAR SANTANA DE ALMEIDA**

**ÍNDICE DE QUALIDADE DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS  
DESTINADAS AO USO NA PRODUÇÃO DE ÁGUA  
POTÁVEL (IQUAS)**

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado em Engenharia Ambiental Urbana da Escola Politécnica da Universidade Federal da Bahia, para obtenção do título de Mestre em Engenharia Ambiental Urbana.

Orientadora: Profa. Dra. Iara Brandão de Oliveira

Salvador  
2007

Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca Bernadete Sinay Neves,  
Escola Politécnica da UFBA

A447i Almeida, Rosa Alencar Santana de  
Índice de qualidade de águas subterrâneas destinadas ao uso na produção de  
água potável (IQUAS) / Rosa Alencar Santana de Almeida. – Salvador, 2007.

\_\_f. : il.

Orientadora : Profª.Drª. Iara Brandão de Oliveira  
Dissertação (mestrado) – Universidade Federal da Bahia, Escola Politécnica,  
2007.

1.Águas subterrâneas - Qualidade. 2. Água potável – Indicadores ambientais  
3.Delphi, Método. I. Brandão, Iara Brandão de. II.Universidade Federal da  
Bahia. Escola Politécnica. III. Título.

CDD 20.ed. 551.49

ROSA ALENCAR SANTANA DE ALMEIDA

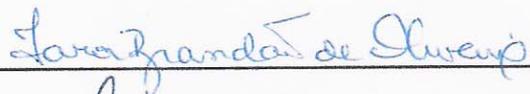
ÍNDICE DE QUALIDADE DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS  
DESTINADAS AO USO NA PRODUÇÃO DE ÁGUA POTÁVEL  
(IQUAS)

Dissertação para obtenção do grau de Mestre em Engenharia Ambiental Urbana.

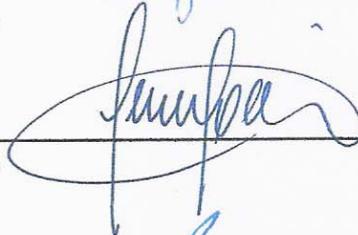
Salvador, 21 de setembro de 2007

Banca Examinadora:

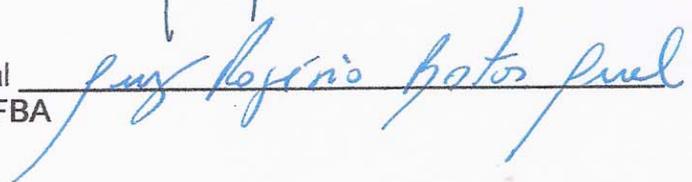
Profa. Dra. Iara Brandão de Oliveira  
Universidade Federal da Bahia –UFBA



Prof. Dr. Severino Soares Agra Filho  
Universidade Federal da Bahia –UFBA



Prof. PhD. Luiz Rogério Bastos Leal  
Universidade Federal da Bahia –UFBA



## ***Dedico***

Ao meu querido filho André, todo meu amor.

Aos meus queridos pais (*in memoriam*).

Ao estimado amigo Abel Jacó (*in memoriam*).

## ***Agradecimento Especial***

À Profa. Dra. Iara Brandão de Oliveira, pela amizade, envolvimento e incentivo.

## ***Agradecimentos***

José e André, pela compreensão e pelo apoio incondicional.

Elza, Valdenora e Edjan, irmãs e incentivadoras.

Agradeço com carinho a todos que direta ou indiretamente tornaram possível a  
realização desse trabalho.

A qualidade da água deve ser tal que satisfaça as exigências das utilizações, mas deve, especialmente, satisfazer as exigências de saúde pública.

*Derísio, 2000*

## RESUMO

Este trabalho apresenta a experiência de construção de um índice de Qualidade de Água Subterrânea destinadas ao uso na produção de água potável (IQUAS). A construção iniciou-se com a revisão de índices já existentes e a investigação dos parâmetros físico-químicos e bacteriológicos relacionados à qualidade das águas subterrâneas, especialmente aqueles relacionados à degradação ambiental e aos riscos à saúde humana. A pesquisa ampliou as informações dos índices anteriores e propôs uma nova ferramenta voltada à realidade ambiental e regulatória brasileira. Para seleção dos parâmetros mais importantes para o Índice utilizou-se o Método Delphi, para obter opiniões e resultados, através do consenso, entre especialistas. Os painelistas do Delphi também escolheram uma série de pesos para os parâmetros. A formulação do IQUAS, um produto de subíndices de qualidade, foi aplicada inicialmente para duas amostras de água realizadas no mesmo ponto de coleta em períodos distintos; como também, para quatorze amostras realizadas em pontos variados localizados na Região Metropolitana de Salvador - RMS. O IQUAS também foi aplicado a uma amostra simulada, com não conformidade para cada parâmetro de cada vez. O cálculo do índice também foi executado para seis amostras com parte dos parâmetros não disponíveis, para os quais foram simulados valores dentro da normalidade. Os resultados obtidos demonstraram que o IQUAS é um índice de qualidade apropriado para o recurso subterrâneo e serve como instrumento de monitoramento da qualidade das águas subterrâneas submetidas a impactos ambientais negativos.

**PALAVRAS CHAVE:** águas subterrâneas, índices de qualidade de água, indicadores ambientais, método Delphi.

## SUMMARY

This work presents a construction experience of a groundwater quality index (IQUAS) for the production of drinking water. The construction started with the revision of indexes already existent and the investigation of physiochemical and bacteriological parameters related to groundwater quality, especially those related to environmental degradation and risk to human health. The research complemented the previous indexes with a new tool for application to Brazilian environmental and legal reality. To select the most important parameters for the Index, it was applied the Method Delphi for obtaining opinions and results, through consensus, among specialists. The Delphi panelists also chose a series of weights for the parameters. The IQUAS index formulation, a product of quality indicators, was applied to two samples of groundwater used as drinking water, collected at the same point in different times; as well as, to fourteen samples from different locations at the Metropolitan Region of Salvador - RMS. The IQUAS was also used to a simulated sample, with non conformity for each parameter at a time. Calculation of the Index was also performed for six samples with missing parameters which were simulated inside the normality. The results demonstrated that IQUAS is an appropriate index of groundwater quality and it serves as an instrument for groundwater monitoring, submitted to negative environmental impacts.

KEY WORDS: environmental indicators, groundwater, method Delphi, water quality indexes (WQI).

## SUMÁRIO

<b>1.</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>10</b>
<b>2.</b>	<b>LEGISLAÇÃO BRASILEIRA PARA AS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS .....</b>	<b>18</b>
<b>3.</b>	<b>QUALIDADE AMBIENTAL DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS.....</b>	<b>26</b>
3.1.	Aspectos Gerais da Qualidade Ambiental .....	26
3.2.	Aspectos Microbiológicos nas Águas Subterrâneas.....	31
3.3.	Aspectos Físico-Químicos nas Águas Subterrâneas .....	36
3.4.	Aspectos de Aceitabilidade nas Águas Subterrâneas.....	38
3.5.	Abastecimento Alternativo por Água Subterrânea.....	40
3.6.	Padrões de Qualidade de Água .....	45
<b>4.</b>	<b>INDICADORES AMBIENTAIS APLICADOS AOS RECURSOS HÍDRICOS...48</b>	
<b>5.</b>	<b>PRINCIPAIS EXPERIÊNCIAS DE ÍNDICES DE QUALIDADE DE ÁGUA .....</b>	<b>56</b>
5.1.	Aspectos Gerais da Construção de Índices .....	56
5.1.1.	Seleção de Parâmetros .....	59
5.1.2.	Construção de Subíndices .....	60
5.1.3.	Atribuição de Pesos.....	61
5.1.4.	Agregação de Subíndices .....	61
5.2.	Índices de Qualidade de Água .....	63
5.2.1.	Índices para avaliação da qualidade das Águas Superficiais.....	64
5.2.1.1.	Índice de Horton.....	65
5.2.1.2.	Índice de Brown.....	66
5.2.1.3.	Índice Implícito de Poluição de Prati.....	71
5.2.1.4.	Índice de Deininger.....	74
5.2.1.5.	Índice de Dinius.....	75
5.2.1.6.	Índice de O'Connor .....	78
5.2.1.7.	IQA – CETESB.....	80
5.2.1.8.	Índice de Smith.....	82
5.2.1.9.	Índice de Stoner .....	83
5.2.1.10.	Índice de Bhargava .....	84
5.2.1.11.	Índice de Ved Prakash <i>et al</i> (1990).....	85
5.2.1.12.	IGQA – Sabesp.....	86
5.2.1.13.	Aspectos comparativos dos Índices de Qualidade de Água Superficial .....	87
5.2.2.	Índices de Qualidade de Água Subterrânea .....	90
5.2.2.1.	Índice de Deininger – 13 parâmetros.....	91
5.2.2.2.	SEQ – EAUX Souterraines - França.....	91
5.2.2.3.	IQNAS – UFBA.....	94
5.2.2.4.	Aspectos comparativos dos Índices de Qualidade de Água Subterrânea .....	95
<b>6.</b>	<b>A EXPERIÊNCIA DE CONSTRUÇÃO DO IQUAS .....</b>	<b>99</b>
<b>7.</b>	<b>METODOLOGIA .....</b>	<b>104</b>

<b>7.1. MÉTODO DELPHI.....</b>	<b>104</b>
7.1.1. Generalidades do Método .....	104
7.1.2. Histórico do Método.....	105
7.1.3. Fundamentos do Método.....	106
7.1.4. Aplicação da Metodologia .....	108
<b>7.2. Montagem do Painel de Respondentes .....</b>	<b>108</b>
<b>7.3. Elaboração dos Questionários da Primeira Rodada .....</b>	<b>110</b>
<b>7.4. Primeira Rodada dos Questionários .....</b>	<b>112</b>
<b>7.5. Preparação dos Questionários da Segunda Rodada .....</b>	<b>113</b>
<b>7.6. Segunda Rodada dos Questionários.....</b>	<b>114</b>
<b>7.7. Formulação do IQUAS.....</b>	<b>115</b>
7.7.1. Curvas de Qualidade.....	116
7.7.2. Tratamento Estatístico das Respostas do Painel Delphi.....	118
7.7.3. Atribuição dos Pesos dos “Índices por Alteração” .....	122
7.7.4. Agregação de “Índices por Alteração” para obtenção do IQUAS.....	129
<b>7.8. Base de Dados para Aplicação do IQUAS .....</b>	<b>130</b>
7.8.1. Seleção de Amostras .....	130
7.8.2. Procedimentos de Laboratório.....	133
<b>7.9. Procedimento de Cálculo e Aplicação do IQUAS .....</b>	<b>136</b>
<b>8. RESULTADO E DISCUSSÃO .....</b>	<b>138</b>
8.1. Resultados da Montagem do Painel Delphi.....	138
8.2. Parâmetros e Pesos para Composição do IQUAS.....	142
8.3. Formulação do IQUAS.....	143
8.4. Aplicação e Validação do IQUAS.....	147
<b>9. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES .....</b>	<b>159</b>
9.1. DA REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	159
9.2. Do Processo de Construção IQUAS .....	160
9.3. Dos Resultados Obtidos para o IQUAS .....	163
9.4. Dos Limites e Possibilidades .....	164
9.5. Das Recomendações.....	165
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>167</b>
<b>APÊNDICES .....</b>	<b>174</b>
<b>ANEXOS .....</b>	<b>184</b>

## 1. INTRODUÇÃO

O crescimento do uso de água de poços como fonte alternativa para consumo humano, tem atraído as atenções para a qualidade destas fontes de abastecimento alternativo.

Admitidas como de melhor qualidade e de menor custo em relação às águas de superfície, a expectativa é que as águas subterrâneas tenham qualidade adequada para consumo imediato.

No entanto, as águas subterrâneas têm sido submetidas a vários tipos de poluição. Nos ambientes urbanos, os mananciais do aquífero freático são afetados e têm sua qualidade comprometida com o aumento da atividade industrial, concentração de postos de gasolina, oficinas mecânicas, empresas de ônibus e caminhões, ferros velhos, e também com a presença de cemitérios, hospitais, clínicas, e mais ainda com o aumento da população e, conseqüentemente, o volume de efluentes domésticos e depósitos de lixo.

Como a qualidade da água subterrânea é o produto da interação da água de infiltração e os materiais que com ela entram em contato, este quadro sugere que muito provavelmente essas fontes de poluição se utilizem dos mecanismos de avanço naturais para chegar à água.

Por outro lado evidencia-se o esforço brasileiro na criação de mecanismos de controle da qualidade da água e a evolução da legislação com vistas a atender à demanda de informações por parte da sociedade. Nesse propósito o Decreto Nº 5.440, de 4 de Maio de 2005 determina a divulgação de informações sobre a qualidade e características físicas, químicas e microbiológicas da água para

consumo humano, tanto da água distribuída por sistemas de abastecimento, como também da água fornecida por solução alternativa coletiva de abastecimento, (BRASIL, 2005a). Antes, o Ministério da Saúde através da Portaria MS N° 518, de 25 de Março de 2004, já havia estabelecido os padrões de potabilidade que norteiam a qualidade da água distribuída para consumo (BRASIL, 2004). E o Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA), através da Resolução N° 357 de 17 de Março de 2005, já havia classificado e enquadrado os corpos hídricos nacionais (BRASIL, 2005g). Por fim, complementando essas iniciativas, no âmbito do compartimento subterrâneo destaca-se mais recentemente a criação de um grupo de trabalho para examinar e preparar propostas de resolução para classificar e estabelecer as diretrizes ambientais para o enquadramento das águas subterrâneas (BRASIL, 2005f).

Como visto, a portaria estabelece os padrões de potabilidade e as resoluções classificam os recursos para os variados usos. Todavia, a classificação não é feita dentro de uma escala de qualidade, da melhor para a pior qualidade dentro da classe onde está enquadrada, o que requer explicações adicionais aos não especialistas.

A elaboração de um índice para caracterizar a qualidade dos mananciais para consumo humano vai ao encontro dessas iniciativas, pois, facilita a comunicação com o público. Um índice permite objetividade na avaliação do comprometimento do aquífero para determinado uso. Do mesmo modo, é possível obter uma idéia geral da tendência da evolução da qualidade da água no longo prazo e fazer comparações entre diferentes mananciais (PORTO, 1991).

Os índices são ferramentas apropriadas para dar informações sobre a qualidade ou estado de um fenômeno de forma resumida e esclarecedora. Na maioria das vezes eles possuem a vantagem de integrar diversas variáveis expressas através de

um número que permite uma leitura fácil e aproxima o público não técnico, podendo ser entendido por qualquer pessoa.

Outro fator de relevância da construção de índices de qualidade de água pode ser associado a sua utilização como suporte ao conjunto de indicadores ambientais, tendo em vista que existe uma crescente demanda na formulação desses indicadores para diversos fins, como enumerados a seguir: monitorar tendências das condições do ambiente na identificação de riscos potenciais a saúde; acompanhar tendências na saúde resultante da exposição a fatores de riscos ambientais e indicar políticas a serem adotadas; comparar áreas ou países em termos dos seus estados de saúde ambiental e auxiliar em ações objetivas onde for necessário; monitorar e avaliar os efeitos de políticas ou outras intervenções em saúde ambiental; contribuir no crescimento da consciência sobre saúde ambiental em diferentes grupos de investidores; e ajudar nas investigações sobre as ligações potenciais entre ambiente e saúde (por exemplo, como parte de estudos epidemiológicos), servindo como uma base para subsidiar intervenções de saúde e políticas públicas (BRIGGS, 1999).

Alguns índices de qualidade de água foram desenvolvidos pelas concessionárias estaduais de serviços de saneamento e são aplicados para qualificar as águas tratadas e distribuídas para abastecimento público, independente do seu compartimento de origem: superficial ou subterrâneo. Dentre outros, estão disponíveis o Índice de Qualidade da Água Distribuída (IQAD), em uso nas seguintes Companhias de Saneamento: do Paraná (Sanepar), de Minas Gerais (Copasa) e do Distrito Federal (Caesb), e do Índice Geral de Qualidade de Água (IGQA) utilizado pela Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo (Sabesp), conforme se infere em consultas às páginas eletrônicas institucionais destas concessionárias. Esses índices, embora incorporem parâmetros que indicam a

qualidade natural da água bruta, são voltados para exprimir a eficiência dos sistemas de tratamento operados pelas concessionárias.

No entanto, como destaca Heller (2005), é preciso uma abordagem holística da qualidade da água, do manancial ao consumo, incluindo o conceito de múltiplas barreiras na proteção dos mananciais. E nesta perspectiva identifica-se a necessidade de qualificar os mananciais, superficiais e subterrâneos, com o propósito de conhecer as condições atuais, avaliar e protegê-los.

São muitos os índices para exprimir a qualidade das águas dos mananciais superficiais, adequados aos diversos ambientes (rios, lagos, água estuarina). Dentre esses o referencial mais utilizado é o *WQI - Water Quality Index* proposto pela *National Sanitation Foundation (NSF)*, em 1970. A Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental (Cetesb) adaptou o WQI para uso no Brasil, renomeou-o de IQA - Índice de Qualidade de Água e utilizou-o no período de 1975 a 2001. Tendo em vista a limitação do IQA frente à presença de outros elementos tóxicos presentes na água e não contemplados no índice, a instituição desenvolveu novos índices para os principais usos dos recursos hídricos: águas destinadas para fins de abastecimento (IAP), águas destinadas à proteção da vida aquática (IVA) e águas destinadas ao banho (classificação praia), sendo que o IAP incorpora em sua formulação o índice IQA.

No que se refere à qualificação de águas subterrâneas, são poucas as referências encontradas. Na França, o sistema de avaliação das águas subterrâneas, SEQ- Eaux Souterraines, propõe um índice baseado em duas noções: alteração da qualidade e uso do recurso. E no Brasil, o Índice de Qualidade Natural de Água Subterrânea (IQNAS), desenvolvido por pesquisadores da Universidade Federal da Bahia, surge como a primeira tentativa de formulação de um índice de qualidade para as águas subterrâneas exploradas nos quatro domínios

hidrogeológicos básicos do Estado da Bahia: aquífero sedimentar, aquífero cárstico, aquífero cristalino e aquífero metassedimentar.

Entretanto o IQNAS, embora útil, também apresenta a mesma limitação verificada no índice adaptado pela Cetesb, IQA, para avaliação das águas superficiais, ou seja, o índice não incorpora a presença de elementos tóxicos que cada vez mais vêm alterando a qualidade natural das águas subterrâneas.

Desse modo, no âmbito nacional existem lacunas no que se refere ao estabelecimento de índices de qualidade dos mananciais subterrâneos, sobretudo para aqueles localizados em áreas com forte presença humana. A oportunidade de avaliá-los de forma diferenciada decorre, sobretudo porque as fontes e os processos de poluição desses mananciais são diferentes das fontes que degradam os recursos superficiais, além do que uma vez poluídos sua recuperação é lenta e onerosa.

Com efeito, este trabalho buscou revisar os índices existentes e investigar os parâmetros físico-químicos e bacteriológicos relacionados à qualidade das águas subterrâneas, especialmente aqueles cuja presença possa ser relacionada à degradação ambiental e que ofereçam riscos à saúde. Também se propôs elaborar um novo Índice de Qualidade de Água Subterrânea destinadas ao uso na produção de água potável (IQUAS), o qual pretende acrescentar mais informações de qualidade ao índice já formulado IQNAS, que somente reflete a qualidade natural das águas subterrâneas. Pretende-se com isso que este novo índice IQUAS, venha ser um indicador adequado de qualidade desse recurso e sirva como instrumento de monitoramento da qualidade das águas subterrâneas submetidas a impactos ambientais negativos.

No que se refere aos levantamentos trata-se de uma pesquisa de natureza quantitativa, pois segundo Boaventura (2004), trabalha e se expressa em números tanto na coleta como no tratamento dos dados. Entretanto, os dados iniciais foram

secundados por avaliação qualitativa que permitiu aprofundar a discussão e complementar as informações obtidas. Segundo o mesmo autor, quanto ao tipo é uma pesquisa metodológica, que usa a mensuração.

### **Objetivo Geral**

Estabelecer um Índice de Qualidade de Água Subterrânea (IQUAS) aplicável aos recursos destinados ao uso na produção de água potável.

### **Objetivos Específicos**

- ✓ Proceder a uma revisão dos índices de qualidade de água existentes, discutir e consolidar conceitos aplicáveis ao Índice de Qualidade de Água Subterrânea para recursos destinados à produção de água potável (IQUAS).
- ✓ Escolher os parâmetros biológicos, físico-químicos, inorgânicos e orgânicos mais representativos, formular o Índice de Qualidade de Água Subterrânea (IQUAS).
- ✓ Avaliar a aplicação do Índice de Qualidade de Água Subterrânea (IQUAS) ao conjunto de amostras com análises disponíveis para todos os parâmetros do IQUAS, refinar os resultados obtidos e homologar o índice.

## **Estruturação do Estudo**

O trabalho está dividido em sete capítulos, além da Introdução e das Conclusões e Recomendações, que buscam abordar os seguintes temas: gestão e qualidade do recurso hídrico subterrâneo; atenção para a dinâmica da qualidade da água desde o manancial até o consumo; importância dos indicadores ambientais; e principais iniciativas para qualificar as águas de modo geral e especialmente as águas subterrâneas.

O capítulo “Legislação Ambiental Brasileira para as Águas Subterrâneas” trata da evolução da legislação ambiental no Brasil, buscando elencar os instrumentos legais que norteiam a gestão dos recursos hídricos subterrâneos. Em seguida o capítulo “Qualidade Ambiental das Águas Subterrâneas” busca traçar um panorama sobre os aspectos da qualidade do recurso, como também caracterizar as principais formas de poluição hídrica. Além disso, aborda o uso do recurso como alternativa de abastecimento humano no Brasil. As informações vão corroborar a justificativa do estudo.

Os indicadores ambientais e índices de qualidade são abordados nos capítulos seguintes: “Indicadores Ambientais aplicados aos Recursos Hídricos” e “Principais Experiências de Índice de Qualidade de Água”. No primeiro, destacam-se as iniciativas na formulação de indicadores ambientais e a sua importância na compreensão da realidade ambiental brasileira. No segundo, são revistos os principais índices de qualidade de água, alguns voltados para qualificar os mananciais, não importando o compartimento hídrico de origem, e outros específicos para mananciais superficiais e também para mananciais subterrâneos, e ainda alguns índices para qualificar a água tratada e distribuída nos sistemas de

abastecimento. As informações vão embasar a escolha da metodologia usada na formulação do IQUAS

No capítulo “A Experiência de construção do IQUAS” empreende-se uma análise dos pontos abordados nos capítulos anteriores, para fundamentar as escolhas feitas para a execução do trabalho propriamente dito de formulação do IQUAS.

A metodologia adotada na pesquisa é explanada no capítulo de mesmo nome, onde são descritos todos os procedimentos no que tange aos métodos e materiais utilizados para selecionar parâmetros e pesos, formular o índice, obter a base de dados de amostras e calcular o IQUAS.

Finalmente no capítulo “Resultados e Discussão” são apresentados os cálculos e índices obtidos para o grupo de amostras piloto. O cálculo é feito inicialmente para duas amostras do mesmo ponto de coleta, e em seguida estendido para o conjunto de quatorze amostras colhidas em pontos variados localizados na Região Metropolitana de Salvador. E para ampliar o estudo, é feita uma simulação de não conformidade pontual para um em cada treze parâmetros de uma amostra padrão e também o cálculo do IQUAS para seis amostras com: parte dos parâmetros realizados e os demais simulados dentro da normalidade.

## **2. LEGISLAÇÃO BRASILEIRA PARA AS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS**

A legislação ambiental brasileira concernente ao recurso água é ampla e vigora há várias décadas. O “Código das Águas”, como é conhecido o Decreto Nº. 643/34, foi assinado pelo então Presidente Getúlio Vargas em 10 de Julho de 1934. No texto, as águas são classificadas como: comuns, particulares e públicas, e no caso específico das águas subterrâneas são definidas as premissas para o uso da água. Foi estabelecido que o dono de qualquer terreno pudesse apropriar-se por meio de poços, galerias, etc. das águas que existissem debaixo da superfície de seu prédio, contanto que não prejudicasse aproveitamentos existentes nem derivasse ou desviassem de seu curso natural águas públicas dominicais, públicas de uso comuns ou particulares (BRASIL, 1934).

Desde então, a legislação vem sendo atualizada ao longo dos anos para se adequar aos novos paradigmas das questões ambientais. São leis, decretos, portarias, resoluções, que tornam possível a difícil relação entre o poder público, a sociedade civil e o empresariado nacional.

Com a promulgação da Lei Federal Nº. 6.938 de 31 de Agosto de 1981, foi definida a Política Nacional do Meio Ambiente (PNMA), seus fins e mecanismos de formulação e aplicação (BRASIL, 1981). Essa mesma lei estabeleceu os instrumentos legais para aplicação da política de meio ambiente: o Sistema Nacional do Meio Ambiente – SISNAMA, o Conselho Nacional de Meio Ambiente – CONAMA e o Cadastro de Defesa Ambiental. Somente nove anos depois foi promulgada a lei que iria definir a composição da estrutura básica dos órgãos da presidência da república e dos ministérios responsáveis pela coordenação, supervisão e controle da

política de meio ambiente: lei Nº 8.028 de 12 de Abril de 1990 (BRASIL, 1990), em seguida revogada e substituída pela Lei Federal Nº 8.490 de 19 de Novembro de 1992 (BRASIL, 1992).

Quinze anos após a criação da Política Nacional de Meio Ambiente foi promulgada a Lei Federal Nº 9.433 de 8 de Janeiro de 1997, a chamada “Lei das Águas”, um marco na gestão dos recursos hídricos nacionais, suporte para a criação do Conselho Nacional de Recursos Hídricos – CNRH e o do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos – SINGREH (BRASIL, 1997). Outro instrumento instituído pela Lei das Águas foi o Plano Nacional de Recursos Hídricos – PNRH, que em 30 de janeiro de 2006, nove anos após a promulgação lei, foi concluído e aprovado.

O PNRH apresenta um conjunto de diretrizes, metas e programas para assegurar o uso racional da água no Brasil até 2020. Ressalte-se que, entre as considerações sobre as estratégias de construção do futuro, está explícita a disposição em consolidar o marco institucional existente e superar ambigüidades relativas à gestão das águas subterrâneas.

É fato que a Lei Federal Nº 9.433 não faz leitura explícita das águas subterrâneas, mas a o Plano Nacional de Recursos Hídricos (PNRH) as inclui no plano de gestão, como também o faz com as águas de chuva.

Em resumo, as leis estabelecem o arcabouço sobre o qual são construídos os planos e serão desenvolvidas as ações efetivas para alcançar os objetivos de preservação, melhoria e recuperação da qualidade ambiental desejadas. Estas ações se dão na forma de normas e padrões definidos e executados pelos órgãos integrantes dos sistemas, também definidos na forma das leis.

Assim, na forma da Lei N. 6.938, de 31 de Agosto de 1981, artigo 6º, o CONAMA é o órgão Consultivo e Deliberativo do SISNAMA e tem a finalidade de assessorar,

estudar e propor ao Conselho de Governo, diretrizes de políticas governamentais para o meio ambiente e os recursos naturais e deliberar, no âmbito de sua competência, sobre normas e padrões compatíveis com o meio ambiente ecologicamente equilibrado e essencial à sadia qualidade de vida (BRASIL, 1981).

As resoluções são os instrumentos legais utilizados pelo CONAMA para cumprir suas atribuições. No que se refere à classificação e ao enquadramento dos corpos hídricos está em vigor a Resolução Nº 357 de 17 de Março de 2005 (BRASIL, 2005g). Essa resolução além de estabelecer as condições de lançamentos de efluentes, reconhece também as determinações sobre a balneabilidade da águas nacionais, estabelecidas pela Resolução Nº 274, de 29 de Novembro de 2000 (BRASIL, 2000c).

No âmbito do SINGREH, cabe ao CNRH estabelecer as diretrizes complementares para implementação da Política Nacional de Recursos Hídricos (BRASIL, 1997). As moções e resoluções são os instrumentos legais do CNRH.

A Resolução CNRH Nº. 12, de 12 de Julho de 2000, estabelece os procedimentos para o enquadramento de corpos de água em classes segundo os usos preponderantes (BRASIL, 2000b). Mais recentemente a Resolução CNRH Nº 15, de 11 de Junho de 2001, estabelece as diretrizes gerais para a gestão de águas subterrâneas, determina o enquadramento dos corpos de água subterrânea em classes segundo as características hidrogeológicas dos aquíferos e seus respectivos usos preponderantes, ainda a serem definidos (BRASIL, 2001).

Furukawa (2005) ao discutir as relações entre o Sistema Nacional de Meio Ambiente (SISNAMA) e o Sistema de Recursos Hídricos (SINRH), lembra que até estruturação do SINRH a competência pelas atividades de classificação, padronização e enquadramento era exclusiva do SISNAMA, entretanto com a definição da Política de Recursos Hídricos foram introduzidas diferenças conceituais

em relação às Políticas de Meio Ambiente que evidenciaram a necessidade de compatibilização entre a legislação ambiental e a de recursos hídricos, sendo o enquadramento dos corpos de água, uma das principais interfaces entre a gestão ambiental e de recursos hídricos. Ainda segundo Furukawa, as resoluções CONAMA Nº 357/05 e CNRH Nº 12/00 estão intimamente vinculadas, pois cabe ao SISNAMA a definição do sistema de classes e dos padrões de qualidade e de lançamento, necessários ao desenvolvimento sustentável dos recursos naturais, e ao SINRERH o processo de enquadramento dos corpos d'água de forma a assegurar os usos atuais e previstos, incluindo a definição de metas de qualidade para recuperação dos corpos d'água.

É preciso destacar que a Resolução CONAMA Nº 357/2005 não dispõe sobre a classificação das águas subterrâneas, e que não existe na legislação brasileira outro mecanismo legal que o faça, embora a Resolução CNRH Nº 22, de 24 de Maio de 2002, determine a obrigatoriedade de caracterização física, química e biológica das águas dos aquíferos (BRASIL, 2002). Esta resolução define diretrizes para inserção das águas subterrâneas nos Planos de Recursos Hídricos, dentro da competência do CNRH para estabelecer diretrizes complementares para implementação do PNRH.

Não obstante, com o objetivo de preencher a lacuna ao não se referir às águas subterrâneas nas suas resoluções, o CONAMA constituiu, através da Moção nº 068, de 21 de junho de 2005, um grupo de trabalho - GTAS - para examinar e preparar propostas para uma legislação específica para esse compartimento hídrico (BRASIL, 2005f). Em 04 de Junho, após quatorze sucessivas reuniões para elaboração da resolução, o grupo de trabalho disponibilizou uma nova proposta, ainda em fase final de elaboração, que dispõe sobre a classificação e diretrizes ambientais para o enquadramento das águas subterrâneas, bem como estabelece as condições e

limites para o controle da aplicação de resíduos e efluentes em solos (BRASIL, 2007). Supondo que os limites propostos pelo grupo serão aprovados com pequenas modificações, este trabalho adotou esses valores como um dos referenciais na elaboração do IQUAS.

Na proposta de resolução apresentada pelo GTAS as águas subterrâneas são enquadradas em classes por UEAS - Unidade de Enquadramento de Água Subterrânea, termo ainda em definição, que indica uma porção limitada do corpo hídrico subterrâneo que possua características hidráulicas e hidroquímicas semelhantes. As classes seriam estabelecidas de acordo com os seguintes critérios (BRASIL, 2007):

I – Classe especial - As águas subterrâneas dos aquíferos, conjunto de aquíferos ou porção destes que estão situadas em unidades de conservação de proteção integral e as que contribuam diretamente para os trechos de corpos de água superficial enquadrados como classe especial.

II - Classe 1 - Águas subterrâneas dos aquíferos, conjunto de aquíferos ou porção destes que não contêm substâncias antropogênicas e cujas características hidrogeoquímicas naturais não exigem tratamento para quaisquer usos preponderantes, exceto desinfecção para o consumo humano. Estas águas devem atender aos Valores de Referência de Qualidade (VRQ) a serem estabelecidos pelos órgãos competentes.

III - Classe 2 - Águas subterrâneas dos aquíferos, conjunto de aquíferos ou porção destes que não contêm substâncias antropogênicas e cujas características hidrogeoquímicas naturais podem exigir tratamento adequado dependendo do uso pretendido. As águas da Classe 2, do mesmo modo que as da Classe 1, devem ter padrões de qualidade que atendam aos VRQ.

IV – Classe 3 - As águas subterrâneas dos aquíferos, conjunto de aquíferos ou porção destes que podem conter substâncias antropogênicas, mas que não necessitam de tratamento para quaisquer usos preponderantes, exceto desinfecção para o consumo humano. As águas subterrâneas de Classe 3 deverão ter condições e padrões de qualidade que atendam aos Valores Máximos Permitidos mais restritivos entre os usos preponderantes.

V – Classe 4 - As águas subterrâneas dos aquíferos, conjunto de aquíferos ou porção destes que podem conter substâncias antropogênicas podem necessitar de tratamento dependendo do uso pretendido. As águas subterrâneas de Classe 4 deverão ter condições e padrões de qualidade que atendam aos Valores Máximos Permitidos menos restritivos entre os usos preponderantes.

VI – Classe 5 - As águas subterrâneas dos aquíferos, conjunto de aquíferos ou porção destes, que apresentam condições e substâncias em concentrações que inviabilizem técnica ou economicamente o seu tratamento em função dos usos pretendidos. As águas subterrâneas de Classe 5 não terão condições e padrões de qualidade estabelecidos na resolução.

Também como referencial, para o compartimento hídrico subterrâneo cabe serem adotadas as recomendações do CONAMA Nº 357/05 para Água Doce – Classe 1 (BRASIL, 2005g) com as adequações necessárias, pois se trata da legislação atualmente disponível.

O uso desta classificação é oportuno, pois a pesquisa busca qualificar a água subterrânea destinada a produção do recurso para consumo humano, e segundo a resolução CONAMA Nº. 357/2005 estas águas podem ser destinadas:

- a) ao abastecimento para consumo humano, após tratamento simplificado;
- b) à proteção das comunidades aquáticas;

- c) à recreação de contato primário, tais como natação, esqui aquático e mergulho, conforme Resolução CONAMA Nº 274, de 2000;
- d) à irrigação de hortaliças que são consumidas cruas e de frutas que se desenvolvam rentes ao solo e que sejam ingeridas cruas sem remoção de película; e
- e) à proteção das comunidades aquáticas em Terras Indígenas.

O enquadramento e classificação dos corpos d'água é de responsabilidade dos órgãos ambientais, seja no âmbito do SISNAMA ou do SINREH, enquanto que a qualidade da água para consumo humano é atribuição da Secretaria da Vigilância em Saúde, órgão vinculado ao Ministério da Saúde, o qual é responsável pelos assuntos relacionados à política nacional de saúde. Cabe, portanto, ao Ministério da Saúde, estabelecer as Normas de Qualidade da Água para Consumo. Estas normas são apresentadas na forma de portarias, revistas periodicamente, sendo a mais recente a Portaria MS Nº 518/2004 de 25 de Março de 2004 (BRASIL, 2004), que substituiu a Portaria MS Nº 1.469/2000.

Segundo avaliação técnica da Coordenação-Geral da Vigilância Sanitária do Ministério da Saúde, a Portaria MS Nº 518/2004, tal como sua antecessora, a Portaria MS Nº 1469/2000, é considerada um avanço em relação aos textos anteriores, os quais eram preponderantemente voltados à definição de padrões de potabilidade, enquanto os dois mais recentes contemplam critérios e procedimentos complementares tais como: promoção de boas práticas em todo sistema de produção e distribuição de água; enfoque sistêmico do controle e vigilância da qualidade da água, desde o manancial até o consumo; incorporação de um enfoque epidemiológico na vigilância da qualidade da água para consumo humano; avaliação de riscos; além da adequada informação à população (BRASIL, 2005d). A adoção deste último procedimento foi viabilizada pela publicação do Decreto Nº 5.440, de 4 de Maio de 2005, que regulamentou a divulgação de informações sobre a qualidade

da água para consumo humano: mensalmente, nas contas de água, e, anualmente, na forma de relatórios que serão encaminhados a cada ligação predial, informando os parâmetros com frequência trimestral e semestral que estiverem em desacordo com a Portaria MS Nº 518/04.

É importante conferir que o artigo 3º da Portaria MS Nº 518/04 exclui da norma de qualidade de água para consumo humano as águas envasadas e outras, cujos padrões de qualidade são estabelecidos em legislação específica. No caso das águas envasadas, sejam elas minerais naturais, naturais ou adicionadas de sais, inclusive as suas fontes, a legislação dispõe das resoluções RDC Nº. 274 e RDC Nº. 275, de 22 de Setembro de 2005, de responsabilidade da Diretoria Colegiada da Agência Nacional de Vigilância Sanitária, órgão do Ministério da Saúde (Brasil, 2005b, 2005c). Do mesmo modo, ainda que não sejam para consumo humano, as águas destinadas ao uso em procedimentos de hemodiálise são legisladas pela Portaria MS Nº 82/2000, de 3 de Janeiro de 2000, também de responsabilidade do Ministério da Saúde (BRASIL, 2000a).

Ressalte-se que os padrões adotados na norma brasileira tomam como base critérios adotados por organismos nacionais e internacionais. No âmbito nacional usa como referência os critérios da ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. No âmbito internacional segue a *World Health Organization (WHO)*, *Environmental Protection Agency (EPA)*, *United States Public Health Service (USPHS)*. Um estudo comparativo entre os limites estabelecidos na Resolução CONAMA Nº 357/05 e na Portaria Nº 518/04 do Ministério da Saúde e recomendações das agências internacionais, apresentados no Apêndice A - Padrões de Qualidade de Água Portaria Nº518/04 X Resolução CONAMA Nº357/05 X 3<sup>th</sup>GDWQ, dão um panorama geral dos números disponíveis.

### **3. QUALIDADE AMBIENTAL DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS**

#### **3.1. Aspectos Gerais da Qualidade Ambiental**

O objetivo da Política Nacional do Meio Ambiente, tal como estabelecido pela Lei Federal Nº. 6.938 de 31 de Agosto de 1981, é a preservação, melhoria e recuperação da qualidade ambiental propícia à vida, de modo a assegurar condições ao desenvolvimento sócio-econômico, aos interesses da segurança nacional e à proteção da dignidade da vida humana (BRASIL, 1981). Por princípio deve ser observada a racionalização do uso do solo, do subsolo, da água e do ar e deve ser acompanhado o estado da qualidade ambiental.

Para conceituar qualidade ambiental duas definições se destacam nesse instrumento legislador: degradação da qualidade ambiental e poluição. A degradação da qualidade ambiental é a alteração adversa das características do meio ambiente. A poluição é a degradação da qualidade ambiental resultante de atividades que direta ou indiretamente:

- a) prejudiquem a saúde, a segurança e o bem-estar da população;
- b) criem condições adversas às atividades sociais e econômicas;
- c) afetem desfavoravelmente a biota;
- d) afetem as condições estéticas ou sanitárias do meio ambiente;
- e) lancem matérias ou energia em desacordo com os padrões ambientais estabelecidos.

No que se refere à qualidade da água o conceito de poluição deve ser entendido como a perda de qualidade em razão de alterações de suas características que comprometam um ou mais usos do manancial (FUNASA, 2004).

Segundo Derísio (2000), a poluição das águas pode ocorrer em razão de um dos seguintes motivos: poluição natural, não associada à atividade humana, causada por chuvas e escoamento superficial, salinização e decomposição de vegetais e animais mortos; poluição devido a lançamentos de despejos industriais provenientes das operações desenvolvidas nos diferentes processos industriais; poluição devido a esgotos domésticos, os quais resultam da utilização da água para fins higiênicos, preparo de alimentos, lavagem de pisos e utensílios; poluição dos corpos d'água advinda da drenagem de áreas agropastoris, provocada pelo carreamento de fertilizantes, defensivos agrícolas, fezes de animais, etc. Ainda segundo o autor, sempre que se pensar em poluição das águas deve-se considerar o uso a que se destina, haja vista os prejuízos causados pela poluição em função dos seus principais usos.

Complementando, dois outros aspectos merecem destaque e são igualmente essenciais para o desenvolvimento do tema: a disponibilidade atual dos recursos e a vulnerabilidade à degradação e poluição.

A questão da disponibilidade atual é abordada no resumo executivo do Plano Nacional de Recursos Hídricos (PNRH) ao apresentar um panorama sobre a disponibilidade qualitativa e quantitativa dos recursos hídricos no país, tanto para as águas superficiais como das águas subterrâneas (BRASIL, 2006b).

No que tange às águas subterrâneas o documento afirma que as informações sobre a qualidade do recurso que são dispersas e se referem, principalmente, aos aquíferos próximos a capitais. De acordo com o texto, há carência de estudos

sistemáticos sobre os aquíferos em um contexto regional, e sobre a qualidade química e microbiológica de suas águas.

Todavia, em outro trecho o mesmo documento contradiz esta asserção ao inferir que de forma geral as águas subterrâneas são de boa qualidade com propriedades físico-químicas e bacteriológicas adequadas a diversos usos, incluindo o consumo humano e ao assegurar que a boa qualidade das águas subterrâneas pode ser comprovada pelo uso expressivo de águas minerais e potáveis de mesa para consumo humano, especialmente nos grandes centros urbanos. Nesse ponto o texto vincula o volume consumido com a qualidade do recurso. Esta vinculação não é adequada, pois a correlação não implica em causalidade: o fato de o consumo ser expressivo não prova que a água tem qualidade comprovada.

Com efeito, um exemplo de alerta na qualidade das águas minerais pode ser verificado com a leitura dos rótulos de marcas disponíveis no mercado: uma marca estudada apresenta lotes com teor de nitrato da ordem de 11,6 mg/L (Figura 1). Esta concentração embora atenda ao limite estabelecido na RDC Nº 274/2005 que é de 50,0 mg/L, supera o valor máximo permitido pela Portaria MS Nº 518/04 que é de 10,0 mg/L. Essa ocorrência merece acompanhamento, pois muito provavelmente tem alguma fonte de contaminação, que pode ser agrícola, por fertilizantes, ou urbana, por deficiências de saneamento.

Quanto ao tema vulnerabilidade, especialmente em regiões submetidas a condições desfavoráveis pela forte presença humana, em áreas urbanas e rurais, podem ser feitas várias reflexões.



Figura 1 – Rotulagem Água Mineral Imperial

No que se refere às águas superficiais, a imensa maioria dos rios urbanos nas grandes metrópoles brasileiras está em estado calamitoso. A situação não é diferente nas cidades menores, onde freqüentemente os rios são utilizados como locais de descargas de esgotos brutos. Nas áreas rurais o uso indiscriminado de agrotóxicos e fertilizantes pode ser responsabilizado pelo quadro de poluição dos mananciais, completado pelos efluentes industriais nas regiões fabris.

Com as águas subterrâneas não é diferente. Segundo estudo elaborado pelo Serviço Geológico do Brasil (CPRM) a degradação do subsolo brasileiro se intensificou nas décadas intermediárias do século XX e ocorreu principalmente pelas atividades de mineração, urbanização em locais inadequados, atividades econômicas em áreas de recarga de aquíferos subterrâneos e explorações irregulares em regiões com patrimônio paleontológico, espeleológico e arqueológico (CPRM, 2006). Até hoje o que se identifica como um dos maiores problemas é a ocupação e uso do solo, associada a uma exploração desordenada do recurso. Para esses problemas, algumas questões são:

- ✓ Deficiências construtivas dos poços, que se transformam em fontes pontuais de contaminação;
- ✓ Proliferação indiscriminada da quantidade de poços que leva a superexploração, e nos aquíferos costeiros a ocorrência de problemas com a elevação da cunha salina;
- ✓ Impermeabilização das áreas de recarga, relacionada com o crescimento urbano desordenado;
- ✓ Contaminação dos aquíferos: lixões, indústrias, postos de combustíveis, agricultura (agrotóxicos / fertilizantes), mineração.

Esta situação também inquieta aos organismos internacionais de saúde. As recomendações divulgadas no primeiro volume da terceira edição das diretrizes da OMS para a Qualidade da Água para Consumo Humano (WHO - Guidelines for Drinking-Water Quality - GDWQ), enfatizam a necessidade de se estabelecer um Plano de Segurança da Água (*Water Safety Plans - WSP*). Segundo o documento, os meios efetivos para assegurar de maneira constante a segurança da água para consumo são através de uma avaliação de perigo inclusiva e de uma administração de risco que aproxime todas as etapas para a provisão de água, desde o manancial até o consumidor (WHO, 2004a). A avaliação inclusiva entre as etapas se estende para além do monitoramento da água e focaliza em particular os processos envolvidos para salvaguardar a sua qualidade. A proposta do Plano de Segurança da Água tem sua abordagem voltada para organizar e sistematizar uma longa história de práticas de administração aplicada à água para consumo, e busca assegurar a aplicabilidade destas práticas na administração da qualidade da água potável. O PSA evoca muito dos princípios e conceitos de outras abordagens de administração de risco, em particular a abordagem de múltiplas barreiras e a Análise de Perigos e Pontos Críticos de Controle - HACCP (*Hazard Analysis Critical Control*

*Points*), utilizada na indústria de alimentos: a água para consumo está mais segura se várias barreiras a protegem contra contaminação, na captação do recurso, no tratamento, e nos sistemas de distribuição.

Nas oficinas de revisão das diretrizes para a Qualidade da Água para Consumo Humano (WHO - GDWQ) para o compartimento subterrâneo, os técnicos houveram por bem concluir que: “onde os sistemas falham e a água para consumo fica insegura, a contaminação surge freqüentemente de atividades humanas na captação do recurso” (WHO, 2004b, Foreword, p.1). Segundo o documento, problemas na captação podem contaminar a água, por exemplo, com os já abordados poços rasos ou tributários para um reservatório sob a influência de excretas humanos e animal, ou provocados por eventos particulares que podem conduzir situações perigosas, por exemplo, inundação de uma nascente ou contaminação de um reservatório por resíduos carreados por chuvas fortes e temporais.

A proteção das fontes de água para consumo é então a primeira barreira contra contaminação.

### **3.2. Aspectos Microbiológicos nas Águas Subterrâneas**

Os agentes biológicos são importantes por que guardam forte relação com a saúde pública e sua presença pode modificar características físicas e químicas da água.

Como enfatizam as diretrizes para a Qualidade da Água para Consumo Humano (WHO - GDWQ), as conseqüências potenciais da contaminação microbiana para a

saúde são tais que seu controle deve ter suprema importância e nunca deve ser comprometido (WHO, 2004a). De acordo com a publicação, a ocorrência de doenças infecciosas causadas por bactérias patogênicas, vírus e parasitas (por exemplo, protozoários e helmintos) é o risco de saúde mais comum e difundido associado com água potável para consumo humano.

Os patógenos que podem ser transmitidos por água contaminada são diversos. Segundo o GDWQ alguns patógenos são conhecidos por transmitir, principalmente por água para consumo humano contaminada, algumas doenças graves e às vezes mortais, como por exemplo, febre tifóide, cólera, hepatite infecciosa. Outros são tipicamente associados com resultados menos severos, como infecções diarréicas (por exemplo, Norovirus, Cryptosporidium). Para alguns patógenos (por exemplo, HAV), a imunidade é vitalícia, considerando que para outros (por exemplo, Campylobacter), os efeitos protetores podem ser restringidos a alguns meses ou anos. Em contraste, subgrupos sensíveis na população (por exemplo, o jovem, o ancião, as mulheres grávidas) podem ter uma maior probabilidade de doença ou a doença pode ser mais severa, inclusive mortal. Nem todos os patógenos têm maiores efeitos em todos os subgrupos sensíveis. Como também nem todos os indivíduos infectados contrairão doença sintomática.

A ocorrência de patógenos nas fontes de água subterrânea e de superfície depende de vários fatores. As GDWQ incluem entre estes fatores as características físicas e químicas intrínsecas da área de captação e a magnitude e gama das atividades de origem humana e animal que são liberadas ao meio ambiente. Em águas de superfície, as fontes de patógenos potenciais incluem fontes pontuais, como os sistemas de esgotos e os alagamentos provocados por temporais, como também fontes difusas, como resíduos contaminados de áreas agrícolas e áreas

com serviço de saúde pública por sistemas sépticos individuais e latrinas. Outras fontes são: vida selvagem e acesso direto do gado aos corpos de águas superficiais.

No que se referem ao compartimento subterrâneo, as GDWQ salientam que este recurso é freqüentemente menos vulnerável à influência imediata de fontes contaminação devido aos efeitos de barreira providos pela cobertura do solo e da zona não saturada. A contaminação da água subterrânea é mais freqüente onde estas barreiras são quebradas, permitindo contaminação direta. Isto pode acontecer por contaminação ou abandono de poços ou originados de poluição subterrânea, como latrinas e esgoto. Porém, segundo a mesma publicação, vários estudos têm demonstrado a presença de patógenos e organismos indicadores na água subterrânea, até mesmo em profundidades com ausência de tais circunstâncias perigosas; e especialmente onde a contaminação na superfície é intensa, como em regiões com aplicação de adubos, ou outro impacto fecal introduzido por atividades intensivas de criação de gado. Vale ressaltar que os impactos destas fontes de contaminação podem ser grandemente reduzidos, por exemplo, com medidas de proteção do aquífero e construções apropriadas.

Para avaliar a qualidade microbiana da água são realizados testes microbiológicos que na maioria dos casos envolvem a análise de microorganismos indicadores, mas que em algumas circunstâncias também podem incluir a avaliação de densidades específicas de patógenos.

A identificação dos microrganismos patogênicos na água normalmente é morosa, complexa e onerosa e por este motivo, tradicionalmente, recorre-se à identificação dos organismos indicadores de contaminação, inferindo-se que sua presença indicaria a introdução de matéria de origem fecal (humana ou animal) na água e, portanto, o risco potencial da presença de organismos patogênicos (FUNASA, 2003).

Segundo o manual de boas práticas em abastecimento de água, um organismo indicador "ideal" deveria preencher os seguintes requisitos:

- ✓ Ser de origem exclusivamente fecal;
- ✓ Apresentar maior resistência que os patogênicos aos efeitos adversos do meio ambiente e aos processos de tratamento;
- ✓ Ser removido e, ou, inativado, por meio do tratamento da água pelos mesmos mecanismos e na mesma proporção que os patogênicos;
- ✓ Apresentar-se em maior número que os patogênicos;
- ✓ Ser de fácil identificação;
- ✓ Não se reproduzir no meio ambiente.

Não existe um único microorganismo indicador que satisfaça simultaneamente todos esses requisitos. Não obstante, para eleger o indicador mais adequado deve-se trabalhar com aquele que melhor relacione os riscos à saúde com a contaminação da água.

Os microorganismos indicadores utilizados tradicionalmente são as bactérias do grupo coliformes (Figura 2). Presentes no intestino humano e dos animais de sangue quente, essas bactérias são eliminadas em quantidades generosas nas fezes. Porém esse grupo inclui também outras bactérias que podem ocorrer livremente na natureza, portanto de origem não fecal, o que limita sua utilização como indicadores universais. Outro agravante se deve ao fato de que nas regiões de clima tropical os coliformes apresentam capacidade de se multiplicar na água. Por isso, na avaliação da qualidade de águas naturais, incluindo a avaliação de fontes individuais de abastecimento, os coliformes totais têm valor sanitário limitado (FUNASA, 2003).

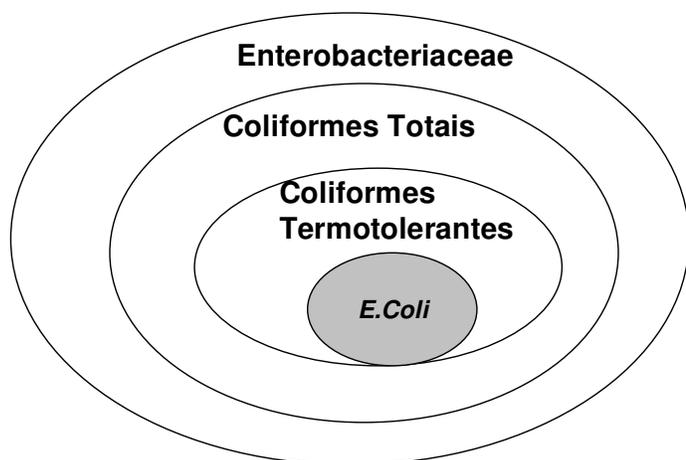


Figura 2: Relação entre bactérias da família Enterobacteriaceae (Fonte HACH, 2000).

O coliforme termotolerante é um subgrupo dos coliformes totais. Na prática a utilização de bactérias coliformes termotolerantes pode ser uma alternativa aceitável em muitas circunstâncias, muito embora este grupo também inclua microorganismos de origem não exclusivamente fecal e, por isso, sua utilização na avaliação da qualidade de águas naturais, principalmente em países de clima tropical, também tem sido questionada (FUNASA, 2003).

O indicador microbiológico mais sugestivo são as bactérias *Escherichia coli*, principal representante do subgrupo coliforme termotolerante. Sua presença é uma evidência conclusiva de poluição fecal recente (WHO, 2004a). A *Escherichia coli* está presente em grandes números na flora intestinal normal de humanos e animais onde geralmente não causa nenhum dano. Porém, em outras partes do corpo, a *E. coli* pode causar sérios problemas de saúde, como infecções de áreas urinárias, bacteriemia e meningites.

O texto da Portaria MS Nº 518/04, instrumento legal que define o padrão microbiológico de potabilidade da água para consumo, foi analisado detalhadamente por técnicos do Ministério da Saúde que interpretaram as informações e publicaram

um volume com comentários e esclarecimentos adicionais sobre o padrão exigido no documento (BRASIL, 2005d). No volume, fica evidenciado que a portaria exige a ausência de *Escherichia coli*, em primeira escolha, ou de coliformes termotolerantes, em qualquer situação, desde o tratamento até a distribuição. Segundo a publicação, como a presença de coliformes termotolerantes, na maioria das vezes, guarda relação com a presença da *E.coli* seu emprego ainda é aceitável quando não se dispõe de métodos de detecção rápida da *E.coli*. De toda maneira, o uso exclusivo dos coliformes totais é totalmente desaconselhado para avaliar a qualidade da água, especialmente das fontes individuais não tratadas, a exemplo de poços e nascentes.

Somando-se aos esforços para garantir a qualidade microbiológica da água para consumo humano, a Portaria MS Nº 518/04 exige, em complementação às exigências relativas aos indicadores microbiológicos, que seja observado o padrão de indicadores complementares não-biológicos, no caso a turbidez da água. A turbidez é um importante indicador de qualidade de água para quase qualquer uso e reflete a presença de materiais em suspensão e inclusive lodo, barro, algas, e outros microorganismos, matéria orgânica e outras partículas minúsculas. A presença destes materiais na água para consumo pode favorecer o crescimento de microorganismos prejudiciais e reduz a efetividade do processo de cloração resultando em riscos para a saúde.

### **3.3. Aspectos Físico-Químicos nas Águas Subterrâneas**

A presença de substâncias químicas dissolvidas e insolúveis na água, que podem ser origem natural ou antropogênica, definem sua composição física e química (EPA, 1990).

A água como solvente universal pode conter qualquer um dos elementos da tabela periódica, muito embora poucos sejam aqueles que têm efeitos na saúde humana, alguns são reconhecidos como elementos essenciais em nutrição humana (WHO, 2004a). Normalmente os parâmetros químicos medidos são pH, DBO, DQO, OD, Gás Carbônico Dissolvido, Resíduo Total, Acidez e Alcalinidade, Dureza, Conteúdo Iônico, Metais, Compostos Orgânicos Sintéticos e Nutrientes (Fósforo e Nitrogênio). A determinação de metais é fundamental, pois a presença de alguns destes elementos está relacionada à incidência de moléstias em seres humanos e animais (MESTRINHO, 1997). Alguns constituintes inorgânicos naturais, especificamente o arsênico e fluoreto, que são reconhecidos mundialmente como os contaminantes inorgânicos mais sérios na água potável, e adicionalmente o selênio, radônio e urânio, são componentes naturais que podem causar risco à saúde pública (WHO, 2004a).

De todo modo, as características químicas das águas subterrâneas refletem os meios por onde percolam. Tanto guardam relação com o tipo de rocha drenada, quanto com as substâncias relacionadas com as atividades humanas exercidas no seu trajeto (SCOPEL, 2005). Assim, nos aquíferos localizados em áreas urbanas são encontradas substâncias relacionadas à emissão de poluentes, esgotos domésticos e postos de combustíveis, dentre outros. Nos aquíferos localizados em áreas rurais com atividades agrícolas podem ser encontradas substâncias relacionadas à presença de produtos fertilizantes e defensivos químicos. Em inúmeras ocasiões também ocorre problemas pontuais de poluição. Além disso, a disposição da

indústria em apresentar novas substâncias químicas e novos agrotóxicos é enorme, tanto que dificilmente a legislação consegue acompanhar o mercado.

É preciso também destacar que a maioria das substâncias químicas que surgem na água de consumo só se manifesta como problema para a saúde depois de anos de exposição (WHO, 2004a). A exceção principal a esta afirmativa é o Nitrato, que embora possa acontecer naturalmente em águas subterrâneas as principais fontes são as atividades humanas. Enquanto as mudanças na qualidade da água acontecem progressivamente, no caso do nitrato a substância é descarregada ou lixivia com intermitência nas águas correntes de superfície ou nas águas subterrâneas provenientes de locais de aterros sanitários contaminados.

### **3.4. Aspectos de Aceitabilidade nas Águas Subterrâneas**

Para a OMS, a água potável em tese deveria estar livre de gostos e odores que seriam objetáveis à maioria dos consumidores (WHO, 2004a). Microrganismos, substâncias químicas e componentes físicos da água podem afetar a aparência, odor ou gosto da água, e o consumidor avalia a qualidade e aceitabilidade da água baseado nestes critérios. Embora essas substâncias possam não ter nenhum efeito direto sobre a saúde, a água que é altamente turva, tem cor excessiva ou tem gosto ou odor censurável pode ser considerada insegura por consumidores e pode ser rejeitada. Vale destacar que a OMS não estabelece padrões para componentes que embora influenciem a qualidade organoléptica da água não têm nenhuma ligação direta com impactos adversos à saúde; isto porque, segundo a organização, a aceitabilidade da água normalmente conduziria a rejeição do produto em

concentrações significativamente abaixo do que seria o limite de preocupação para saúde.

Não obstante, é preciso ressaltar que as características de gosto e odor podem ser originárias de contaminantes químicos inorgânicos e orgânicos naturais e fontes biológicas ou de processos de contaminação através de substâncias químicas sintéticas, de corrosão ou como resultado de tratamento de água (WHO, 2004a). Gosto e odor também podem se desenvolver durante o armazenamento e a distribuição devido à atividade microbiana. Desta maneira essas características podem ser indicativas de alguma forma de poluição ou de um mau funcionamento durante tratamento ou distribuição da água. Pode ser então uma indicação da presença de substâncias potencialmente prejudiciais.

Além dos já citados sabor e odor, existem outros componentes da água que não têm consequência direta sobre a saúde nas concentrações às quais eles normalmente acontecem em água, mas que não obstante podem ser censuráveis aos consumidores por outras razões (WHO, 2004a). São alguns organismos, substâncias e características físicas.

As substâncias que podem provocar rejeição são: Alumínio, Amônia (forte odor mesmo em concentrações abaixo dos limites estabelecidos), Cloreto (concentrações elevadas provocam gosto salgado à água), Cloro, Clorofenol, Cobre, Diclorobenzeno, Estireno, Etilbenzeno, Dureza, Ferro, Manganês, Monocloramina, Monoclorobenzeno, Oxigênio Dissolvido, Sódio, Sulfato, Detergentes Sintéticos, Tolueno, Triclorobenzeno, Xileno e Zinco (WHO, 2004a).

Quanto às características físicas, assim chamadas porque podem sensibilizar os sentidos, têm incidência direta sobre as condições estéticas e de aceitabilidade da água e, além da cor e sabor, são normalmente avaliadas em análises de

Condutividade Elétrica, Ph, Salinidade, Sólidos, Temperatura e Turbidez, (MESTRINHO, 1997).

### **3.5. Abastecimento Alternativo por Água Subterrânea**

Estudos e pesquisas de diferentes instituições comprovam a afirmativa de que o uso mundial das águas subterrâneas tem crescido nas últimas décadas. Segundo a Agencia de Proteção Ambiental dos Estados Unidos, na década de 1990, aproximadamente a quarta parte de toda água doce consumida no país provinha de águas subterrâneas: 35 % do abastecimento de água potável nas zonas urbanas e 95% do abastecimento nas zonas rurais (EPA, 1990).

No Brasil, segundo o IBGE, 77,8 % dos domicílios usam rede de abastecimento de água, 15,6 % utilizam exclusivamente água subterrânea, e 6,6 % usam outras formas de abastecimento (IBGE, 2002).

Mais recentemente, em 2005, um panorama sobre qualidade das águas subterrâneas elaborado pela Agência Nacional das Águas (ANA) concluiu que: entre os domicílios que possuem rede de abastecimento de água, uma parte significativa usa o manancial de água subterrânea (ZOBY, 2005). Essa mesma publicação destaca que, embora o uso do manancial subterrâneo seja complementar ao superficial, em muitas regiões a água subterrânea representa o principal manancial hídrico. E mais, que a exploração da água de poços e fontes vem sendo cada vez mais utilizada para diversos fins, tais como o abastecimento humano, irrigação, indústria e lazer.

Apesar do crescente uso, a ANA avalia que o Brasil ainda apresenta uma deficiência séria no conhecimento do potencial hídrico de seus aquíferos, seu estágio de exploração e a qualidade das suas águas. Dentre os motivos estariam: carência e defasagem de estudos regionais; pouco entendimento da questão da vulnerabilidade e proteção dos aquíferos, tema que precisa ser mais explorado e incorporado à gestão das águas subterrâneas e ao planejamento do uso e ocupação territoriais (ZOBY, 2005).

Segundo a Portaria MS Nº 518/04 (BRASIL, 2004), entende-se por sistema de abastecimento de água a instalação composta por obras civis, materiais e equipamentos, destinada à produção e à distribuição canalizada de água potável. Esta solução clássica de sistema de abastecimento, independente do tipo de manancial, normalmente está sob a responsabilidade do poder público. A Figura 3 ilustra a tomada da captação de água de um sistema clássico, operado pela Embasa, na Região Metropolitana de Salvador. Ressaltem-se os detalhes da construção devidamente cercada, limpa, gramada, arborizada e com aparência agradável, como preconizado no Manual de Boas Práticas em Abastecimento de Água - Procedimentos para a Minimização de Riscos à Saúde (FUNASA, 2003).

Em contraste, entende-se como solução alternativa de abastecimento de água toda modalidade de abastecimento coletivo de água, distinta dos sistemas, incluindo dentre outras, fonte, poço comunitário, distribuição por veículo transportador, instalações condominiais horizontais ou verticais. Nesta modalidade, os responsáveis pela solução, sem exceção, deverão, obrigatória e sistematicamente, exercer o controle da qualidade da água para consumo humano.



Figura 3 – Captação Sistema RMS – Foto Luís Geraldo

Ainda em acréscimo a essa definição, a Coordenação-Geral de Vigilância em Saúde Ambiental, no volume de comentários à Portaria MS Nº 518/04, define também a solução alternativa individual: toda e qualquer solução alternativa de abastecimento de água que atenda a um único domicílio (BRASIL, 2005d). Ressalte-se que as soluções alternativas podem ser providas ou desprovidas de rede de distribuição, sendo em geral fontes, poços ou chafarizes comunitários e distribuição por veículos transportadores, e que não se aplica a definição do responsável pelo controle, cabendo ao usuário, consumidor individual, zelar pela qualidade do abastecimento.

De todo modo, a utilização das águas subterrâneas como solução alternativa, coletiva ou individual, é uma realidade observada em todas as classes sociais, para usos diversos e por razões também diversas. Trata-se de um uso democrático, todavia são dois tipos de usuários. As classes A e B, que tem dinheiro para construir poços à razão de milhares de reais, com todas as características construtivas exigidas pela legislação, e a população da periferia que também constrói poços por questões de sobrevivência, pois a água fornecida pelo sistema de abastecimento ou

não chega, não tem pressão, não tem abastecimento regular. É preciso reconhecer estas duas dimensões.

As figuras 4 a 6 mostram alguns empregos de soluções alternativas com uso de água subterrânea, de interesse para ilustrar algumas situações de riscos às quais a população, notadamente a de menor poder aquisitivo, está exposta.

A primeira delas foi tirada em Salvador, na Rua Osório Villas Boas, bairro do Pau Miúdo. É uma nascente, sem urbanização, de uso comum da comunidade. Os moradores quando indagados sobre o uso da água respondem que é utilizada para beber, preparar alimentos e tomar banho, e acrescentam espontaneamente que as águas têm “ótima qualidade”. Com as fotos é possível ter uma idéia clara das precárias condições de higiene do local.



Figura 4 – Fonte Rua Osório Villas Boas – Bairro Pau Miúdo - Foto Rosa Alencar

Já com os resultados das análises realizadas pelo Laboratório Central da Embasa, foi possível constatar a presença de teores de Nitrato em concentrações superiores aos limites estabelecidos pela Resolução CONAMA N.º57/2005 e pela

Portaria MS Nº 518/04. Ambas preconizam valor máximo permitido de 10,0 mg/L, e foram encontrados teores da ordem de 22,0 mg/L, como apresentado no Laudo de Análise - Amostra 19486/06 (ANEXO A). As fotos 5 e 6 mostram simples manilhas de concreto, semi enterradas na Praia de Catu da Ilha, localizada na Ilha de Itaparica. Neste caso apenas uma tosca inscrição “BEBER” convida o usuário a consumir a água que aflora no local. Não foram realizadas coletas para identificar os teores dos parâmetros, mas os moradores depõem sobre a “boa qualidade” da água, para banho e para consumo.

Como reflexão, as fotos testemunham as péssimas condições de proteção e higiene do local.



Figura 5 – Panorâmica Catu da Ilha – Foto Rosa Alencar



Figura 6 – Detalhe Poço Beber – Catu da Ilha – Foto Rosa Alencar

Do exposto, pode-se concluir da possibilidade do perigo, incerto, mas previsível, das populações menos assitidas, em se utilizar de água imprópria ao consumo humano. Ressalte-se que são riscos aos quais estão expostas e que são desconhecidos para a grande maioria.

### **3.6. Padrões de Qualidade de Água**

O principal objetivo das atividades para controle da qualidade da água para consumo humano é reduzir a incidência de enfermidades relacionadas com a água assim como produzir recursos de qualidade saudável, ou seja, a água livre de sólidos suspensos visíveis, cor excessiva, gosto e odor, materiais dissolvidos

objetáveis, componentes agressivos, e bactérias indicativas de poluição fecal (SARGAONKAR, 2003).

A avaliação da qualidade de água é definida em termos dos seus parâmetros físicos, químicos, biológicos e bacteriológicos. Critérios de qualidade de água são definidos como níveis aceitáveis de concentração de parâmetros de qualidade específicos e variam em razão do uso preponderante do recurso, como por exemplo: produção de água potável, dessedentação de animais, manutenção da vida aquática, irrigação, recreação, uso doméstico e uso industrial.

Os critérios são definidos para parâmetros individuais; contudo se estes dados sobre parâmetros individuais forem transformados em um número único, um índice, então a informação passa a representar uma forma adequada de comunicação ao público.

No âmbito mundial os padrões são estabelecidos por diferentes agências para vários usos da água: *World Health Organization (WHO) Guidelines, European Community (EC) Standards, Hydrosciences and Water Resources Technology - Tehran (WQIHSR), Indian Standard Specification for Drinking Water IS 10500, 1983*. Todos esses padrões levam em conta o efeito na saúde humana, na vegetação, bem como considerações sobre a qualidade de vida e, como observado por Sargaonkar (2003), também são apresentados para as substâncias que podem ocorrer na água em teores que indicam potenciais danos para vida aquática, ou para os consumidores da vida aquática.

Porém, segundo o mesmo autor, é necessário definir um esquema de classificação comum para conhecer o estado da qualidade de água em termos dos efeitos da poluição nos parâmetros considerados, uma vez que as agências diferem em termos de:

- ✓ Definição de terminologias para os esquemas de classificação.

- ✓ Os critérios como Nível de Guia, Nível de Ação, Máxima Concentração Permissível e Nível Aceitável etc.
- ✓ A seleção de parâmetros indicadores.

No Brasil os padrões são estabelecidos pelo Ministério da Saúde e Ministério do Meio Ambiente, através dos mecanismos disponíveis na legislação. As referências utilizadas para criar os padrões nacionais são os guias da OMS (GDWQ), que segundo Heller (2005) é uma referência mundial no assunto e, particularmente no Brasil, tem exercido grande influência na periódica elaboração e atualização da legislação sobre potabilidade, controle e vigilância da qualidade da água para consumo humano.

#### 4. INDICADORES AMBIENTAIS APLICADOS AOS RECURSOS HÍDRICOS

De modo geral, a formulação de índices para expressar de forma condensada e simplificada a situação ou comportamento de determinada área, é relativamente recente. O Produto Interno Bruto (PIB), divulgado pela primeira vez em 1947, foi o primeiro número a ser utilizado em escala mundial como indicador de progresso econômico (IPIB, 2005). Em 1970 surgiu o IDH - Índice de Desenvolvimento Humano, com o objetivo de oferecer um contraponto ao PIB – *per capita*. Mais abrangente, pois levava em conta dois componentes não contemplados pelo PIB: a longevidade e a educação, o IDH tinha a finalidade de ser uma medida geral, sintética, do desenvolvimento humano.

Nessa mesma década, o debate político e científico se volta para a questão ambiental. Como lembra Nahas (2002) ao discutir os limites os limites da qualidade de vida, esse destaque se deveu principalmente à aceleração do processo de urbanização que trouxe como conseqüência o agravamento da degradação ambiental e dos problemas ambientais globais.

O debate prosseguiu nas décadas seguintes e no primeiro ano da década de mil novecentos e noventa, em uma Conferência dos Estatísticos Europeus foi proposta pela primeira vez a formulação de indicadores ambientais. Foram desenvolvidas classificações em diversos campos, como uso da terra e da água, dentre outros (MUELLER, 1991).

Nos anos seguintes, fruto de compromissos assumidos na Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento - ECO 92 – foram

destacados esforços para a formulação e o intercâmbio mundial de indicadores que contemplassem a dimensão ambiental e a sustentabilidade do meio ambiente.

No âmbito internacional, a Organização de Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OCDE), a Organização Mundial de Saúde (OMS), a Organização das Nações Unidas (ONU), e no Brasil, o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) são os exemplos de instituições de referência sobre o assunto.

De toda maneira, a amplitude da temática ambiental admite que países, organizações e entidades estabeleçam modelos diferenciados de indicadores. Quando agrupados em temas, a forma de dividir e a quantidade de indicadores são variáveis, em razão do olhar e da escolha de cada um dos segmentos envolvidos. Ainda assim, todos têm em comum a intenção de representar as condições ambientais de uma região ou de um país. Esta intenção não é uma tarefa simples de ser concretizada, haja vista as diferenças e especificidades de cada nação.

Com respeito ao tema desta pesquisa: a qualidade água, uma referência internacional é o relatório *Environmental Health Indicators Framework And Methodologies* (BRIGGS, 1999), que apresenta os indicadores de saúde ambiental definidos pela OMS. As referências do relatório aos indicadores de qualidade de água estão relacionadas nos perfis apresentados na Tabela 1.

No âmbito nacional, a referência é o Sistema de Informação de Vigilância da Qualidade da Água para Consumo Humano (SISAGUA) e o Sistema Nacional de Informação sobre Saneamento (SNIS).

O SISÁGUA foi desenvolvido pela Coordenação Geral da Vigilância em Saúde Ambiental (CGVAM), órgão da Secretária de Vigilância em Saúde do Ministério da Saúde.

<b>Tabela 1 - Indicadores de saúde ambiental relacionados ao acesso a água para consumo humano</b>	
<b>Critérios de Qualidade</b>	<b>Indicadores</b>
Qualidade / Abastecimento de Água: Disponibilidade de acesso à água de Qualidade para consumo.	Porcentagem da população com acesso, na quantidade e qualidade adequadas, a água para consumo, na moradia ou dentro de uma distância conveniente da habitação.
Qualidade / Abastecimento de Água: Ligações domiciliares para abastecimento com água distribuída.	Porcentagem de casas que recebem água distribuída.
Saúde Ambiental: Morbidez por doenças diarréicas em crianças	Incidência de morbidez por doenças diarréicas em crianças abaixo de cinco anos de idade.
Saúde Ambiental: Mortalidade por doenças diarréicas em crianças	Incidência de mortalidade por doenças diarréicas em crianças abaixo de cinco anos de idade
Doenças relacionadas com o abastecimento de água	Incidência de doenças transmitidas através da água.
Monitoramento da qualidade da água.	Densidade da rede de monitoramento da qualidade de água.

Fonte: Adaptado da Tabela 2: Sumário da Lista de Indicadores de Saúde Ambiental (BRIGGS, 1999).

Esse sistema faz parte do Programa Nacional de Vigilância em Saúde Ambiental, relacionada à qualidade da água para consumo humano – VIGIAGUA - que integra o Sistema Nacional de Vigilância em Saúde Ambiental (SINVSA). O sistema tem o objetivo de coletar registrar, transmitir e disseminar os dados gerados rotineiramente, provenientes das ações de vigilância e controle da qualidade da água para consumo humano, de modo a contribuir para a tomada de decisão no processo de promoção da saúde e prevenção de doenças de transmissão hídrica (BRASIL, 2005e). Sua concepção foi baseada na definição de indicadores utilizados na prevenção e controle de doenças e agravos relacionados ao saneamento, com os

princípios e diretrizes do Sistema Único de Saúde (SUS) e metodologia proposta pela OMS. A tabela 2 reproduz os indicadores utilizados no SISÁGUA.

<b>Tabela 2 – Indicadores utilizados no sistema SISÁGUA</b>			
Qualidade bacteriológica da água	Percentual das amostras com ausência de coliformes totais na rede de distribuição	Turbidez da água	Turbidez da água - Percentual das amostras com turbidez em conformidade com o padrão de potabilidade, em relação à Portaria MS Nº 518/2004 (< 5 UT) na rede de distribuição.
	Percentual das amostras com ausência de coliformes termotolerantes na rede de distribuição.		
Cobertura de abastecimento de água	Percentual da população do município atendida com sistemas de abastecimento de água.	Nível de cloro residual	Percentual das amostras com cloro residual livre em conformidade com o padrão de potabilidade, em relação à Portaria MS Nº. 518/2004 (> 0,2 mg/l) na rede de distribuição.
Tratamento de água	Percentual da população do município atendida com sistemas de abastecimento de água com tratamento.	Desinfecção de água	Percentual da população do município atendida com sistemas de Abastecimento de água, com desinfecção.
Consumo <i>per capita</i>	Consumo médio <i>per capita</i> da população atendida por sistemas de abastecimento de água no município.	Regularidade	Percentual da população do município atendida com sistemas de abastecimento de água, com intermitência.

Fonte: Tabela 2 – Indicadores selecionados para o SISAGUA (BRASIL, 2005e).

O SNIS é uma base de dados desenvolvida pelo Programa Nacional de Modernização do Setor de Saneamento (PMSS), vinculado à Secretaria Nacional de

Saneamento Ambiental do Ministério das Cidades, e alimentado com dados do setor de saneamento fornecidos, de forma voluntária, pelas empresas prestadoras de serviços. O grupo de informações sobre a qualidade dos serviços, solicitadas pelo SNIS aos prestadores de serviços, divide-se em cinco subgrupos: paralisações nos sistemas de água; intermitências nos sistemas de água; extravasamentos nos sistemas de esgotos; qualidade da água distribuída; e qualidade dos serviços prestados.

A avaliação da qualidade da água distribuída feita pelo sistema restringe-se à análise do cumprimento da Portaria MS Nº. 518/04, apenas para três parâmetros: cloro residual, turbidez e coliformes totais (PMSS, 2005). Complementarmente, um grupo de indicadores calculados pelo sistema identifica o índice de conformidade da quantidade de amostras analisadas para cada um dos parâmetros, o que significa dizer se foi realizado número de análises nas quantidades mínimas obrigatórias de amostras. Em seguida, outro grupo de indicadores verifica a incidência de análises cujos resultados estiveram fora do padrão estabelecido pela mesma Portaria.

Uma proposta derivada dos dados disponíveis no SNIS foi apresentada por Ferreira e Cunha (2005) para estabelecer o Índice de Sustentabilidade da Água Urbana (ISA). O índice ISA incorpora às características dos indicadores urbanos, como disponibilidade de dados, facilidade de entendimento e interesse dos tomadores de decisão, o conhecimento sobre os efeitos provocados pelo uso indevido da água urbana, a quantidade e a qualidade dessa água, sua influência sobre a saúde ambiental da população e o atendimento da população pelo serviço de esgotamento sanitário. Como explica o autor, sua proposta tomou como premissa que o índice deveria refletir a correta manutenção de ecossistemas aquáticos e a proteção da saúde humana, podendo servir como um instrumento de controle ou simplesmente como um indicador de sustentabilidade da água urbana. Para

desenvolver o índice ISA de modo a promover uma primeira visualização do contexto ambiental urbano, foram utilizados onze indicadores do SNIS (Tabela 3), estabelecidos pesos para cada um deles e formulado um índice que varia de 0 a 100, da menor para a maior sustentabilidade.

<b>Tabela 3 – Indicadores utilizados no ISA – Decorrentes do SNIS</b>
<b><i>Indicadores Operacionais de Água</i></b>
Consumo Médio de Água PerCapita
Índice de Atendimento Urbano de Água
Índice de Perdas na Distribuição
Índice de Consumo de Água
Consumo Médio de Água por Economia
Índice de Atendimento Total de Água
<b><i>Indicadores Operacionais de Água de Esgoto</i></b>
Índice de Coleta de Esgotos
Índice de Tratamento de Esgoto
Índice de Atendimento Urbano de Esgoto referente aos municípios atendidos com água
Índice de Esgoto tratado referente à água consumida.
Índice de Atendimento Total de Esgoto referente aos municípios atendidos com água

Fonte: Ferreira e Cunha (2005)

A essas iniciativas acrescenta-se a proposta de Indicadores de Sustentabilidade Ambiental formulada por Marinho *et al* (2006) para aplicação no Estado da Bahia, especialmente aqueles indicadores aplicados aos recursos hídricos. São sessenta e cinco indicadores de sustentabilidade dos quais 33 são identificados como

indicadores básicos prioritários, que podem ser gerados com os dados já disponíveis nas instituições do Estado; 17 são indicadores básicos, que precisam de dados a ser gerados pelas instituições; e 15 são os chamados indicadores específicos cuja geração está prevista no médio prazo, pois precisam de novas estratégias para sua implementação. Como explicam os autores, os indicadores foram propostos a partir da perspectiva de critérios de sustentabilidade decorrentes do critério geral de sustentabilidade ambiental para o uso da água, o qual tem como preocupação primordial o fornecimento de água adequada de boa qualidade para toda população do planeta, conforme preconizado pela AGENDA 21, como também o foram do ponto de vista dos problemas ambientais a que estão expostos os recursos hídricos. Assim, foram formulados dois grupos de indicadores correspondentes aos critérios específicos resultantes da desagregação do critério geral: assegurar as funções hidrológicas, químicas e biológicas dos ecossistemas aquáticos (Critério A) e garantia da disponibilidade de água adequada para os usos múltiplos atuais, potenciais e futuros e o acesso universal à água (Critério B). Nessa formulação, os índices de qualidade de água foram incluídos no Critério A e enquadrados nas três categorias: o Índice de Qualidade de Água (IQA), com a função de avaliar a contaminação por esgoto doméstico, como indicador básico prioritário; o Índice de Qualidade de Água para proteção de Vida Aquática (IVA), como indicador básico e por último o Índice de Substâncias Tóxicas e Organolépticas (ISTO), como indicador específico.

Todas essas iniciativas reforçam o mérito do tema aqui estudado, ainda mais quando partilhadas com as determinações da Portaria MS Nº 518/04 (BRASIL, 2004) e com as diretrizes para qualidade da água para consumo da Organização Mundial de Saúde (WHO, 2004a). Os dois documentos são unâmines ao afirmar que o foco

da qualidade da água potável deve se ampliado para abranger também a necessidade de atenção desde o manancial até o consumo.

Essas posições convergem para a oportunidade da pesquisa como geradora de uma ferramenta de suporte aos indicadores ambientais, auxiliar aos tomadores de decisão e informativa ao público em geral.

## **5. PRINCIPAIS EXPERIÊNCIAS DE ÍNDICES DE QUALIDADE DE ÁGUA**

### **5.1. Aspectos Gerais da Construção de Índices**

Na avaliação de Abbasi (2002), as primeiras noções do conceito de índices de qualidade de água, em sua forma elementar, foram introduzidas há mais de cinquenta anos atrás, em 1948, na Alemanha, onde a presença ou ausência de certos organismos na água era utilizada como indicador do bom ou mal estado de uma fonte de água. Segundo o mesmo autor, desde então, vários países europeus desenvolveram e aplicaram sistemas diferentes para classificar a qualidade das suas águas. Esses sistemas de classificação de água normalmente eram de dois tipos: relacionados com a quantidade de poluição existente ou relacionados com comunidades de organismos macroscópicos ou microscópicos. Ou seja, esses sistemas de classificação categorizavam os corpos de água em várias classes ou níveis de poluição (DERÍSIO, 2000)

O uso de índices com escala numérica, para representar gradações em níveis de qualidade de água, são considerados um fenômeno recente, iniciando-se com o índice de Horton em 1965, considerado por Abbasi (2002) como o primeiro índice de qualidade de água moderno. Entretanto, com o aumento da coleta de amostras de água para determinação de parâmetros de qualidade, cresceu a necessidade de traduzir estes dados em uma forma que fosse facilmente compreendida, e nos anos seguintes prosperou a formulação de índices numéricos para caracterização da qualidade de água.

Segundo Derísio (2000), destacam-se quatro tipos de índices numéricos: de qualidade de água em geral; para usos específicos; para planejamento, e aqueles desenvolvidos segundo abordagens estatísticas.

Para esse autor, uma vez que os índices são desenvolvidos, aplicados e aprimorados, eles passam a servir como ferramentas convenientes para avaliar tendências, realçar condições ambientais específicas e auxiliar os tomadores de decisão na avaliação da efetividade de programas governamentais. Entretanto segundo Abbasi (2002), os índices de qualidade de água não são a única fonte de informação que pode influenciar na tomada de decisões relacionadas à água. Muitos outros fatores são considerados além de índices e dados de monitoramento nos quais os índices são baseados. Não obstante quase todos os propósitos para a qual a qualidade da água é monitorada, como avaliação, utilização, tratamento, distribuição de recurso, informação pública, e planejamento ambiental, sejam atendidos de alguma forma por algum tipo de índice. Além disso, índices fazem a transferência e utilização de dados de qualidade de água, de maneira mais fácil e compreensível. Para o autor, os índices de qualidade de água ajudam:

- ✓ Distribuição de Recurso - podem ser aplicados nas decisões relacionadas à água para ajudar aos gestores na alocação de recursos e na determinação de prioridades.
- ✓ Comparar Regiões - podem ser aplicados para ajudar na comparação da qualidade de água em diferentes localizações geográficas.
- ✓ Cumprimento da Legislação - podem ser aplicados a locais específicos para determinar até que ponto os padrões e critérios existentes são conhecidos ou estão sendo excedidos.

- ✓ Análise de Tendência - podem ser aplicados para avaliar a qualidade da água em datas e em pontos diferentes, identificando as alterações na qualidade (degradação ou melhoria) que aconteceram em um período.
- ✓ Informação Pública - por ser de fácil entendimento como medida de qualidade de água, os índices podem ser usados para manter o público informado sobre a qualidade de água de qualquer fonte, ou de fontes alternativas diferentes, em uma base cotidiana da mesma maneira que a contagem de índices das bolsas de valores oscilam indicando se uma ação caiu ou subiu.
- ✓ Pesquisa científica - a qualidade inerente aos índices, que traduz uma grande quantidade de dados em uma única contagem, é imensamente valiosa em pesquisa científica. Por exemplo, determinando a eficácia de restaurações ecológicas ou de tratamento de água em um corpo de água específico, ou o impacto do desempenho de certas atividades, na qualidade de água, etc.

No Brasil o interesse cresceu no início da década de mil novecentos e setenta, quando no Relatório Anual de 1972, o CONAMA manifestou a necessidade da utilização de índices para o meio ambiente (PNMA, 2006).

Em linhas gerais, são necessárias quatro etapas para desenvolvimento de um índice de qualidade de água (ABBASI, 2002):

- ✓ Seleção de parâmetros;
- ✓ Construção de Subíndices - Transformação dos parâmetros de diferentes unidades e dimensões em uma escala comum;
- ✓ Atribuição dos pesos para todos os parâmetros;
- ✓ Agregação de subíndices para produzir uma contagem de índice final

A seguir são revistas as etapas de desenvolvimento dos índices:

### 5.1.1. Seleção de Parâmetros

Normalmente no processo de elaboração dos índices de qualidade de água, a seleção dos parâmetros é feita mediante consulta e consenso de especialistas em recursos hídricos. Assim sendo, esses selecionam os parâmetros que julgam ser 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.

Ainda assim, todos os índices contemplam um grau de subjetividade, pois dependem da escolha das variáveis que se constituirão como os indicadores principais (TOLEDO e NICOLELLA, 2002). Os mesmos autores lembram que, nos casos onde a escolha deve indicar os parâmetros representativos das alterações da qualidade de água, cada sistema hídrico possui características únicas, o que torna difícil estabelecer generalizações. Como adverte Abbasi (2002), até mesmo as normas de qualidade de água, das quais dependem muitas das decisões sobre aptidão de um manancial, não são comuns a todos os países. E mais, no processo dinâmico da pesquisa científica, logo os padrões são revisados continuamente. Uma nova pesquisa esclarece com fatos novos os efeitos benéficos ou prejudiciais de um componente, ou dá novas informações sobre níveis de concentração que tornam um componente prejudicial ou a concentração abaixo da qual um componente deixa de ser útil.

Com efeito, na tarefa de selecionar parâmetros deve-se ter: cuidado, atenção, experiência e habilidade para realizar os ajustes necessários e assegurar a inclusão dos parâmetros mais representativos, sem esquecer o comprometimento com resultado da escolha.

### 5.1.2. Construção de Subíndices

Como os parâmetros são expressos em diferentes unidades e são encontrados em faixas de concentração de diferentes magnitudes, é imprescindível que sejam reduzidos a uma escala comum. Por exemplo, a turbidez de uma água é medida em unidades de nefelométricas de turbidez (NTU), nome definido em razão do método utilizado para sua determinação, enquanto que boa parte dos parâmetros químicos é medida em miligramas por litro (mg/L) ou micro grama por litro ( $\mu\text{g/L}$ ).

De outro modo, as faixas de concentração também são diferentes. Se tomada como exemplo uma água com concentração de Mercúrio da ordem de 0.0009 mg/L Hg, atenderia à legislação, mas uma outra que tivesse o dobro desta concentração (0,0018 mg/L Hg) estaria fora dos padrões estabelecidos (VMP = 0,001 mg/L Hg), entretanto uma água com concentração de cloreto da ordem de 10 mg/L Cl, atende à legislação, como também atenderia uma água com o dobro desta concentração (20 mg/L) e até com vinte vezes (VMP = 250 mg/L Cl). E mais ainda, enquanto alguns parâmetros variam em faixas muito pequenas (OD = 0 a 12 mg/L OD), outros abrangem valores muito maiores (Sódio = 0 a 1000 mg/L Na).

Ou seja, tanto as escalas quanto as unidades são diferentes, e os comportamentos em termos da relação concentração e impacto também o são, sendo necessário, portanto reduzi-los a uma escala comum para formulação do índice. Por isso são construídos os subíndices, um para cada parâmetro selecionado para o índice, de modo que parâmetros diferentes, suas unidades, e faixa de concentrações são todos transformados para uma única escala (de altamente aceitável para altamente inaceitável).

Para calcular os valores dos parâmetros de cada subíndice costumeiramente são usadas funções matemáticas chamadas funções do subíndice, que podem consistir em simples multiplicador; ou da magnitude da variável elevada a expoentes; ou em alguma outra relação funcional que pode ser de vários tipos: linear, não linear, linear segmentada, não linear segmentada, cada uma delas com vantagens e limitações.

#### 5.1.3. Atribuição de Pesos

A tarefa de escolher dentre todos os parâmetros, aqueles mais adequados para compor um índice de qualidade de água, não é simples. É preciso equilibrar a quantidade de parâmetros, com a autenticidade dos dados, e a efetividade do índice. Não obstante, mesmo após essa seleção, nem todos os parâmetros escolhidos têm a mesma importância para mensurar a qualidade. É preciso atribuir pesos que expressem esta relação de importância do parâmetro na qualidade da água. Essa atribuição, a exemplo da seleção dos parâmetros, é geralmente feita por consulta a especialistas no tema, para, mais uma vez, garantir a representatividade do método.

#### 5.1.4. Agregação de Subíndices

A última etapa na formulação do índice é agregação dos subíndices para composição do índice final. Vários métodos de agregação podem ser utilizados, com

benefícios e desvantagens inerentes a cada um deles. As formas mais comuns são apresentadas abaixo:

- ✓ Soma Linear  $\rightarrow I = I_1 + I_2 + I_3 \dots + I_n$
- ✓ Soma Ponderada  $\rightarrow I = I_1 * i_1 + I_2 * i_2 + I_3 * i_3 + \dots + I_n * i_n$  onde:  $\sum i_1 + i_2 + \dots + i_n = 1$
- ✓ Raiz do Somatório da Potência  $\rightarrow I = [\sum_{i=1}^{i=n} I_i^p]^{1/p}$
- ✓ Operador Máximo  $\rightarrow I = \max\{I_1 + I_2 + \dots + I_n\}$
- ✓ Operador Mínimo  $\rightarrow I = \min\{I_1 + I_2 + \dots + I_n\}$
- ✓ Multiplicativo  $\rightarrow \prod_{i=1}^{i=n} I_i^{w_i}$  onde  $\sum_{i=1}^{i=n} w_i = 1$

#### *Índice de Soma Linear*

É composto pela adição de subíndices sem pesos. É muito simples, mas tem a desvantagem de provocar qualificação de água insatisfatória. Mesmo quando todos os parâmetros estão atendendo aos limites estabelecidos, os somatórios pode exceder ao valor permissível, mesmo que nenhum dos subíndices exceda, gerando o problema da “ambigüidade”.

#### *Índice de Soma Ponderada*

Este tipo de agregação elimina o problema da ambigüidade, mas provoca um problema de “eclipse” que acontece quando pelo menos um parâmetro reflete qualidade da água insatisfatória, e a contagem do índice “esconde” o nível inaceitável de um ou mais parâmetros constituintes.

#### *Índice de Raiz do Somatório da Potência*

É um bom método para agregação, pois, não oferece regiões de “ambigüidade” ou de “eclipse”. Não obstante, é pouco utilizada.

#### *Índice de Operador Máximo*

O índice assume o maior valor de todos os subíndices, e o índice (I) = 0 se e somente se todos os subíndices forem iguais a zero. Este tipo de agregação é apropriado para determinar se um valor permissível é violado e por quanto.

#### *Índice de Operador Mínimo*

Calcula subíndices em escala decrescente, semelhante ao modelo para o índice de operador máximo. Não provoca “eclipse” e “ambigüidade”. É um bom candidato para agregar subíndices de escala decrescente.

#### *Índices Multiplicativos*

A função de agregação de multiplicação mais comum é o produto de pesos, que elimina o problema de “eclipse”, pois um índice é zero se qualquer subíndice é zero, e também elimina a “ambigüidade”, pois o índice será zero se e somente se pelo menos um subíndice for zero. Isto significa que se qualquer subíndice exibir qualidade de água insatisfatória, o índice global exibirá qualidade insatisfatória..

## **5.2. Índices de Qualidade de Água**

São apresentados quatorze índices para avaliação da qualidade da água, sendo onze deles referentes às águas superficiais e somente três voltados para o compartimento subterrâneo. Muito provavelmente, são mais freqüentes os índices para avaliação das águas superficiais porque estes foram os primeiros mananciais a serem atingidos pela poluição, principalmente aquela decorrente dos efluentes urbano, e, portanto houve maior necessidade de elaboração de índices para avaliar a qualidade dessas águas.

A água subterrânea tida como mais protegida do alcance da poluição, fora por muito tempo classificada apenas para as suas propriedades minerais. Tradicionalmente, a forma mais comum utilizada para representar a qualidade das águas subterrâneas, são as representações gráficas através de diagramas (colunares, radiais, triangulares), sendo os mais usuais aqueles propostos por Collins, Stiff, e Piper. Para Oliveira, Negrão e Rocha (2004), tais diagramas são de interpretação técnica especializada e difícil visualização para atender a necessidade do grande público conhecer sobre a qualidade da água subterrânea em uma região de interesse. Esses diagramas apresentam forte limitação de visualização em mapas temáticos, por serem representações pontuais de cada poço, ou de um conjunto de poços, com pouca possibilidade de visualização abrangente da qualidade da água em um mapa de domínios aquíferos.

Entretanto, os mananciais subterrâneos foram também sendo atingidos pela poluição, de forma mais generalizada, no meio urbano pelos efluentes domésticos, no meio rural pela atividade agropastoril e industrial, e assim surgiu a necessidade de avaliação da qualidade dos recursos desse compartimento hídrico.

### **5.2.1. Índices para avaliação da qualidade das Águas Superficiais**

A seguir são apresentados os índices de Horton (1965); Brown (1970); Prati (1971); Deininger (1971); Dinius (1972); O'Connor (1972); IQA - CETESB (1975); Stoner (1978), Bhargava (1985); Ved Prakash (1990) e IGQA - Sabesp (2000).

### 5.2.1.1. Índice de Horton

Na época que elaborou esse índice o autor selecionou as dez variáveis mais medidas para avaliar a qualidade da água, dentre elas: oxigênio dissolvido (OD), pH, coliformes, condutância específica (como uma medida aproximada do total de sólidos dissolvidos - TDS), alcalinidade, cloreto e o extrato de clorofórmio de carbono (CCE), incluído para refletir a influência das substâncias orgânicas.

Foi considerado o primeiro índice moderno, tendo sido desenvolvido pelo pesquisador alemão Robert K. Horton, que o apresentou, em 1965, como uma ferramenta para avaliação dos programas de redução de poluição em cursos d'água e para a informação pública (DERÍSIO, 2000).

Nesse índice, nenhuma substância relacionada à presença de poluição foi incluída. Por definição Horton não considerou as substâncias tóxicas. Para ele, nenhum curso d'água deveria conter substâncias prejudiciais aos seres humanos, animais ou à vida aquática.

Segundo Derísio (2000), a estrutura do índice e os pesos adotados foram subjetivos e baseados no julgamento do autor, não obstante os critérios que adotou para a formulação merecem atenção tendo em vista que apresentam as seguintes características:

- ✓ Número de variáveis limitado, a fim de garantir a praticidade;
- ✓ Variáveis com significação em todo país; e
- ✓ Variáveis refletindo a disponibilidade de dados.

O índice de Horton consiste basicamente em um somatório ponderado de subíndices, dividido pelo somatório dos pesos multiplicado por dois coeficientes (M1

e M2). Os coeficientes consideram a temperatura (M1) e a poluição manifesta (M2), e a eles são atribuídos os valores 1 ou  $\frac{1}{2}$  (Derísio,2000).

#### 5.2.1.2. Índice de Brown

A criação do Índice de Brown para avaliação da qualidade da qualidade da água em bacias hidrográficas está descrita em detalhes em ABBASI (2002). O índice consiste em um somatório ponderado de subíndices e pesos, tendo sido desenvolvido em 1970, por um grupo de pesquisadores coordenados por Robert M Brown, com o apoio da *National Sanitation Foundation (NSF - USA)*. Por este motivo, o índice de Brown é também conhecido como WQI-NSF.

De acordo com a NSF, o WQI pode ser usado para monitorar mudanças de qualidade de água com o passar do tempo em um manancial específico, ou pode ser usado para comparar a qualidade de uma provisão de água com outros mananciais de água na região ou de qualquer outro local ao redor do mundo, como também pode ser usado para determinar se um trecho em particular pode ser considerado "saudável." (NSF, 2004)

Mais de 100 especialistas em qualidade de água dos Estados Unidos foram convocados, para ajudar a criar um Índice de Qualidade de Água (WQI) padrão. O resultado deveria representar o nível de qualidade de água em uma determinada bacia hidrográfica, num lago, rio, ou córrego (NSF, 2004).

De acordo com Abbasi (2002), a primeira tarefa dos especialistas respondentes foi escolher trinta e cinco parâmetros candidatos à composição do índice. Os respondentes eram livres para acrescentar à lista qualquer parâmetro da sua

escolha. Depois, cada parâmetro deveria ser marcado com as indicações: “incluir”, “indeciso” ou “não incluir”, representando a sua significação como contribuinte para a qualidade global da água. Além de estabelecer uma escala de 1 (maior importância) a 5 (menor importância) para cada um dos parâmetros selecionados.

Na etapa seguinte todas as respostas foram disponibilizadas a todos os painelistas de modo que cada um deles pudesse opinar e manter ou modificar suas escolhas, à luz da opinião dos demais participantes.

Finalmente, foi pedido a todos os painelistas para manter não mais do que 15 parâmetros que eles considerassem os mais importantes. A lista completa de parâmetros, organizada em ordem decrescente de significação foi apresentada a cada sócio e continuando desta forma, uma lista final com onze parâmetros foi obtida (Tabela 4).

<b>Tabela 4 – WQI – NSF - Lista de Parâmetros mais significativos</b>	
<b>Parâmetro</b>	<b>Importância</b>
Oxigênio dissolvido	1
Demanda bioquímica de oxigênio	2
Turbidez	3
Sólidos totais	4
Nitrato	5
Fosfato	6
pH	7
Temperatura	8
Coliformes Fecais	9
Praguicidas	10
Elementos tóxicos	11

Fonte: Abbasi (2002)

Após a seleção dos onze parâmetros mais representativos, os painelistas foram mais uma vez convidados a contribuir, produzindo, cada um deles, os onze gráficos

que simbolizam a variação no nível de qualidade da água em relação à concentração de cada parâmetro.

A seguir a média do julgamento de todos os respondentes foi calculada e foi produzido um conjunto de curvas, uma para cada parâmetro. A figura 7 representa as curvas de avaliação para a Turbidez e o pH (NSF, 2004).

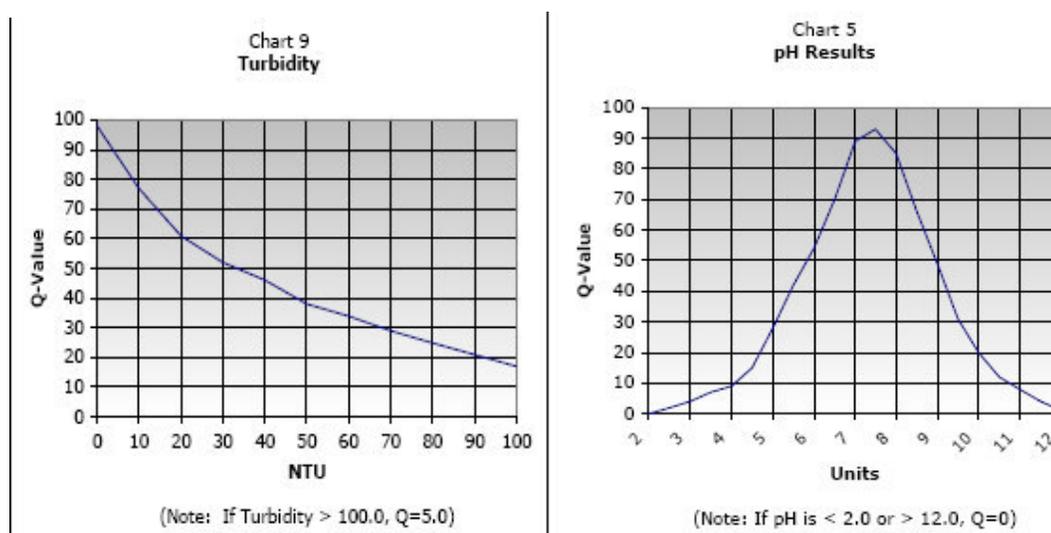


Figura 7 – NSF – Curvas de Turbidez e pH (NSF, 2004)

Como última tarefa, os painelistas definiram a significância do parâmetro para a qualidade da água atribuindo um valor na escala de 1 (mais alta significação) até 5 (mais baixa significação) para os nove parâmetros finalmente selecionados. Em seguida foi calculada a média aritmética para as avaliações dos especialistas.

Para converter a avaliação em pesos, um peso temporário de 1.0 foi atribuído ao parâmetro que recebeu a avaliação de significação mais alta, isto é aquele que obteve o valor 1 (mais alta significação) na escala decrescente de importância. Todos os outros pesos temporários foram obtidos dividindo cada avaliação média individual pela avaliação mais alta. Cada peso temporário foi dividido então pela soma de todos os pesos temporários para chegar ao peso final. A Tabela 5,

adaptada de Abbasi(2002), reproduz a avaliação média, pesos temporários e pesos finais dos parâmetros selecionados para o índice de Brown.

<b>Tabela 5 – WQI – NSF – Significado e Peso dos Parâmetros</b>			
Parâmetros	Média Aritmética de Significação dos Parâmetros na avaliação dos especialistas, em escala decrescente, mais importante obtém menor valor.	Pesos Temporários	Pesos Finais
Oxigênio dissolvido	1,4	1	0,17
Coliformes fecais	1,5	0,93	0,15
Ph	2,1	0,67	0,12
DBO (5-dias)	2,3	0,61	0,1
Nitrato	2,4	0,58	0,1
Fosfato	2,4	0,58	0,1
Temperatura	2,4	0,58	0,1
Turbidez	2,9	0,48	0,08
Sólidos Totais	3,2	0,44	0,08
Total		<b>5,87</b>	<b>1</b>
<b>Fórmulas:</b>			
<b>Peso Temporário = Média do Parâmetro de Maior Significação / Média Significação do Parâmetro a ser calculado</b>		<b>Peso Final = Peso Temporário do Parâmetro / Somatória dos Pesos</b>	
<b>Exemplo: Turbidez</b>			
Peso Temporário = $1,4 / 2,9 = 0,48$		Peso Final = $0,48 / 5,87 = 0,08$	

Fonte: Adaptado de Abbasi (2002)

A agregação dos parâmetros foi proposta inicialmente na forma de um somatório do produto da qualidade do parâmetro pelo peso a ele atribuído. A qualidade do

parâmetro é um número compreendido de 0 a 100 (nota) lido da curva do subíndice correspondente.

$$WQI_{NSF} = \sum_{i=1}^n W_i \times Q_i \quad (\text{Equação 1})$$

$W$  = peso do parâmetro  $i$

$Q$  = qualidade do parâmetro  $i$

Não obstante a larga utilização da forma aditiva do índice de Brown, o mesmo grupo de pesquisadores objetivando evitar o problema de ambigüidade dos resultados, propôs uma forma multiplicativa para o mesmo conjunto e peso de parâmetros (PNMA, 2006), tal que o WQI é dado por um produtório das notas ( $Q_i$ ) elevados aos respectivos pesos ( $W_i$ ), ou seja:

$$WQI_{NSF} = \prod_{i=1}^n Q_i^{W_i} \quad (\text{Equação 2})$$

$W$  = peso do parâmetro  $i$

$Q$  = qualidade do parâmetro  $i$

Para contornar a ausência de substâncias tóxicas na formulação do índice, os pesquisadores responsáveis pelo WQI – NSF incorporaram a utilização de um Índice de Toxidez, com valor de zero ou de um, indicando respectivamente a presença ou ausência de poluentes acima do limite máximo admissível (PNMA, 2006).

O índice de Brown é bastante utilizado até os dias atuais como suporte para representar a qualidade da água em geral. Entretanto por não reconhecer e

incorporar em sua formulação funções relacionadas ao uso da água, precisa ser complementado com outros suportes para melhor qualificar o recurso hídrico.

### 5.2.1.3. Índice Implícito de Poluição de Prati

Este índice proposto por L. Prati e outros pesquisadores em 1971 (Prati et al, 1971), baseia-se nos sistemas de classificação da qualidade de água utilizados em países da Europa e dos Estados Unidos (PNMA, 2006).

O índice é uma expressão numérica do grau de poluição e considera os vários poluentes presentes no corpo hídrico. Segundo os autores: “este índice, enquanto incrementado com o grau de poluição, poderá ser usado para a avaliação numérica de uma característica puramente qualitativa expressa pelo termo 'poluição'”.

Segundo PRATI *et al* (1971), na construção desse índice são determinadas tantas expressões matemáticas quantos sejam o número de poluentes, e transformadas as concentrações em níveis de poluição expressas em novas unidades que passam a ser então as 'unidades de medida de poluição'. Assim as expressões numéricas foram construídas para cada fator poluente. Uma característica importante desse índice é a de que se um poluente está presente em concentrações menores que outros poluentes, mas seu efeito poluidor for maior, então haverá um impacto grande na contagem do índice.

No desenvolvimento do índice foram identificadas três etapas:

Na primeira delas, a qualidade de água foi classificada para todos os parâmetros de acordo aos padrões de qualidade de água, como mostrado na Tabela 6.

No segundo passo, foi utilizado um poluente como referência e, seu valor atual foi considerado diretamente como índice de referência.

No terceiro passo, foram formadas expressões matemáticas para transformar em índice cada um dos valores dos poluentes. Na construção destas funções, foram usadas as propriedades analíticas de várias curvas para assegurar que a transformação resultante não só seria aplicável a valores pequenos de concentrações de poluente, mas também para os valores que excedessem a maior classe.

<b>Tabela 6 – Índice de Poluição de Prati – Classificação dos Parâmetros</b>					
<b>Parâmetro</b>	<b>Excelente</b>	<b>Aceitável</b>	<b>Ligeiramente Poluído</b>	<b>Poluído</b>	<b>Fortemente Poluído</b>
Ph (UT)	6,5 – 8,0	6,0 – 8,4	5,0 – 9,0	3,9 – 10,1	< 3,9; > 10,1
OD (%)	88–112	75–125	50–150	20–200	<20; >200
DBO (mg/L)	1.5	3.0	6.0	12.0	>12.0
DQO (mg/L)	10	20	40	80	>80
Sólidos Suspensos (mg/L)	20	40	100	278	>278
NH3 (mg/L)	0.1	0,3	0,9	2,7	>2,7
NO3 (mg/L)	4	12	36	108	>108
Cloreto (mg/L)	50	150	300	620	>620
Ferro (mg/L)	0.1	0.3	0.9	2.7	>2.7
Manganês (mg/L)	0.05	0,17	0,5	1	>1
ABS (mg/L)	0.09	1	3.5	8.5	>8.5
CCE (mg/L)	1	2	4	8	>8

Fonte: Abbasi (2002)

Os subíndices propostos por Prati estão reproduzidos na Tabela 7. O índice final é obtido como uma média aritmética dos treze subíndices.

$$I_{PRATI} = 1/13 \sum_{i=1}^{i=13} I_i \text{ (Equação 3)}$$

Tabela 7 – Índice de Poluição de Prati – Equações dos Subíndices			
Sub – Índice	Parâmetro	Faixa de Concentração	Equação
1	Ph (UT)	$0 \leq x < 5$	$I = -0.4x^2 + 14$
		$5 \leq x < 7$	$I = -2x + 14$
		$7 \leq x < 9$	$I = x^2 - 14x + 49$
		$9 \leq x < 14$	$I = -0.4x^2 + 11.2x + 64.4$
2	OD (%)	$0 \leq x < 50$	$I = 0.00168x^2 - 0.249x + 12.25$
		$50 \leq x < 100$	$I = -0.08x + 8$
		$100 \leq X$	$I = 0.08x - 8$
3	DBO (mg/L)		$I = 0.66666x$
4	DQO (mg/L)		$I = 0.10x$
5	Permanganato (mg/L)		$I = 0.04x$
6	Sólidos Suspensos (mg/L)		$I = 2^{[2.1 \log (0.1x-1)]}$
7	NH3 (mg/L)		$I = 2^{[2.1 \log (10x)]}$
8	NO3 (mg/L)		$I = 2^{[2.1 \log (0.25)]}$
9	Cloretos (mg/L)	$0 \leq x < 50$	$I = 0.000228x^2 + 0.0314x$
		$50 \leq x < 300$	$I = .000132x^2 + .0074x + 0.6$
		$300 \leq X$	$I = 3.75 (0.02x - 5.2) 0.5$
10	Ferro (mg/L)		$I = 2^{[2.1 \log(10x)]}$
11	Manganês (mg/L)	$50 \leq x < 0,5$	$I = 2.5x + 3.9\sqrt{x}$
		$0,5 \leq X$	$I = 5.25x^2 + 2.75$
12	ABS (mg/L)	$0 \leq x < 1$	$I = -1.2x + 3.2\sqrt{x}$
		$1 \leq X$	$I = 0.8x + 1.2$
13	CCE (mg/L)		$I = x$

Fonte: Abbasi (2002)

#### 5.2.1.4. Índice de Deininger

O índice de Deininger foi apresentado em 1971 para avaliar a qualidade da água para abastecimento público. Este índice similarmente ao de O'Connor, leva em conta o uso da água como um fator importante na determinação do índice. No entanto diferentemente dos demais índices, Deininger faz referências ao tipo de manancial de onde provêm a água e propõe: 11 parâmetros para avaliar os mananciais de superfície e 13 parâmetros quando o objetivo é avaliar mananciais subterrâneos.

A metodologia utilizada para o desenvolvimento foi similar ao WQI-NSF. Foi realizada uma consulta na forma de Painel Delphi, enviado a doze dos 142 especialistas que participaram da formulação daquele índice. No final foram selecionados 14 parâmetros que atenderam ao seguinte critério: se 75% dos painelistas votassem pela inclusão então o parâmetro faria parte do índice (PNMA, 2006). A formulação final conta com 13 parâmetros, sete dos quais são comuns ao WQI-NSF, e dois deles (Fluoreto e Ferro) são exclusivos do índice para mananciais subterrâneos. A tabela 8 apresenta uma comparação entre os pesos atribuídos no índice de Deininger para 11 e 13 parâmetros e no índice da WQI-NSF.

Para a agregação dos subíndices foram propostas: uma forma aditiva e uma outra por média geométrica:

$$\text{Aditiva: } I_{DEIADT} = \sum_{i=1}^{i=n} W_i Q_i \quad (\text{Equação 4})$$

$$\text{Geométrica: } I_{DEIGEO} = \left[ \prod_{i=1}^{i=11} W_i * Q_i \right]^{1/11} \quad (\text{Equação 5})$$

Onde:

W = peso do parâmetro i

Q = qualidade do parâmetro i

<b>Tabela 8 - Deininger e WQI-NSF - Comparação dos Pesos dos Parâmetros</b>			
<b>Parâmetro</b>	<b>I Deininger-11</b>	<b>I Deininger-13</b>	<b>WQI-NSF</b>
Coliformes Fecais	0,14	0,12	0,15
Cor	0,10	0,08	
DBO 5	0,09	0,08	0,10
Dureza	0,08	0,07	
Fenóis	0,10	0,08	
Ferro		0,07	
Fluoreto		0,07	
Fosfatos			0,10
Nitrato	0,10	0,09	0,10
Oxigênio Dissolvido	0,06	0,05	0,17
pH	0,08	0,07	0,12
Sólidos Dissolvidos	0,10	0,08	
Sólidos Totais			0,08
Temperatura	0,07	0,06	0,10
Turbidez	0,09	0,08	0,08
<b>Total</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>1</b>

Fonte: Abbasi (2002)

#### 5.2.1.5. Índice de Dinius

Semelhante aos índices anteriores propostos por Horton e de Brown, este índice baseia-se em uma escala decrescente de qualidade, com valores expressos em porcentagem, sendo a água excelente aquela que corresponde a 100%.

Foi proposto por S. H. Dinius em 1972 como uma tentativa de projetar um sistema que medisse os custos e os impactos de esforços empreendidos para o controle de poluição. Por isso, Abbasi (2002) considera que o índice de Dinius é o precursor de índices voltados ao “planejamento” e a “tomada de decisões”.

Para definir as equações necessárias ao cálculo dos subíndices, o autor lançou mão da revisão da literatura científica disponível à época e examinou a qualidade da água descrita por vários especialistas no assunto, considerando níveis diferentes das variáveis poluentes.

A pesquisa resultou em onze equações de subíndices apresentadas na Tabela 9. O índice final inclui os onze parâmetros, agregados por somatório ponderado, com pesos baseados em estudos do grau de importância de cada um deles. Os pesos variaram de 0.5 a 5 em uma escala básica de importância. Nesta escala, de 1 a 5, revelam-se respectivamente as importâncias: muito pequena (1), pequena (2), média (3), grande (4), e muito grande (5). A soma dos pesos é 21, que é o denominador na equação de índice.

A equação do Índice de Dinius é similar aos índices de Horton e a forma aditiva do índice de Brown (Equação 6):

$$I_{DINIUS} = \frac{1}{21} \sum Q_i \times W_i$$

(Equação 6)

W = peso do parâmetro i

Q = qualidade do parâmetro i

<b>Tabela 9 – Índice de Dinius - 11 Parâmetros – Equações dos Subíndices</b>				
<b>Sub-Índice</b>	<b>Parâmetro</b>	<b>Faixa</b>	<b>Equação</b>	<b>Peso</b>
1	Oxigênio Dissolvido (%)		$I = x$	$W_i = 5$
2	DQO 5 dias (mg/L)		$I = 107 x^{-0.642}$	$W_i = 2$
3	Coliformes Totais (MPN/100ml)		$I = 100 (x)^{-0.3}$	$W_i = 3$
4	Coliformes Fecais (MPN/100ml)		$I = 100 (5x)^{-0.3}$	$W_i = 4$
5	Condutividade Específica ( $\mu\text{mho/cm}$ )		$I = 535x^{-0.3565}$	$W_i = 1$
6	Cloreto (mg/L)		$I = 125.8x^{-0.207}$	$W_i = 0,5$
7	Dureza ( $\text{CaCo}_3$ , ppm)		$I = 10^{1.974-0.00132x}$	$W_i = 1$
8	Alcalinidade ( $\text{CaCo}_3$ , ppm)		$I = 108x^{-0.178}$	$W_i = 0,5$
9	pH	$x < 6,7$	$I = 10^{0.2335+0.44}$	$W_i = 1$
		$6,7 \leq x \leq 7,58$	$I = 100$	
		$x > 7,58$	$I = 10^{4.22-0.293x}$	
10	Temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ )	$x_a = \text{temperatura}$ , $x_b = \text{temperatura}$ padrão	$I = -4 (x_a - x_b) + 112$	$W_i = 2$
11	Cor		$I = 128 x^{-0.288}$	$W_i = 1$

Fontes: Abbasi (2002) / PNMA (2006)

Este índice de Dinius foi, posteriormente, alterado pelo próprio autor que em 1987, reuniu um grupo de sete especialistas em recursos hídricos para um painel Delphi, com o objetivo de formular um Índice de Qualidade de Água para avaliar o nível de poluição em água doce. Os estudos foram executados de modo a averiguar os poluentes a serem incluídos no índice, a relação entre a quantidade destes poluentes na água e a qualidade resultante da água, e a importância de cada variável de poluição para cada uso de água como também para poluição global (DINIUS, 1987).

Um índice de multiplicativo foi usado para reunir os poluentes em um sistema. A nova proposta contava com os seguintes 12 parâmetros de poluição: Oxigênio dissolvido, DBO, Coliformes Totais, E-coli, pH, alcalinidade, dureza, cloreto, condutividade específica, temperatura, cor, e nitrato, para seis usos de água: abastecimento público de água, recreação, piscicultura, agricultura, e indústria (ABBASI, 2002):

- ✓ Cada um dos subíndices foi calculado separadamente, com equações próprias.
- ✓ As funções individuais dos subíndices foram combinadas usando uma função de agregação multiplicativa, na qual o peso de cada equação de subíndice estava baseado na avaliação de importância atribuída pelos representantes do painel Delphi em todos os parâmetros.

#### 5.2.1.6. Índice de O'Connor

O índice de O'Connor, foi proposto em 1972, faz parte de um conjunto de índices desenvolvidos para usos específicos da água pois agregam a noção de que o uso da água é um dos fatores importantes para o desenvolvimento de índices diferenciados. De fato é esperado que a qualidade requerida para o recurso sofra variações em função do uso: altos teores de um parâmetro podem ser importantes para determinado uso, e terem importância apenas marginal para outros (PNMA, 2006).

Para testar sua hipótese, O'Connor propôs dois índices: um índice considerando a sustentação da vida selvagem e peixes (FAWL - *Fish And Wild Life*) e outro para abastecimento público (PWS - *Public Water Supply*). Em seguida, O'Connor aplicou os índices FAWL e PWS e o índice WQI-NSF para cinco séries de dados e comparou os resultados. O pesquisador constatou que cada um dos índices específicos estava mais bem relacionado com o índice de uso geral (WQI-NSF) do que entre eles (FAWL – PWS), concluindo pela importância de considerar o conceito do uso da água no desenvolvimento dos índices de qualidade (PNMA, 2006). A tabela 10 apresenta a comparação entre os pesos utilizados nos índices de O'Connor e no WQI – NSF.

A fórmula utilizada por O'Connor é a mesma do índice WQI-NSF complementada com um coeficiente ( $\delta$ ), ao qual é atribuído o valor 0 (zero) quando alguma substância tóxica ultrapassa os limites ou o valor 1 (um) quando todos os parâmetros estão dentro dos padrões estabelecidos pela legislação.

$$I_{CONNOR} = \delta \left( \sum_{i=1}^{i=n} W_i \times Q_i \right) \quad (\text{Equação 7})$$

Onde:

W = peso do parâmetro i

Q = qualidade do parâmetro i

<b>Tabela 10 - O'Connor e WQI-NSF - Comparação de Pesos dos Parâmetros</b>			
Parâmetros	Pesos		
	WQI-NSF	Índices de O'Connor	
		FAWL	PWS
Oxigênio Dissolvido	0,17	0,206	0,056
Coliformes Fecais	0,15		0,171
pH	0,12	0,142	0,079
DBO 5	0,1		
Nitrato	0,1	0,074	0,07
Fosfatos	0,1	0,064	
Temperatura	0,1	0,169	
Turbidez	0,08	0,088	0,058
Sólidos Totais	0,08		
Sólidos Dissolvidos		0,074	0,084
Fenóis		0,099	0,104
Amônia		0,084	
Fluoreto			0,079
Dureza			0,077
Cloreto			0,06
Alcalinidade			0,058
Cor			0,054
Sulfatos			0,05
<b>Total</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>1</b>

Fonte: Abbasi (2002)

#### 5.2.1.7. IQA – CETESB

A forma multiplicativa do WQI-NSF foi adaptada pela Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental (Cetesb) e renomeada para Índice de Qualidade de Água (IQA), o qual foi utilizado no período de 1975 a 2001. A tabela 11 apresenta os parâmetros que são utilizados para calcular o IQA, o peso relativo de cada um deles e a equação que calcula o IQA, como também a escala de valores para classificação da água. Para o novo índice a única modificação introduzida foi a substituição do parâmetro nitrogênio nitrato pelo nitrogênio. Os pesos e as curvas foram mantidos:

$$IQA_{CETESB} = \prod_{i=1}^{i=n} Q_i^{W_i} \quad (\text{Equação 8})$$

Onde:

W = peso do parâmetro i

Q = qualidade do parâmetro i

Tabela 11 – Cetesb - IQA - Índice de Qualidade de Água Superficial		
Parâmetros e Pesos Relativos		Classificação da Qualidade da Água
Parâmetro	Peso (W)	
Temperatura da amostra	0,10	<p><b>Equação</b></p> $IQA = \prod_{i=1}^n q_i^{w_i}$ <p>80 -100 = Ótima 52 – 79 = Boa 37 – 51 = Regular 20 –36 = Ruim 0 – 19 = Péssima</p>
PH	0,12	
Oxigênio dissolvido	0,17	
Demanda bioquímica de oxigênio	0,10	
Coliformes termotolerantes	0,15	
Nitrogênio total	0,10	
Fósforo total	0,10	
Sólidos totais	0,08	
Turbidez	0,08	

Fonte: Cetesb (2004)

Tendo em vista a necessidade de ampliar a capacidade de avaliação da qualidade da água superficial, frente aos impactos sobre a qualidade pela presença de substâncias tóxicas, em 2002, a Cetesb incorporou novos conceitos e estabeleceu índices diferenciados em razão do uso da água. Assim surgiram os índices para as águas destinadas para fins de abastecimento (IAP), para as águas destinadas à proteção da vida aquática (IVA) e a Classificação Praias - para as águas destinadas ao banho (Tabela 12).

Segundo peça institucional da Cetesb, dos 645 municípios do Estado de São Paulo, 308 são totalmente abastecidos por águas subterrâneas (CETESB, 2004). A empresa mantém uma “Rede de Monitoramento da Qualidade das Águas Subterrâneas”, realizando avaliação de qualidade da água em 136 poços tubulares profundos no estado. No entanto, não foram encontradas referências a índices diferenciados para qualificar as águas subterrâneas.

<b>Tabela 12 – Cetesb – Índices de Qualidade de Água</b>			
<b>Critério de Qualidade</b>	<b>Índices e Grupos de Parâmetros</b>		
Qualidade de água bruta para fins de abastecimento público	Fórmula $IAP = IQA * ISTO$	IQA	Parâmetros Básicos
		ISTO	Parâmetros que indicam a presença de substâncias tóxicas
Qualidade de água para a proteção da vida aquática	Fórmula $IVA = (IPMCA * 1,2) + IET$	IPMCA	Índice de Parâmetros Mínimos para a Preservação da Vida Aquática
		IET	Índice de Estado Trófico
Águas destinadas ao banho	Classificação Praia		

Fonte: Adaptado de Cetesb (2004)

#### 5.2.1.8. Índice de Smith

O Índice de Smith foi proposto por David G. Smith em 1987 e tomou por base os padrões de qualidade de água recomendados para a legislação da Nova Zelândia.

Este índice também contou com a opinião de especialistas na forma de um painel Delphi.

Os parâmetros utilizados por Smith são os mesmos do índice de Brown, não obstante a formulação é muito diferente. Nesta proposta, para produzir a contagem final do índice, Smith empregou a variável da qualidade de água que dá a contagem mais baixa, utilizando o método do operador mínimo. Segundo o pesquisador, esta é a opção correta para assegurar-se de que a contagem do índice forneça algo útil, e não esconda a informação importante. Para ele, as indicações preliminares são que este é um método mais útil de agregação do que as técnicas aditivas e multiplicativas mais geralmente usadas (SMITH, 1990).

$$I_{SMITH} = (I_1, I_2, I_3 \dots) \text{ (Equação 9)}$$

Onde

$I_{SMITH}$  = menor valor de todos os subíndices

#### 5.2.1.9. Índice de Stoner

Este índice, similarmente ao de O'Connor, também se baseou na conveniência de índices diferentes para diferentes usos da água. J. D. Stoner apresentou, em 1978, um índice para abastecimento público e outro para irrigação. Stoner também considerou a separação em dois tipos de parâmetros: (A) parâmetros normalmente considerados tóxicos e (B) parâmetros que representam riscos à saúde e que afetam as características estéticas, tais como cloreto, enxofre, cor, gosto e odor.

Para a formulação do índice para abastecimento público foram selecionados 26 parâmetros do tipo A e 13 do tipo B, e para o índice de irrigação foram indicados 5 e 16 parâmetros, respectivamente (PNMA, 2006).

Como explica Abbasi (2002), a cada parâmetro do primeiro grupo é atribuído o valor zero, se a concentração for menor ou igual ao limite indicado para o parâmetro, e o valor 100, se o limite é excedido. Os parâmetros do segundo grupo são representados por funções matemáticas explícitas. O índice global é obtido com a combinação dos parâmetros tipo A, aos quais não são atribuídos pesos, e parâmetros do tipo B, com seus respectivos pesos:

$$I_{STONER} = \sum_{i=1}^{i=n} I_i + \sum_{j=1}^{j=n} W_j * Q_j \quad (\text{Equação 10})$$

Onde:

I = subíndice I do tipo A

W = peso do parâmetro j do tipo B

Q = qualidade do parâmetro j do tipo B

#### 5.2.1.10. Índice de Bhargava

O índice de Bhargava foi desenvolvido 1985 para avaliar a qualidade da água para uso no abastecimento público (ABBASI, 2002).

O pesquisador Devendra S. Bhargava identificou quatro grupos de parâmetros, cada um deles contendo conjuntos de parâmetros de um determinado tipo. O primeiro grupo representa a qualidade bacteriana da água potável e por isso incluiu

as concentrações de organismos coliformes. O segundo grupo incluiu as substâncias tóxicas e os metais pesados, ou seja aquelas substâncias que tem um efeito tóxico cumulativo no consumidor. O terceiro grupo incluiu parâmetros que causam efeitos físicos, como odor, cor, e turbidez. E finalmente, o quarto grupo incluiu as substâncias não tóxicas inorgânicas e orgânicas das quais se destacam cloreto, sulfato, ferro, manganês, zinco, cobre, sólidos totais dissolvidos (TDS) etc.

Os subíndices foram agregados como uma função multiplicativa. O índice foi aplicado aos dados de qualidade de água bruta a montante e a jusante de Rio Yamuna em Delhi, na Índia. Com este índice a água deveria ser considerada própria para consumo quando o índice fosse maior do que 90.

#### 5.2.1.11. Índice de Ved Prakash *et al* (1990)

O índice foi desenvolvido para avaliar o perfil de qualidade de água de rio Ganges, de modo a identificar desvios entre a qualidade de água existente com relação à água desejada, significantes o bastante para autorizar medidas urgentes de controle de poluição (ABBASI, 2002).

Seguindo a tendência de outros pesquisadores, Ved Prakash também adotou o sistema de pesos e a agregação multiplicativa para estabelecer o seu índice, e baseou-se nos estudos anteriores do WQI-NSF, com pequenas modificações em termos de peso para contemplar os critérios de qualidade da água para diferentes usos, adequados ao cenário da *Central Water Pollution Board*, Índia.

Também como em outros índices, os parâmetros foram escolhidos por respondentes de um painel Delphi. Os valores de subíndices foram obtidos usando equações de índice substituto, como mostrado na tabela 13.

<b>Tabela 13 - Ved Prakash - Equações dos Subíndices</b>			
Parâmetro	Faixa aplicável	Equação	Correlação
OD	0–40% saturação	$IDO = 0.18 + 0.66 * (\% \text{ sat})$	0.99
	40–100% saturação	$IDO = -13.5 + 1.17 * (\% \text{ sat})$	0.99
	100–140% saturação	$IDO = 263.34 - 0.62 * (\% \text{ sat})$	-0.99
DBO (mg/l)	0–10	$IBOD = 96.67 - 7.00 * (\text{BOD})$	-0.99
	10–30	$IBOD = 38.9 - 1.23 * (\text{BOD})$	-0.95
pH	2–5	$IpH = 16.1 + 7.35 * (\text{pH})$	0.925
	5–7.3	$IpH = 142.67 + 33.5 * (\text{pH})$	0.99
	7.3–10	$IpH = 316.96 - 29.85 * (\text{pH})$	-0.98
	10–12	$IpH = 96.17 - 8.00 * (\text{pH})$	-0.93
Coliformes fecais	$1 - 10^3$	$Icoli = 97.2 - 26.80 * (Icoli)$	-0.99
	$10^3 - 10^5$	$Icoli = 42.33 - 7.75 * (Icoli)$	-0.98
	$10^5$	$Icoli = 2$	

Fonte: Abbasi (2002)

#### 5.2.1.12. IGQA – Sabesp

No âmbito nacional, dentre os índices recentemente desenvolvidos para avaliação da qualidade da água distribuída, destaca-se o Índice Geral de Qualidade de Água (IGQA) da Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo (Sabesp), em uso na empresa desde o ano de 2000. Nota-se que esse tipo de índice

é voltado para avaliar a eficiência dos sistemas de tratamento, muito embora também contemple parâmetros utilizados na avaliação da qualidade da água bruta. Outra ressalva é que não lhes interessa o tipo de manancial: subterrâneo ou superficial, haja vista que a água pode ser tratada para distribuição ao consumidor independente de sua origem, desde que tenha sido enquadrada em uma classe que permita o seu uso, após o tratamento, para abastecimento humano.

Para cálculo do IGQA os parâmetros foram agrupados em três conjuntos: parâmetros bacteriológicos, parâmetros orgânicos ou inorgânicos que podem afetar a saúde da população (cádmio, chumbo, cloro residual livre, cromo total, flúor e trihalometanos), e um grupo com aqueles parâmetros que podem interferir na qualidade organoléptica da água (alumínio, cor aparente, ferro total, pH e turbidez) (PNMA, 2006). Estes conjuntos de parâmetros são apresentados na forma de três índices intermediários.

O valor do IGQA é obtido a partir dos valores dos três índices intermediários, e corresponde à média geométrica dos mesmos convertida para uma escala de 0 a 100 (Equação 11), que depois é traduzida em um resultado descritivo que resume a qualidade da água em: Imprópria (0 a 49), Insatisfatória (50 a 69), Aceitável (70 a 84), Boa (85 a 94), Ótima (95 a 99) e Excelente (100).

$$IGQA = (I_1 * I_2 * I_3)^{1/3} \quad (\text{Equação 11})$$

#### 5.2.1.13. Aspectos comparativos dos Índices de Qualidade de Água Superficial

A tabela 14 apresenta um comparativo entre os parâmetros utilizados na formulação do WQI-NSF, referência para o desenvolvimento de alguns dos índices apresentados, e os demais índices de qualidade de água dos mananciais superficiais, nos aspectos dos tipos de parâmetros e das substâncias utilizadas.

<b>Tabela 14 - Comparativo de Parâmetros e Substâncias utilizadas nos Índices de Qualidade de Água de Mananciais Superficiais</b>							
índices	Horton	Brown	Prati	Dinius	Deininger	CONNOR	CETESB
Ano Formulação	1965	1970	1971	1971	1972	1975	1975
ABS			X				
Alcalinidade	X			X		X	
Amônia (NH3)			X			X	
CCE	X		X				
Cloreto	X		X	X		X	
Coliformes	X	X		X	X	X	X
Condutância Específica	X						
Condutividade				X			
Cor				X	X	X	
DBO 5		X	X		X	X	X
DQO			X	X			
Dureza				X	X	X	
Fenóis					X	X	
Ferro			X				
Fluoreto						X	
Fosfatos		X				X	
Fósforo Total							X
Manganês			X				
Nitrato (NO3)		X	X		X	X	
Nitrogênio Total							X
Oxigênio Dissolvido	X	X	X	X	X	X	X
Permanganato							
pH	X	X	X	X	X	X	X
Sólidos Dissolvidos					X	X	
Sólidos Suspensos			X				
Sólidos Totais		X				X	X
Sulfatos						X	
Temperatura		X		X	X	X	X
Turbidez					X	X	X

Esse tipo de comparação é importante, pois denota a preocupação dos pesquisadores em compreender diferentes aspectos da qualidade da água, pontos de vista que se alteram em razão das condições ambientais dos locais ou regiões onde os índices são aplicados, ou até mesmo da época em que foram formulados.

Em seguida a tabela 15 mostra um comparativo dos índices de qualidade de água superficial no que se refere ao agrupamento de parâmetros.

<b>Tabela 15 – Comparativo das funções de agregação dos Índices de Qualidade de Água Superficial</b>			
<b>Índice</b>	<b>Composição</b>	<b>Subíndices</b>	<b>Agregação</b>
Horton	Índice Único	Nota auferida por Conjunto de Parâmetros	Somatório ponderado, dos subíndices dividido pelo somatório dos pesos multiplicado por dois coeficientes.
	Coeficiente Temperatura	-	
	Coeficiente Poluição Manifesta	-	
Brown	Índice Único	Nota auferida por Conjunto de Parâmetros	Somatório dos produtos da qualidade do parâmetro pelo peso a ele atribuído.
Prati	Índice Único	Nota auferida por Conjunto de Parâmetros	Média aritmética dos subíndices
Dinius	Índice Único	Nota auferida por Conjunto de Parâmetros	Média aritmética do somatório do produto da qualidade do parâmetro pelo peso a ele atribuído.
Smith	Índice Único	Nota auferida por Conjunto de Parâmetros	Operador Mínimo
O'Connor	Índice Único	Nota auferida por Conjunto de Parâmetros	Somatório do produto do peso pela qualidade do parâmetro
Deininger	Índice Único – 11 parâmetros	Nota auferida por Conjunto de Parâmetros	Aditiva (somatório do produto do peso pela qualidade do parâmetro) ou Média Geométrica.
Stoner	Índice de parâmetros normalmente Considerados tóxicos	Nota auferida por Conjunto de Parâmetros	Combinação linear dos parâmetros
	Índice de parâmetros que representam riscos à saúde e que afetam as características	Nota auferida por Conjunto de Parâmetros	Combinação ponderada dos parâmetros

<b>Tabela 15 – Comparativo das funções de agregação dos Índices de Qualidade de Água Superficial</b>			
<b>Índice</b>	<b>Composição</b>	<b>Subíndices</b>	<b>Agregação</b>
	estéticas		
Bhargava	Índices agrupando os parâmetros por tipo	Nota auferida por Conjunto de Parâmetros	Agregação Multiplicativa
Ved Prakash	Índice Único	Nota auferida por Conjunto de Parâmetros	Agregação Multiplicativa
SABESP	I1 = Índice de parâmetros bacteriológicos	Nota auferida por Conjunto de Parâmetros	Média geométrica dos índices I1, I2 e I3.
	I2 = Índice de parâmetros orgânicos ou inorgânicos que podem afetar a saúde da população	Nota auferida por Conjunto de Parâmetros	
	I3 = Índice de parâmetros que podem interferir na qualidade organoléptica da água	Nota auferida por Conjunto de Parâmetros	
CETESB	IQA - Índice de Parâmetros Básicos	Nota auferida por Conjunto de Parâmetros	Produto dos índices IQA e ISTO
	ISTO = Índice de Parâmetros que indicam a presença de substâncias tóxicas	Nota auferida por Conjunto de Parâmetros	

### 5.2.2. Índices de Qualidade de Água Subterrânea

Da revisão da literatura apurou-se que são poucos os estudos específicos para estabelecimento de índices para avaliação da Qualidade das Águas Subterrânea. Dos índices apresentados acima, somente o índice de Deininger (13 parâmetros) se propôs avaliar as águas desse compartimento hídrico. Segue-se o índice criado na França em 2003 e o índice desenvolvido na UFBA em 2004.

### 5.2.2.1. Índice de Deininger – 13 parâmetros

Como abordado acima, o índice foi proposto por Rolf Deininger e Landwehr, em 1971, para qualificar águas para abastecimento público, e foi apresentado em duas versões: um índice para mananciais superficiais com 11 parâmetros e um índice para mananciais subterrâneos com dois parâmetros adicionais: ferro e fluoreto.

Dois métodos de agregação foram usados para cálculo dos índices: o método aditivo e a média geométrica, de modo que são as seguintes as equações para a versão do índice para águas subterrâneas:

$$\text{Aditiva: } I_{DEIADT} = \sum_{i=1}^{i=13} W_i Q_i \text{ (Equação 12)}$$

$$\text{Geométrica: } I_{DEIGEO} = \left[ \prod_{i=1}^{i=13} W_i * Q_i \right]^{1/13} \text{ (Equação 13)}$$

Onde:

W = peso do parâmetro i

Q = qualidade do parâmetro i

### 5.2.2.2. SEQ – EAUX Souterraines - França

No âmbito internacional, a França através do Ministério de Ecologia e Desenvolvimento Sustentável (MEDD, *Ministère Français de l'Ecologie et du Développement Durable*) em conjunto com as agências de água desenvolveram um sistema de avaliação da qualidade das águas subterrâneas (*Système d'Évaluation*

*de la Qualité des Eaux Souterraines*) daquele país (CADILHAC E ALBINET, 2003). A ferramenta SEQ – Eaux Souterraines permite definir a aptidão de uma água em satisfazer usos escolhidos em função da sua importância e de outro lado, de exprimir a amplitude das modificações físico-químicas de uma água dentro do seu compartimento em face da pressão das atividades humanas.

Desse modo, SEQ Eaux Souterraines propõe um índice baseado em duas noções: alteração da qualidade e uso do recurso. As alterações permitem reagrupar os numerosos parâmetros que servem para caracterizar a qualidade da água. São relacionados dezessete conjuntos de alterações com os parâmetros que descrevem estas alterações (Tabela 16).

Com relação ao uso do recurso, são considerados cinco tipos principais: produção de água potável, uso em indústrias (exceto as indústrias agro-alimentares), energia, irrigação e dessedentação de animais.

Seja qual for o uso do recurso, a ferramenta SEQ estabelece, para cada um dos parâmetros, curvas de qualidade (índice =  $f(\text{concentração})$ ), que levam em consideração o estado patrimonial – ou legado – do recurso. Esse índice varia entre 0 (água de qualidade ruim) e 100 (água de qualidade muito boa).

A partir daí e para cada uma das alterações, é definido um subíndice de qualidade por alteração que corresponde ao menor índice calculado para o conjunto de parâmetros que descrevem a alteração. De acordo com o valor do subíndice, a qualidade da água é materializada por uma das cinco cores: azul (80 a 100), verde (60 a 79), amarelo (40 a 59), laranja (20 a 39) ou vermelha (0 a 19).

A partir dos diferentes subíndices calculados para cada uma das alterações, a ferramenta SEQ atribui um índice de qualidade que corresponderá sempre ao menor dos índices atribuído ao conjunto de alterações consideradas.

<b>Tabela 16 - SEQ EAX-Souterraines - Alterações de Qualidade de Água e os Parâmetros que descrevem a alteração</b>	
Sabor e Odor	Odor, Sabor
Material Orgânico e Oxidável	Carbono Orgânico Dissolvido
Partículas em Suspensão	Turbidez, Matérias em Suspensão
Ferro e Manganês	Ferro Total, Manganês Total
Coloração	Cor
Microorganismos	<i>Escherichia coli</i>
	Coliformes Termotolerantes
	Coliformes Totais
Mineralização e Salinidade	Condutividade, Resíduos Sólidos, Ph, Cloretos, Sulfatos, Dureza, TAC
	Cálcio, Magnésio, Sódio, Potássio, Fluoreto, RAS.
Nitratos	Nitrato
Nitrogenados (fora nitrato)	Amônia, Nitrito
Micropoluentes Minerais	Arsênio total, boro, cádmio, cromo total, cianeto, cobre.
	Mercúrio, níquel, chumbo, selênio, zinco, alumínio, prata, antimônio.
Pesticidas	Atrazina, Simazina, Lindano
	Lindano, Aldrin & Dieldrin
	Heptacloro e Heptacloro epóxido e outros pesticidas
Hidrocarbonetos Aromáticos	Benzo [a]pireno , H.A.P
PCB	PCB Total
Micropoluentes Orgânicos (outros)	Benzeno, hexaclorobenzeno, tricloroetileno,
	Tetracloroetileno, Trihalometanos, detergentes, outros.
Corrosão	CO2 dissolvido, O2 dissolvido, Salinidade, Condutividade, pH, Cloreto.
	Sulfatos, Ferro Bactérias, Sulfitos, eH (potencial óxido-redução)
Formação de Depósito	pH, eH (potencial óxido-redução), O2 dissolvido
	Ferro Bactérias, IS (Índice de Saturação)
Temperatura	Temperatura

Fonte: Adaptado de Cadilhac e Albinet (2003)

O SEQ Eaux Souterraines é um índice bastante abrangente e conveniente para aplicação em território francês, onde, segundo a Comissão Europeia (2000): as águas subterrâneas são responsáveis por cerca de 70% de toda água de beber e cuja qualidade e, por conseguinte, a saúde humana, está ameaçada pela presença de elevadas concentrações de nitratos, pesticidas, metais pesados, hidrocarbonetos e hidrocarbonetos clorados. Com efeito, as medidas de proteção da água preconizadas pela Direção Geral do Ambiente da Comissão Europeia consideram todos os tipos e todos os usos de água na gestão integrada e sustentável dos recursos hídricos dos estados membros da União Europeia (COMISSÃO EUROPEIA, 2000). Além disso, a concretização desta política estabelece um quadro de ação para todos os países membros através da Diretiva 2000/60 do Parlamento Europeu e do Conselho da União Europeia, também chamada Diretiva – Quadro de Água (DQA), que define como objetivos alcançar o “bom estado” de todas as águas europeias até 2015 e assegurar-se da utilização sustentável da água em toda a Europa (EUROPA, 2000).

#### 5.2.2.3. IQNAS – UFBA

A formulação do IQNAS foi baseada na metodologia utilizada para obtenção do índice de qualidade construído pela NSF para as águas superficiais, adaptado pela Cetesb com o nome de IQA – Índice de Qualidade de Água. O IQNAS utiliza os parâmetros: cloreto, pH, resíduos totais, dureza, flúor, e nitrato, considerados pelos autores os parâmetros químicos mais significativos para se avaliar a qualidade das

águas subterrâneas dos vários tipos de domínios hidrogeológicos (sedimentar, metassedimentar, cárstico e cristalino).

Por abranger apenas cátions e ânions mais importantes o IQNAS é voltado para a qualidade natural das águas. Para qualificar adequadamente a água dos aquíferos que estão localizados em áreas que apresentem vetores de contaminação deverá ser usado outro tipo de indicador que leve em conta as alterações de qualidade natural das águas e os elementos tóxicos presentes na mesma.

A tabela 17 apresenta os parâmetros que compõem o IQNAS, a equação utilizada para o cálculo do índice e a escala de classificação da água:

$$IQNAS = \sum_{i=1}^{i=n} Qi^{wi} \quad (\text{Equação 14})$$

Tabela 17 – UFBA - IQNAS - Índice de Qualidade Natural de Água Subterrânea		
Parâmetros	Equação	Classificação da Qualidade da Água
Cloreto	$IQA = \prod_{i=1}^n q_i^{w_i}$	80 - 100 = Ótima 52 - 79 = Boa 37 - 51 = Aceitável 0 - 36 = Inaceitável
PH		
Resíduos Totais		
Dureza		
Flúor		
Nitrato		

Fonte: Adaptado de Oliveira, Negrão e Rocha (2004)

#### 5.2.2.4. Aspectos comparativos dos Índices de Qualidade de Água Subterrânea

Com relação aos índices de qualidade de água voltados aos mananciais subterrâneos encontraram-se três referências: o índice de Deininger para 13

parâmetros, o sistema francês de avaliação da qualidade das águas subterrâneas (SEQ – Eaux Souterraines) e o IQNAS – UFBA.

A tabela 18 apresenta um comparativo entre as três propostas, no que se refere aos parâmetros utilizados para compor o índice. Para o sistema SEQ-EAUX Souterraines estão relacionados apenas alguns dos parâmetros que avaliam o uso do recurso na produção de água potável. Como essa ferramenta é bastante abrangente, ela prevê a avaliação de um grande número de parâmetros, de modo a contemplar todas as substâncias relacionadas com impactos da atividade humana sobre o recurso hídrico.

<b>Tabela 18 – Comparativo de Parâmetros e Substâncias utilizadas nos Índices de Qualidade de Água de Mananciais Subterrâneos</b>			
Índices	Deininger	SEQ EAUX - SOUTERRAINES	IQNAS
Ano Formulação	1972	2003	2004
Amônia (NH <sub>3</sub> )		X	
Cloreto		X	X
Coliformes	X	X	
Condutividade		X	
Cor	X	X	
DBO 5	X		
Dureza	X	X	X
Fenóis	X		
Ferro	X	X	
Fluoreto	X		X
Manganês		X	
Nitrato (NO <sub>3</sub> )	X	X	X
Oxigênio Dissolvido	X		
pH	X	X	X
Resíduos Totais		X	X
Sólidos Dissolvidos	X		
Sulfatos		X	
Temperatura	X	X	
Turbidez	X	X	

A tabela 19 apresenta uma comparação dos três índices nos aspectos do agrupamento de parâmetros e funções de agregação.

<b>Tabela 19 – Comparativo das funções de agregação dos Índices de Qualidade de Água Subterrânea</b>			
<b>Índice</b>	<b>Composição</b>	<b>Grupos</b>	<b>Agregação</b>
Deininger	Índice Único	Nota auferida por Conjunto de Parâmetros	Somatório do produto do peso pela qualidade do parâmetro
SEQ EAUX - SOUTERRAINES	Grupos de Alterações	Nota auferida por Conjunto de Parâmetros	O índice corresponde ao valor do pior índice obtido para cada um dos parâmetros que formam o subíndice.
	Estado Patrimonial		
IQNAS	Índice Único	Nota auferida por Conjunto de Parâmetros	Produtório da qualidade dos parâmetros elevados aos pesos atribuídos a cada um deles.

A pesquisa dos três índices de qualidade de água subterrânea mostrou que são pertinentes os esforços para o estabelecimento de um novo índice que incorpore as vantagens dos índices já propostos, introduza novos parâmetros e supere algumas dificuldades na utilização dos índices anteriores.

No que se refere ao Índice de Deininger (1972), as novas substâncias introduzidas no meio ambiente pela atividade humana: nas atividades agrícolas, industriais e mesmo domésticas, e as novas técnicas de medição de parâmetros incorporadas à atividade de laboratório nos últimos trinta e cinco anos, por si só sugerem a oportunidade de novas abordagens.

Quanto ao SEQ - EAUX Souterraines, embora bastante abrangente, a ferramenta carece de alguns ajustes, como se infere em pesquisa de documentos produzidos pelo parlamento francês. O relatório ““La qualité de l’eau et de l’assainissement en France” (MIQUEL, 2003), aponta como um dos problemas principais a fixação dos limites para mudança de classes. Segundo o texto, os

limites são modificados a cada nova versão do SEQ. Para MIQUEL, o SEQ tem problemas intrínsecos, e possui uma leitura difícil. Uma das dificuldades é o número de classes de cada tipo de uso: enquanto pra a produção de água potável estão previstas quatro classes, para os demais usos estão previstos cinco classes, com o agravante de que as formulações são diferentes de acordo com os usos e até mesmo as cores não são as mesmas (a qualidade mediana é representada por azul para água potável e por amarela para os demais usos).

O IQNAS, como já foi abordado anteriormente, é voltado apenas para a qualidade natural do aquífero, daí a sua complementação pretendida com o desenvolvimento de um novo índice.

## 6. A EXPERIÊNCIA DE CONSTRUÇÃO DO IQUAS

Nos capítulos anteriores foram abordados os aspectos teóricos que fundamentaram este trabalho de pesquisa. No presente capítulo, é feita uma análise desses aspectos com o objetivo de avaliar as opções disponíveis e apresentar as escolhas feitas pela equipe para a construção do Índice de Qualidade de Água Subterrânea (IQUAS).

A oportunidade de construção do índice ficou evidenciada na própria carência de índices de qualidade de água voltados para o compartimento subterrâneo, como também nas justificativas já mencionadas ao longo do texto: tipos e processos de poluição diferenciados e dificuldade na remediação dos danos causados aos aquíferos, são as mais comuns. Como visto apenas um dos índices aplica parâmetros diferenciados para esse compartimento, o índice de Deininger, e somente duas abordagens são completamente voltadas para as águas subterrâneas: IQNAS – UFBA e SEQ – EAUX Souterraines. Ainda assim, o IQNAS – UFBA é aplicado para estabelecer a qualidade natural do aquífero e o SEQ – EAUX Souterraines é concebido em consonância com os regulamentos europeus e franceses.

Assim, com o objetivo de ampliar as informações contidas nos índices anteriores e propor uma ferramenta voltada à realidade ambiental e regulatória brasileira, buscou-se na formulação do IQUAS extrair os conceitos que foram julgados mais adequados nas experiências que o precederam.

Esse foi um dos motivos pelo qual, embora a ferramenta SEQ-EAUX Souterraines tenha sido considerada bastante alinhada aos propósitos do IQUAS, não foi utilizada na sua totalidade.

O segundo motivo se refere à formulação. A forma utilizada na construção do IQUAS, segue basicamente a seqüência: parâmetros, pesos, agregação; em oposição à ferramenta francesa não utiliza o critério de peso. No SEQ-Eaux Souterraines, o valor do índice é igual ao do parâmetro que apresentar pior desempenho.

A figura 8 mostra os temas que integraram a fundamentação teórica e a seqüência de etapas que prossegue nos próximos capítulos com: o detalhamento da metodologia e a obtenção e cálculo do índice.

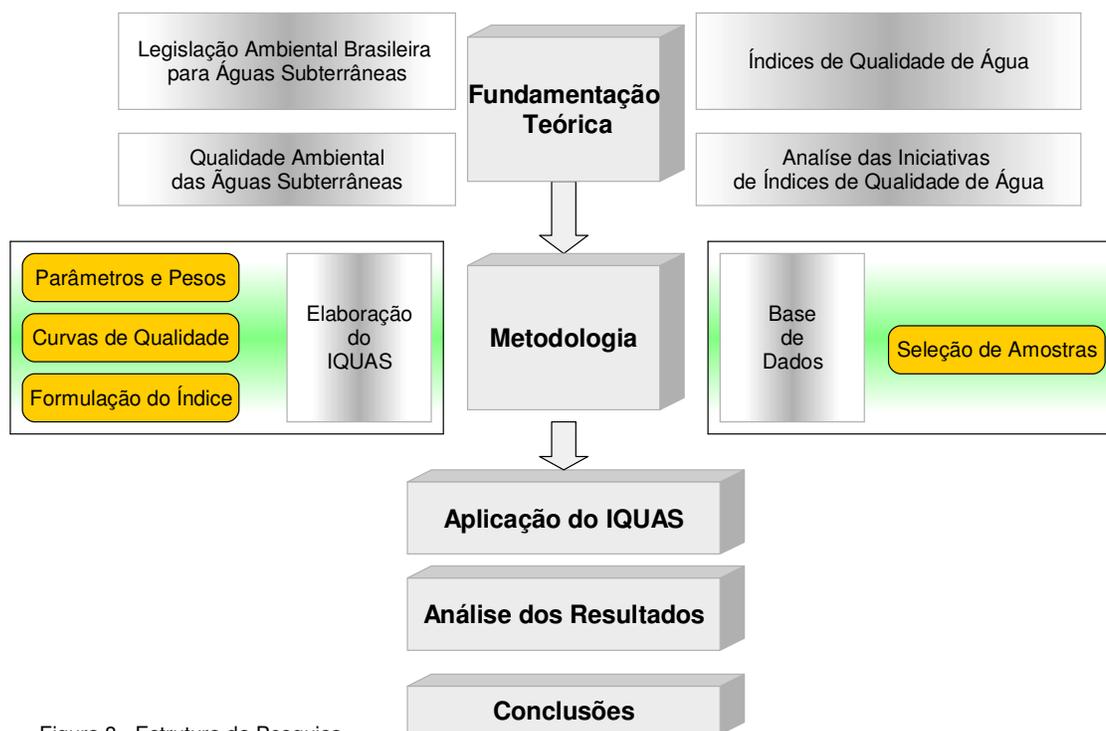


Figura 8 - Estrutura da Pesquisa

A seguir são abordadas as premissas estabelecidas para a construção do IQUAS, e utilizadas na seleção dos parâmetros e atribuição dos pesos; na definição

das equações de subíndices; e na agregação de subíndices para produzir uma contagem de índice final.

Para a seleção de parâmetros foi escolhido o Método Delphi. Esse método apresenta vantagens no que se refere ao formato (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, se apresentando como muito adequado aos propósitos da formulação de índices. Além disso, o método é tradicionalmente 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 desta pesquisa. Não obstante, foram introduzidas modificações ao formato original do método: como a abordagem via rede mundial de computadores e a introdução de uma lista inicial de parâmetros, previamente escolhidos pela equipe, para compor o índice. Vale ressaltar que, mesmo na evidência de existirem índices de Qualidade das Águas Subterrânea em outros países, ainda assim o exercício foi válido para prospectar a opinião dos especialistas brasileiros sobre a influência das variadas fontes de poluição na qualidade das águas subterrâneas no território nacional.

No que se refere à lista inicial de parâmetros, mais adiante identificada como “Grupos de Alterações e Parâmetros Relacionados” a escolha foi feita utilizando-se a fundamentação recolhida do sistema de avaliação francês SEQ-EAUX Souterraines. Este sistema de avaliação está baseado em conjuntos de alterações que são agrupamentos de parâmetros cuja presença produz o mesmo efeito na qualidade da água. Essa perspectiva é bastante adequada aos objetivos do IQUAS de qualificar águas que estão submetidas a impactos negativos. Além disso, o SEQ - Eaux Souterraines também trabalha com a noção de estado legado do recurso hídrico,

também chamado “estado patrimonial”, que exprime o grau de degradação de uma água em face da pressão exercida pelas atividades sócio-econômicas sobre os mananciais; essa perspectiva se mostra importante para futuros estudos, complementares a esse trabalho. Por estes motivos, as recomendações do SEQ - Eaux Souterraines foram adotadas na escolha da lista de parâmetros do IQUAS.

A atribuição dos pesos iniciais dos parâmetros também foi uma tarefa dos painelistas. As respostas dos dois questionários (parâmetros e pesos) foram tratadas estatisticamente para obtenção do resultado final. Os votos obtidos no questionário de parâmetros foram avaliados utilizando-se a distribuição ***t-Student***, para caso unilateral, e os pesos indicados no segundo questionário foram tabulados utilizando-se percentuais simples dos valores mais votados.

Para a construção dos subíndices foram desenhadas as curvas de qualidade, cujas equações são utilizadas para definir a qualidade de cada parâmetro. Para a escolha dos pontos notáveis das curvas de qualidade foram adotados os limites de conformidade previstos na legislação brasileira e nas recomendações da Organização Mundial de Saúde. Como primeira alternativa foram adotados os teores preconizados na minuta da resolução CONAMA para águas subterrâneas (BRASIL, 2007), e na falta desses foram utilizados os teores estabelecidos pela Portaria MS Nº 518/04. E como terceira e última opção, foram usados os limites recomendados na terceira edição das Diretrizes para a Qualidade da Água para Consumo Humano (*WHO - Guidelines for Drinking-water Quality - GDWQ*) (WHO, 2004a). A adoção desta seqüência se deve em primeiro lugar porque os limites sugeridos para a classificação das águas brutas subterrâneas brasileiras estão sendo exaustivamente discutidos nas reuniões do GTAS - CONAMA, o que por si só já os credencia como a principal opção. Já a escolha da Portaria MS Nº 518/04 como segunda alternativa, decorre do fato de que os limites estabelecidos nesse instrumento constituem os

valores adequados de concentração em águas destinadas ao consumo humano. A terceira alternativa será utilizada apenas na falta de suporte na legislação brasileira, e adotaram-se as recomendações da terceira edição das Diretrizes para a Qualidade da Água para Consumo Humano (*WHO - Guidelines for Drinking-water Quality - GDWQ*) por serem referências aceitas e adotadas mundialmente.

Para a agregação dos parâmetros em subíndices intermediários e para a agregação final foi escolhido o método de agregação multiplicativa. Esse método foi utilizado por Brown (1970), Bhargava (1985), Dinius (1987), Ved Prakash (1990) nas suas formulações e mostrou-se bastante adequado, pois evita os problemas de “eclipse” e de “ambigüidade” presente nos outros modelos de agregação. Também foi utilizado pela CETESB (1975), SABESP (2000) e UFBA (2004).

Finalmente, as amostras utilizadas para aplicação do IQUAS são dados secundários de propriedade da Empresa Bahiana de Águas e Saneamento S.A. – Embasa, coletados no período de Agosto de 2003 a Dezembro de 2006, em cumprimento à legislação vigente. São os resultados das análises microbiológicas e físico-químicas realizadas em quinhentas e sessenta e quatro amostras, armazenados em banco de dados ORACLE<sup>®</sup> nos computadores do Laboratório Central da Embasa, que foram cedidos pela instituição para a realização desta pesquisa. Os dados foram tabulados utilizando-se planilhas eletrônicas Microsoft Office Excel 2003<sup>®</sup> e sistemas gerenciadores de bancos de dados Microsoft Office Access 2003<sup>®</sup>.

## **7. METODOLOGIA**

Esse capítulo descreve a metodologia utilizada no trabalho, parte dela de natureza quantitativa, segundo classificação adotada por Boaventura (2004), complementada por avaliações qualitativas que permitiram o aprofundamento da discussão ensejada nos objetivos da pesquisa.

Os tópicos seguintes descrevem detalhadamente como foi efetuada a coleta de dados, a formulação e a aplicação do Índice de Qualidade de Água Subterrânea (IQUAS).

### **7.1. MÉTODO DELPHI**

A seguir é descrito um resumo sobre as principais características do Método Delphi, que serviram de embasamento para aplicação da metodologia no âmbito dessa pesquisa:

#### **7.1.1. Generalidades do Método**

A técnica DELPHI é um método para extrair e refinar julgamentos de um grupo. A razão para o procedimento é principalmente o antigo provérbio “duas cabeças são

melhores que uma" quando o assunto se refere às áreas onde o conhecimento exato não está disponível (DALKEY, 1969).

As primeiras aplicações da técnica Delphi foram para a área de tecnologia, previsões de novas tecnologias e os impactos sociais e econômicos decorrentes das mudanças tecnológicas. As áreas de aplicação foram ampliadas, e atualmente a técnica é aplicada na indústria, na propaganda, e também na academia. Nos Estados Unidos vários estudos de pesquisa utilizam o método de Delphi, particularmente em assuntos de saúde pública (como, políticas para redução de uso de droga e prevenção de AIDS/HIV) e na área de educação (ADLER and ZIGLIO, 1996; COMISH, 1977, *apud* RAND CORPORATION, 2005):

#### 7.1.2. Histórico do Método

Os estudos que conduziram ao desenvolvimento da técnica DELPHI foram iniciados em 1944, com a finalidade de fazer uma previsão de futuras capacidades tecnológicas que poderiam ser de interesse ao exército americano. O projeto RAND, assim denominado como uma sigla para *Research and Development* (Pesquisa e Desenvolvimento), teve início em 1946, focando apenas assuntos da segurança nacional do estado americano. Foi desenvolvido pela *RAND Corporation*, uma organização de pesquisa sem fins lucrativos sediada em Santa Mônica, Califórnia, USA (RAND CORPORATION, 2005).

Os primeiros estudos da RAND Corporation eram voltados para o tratamento de opiniões individuais, de forma separada. Em 1953, Norman Dalkey e Olaf Helmer introduziram uma característica adicional, seja o controle de retroalimentação

(“feedback”). O conjunto de procedimentos envolvidos na investigação recebeu o nome de “Delphi”. Para Dalkey (1969), uma apelação um pouco ilusória, visto que existe pouco de profético na aplicação do método.

### 7.1.3. Fundamentos do Método

O método Delphi possui três características básicas:

- ✓ Respostas anônimas: as opiniões dos membros do grupo são obtidas através de questionários formais;
- ✓ Repetição e controle de avaliação: a interação é efetuada por um exercício sistemático administrado em várias repetições, com avaliação controlada entre as rodadas;
- ✓ Respostas estatísticas do grupo: na rodada final, a opinião de grupo é definida como consenso de opiniões individuais.

Estas características são definidas com o objetivo de minimizar os efeitos da influência de indivíduos dominantes, de comunicações irrelevantes e da presença de grupos de pressão que direcionam as respostas para um suposto consenso. É importante ressaltar que, sendo o consenso estabelecido de forma estatística, a opinião de todos os membros do grupo estará representada na resposta final.

Como avalia Gordon (1994), a chave do sucesso do método Delphi reside na seleção dos participantes. Por esse motivo o resultado do método depende do conhecimento e cooperação dos painelistas, pessoas que gostam de contribuir com idéias valiosas, são essenciais ao processo (GORDON, 1994).

Dessa maneira, o cuidado na seleção dos participantes é uma das tarefas mais importantes na aplicação do método e a primeira a ser realizada. Quando o grupo envolve pessoas de reconhecida especialidade no assunto a seleção pode ser realizada por pesquisas na literatura, por indicações de instituições ou por uma corrente de conhecimentos.

Para grupo de pessoas “desconhecidas”, que estão fora das linhas normais de comunicação, mas que podem ser capazes de ajudar com novas contribuições e idéias inovadoras, Gordon (1994) sugere:

- ✓ Usar quadros de avisos de forma que as pessoas que têm algo que dizer possam se identificar;
- ✓ Obter recomendações de professores universitários sobre os estudantes que se destacam;
- ✓ Anunciar para participantes e candidatos qualificados sobre o início do painel Delphi.

De forma geral a maioria dos estudos usa painéis de 15 a 35 pessoas. Deve ser aguardada uma taxa de aceitação entre 35 e 75 por cento.

Depois de formada a lista, todas as pessoas devem ser contatadas individualmente. Não devem ser utilizadas cartas padronizadas. O contato inicial deve ser por telefone, embora possam ser enviadas cartas para confirmar o convite. Estas cartas podem conter a descrição do projeto, seus objetivos, o número de rodadas ou o tempo disponível necessário à participação, o compromisso com o anonimato, e se for apropriado uma confirmação de aceite da parte do painalista (GORDON, 1994).

#### 7.1.4. Aplicação da Metodologia

Para Fowels (1978) devem ser observados dez passos na aplicação do procedimento Delphi (FOWELS 1978, *apud* RAND Corporation, 2005):

- a. Formação de uma equipe para empreender e monitorar um painel Delphi em um determinado assunto;
- b. Seleção de um ou mais grupos de especialistas que participarão do exercício. Habitualmente, os painelistas são peritos na área a ser investigada;
- c. Desenvolvimento da primeira etapa do questionário de Delphi. O problema é esclarecido e são apresentadas questões abertas;
- d. Testes do questionário para adequar a formulação apropriada (por exemplo: ambigüidades, incertezas);
- e. Transmissão dos primeiros questionários aos painelistas;
- f. Análise das respostas da primeira etapa;
- g. Preparação de questionários da segunda etapa (round);
- h. Transmissão dos questionários da segunda etapa aos painelistas;
- i. Análise das respostas dos questionários da segunda etapa (as etapas (g) a (i) serão repetidas como desejado ou conforme a necessidade para conseguir a estabilidade nos resultados);
- j. Preparação, pela equipe, de um relatório de análise para apresentar as conclusões do exercício.

#### 7.2. Montagem do Painel de Respondentes

Para a montagem do painel foram elaboradas cartas convites, que seguiram via e-mail ou foram entregues pessoalmente, após contato telefônico, aos potenciais respondentes (Apêndice B). A seleção do grupo de especialistas que participaram do exercício foi realizada em diversos setores:

- ✓ Em universidades e centros de pesquisa, mediante sua participação em eventos e publicação de artigos relacionados ao tema da pesquisa;
- ✓ Em empresas concessionárias serviços de saneamento, mediante sua participação em associações que agregam estes profissionais;
- ✓ Em empresas de engenharia, mediante sua atuação no mercado em área relacionada ao tema da pesquisa.

Um fato relevante foi a indicação de participantes feita 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 20 ilustra o relacionamento entre o tipo de abordagem adotado e a resposta do especialista prospectado.

<b>Tabela 20 – Abordagens para Montagem do Painel Delphi</b>				
Resposta	Tipo de Abordagem			
	Direta		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%
<b>Sub-Total Convites</b>	<b>46</b>	<b>100%</b>	<b>109</b>	
<b>Total Geral</b>			<b>155</b>	

Como se observa na tabela 20, 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. Nesse caso a pesquisadora visitou o pretendente e fez o convite pessoalmente, apresentando os objetivos da pesquisa e as razões para escolha pessoal do respondente. Esta se mostrou uma forma eficiente de convite, pois foi observado que o respondente se sentiu mais próximo da pesquisa e de certo modo motivado a participar, além do que algumas dúvidas puderam ser respondidas imediatamente. Não obstante, o convite aceito não foi garantia de participação efetiva nas rodadas de questionários.

Outra vantagem observada na visitação é que em apenas uma abordagem é feito 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.

### **7.3. Elaboração dos Questionários da Primeira Rodada**

O primeiro questionário foi composto e revisto várias vezes, de modo a ser um instrumento claro e objetivo, isento de ambigüidade ou questões que produzissem incertezas. A interação com especialistas no tema foi muito importante para assegurar a correção das perguntas formuladas.

A planilha questionário contemplou de forma geral duas perguntas: (1) as indicações dos grupos de alterações indispensáveis para compor o Índice de Qualidade de Água Subterrânea e (2) os parâmetros que identificam cada grupo de alteração e que o respondente considera que são indispensáveis na qualificação da

água para o uso indicado (produção de água potável, dessedentação de animais, irrigação e processos industriais).

<b>Tabela 21 – DELPHI-IQUAS - Grupos de Alterações e os Parâmetros relacionados</b>	
Alterações	Parâmetros
Sabor e Odor	Sabor e Odor
Material Orgânico e Oxidável	Carbono Orgânico Dissolvido
Partículas em Suspensão	Turbidez e material em suspensão
Ferro e Manganês	Ferro Total, Manganês Total.
Coloração	Cor
Microorganismos	Escherichia coli, entérococos ou estreptococos fecais, coliformes totais
Mineralização e Salinidade	Condutividade, resíduos sólidos, pH, sulfato, 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, 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), Metolacloro, Metoxicloro, Molinato, Pendimetalina, Pentaclorofenol, Permetrina, Propanil, Simazina, Trifluralina, Outros Pesticidas
Hidrocarbonetos Aromáticos Policíclicos (HAP)	Benzo[a]pireno, HAP
PCB	PCB
Outros Micropoluentes Orgânicos	Acilamida, Benzeno, Benzo[a]pireno, Cloreto de Vinila, 1,2 Dicloroetano, 1,1 Dicloroetano, Diclorometano, Estireno, Tetracloroeto de Carbono, Tetracloroetano, Triclorobenzenos, Tricloroetano.
Corrosão	CO <sub>2</sub> dissolvido, O <sub>2</sub> dissolvido, Salinidade, Condutividade, pH, Cloreto, Sulfatos, Ferro Bactérias, Sulfitos, eH (potencial óxido-redução)
Formação de Depósitos	Ph, eH (potencial óxido-redução), O <sub>2</sub> dissolvido, Ferro Bactérias, IS (Índice de Saturação)
Temperatura	Temperatura

Os grupos de alterações propostos no questionário foram baseados nas sugestões do sistema SEQ Eaux Souterraines (CADILHAC E ALBINET, 2003), na

legislação ambiental brasileira através da Portaria MS Nº. 518/04 do Ministério da Saúde (BRASIL, 2004) e na proposta de resolução do GTAS-CONAMA (BRASIL, 2007), e traduzem o agrupamento de parâmetros de mesma natureza ou de mesmo efeito que servem para caracterizar a qualidade da água. No sistema SEQ Eaux Souterraines são relacionados dezessete grupos de alterações: Sabor e Odor, Material Orgânico e Oxidável, Partículas em Suspensão, Ferro e Manganês, Coloração, Microorganismos, Mineralização e Salinidade, Nitratos, Nitrogenados (fora nitrato), Micropoluentes Minerais, Pesticidas, Micropoluentes Orgânicos, Corrosão, Formação de Depósito e Temperatura (Tabela 21).

#### **7.4. Primeira Rodada dos Questionários**

Dessa formatação resultou uma peça composta de três documentos que foram enviados via e-mail, ou entregues pessoalmente, àqueles respondentes que concordaram em participar do exercício, e que estão reproduzidos nos Apêndices D, E e F, respectivamente:

- ✓ Correspondência agradecendo a disposição do respondente em participar do painel e informando sobre a premissa de anonimato dos participantes
- ✓ Formulário assim chamado “Formulação do Índice de Qualidade de Uso da Água Subterrânea (IQUAS)”. O formulário é composto de quatro seções: apontamento dos dados cadastrais do respondente, explicação da técnica Delphi, breve revisão sobre índices de qualidade de água e instruções para o preenchimento do questionário. No apontamento dos dados cadastrais foram solicitados: nome

completo, endereço de e-mail, telefone, formação acadêmica, titulações e instituição a qual está vinculado.

- ✓ Planilha Questionário, com as perguntas fechadas sobre as alterações e os parâmetros.

Alguns cuidados foram tomados especialmente porque a aplicação do painel foi feita via rede de computadores:

- ✓ Verificação de todas as mensagens que retornaram de modo a identificar o motivo da falha na entrega e a forma de correção. Algumas retornaram por erro no nome do provedor, erro no endereço, caixa de mensagens do respondente cheia. Todos esses problemas foram corrigidos e as mensagens reenviadas.
- ✓ Para preservar a premissa de que os respondentes são 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, mais alguns declinaram do convite. Todas as mensagens foram respondidas.

## **7.5. Preparação dos Questionários da Segunda Rodada**

Com os números obtidos na tabulação dos resultados da primeira etapa e tendo em conta que os parâmetros estão agregados por grupo de alterações, foi montado o segundo questionário com o objetivo de motivar o painalista a avaliar o grau de importância (peso) de cada variável escolhida.

A peça constou de apenas um documento, que apresenta de forma resumida a metodologia utilizada para tratamento das respostas da primeira rodada e os resultados obtidos e pede que o respondente enuncie o peso que considera adequado a cada um dos parâmetros escolhidos por “Índice de Alteração”. O documento está reproduzido no Apêndice G - Formulário DELPHI-IQUAS - Segunda Rodada.

Os respondentes foram informados de que para cada um dos grupos de alterações a somatória dos pesos atribuídos aos parâmetros a ele relacionados fosse sempre igual a 1. Em resumo, como os demais grupos de alterações só constam de um parâmetro, foram solicitados os pesos para os grupos de Ferro e Manganês e para Mineralização e Salinidade.

Para efeito de continuidade da pesquisa, embora tenham sido tabulados os dados para todos os usos preponderantes, foram informados apenas os resultados referentes à seleção de alterações e parâmetros indispensáveis para avaliação da qualidade da água para produção de água potável.

Seguindo as premissas do método, foram dispensadas aos participantes as prerrogativas de manter ou alterar as respostas da rodada anterior. Dois respondentes optaram por modificar as suas respostas. Deste modo, alguns números obtidos na primeira rodada foram alterados, no entanto o resultado final não foi modificado. Portanto, essas modificações não tiveram influência no quadro de alterações e parâmetros selecionados, o que permitiu que a pesquisa progredisse sem que fosse necessário o reenvio das questões da segunda etapa.

## **7.6. Segunda Rodada dos Questionários**

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 à participação, de modo que se estimou que esta forma de abordagem estivesse apropriada. Não obstante, a baixa ocorrência de respostas provocou um novo chamamento através de ligações telefônicas e envio de e-mails convocando os painelistas a responder 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.

### **7.7. Formulação do IQUAS**

Este procedimento foi dividido em três etapas: traçado das curvas de qualidade; definição dos pesos dos parâmetros nos “Índices por Alteração” utilizando tratamento estatístico sobre os dados de opinião recebidos; e agregação dos “Índices por Alteração” para composição do índice global.

A primeira delas foi iniciada logo após a tabulação das respostas da primeira rodada do painel Delphi, no qual foram definidas as variáveis mais representativas, e progrediu de forma independente ao andamento da segunda rodada, na qual seriam definidos os pesos dos parâmetros.

A etapa seguinte, de 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.

Para agregação e composição do índice global foram utilizados os conceitos e recursos apreendidos na fundamentação teórica.

#### 7.7.1. Curvas de Qualidade

De posse dos parâmetros selecionados na primeira rodada do painel Delphi, foram desenhadas as curvas de qualidade de cada um deles, a exceção dos microorganismos, cuja presença já indica qualidade zero.

As curvas de qualidade representam a relação funcional entre a nota de qualidade da água e o teor do parâmetro, e foram desenhadas exclusivamente para formulação do índice apropriado para uso na produção de água potável.

Para composição das curvas foram adotados os seguintes critérios:

- ✓ Os intervalos de qualidade foram estabelecidos de acordo com a pontuação de qualidade que será adotada pelo IQUAS (Tabela 22);

<b>Tabela 22 – Intervalos de Qualidade das Águas Subterrâneas para uso na produção de água potável</b>		
Intervalo	Qualificação	Semáforo
80-100	Ótima	
52-79	Boa	
37-51	Regular	
20-36	Ruim	
0-19	Péssima	

- ✓ O teor máximo aceitável de um parâmetro identifica a qualidade mínima requerida para água para consumo humano e foi associado ao percentual de

52% (Limite Inferior da faixa de Qualidade Boa), definindo assim o primeiro ponto da curva (52 % = VMPr = Valor Máximo Permitido Mais Restritivo).

- ✓ Os teores adotados são preferencialmente aqueles preconizados pela minuta da resolução CONAMA para águas subterrâneas (BRASIL, 2007), relacionados com os intervalos de qualidade do IQUAS, como mostrado na tabela 23:

<b>Tabela 23 - Padrões para Curvas de Qualidade - GTAS CONAMA</b>			
<b>Intervalo de Qualidade</b>		<b>GTAS CONAMA (Minuta)</b>	
80-100	Ótima	VRQ	Classe 1
52-79	Boa	VMPr	Classe 2
37-51	Regular	3 *VMPr	Classe 3
20-36	Ruim		Classe 4
0-19	Péssima		Classe 5
VRQ = Valor de Referência de Qualidade			
VMPr = Valor Máximo Permitido mais restritivo			

- ✓ Na falta da definição do GTAS CONAMA foram utilizados os teores estabelecidos pela Portaria MS Nº 518/04, ou ainda os limites recomendados na terceira edição das Diretrizes para a Qualidade da Água para Consumo Humano (*WHO - Guidelines for Drinking-water Quality - GDWQ*) (WHO, 2004a).
- ✓ Para os parâmetros não legislados, ou aqueles que não possuem limites estabelecidos, foram utilizados os valores disponíveis na literatura consultada na revisão bibliográfica, sempre com o propósito de salvaguardar a saúde dos consumidores.
- ✓ O restante do gráfico é construído por interpolação.

O traçado das curvas do Fluoreto e do pH é diferente do convencional. A concentração dessas substâncias na água é considerada ideal dentro de uma determinada faixa valores. Por este motivo, as águas sem a presença natural de fluoreto devem ter um aporte desse elemento no processo de tratamento; do mesmo modo que, águas cujo pH não esteja situado dentro de uma determinada faixa

sugerida pela legislação, devem ter esse parâmetro corrigido. Assim, foram desenhadas duas curvas para o Fluoreto: uma delas para concentrações que indicam a carência da substância e outra para concentrações que iniciam com o teor ideal e que evoluem para teores que provocam danos à saúde do consumidor.

Como o pH está presente em todos os índices de qualidade de água, o desenho das curvas que representam o seu comportamento já foi elaborado por vários autores. Por conseguinte, o grupo de pesquisa julgou oportuno apropriar-se das equações utilizadas em um dos índices estudados e adapta-las para uso no IQUAS. Desse modo, foram utilizados os estudos de Ved Prakash *et all* para qualificar as águas do Rio Ganges, na Índia (ABBASI, 2002).

Para cálculo das equações que resumem os traçados das curvas foi utilizada a planilha eletrônica Microsoft Office Excel 2003<sup>®</sup>, como apresentado nas planilhas do Apêndice H - Procedimento para Geração da Curva de Qualidade (Nota X Parâmetro) que reproduzem todos os procedimentos adotados para geração das curvas de qualidade que relacionam Nota X Parâmetro por parâmetro e definem a equação do subíndice.

#### 7.7.2. Tratamento Estatístico das Respostas do Painel Delphi

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 consequentemente rejeição de 40%. Aplicando-se a metodologia para o total de votos apurados no conjunto das quinze alterações, obteve-se o seguinte número

médio de votos:  $(24,0 \pm 5,8)$  votos. Utilizando-se o critério de corte para o nível de confiança 60%, ou seja, se aceita o parâmetro que for votado por quantidade superior ou igual a 60% dos votos, obteve-se o limite inferior do número de votos igual a 22. Assim, foram selecionadas inicialmente na primeira rodada do exercício todas as alterações com mais de vinte e dois votos.

Verificou-se, no entanto, que algumas alterações que foram selecionadas como indispensáveis não tiveram nenhum dos parâmetros que individualmente atendessem ao critério de inclusão de parâmetros que foi adotado.

Nesses casos, inferiu-se que a opção de seguir exclusivamente a opinião dos especialistas e os critérios matemáticos na seleção dos parâmetros resultaria na não inclusão de alterações que comprovadamente estão associadas à prática de atividades relacionadas à degradação ambiental. Por esse motivo a equipe de trabalho, tendo em vista a presença de atividades industriais, especialmente química e petroquímica, na região onde o índice será inicialmente aplicado, julgou conveniente incluir o grupo de alterações de “Micropoluentes Orgânicos” na composição do IQUAS. Esse grupo de alterações está representado pelo parâmetro mais votado do grupo, o Benzeno, que obteve 21 votos.

Dessa inferência resultou a seleção definitiva de oito grupos de alterações: Partículas em Suspensão, Ferro e Manganês, Microorganismos, Mineralização e Salinidade, Nitratos, Nitrogenados (fora nitrato), Micropoluentes Minerais, como também os Micropoluentes Orgânicos incluídos pela equipe do projeto (Tabela 24).

Outra inferência realizada pela equipe do projeto foi a substituição do parâmetro Coliformes Totais, originalmente selecionado pelos respondentes, pela análise de Coliformes Termotolerantes, quando esta está disponível. O coliforme termotolerante é um subgrupo dos coliformes totais que, embora também inclua microorganismos de origem não fecal, é aceitável como indicador de poluição fecal. Esta iniciativa

decorreu tão somente das recomendações introduzidas na fundamentação teórica e em nada comprometeu a aplicação do método Delphi de seleção dos parâmetros.

<b>Tabela 24 - IQUAS - Produção de Água Potável - Votos por Grupo de Alterações</b>		
<b>Alteração</b>	<b>Votos da alteração</b>	<b>Parâmetros</b>
Sabor e Odor	24	Nenhum parâmetro individualmente obteve mais de 22 votos
Partículas em Suspensão	27	<b>Turbidez</b>
Ferro e Manganês	29	<b>Ferro</b>
		<b>Manganês</b>
Microorganismos	30	<b>Coliformes Termotolerantes</b>
Mineralização - Salinidade	27	<b>Cloreto</b>
		<b>Dureza</b>
		<b>Fluoreto</b>
		<b>pH</b>
		<b>Sulfatos</b>
Nitratos	27	<b>Nitrato</b>
Nitrogenados (fora nitrato)	25	<b>Amônia</b>
Micropoluentes Minerais	30	<b>Mercúrio Total</b>
Pesticidas	23	Nenhum parâmetro individualmente obteve mais de 22 votos
Micropoluentes Orgânicos	24	<b>Benzeno = 21 Votos</b>
Corrosão	29	Nenhum parâmetro individualmente obteve mais de 22 votos

A segunda etapa do exercício resultou na atribuição dos pesos dos parâmetros, especificamente para os grupos representados por mais de um parâmetro, uma vez que para os “Índices de Alteração” compostos de apenas um parâmetro, o subíndice e o parâmetro se confundem de forma que o peso do parâmetro é 100%. Essa situação se repete para as alterações de: Partículas em Suspensão, Microorganismos, Nitratos, Nitrogenados (fora nitrato), Micropoluentes Minerais, como também para o grupo de alterações de Micropoluentes Orgânicos, incluído pela equipe do projeto.

Para os grupos de alterações “Ferro e Manganês” e “Mineralização e Salinidade” os pesos atribuídos aos parâmetros de cada “Índice de Alteração”, foram

estatisticamente avaliados utilizando-se os percentuais de votos atribuídos a cada peso.

Com a aplicação da metodologia, foram obtidos os resultados apresentados nas tabelas 25 e 26.

O percentual de votos recebidos foi a metodologia usada para estabelecer os pesos finais dos parâmetros de um grupo de alterações, com a premissa de que a soma dos pesos dos parâmetros de cada grupo é igual a 1 (um). Desse modo, como no grupo de alterações “Ferro e Manganês” o maior percentual de votos dos dois parâmetros (41,18%) foi atribuído ao peso 0,5 para cada um deles, então esse foi o peso final dos parâmetros; Ferro (0,5) + Manganês (0,5) = 1.

<b>Tabela 25 - IQUAS - Atribuição de Pesos do Índice Alteração - Ferro e Manganês</b>			
<b>Parâmetros</b>	<b>Peso Atribuído</b>	<b>Votos</b>	<b>Percentual</b>
Ferro	0,4	2	11,76%
	<b>0,5</b>	<b>7</b>	<b>41,18%</b>
	0,6	2	11,76%
	0,7	4	23,53%
	0,8	3	17,65%
Manganês	0,2	3	17,65%
	0,3	4	23,53%
	0,4	2	11,76%
	<b>0,5</b>	<b>7</b>	<b>41,18%</b>
	0,6	2	11,76%

Para o segundo grupo de alterações com mais de um parâmetro, “Mineralização e Salinidade”, houve um percentual significativo (61,11%) de convergência para atribuição do peso 0,3 para os parâmetros Cloreto e Dureza e de 0,1 para o pH (55,56%). Assim foram definidos os primeiros setenta por cento do peso, restando trinta por cento a serem distribuídos nos demais parâmetros: Fluoreto e Sulfatos. Nestes dois últimos a tendência para os mesmos pesos foi bem menor, apenas 33,33 % das respostas convergiram para os pesos finalmente atribuídos: Fluoreto (0,1) e Sulfato (0,2). A julgar pelas baixas concentrações desses elementos nas

águas da região estudada e pela possibilidade de correção dos teores de fluoreto no processo de tratamento da água para abastecimento, esses pesos foram considerados adequados.

<b>Tabela 26 - IQUAS - Atribuição de Pesos do Índice Alteração - Mineralização e Salinidade</b>			
<b>Parâmetros</b>	<b>Peso Atribuído</b>	<b>Votos</b>	<b>Percentual</b>
<b>Cloreto</b>	0,10	1	5,56%
	0,20	1	5,56%
	0,25	1	5,56%
	<b>0,30</b>	<b>11</b>	<b>61,11%</b>
	0,40	1	5,56%
	0,50	2	11,11%
	0,70	1	5,56%
<b>Dureza</b>	0,10	3	16,67%
	0,20	2	11,11%
	0,25	2	11,11%
	<b>0,30</b>	<b>11</b>	<b>61,11%</b>
<b>Fluoreto</b>	0,00	4	22,22%
	0,05	3	16,67%
	<b>0,10</b>	<b>6</b>	<b>33,33%</b>
	0,15	1	5,56%
	0,20	1	5,56%
	0,30	2	11,11%
	0,40	1	5,56%
<b>pH</b>	0,00	4	22,22%
	0,05	1	5,56%
	<b>0,10</b>	<b>10</b>	<b>55,56%</b>
	0,20	2	11,11%
	0,30	1	5,56%
<b>Sulfatos</b>	0,00	3	16,67%
	0,10	5	27,78%
	0,15	1	5,56%
	<b>0,20</b>	<b>6</b>	<b>33,33%</b>
	0,25	3	16,67%

### 7.7.3. Atribuição dos Pesos dos “Índices por Alteração”

Os “Índices por Alteração” foram propostos logo na montagem do primeiro questionário do painel Delphi, pois eles se confundem com os grupos de alterações do exercício. No entanto a seleção definitiva foi feita com base no resultado da primeira rodada do painel, quando foram escolhidos oito dos quinze grupos sugeridos: Partículas em Suspensão, Ferro e Manganês, Microorganismos, Mineralização e Salinidade, Nitratos, Nitrogenados (fora nitrato), Micropoluentes Minerais e Micropoluentes Orgânicos.

A definição dos pesos de cada um dos oito grupos na composição final do IQUAS foi construída no decorrer da aplicação do exercício Delphi. As premissas básicas seguidas para obter esses números foram:

- ✓ O IQUAS deve contemplar a importância de cada grupo de alterações na qualidade da água;
- ✓ O índice deve refletir a qualidade da água que satisfaça às exigências de sua utilização na produção de água para consumo humano, sobretudo nos aspectos de saúde pública.

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, atribuídos de modo que a somatória dos pesos fosse igual a oito, para permitir a forma de agregação multiplicativa na composição final do IQUAS.

Em vista disso os pesos iniciais foram atribuídos considerando os seguintes aspectos, para os parâmetros candidatos de cada grupo de alterações:

### ***Microorganismos***

A presença de contaminação bacteriológica é muito importante em razão do seu potencial patogênico, causador de vários agravos à saúde. Embora possa ser

removida no tratamento, a eventual presença das bactérias indicadoras na amostra de água depõe contra a qualidade da água, remete à existência de focos de poluição, o que as credencia como importante elemento na composição do índice de a qualidade da água.

Outra definição amplamente defendida nos textos que compuseram a fundamentação teórica desse trabalho é a utilização dos resultados das análises de coliformes termotolerantes em detrimento dos resultados de coliformes totais, quando estiverem disponíveis.

Vale ressaltar que diferente dos demais grupos de alterações que podem ter valores variáveis em função da menor ou maior concentração dos parâmetros, o grupo de microorganismos só tem dois valores possíveis: 0 ou 1, indicando a ausência ou presença de coliformes termotolerantes. Desta maneira, uma água que apresente coliformes termotolerantes está imprópria para consumo e seu índice de qualidade é zero.

Assim, foi definido o peso 1,5 para o grupo de alteração de “Microorganismos” representado pela presença de bactérias do grupo coliformes termotolerantes.

### ***Ferro e Manganês***

A presença de ferro (e manganês), dependendo das concentrações, pode propiciar uma coloração amarelada e turva à água, acarretando ainda um sabor amargo e adstringente, podendo levar o consumidor a buscar fontes alternativas e não tão seguras para consumo, quando da presença desses metais (PRIANT JUNIOR, 2003)

Ambos os elementos são essenciais aos humanos e outros animais, tanto a deficiência quanto o excesso causam agravos à saúde. Em geral as concentrações

encontradas estão abaixo dos limites estabelecidos pelos organismos internacionais e pela legislação brasileira.

Assim, este grupo de alteração de “Ferro e Manganês” foi considerado de importância relativa na composição do IQUAS. Com esta avaliação o grupo assume o peso 1,0.

### ***Mineralização e Salinidade***

Neste pacote de alterações estão os parâmetros mais comumente medidos para avaliação da qualidade natural da água, e que podem sofrer alterações nos teores normais decorrentes de contaminação provocada por esgotos domésticos e efluentes industriais diversos. Os pesos de cada um dos subíndices que compõem este grupo foram estabelecidos pelos respondentes do painel Delphi.

Em razão da sua influência nas alterações da qualidade natural do recurso o grupo foi considerado como muito importante na composição final do IQUAS. Com essa avaliação o grupo assume o peso 1,5.

### ***Partículas em Suspensão***

O parâmetro candidato como indicador da presença de material em suspensão na água é a turbidez. Medida da resistência da água à passagem da luz, a turbidez é uma característica normalmente associada às águas correntes, sazonal, pois aumenta nos períodos chuvosos. Nas águas subterrâneas, quando não relacionada à presença de íons Ferro, é associada a problemas construtivos dos poços, como a inadequação do filtro e pré-filtro à formação geológica (ZOBY, 2005).

Em adição, a turbidez pode se fixar aos patógenos existentes, protegendo-os e até dificultando a ação do cloro sobre os mesmos; também a presença de *Cryptosporidium* também está associada a turbidez da água (SILVA, 2003).

Do exposto conclui-se que a turbidez, enquanto relacionada aos critérios de saúde constitui-se elemento importante, todavia nas águas subterrâneas está mais diretamente relacionada a detalhes construtivos, o que permite a adoção de um peso menor na composição do IQUAS.

Assim, este grupo de alterações de “Materiais em Suspensão” representado pela turbidez, foi considerado de importância relativa na composição do IQUAS. Com essa avaliação o grupo assume o peso 1,0.

### ***Nitratos***

Segundo a OMS, o uso crescente de fertilizantes artificiais, a disposição de resíduos (particularmente da agricultura), e mudanças no uso do solo são os principais fatores responsáveis pelo aumento progressivo dos níveis de nitrato nos reservatórios de água subterrânea durante os últimos 20 anos (WHO, 2006c). A toxicidade de nitrato para humanos é principalmente atribuível a sua redução para nitrito, elemento diretamente envolvido nas ocorrências de metaemoglobinemia, cujos grupos humanos mais vulneráveis são os bebês com idade até três meses.

A presença do Nitrato quando está acima dos limites conhecidos, é claramente identificada como resultado específico de atividades humanas poluidoras, o que determina o peso substancial atribuído para este grupo de alterações.

Em razão da sua forte relação com a poluição do recurso o grupo foi considerado como muito importante na composição final do IQUAS. Com essa avaliação o grupo assume o peso 1,5.

### ***Nitrogenados (fora nitrato)***

Como explica Maciel Júnior (2000), a amônia existe nas águas naturais em pequenas concentrações, resultante da decomposição da matéria orgânica de

origem predominantemente animal, porém um aumento súbito do teor do elemento indica contaminação recente por esgotos domésticos e efluentes orgânicos. É, portanto um elemento que deve ser monitorado sistematicamente, pois séries temporais vão identificar a presença de problemas de saneamento,

A presença dos nitrogenados (fora nitrato) foi considerada de somenos importância na composição do IQUAS, em relação a outros grupos de alterações. Com essa avaliação o grupo assume o peso 0,5.

### ***Micropoluentes Minerais e Micropoluentes Orgânicos***

Diferente dos demais conjuntos de alteração, que refletem os efeitos relacionados com a maioria das fontes poluidoras (macropoluentes), as alterações por Micropoluentes (minerais e orgânicos) abrangem variáveis que refletem efeitos relacionados com fontes poluidoras específicas. Desta maneira, os pesos estabelecidos para essas alterações buscam traduzir a possibilidade de ocorrência dos parâmetros na região onde o IQUAS será inicialmente aplicado.

No que se refere ao Mercúrio, parâmetro candidato para representar o grupo das alterações por micropoluentes minerais, embora possa ocorrer em águas naturais, maiores concentrações originam-se comumente de efluentes de indústrias, a exemplo das que utilizam processos eletrolíticos; madeireiras; resíduos de bactericidas e fungicidas utilizados na agricultura; além do seu uso em atividades de garimpo (MACIEL JÚNIOR, 2000). Com efeito, no conjunto de amostras disponíveis para uso nesta pesquisa, não foi encontrada nenhuma com teor de mercúrio acima do limite estabelecido pela legislação e também não foram encontradas atividades industriais relacionadas ao uso de mercúrio na região. Assim este grupo de alterações foi considerado de importância relativa na composição do IQUAS. Todavia, é oportuno inferir que esse número deve ser revisto em áreas onde são

desenvolvidas atividades relacionadas à poluição por mercúrio, em razão da alta toxicidade desse elemento.

Quanto ao Benzeno, candidato a representar os micropoluentes orgânicos, embora no conjunto de amostras disponíveis para uso nesta pesquisa não tenham sido verificados teores acima do limite estabelecido pela legislação, é oportuno lembrar que as atividades industriais desenvolvidas na região de aplicação inicial do IQUAS guardam relação direta com a presença desse elemento. A lista de “Produtos de Primeira Geração e Produtos Intermediários” produzidos no Pólo Industrial de Camaçari, disponível na página institucional do COFIC e reproduzida no ANEXO B, relaciona as matérias primas e os produtos de segunda geração das indústrias estabelecidas na região, onde é grande a presença do Benzeno e outros hidrocarbonetos aromáticos. Segundo a OMS, os hidrocarbonetos aromáticos mononucleares (único-anel) como benzeno, tolueno, etilbenzeno e xilenos, coletivamente conhecido como BTEX, estão entre os mais comuns contaminantes das águas subterrâneas, sendo o benzeno a combinação de fundamental relevância para a saúde dentro do grupo de BTEX, pois é comprovadamente um carcinógeno em humanos (WHO, 2006a). Segundo a mesma publicação, a exposição de humanos a concentrações altas de benzeno afeta principalmente o sistema nervoso central. Em concentrações mais baixas, o benzeno é tóxico ao sistema hematológico, causando uma quantidade contínua de mudanças de hematológicas, inclusive leucemia. Assim, dada a relevância do elemento eleito para representar o grupo de micropoluentes orgânicos este conjunto de alterações foi considerado muito importante na composição final do IQUAS. Com essa avaliação o grupo assume o peso 1,5.

#### 7.7.4. Agregação de “Índices por Alteração” para obtenção do IQUAS

O método escolhido para a agregação dos subíndices foi a função de agregação multiplicativa, combinando as funções individuais dos “Índices por alteração” de modo a compor o índice final. Esta formulação, como revisado em outros índices de qualidade de água, evita os problemas de ambigüidade e eclipse enfrentado por outras propostas, mostrando-se adequado aos propósitos do IQUAS.

Deste modo, para os grupos de “Índices de Alteração” com apenas um parâmetro, a equação do índice se iguala com a própria equação do subíndice.

E para os “Índices de Alteração” com mais de um parâmetro as equações foram escritas em função dos pesos atribuídos pelos respondentes a cada um dos parâmetros do subíndice, com a seguinte expressão:

IGA= Índice do Grupo de Alteração

$$IGA = IG_1^{0,x} * IG_2^{0,y} * IG_3^{0,z} \text{ ( Equação 15)}$$

Onde:

X = peso do Índice do Grupo de Alterações 1 ( $IG_1$ )

Y = peso do Índice de Grupo de Alterações 2 ( $IG_2$ )

Z = peso do Índice de Grupo de Alterações n ( $IG_n$ )

Sendo:

n= Número de Grupos de Alterações

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

A mesma metodologia foi usada para a composição final do IQUAS, sempre com a finalidade de contemplar a importância de cada grupo de alterações na qualidade

da água com vistas a atender aos requisitos de preservação da saúde do consumidor.

## **7.8. Base de Dados para Aplicação do IQUAS**

### **7.8.1. Seleção de Amostras**

Foram utilizados dados secundários fornecidos pelo Laboratório Central da Empresa Baiana de Águas e Saneamento S.A. - Embasa. Todas as informações são disponibilizadas pelo sistema do Controle de Qualidade de Água, utilizado para adquirir, registrar, manipular, armazenar e arquivar os resultados das análises realizadas pelo laboratório central da Embasa. Trata-se de um sistema de informação de administração de laboratório (*Laboratory Information Management System – LIMS*), pois permite que os valores e observações dos dados originais possam ser modificados. As configurações de software incluem o sistema gerenciador de banco de dados da Oracle Corporation©, o que permite a extração de dados para a planilha eletrônica Microsoft Office Excel 2003®.

Dispõe-se dos resultados de análises bacteriológicas e físico-químicas de amostras de água realizadas para atender diferentes propósitos: cumprimento da legislação ambiental, avaliação de mananciais, coletadas por consumidores particulares interessados em avaliar a qualidade de poços particulares e coletadas pela Embasa para investigar não conformidades no abastecimento e para atender convênios com entidades públicas e instituições.

O período de coletas coberto pela pesquisa se estende desde agosto de 2003 até dezembro de 2006. A tabela 27 apresenta os números referentes à disponibilidade de dados brutos de amostras e a tabulação e extração de dados completos que foram efetivamente utilizados no trabalho. São denominados dados brutos os resultados de todas as amostras disponíveis, estas podem ou não contemplar todos os parâmetros necessários ao cálculo do IQUAS. Os dados completos, ou tratados, referem-se às amostras que contemplam todos os parâmetros do IQUAS e que, portanto foram utilizadas no trabalho.

<b>Tabela 27 – Quantitativo de Amostras - Dados Brutos</b>				
<b>Procedência</b>	<b>Pontos de Coleta</b>	<b>Amostras Realizadas</b>	<b>Pontos com todos os parâmetros do IQUAS</b>	<b>Amostras Completas</b>
Cumprimento da legislação ambiental	17	564	8	14
Avaliação de mananciais	96	109	Zero	Zero
Consumidores Particulares	556	556	Zero	Zero
Investigação Embasa e Convênios	52	52	Zero	Zero
<b>Total de Amostras</b>	721	1281		

Como se pode observar é pequeno o número de amostras onde foram realizadas todas as análises necessárias para cálculo do IQUAS, portanto apenas 2% do total de amostras disponíveis puderam ser utilizadas. Nota-se que as amostras realizadas para avaliação de mananciais, investigação, convênios e também amostras feitas por particulares não contemplam todos os parâmetros.

Este quadro sugere alguns cenários, que serão avaliados por este trabalho no capítulo apropriado para apresentação e discussão dos resultados.

Não obstante, os pontos de coleta selecionados abrangem todos os poços utilizados pela Embasa para abastecimento de localidades dos Municípios de Camaçari, São Sebastião do Passé e Saubara, os dois primeiros localizados na Região Metropolitana de Salvador e o último na Região do Recôncavo (Tabela 28). A localização de alguns deles pode ser vista no mapa dos poços de produção do Sistema de Gerenciamento das Águas Subterrâneas do Programa de Gerenciamento de Recursos Hídricos do Pólo Industrial de Camaçari (ANEXO C), elaborado pela Hydros Engenharia e Planejamento Ltda. e disponível no Relatório Final de Auditoria Técnica para monitoramento das águas subterrâneas que abastecem as comunidades de Camaçari, Dias D'Ávila e a exploração de águas minerais (COFIC, 2005).

<b>Tabela 28– Quantidade de Amostras Selecionadas por Ponto de Coleta</b>				
<b>Localidade</b>	<b>Município</b>	<b>Ponto</b>	<b>Amostras Disponíveis</b>	<b>Amostras Completas</b>
Cabuçu	Saubara	Poço Cabuçu	29	
Camaçari	Camaçari	Poço Espaço Alfa - Poço I	42	2
Camaçari	Camaçari	Poço Espaço Alfa - Poço II	40	2
Camaçari	Camaçari	Poço Espaço Alfa - Poço III	41	2
Camaçari	Camaçari	Poço Espaço Alfa - Poço IV	41	2
Camaçari	Camaçari	Poço Espaço Alfa - Poço V	41	2
Jordão	Camaçari	Poço Jordão - Poço 01	19	
Jordão	Camaçari	Poço Jordão - Poço 02	37	1
Jordão	Camaçari	Poço Jordão - Poço 03	14	1
Machadinho	Camaçari	Poço Machadinho - Poço 01	40	
Machadinho	Camaçari	Poço Machadinho - Poço 02	39	1
Machadinho	Camaçari	Poço Machadinho - Poço 03	39	1
Machadinho	Camaçari	Poço Machadinho - Poço 05	8	
São Sebastião do Passé	São Sebastião do Passé	Poço São Sebastião do Passé – Poço 15	14	
São Sebastião do Passé	São Sebastião do Passé	Poço São Sebastião do Passé – Poço 14	41	
São Sebastião do Passé	São Sebastião do Passé	Poço São Sebastião do Passé – Poço 16	1	
São Sebastião do Passé	São Sebastião do Passé	Poço São Sebastião do Passé – Poço 12	40	
São Sebastião do Passé	São Sebastião do Passé	Poço São Sebastião do Passé – Poço 13	38	
		<b>Total de Amostras</b>	564	14

## 7.8.2. Procedimentos de Laboratório

O Laboratório Central da Embasa é certificado pela ISO-9001 e todas as análises são realizadas de acordo com as técnicas estabelecidas pelo *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*<sup>®</sup>; estes mecanismos garantem a confiabilidade das amostras selecionadas para aplicação do IQUAS.

Os pontos de amostragem e todo o procedimento de coleta atendem às premissas para obtenção de dados representativos da rede de monitoramento da empresa. Na chegada ao laboratório é feita uma inspeção e são descartadas as amostras que não estejam adequadas aos padrões mínimos exigidos para recepção do material. Em seguida as amostras selecionadas são entregues aos laboratórios responsáveis pela realização das análises. Os resultados são lidos diretamente dos instrumentos ou digitados pelos técnicos, e em seguida conferidos e liberados pelo gestor do laboratório.

Para cada ponto de coleta, ficam armazenados no sistema: os dados de identificação do ponto, logradouro e complementos do endereço, ponto de referência, município, localidade e local de coleta.

A cada ponto de coleta estão relacionadas todas as amostras realizadas, a data e a hora da coleta, as condições do tempo, coletor e alguma observação que o coletor julgar relevante do momento da coleta.

Para cada amostra realizada em um ponto de coleta estão armazenadas todas as análises realizadas, os teores medidos, e os nomes dos técnicos responsáveis pela realização e pela liberação do resultado da análise.

A figura 9 apresenta o diagrama de relacionamentos entre os pontos de coleta, amostras e análises, de modo a ilustrar essas definições.

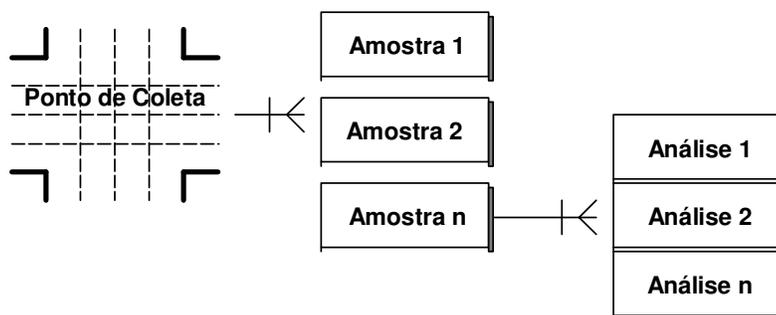


Figura 9 - Relacionamento Ponto de Coleta - Amostra - Análise

Adicionalmente, cada análise está vinculada ao instrumento que a realizou e o método utilizado para quantificar o parâmetro. A combinação da análise, do instrumento e do método define o limite de detecção do parâmetro, o chamado Limite de Detecção do Método (LDM). O Apêndice I apresenta a relação de instrumentos e métodos utilizados para analisar os parâmetros do IQUAS.

Em resumo, de posse de uma amostra é possível saber quais foram as análises realizadas e os valores encontrados para cada parâmetro. Associando o valor do encontrado ao valor limite estabelecido pela legislação é possível identificar os parâmetros não conformes.

Para utilização neste trabalho, todos esses dados, armazenados originalmente no banco de dados Oracle ©, foram filtrados e exportados para planilhas do Microsoft Office Excel 2003 ®. Neste ambiente operacional, os dados foram manipulados e tabulados de modo a permitir o cálculo do IQUAS.

A tabela 29 apresenta as amostras selecionadas, para as quais foram realizadas todas as análises previstas para cálculo do IQUAS.

Tabela 29 - Amostras completas selecionadas para cálculo do IQUAS

Nome Categoria	Amostra	Amônia mg NH3/L	C.TE. UFC/100mL	Cloreto mg Cl/L	Dureza mgCaCO3 /L	Fe ug Fe/L	Fluoreto mg F/L	Hg ug Hg/L	Mn ug Mn/L	Nitrato mg NO3-N/L	pH	Sulfato mg SO4/L	Turbidez NTU	BEM BEI
Poço Machadinho - Poço 02	34395/05	< 0,1	< 1	9,30	8,52	286,4	0,2	< 0,05	< 20	2,0	6,54	< 5	2,60	< (
Poço Machadinho - Poço 03	34396/05	0,18	< 1	9,30	6,08	< 8	0,3	< 0,05	< 20	1,5	6,82	< 5	0,15	< (
Poço Jordão - Poço 02	34392/05	< 0,1	< 1	8,81	2,20	16,18	0,2	< 0,05	< 20	2,2	5,07	< 5	0,19	< (
Poço Jordão - Poço 03	34393/05	< 0,1	< 1	8,32	4,20	< 8	0,2	< 0,05	< 20	1,9	5,98	< 5	0,15	< (
Poço Espaço Alfa - Poço I	33519/05	0,12	< 1	10,3	7,33	< 8	0,2	< 0,05	< 20	2,6	6,30	< 5	0,69	< (
Poço Espaço Alfa - Poço II	33520/05	< 0,1	< 1	11,3	6,84	< 8	0,2	< 0,05	< 20	2,8	5,87	< 5	0,46	< (
Poço Espaço Alfa - Poço III	33521/05	< 0,1	< 1	11,8	6,76	84,71	0,2	< 0,05	< 20	2,0	5,89	< 5	0,66	< (
Poço Espaço Alfa - Poço IV	33522/05	< 0,1	< 1	11,3	3,43	424,5	0,2	< 0,05	< 20	2,2	5,38	< 5	1,51	< (
Poço Espaço Alfa - Poço V	33523/05	< 0,1	< 1	13,2	7,59	< 8	0,2	< 0,05	< 20	2,6	5,98	< 5	0,24	< (
Poço Espaço Alfa - Poço I	35432/06	0,11	< 1	11,2	6,24	15,55	< 0,1	< 0,05	< 20	2,1	6,00	< 5	0,18	< (
Poço Espaço Alfa - Poço II	35433/06	0,09	< 1	12,2	6,34	22,12	< 0,1	0,26	< 20	1,7	6,34	< 5	0,50	< (
Poço Espaço Alfa - Poço III	35434/06	0,08	< 1	11,7	5,79	106,9	< 0,1	0,20	< 20	1,7	5,90	< 5	0,64	< (
Poço Espaço Alfa - Poço IV	35435/06	0,16	< 1	12,2	3,41	182,0	< 0,1	0,12	< 20	1,6	5,82	< 5	1,03	< (
Poço Espaço Alfa - Poço V	35436/06	0,16	< 1	13,2	6,22	22,17	< 0,1	0,07	< 20	2,0	6,01	< 5	0,71	< (

## **7.9. Procedimento de Cálculo e Aplicação do IQUAS**

A última etapa do trabalho foi o cálculo do Índice de Qualidade de Água Subterrânea (IQUAS) para o conjunto de amostras que atenderam aos requisitos de seleção: amostras simples tomadas em um determinado ponto de coleta, em uma determinada data e hora; e que possuem análises para todos os parâmetros presentes no IQUAS.

A planilha eletrônica Microsoft Office Excel 2003<sup>®</sup> mais uma vez foi a ferramenta utilizada para realização de cálculos e exibição dos resultados na forma de relatórios e gráficos. De forma complementar, também foram utilizados outros aplicativos para tratamento, exibição de dados e confecção de gráficos.

Os valores do IQUAS para essas amostras foram confrontados com as características das águas subterrâneas dos locais estudados. Para essa conferência, mais uma vez, os especialistas foram consultados. Foi realizado um “Diálogo Informativo” onde foram apresentados: um relato sobre o cunho da pesquisa e a metodologia utilizada na seleção de parâmetros e pesos; as substâncias e pesos efetivamente utilizados no índice; e a formulação, cálculo e resultados do índice.

Trinta técnicos da Embasa e empresas parceiras compareceram ao encontro. Foram biólogos, engenheiros químicos, químicos e técnicos operacionais envolvidos na área de qualidade de água, que debateram, aprovaram, discordaram e apresentaram sugestões.

O encontro alcançou o objetivo de homologar o índice de qualidade das águas subterrâneas, para uso na produção de água potável. As sugestões daí decorrentes, quando cabíveis foram aplicadas. Outras foram anexadas aos resultados e conclusões da pesquisa, pois sugerem a realização de estudos complementares que não estão no âmbito desse trabalho. E algumas foram consensualmente descartadas.

## **8. RESULTADO E DISCUSSÃO**

### **8.1. Resultados da Montagem do Painel Delphi**

O exercício do painel Delphi teve como problema a seleção de variáveis para compor o Índice de Qualidade de Água Subterrânea (IQUAS), como também a atribuição de pesos aos parâmetros, por conjunto de alteração. Foram realizadas duas rodadas de perguntas e uma terceira de comunicação dos resultados, deverá ser concluída após a aprovação do trabalho final. Na primeira rodada, os parâmetros foram sugeridos para alguns usos preponderantes: produção de água potável, dessedentação de animais, irrigação e processos Industriais; no entanto, na segunda rodada, foi feito o recorte para aplicação do índice na qualificação de águas destinadas à produção para consumo humano.

Tradicionalmente, o contato inicial preconizado pelo método é feito por telefone ou pelo envio de carta convite, onde são feitas descrições do projeto, o número de rodadas ou o tempo disponível necessário à participação, o compromisso com o anonimato dos respondentes, e se for apropriado uma confirmação de aceite da parte do painelista (GORDON, 1994). A partir daí toda correspondência é enviada de forma individualizada aos especialistas que aceitarem o convite para participar do painel.

Nesse estudo, a forma tradicional de abordagem foi mantida apenas para alguns contatos iniciais, no entanto toda a condução do processo foi realizada via rede mundial de computadores, a Internet, que serviu como ferramenta desde a montagem do painel de respondentes até a finalização com o envio do relatório de análise com os resultados do exercício.

Inicialmente foram enviados os questionários aos setenta e três convidados que aceitaram o convite para participar do painel, identificados a partir do segundo contato como “respondentes”. Do cenário inicial de 73 respondentes comprometidos com a pesquisa apenas 30 responderam à primeira rodada (Tabela 30).

<b>Tabela 30 – Acolhimento da Primeira Rodada do Painel DELPHI-IQUAS</b>		
Entregues e Sem Resposta	39	53,42%
Retornou da caixa e-mail	4	5,48%
Questionários Respondidos	30	41,10%
Questionários Entregues	<b>73</b>	

Como pode ser observado, logo na primeira rodada, o percentual de respondentes que não acolheram o questionário ultrapassou a barreira de 50%, ficando em 53,42%, apontando, portanto, para um cenário de dificuldades na obtenção das respostas.

Ao final da tabulação das respostas da primeira rodada foram identificados os grupos de “Índices por alteração” e selecionados os respectivos parâmetros em cada grupo para compor o Índice de Qualidade de Água Subterrânea – IQUAS, especificamente para utilização na avaliação no uso para a produção de água potável.

Seguindo as premissas do método, os questionários da segunda rodada foram remetidos aos 30 remanescentes que acolheram ao primeiro questionário. A segunda etapa da pesquisa obteve 18 respostas, portanto, 60% de retorno dos questionários enviados nessa etapa. Os números confirmaram as dificuldades em manter a participação dos especialistas. Dos 155 inicialmente abordados, apenas 18 concluíram todo o exercício. O Apêndice B - Relação de Respondentes apresenta os nomes e a formação dos respondentes, seguida da indicação das etapas que cada um participou. Abaixo, a tabela 31 - Acolhimento da Segunda Rodada do Painel DELPHI-IQUAS mostra o quadro de acolhimento da segunda e última rodada de perguntas.

Entregues e Sem Resposta	12	40,00%
Retornou da caixa e-mail	0	0,00%
Questionários Respondidos	18	60,00%
Questionários Entregues	<b>30</b>	

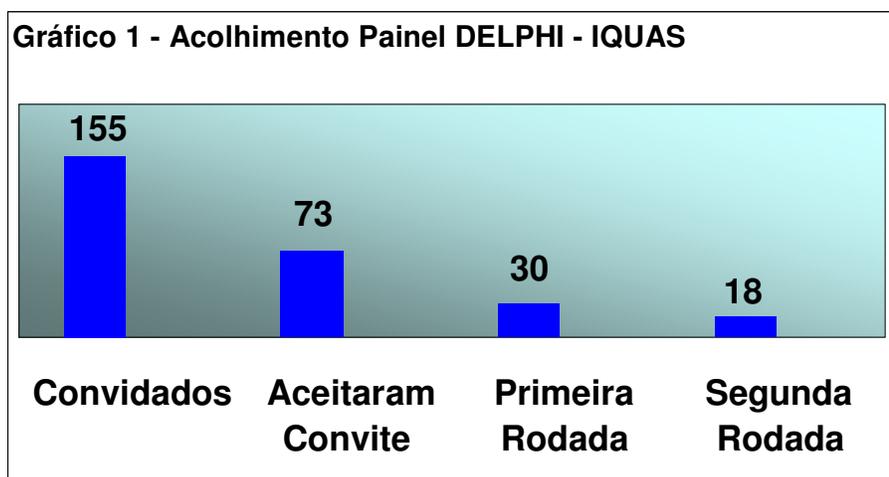
Em relação aos convites enviados para a montagem inicial do painel e os quantitativos finais da segunda rodada, os números estão demonstrados na Tabela 32 – Acolhimento Final do Painel DELPHI-IQUAS.

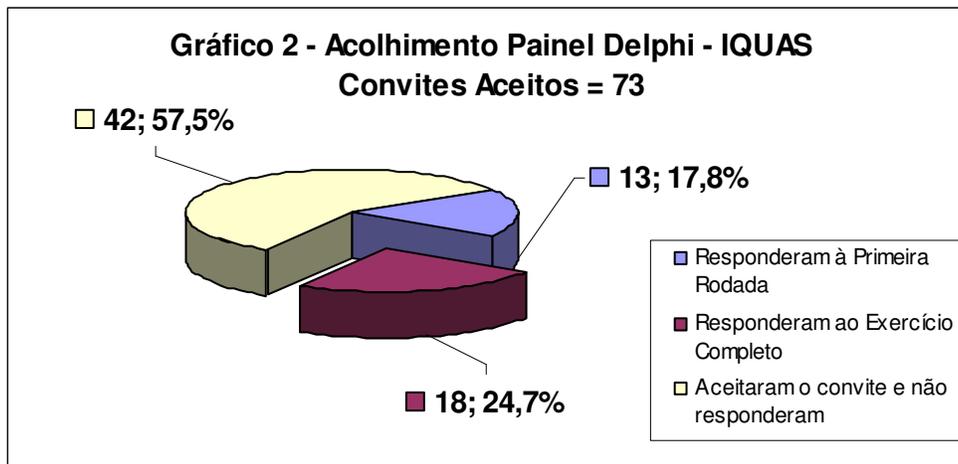
	<b>Total</b>	<b>Respondentes</b>	<b>%</b>
Do total de convites enviados inicialmente, percentual que respondeu a primeira rodada.	155	30	19%
Do total de convites enviados inicialmente, percentual que respondeu a segunda rodada.	155	18	12%
Do grupo que aceitou o convite inicial, percentual que respondeu a primeira rodada.	73	30	41%
Do grupo que aceitou o convite inicial, percentual que respondeu a segunda rodada.	73	18	25%

Como produtos da segunda rodada foram ratificados: os grupos de alterações e os parâmetros para cada um deles; e conhecidos os pesos de cada parâmetro por “Índice de alteração”. Os resultados obtidos com a tabulação das respostas indicam uma boa convergência nos pesos escolhidos pelos respondentes.

Assim, em face da convergência das respostas, ficou estabelecido que não fossem realizadas outras rodadas. Com efeito, o consenso foi obtido através da escolha dos parâmetros mais destacados e a adoção dos pesos mais votados.

Todavia, o que se conclui é que a aplicação da metodologia via Internet é ágil na troca de informações, mas apresenta alta taxa de evasão, como mostram os gráficos 1 e 2. Estas características produzem situações contraditórias, por um lado facilidade com a agilidade da troca mensagens, por outro desgaste com a falta de retorno.





Outra observação que se faz necessária é em relação 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 deselegante, 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.

## 8.2. Parâmetros e Pesos para Composição do IQUAS

O tratamento estatístico aplicado às respostas da primeira rodada do painel Delphi, obteve como resultado a escolha de oito conjuntos de alterações de um total de quinze grupos inicialmente propostos: Partículas em Suspensão, Ferro e Manganês, Microorganismos, Mineralização e Salinidade, Nitratos, Nitrogenados (fora nitrato), Micropoluentes Minerais, como também os Micropoluentes Orgânicos

incluídos pela equipe do projeto, embora não tenham alcançado votos suficientes para a escolha meramente baseada em números.

A segunda rodada serviu para definir os pesos dos parâmetros dentro de cada grupo de alterações, apenas para os grupos com mais de uma variável. A metodologia adotada para essa definição foi o percentual de votos recebidos pelo parâmetro. Nos demais grupos, a influência do único parâmetro é 100%, de modo que:  $\text{Peso do Parâmetro} = 1$ . A tabela 33 reproduz o peso de cada parâmetro por grupo de alteração.

Tabela 33 – IQUAS - Produção de Água Potável - Índices por Grupo de Alteração			
Índice	Alteração	Parâmetros	Peso do Parâmetro
<b>IBIO</b>	Microorganismos	<b>Coliformes Termotolerantes</b>	<b>1</b>
<b>IFEMN</b>	Ferro e Manganês	<b>Ferro</b>	<b>0,5</b>
		<b>Manganês</b>	<b>0,5</b>
<b>IMS</b>	Mineralização - Salinidade	<b>Cloreto</b>	<b>0,3</b>
		<b>Dureza</b>	<b>0,3</b>
		<b>Fluoreto</b>	<b>0,1</b>
		<b>pH</b>	<b>0,1</b>
		<b>Sulfatos</b>	<b>0,2</b>
<b>IPS</b>	Partículas em Suspensão	<b>Turbidez</b>	<b>1</b>
<b>INIT</b>	Nitratos	<b>Nitrato</b>	<b>1</b>
<b>IAMO</b>	Nitrogenados (fora nitrato)	<b>Amônia</b>	<b>1</b>
<b>IMIN</b>	Micropoluentes Minerais	<b>Mercúrio Total</b>	<b>1</b>
<b>IORG</b>	Micropoluentes Orgânicos	<b>Benzeno</b>	<b>1</b>

### 8.3. Formulação do IQUAS

O índice IQUAS desenvolvido neste trabalho está voltado apenas ao uso do recurso na produção de água potável. No entanto, na seqüência da pesquisa outros usos deverão ser contemplados pela equipe do projeto. Da revisão bibliográfica e da aplicação do painel Delphi, constatou-se a necessidade de abordagens diferenciadas para os demais usos. Esta postura sugere a recomendação de novos estudos para avançar na formulação de índices específicos.

Desse modo, escolhidos os parâmetros e traçadas as curvas de qualidade de cada um deles com a finalidade de exprimir a qualidade requerida para produção de água potável, obteve-se as equações dos subíndices. Os resultados das equações de cada parâmetro são apresentados na tabela 34.

Na coluna de Equações estão as expressões utilizadas para cálculo dos subíndices (Y) referentes a cada um dos teores (X) dos parâmetros do IQUAS. Nas colunas de “Intervalos de Teores” estão relacionados os teores mínimo e máximo que correspondem à equação adequada para cálculo do subíndice (Y). Em alguns casos a equação é substituída por um valor fixo que será atribuído ao subíndice quando a concentração estiver na faixa correspondente. Assim, de posse do teor, seleciona-se a equação mais adequada ou valor e calcula-se subíndice.

O cálculo do índice compreende então:

- ✓ Aplicação das equações individuais a cada um dos 13 parâmetros,
- ✓ Agregação destes parâmetros nos grupos “Índices por Alteração”,
- ✓ Agregação no índice final que resulta na formulação do Índice de Qualidade de Água Subterrânea (IQUAS).

Tabela 34 – IQUAS - Produção de Água Potável - Equações dos Parâmetros			
Alteração	Parâmetros	Faixa	Equação
Microorganismos	Coliformes Termotolerantes	$X < 1$	$Y = 100$ (Ausência)
		$X \geq 1$	$Y = 0$ (Presença)
Ferro e Manganês	Ferro	$X \leq 0,09$ mg/L	$Y = 100$
		$X > 0,09$ mg/L	$Y = 35,081x^{-0,4261}$
	Manganês	$X \leq 0,02$ mg/L	$Y = 100$
		$X > 0,02$ mg/L	$Y = 22,847x^{-0,3803}$
	Cloreto	$X \leq 51$ mg/L	$Y = 100$
		$X > 51$ mg/L	$Y = 596,79X^{-0,4553}$
Mineralização - Salinidade	Dureza	$X \leq 10$ mg/L	$Y = 100$
		$X > 10$ mg/L	$Y = -13,603\ln(x) + 130,16$
	Fluoreto	$X \leq 0,1$ mg/L	$Y = 20$
		$0,1 < X \leq 0,8$ mg/L	$Y = 116,79x^{0,7001}$
		$0,8 < X \leq 2$ mg/L	$Y = 56,798x^{-1,1589}$
		$x > 2$ mg/L	$Y = 20$
	pH	$X < 2,0$	$Y = 20$
		$2,0 \leq X \leq 5,0$	$Y = 16,1 + (3,0 * X)$
		$5,1 \leq X \leq 7,4$	$Y = 142,67 + (32,0 * X)$
		$7,5 \leq X \leq 10,0$	$Y = 316,96 + (29,2 * X)$
$10,1 \leq X \leq 12,0$		$Y = 98,0 + (8,0 * X)$	
$X > 12$ mg/L		$Y = 20$	
Partículas em Suspensão	Sulfatos	$X \leq 20$ mg/L	$Y = 100$
		$X > 20$ mg/L	$Y = 409,02x^{-0,4705}$
Nitratos	Turbidez	$X \leq 0,2$ NTU	$Y = 100$
		$X > 2$ NTU	$Y = 60,638x^{-0,2338}$
Nitrogenados (fora nitrato)	Nitrato	$X \leq 1,5$ mg/L	$Y = 100$
		$X > 1,5$ mg/L	$Y = 115,78x^{-0,3314}$
Micropoluentes Minerais	Amônia	$X \leq 0,1$ mg/L	$Y = 100$
		$X > 0,1$ mg/L	$Y = 56,703x^{-0,2324}$
Micropoluentes Orgânicos	Mercúrio Total	$X \leq 3,5 * 10^{-6}$ mg/L	$Y = 100$
		$X > 3,5 * 10^{-6}$ mg/L	$Y = 18,547x^{-0,1336}$
Micropoluentes Orgânicos	Benzeno	$X < 0,001$ mg/L	$Y = 100$
		$X > 0,001$ mg/L	$Y = 7,9114x^{-0,3622}$

Com efeito, como apenas dois grupos de alterações possuem mais de um parâmetro, a tarefa intermediária de agregação resume-se à aplicação da equação de agregação, definida como IGA= Índice do Grupo de Alteração (Equação 15) aos grupos de alteração “Ferro e Manganês” e “Mineralização e Salinidade”

$I_{FEMN}$  = Índice Alteração Ferro e Manganês:

$$I_{FEMN} = Q_{FE}^{0,5} * Q_{MN}^{0,5} \text{ (Equação 16)}$$

$I_{MS}$  = Índice Alteração Mineração e Salinidade:

$$I_{MS} = Q_{Cloreto}^{0,3} * Q_{Dureza}^{0,3} * Q_{Fluoreto}^{0,1} * Q_{pH}^{0,1} * Q_{Sulfato}^{0,2} \text{ (Equação 17)}$$

Atendendo-se às premissas de que o Índice de Qualidade de Água Subterrânea deve qualificar o recurso de forma adequada às exigências da saúde pública, aplicou-se a metodologia previamente exposta para cálculo dos pesos finais e a equação IGA = Índice do Grupo de Alteração (Equação 15) aos oito grupos selecionados, obtendo-se os resultados apresentados a seguir.

A tabela 35 apresenta a avaliação, pesos temporários e pesos finais dos grupos de alteração. Ela permite uma visão global da formação do IQUAS, que tem a seguinte equação final:

$$IQUAS = I_{BIO}^{0,19} * I_{FEMN}^{0,06} * I_{MS}^{0,19} * I_{PS}^{0,06} * I_{INT}^{0,19} * I_{AMO}^{0,06} * I_{MIN}^{0,06} * I_{ORG}^{0,19} \text{ (Equação 18)}$$

Do cálculo das equações dos parâmetros, agregação dos índices de alteração e aplicação da equação final do IQUAS resulta um número adimensional na faixa de 0 a 100 que descreve as cinco classes de qualidade das águas subterrâneas:

80 -100 = Ótima

52 – 79 = Boa

37 – 51 = Regular

20 –36 = Ruim

0 – 19 = Péssima.

<b>Tabela 35 - IQUAS - Peso dos Grupos de Alterações</b>			
<b>Índice</b>	<b>Importância Atribuída</b>	<b>Peso Temporário</b>	<b>Peso Final</b>
<b>IBIO</b>	Muito Importante	1,5	0,19
<b>IFEMN</b>	Importância Relativa	0,5	0,06
<b>IMS</b>	Muito Importante	1,5	0,19
<b>IPS</b>	Importância Relativa	0,5	0,06
<b>INIT</b>	Muito Importante	1,5	0,19
<b>IAMO</b>	Importância Relativa	0,5	0,06
<b>IMIN</b>	Importância Relativa	0,5	0,06
<b>IORG</b>	Muito Importante	1,5	0,19
		8	1
<b>Fórmulas</b>	Peso Temporário= Atribuído de acordo importância dos parâmetros	Soma dos Pesos Temporários = Quantidade de Grupos de Alterações	Peso Final por Alteração = Peso Temporário / Soma dos Pesos Temporários

#### 8.4. Aplicação e Validação do IQUAS

Com o objetivo de validar o Índice de Qualidade de Água Subterrânea (IQUAS) a equação foi aplicada aos pontos de coleta com amostras completas, adotando-se a seqüência apresentada na figura 10:

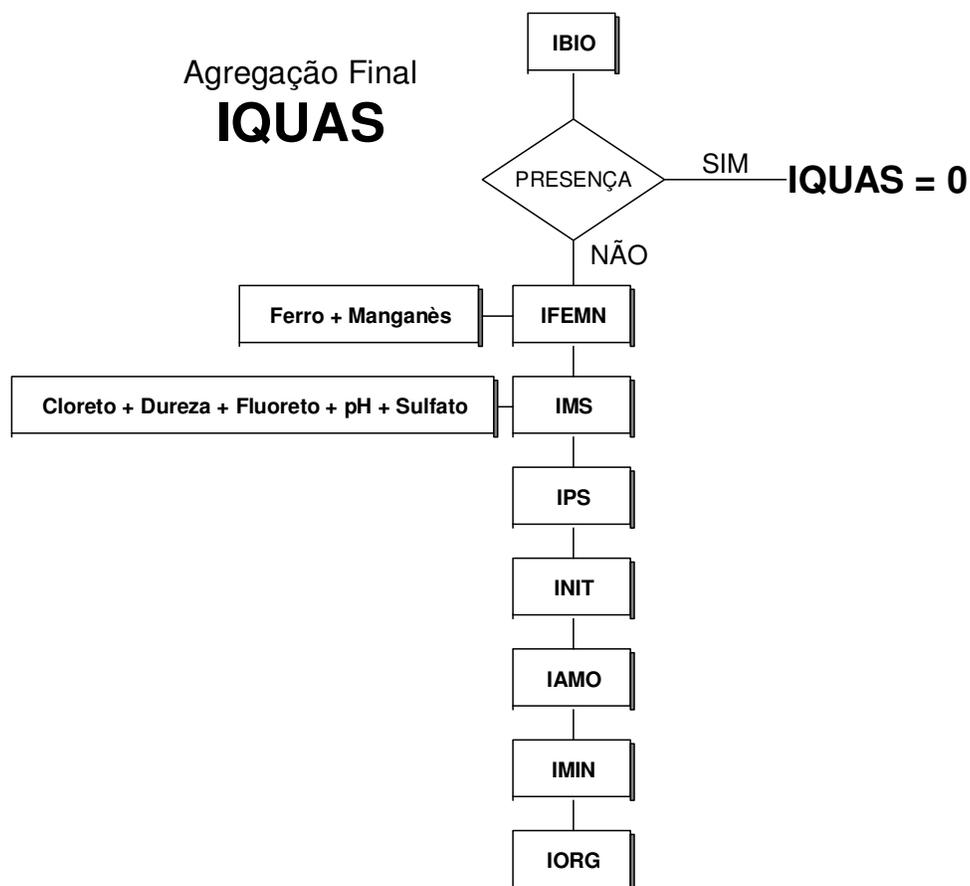


Figura 10 - Agregação Final IQUAS

Foram utilizadas como protótipo duas amostras realizadas no Poço Espaço Alfa - I, situado no distrito de Jardim Limoeiro no município de Camaçari. Trata-se de um poço operado pela Embasa, que o utiliza como manancial para o Sistema de Abastecimento de Camaçari, que abastece a sede e algumas localidades do município. As amostras foram realizadas em dezembro de 2005 e em outubro de 2006, apresentando os resultados mostrados na tabela 36.

<b>Tabela 36 - Análises Poço Espaço Alfa</b>		
<b>Nome Categoria</b>	<b>Poço Espaço Alfa - Poço I</b>	<b>Poço Espaço Alfa - Poço I</b>
Amostra	33519/05	35432/06
Data Coleta	06/12/2005	30/10/2006
Amônia - mg NH <sub>3</sub> /L	0,12	0,11
C.TE. - UFC/100mL	< 1	< 1
Cloreto - mg Cl/L	10,3	11,2
Dureza - mgCaCO <sub>3</sub> /L	7,33	6,24
Fe - ug Fe/L	< 8	15,55
Fluoreto - mg F/L	0,2	< 0,1
Hg - ug Hg/L	< 0,05	< 0,05
Mn - ug Mn/L	< 20	< 20
Nitrato - mg NO <sub>3</sub> -N/L	2,6	2,1
pH	6,3	6
Sulfato - mg SO <sub>4</sub> /L	< 5	< 5
Turbidez - NTU	0,69	0,18
BENZ - ug BENZ/L	< 0,01	< 0,01

### **Amostra 33519/05**

- ✓ I<sub>BIO</sub> - Índice de Microorganismos
  - Coliformes Termotolerantes → Ausência → **IBIO = 100**
- ✓ I<sub>FEMN</sub> - Índice de Ferro e Manganês
  - Y<sub>Fe</sub>
    - X < 80 ug/L → Y<sub>Fe</sub> = 100
  - Y<sub>Mn</sub>
    - X < 20 ug/L → Y<sub>Mn</sub> = 100
  - $I_{FEMN} = Y_{Fe}^{0,50} * Y_{Mn}^{0,50} = 1^{0,50} * 1^{0,50} \rightarrow I_{FEMN} = 100$
- ✓ I<sub>MS</sub> - Índice de Mineralização e Salinidade
  - Y<sub>Cl</sub>
    - X = 10,3 → X ≤ 50 mg/L → Y<sub>Cl</sub> = 100

- $Y_{CaCO}$ 
  - $X = 7,33 \rightarrow X \leq 10 \text{ mg/L} \rightarrow Y_{CaCO} = 100$
- $Y_{FI} =$ 
  - $X = 0,2 \rightarrow Y_{FI} = 116,79x^{0,7001} = 116,79 * 0,2^{0,7001} = Y_{FI} = 37,8$
- $Y_{pH}$ 
  - $X = 6,3 \rightarrow Y_{pH} = -142,67+(32,0*X) \rightarrow Y_{pH} = 58,9$
- $I_{SO4}$ 
  - $X < 5 \rightarrow X \leq 20 \text{ mg/L} \rightarrow I_{SO4} = 100$
- Donde, aplicando a equação para Mineralização e Salinidade:
 
$$IMS = Q_{Cloroto}^{0,3} * Q_{Dureza}^{0,3} * Q_{Fluoreto}^{0,1} * Q_{pH}^{0,1} * Q_{Sulfato}^{0,2}$$
  - $IMS = 100^{0,3} * 100^{0,3} * 37,8^{0,1} * 58,9^{0,1} * 100^{0,2}$
  - **IMS = 86,1**

✓  $I_{PS}$  - Índice de Partículas em Suspensão

○  $IPS = 60,638x^{-0,2338} = 60,638 * 0,69^{-0,2338} = 64,7 \rightarrow I_{PS} = 72,7$

✓  $I_{NIT}$  - Índice de Nitrato

○  $INIT = 115,78 x^{0,3314} = 115,78 * 2,6^{-0,3314} = 84,36 \rightarrow I_{NIT} = 84,4$

✓  $I_{AMO}$  - Índice de Nitrogenados

○  $IAMO = 56,703x^{-0,2324} = 56,703 * 0,12^{-0,2324} = 92,81 \rightarrow I_{AMO} = 92,8$

✓  $I_{MIN}$  - Índice de Micropoluentes Minerais

○  $IMIN = 18,547x^{-0,1336}$

○  $X < 0,05 \text{ ug/L}$  e  $LDM = 0,05 \text{ ug Hg/L} \rightarrow I_{MIN} = 100$

✓  $I_{ORG}$  - Índice de Micropoluentes Orgânicos

○  $IORG = 7,9114x^{-0,3622}$

- $X < 0,01 \text{ ug/L}$  e  $\text{LDM} = 0,01 \text{ ug BENZ/L} \rightarrow I_{\text{ORG}} = 100$

Então, aplicando a equação de agregação final do IQUAS (Equação 18):

$$IQUAS = I_{\text{BIO}}^{0,19} * I_{\text{FEMN}}^{0,06} * I_{\text{MS}}^{0,19} * I_{\text{PS}}^{0,06} * I_{\text{NIT}}^{0,19} * I_{\text{AMO}}^{0,06} * I_{\text{MIN}}^{0,06} * I_{\text{ORG}}^{0,19}$$

Temos, para a **Amostra 33519/05** :

$$IQUAS = 100^{0,19} * 100^{0,06} * 86,1^{0,19} * 72,7^{0,06} * 84,4^{0,19} * 92,8^{0,06} * 100^{0,06} * 100^{0,19}$$

$$IQUAS_{33519/05} = 92$$

80-100	Ótima	
--------	-------	--

E aplicando-se a mesma metodologia para a amostra **35432/06**, obtém-se:

$$IQUAS = 100^{0,19} * 100^{0,06} * 79,3^{0,19} * 99,5^{0,06} * 90,5^{0,19} * 94,7^{0,06} * 100^{0,06} * 100^{0,19}$$

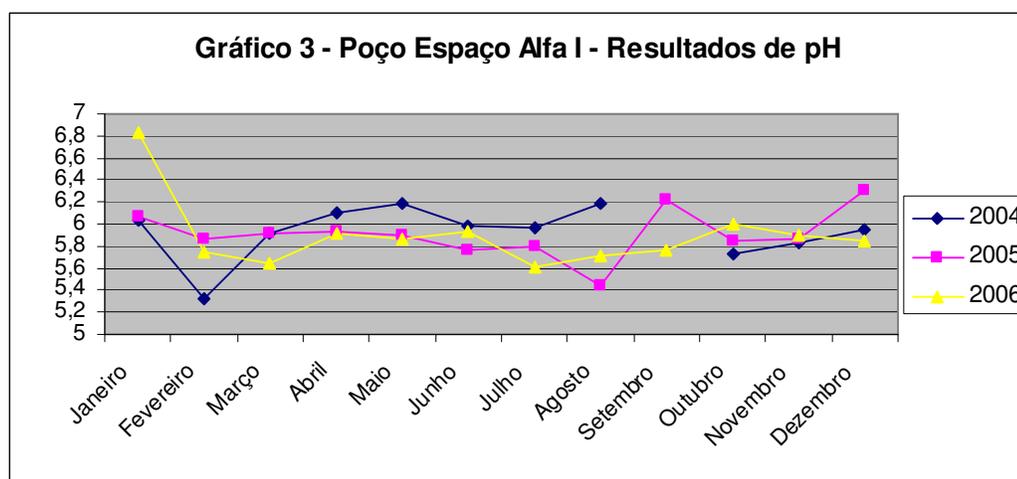
$$IQUAS_{35432/06} = 94$$

80-100	Ótima	
--------	-------	--

O que se infere dos resultados obtidos é que foi mantido o semáforo de ótima qualidade e que houve um acréscimo de 1,79% na qualidade do recurso, no período avaliado. Não obstante, não se pode inferir que seja uma tendência, pois seria necessária a realização de uma série de amostras para todos os parâmetros do IQUAS para corroborar essa afirmativa.

No entanto, esse número se deve principalmente aos resultados do grupo de alterações de “Mineralização e Salinidade”, onde as análises de Fluoreto e pH apresentaram resultados abaixo do recomendado na literatura consultada.

No que se refere exclusivamente ao pH, dos quais se dispõe de uma série de análises desenvolvidas nos anos de 2004, 2005 e 2006, constata-se que não se trata de uma tendência, pois os teores oscilam de forma não uniforme, tanto nos meses quanto anualmente (GRÁFICO 3). Por outro lado, constata-se para essa série de trinta e seis amostras que o teor mais freqüente (modo) é de 5,91, e também um valor central (mediana) igual a 5,90. Vale destacar que são teores inferiores aos recomendados para a água destinada ao consumo humano, mas podem ser corrigidos no processo de tratamento. A Portaria MS Nº 518/04 recomenda que, no sistema de distribuição, o pH da água seja mantido na faixa de 6,0 a 9,5.



Com efeito, o cálculo do IQUAS para apenas duas amostras de um mesmo ponto de coleta não tem a finalidade de apontar tendências, mas tão somente avaliar a qualidade atual do recurso para o uso preponderante na produção de água potável.

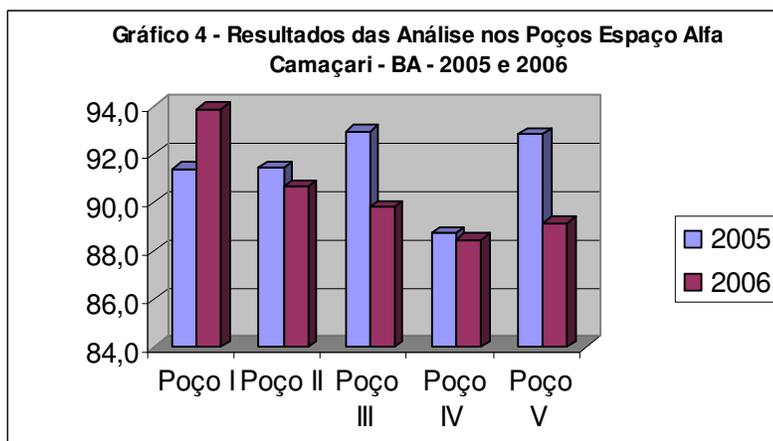
Com o objetivo de ampliar o processo de discussão do IQUAS, aplicou-se o cálculo a todas as amostras disponíveis. O resultado dessa modelagem é apresentado na tabela 37 - Avaliação das Amostras Completas - Cálculo do IQUAS.

**Tabela 37 - Avaliação das Amostras Completas - Cálculo do IQUAS**

Pontos		Subíndices								IQUAS
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	91
Poço Machadinho - Poço 03	34396/05	100,0	100,0	90,8	100,0	100,0	84,5	100,0	100,0	97
Poço Jordão - Poço 02	34392/05	100,0	100,0	77,1	100,0	89,2	100,0	100,0	100,0	93
Poço Jordão - Poço 03	34393/05	100,0	100,0	84,4	100,0	93,6	100,0	100,0	100,0	96
Poço Espaço Alfa - Poço I	33519/05	100,0	100,0	86,1	66,1	84,4	92,8	100,0	100,0	92
Poço Espaço Alfa - Poço II	33520/05	100,0	100,0	83,8	72,7	82,3	100,0	100,0	100,0	92
Poço Espaço Alfa - Poço III	33521/05	100,0	100,0	83,9	66,8	92,0	100,0	100,0	100,0	93
Poço Espaço Alfa - Poço IV	33522/05	100,0	71,1	80,3	55,1	89,2	100,0	100,0	100,0	89
Poço Espaço Alfa - Poço V	33523/05	100,0	100,0	84,4	84,7	84,4	100,0	100,0	100,0	93
Poço Espaço Alfa - Poço I	35432/06	100,0	100,0	80,5	100,0	90,5	94,7	100,0	100,0	94
Poço Espaço Alfa - Poço II	35433/06	100,0	100,0	82,2	71,3	97,1	100,0	55,9	100,0	91
Poço Espaço Alfa - Poço III	35434/06	100,0	95,4	80,0	67,3	97,1	100,0	57,9	100,0	90
Poço Espaço Alfa - Poço IV	35435/06	100,0	85,1	79,6	60,2	99,1	86,8	62,0	100,0	89
Poço Espaço Alfa - Poço V	35436/06	100,0	100,0	80,6	65,7	92,0	86,8	66,6	100,0	90

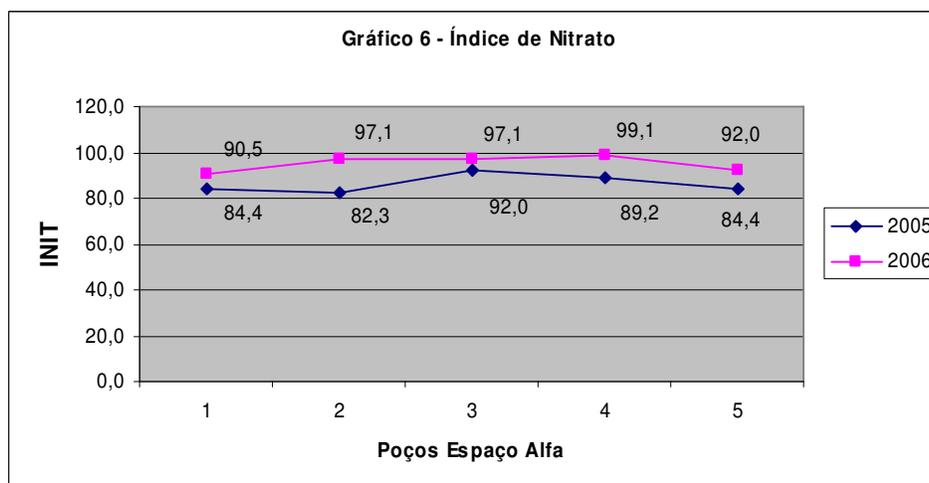
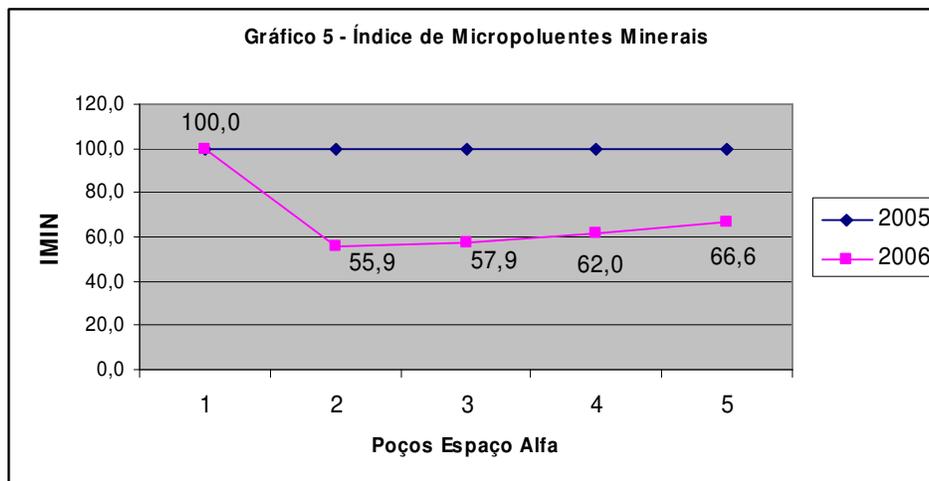
Como era esperado, haja vista a qualidade da água subterrânea explorada na região onde foram coletadas as amostras utilizadas na pesquisa, o IQUAS oscilou entre 89 e 94, indicando, portanto, qualidade Ótima em todo o conjunto pesquisado. O gráfico 4 apresenta os resultados dos Poços Espaço Alfa, no município de

Camaçari, onde se verifica um descaimento de qualidade entre os anos de 2005 e 2006 nos poços II, III, IV e V.



Um exame mais apurado desses resultados é apresentado nos gráficos 5 e 6 e demonstra que o descaimento decorre principalmente da queda acentuada no Índice de Micropoluentes Minerais, representado no IQUAS pela presença de teores inadequados de mercúrio (Hg), e de um discreto progresso no Índice de Nitrato. Como o Índice de Micropoluentes Minerais participa do IQUAS com um peso de 0,06 e o Índice de Nitrato possui um peso de 0,19, portanto três vezes maior, a variação desses dois elementos (Mercúrio e Nitrato): em direções contrárias e em magnitudes diferentes, não provocou mudanças no índice final - IQUAS.

Quanto aos resultados, eles podem representar uma tendência ou podem ser apenas ocorrências isoladas. No entanto, somente com a realização de séries temporais mais extensas pode-se inferir com segurança.



Em seguida, para melhor avaliar o efeito da variação de cada parâmetro no progresso e do descaimento do IQUAS, foram simuladas não conformidades para cada substância isoladamente, partindo-se de uma amostra padrão realizado no Poço IV - Espaço Alfa. Este ponto de coleta apresenta originalmente um IQUAS igual 89, portanto é um poço de qualidade ótima. Nas simulações realizadas, a qualidade oscila entre 0 e 89 de acordo com o parâmetro simulado, como apresentado na tabela 38.

Tabela 38 - Amostras Simuladas - Cálculo do IQUAS										
Pontos		Subíndices								IQUAS
Nome Categoria	Amostra	IBIO	IFEMN	IMS	IPS	INIT	IAMO	IMIN	IORG	
Poço Espaço Alfa - Poço IV	35435/06	100	85,1	79,6	60,2	99,1	86,8	66,2	100,0	89
Simula - Amônia		100	85,1	79,6	60,2	99,1	48,3	66,2	100,0	86
Simula - CTE		0	85,1	79,6	60,2	99,1	86,8	66,2	100,0	0
Simula - Cloreto		100	85,1	63,6	60,2	99,1	86,8	66,2	100,0	85
Simula - Dureza		100	85,1	61,8	60,2	99,1	86,8	66,2	100,0	85
Simula - Ferro		100	72,0	79,6	60,2	99,1	86,8	66,2	100,0	88
Simula - Fluoreto		100	85,1	78,3	60,2	99,1	86,8	66,2	100,0	89
Simula - Mercúrio		100	85,1	79,6	60,2	99,1	86,8	66,2	100,0	88
Simula - Manganês		100	48,4	79,6	60,2	99,1	86,8	66,2	100,0	86
Simula - Nitrato		100	85,1	79,6	60,2	47,2	86,8	66,2	100,0	77
Simula - pH		100	85,1	77,4	60,2	99,1	86,8	66,2	100,0	89
Simula - Sulfato		100	85,1	62,5	60,2	99,1	86,8	66,2	100,0	85
Simula - Turbidez		100	85,1	79,6	37,3	99,1	86,8	41,0	100,0	86
Simula - Benzeno		100	85,1	79,6	60,2	99,1	86,8	66,2	4,4	49

Este resultado se mostra bastante adequado aos propósitos do IQUAS.

Como era esperado: a não conformidade do Índice de Micropoluentes Orgânicos provocou um forte descaimento na qualidade do recurso com a perda de cinquenta pontos percentuais, do mesmo modo que a ocorrência de teores de Nitrato acima dos padrões estabelecidos foi responsável pela perda de doze pontos percentuais no IQUAS da amostra.

Entretanto o baixo Índice de Nitrogenados, representado pela Amônia, não causou queda representativa no índice final. A razão para isso se deve ao baixo peso atribuído a este grupo de alterações (0,06) no contexto geral do índice. É um resultado compatível para este elemento indicador, que deve ser acompanhado em conjunto com outros compostos nitrogenados.

Do mesmo modo os baixos valores individuais dos parâmetros que compõem o Índice de Mineralização e Salinidade (Cloreto, Dureza, Fluoreto, pH e Sulfato) também não provocaram mudanças substanciais no valor do IQUAS. Esta



Nessa simulação foi possível observar que teores elevados de Nitrato podem provocar redução significativa no valor do IQUAS, não obstante a água permanecer classificada como Ótima. Um exemplo se refere à amostra realizada no Poço Artesiano localizado no Largo da Sete Portas, cujo teor de Nitrato é de 18,0 mg NO<sub>3</sub>-N/L. O Índice de Nitrato da amostra é 44 e o IQUAS é 81, mostrando uma redução de 54 pontos no índice parcial e de 19 pontos no índice final, todavia com o semáforo de qualidade permanecendo inalterado.

Desse resultado é possível inferir que o peso dos índices intermediários é um item que pode ser ajustado para contemplar de forma mais acurada essas circunstâncias. Entretanto, devem ser ajustes finos, avaliados com bastante cuidado para que não comprometam os avanços obtidos com a formulação inicial. Essa oportunidade de mudança sugere estudos complementares que não fazem parte do presente trabalho.

## 9. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

### 9.1. Da Revisão Bibliográfica

A revisão bibliográfica dos índices de qualidade de água abrangeu o período desde a década de sessenta, quando foi elaborado o primeiro índice moderno, até o ano 2004 e encontrou quatorze formulações elaboradas em vários países: Alemanha, Estados Unidos, França, Índia, Brasil e outros.

Do conjunto de índices identificados somente dois deles foram elaborados exclusivamente para o compartimento subterrâneo: o índice SEQ - EAUX Souterraines, desenvolvido na França e o IQNAS - UFBA, desenvolvido em 2004. Entretanto, dos onze índices referentes às águas superficiais, um deles, o índice de Deininger, possui uma “versão modificada” para as águas subterrâneas, que na formulação para este compartimento acrescenta adequadamente os parâmetros Ferro e Fluoreto.

Embora a pesquisa tenha sido destinada à avaliação de mananciais (água bruta), excepcionalmente um dos índices revisado foi o IGQA-SABESP, voltado para avaliar a eficiência dos sistemas de tratamento (água distribuída) porque se mostrou bastante adequado ao modelo pensado para o IQUAS. Essa escolha decorreu de três fatores: o IGQA foi desenvolvido recentemente (ano 2000); possui o aval da maior concessionária de saneamento do país; e contempla o agrupamento de parâmetros em três conjuntos de dados. Estes agrupamentos correspondem a diferentes alterações de qualidade a água: parâmetros bacteriológicos; parâmetros

orgânicos ou inorgânicos que podem afetar a saúde da população; e parâmetros que podem interferir na qualidade organoléptica do recurso;.

De todas as possibilidades de agregação utilizadas nos quatorze índices (combinação linear, combinação ponderada, média geométrica, média ponderada, multiplicativa, operador mínimo e soma ponderada), foi escolhido o método multiplicativo. Esse método foi utilizado por vários pesquisadores: Brown (1970), Bhargava (1985), Dinius (1987), Ved Prakash (1990), CETESB (1975), SABESP (2000) e UFBA (2004). A agregação multiplicativa mostra-se bastante adequada, pois evita os problemas de “eclipse” e de “ambigüidade” presente nos outros métodos de agregação.

Com essas premissas e mais os resultados do exercício do painel Delphi, o IQUAS foi formulado e aplicado a quatorze amostras de água subterrânea de poços de produção da Embasa, monitorados pela empresa em atendimento às exigências da legislação pertinente.

Portanto o processo de revisão dos mais importantes Índices de Qualidade de Água disponíveis serviu para aprimorar conceitos relativos à construção de novos índices ou de outras ferramentas de consolidação de dados.

## **9.2. Do Processo de Construção IQUAS**

A aplicação do Método Delphi via rede mundial de computadores se mostrou bastante adequada aos propósitos deste estudo. O intercâmbio com os

respondentes foi muito positivo e enriquecedor, haja vista que alguns deles foram além do comprometimento pessoal e se tornaram multiplicadores, arregimentando novos pesquisadores para compor o grupo inicial de respondentes. Além disso, alguns painelistas responderam ao questionário da pesquisa e também enviaram dados completos sobre o monitoramento realizado nas instituições onde trabalham.

Entretanto, algumas dificuldades precisaram ser superadas, tais como: taxa de evasão dos respondentes e recusa de alguns convidados em participar do painel.

Quanto à taxa de evasão, embora considerada normal em comparação com outras experiências de aplicação do método, demanda algumas explicações. Em princípio, sugere-se que a facilidade proporcionada pela rede mundial possa ser uma justificativa. A rede, de um lado permite que o contato seja rápido e eficiente, mas em contrapartida, mantém o respondente afastado e o libera para executar outras tarefas em detrimento do compromisso assumido com a pesquisa. O tempo de permanência da pesquisa na rede também é outro componente importante, entretanto, não foi possível dimensionar o tempo ideal, ou saber se o período adotado foi suficiente, ou se houve escassez nos prazos estabelecidos.

A recusa de alguns especialistas em participar do painel, foi lamentável; até porque aqueles que declinaram do convite são técnicos que atuam na região onde estão localizados os mananciais que fazem parte do banco de dados da pesquisa os quais em muito poderiam contribuir. De toda maneira, o impacto da participação dessas pessoas na obtenção dos parâmetros e dos pesos também não pôde ser mensurado.

Além desses, outro aspecto da pesquisa merece ser debatido: a não inclusão de parâmetros considerados indicadores de poluição por produtos químicos, justamente

para um índice que será aplicado em aquíferos com forte presença de indústrias petroquímicas. Vale lembrar que, apenas o Benzeno obteve votos suficientes para compor a fórmula, tendo participado da mesma porque a equipe do trabalho julgou imprescindível a presença de pelo menos um parâmetro que representasse o grupo de micropoluentes orgânicos.

Duas razões podem explicar esta situação. A primeira delas seria uma inadequação no questionário da pesquisa. Julga-se que, se a pesquisa tivesse proposto, como parâmetros iniciais, todas as substâncias orgânicas preconizadas pela Resolução CONAMA Nº 357/05 para a Classe 1 - Águas Doces (Tabela I), os resultados poderiam ser diferentes e a resposta poderia indicar a inclusão de outras substâncias orgânicas.

A segunda justificativa se refere à escolha dos respondentes e a adequação do grupo aos objetivos da pesquisa. A julgar pela formação dos painelistas, o grupo se mostra bem equilibrado, com a presença de biólogos, engenheiros químicos, químicos e geólogos. Também estaria adequado se o julgamento recaísse em função do tipo de empresa nas quais atuam, pois setenta por cento dos respondentes da seleção de parâmetros são técnicos em empresas fornecedoras de água, vinte e três por cento em instituições de pesquisa e ensino, e apenas 0,2 % em outras atividades. Evidentemente que, com esses dados não se pode concluir se houve falha na seleção do grupo.

Portanto, fica inconcluso se a escolha dos painelistas foi inadequada, ou se o questionário foi insuficiente na proposta inicial dos parâmetros, ou ainda se os dois motivos contribuíram. Também não há como inferir se a seleção de parâmetros está

de fato incompleta, pois, não obstante essas ponderações, os resultados do IQUAS se mostraram adequados às águas subterrâneas da região.

### **9.3. Dos Resultados Obtidos para o IQUAS**

Os resultados obtidos para o IQUAS foram compatíveis com as características das águas explotadas na região de coleta das amostras, ou seja, encontraram-se valores na faixa de 80-100 (ótima) para águas que participam do abastecimento de cidades da Região Metropolitana de Salvador, distribuídas pela concessionária de águas e saneamento - Embasa. 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. Também o IQUAS se mostra válido para comunicar ao público em geral a qualidade da água de mananciais subterrâneos, da mesma forma como atualmente são comunicadas as informações sobre a qualidade dos mananciais superficiais através dos conhecidos IQA's. E mais que isso, pode ser incorporado ao conjunto de indicadores ambientais, ampliando-se assim a sua utilização.

A pesquisa conduziu a obtenção de resultados de aplicação prática imediata: é possível avaliar a qualidade da água subterrânea em um ponto de coleta e comunicar o resultado através do IQUAS.

Além disso, associando-se a faixa do valor do IQUAS às cores de qualidade, o resultado pode ser apresentado na forma de um semáforo indicativo, muito útil ao público leigo.

Entretanto, cabem-nos algumas reflexões sobre o processo de desenvolvimento do trabalho de pesquisa, como também algumas considerações sobre os limites e possibilidades desse instrumento. E finalmente, algumas recomendações para estudos complementares ao tema.

#### **9.4. Dos Limites e Possibilidades**

Embora um índice facilite a comunicação com o público, permita sintetizar informações em apenas um número, dentre outras vantagens e oportunidades do seu uso, devem-se ter certos cuidados na sua aplicação, como indicado abaixo:

- ✓ A disponibilidade de dados confiáveis é imprescindível. A falta de resultados para todos os parâmetros do IQUAS, inviabiliza a sua aplicabilidade. Além disso, devem ser tomados todos os cuidados para que as amostras sejam coletadas seguindo os mais rígidos controles para evitar contaminação ou inadequação do material; e para que os procedimentos de análises sigam os padrões aceitos internacionalmente.

- ✓ O índice deve ser parte de um sistema de indicadores. É uma informação importante, mas complementar. O IQUAS não deve ser a única fonte de informação que pode influenciar na tomada de decisões em relação ao manancial estudado. Todas as decisões devem ser integradas às dimensões econômicas e sociais relacionadas ao uso do recurso, atual e futuro. Além disso, é muito importante destacar que o aquífero é um componente significativo do ciclo hidrológico, e como

tal deve ser avaliado dentro de um contexto mais amplo. Além disso, é muito difícil estabelecer generalizações, pois cada sistema hídrico possui características únicas.

✓ Por ter sido elaborado por um grupo de especialistas o IQUAS é fruto de um consenso, o que o torna mais consistente em termos de agregar as variáveis mais representativas, mas em contrapartida, e por esta mesma razão, contempla subjetividade.

✓ E, finalmente, vale ressaltar que o índice tem validade finita, precisa ser revisto periodicamente, 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.

### **9.5. Das Recomendações**

O IQUAS comporta desdobramentos e pode ser ampliado para utilização como suporte à tomada de decisão. Uma oportunidade de ampliação é associá-lo à definição do contexto físico da localização do poço de modo que se possam inferir elementos para a decisão. Ou seja, podem-se incluir informações sobre as características de ocupação do solo e sobre a vulnerabilidade das formações à poluição, identificando se a presença de teores elevados de certas substâncias são ocorrências naturais ou são associadas à poluição. Por exemplo, os nitratos e hidrocarbonetos são inequivocamente associados à poluição, mas a presença de

alumínio, ferro e mesmo o manganês muitas vezes se deve à circulação das águas em contato com formações com estes elementos.

O índice também pode ter alterações em sua formulação para contemplar outros parâmetros não escolhidos ou a supressão de alguns parâmetros. Dessa maneira, pode ser ampliado ou simplificado para aplicação em regiões deficitárias, adequando-se às limitações impostas pela carência de recursos para realização de todos os parâmetros.

O IQUAS não estabelece em quais faixas de valores a água pode ser consumida sem tratamento, apenas com desinfecção; com tratamento simplificado; com tratamento convencional; ou ainda quando ela se mostra inviável para o tratamento. Portanto, a definição de qual o tipo de tratamento adequado para potabilizar a água enquadrada em cada uma das faixas de qualidade, é uma oportunidade de estudo complementar. Ou seja, o índice pode ser associado às formas de tratamento para águas que apresentam características diferenciadas em função da concentração de certos elementos, como por exemplo, águas com elevado teor de ferro.

O presente estudo abrangeu apenas o uso na produção de água para consumo humano, restando outros usos tais como: dessedentação de animais, irrigação, indústrias alimentares e outras indústrias, tendo em vista que, as condições de qualidade exigidas são diferentes para cada uso pretendido, como também são diferentes os parâmetros mais indicados para medi-las.

## REFERÊNCIAS

Abbasi, S. A.: 2002, 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. Disponível em [www.nih.ernet.in/general/Water%20Quality%20Indices.doc](http://www.nih.ernet.in/general/Water%20Quality%20Indices.doc). Acesso em: 07 Ago 2006.

AGUIAR, A. M.S.;LIBÂNIO, M. Proposta para estabelecimento de Índice de Avaliação da Qualidade da Água Distribuída. In: SIMPÓSIO ÍTALO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, VI.,2002, Vitória. **Anais eletrônicos VI SIBESA** Vitória: ABES,2002. Disponível em <<http://www.cepis.org>>. Acesso em: 26 Ago 2004.

BOAVENTURA E.M . **Metodologia da pesquisa: monografia, dissertação, tese** , São Paulo: Atlas, 2004

BRASIL. Decreto N.º 24.643, de 10 de Julho de 1934. Decreta o Código das Águas.

BRASIL. Decreto Nº 5.440, de 4 de Maio de 2005a. Estabelece definições e procedimentos sobre o controle de qualidade da água de sistemas de abastecimento e institui mecanismos e instrumentos para divulgação de informação ao consumidor sobre a qualidade da água para consumo humano.

BRASIL. Lei Federal Nº 6.938, de 31 de Agosto de 1981. Estabelece a Política Nacional do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação, constitui o Sistema Nacional do Meio Ambiente - SISNAMA e institui o Cadastro de Defesa Ambiental.

BRASIL. Lei Federal Nº 8.028, de 12 de Abril de 1990. Dispõe sobre a organização da Presidência da República e dos Ministérios e dá outras providências.

BRASIL. Lei Federal Nº 8.490, de 19 de Novembro de 1992. Dispõe sobre a organização da Presidência da República e dos Ministérios e dá outras providências.

BRASIL. Lei Federal Nº 9.433, de 8 de Janeiro de 1997. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, regulamenta o inciso XIX do art. 21 da Constituição Federal e altera o art. 1º da Lei nº 8.001, de 13 de março de 1990, que modificou a Lei nº 7.990, de 28 de dezembro de 1989.

BRASIL. Ministério da Saúde. ANVISA - Agência Nacional de Vigilância Sanitária - Resolução RDC nº 274, de 22 de setembro de 2005b - Aprova o "REGULAMENTO TÉCNICO PARA ÁGUAS ENVASADAS E GELO".

BRASIL. Ministério da Saúde. ANVISA - Agência Nacional de Vigilância Sanitária - Resolução RDC nº 275, de 22 de setembro de 2005c - Aprova o "REGULAMENTO TÉCNICO DE CARACTERÍSTICAS MICROBIOLÓGICAS PARA ÁGUA MINERAL NATURAL E ÁGUA NATURAL".

BRASIL. Ministério da Saúde. Portaria nº 82/GM, de 03 de janeiro de 2000a. "Estabelece o Regulamento Técnico para o funcionamento dos serviços de diálise e as normas para cadastramento destes junto ao Sistema Único de Saúde".

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 da Saúde. Secretaria de Vigilância em Saúde - Coordenação-Geral de Vigilância em Saúde Ambiental "Comentários sobre a Portaria MS nº 518/2004: subsídios para implementação" – Brasília: Editora do Ministério da Saúde, 2005d. 92 p,: il. – Série E. Legislação em Saúde.

BRASIL. Ministério da Saúde. Secretaria de Vigilância em Saúde - Coordenação-Geral de Vigilância em Saúde Ambiental "Vigilância em Saúde Ambiental, relacionada à qualidade da água para consumo humano – VIGIAGUA - "Relatório das Atividades – 1998 – 2005" – Brasília: Editora do Ministério da Saúde, 2005e. Disponível em [http://portal.saude.gov.br/portal/arquivos/pdf/relatorio\\_vigiagua.pdf](http://portal.saude.gov.br/portal/arquivos/pdf/relatorio_vigiagua.pdf) Acesso em: 8.Dez. 2006

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional de Recursos Hídricos - CNRH. Resolução Nº 12, de 19 de Julho de 2000. Estabelece procedimentos para o enquadramento de corpos de água em classes segundo os usos preponderantes. Publicada no D.O.U de 20 de julho de 2000b.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional de Recursos Hídricos - CNRH. Resolução Nº15, de 11 de Janeiro de 2001. Estabelece diretrizes gerais para a gestão de águas subterrâneas. Publicada no D.O.U de 22 de janeiro de 2001.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional de Recursos Hídricos - CNRH. Resolução Nº 22, de 24 de Maio de 2002. Estabelece diretrizes para inserção das águas subterrâneas no instrumento Planos de Recursos Hídricos. Publicada no D.O.U de 04 de julho de 2002.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA. MOÇÃO Nº 068 , DE 21 DE JUNHO DE 2005f. Para que seja criado

um grupo de trabalho para examinar e preparar propostas de resolução sobre a classificação e diretrizes ambientais para o enquadramento das águas subterrâneas.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA. Resolução N° 274, de 29 de Novembro de 2000c. Dispõe sobre a balneabilidade.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA. Resolução N° 357, de 17 de Março de 2005g. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA. Processo 02000.003671/2005-71 – Proposta de Resolução de 05 e 06 de fevereiro de 2007 - Dispõe sobre a classificação e diretrizes ambientais para o enquadramento das águas subterrâneas, bem como estabelece as condições e limites para o controle da aplicação de resíduos e efluentes em solos e dá outras providências.

BRASIL, Ministério do Meio Ambiente. Plano Nacional de Recursos Hídricos. Disponível em <http://pnrh.cnrh-srh.gov.br/>. Acesso em: 01 Out 2006.

BRIGGS, D.; Environmental Health Indicators: Framework And Methodologies. In: **Series Protection of the Human Environment Occupational and Environmental Health**, Geneva, 1999. Disponível em <http://www.who.int/ceh/publications/cehframework/en/> Acesso em: 20 Out. 2004.

CADILHAC, Laurent , ALBINET, Maurice (Coord). Système d'évaluation de la qualité des eaux souterraines - Rapport de présentation, Version 0, **Agences de l'eau et le Ministère de l'Ecologie 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 Jul. 2005.

CETESB - Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental (São Paulo – Brasil). Disponível em <<http://www.cetesb.sp.gov.br>> Acesso em: 28 de Ago 2004

COFIC – Comitê de Fomento Industrial de Camaçari. **Auditoria para Garantia da Qualidade dos Processos e dos dados de Monitoramento das Águas Subterrâneas que abastecem as comunidades de Camaçari, Dias D'Ávila e a exploração de águas minerais** – Relatório Final. 0308-RF-00-MA-01 R-01. Maio. 2005. Disponível em [http://www.seia.ba.gov.br/SGDIA/transarq/arquivos/Águas%20Subterrâneas/AVALIÇÃO%20DA%20QUALIDADE%20DAS%20ÁGUAS%20SUBTERRÂNEAS/ARQUIVO/Relatorio\\_Final\\_H2o\\_sub.pdf](http://www.seia.ba.gov.br/SGDIA/transarq/arquivos/Águas%20Subterrâneas/AVALIÇÃO%20DA%20QUALIDADE%20DAS%20ÁGUAS%20SUBTERRÂNEAS/ARQUIVO/Relatorio_Final_H2o_sub.pdf) Acesso em: 06 jun. 2005.

COMISSÃO EUROPEIA. A acção da UE a favor de uma água limpa. **Serviço das Publicações Oficiais das Comunidades Europeias**, Luxemburgo, 2000. 17 p. . 21 x 21 cm ISBN 82-828-4840-X. Disponível em [http://europa.eu.int/comm/environment/eufocus/clean\\_water\\_pt.pdf](http://europa.eu.int/comm/environment/eufocus/clean_water_pt.pdf) Acesso em: 14 Ago. 2005.

CPRM - Serviço Geológico do Brasil. **Perspectivas do Meio Ambiente para o Brasil – Uso do Subsolo**. Disponível em <http://www.cprm.gov.br/>. Acesso em: 01 Out 2006.

DALKEY, N. C. The Delphi Method: An Experimental Study Of Group Opinion, The Rand Corporation - Santa Monica - California, USA, Junho 1969

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.Nov.2006.

EPA - **Guia Para La Proteccion De Las Aguas Subterráneas** - EPA 440/6-90-004 - April 1990 – Disponível em <http://www.epa.gov/safewater/protect/citguisp.html> Acesso em 5.Ago.2004

EUROPA. Parlamento Europeu e Conselho da União Europeia. Directiva 2000/60/CE do Parlamento Europeu e do Conselho, de 23 de Outubro de 2000. Estabelece um quadro de acção comunitária no domínio político da água. Publicado em JO L327 de 22.12.2000, p.1

FERREIRA A, CUNHA C. Sustentabilidade ambiental da água consumida no Município do Rio de Janeiro, Brasil. Rev Panam Salud Publica. 2005; 18(1): 93–99.

FUNASA - FUNDAÇÃO NACIONAL DE SAÚDE Manual de Boas Práticas em Abastecimento de Água - Procedimentos para a Minimização de Riscos à Saúde, 2003. Brasília, 2003

FUNASA - FUNDAÇÃO NACIONAL DE SAÚDE, **Manual de Saneamento**, 2004. Brasília, 2004. 226p.

FURUKAWA, P. M. S.;FILHO, J.L. O impacto da nova resolução CONAMA20/86 no setor saneamento. **SANEAS**, v. 02, n.20, p. 15-16, abr. 2005.

GORDON, T. J. **The Delphi Method**, United Nations University, USA, 1994

HACH COMPANY. **The Use of Indicator Organisms to Assess Public Water Safety - Technical Information Series—Booklet No. 13**, USA. 1987, 1991, 1992, 2000

HELLER, L. BASTOS, R.K.X. PINTO, V.G.PÁDUA, V.L.; Terceira Edição das Diretrizes da Organização Mundial da Saúde: Que Impacto Esperar na Portaria 518/2004?. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 23º, 2005 Campo Grande. **Anais eletrônicos 23º Congresso ABES** Campo Grande: ABES, 2005.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Pesquisa Nacional de Saneamento Básico - 2000**. Rio de Janeiro: IBGE, 2002. CDRom.

IPIB, Internet Produto Interno Bruto. Disponível em <<http://www.ipib.com.br/>> Acesso em: 05 Ago 2005.

LEMOS, W.S. Gestão de Competências: A utilização do Método Delphi em um Estudo de Caso. In: **Congresso Nacional de Gestão do Conhecimento**. São Paulo, 2003.

MACIEL JR., P. **Zoneamento das Águas – um instrumento de gestão dos recursos hídricos**. 1ª edição. Belo Horizonte, RC Editora Gráfica, 2000

MARINHO, M. M. O. ,SANTANA, R. A., PIMENTEL, R. M. C., AGRA FILHO S. S., LOUREIRO, A., GARRIDO, E., PEREIRA F. **Indicadores de sustentabilidade ambiental / Superintendência de Estudos Econômicos e Sociais da Bahia e Universidade Federal da Bahia**. – Salvador:SEI, 2006. Disponível em [http://www.sei.ba.gov.br/publicacoes/publicacoes\\_sei/bahia\\_analise/sep/pdf/sep\\_75/indicadores\\_sustenta\\_ambiental.pdf](http://www.sei.ba.gov.br/publicacoes/publicacoes_sei/bahia_analise/sep/pdf/sep_75/indicadores_sustenta_ambiental.pdf) Acesso em 26.Fev.2007

MESTRINHO, S.S.P; **Contaminação das Águas Subterrâneas – Material Exclusivo para Treinamento**. Salvador, 1997. 63p.

MIQUEL, M. G. **Rapport sur la qualité de l'eau et de l'assainissement en France** Paris : Assemblée Nationale; Paris Sénat, 2003.- 98 p., tabl., graph - Rapport d'information. n° 705; 01/03/2003

MUELLER, C.C.; **As estatísticas e o meio ambiente (Textos para discussão)**, Instituto Sociedade População e Natureza. Brasília, 1991, 72 p

NAHAS, M.I. P; **Bases Teóricas, metodologia de elaboração e aplicabilidade de indicadores intra-urbanos da gestão municipal de vida urbana em grandes cidades: o caso de Belo Horizonte**. São Carlos, UFSCAR, 2002

NSF – NATIONAL SANITATION FOUNDATION. Disponível em <<http://www.nsf.org>> Acesso em: 28 Ago 2004.

OLIVEIRA, I.B., NEGRÃO, F.I., ROCHA, T.S.; **Determinação do Índice de Qualidade da Água – IQAS, com base nos dados de poços tubulares do estado da Bahia: Áreas Piloto: Recôncavo e Platô de Irecê** - Cuiabá – MT XIII Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas 19-22 Outubro, 2004.

OPAS - Organização Pan-Americana da Saúde. **Saúde e Ambiente. Informação para Decisão** Disponível em <http://www.opas.org.br/ambiente/temas.cfm?id=53&Area=Documentos> Acesso em : 05 Ago 2005.

PMSS, Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento: visão geral da prestação dos serviços de água e esgotos – 2004– Brasília: MCIDADES. SNSA, 2005. Disponível em

[http://www.snis.gov.br/arquivos\\_snis/5\\_DIAGNOSTICOS/5.3\\_Visao\\_geral/5.3.4\\_Visao%20Visao%20](http://www.snis.gov.br/arquivos_snis/5_DIAGNOSTICOS/5.3_Visao_geral/5.3.4_Visao%20Visao%20)Acesso em 6 Dez 2006

PNMA, ÍNDICE E INDICADORES DE QUALIDADE DA ÁGUA – REVISÃO DA LITERATURA Disponível em <http://www.cprh.pe.gov.br/downloads/indice-agua-volume1.pdf> Acesso em 15-jul-2006.

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.

PRATI, L; PAVANELLO, R; PESARIN, F **Assessment of Surface Water Quality by a Single Index of Pollution Water Research, Vol 5, No 9, P 741-751, September 1971. 10 Fig, 3 Tab, 10 Ref** Disponível em [www.csa.com/partners/viewrecord.php%3Frequester%3Dgs%26collection%3DEV%26recid%3D7200577](http://www.csa.com/partners/viewrecord.php%3Frequester%3Dgs%26collection%3DEV%26recid%3D7200577) Acesso em: 27 Out 2006.

PRIANTI JUNIOR, N.G., AROUCA, J.; LACAVA, P.M. Redução de ferro e manganês na água: solução para o consumidor. **Revista Meio Filtrante**. Ano1, nº3. Out/nov/dez/2003.p.8-9.

RAND CORPORATION. **Futures Methodologies** Disponível em <<http://www.rand.org/pardee/futures/methodologies.html>> Acesso em: 16 Jul 2005.

SARGAONKAR, A; DESHPANDE, Y **Development of an Overall Index of Pollution for Surface Water Based on a General Classification Scheme in Indian Context, Source: Environmental Monitoring and Assessment**, Volume 89, Number 1, November 2003, pp. 43-67(26)

SCOPEL, R, TEIXEIRA, E, BINOTTO, R B. **Hydrochemical characterization of groundwaters in projected hydroelectric power plant areas: Taquari-Antas Basin/RS, Brazil. Quím. Nova**. [online]. May/June 2005, vol.28, nº.3 [cited 03 June 2006], p.383-392. Available from World Wide Web:

<[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0100-40422005000300004&lng=en&nrm=iso](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-40422005000300004&lng=en&nrm=iso)>. ISSN 0100-4042

SILVA, R C A S, ARAÚJO, T M. **Qualidade da água do manancial subterrâneo em áreas urbanas de Feira de Santana (BA)**. *Ciência e Saúde Coletiva* vol 8, nº.4 p.1019-1028, 2003

SMITH, D. G; **new form of water quality index for rivers and streams**. *Water Science & Technology [WATER SCI. TECHNOL.]*. Vol. 21, no. 2, pp. 123-127. 1989.. Disponível em <http://www.csa.com/partners/viewrecord.php%3Frequester%3Dgs%26collection%3DENV%26recid%3D2152675> Acesso em:18 Nov.2006

TOLEDO, L. G.; NICOLELLA, G. Indicadores de Qualidade de Água em Microbacia sob Uso Agrícola e Urbano. *Scientia Agrícola*, v. 59, n.1, p. 181-186, jan/mar. 2002.

WHO - WORLD HEALTH ORGANIZATION - **Nitrate and nitrite in Drinking-water** - Background document for development of WHO *Guidelines for Drinking-water Quality* - 2nd ed. Addendum to Vol. 2. *Health criteria and other supporting information*. World Health Organization, Geneva, 1998. Disponível em [http://www.who.int/water\\_sanitation\\_health/](http://www.who.int/water_sanitation_health/) Acesso em: 24 Fev.2006

WHO - WORLD HEALTH ORGANIZATION. *WHO - Guidelines for drinking - water quality*, 3rd ed. Geneva: WHO, 2004a. 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 Fev.2006

WHO - WORLD HEALTH ORGANIZATION. *Rolling Revision of the WHO - Guidelines for Drinking-Water Quality - Protecting Groundwater for Health: Managing the Quality of Drinking-water Sources*. Geneva: WHO, 2004b. Disponível em [http://www.who.int/water\\_sanitation\\_health/resourcesquality/groundwater2004/en/](http://www.who.int/water_sanitation_health/resourcesquality/groundwater2004/en/) Acesso em: 24 Fev.2006

ZOBY, J. L.G.; OLIVEIRA, F. R.; Panorama da Qualidade das Águas Subterrâneas no Brasil. **Agência Nacional de Águas – Ministério do Meio Ambiente - Superintendência de Planejamento de Recursos Hídricos - Superintendência de Conservação de Água e Solo**, Brasília, Maio.2005. Disponível em [http://www.ana.gov.br/pnrh\\_novo/documentos/02b%20Panorama%20da%20Qualidade%20C1guas%20Subterr%2Eneas/VF%20Qualidade%20AguasSubterraneas.pdf](http://www.ana.gov.br/pnrh_novo/documentos/02b%20Panorama%20da%20Qualidade%20C1guas%20Subterr%2Eneas/VF%20Qualidade%20AguasSubterraneas.pdf) Acesso em: 18 Abr.2006

## APÊNDICES

APÊNDICE A - Padrões de Qualidade de Água Portaria N°518/04 X Resolução  
CONAMA N°357/05 X 3thGDWQ

Apêndice A - Padrões de Qualidade de Água: Portaria Nº518/04 X Resolução CONAMA Nº357/05 X 3thGDWQ

Portaria 518/2004 - Pdrões de Potabilidade			Resolução CONAMA 357/2005 - Águas Doces - Classe 2		Recomendações GDWQ
PARÂMETRO	UNIDADE	VMP(1)	Parâmetro	Valor Máximo	
<b>INORGÂNICAS</b>			<b>Parâmetros Inorgânicos</b>		
Antimônio	mg/L	0,005	Antimônio	0,005mg/L Sb	0.02 mg/litre
Arsênio	mg/L	0,01	Arsênio total	0,01 mg/L As	0.01 mg/litre
Bário	mg/L	0,7	Bário total	0,7 mg/L Ba	0.7 mg/litre
			Berílio total	0,04 mg/L Be	
			Boro total	0,5 mg/L B	0.5 mg/litre
Cádmio	mg/L	0,005	Cádmio total	0,001 mg/L Cd	0.003 mg/litre
Cianeto	mg/L	0,07	Cianeto livre	0,005 mg/L CN	0.07 mg/litre
Chumbo	mg/L	0,01	Chumbo total	0,01mg/L Pb	
			Cloro residual total (combinado + livre)	0,01 mg/L Cl	
			Cobalto total	0,05 mg/L Co	
Cobre	mg/L	2	Cobre dissolvido	0,009 mg/L Cu	
Cromo	mg/L	0,05	Cromo total	0,05 mg/L Cr	0.05 mg/litre
Fluoreto(2)	mg/L	1,5	Fluoreto total	1,4 mg/L F	
			Fósforo total (ambiente lêntico)	0,030 mg/L	
			Fósforo total (ambiente intermediário, com tempo de residência entre 2 e 40 dias, e tributários diretos de ambiente lêntico)	0,050 mg/L	
			Lítio total	2,5 mg/L Li	
Mercúrio	mg/L	0,001	Mercúrio total	0,0002 mg/L Hg	
			Níquel total	0,025 mg/L Ni	
Nitrato (como N)	mg/L	10	Nitrato	10,0 mg/L N	
Nitrito (como N)	mg/L	1	Nitrito	1,0 mg/L N	
			Prata total	0,01 mg/L Ag	
Selênio	mg/L	0,01	Selênio total	0,01 mg/L Se	
			Urânio total	0,02 mg/L U	
			Vanádio total	0,1 mg/L V	
<b>ORGÂNICAS</b>			<b>Parâmetros orgânicos</b>		
Acrilamida	µg/L	0,5	Acrilamida	0,5 µg/L	0.5 µg/L
Benzeno	µg/L	5	Benzeno	0,005 mg/L	0.01 mg/litre
			Benzidina	0,001 µg/L	
			Benzo(a)antraceno	0,05 µg/L	
Benzo[a]pireno	µg/L	0,7	Benzo(a)pireno	0,05 µg/L	
			Benzo(b)fluoranteno	0,05 µg/L	
			Benzo(k)fluoranteno	0,05 µg/L	
			Carbaril	0,02 µg/L	

Apêndice A - Padrões de Qualidade de Água: Portaria Nº518/04 X Resolução CONAMA Nº357/05 X 3thGDWQ

Portaria 518/2004 - Pdrões de Potabilidade			Resolução CONAMA 357/2005 - Águas Doces - Classe 2		Recomendações GDWQ
PARÂMETRO	UNIDADE	VMP(1)	Parâmetro	Valor Máximo	
<b>INORGÂNICAS</b>			<b>Parâmetros Inorgânicos</b>		
			2-Clorofenol	0,1 µg/L	
			Criseno	0,05 µg/L	
			Demeton (Demeton-O + Demeton-S)	0,1 µg/L	
			Dibenzo(a,h)antraceno	0,05 µg/L	
Cloreto de Vinila	µg/L	5			
1,2 Dicloroetano	µg/L	10	1,2-Dicloroetano	0,01 mg/L	0.030 mg/litre
1,1 Dicloroetano	µg/L	30	1,1-Dicloroetano	0,003 mg/L	0.03 mg/litre
			2,4-Diclorofenol	0,3 µg/L	
Diclorometano	µg/L	20	Diclorometano	0,02 mg/L	
Estireno	µg/L	20	Estireno	0,02 mg/L	
			Fenóis totais (substâncias que reagem com 4-aminoantipirina)	0,003 mg/L C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> OH	
Tetracloroeto de Carbono	µg/L	2	Tetracloroeto de carbono	0,002 mg/L	
			Toxafeno	0,01 µg/L	
			2,4,5-T	2,0 µg/L	
			2,4,5-TP	10,0 µg/L	
			Tributilestanho	0,063 µg/L TBT	
			Triclorobenzeno (1,2,3-TCB + 1,2,4-TCB)	0,02 mg/L	
Triclorobenzenos	µg/L	20			
Tricloroetano	µg/L	70	Tricloroetano	0,03 mg/L	
<b>AGROTÓXICOS</b>					
Alaclor	µg/L	20	Alacloro	20 µg/L	0.02 mg/litre
Aldrin e Dieldrin	µg/L	0,03	Aldrin + Dieldrin	0,005 µg/L	0.03µg/L
Atrazina	µg/L	2	Atrazina	2 µg/L	0.002 mg/litre
Bentazona	µg/L	300			
Clordano (isômeros)	µg/L	0,2	Clordano (cis + trans)	0,04 µg/L	0.2 µg/L
2,4 D	µg/L	30	2,4-D	4,0 µg/L	0.03 mg/litre
			DDT (p,p'-DDT + p,p'-DDE + p,p'-DDD)	0,002 µg/L	
DDT (isômeros)	µg/L	2			0.001 mg/litre
			Dodecacloro pentaciclodecano	0,001 µg/L	
Endossulfan	µg/L	20	Endossulfan (α + β + sulfato)	0,056 µg/L	
Endrin	µg/L	0,6	Endrin	0,004 µg/L	
Glifosato	µg/L	500	Glifosato	65 µg/L	
			Gution	0,005 µg/L	
Heptacloro e Heptacloro epóxido	µg/L	0,03	Heptacloro epóxido + Heptacloro	0,01 µg/L	
Hexaclorobenzeno	µg/L	1	Hexaclorobenzeno	0,0065 µg/L	
			Indeno(1,2,3-cd)pireno	0,05 µg/L	
Lindano ( -BHC)	µg/L	2	Lindano (γ-HCH)	0,02 µg/L	
			Malation	0,1 µg/L	

Apêndice A - Padrões de Qualidade de Água: Portaria Nº518/04 X Resolução CONAMA Nº357/05 X 3thGDWQ

Portaria 518/2004 - Pdrões de Potabilidade			Resolução CONAMA 357/2005 - Águas Doces - Classe 2		Recomendações GDWQ
PARÂMETRO	UNIDADE	VMP(1)	Parâmetro	Valor Máximo	
<b>INORGÂNICAS</b>			<b>Parâmetros Inorgânicos</b>		
Metolacloro	µg/L	10	Metolacloro	10 µg/L	
Metoxicloro	µg/L	20	Metoxicloro	0,03 µg/L	
Molinato	µg/L	6			
			Paration	0,04 µg/L	
			PCBs - Bifenilas policloradas	0,001 µg/L	
Pendimetalina	µg/L	20			
Pentaclorofenol	µg/L	9	Pentaclorofenol	0,009 mg/L	
Permetrina	µg/L	20			
Propanil	µg/L	20			
Simazina	µg/L	2	Simazina	2,0 µg/L	
			Substâncias tensoativas que reagem com o azul de metileno	0,5 mg/L LAS	
Trifluralina	µg/L	20	Trifluralina	0,2 µg/L	
<b>CIANOTOXINAS</b>					
Microcistinas(3)	µg/L	1			
<b>DESINFETANTES E PRODUTOS DA DESINFECÇÃO</b>					
Bromato	mg/L	0,025			
Clorito	mg/L	0,2			0.7 mg/litre
Cloro livre (4)	mg/L	5			
Monocloramina	mg/L	3			
2,4,6 Triclorofenol	mg/L	0,2	2,4,6-Triclorofenol	0,01 mg/L	0.2 mg/litre
Trihalometanos Total	mg/L	0,1			
<b>TABELA 5</b>					
Alumínio	mg/L	0,2			0.2 mg/litre
			Alumínio dissolvido	0,1 mg/L Al	
Amônia (como NH <sub>3</sub> )	mg/L	1,5			
			Nitrogênio amoniacal total	3,7mg/L N, para pH ≤ 7,5 2,0 mg/L N, para 7,5 < pH ≤	
Cloreto	mg/L	250	Cloreto total	250 mg/L Cl	250 mg/litre
Cor Aparente	uH <sup>(2)</sup>	15			5
Dureza	mg/L	500			500
Etilbenzeno	mg/L	0,2	Etilbenzeno	90,0 µg/L	
Ferro	mg/L	0,3	Ferro dissolvido	0,3 mg/L Fe	0,3
Manganês	mg/L	0,1	Manganês total	0,1 mg/L Mn	0,1
Monoclorobenzeno	mg/L	0,12			
Odor	-	Não objetável <sup>(3)</sup>			Não objetável(3)

**Apêndice A - Padrões de Qualidade de Água: Portaria Nº518/04 X Resolução CONAMA Nº357/05 X 3thGDWQ**

Portaria 518/2004 - Pdrões de Potabilidade			Resolução CONAMA 357/2005 - Águas Doces - Classe 2		Recomendações GDWQ
PARÂMETRO	UNIDADE	VMP(1)	Parâmetro	Valor Máximo	
<b>INORGÂNICAS</b>			<b>Parâmetros Inorgânicos</b>		
Gosto	-	Não objetável <sup>(3)</sup>			Não objetável(3)
Sódio	mg/L	200			
Sólidos dissolvidos totais	mg/L	1.000			1000
Sulfato	mg/L	250	Sulfato total	250 mg/L SO <sub>4</sub>	200
Sulfeto de Hidrogênio	mg/L	0,05	Sulfeto (H <sub>2</sub> S não dissociado)	0,002 mg/L S	
Surfactantes	mg/L	0,5			
Tolueno	mg/L	0,17	Tolueno	2,0 µg/L	
Turbidez	UT <sup>(4)</sup>	5	Turbidez	100 UT	5
Zinco	mg/L	5	Zinco total	0,18 mg/L Zn	5
Xileno	mg/L	0,3	Xileno	300 µg/L	
<b>NOTAS:</b>					
(A) Classe 2 - águas destinadas ao abastecimento para consumo humano, após tratamento convencional;					
(B) Tabela 5 - Padrão de Aceitação para Consumo Humano					
(1) Valor máximo permitido.					
(2) Unidade Hazen (mg Pt-Co/L).					
(3) Critério de referência					
(4) Unidade de turbidez.					

APÊNDICE B - RELAÇÃO DE RESPONDENTES

## Apêndice B - Relação de Respondentes

### Participantes das Primeira e Segunda Rodada do Painel DELPHI-IQUAS

#### Nome, Formação, Titulação.

- \* \* Alexandre de Castro Oliveira, Química, Especialização.
- \* \* Beatriz Celina Couto, Biologia, Mestrado.
- \* Benedito Bezerra de Alencar, Engenharia Química, Graduação.
- \* \* Carolina Magalhães Soto, Biologia, Graduação.
- \* \* Cláudia Morato Álvares, Engenharia Química, Doutorado.
- \* Cristovaldo Bispo dos Santos, Geologia, Mestrado.
- \* \* Edson Salvador Ferreira, Engenharia Meio Ambiente, Graduação.
- \* \* Eduardo Bertoletti, Biologia, Doutorado.
- \* Flávio B Bezerra, Engenharia Química, Mestrado.
- \* \* Francisco Negrão, Geologia, Mestrado.
- \* Gerson Cardoso da Silva Júnior, Geologia, Doutorado.
- \* Godofredo Correia Lima, Geologia, Graduação.
- \* João Marcelo G. Coelho, Engenharia, Graduação.
- \* Joelson Borges, Química, Graduação.
- \* \* José Elói Guimarães Campos, Geologia, Doutorado.
- \* \* Júlio César Matogrosso, Química, Graduação.
- \* \* Leocádio Alves Pereira, Engenharia Elétrica, Especialização.
- \* \* Luciano Menezes Maia, Química, Graduação.
- \* Luciano Vianna, Geologia, Especialização.
- \* Luís Carlos C Souza, Biologia, Graduação.
- \* \* Márcia Kauark Amoedo, Engenharia Química, Especialização.
- \* Marco Antonio Lima Peixinho, Geologia, Especialização.
- \* \* Martha Lúcia Theophilo Costa, Biologia, Especialização.
- \* Noelson Dória de Aquino, Química, Graduação
- \* \* Raimundo Bezerra Lopes Neto, Química, Especialização.
- \* \* Ricardo Cosme A Moreira, Química, Mestrado.
- \* \* Roberto Márcio Macedo dos Santos, Geologia, Graduação.
- \* \* Sérgio Augusto de Moraes Nascimento, Geologia, Mestrado
- \* \* Sonia Rebouças Rosado, Química, Graduação.
- \* Suely Schuartz Pacheco Mestrinho, Química Industrial, Doutorado.

Legenda: Exercício Completo (\*\*), Primeira Etapa (\*)

APÊNDICE C - Carta Convite para participação no Painel DELPHI-IQUAS

Salvador,

Prezado (a) Senhor (a):

Estou conduzindo pesquisa acadêmica com o objetivo de estabelecer um indicador de avaliação da qualidade de águas subterrâneas em ambientes submetidos a impactos ambientais negativos, para finalizar minha dissertação de mestrado. O resultado pretendido com este trabalho é a formulação do Índice de Qualidade de Uso das Águas Subterrâneas (IQUAS).

Será adotado o Método Delphi como técnica para seleção dos parâmetros que irão compor o índice, bem como o estabelecimento de "notas" e respectivos pesos. Este método se caracteriza pelo anonimato e pela busca do consenso entre as respostas obtidas aos questionários formais que serão enviados ao painel de respondentes.

Assim, considerando vossa reconhecida experiência no tema, gostaríamos de convidá-lo (a) a participar do grupo de respondentes que contribuirão com o referido painel, e agradecemos antecipadamente sua valiosa contribuição.

Por oportuno, solicitamos que caso aceite este convite, responda este e-mail confirmando sua participação. E caso possa ajudar indicando técnicos para compor o painel de respondentes, ficaria grata pela iniciativa.

Muito atentiosamente,

Rosa Alencar Santana de Almeida  
[ralencar@ufba.br](mailto:ralencar@ufba.br)

Mestranda em Engenharia Ambiental Urbana  
Escola Politécnica - Universidade Federal da Bahia

APÊNDICE D - Carta de confirmação do painalista no Painel DELPHI - IQUAS -  
Primeira Rodada

Salvador, Setembro de 2006.

Caro membro do grupo,

Prezado (a) Senhor (a)

Agradecemos sua disposição em aceitar o convite para participar do grupo de respondentes que contribuirão com o Painel Delphi para a formulação do Índice de Qualidade de Uso da Água Subterrânea (IQUAS), instrumento importante para a gestão dos recursos hídricos.

Este Painel Delphi faz parte da pesquisa desenvolvida no âmbito do Programa de Mestrado em Engenharia Ambiental Urbana, sob orientação da Professora Iara Brandão de Oliveira, PhD em Engenharia Ambiental, do Departamento de Engenharia Ambiental da Universidade Federal da Bahia, contando com apoio técnico da Empresa Baiana de Águas e Saneamento – EMBASA, empresa concessionária de água e esgotos do Estado da Bahia, através do fornecimento de dados de análises bacteriológicas e físico-químicas de águas subterrâneas. Esta pesquisa foi planejada em três fases:

Na primeira fase foi desenvolvido um marco teórico referente aos seguintes temas: construção de indicadores ambientais; metodologia Delphi; e avaliação de qualidade das águas subterrâneas. Esta pesquisa bibliográfica serviu de base para elaboração do questionário referente à segunda fase do estudo. Em anexo, de forma resumida, apresentamos alguns conceitos com base no marco teórico construído, que você pode consultar caso deseje.

A segunda fase da pesquisa corresponde ao levantamento de opiniões e julgamentos, através do questionário que vai em anexo, sobre a avaliação da condição da água subterrânea, com vistas ao atendimento das exigências de qualidade para alguns usos selecionados. As respostas deste primeiro questionário serão tabuladas e receberão o tratamento estatístico necessário.

Uma vez recebidos e tratados estatisticamente os dados deste primeiro questionário, os resultados serão devolvidos aos participantes do painel Delphi para que reavaliem suas respostas à luz do conjunto de respostas do grupo. Feita esta reavaliação, e processados os novos dados, o procedimento somente se repetirá se houver necessidade, para que o consenso seja estabelecido.

Na terceira e última fase, os resultados do consenso serão compartilhados com os participantes para que façam seus comentários finais, se assim o desejarem.

Para proceder ao preenchimento do questionário a melhor opção é fazer o *download* (ou Salvar Anexo) da planilha **DELPHI-IQUAS** (arquivo: DELPHI-IQUAS-1raRodada.xls) e do texto explicativo (arquivo: Leiam-IQUAS-PrimeiraRodada.doc). Preencha o questionário de acordo com o seu julgamento, e envie-o como um documento anexo para um destes endereços: [ralencar@ufba.br](mailto:ralencar@ufba.br) ou [rosaalencar@gmail.com](mailto:rosaalencar@gmail.com)

Em atendimento às premissas da Metodologia Delphi nenhuma identificação dos respondentes será feita, mas os que responderem ao painel serão listados como participantes.

Atenciosamente,

Rosa Alencar Santana de Almeida

[ralencar@ufba.br](mailto:ralencar@ufba.br)

Mestranda em Engenharia Ambiental Urbana

Escola Politécnica - Universidade Federal da Bahia

APÊNDICE E - Formulação do Índice de Qualidade de Uso da Água Subterrânea (IQUAS)

# Formulação do Índice de Qualidade de Uso da Água Subterrânea (IQUAS)

Este primeiro questionário está dividido em quatro seções. Na primeira solicitamos aos respondentes que preencham o seu perfil. Nas segunda e terceira seções são apresentados um resumo da Metodologia Delphi e as justificativas para a formulação do Índice de Qualidade de Uso da Água Subterrânea (IQUAS). E na quarta e última seção estão as instruções para o preenchimento da planilha com as questões.

## 1ª Seção – Perfil dos Respondentes

Por favor preencha primeiramente os dados abaixo para que seja traçado o perfil dos respondentes do Painel Delphi ; bem como para que possamos enviar os resultados obtidos no painel:

<u>Nome :</u>	
<u>e-mail preferencial para respostas :</u>	
<u>Formação Acadêmica :</u>	
<u>Maior Titulação :</u>	
<u>Setor Empregatício :</u>	
<input type="checkbox"/> <u>Governo</u>	<input type="checkbox"/> <u>Organizações sem fins lucrativos</u>
<input type="checkbox"/> <u>Negócios</u>	<input type="checkbox"/> <u>Organismos Internacionais</u>
<input type="checkbox"/> <u>Universidade</u>	<input type="checkbox"/> <u>Consultor independente</u>
<u>Empresa / Instituição :</u>	
<u>Unidade da Federação :</u>	
<u>País :</u>	

## 2ª Seção – Técnica DELPHI

A técnica DELPHI<sup>1</sup> é um método para extrair e refinar julgamentos de um grupo. As primeiras aplicações da técnica DELPHI foram para a área de tecnologia, previsão de novas tecnologias e os impactos sociais e econômicos decorrentes das mudanças tecnológicas. As áreas de aplicação foram ampliadas e, atualmente, a técnica é aplicada na indústria, na propaganda, e também na academia.

Esta técnica não requer reuniões presenciais entre os participantes, desse modo é possível conduzir pesquisas com técnicos residentes em diferentes áreas geográficas.

O método Delphi possui três características básicas:

- Respostas anônimas: as opiniões dos membros do grupo são obtidas através de questionários formais;
- Repetição e controle de avaliação: a interação é efetuada por um exercício sistemático administrado em várias repetições, com avaliação controlada entre as rodadas;
- Respostas estatísticas do grupo: na rodada final, a opinião de grupo é definida como consenso de opiniões individuais.

É importante ressaltar que, sendo o consenso estabelecido de forma estatística, a opinião de todos os membros do grupo estará representada na resposta final.

## 3ª Seção – Índices de Qualidade de Águas

Os índices de qualidade de água buscam caracterizar a qualidade do recurso hídrico e permitem uma visão global e imediata do estado do recurso. São muitos os índices propostos para exprimir a qualidade das águas superficiais, adequados aos diversos ambientes. Entretanto, existem lacunas no que se refere a estudos para determinação de índices de qualidade para águas subterrâneas.

A formulação de índices de qualidade de água para aquíferos subterrâneos merece atenção, especialmente nos casos de aquíferos localizados em ambientes urbanos, submetidos as mais variadas intervenções antrópicas, como uso inadequado do solo e variadas formas de poluição pontual.

Os resultados de análises físico-químicas e bacteriológicas de coletas realizadas nestes locais normalmente são apresentados na forma de laudos de análises laboratoriais, documentos pouco amigáveis para o público leigo. Uma outra forma de apresentar resultados, muito utilizada para monitoramento e pesquisa, são os gráficos de Collins, Stiff, e Piper<sup>2</sup>.

---

<sup>1</sup> DALKEY, N. C. The Delphi Method: An Experimental Study Of Group Opinion, The Rand Corporation - Santa Monica - California, USA, Junho 1969 GORDON, T. J. **The Delphi Method**, United Nations University, USA, 1994

<sup>2</sup> OLIVEIRA, I.B., NEGRÃO, F.I., ROCHA, T.S.; **Determinação do Índice de Qualidade da Água – IQAS, com base nos dados de poços tubulares do estado da Bahia: Áreas Piloto: Recôncavo e Platô de Irecê** - Cuiabá – MT XIII Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas 19-22 Outubro, 2004.

As duas representações são restritivas na visualização de resultados e não oferecem facilidade para interpretação dos dados apresentados.

Por outro lado, a simples utilização dos índices disponíveis para qualificar aquíferos superficiais não é adequada. As águas superficiais sofrem ações que não são reproduzidas nos mananciais subterrâneos, do mesmo modo que estes são submetidos a outros tipos de contaminações. Além do que a química das águas subterrâneas possui características próprias do seu meio.

Este cenário demanda o desenvolvimento de índices específicos para qualificar as águas subterrâneas. Como se sabe, as características químicas das águas subterrâneas refletem os meios pôr onde percolam, tal que tanto guardam relação com o tipo de rocha drenada, quanto com as substâncias relacionadas com as atividades humanas exercidas no seu trajeto. Assim, nos aquíferos localizados em áreas urbanas são encontradas substâncias relacionadas à descarga de poluentes, esgotos domésticos e postos de combustíveis, dentre outros.

A formulação do Índice de Qualidade de Uso da Água Subterrânea (IQUAS), pretendida através deste trabalho, objetiva suprir a necessidade de um índice que facilmente revele a qualidade do recurso hídrico subterrâneo. Para isto o índice deve contemplar os parâmetros mais representativos da qualidade natural das águas subterrâneas, bem como os parâmetros típicos indicadores da presença de atividades antrópicas: rural, urbana e industrial.

#### **4ª Seção – Instruções para preenchimento da planilha DELPHI-IQUAS**

Para elaboração do questionário foram adotadas algumas definições:

**ALTERAÇÕES** : São grupos de parâmetros de mesma natureza ou de mesmo efeito (ex.: sabor e odor, mineralização e salinidade) que permitem descrever a condição de qualidade da água. De acordo com os usos, alguns parâmetros podem ser mais aplicáveis para qualificar a mudança. Em toda alteração e para todo uso, é possível distinguir os parâmetros obrigatórios para qualificar a mudança (ex.: sabor, odor, condutividade, cloreto, sulfato).

**PARÂMETROS**: Parâmetro de qualidade da água, substâncias ou outros indicadores representativos da qualidade da água, de acordo com a Resolução CONAMA Nº 357, de 17 de Março de 2005<sup>3</sup>.

**USOS**: Usos preponderantes da água, verificado o conjunto de condições e padrões de qualidade de água necessários para atender-los (ex.: produção de água potável, dessedentação de animais, irrigação, etc).

---

<sup>3</sup> BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA. Resolução Nº 357, de 17 de Março de 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências.

## Preenchimento da Planilha

Das seis colunas apresentadas na planilha DELPHI-IQUAS, duas estão preenchidas com as alterações e os parâmetros sugeridos no modelo proposto pelo Sistema de Avaliação da Qualidade – Águas Subterrâneas (SEQ-ESO - Systèmes d' Evaluation de la Qualité – Eaux Souterraines)<sup>4</sup>, criado pelo Ministério do Ambiente e agências de bacias hidrográficas da França. Para adequar este modelo ao recurso hídrico nacional, as duas colunas seguintes apresentam os limites recomendados pela Portaria MS N°518/04<sup>5</sup> e pela Resolução CONAMA N°357/05, no que concerne a Águas Doces - Classe 1, quando existentes. Foi utilizada a Resolução CONAMA N°357/05 porque ainda está em fase de elaboração, pelo GT Classificação e Diretrizes Ambientais para o Enquadramento das Águas Subterrâneas<sup>6</sup>, a resolução específica para este compartimento hídrico.

Sendo assim preencha a coluna B da forma sugerida abaixo:

<b>COLUNA B</b>
<b>Indicar a(s) alterações indispensáveis para compor o ÍNDICE</b>
<b>Digitar <b>X</b> nas linhas correspondentes à ALTERAÇÃO que considera indispensável para descrever a condição de qualidade da água para qualquer uso.</b>

Caso deseje incluir NOVA ALTERAÇÃO, que considere pertinente: Digite as alterações desejadas na **COLUNA A**, após a linha da alteração TEMPERATURA.

<sup>4</sup> CADILHAC, Laurent , ALBINET, Maurice (Coord). Système d'évaluation de la qualité des eaux souterraines - Rapport de présentation, Version 0, **Agences de l'eau et le Ministère de l'Ecologie 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 Jul. 2005.

<sup>5</sup> BRASIL. Ministério da Saúde. Portaria N° 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.

<sup>6</sup> Disponível em <http://www.mma.gov.br/conama/processo.cfm?processo=02000.003671/2005-71> Acesso em 30.Jun.2006

Preencha as colunas F / G / H / I da forma sugerida abaixo:

<b>COLUNAS F / G / H / I</b>
<b>Indicar os parâmetros que identificam a ALTERAÇÃO e que você considera que são indispensáveis na qualificação da água para o uso indicado.</b>
<b>Para cada ALTERAÇÃO, que você selecionou na coluna B, digite X nas linhas correspondentes aos parâmetros que considera indispensáveis para indicar a condição de qualidade da água associada ao uso indicado.</b>

Caso deseje incluir NOVO PARÂMETRO, associado a qualquer ALTERAÇÃO: Digite o(s) parâmetro(s) desejado(s) na **COLUNA C**, nas linhas disponíveis para cada alteração.

APÊNDICE F - Planilha Questionário DELPHI-IQUAS - Primeira Rodada

Apêndice F - Planilha Questionario DELPHI-IQUAS

Alterações	Indicar a(s) alterações indispensáveis para compor o ÍNDICE	Parâmetros	Limite Resolução CONAMA Nº357/05 Classe 1	Limite Portaria MS Nº518/04	Indicar os parâmetros que identificam a ALTERAÇÃO e que você considera que são indispensáveis na qualificação da água para o uso indicado			
					Produção Água Potável	Dessedentação de Animais	Irrigação	Processos Industriais
Sabor e Odor		Odor						
		Sabor						
Material Orgânico e Oxidável		Carbono Orgânico Dissolvido						
Partículas em Suspensão		Turbidez	40 UNT	5 UT				
		Matérias em Suspensão						
Ferro e Manganês		Ferro		mg/L 0,3				
		Manganês Total	0,1 mg/L Mn	mg/L 0,1				
Coloração		Cor Aparente		15 UH				
Microorgnismos		Coliformes Totais						
		Coliformes Termotolerantes						
		<i>Escherichia coli</i>						
Mineralização e Salinidade		Condutividade						
		Resíduos Sólidos						
		Ph	6,0 a 9,0	6,0 a 9,5				
		Cloreto	250 mg/L Cl	mg/L 250				
		Sulfatos	250 mg/L SO4	mg/L 250				
		Dureza		mg/L 500				
		Cálcio						
		Magnésio						
		Sódio		mg/L 200				
		Potássio						
		Fluoreto	1,4 mg/L F	mg/L 1,5				
		SAR						



Apêndice F - Planilha Questionario DELPHI-IQUAS

Alterações	Indicar a(s) alterações indispensáveis para compor o ÍNDICE	Parâmetros	Limite Resolução CONAMA Nº357/05 Classe 1	Limite Portaria MS Nº518/04	Indicar os parâmetros que identificam a ALTERAÇÃO e que você considera que são indispensáveis na qualificação da água para o uso indicado				
					Produção Água Potável	Dessedentação de Animais	Irrigação	Processos Industriais	
Pesticidas		Endrin	0,002 µg/L	µg/L 0,6					
		Glifosato	65 µg/L	µg/L 500					
		Heptacloro e Heptacloro epóxido	0,01 µg/L	µg/L 0,03					
		Hexaclorobenzeno	0,0065 µg/L	µg/L 1					
		Lindano (γ-BHC)	0,02 µg/L	µg/L 2					
		Metolacloro	10 µg/L	µg/L 10					
		Metoxicloro	0,03 µg/L	µg/L 20					
		Molinato		µg/L 6					
		Pendimetalina		µg/L 20					
		Pentaclorofenol	0,009 mg/L	µg/L 9					
		Permetrina		µg/L 20					
		Propanil		µg/L 20					
		Simazina	2,0 µg/L	µg/L 2					
		Trifluralina		µg/L 20					
Micropoluentes Orgânicos		Acilamida	0,5 µg/L	µg/L 0,5					
		Benzeno	0,005 mg/L	µg/L 5					
		Benzo[a]pireno	0,05µg/L	µg/L 0,7					
		Cloreto de Vinila		µg/L 5					
		1,2 Dicloroetano	0,01 mg/L	µg/L 10					
		1,1 Dicloroetano	0,003 mg/L	µg/L 30					
		Diclorometano	0,02 mg/L	µg/L 20					
		Estireno	0,02 mg/L	µg/L 20					
		Tetracloroeto de Carbono	0,002 mg/L	µg/L 2					
		Tetracloroetano	0,01 mg/L	µg/L 40					
		Triclorobenzenos	0,02 mg/L	µg/L 20					
		Tricloroetano	0,03 mg/L	µg/L 70					



APÊNDICE G - Formulário DELPHI-IQUAS - Segunda Rodada

## Formulação do Índice de Qualidade de Uso da Água Subterrânea (IQUAS)

O segundo questionário está dividido em quatro seções. Nas primeira e segunda seção informamos a metodologia utilizada para seleção dos parâmetros e os resultados obtidos. Na terceira seção solicitamos que o respondente informe sua disposição em manter ou alterar suas escolhas da primeira rodada. E na quarta e última seção estão novas questões para finalizar a construção do índice.

### 1ª Seção – Metodologia

Os votos atribuídos às alterações e aos parâmetros da planilha DELPHI-IQUAS-1raRodada, foram estatisticamente avaliados utilizando-se a distribuição *t-Student*, para caso unilateral, considerando como corte um nível de confiança de 60%, e consequentemente rejeição de 40%. Aplicada a metodologia para o total de votos apurados no conjunto das quinze alterações, obteve-se o seguinte número médio de votos:  $(24,0 \pm 5,8)$  votos. Utilizando-se o critério de corte para o nível de confiança 60%, ou seja, se aceita o parâmetro que for votado por quantidade superior ou igual a 60% dos votos, obtém-se o limite inferior do número de votos igual a 22. Assim, foram selecionadas todas as alterações com mais de vinte e dois votos.

### 2ª Seção – Alterações e parâmetros selecionados

Como pode ser observado, algumas alterações que foram selecionadas não tiveram nenhum dos parâmetros que individualmente atendessem ao critério de seleção adotado. Nestes casos, a alteração não será incluída, por não ter parâmetro escolhido.

Alteração	Votos da alteração	Parâmetros
Sabor e Odor	24	Nenhum parâmetro individualmente obteve mais de 22 votos
Partículas em Suspensão	27	<b>Turbidez</b>
Ferro e Manganês	29	<b>Ferro</b>
		<b>Manganês</b>
Microorganismos	30	<b>Coliformes Totais</b>
Mineralização - Salinidade	27	<b>Cloreto</b>
		<b>Dureza</b>
		<b>Fluoreto</b>
		<b>pH</b>
		<b>Sulfatos</b>
Nitratos	27	<b>Nitrato</b>
Nitrogenados (fora nitrato)	25	<b>Amônia</b>
Micropoluentes Minerais	30	<b>Mercúrio Total</b>
Pesticidas	23	Nenhum parâmetro individualmente obteve mais de 22 votos
Micropoluentes Orgânicos	24	Nenhum parâmetro individualmente obteve mais de 22 votos
Corrosão	29	Nenhum parâmetro individualmente obteve mais de 22 votos

### 3ª Seção – Confirmação da seleção de parâmetros

Diante dos resultados obtidos, identifique sua resposta abaixo:

**Mantém respostas anteriores:**

**Sim**

\_\_\_\_\_ Sua escolha dos parâmetros está concluída, muito obrigada.

**Não**

\_\_\_\_\_ Então, por favor, reconsidere as respostas da SUA planilha anexa e nos reenvie. Muito obrigada.

### 4ª Seção – Peso de Parâmetros

#### FERRO e MANGANÊS

Foram selecionados DOIS parâmetros para avaliação das alterações de Ferro e Manganês. Por favor, indique na tabela abaixo qual o peso que considera adequado para cada um deles, perfazendo o somatório de pesos igual a 1 (um):

Parâmetro	Peso
Ferro	
Manganês	
Total Peso	<b>1</b>

#### MINERALIZAÇÃO E SALINIDADE

Foram selecionados CINCO parâmetros para avaliação das alterações de Mineralização e Salinidade. Por favor, indique na tabela abaixo qual o peso que considera adequado para cada um deles, perfazendo o somatório de pesos igual a 1 (um):

Parâmetro	Peso
Cloreto	
Dureza	
Fluoreto	
pH	
Sulfatos	
Total Peso	<b>1</b>

Muito agradecida, pela sua atenção em responder ao painel.

APÊNDICE H - Procedimento para Geração da Curva de Qualidade (Nota X  
Parâmetro)

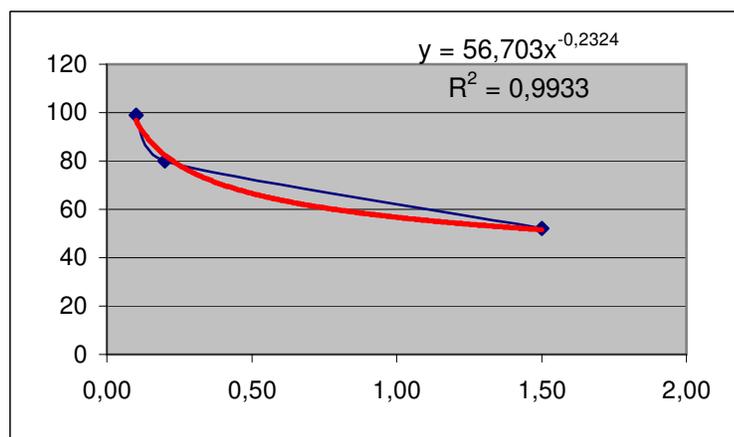
## PROCEDIMENTO PARA GERAÇÃO DA CURVA DE QUALIDADE (Nota X Parâmetro) - AMÔNIA

Características do Método de Obtenção de Parâmetros - Laboratório Central Embasa						
Análise	Abreviatura	Instrumento	Método	LDM	LSM	Unidade
N.(Amônia)	Amônia	Espectrofotometro - Hach-DR2000	Espectrofotométrico	0,1	500	mg NH3-N/L

Limites e Padrões de Qualidade						
Portaria 518/2004 - Padrões de Potabilidade			Res CONAMA 357/2005 - Águas Doces - Classe1		OMS	
PARÂMETRO	UNIDADE	VMP(1)	Parâmetro	Valor Máximo		
Amônia (como NH <sub>3</sub> )	mg/L	1,5		3,7mg/L N, para pH ≤ 7,5	Usual	0,2 mg/L
			Nitrogênio amoniacal total	2,0 mg/L N, para 7,5 < pH ≤ 8,0	Pode conter	3 mg/L
					Por peso do corpo	200mg/Kg
					30 Kg	0,15
					65 Kg	0,35
					90 Kg	0,45

Intervalo de Qualidade e Limites Orientadores			
Intervalo de Qualidade		Dados Curva	
		Concentração (mg/L)	Nota
		0,10	99
80-100	Ótima	0,20	80
52-79	Boa	1,5	52
37-51	Regular		
20-36	Ruim		
0-19	Péssima		

Aplicando Fórmula	
Concentração (mg/L)	Nota
0,10	96,83
0,15	88,12
0,20	82,42
0,35	72,37
0,45	68,27
1,50	51,60
2,00	48,27
3,00	43,93
4,00	41,09
6,00	37,39
8,00	34,97
10,00	33,21
20,00	28,26
30,00	25,72



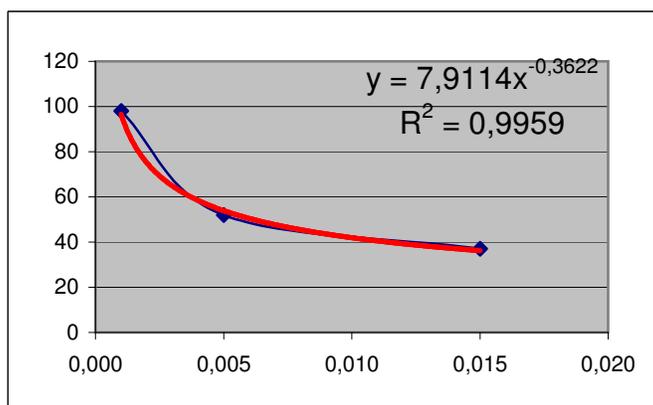
## PROCEDIMENTO PARA GERAÇÃO DA CURVA DE QUALIDADE (Nota X Parâmetro) - BENZENO

Características do Método de Obtenção de Parâmetros - Laboratório Central Embasa						
Análise	Abreviatura	Instrumento	Método	LDM	LSM	Unidade
Benzeno	BENZ	GC/MS VARIAN 3800	Cromatográfico - Ms	0,01	100000	ug BENZ/L

Limites e Padrões de Qualidade					
Portaria 518/2004 - Padrões de Potabilidade			Res CONAMA 357/2005 - Águas Doces - Classe1		OMS
PARÂMETRO	UNIDADE	VMP(1)	Parâmetro	Valor Máximo	
Benzeno	µg/L	5	Benzeno	0,005 mg/L	0,01 mg/L

Intervalo de Qualidade e Limites Orientadores						
Intervalo de Qualidade		GTAS CONAMA (Minuta) - Padrões (ug/L)			Dados Curva	
		Padrão	Valor	Classe	Concentração (mg/L)	Nota
80-100	Ótima	2,5	VRQ	Classe 1	0,001	98
52-79	Boa	5	VMP <sub>r</sub>	Classe 2	0,005	52
37-51	Regular	15	3*VMP <sub>r</sub>	Classe 3	0,015	37
20-36	Ruim			Classe 4		
0-19	Péssima			Classe 5		

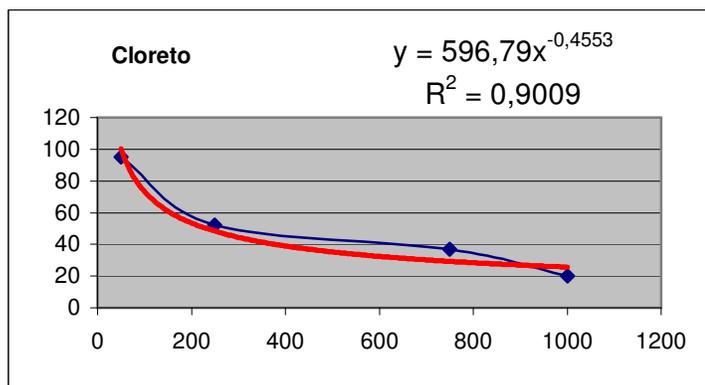
Aplicando Fórmula	
Concentração (mg/L)	Nota
0,0010	96,57
0,0025	69,30
0,0050	53,91
0,0150	36,21



## PROCEDIMENTO PARA GERAÇÃO DA CURVA DE QUALIDADE (Nota X Parâmetro) - CLORETO

Características do Método de Obtenção de Parâmetros - Laboratório Central Embasa						
Análise	Abreviatura	Instrumento	Método	LDM	LSM	Unidade
Cloreto	Cloreto	BURETA 50 mL	Volumétrico	1,5	100000	mg Cl/L
Limites e Padrões de Qualidade						
Portaria 518/2004 - Padrões de Potabilidade			Res CONAMA 357/2005 - Águas Doces - Classe1		OMS	
PARÂMETRO	UNIDADE	VMP(1)	Parâmetro	Valor Máximo		
Cloreto total	mg/L Cl	250	Cloreto total	250 mg/L Cl	250 mg/L Cl	
Intervalo de Qualidade e Limites Orientadores						
Intervalo de Qualidade		GTAS CONAMA (Minuta) - Padrões (ug/L)			Dados Curva	
		Padrão	Valor	Classe	Concentração (mg/L)	Nota
80-100	Ótima		VRQ	Classe 1	50	95
52-79	Boa	250000	VMPPr	Classe 2	250	52
37-51	Regular	750000	3*VMPPr	Classe 3	750	37
20-36	Ruim			Classe 4	1000	20
0-19	Péssima			Classe 5		

Aplicando Fórmula	
Concentração (mg/L)	Nota
10,00	209,18
50,00	100,53
51,00	99,62
60,00	92,52
80,00	81,16
90,00	76,92
100,00	73,32
150,00	60,96
250,00	48,31
300,00	44,46
472,00	36,17
750,00	29,30
1000,00	25,70

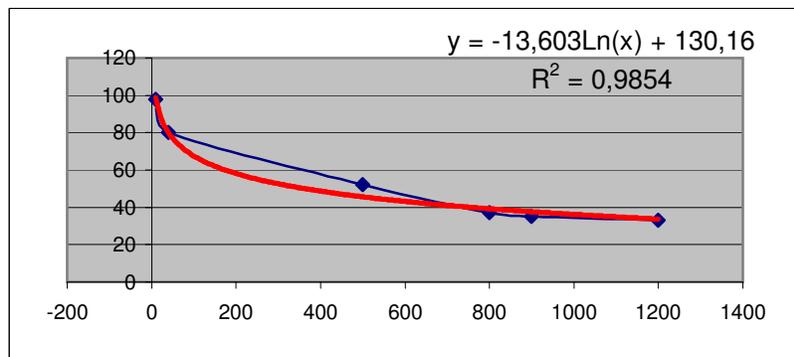


## PROCEDIMENTO PARA GERAÇÃO DA CURVA DE QUALIDADE (Nota X Parâmetro) - Dureza

Características do Método de Obtenção de Parâmetros - Laboratório Central Embasa						
Análise	Abreviatura	Instrumento	Método	LDM	LSM	Unidade
Dureza	Dureza	FAAS VARIAN 220	Absorção Atômica - Chama	0,8	100000	mgCaCO3/L
Limites e Padrões de Qualidade						
Portaria 518/2004 - Padrões de Potabilidade			Res CONAMA 357/2005 - Águas Doces - Classe1		OMS	
PARÂMETRO	UNIDADE	VMP(1)	Parâmetro	Valor Máximo		
Dureza	mg/L 500				500 mg/L	

Intervalo de Qualidade e Limites Orientadores			
Intervalo de Qualidade		Dados Curva	
		Concentração (mg/L)	Nota
		10	98
80-100	Ótima	40	80
52-79	Boa	500	52
37-51	Regular	800	37
		900	35
20-36	Ruim	1200	33
0-19	Péssima		

Aplicando Fórmula		
Concentração (mg/L)	Nota	
10	98,84	
30	83,89	
100	67,52	
200	58,09	
500	45,62	
680	41,44	
630	42,48	
800	39,23	
900	37,63	
1100	34,90	
1200	33,71	

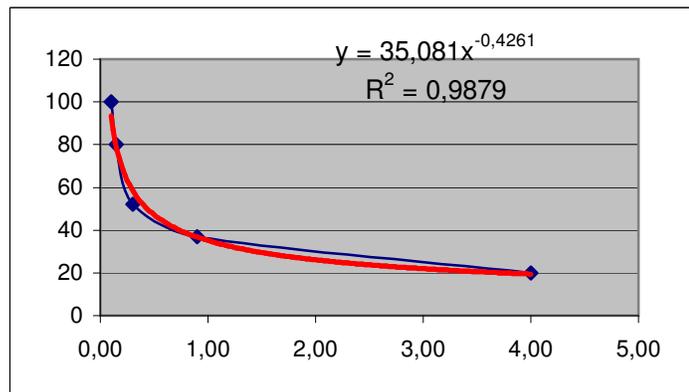


## PROCEDIMENTO PARA GERAÇÃO DA CURVA DE QUALIDADE (Nota X Parâmetro) - Ferro

Características do Método de Obtenção de Parâmetros - Laboratório Central Embasa						
Análise	Abreviatura	Instrumento	Método	LDM	LSM	Unidade
Ferro	Fe	FAAS VARIAN 220	Absorção Atômica - Chama	8	100000	ug Fe/L
Limites e Padrões de Qualidade						
Portaria 518/2004 - Padrões de Potabilidade			Res CONAMA 357/2005 - Águas Doces - Classe1		OMS	
PARÂMETRO	UNIDADE	VMP(1)	Parâmetro	Valor Máximo		
Ferro	mg/L	0,3	Ferro dissolvido	0,3 mg/L Fe	1-3 mg/L	

Intervalo de Qualidade e Limites Orientadores						
Intervalo de Qualidade		GTAS CONAMA (Minuta) - Padrões (ug/L)			Dados Curva	
		Padrão	Valor	Classe	Concentração (mg/L)	Nota
					0,10	100
80-100	Ótima	150	VRQ	Classe 1	0,15	80
52-79	Boa	300	VMPr	Classe 2	0,3	52
37-51	Regular	900	3*VMPr	Classe 3	0,9	37
20-36	Ruim			Classe 4	4	20
0-19	Péssima			Classe 5		

Aplicando Fórmula	
Concentração (mg/L)	Nota
0,0900	97,87
0,1000	93,58
0,1500	78,73
0,3000	58,60
0,9000	36,69
1,0000	35,08
2,0000	26,11
3,0000	21,97
4,0000	19,43



**PROCEDIMENTO PARA GERAÇÃO DA CURVA DE QUALIDADE (Nota X Parâmetro) - Fluoreto**

Características do Método de Obtenção de Parâmetros - Laboratório Central Embasa						
Análise	Abreviatura	Instrumento	Método	LDM	LSM	Unidade
Fluoreto	Fluoreto	pH/ION SELETIVO-ORION-720A	Ion Seletivo	0,1	10	mg F/L
Limites e Padrões de Qualidade						
Portaria 518/2004 - Padrões de Potabilidade			Res CONAMA 357/2005 - Águas Doces - Classe1		OMS	
PARÂMETRO	UNIDADE	VMP(1)	Parâmetro	Valor Máximo		
Fluoreto(2)	mg/L	1,5	Fluoreto total	1,4 mg/L F	1.5 mg/L	

Portaria 518/2004 - Comentários			
Temperatura (°C)	Mínimo (mg/L)	Máximo (mg/L)	Ótimo (mg/L)
10,0-12,1	0,90	1,7	1,2
12,2-14,6	0,80	1,5	1,1
14,7-17,7	0,80	1,3	1
17,8-21,4	0,70	1,2	0,9
21,5-26,8	0,70	1	0,8
26,8-32,5	0,60	0,8	0,7

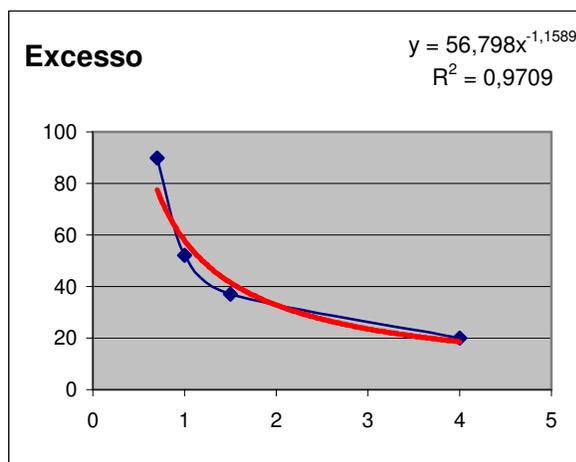
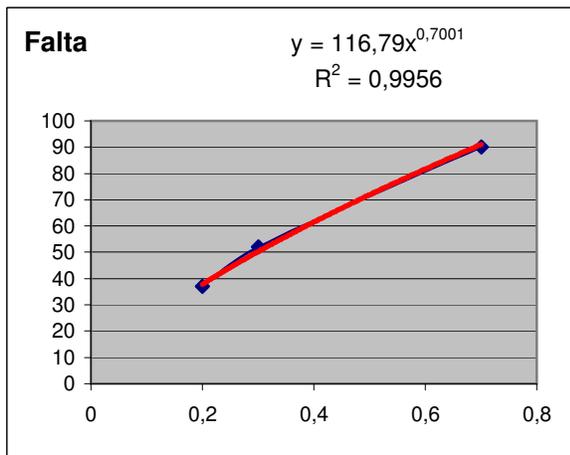
**Região Nordeste**

Intervalo de Qualidade e Limites Orientadores						
Intervalo de Qualidade		GTAS CONAMA (Minuta) - Padrões (mg/L)			Dados Curva - Falta	
		Padrão	Valor	Classe	Concentração (mg/L)	Nota
80-100	Ótima		VRQ	Classe 1	0,7	90
52-79	Boa		VMP <sub>r</sub>	Classe 2	0,3	52
37-51	Regular		3*VMP <sub>r</sub>	Classe 3	0,2	37
20-36	Ruim			Classe 4		
0-19	Péssima			Classe 5		

Intervalo de Qualidade e Limites Orientadores						
Intervalo de Qualidade		GTAS CONAMA (Minuta) - Padrões (mg/L)			Dados Curva - Excesso	
		Padrão	Valor	Classe	Concentração (mg/L)	Nota
80-100	Ótima	0,5	VRQ	Classe 1	0,7	90
52-79	Boa	1	VMP <sub>r</sub>	Classe 2	1	52
37-51	Regular	3	3*VMP <sub>r</sub>	Classe 3	1,5	37
20-36	Ruim			Classe 4	4	20
0-19	Péssima			Classe 5		

## PROCEDIMENTO PARA GERAÇÃO DA CURVA DE QUALIDADE (Nota X Parâmetro) - Fluoreto

Aplicando Fórmulas		
Concentração (mg/L)	Nota Falta	Nota Excesso
0,10	23,30	
0,20	37,85	
0,40	61,49	
0,70	90,98	
0,75	95,49	
0,80	99,90	
0,81		72,51
1,00		56,80
1,50		35,50
2,00		25,44
2,50		19,64

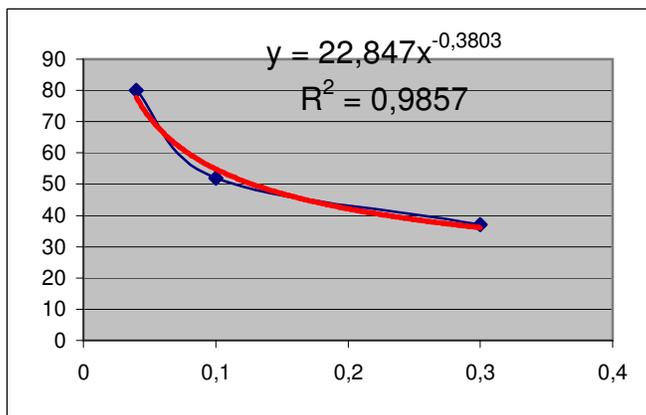


## PROCEDIMENTO PARA GERAÇÃO DA CURVA DE QUALIDADE (Nota X Parâmetro) - Manganês

Características do Método de Obtenção de Parâmetros - Laboratório Central Embasa						
Análise	Abreviatura	Instrumento	Método	LDM	LSM	Unidade
Manganês	Mn	FAAS VARIAN 220	Absorção Atômica - Chama	20	1000000	ug Mn/L
Limites e Padrões de Qualidade						
Portaria 518/2004 - Padrões de Potabilidade			Res CONAMA 357/2005 - Águas Doces - Classe1		OMS	
PARÂMETRO	UNIDADE	VMP(1)	Parâmetro	Valor Máximo		
			Manganês	0,1mg/L	0.05 – 0.1 mg/litre	

Intervalo de Qualidade e Limites Orientadores						
Intervalo de Qualidade		GTAS CONAMA (Minuta) - Padrões (ug/L)			Dados Curva	
		Padrão	Valor	Classe	Concentração (mg/L)	Nota
80-100	Ótima	40	VRQ	Classe 1	0,04	80
52-79	Boa	100	VMPPr	Classe 2	0,1	52
37-51	Regular	300	3*VMPPr	Classe 3	0,3	37
20-36	Ruim	350		Classe 4		20
0-19	Péssima			Classe 5		

Aplicando Fórmula	
Concentração (mg/L)	Nota
0,0210	99,29
0,1000	54,84
0,3000	36,11
0,4000	32,37
0,5000	29,74



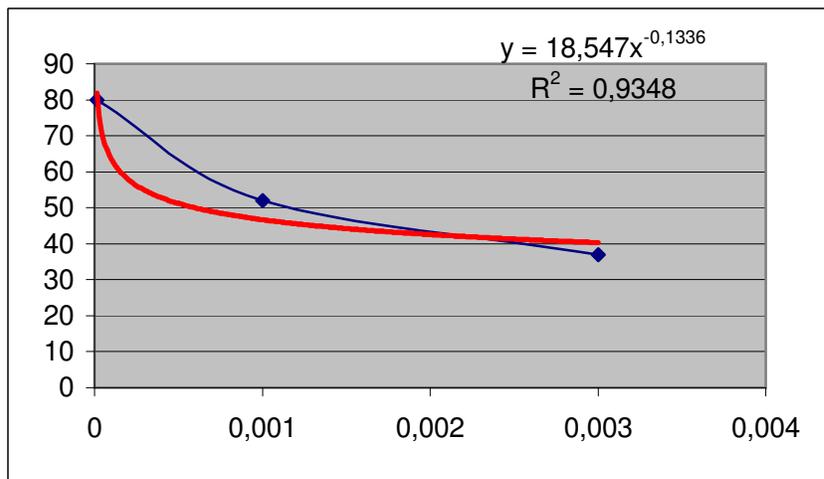
## PROCEDIMENTO PARA GERAÇÃO DA CURVA DE QUALIDADE (Nota X Parâmetro) - Mercúrio

Características do Método de Obtenção de Parâmetros - Laboratório Central Embasa						
Análise	Abreviatura	Instrumento	Método	LDM	LSM	Unidade
Mercúrio	Hg	FAAS VARIAN 220	Absorção Atômica - Gerador De Vapor	0,05	1000000	ug Hg/L

Limites e Padrões de Qualidade					
Portaria 518/2004 - Padrões de Potabilidade			Res CONAMA 357/2005 - Águas Doces - Classe1		OMS
PARÂMETRO	UNIDADE	VMP(1)	Parâmetro	Valor Máximo	
Mercúrio	mg/L	0,001	Mercúrio total	0,0002 mg/L Hg	0.001 mg/litre for total mercury

Intervalo de Qualidade e Limites Orientadores						
Intervalo de Qualidade		GTAS CONAMA (Minuta) - Padrões (ug/L)			Dados Curva	
		Padrão	Valor	Classe	Concentração (mg/L)	Nota
80-100	Ótima	0,015	VRQ	Classe 1	0,000015	80
52-79	Boa	1	VMP <sub>r</sub>	Classe 2	0,001	52
37-51	Regular	3	3*VMP <sub>r</sub>	Classe 3	0,003	37
20-36	Ruim			Classe 4		
0-19	Péssima			Classe 5		

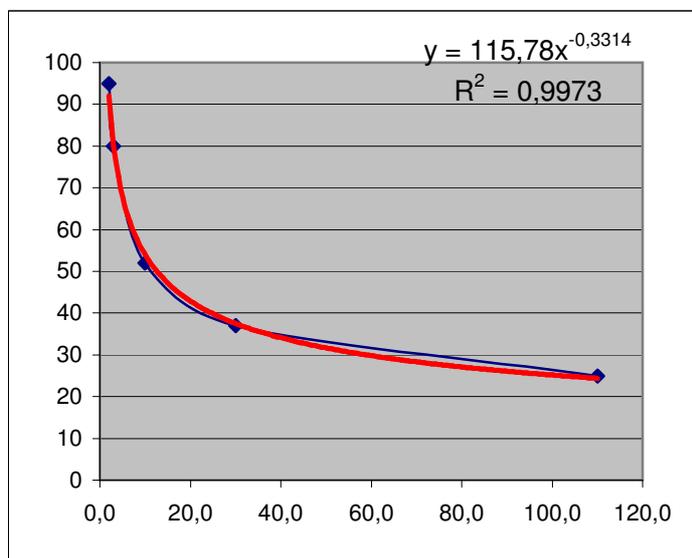
Aplicando Fórmula	
Concentração (mg/L)	Nota
0,0000035	99,35
0,0000150	81,80
0,0010000	46,67
0,0030000	40,30



## PROCEDIMENTO PARA GERAÇÃO DA CURVA DE QUALIDADE (Nota X Parâmetro) - Nitrato

Características do Método de Obtenção de Parâmetros - Laboratório Central Embasa						
Análise	Abreviatura	Instrumento	Método	LDM	LSM	Unidade
N.(Nitrato)	Nitrato	ESPECTROFOTOMETRO-HACH-4000	Espectrofotométrico	0,5	100	mg NO <sub>3</sub> -N/L
Limites e Padrões de Qualidade						
Portaria 518/2004 - Padrões de Potabilidade			Res CONAMA 357/2005 - Águas Doces Classe1		OMS	
PARÂMETRO	UNIDADE	VMP(1)	Parâmetro	Valor Máximo		
Nitrato	mg/L	10	Nitrato	10,0 mg/L N	3 mg/L	Curta Exposição
					0,2 mg/L	Longa Exposição
Intervalo de Qualidade e Limites Orientadores						
Intervalo de Qualidade		GTAS CONAMA (Minuta) - Padrões (ug/L)			Dados Curva	
		Padrão	Valor	Classe	Concentração (mg/L)	Nota
					2,0	95
80-100	Ótima	5000	VRQ	Classe 1	3,0	80
52-79	Boa	10.000	VMP <sub>r</sub>	Classe 2	10,0	52
37-51	Regular	30000	3*VMP <sub>r</sub>	Classe 3	30,0	37
20-36	Ruim			Classe 4	110,0	25
0-19	Péssima			Classe 5		

Aplicando Fórmula	
Concentração (mg/L)	Nota
1,60	99,08
2,60	84,36
3,00	80,45
5,00	67,92
10,00	53,98
11,60	51,39
30,00	37,51



## PROCEDIMENTO PARA GERAÇÃO DA CURVA DE QUALIDADE (Nota X Parâmetro) - pH

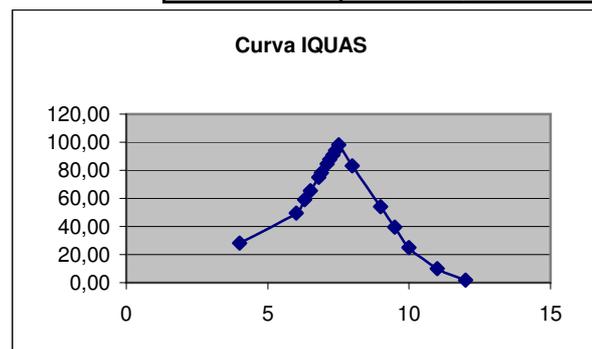
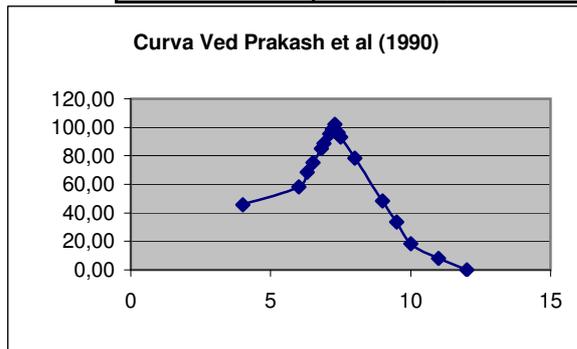
Características do Método de Obtenção de Parâmetros - Laboratório Central Embasa						
Análise	Abreviatura	Instrumento	Método	LDM	LSM	Unidade
pH	pH	pHMETRO-METTLER-DELTA 320	Potenciométrico	0,01	14	
Limites e Padrões de Qualidade						
Portaria 518/2004 - Padrões de Potabilidade			Res CONAMA 357/2005 - Águas Doces - Classe1		OMS	
PARÂMETRO	UNIDADE	VMP(1)	Parâmetro	Valor Máximo		
pH		6 a 9,5	pH	6 a 9	6,5 a 9,5	

Intervalo de Qualidade e Limites Orientadores			
Intervalo de Qualidade		Dados Curva	
		Medida	Nota
80-100	Ótima	7,5	98
52-79	Boa	6,5	52
		9	52
37-51	Regular	6	37
		9,5	37
20-36	Ruim	4	20
		10	20
0-19	Péssima		

Valores Plotados		Cálculo da Nota de Qualidade do Ph usando as referências indicadas			
(mg/L)	Notas Estimadas	Dinius	Nemerow	Ved Prakash	IQUAS
4	20	26,47	-125,00	45,50	28,10
6	37	62,22	75,00	58,33	49,33
6,3		70,73	87,75	68,38	58,93
6,5	52	77,04	93,75	75,08	65,33
6,8		87,57	99,00	85,13	74,93
6,9		100,00	99,75	88,48	78,13
7,1		100,00	99,75	95,18	84,53
7,2		113,37	99,00	98,53	87,73
7,3		107,73	97,75	101,88	90,93
7,4		102,37	96,00	96,07	94,13
7,5	98	97,27	93,75	93,09	97,96
8	20	75,37	75,00	78,16	83,36
9	52	45,25	0,00	48,31	54,16
9,5	37	35,06	-56,25	33,39	39,56
10	20	27,16	-125,00	18,46	24,96
11		16,31	-300,00	8,17	10,00
12		9,79	-525,00	0,17	2,00

Ved Prakash et al (1990)	
Faixa pH	Equações
2-5	=16,1+(7,35*pH)
5-7,3	=-142,67+(33,5*Ph)
7,3-10	=316,96-(29,85*pH)
10-12	=96,17-(8,00*pH)

IQUAS	
Faixa pH	Equações
2,0-5,0	=16,1+(3,00*pH)
5,1-7,4	=-142,67+(32,0*pH)
7,5-10,0	=316,96-(29,2*pH)
10,1-12,0	=98,0-(8,00*pH)

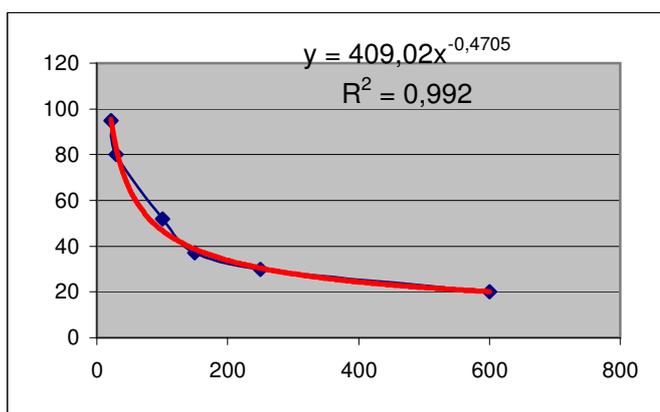


## PROCEDIMENTO PARA GERAÇÃO DA CURVA DE QUALIDADE (Nota X Parâmetro) - Sulfato

Características do Método de Obtenção de Parâmetros - Laboratório Central Embasa						
Análise	Abreviatura	Instrumento	Método	LDM	LSM	Unidade
Sulfato	Sulfato	ESPECTROFOTOMETRO-HACH-4000	Espectrofotométrico	1	5000	mg SO <sub>4</sub> /L
Limites e Padrões de Qualidade						
Portaria 518/2004 - Padrões de Potabilidade			Res CONAMA 357/2005 - Águas Doces - Classe1		OMS	
PARÂMETRO	UNIDADE	VMP(1)	Parâmetro	Valor Máximo		
Sulfato	mg/L	250	Sulfato total	250 mg/L SO <sub>4</sub>	500 mg/L	Efeito Laxante: 1000-1200 mg/litre

Intervalo de Qualidade e Limites Orientadores			
Intervalo de Qualidade		Dados Curva	
		Concentração (mg/L)	Nota
		22	95
80-100	Ótima	30	80
52-79	Boa	100	52
37-51	Regular	150	37
20-36	Ruim	250	30
0-19	Péssima	600	20

Aplicando Fórmula	
Concentração (mg/L)	Nota
20	99,91
30	82,56
100	46,85
150	38,72
250	30,44
600	20,17
700	18,76
800	17,61
900	16,66
1000	15,86



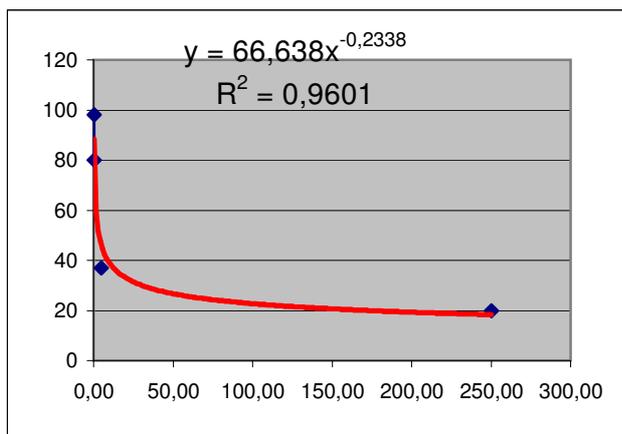
## PROCEDIMENTO PARA GERAÇÃO DA CURVA DE QUALIDADE (Nota X Parâmetro) - Turbidez

Características do Método de Obtenção de Parâmetros - Laboratório Central Embasa						
Análise	Abreviatura	Instrumento	Método	LDM	LSM	Unidade
Turbidez	Turbidez	TURBIDÍMETRO-HACH-2100A	Nefelométrico	0,01	1000	NTU

Limites e Padrões de Qualidade					
Portaria 518/2004 - Padrões de Potabilidade			Res CONAMA 357/2005 - Águas Doces - Classe1		OMS
PARÂMETRO	UNIDADE	VMP(1)	Parâmetro	Valor Máximo	
Turbidez	UT	5	Turbidez	40	0,1
Turbidez Recomendada	UT	0,5			

Intervalo de Qualidade e Limites Orientadores			
Intervalo de Qualidade		Dados Curva	
		Concentração (UT)	Nota
		0,30	98
80-100	Ótima	0,50	80
52-79	Boa		
37-51	Regular	5,00	37
20-36	Ruim		
0-19	Péssima	250,00	20

Aplicando Fórmula	
Concentração (mg/L)	Nota
0,2	97,1
0,5	78,4
5,0	45,7
15,0	35,4
200,0	19,3
250,0	18,3



## APÊNDICE I - Instrumentos e Métodos de Análises dos parâmetros dos IQUAS

**APÊNDICE I - Instrumentos e Métodos de Análise dos Parâmetros IQUAS  
Laboratório de Qualidade de Água - Embasa**

<b>Análise</b>	<b>Abreviatura</b>	<b>Instrumento</b>	<b>Método</b>	<b>LDM</b>	<b>LSM</b>	<b>Unidade</b>
Benzeno	BENZ	GC/MS VARIAN 3800	Cromatográfico - Ms	0,01	100000	ug BENZ/L
Cloreto	Cloreto	BURETA 50 mL	Volumétrico	1,5	100000	mg Cl/L
Coliformes Termotolerantes	C.TE.	MICROSCÓPIO EST. C. ZEISS-172	Membrana Filtrante	1	200	UFC/100mL
Coliformes Totais	C.TO.	MICROSCÓPIO EST. C. ZEISS-172	Membrana Filtrante	1	200	UFC/100mL
Dureza	Dureza	FAAS VARIAN 220	Absorção Atômica - Chama	0,8	100000	gCaCO3/L
Ferro	Fe	FAAS VARIAN 220	Absorção Atômica - Chama	8	100000	ug Fe/L
Fluoreto	Fluoreto	pH/ION SELETIVO-ORION-720A	Ion Seletivo	0,1	10	mg F/L
Manganês	Mn	FAAS VARIAN 220	Absorção Atômica - Chama	20	1000000	
Mercúrio	Hg	FAAS VARIAN 220	Absorção Atômica - Gerador De Vapor	0,05	1000000	ug Hg/L
N.(Amônia)	Amônia	pH/Ion Selet.-Mettler-DELTA350	Ion Seletivo	0,1	1400	mg NH3-N/L
N.(Nitrato)	Nitrato	ESPECTROFOTOMETRO-HACH-4000	Espectrofotométrico	0,5	100	mg NO3-N/L
pH	pH	pHMETRO-METTLER-DELTA 320	Potenciométrico	0,01	14	
Sulfato	Sulfato	TURBIDÍMETRO-HACH-2100N	Nefelométrico	5	5000	mg SO4/L
Turbidez	Turbidez	TURBIDÍMETRO-HACH-2100N	Nefelométrico	0,001	4000	NTU

**ANEXOS**

**Resultado de Análises**  
**Amostra 19486/2006**

<b>Data</b>	19/06/06
<b>Hora</b>	16/07/1999 14:00
<b>Localidade</b>	Salvador
<b>Município</b>	Salvador
<b>Nome Categoria</b>	Pesquisa
<b>Procedência</b>	Pc Rodrigo de Menezes (Baixa de Quintas) - Fonte natural
<b>Amostra</b>	19486/06
<b>Obs</b>	-
<b>Amônia mg NH3/L</b>	0,31
<b>C.TE. UFC/100mL</b>	< 1
<b>C.TO. UFC/100mL</b>	< 1
<b>Cloreto mg Cl/L</b>	66,0
<b>Dureza mgCaCO3/L</b>	113
<b>Fe ug Fe/L</b>	13,88
<b>Fluoreto mg F/L</b>	< 0,1
<b>Hg ug Hg/L</b>	0,14
<b>Mn ug Mn/L</b>	210
<b>Nitrato mg NO3-N/L</b>	22
<b>pH</b>	4,93
<b>Sulfato mg SO4/L</b>	-
<b>Turbidez NTU</b>	-

**COFIC - Pólo Industrial de Camaçari - Produtos e Aplicações - Fluxograma de Produção**

<b>Produtos Primeira Geração (Matérias-primas)</b>	<b>Produtos Intermediários (Segunda Geração)</b>	<b>Principais Aplicações</b>
<b>Braskem Insumos Básicos</b> Tolueno	<b>Dow Brasil</b> TDI	Poliuretanos-espumas
<b>Braskem Insumos Básicos</b> Orto-xileno	<b>Elekeiroz</b> Anidrido Ftálico	Plastificantes, resinas sintéticas
<b>Braskem Insumos Básicos</b> Tolueno	<b>Policarbonatos</b> Policarbonatos	Automóveis, construção civil, eletrônicos, embalagens, plásticos
<b>Braskem Insumos Básicos</b> Para-xileno	<b>Braskem DMT</b> Resina PET	Garrafas, vasilhames plásticos
<b>Braskem Insumos Básicos</b> Benzeno	<b>Dow Brasil</b> Etilbenzeno Estireno	Brinquedos, construção civil, eletrodomésticos
<b>Braskem Insumos Básicos</b> Etileno	<b>Suzano Petroquímica</b> Polipropileno	Plásticos, automóveis, embalagens, fibras sintéticas, filmes, móveis, peças técnicas, utensílios domésticos
<b>Braskem Insumos Básicos</b> Etileno	<b>Braskem Vinílicos</b> MVC/PVC	Plásticos, brinquedos, calçados, construção civil, embalagens, filmes fios e cabos, móveis, tubos e conexões.
Salmoura (*)	Soda	Alumínio, auxiliar têxtil, papel e celulose, processo químico, sabões, detergentes, tratamento de metais, metalurgia
Salmoura (*)	Cloro	Consumo próprio, papel e celulose, processos químicos, tratamento de água
Salmoura (*)	Hipoclorito de Sódio	Auxiliar têxtil, papel e celulose, processo químico, sabões e detergentes, siderurgia, tratamento de água, tratamento de metais
<b>Braskem Insumos Básicos</b> Benzeno	<b>Deten</b> LAB	Detergentes biodegradáveis
<b>Braskem Insumos Básicos</b>  Caprolactama (*)	<b>Dusa</b> Nylon	
	<b>Invista Polímeros</b> Chip Nylon 6	
	<b>Kordsa</b> Poliéster	
<b>Braskem Insumos Básicos</b> Propeno	<b>Acrinor</b> Acrlonitrila HCN	Fibras sintéticas, borrachas, plásticos, fibras acrílicas, lã sintética. Cianidrina de acetona
<b>Braskem Insumos Básicos</b> Etileno	<b>Braskem</b> PEAD	Brinquedos, embalagens, filmes, fios e cabos, plásticos de engenharia, tubos e conexões, utensílios domésticos
<b>Braskem Insumos Básicos</b> Propeno	<b>Dow Brasil</b> Óxido de propeno Propeno glicóis	Consumo próprio, intermediário químico Poliuretanos: automóveis, peças técnicas
<b>Braskem Insumos Básicos</b>	<b>Proquigel</b>	Colas e adesivos, resinas sintéticas, tintas e vernizes

**COFIC - Pólo Industrial de Camaçari - Produtos e Aplicações - Fluxograma de Produção**

<b>Produtos Primeira Geração (Matérias-primas)</b>	<b>Produtos Intermediários (Segunda Geração)</b>	<b>Principais Aplicações</b>
Propeno	Metacrilato de metila Sulfato de Amônia Acrilatos Acetona Cianidrina	Fertilizantes Resinas Sintéticas Consumo próprio
<b>Braskem Insumos Básicos</b> Etileno	<b>Politeno</b> PELBD PEAD	Embalagens, filmes, fios e cabos, peças técnicas, tubos e conexões, utensílios domésticos
<b>Braskem Insumos Básicos</b>	<b>Oxiteno</b>	Consumo próprio, poliés, tensoativos, tratamento de gases industriais
Etileno	Oxido de eteno	
	Etileno Glicol	Anticongelantes, líquidos para transmissões hidráulicas, poliéster saturado e insaturado, poliuretanos
	Éteres glicol	Líquido para transmissões hidráulicas, sabões e detergentes, solventes, tintas e vernizes
	Etanolaminas	Construção civil, cosméticos, couro, defensivos agrícolas, óleos e graxas lubrificantes, sabões e detergentes, tratamento de gases industriais
<b>Braskem Insumos Básicos</b> Benzeno	<b>Braskem CPL</b> Caprolactama Sulfato de amônia Ciclohexanona	Nylon 6 Fertilizantes, processo químicos Consumo próprio, defensivos agrícolas, intermediário químico, solventes, tintas e vernizes
<b>Petrobrás RLAM</b> Óleos lubrificantes	<b>Emca</b> Óleos minerais brancos	Alimentícia, borrachas, cosméticos, farmacêutico, plásticos, vaselinas
<b>Bahiagás</b> Gás natural	<b>Metanor</b> Metanol	Acrilato de metila, dimetiltereftalato, éter metil-ter-butílico, farmacêutico, formaldeído, metilamina etc
<b>Metanor</b>	<b>Copenor</b>	Auxiliar têxtil, consumo próprio, resinas sintéticas, tintas e vernizes
Metanol	Formaldeído	Borrachas, defensivos agrícolas, explosivos, resinas sintéticas
	HMTA	Explosivos, resinas sintéticas
	Pentaeritritel	Consumo próprio, couro
	Formiato de sódio	
	<b>Caraíba Metais</b> Oleum Ácido sulfúrico Cobre eletrolítico	Fios de cobre
<b>Bahiagás</b> Gás natural	<b>Petrobrás Fafen</b> Amônia Uréia	Fertilizantes
<b>White Martins</b>	<b>QGN</b>	Antichamas, farmacêutico, fotográfico
	Bicarbonato de sódio	Alimentício, farmacêutico, fotográfico, galvanoplástico, processo químico

## COFIC - Pólo Industrial de Camaçari - Produtos e Aplicações - Fluxograma de Produção

Produtos Primeira Geração (Matérias-primas)	Produtos Intermediários (Segunda Geração)	Principais Aplicações
Líquido CO2 (9)	Metabissulfito de sódio Sulfeto de sódio	Couro, mineração, papel e celulose
<b>Petrobrás Fafen</b> Amônia (10)	<b>Basf</b> Metilaminas Dimetilformamida	Borrachas, consumo próprio, defensivos agrícolas, tensoativos Fibras sintéticas, solventes
(*)	<b>Du Pont</b> Direpon Propanil	Defensivos agrícolas
(*)	<b>Tigre</b> Tubos	Construção civil
(*)	<b>Lyondell</b> Dióxido de titânio	Pigmentos para tinta
(*)	<b>White Martins</b> Líquido CO2	Gases industriais
(*)	<b>Cibrafétil</b> Superfosfato	Fertilizantes
(*)	<b>Monsanto</b> PIA (hebicida)	Agricultura
(*)	<b>Sansuy</b> Laminados de PVC	Produtos confeccionados com laminados
(*)	<b>Ford</b> Automóveis	Mercado automobilístico
(*)	<b>ITF</b> (Produtos Farmoquímicos)	Aplicação Farmacêutica
(*)	<b>Tigre</b> Tubos de PVC	Construção Civil
(*)	<b>Ambev</b> Bebidas	Cerveja

Fonte: Disponível em [http://www.coficpolo.com.br/Produtos\\_Aplicacoes.htm](http://www.coficpolo.com.br/Produtos_Aplicacoes.htm) - Acesso em 12 de fevereiro de 2007

# Livros Grátis

( <http://www.livrosgratis.com.br> )

Milhares de Livros para Download:

[Baixar livros de Administração](#)

[Baixar livros de Agronomia](#)

[Baixar livros de Arquitetura](#)

[Baixar livros de Artes](#)

[Baixar livros de Astronomia](#)

[Baixar livros de Biologia Geral](#)

[Baixar livros de Ciência da Computação](#)

[Baixar livros de Ciência da Informação](#)

[Baixar livros de Ciência Política](#)

[Baixar livros de Ciências da Saúde](#)

[Baixar livros de Comunicação](#)

[Baixar livros do Conselho Nacional de Educação - CNE](#)

[Baixar livros de Defesa civil](#)

[Baixar livros de Direito](#)

[Baixar livros de Direitos humanos](#)

[Baixar livros de Economia](#)

[Baixar livros de Economia Doméstica](#)

[Baixar livros de Educação](#)

[Baixar livros de Educação - Trânsito](#)

[Baixar livros de Educação Física](#)

[Baixar livros de Engenharia Aeroespacial](#)

[Baixar livros de Farmácia](#)

[Baixar livros de Filosofia](#)

[Baixar livros de Física](#)

[Baixar livros de Geociências](#)

[Baixar livros de Geografia](#)

[Baixar livros de História](#)

[Baixar livros de Línguas](#)

[Baixar livros de Literatura](#)  
[Baixar livros de Literatura de Cordel](#)  
[Baixar livros de Literatura Infantil](#)  
[Baixar livros de Matemática](#)  
[Baixar livros de Medicina](#)  
[Baixar livros de Medicina Veterinária](#)  
[Baixar livros de Meio Ambiente](#)  
[Baixar livros de Meteorologia](#)  
[Baixar Monografias e TCC](#)  
[Baixar livros Multidisciplinar](#)  
[Baixar livros de Música](#)  
[Baixar livros de Psicologia](#)  
[Baixar livros de Química](#)  
[Baixar livros de Saúde Coletiva](#)  
[Baixar livros de Serviço Social](#)  
[Baixar livros de Sociologia](#)  
[Baixar livros de Teologia](#)  
[Baixar livros de Trabalho](#)  
[Baixar livros de Turismo](#)