UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO

CENTRO DE CIÊNCIAS MATEMÁTICAS E DA NATUREZA

INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS - DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOLOGIA

ÍNDICE DE QUALIDADE DE ÁGUA SUBTERRÂNEA APLICADO EM ÁREA DE AQUÍFEROS CRISTALINOS COM USO AGRÍCOLA: BACIA DO RIO SÃO DOMINGOS – RJ

JULIANA MAGALHÃES MENEZES DOS SANTOS

Orientadores:
Gerson Cardoso da Silva Jr.
Rachel Bardy Prado

RIO DE JANEIRO

SETEMBRO DE 2009

UFRJ

ÍNDICE DE QUALIDADE DE ÁGUA SUBTERRÂNEA APLICADO EM ÁREA DE AQUÍFEROS CRISTALINOS COM USO AGRÍCOLA: BACIA DO RIO SÃO DOMINGOS – RJ

Juliana Magalhães Menezes dos Santos

Tese de Doutorado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geologia, Universidade Federal do Rio de Janeiro - UFRJ, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Doutor em Ciências (Geologia).

Orientadores:
Professor Doutor Gerson Cardoso da Silva Junior e
Doutora Rachel Bardy Prado – Embrapa Solos.

Rio de Janeiro
Setembro de 2009

ÍNDICE DE QUALIDADE DE ÁGUA SUBTERRÂNEA APLICADO EM ÁREA DE AQUÍFEROS CRISTALINOS COM USO AGRÍCOLA: BACIA DO RIO SÃO DOMINGOS – RJ

Juliana Magalhães Menezes dos Santos

Tese de Doutorado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geologia, Instituto de Geociências, da Universidade Federal do Rio de Janeiro - UFRJ, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Doutor em Ciências (Geologia).

Aprovada por

_____

Andrea Ferreira Borges, D.Sc. (UFRJ/IGEO).

_____

Nelson Ferreira Fernandes, Ph. D. (UFRJ).

_____

José Marcus de Oliveira Godoy, D.Sc. (PUC/RJ)

_____

José Carlos Sícoli Seoane, D.Sc. (UFRJ/IGEO).

_____

Frederico Garcia Sobreira D.Sc. (UFOP).

Rio de Janeiro
Setembro de 2009

Menezes, Juliana Magalhães.

Índice de Qualidade de Água Subterrânea Aplicado em Área de Aquíferos Cristalinos Com Uso Agrícola: Bacia do Rio São Domingos – RJ / Juliana Magalhães Menezes dos Santos. – Rio de Janeiro: UFRJ/ PPGl, 2009.

xiv, 189 f.: il.

Orientadores: Gerson Cardoso da Silva Junior e Rachel Bardy Prado.

Tese (doutorado) – UFRJ/ PPGl/ Programa de Pós Graduação em Geologia, 2009.

Referências Bibliográficas: f. 128-140.

1. Índice de Qualidade de água subterrânea. 2. Aquíferos Cristalinos. 3. Agricultura. 4. Stakeholders. 5. Ciclo PDCA. 6. Geologia. I. Silva Junior, Gerson Cardoso da; Prado, Rachel Bardy. II. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Instituto de Geociências, Programa de Pós-Graduação em Geologia. III. Título.

Ao meu extraordinário marido Rodrigo, que abraçou esse projeto como se dele fosse.
E aos meus incríveis pais, João e Zuleika Menezes, pela vida e alegria de viver.

AGRADECIMENTOS

A Deus por ter me dado a oportunidade de viver. Sem o Senhor, eu nada seria.

Ao meu estimado orientador, Gerson Cardoso da Silva Jr., pela oportunidade de aprender mais sobre hidrogeologia e incentivar meu crescimento. Obrigada pelas críticas, pelos debates, mas principalmente pelos momentos em que me fez avançar.

À minha querida orientadora, Rachel Bardy Prado, que tem servido de exemplo para mim, pela sua força, competência, profissionalismo e amizade.

Ao programa de Pós-Graduação em Geologia da Universidade Federal do Rio de Janeiro, ao seu corpo docente pela competência no ensino e pesquisa.

Ao geólogo Cláudio Matta, à secretária Cristina, ao Sr. Nelson, ao Thiago e ao motorista Ednaldo, pelas prestimosas ajudas em momentos oportunos.

À CAPES, pelo auxílio à pesquisa através da essencial concessão de bolsa de estudo.

Ao CNPq pelo fomento à pesquisa através do Projeto: "Caracterização de aquíferos fraturados no Noroeste Fluminense e elaboração de metodologia para estimativa de sua vulnerabilidade", Processo 485747/2006-5 (Edital Universal 2006).

À Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária/Embrapa Solos pela parceria, principalmente pelo apoio a pesquisa recebido por meio a co-orientação, assim como pelo apoiodo técnico nas coletas em campo, na pessoa do Fabiano de Oliveira Araújo, pelas análises laboratoriais de cátions e sólidos e pelo apoio do Dr. José Ronaldo Macedo no âmbito do Projeto: "Planejamento conservacionista visando a recarga do sistema hídrico em embasamento cristalino/PRODETAB-Aquíferos".

Ao D.Sc. Delmo Santiago Vaitsman do Instituto de Química/Departamento de Química Analítica da UFRJ pela realização das análises de ânions.

Ao Instituto Estadual do Ambiente (INEA)-Campos de Goytacazes, nas pessoas de René Justen, Natalícia Tavares e Ronaldo Poly, pelas coletas em campo e realização das análises micro em laboratóriobiológicas.

Ao Instituto Nacional de Tecnologia/INT, nas pessoas da D.Sc. Irene Aleluia e Maria Alice Cerullo, pela realização das análises de organoclorados e organofosforados.

Ao Departamento de Recursos Minerais/DRM-RJ, nas pessoas da Kátia Mansur, Aderson Martins e Thais Pimenta pela sempre pronta colaboração e competência.

À Secretaria Municipal de Agricultura e Meio Ambiente de São José de Ubá/RJ, na pessoa do Sr. Magno Vicente e do Sr. Lair, pelo apoio logístico nos trabalhos de camporealizados.

Ao Sr. Nelson Menegon, gerente do Setor de Águas Interiores da Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental do Estado de São Paulo/CETESB, pelas dúvidas esclarecidas em relação aos Índices de Qualidade de Água aplicados pela CETESB.

Aos meus amigos que foram fundamentais nos campos realizados: Cynthia Augusto e Vinícius Cristo. Obrigada pelo zelo com as análises e pelo ânimo nos momentos mais extenuantes.

À Manuela Souza, pela ajuda na realização das análises de alcalinidade.

Aos amigos que fiz dentro do Laboratório de Hidrogeologia da UFRJ: Alexandre Cruz, Rosemari Fabianovicz, Cauê Bielschowsky, Ana Carolina Barboza, Ghislaine Medeiros, Desirée Liechoscki, Rafael Santos e Mirian Costa.

À minha querida madrinha Andréa Paula, que me fez ver o quanto pode ser apaixonante o despertar para a ciência.

Ao meu querido amigo e professor Vinícius Seabra Trix, por ser muito afável e paciente comigo. Não podemos deixar a Liga Trix acabar!

À minha querida amiga Luana Alves de Lima Trix, por me ajudar, por me fazer rir, por me ouvir, por torcer, por ser assim tão especial para mim.

Às minhas irmãs de célula, por me ajudarem a lembrar do real motivo de estar aqui na Terra, um só coração, pois os campos estão brancos.

Aos meus sogros Murilo e Lígia e a minha cunhada Lucélia pelo carinho.

Aos meus maravilhosos irmãos, Marcio e Alexandre, às minhas queridíssimas cunhadas Ana Beatriz e Karla, e aos meus doces sobrinhos Beattriz, João Alexandre, Giovanna e Bernardo. Também é por vocês que tem valido a pena.

Aos meus inigualáveis pais, João e Zuleika, pelo amor, carinho, dedicação e orações todos esses anos. Obrigada por acreditarem em mim e por me amarem de forma plena. Sinto Deus mais perto quando estou com vocês.

Ao meu amado marido pelas diversas formas de ajuda dentro de sua infinita criatividade, inclusive pelas discussões de cunho teórico-metodológico. Você é fundamental!

À todos que durante esses longos anos me deram um sorriso, uma palavra de ânimo, fizeram uma oração a Deus por mim, me fizeram gargalhar ou até mesmo chorar, eu também agradeço, pois me fizeram viver.

À você leitor...

"Deus nos deu uma única vida

Para a usarmos da maneira que quisermos
Tem homem que passa debruçado em livros
Tem homem que passa em suspiros
E outros que passam em espirros
Mas existem outros também
Os que entendem que assim
como o conhecimento fica
Essa vida nunca termina
Nunca termina...
Se esse homem apenas
quiser passar essa vida
Perto d'Aquele que te
deu uma única vida
Que nunca termina
nunca termina

essa vida."

Theóphilo Márquez

"O teu saber pouco vale se ninguém souber que tu sabes."
Pérsio

RESUMO

ÍNDICE DE QUALIDADE DE ÁGUA SUBTERRÂNEA APLICADO EM ÁREA DE AQUÍFEROS CRISTALINOS COM USO AGRÍCOLA: BACIA DO RIO SÃO DOMINGOS – RJ

Juliana Magalhães Menezes dos Santos

Orientadores: Gerson Cardoso da Silva Junior e Rachel Bardy Prado

Resumo da Tese de Doutorado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geologia, Instituto de Geociências, da Universidade Federal do Rio de Janeiro - UFRJ, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Doutor em Ciências (Geologia).

A presente tese teve como principal objetivo desenvolver um Índice de Qualidade de Água Subterrânea para consumo humano ($IQAS_{CH}$) para ser aplicado em áreas de aquíferos cristalinos sob uso agrícola, tomando como área piloto a Bacia Hidrográfica do Rio São Domingos (BHRSD) – Noroeste do RJ. Para que o objetivo fosse alcançado: (i) poços escavados e tubulares da BHRSD foram monitorados de 2004 a 2008 em relaçãoo a diversos parâmetros; (ii) foram identificados os *stakeholders*, seus perfis poluidores, suas percepções sobre a qualidade do recurso hídrico subterrâneo e (iii) analisadas características naturais e alterações antrópicas que estão comprometendo o consumo humano das águas subterrâneas da BHRSD. Após estudo detalhado da BHRSD, as fases para construção do índice foram implementadas: 1) seleção de parâmetros para compor o $IQAS_{CH}$; 2) normalização dos dados pela lógica booleana; 3) estabelecimento de classes de ocorrência de amostras. A partir da soma de ocorrência em cada classe equivalente, os poços foram distribuídos em suas respectivas categorias de qualidade de água: *Ótima, Boa, Precisa de Tratamento* (agrupa amostras com algum parâmetro em inconformidade em relação aos padrões de potabilidade adotados) e *Imprópria* (agrupa amostras com algum parâmetro tóxico em inconformidade em relação aos padrões de potabilidade adotados). Os resultados indicam que os *stakeholders* dos recursos hídricos subterrâneos da BHRSD são os usuários dos setores da agricultura, do consumo doméstico, do comércio e serviços e da pecuária. A agricultura é atividade/grupo que mais polui as águas da BHRSD e os parâmetros que mais vezes não atenderam aos padrões de potabilidade em todo o período monitorado foram: coliformes termotolerantes, turbidez, nitrato, manganês, ferro e dureza. O $IQAS_{CH}$ agrupou predominantemente as amostras monitoradas na classe *Precisa de Tratamento*, cerca de 80%. Poucas amostras foram classificadas como *Impróprias* para o consumo humano, apenas 15%. Nenhuma amostra, porém, foi classificada como *Ótima*, sendo essa ausência um efeito direto da definição dessa classe, que é rigorosa. Isso significa dizer que em nenhum ponto amostrado todos os parâmetros apresentaram valores iguais ou menores que o Valor Guia. Somente 2,5% foram qualificadas como *Boa*. O $IQAS_{CH}$ mostrou-se ser restritivo e condizente com a realidade, já que diversos parâmetros foram encontrados em inconformidade com a legislação adotada na área estudada.

Palavras-chave: Índice de Qualidade de Água Subterrânea, Aquífero Cristalino, Agricultura.

Rio de Janeiro
Setembro de 2009

ABSTRACT

GROUNDWATER QUALITY INDEX APPLIED TO A FRACTURED AQUIFER WITH AGRICULTURAL USE: SÃO DOMINGOS RIVER BASIN - RJ
Juliana Magalhães Menezes dos Santos

Supervisors: Gerson Cardoso da Silva Junior e Rachel Bardy Prado

Abstract of Ph.D. thesis presented at Programa de Pós-Graduação em Geologia, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro - UFRJ, as part of requirements to obtain the Title of Doctor in Sciences (Geology).

The present dissertation develops of a Groundwater Quality Index for human consumption ($GWQI_{HC}$) for use in areas of crystalline aquifers with agricultural use, taking as a pilot area the São Domingos River Basin (SDRB) – Northwest of Rio de Janeiro State. For the purpose was achieved: (i) Dug and deep wells from SDRB were monitored from 2004 to 2008 with analysis of various parameters and groundwater environment according to aquifer type; (ii) Stakeholders were identified along with their polluting profiles and perception on groundwater quality and (iii) natural characteristics were analyzed as well as human interferences jeopardizing groundwater consumption in SDRB. Following a detailed study of SDRB, the steps to build the index were: 1) selection of parameters to specify the index; 2) normalization of data by boolean logic; 3) establishment of water type classes. From the sum of each equivalent class, wells were distributed in water quality categories: *Excellent, Good and Requires treatment,* (grouping samples with some inconformity related to potability standards) and *Not suitable for drinking* (grouping samples with some toxic parameter). Results indicate that the stakeholders of groundwater resources in the study area are the farmers, domestic consumers and commerce. Agriculture is the most pollutant activity in SDRB and the parameters that more often appear above the potability standards are: thermotolerant coliforms, turbidity, nitrate, manganese, iron and hardness. The $GWQI_{HC}$ grouped most samples in *Requires treatment* category, about 80%. Few samples were classified as *Not suitable for drinking* for human consumption, only 15%. No samples, however, was classified as *Excellent*, and this absence of a direct effect of this class definition, which is rigorous. That is, in all sampling points at least one parameter had values above the guide level. Only 2,5% were classified as *Good*. The $GWQI_{HC}$ proved to be restrictive and coherent with previous results, since various parameters were found to be in unconformity with the adopted legal standards.

Keywords: Groundwater Quality Index, Crystalline Aquifer, Agriculture

Rio de Janeiro
Setembro de 2009

SUMÁRIO

RESUMO ..... *ix*

ABSTRACT ..... *x*

LISTA DE FIGURAS ..... *xiii*

LISTA DE TABELAS ..... *xiv*

1 INTRODUÇÃO *1*

1.1 Contextualização **1**

1.2 Justificativa **3**

1.3 Hipótese de Trabalho e Objetivos **4**

1.4 Origem da Proposta **6**

1.5 Organização do Trabalho **7**

2 ANÁLISE DA DINÂMICA DO AMBIENTE EM RELAÇÃO ÀS ÁGUAS *8*

2.1 Análise dos Stakeholders **9**

2.1.1 Identificação dos *Stakeholders* 10

2.2 Ciclo PDCA **11**

2.3 Ciclo PDCA Adaptado **13**

3 INDÍCE DE QUALIDADE DE ÁGUA (IQA) *15*

3.1 Metodologias de Índice de Qualidade de Água (IQA) **16**

3.1.1 IQA_H - Horton 16

3.1.2 *National Sanitation Foundation* (IQA_{NSF}) 17

3.1.2.1 Índice de Toxidez (IT) 19

3.1.2.2 Índice de Qualidade de Água Bruta para fins de Abastecimento Público (IAP) 20

3.1.3 Índice de Qualidade de Água de Prati (IQA_{Prati}) 22

3.1.4 Índice de Qualidade de Água de Bascarán (IQA_B) 22

3.1.5 Índice de Qualidade de Água de Smith (IS) 23

3.1.6 *Canadian Water Quality Index* (IQA_C) 25

3.1.7 Método com o emprego da Lógica *Fuzzy* 27

3.2 Metodologias de Índice de Qualidade de Água Subterrânea (IQAS) **28**

3.2.1 Índice de Qualidade Natural das Águas Subterrâneas (IQNAS) 28

3.2.2 *Système d'évaluation de la Qualité des Eaux Souterraines (SEQ)* 30

3.2.3 Índice de Qualidade de Água Subterrânea (IQUAS) 31

3.2.4 Análise Fatorial de Correspondência (AFC) 33

3.2.5 Índice Relativo de Qualidade (IRQ) 35

3.3 Construção de um Índice de Qualidade de Água **37**

3.3.1 Seleção dos Parâmetros 38

3.3.1.1 Discussão Sobre o Emprego de Índices Globais ou Locais 39

3.3.1.2 Emprego de Parâmetros Tóxicos 39

3.3.1.3 Análise Dinâmica do (Entorno) Ambiente das Águas 41

3.3.2 Normalização dos Dados 41

3.3.3 Agregação dos Parâmetros 43

3.4 Aplicabilidade: Pontos Positivos e Negativos **46**

4 ÁREA DE ESTUDO *49*

4.1 Geologia **50**

4.2 Hidrogeologia **52**

4.3 Áreas de Monitoramento **53**

5 METODOLOGIA *55*

5.1 Análise Dinâmica do Ambiente das Águas **56**
5.1.1 Planejamento 57
5.1.2 Execução 60
5.1.2.1 Campanhas de Campo 60
5.1.2.2 Análises da qualidade da água 61
5.1.3 Verificação 64
5.1.4 Ações Corretivas 66

5.2 Construção do Índice de Qualidade de Água Subterrânea para Consumo Humano ($IQAS_{CH}$) **67**
5.2.1 Escolha dos Parâmetros 67
5.2.1.1 Parâmetros da Primeira Etapa do $IQAS_{CH}$ (Parâmetros Não Tóxicos) 67
5.2.1.2 Parâmetros da Segunda Etapa do $IQAS_{CH}$ (Parâmetros Tóxicos) 74
5.2.2 Normalização dos Dados 77
5.2.2.1 Padrões de Qualidade Adotados 79
5.2.3 Agregação 81
5.2.3.1 Primeira Abordagem 81
5.2.3.2 Segunda Abordagem 84
5.2.4 Aplicação e Validação 86
5.2.4.1 Aplicação e Comparação entre o Índice de Qualidade de Água Subterrânea para Consumo Humano ($IQAS_{CH}$) elaborado para a BHRSD e outros Índices Preexistentes 86
5.2.4.2 Aplicação do Índice de Qualidade de Água Subterrânea para Consumo Humano ($IQAS_{CH}$) elaborado para a BHRSD para todo o Período Monitorado 87
5.2.4.3 Desenvolvimento de Interface do $IQAS_{CH}$ com Usuário 88

6 RESULTADOS *89*

6.1 Análise Dinâmica do Ambiente das Águas (ADAA) **89**
6.1.1 Identificação dos *Stakeholders* 89
6.1.2 Perfil Poluidor dos *Stakeholders* 90
6.1.3 Caracterização Hidrogeoquímica 91
6.1.4 Adequação das Águas quanto aos Limites Estabelecidos pela Legislação (CONAMA 396/08) 94
6.1.4.1 Campanha de Caracterização 94
6.1.4.2 Campanhas de Monitoramento 98
6.1.4.2.1 Dureza 106
6.1.5 Percepção dos *Stakeholders* 107
6.1.6 Comunicação com os *Stakeholders* 108

6.2 Qualidade das Águas pela Aplicação de IQAs **109**
6.2.1 Comparação entre os Resultados da Aplicação de Índices de Qualidade de Água Preexistentes e o $IQAS_{CH}$ 109
6.2.2 Aplicação do $IQAS_{CH}$ elaborado para as microbacias Santa Maria e Barro Branco 117
6.2.3 Programa Computacional para o Cálculo do $IQAS_{CH}$ e Interface com o Usuário 124

7 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES *125*

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS *128*

ANEXOS *141*

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1: Ciclo PDCA – Método de controle de processos (Fonte: Adaptado de Deming, 1990). 12
Figura 2.2: Ciclo PDCA adaptado para a avaliação da qualidade das águas. 13
Figura 3.1: Curva média de variação de qualidade da água para o Nitrogênio Total (Fonte: CETESB, 2007). 18
Figura 3.2: Curva de qualidade padrão para as variáveis incluídas no ISTO. Se valor medido ≤ LI então q = 1 senão, q = 0,5 (Valor Medido - LI) / (LS - LI) (Fonte: CETESB, 2007). 21
Figura 3.3: Curvas de qualidade versus Intensidade do nitrato (Fonte: Oliveira et al., 2007). 29
Figura 3.4: Esquema mostrando os princípios que devem ser levados em consideração na escolha dos parâmetros para um IQA. 38
Figura 4.1: Mapa com a divisão municipal do Estado do Rio de Janeiro (IBGE) com destaque para a Região Noroeste e BHRSD. 49
Figura 4.2: Mapa Geológico da Bacia Hidrográfica do rio São Domingos (Heilbron et al., 2005). 51
Figura 4.3: Mapa de Vulnerabilidade Geral à contaminação de aquíferos fraturados da BHRSD (Fonte: Lima, 2009). 53
Figura 4.4 Localização das sub-bacias de Santa Maria/Cambiocó e Barro Branco na BHRSD. 54
Figura 4.5: Detalhes das áreas de monitoramento na BHRSD. A e B: Vila de Santa Maria (fotos: Fabiano Araújo); C e D: Vila de Barro Branco (foto A: Claudio Capeche, foto B: Andréa dos Santos). 54
Figura 5.1: Principais etapas metodológicas. 55
Figura 5.2: Integração da Análise dos Stakeholders adaptada com o Ciclo PDCA visando análise dos recursos hídricos. 56
Figura 5.3: Mapa da localização dos pontos amostrados na primeira campanha para a caracterização hidrogeoquímica da bacia e as microbacias monitoradas. 59
Figura 5.4: Representação de uma Tabela Disjuntiva Completa/TDC (modificado de Crivisqui & Villamonte, 1997). 78
Figura 5.5: Definição das categorias do $IQAS_{CH}$ consumo humano (1ª abordagem). 83
Figura 5.6: Descrição das categorias do $IQAS_{CH}$ consumo humano (Primeira Etapa). 83
Figura 5.7: Definição das categorias do $IQAS_{CH}$ consumo humano (2ª abordagem). 85
Figura 5.8: Descrição das categorias do $IQAS_{CH}$ consumo humano (2ª abordagem). 85
Figura 6.1: Diagrama radial mostrando os stakeholders das águas subterrâneas da Bacia Hidrográfica do rio São Domingos. 90
Figura 6.2: Diagrama de Piper ilustrando as composições químicas entre as águas subterrâneas provenientes dos poços escavados e dos poços tubulares da BHRSD. 93
Figura 6.3: Mapa ilustrando a distribuição espacial dos parâmetros em inconformidade na água dos poços rasos e a localização das culturas mapeadas por Abreu & Fidalgo (2006). 97
Figura 6.4: Mapa ilustrando a distribuição espacial de parâmetros em inconformidade na água dos poços tubulares e a localização das culturas mapeadas por Abreu & Fidalgo (2006). 97
Figura 6.5: Distribuição espacial do número dos parâmetros em inconformidade por ponto de amostragem para as campanhas realizadas. 104
Figura 6.7: Percentual dos parâmetros em inconformidade e das classes dos índices aplicados aos resultados (campanha outubro de 2004) dos poços escavados da BHRSD. 111
Figura 6.8: Mapa de superfície para os resultados da aplicação dos IQAs para os poços escavados em relação à campanha de outubro de 2004 para toda a BHRSD. 112
Figura 6.9: Percentual dos parâmetros em inconformidade e das classes dos índices aplicados aos resultados (campanha outubro de 2004) dos poços profundos na BHRSD. 114
Figura 6.10: Mapa de superfície para os resultados da aplicação dos IQAs para os poços profundos em relação à campanha de outubro de 2004 para toda a BHRSD. 115
Figura 6.11: Distribuição espacial dos resultados da aplicação do $IQAS_{CH,}$ por ponto de amostragem, para as campanhas realizadas nas microbacias de Santa Maria/Cambiocó e Barro Branco. 119
Figura 6.12: Histograma de ocorrência de classes obtidas pelo $IQAS_{CH}$ para os poços escavados para todo o período monitorado. 122
Figura 6.13: Histograma de ocorrência de classes obtidas pelo $IQAS_{CH}$ para os poços tubulares para todo o período monitorado. 122
Figura 6.14: Dendograma para os meses monitorados, agrupados pelo número de parâmetros em inconformidade para todos os poços. A linha vermelha indica onde foi realizado o corte e obtido 2 grupos. 123
Figura 6.15: Dendograma para os meses monitorados, agrupados pelos valores do $IQAS_{CH}$ para todos os poços. A linha vermelha indica onde foi realizado o corte e obtido 3 grupos. 123
Figura 6.16: Tela Inicial do Programa IQASCH. 124

LISTA DE TABELAS

Tabela 3.1: Exemplo de parâmetros e pesos dos IQA BASCARÁN. *23*
Tabela 3.2: Escala de valores do IS. *24*
Tabela 3.3: Equações matemáticas da Qualidade versus Concentração do parâmetro. *29*
Tabela 3.4: Grupos de Alterações de Qualidade e os Parâmetros relacionados ao método SEQ. *31*
Tabela 3.5: Classes de qualidade da água do método SEQ para consumo humano. *31*
Tabela 3.6: Parâmetros e pesos utilizados na construção do IQUAS. *33*
Tabela 3.7: Padronização produzida para o nitrato. *35*
Tabela 3.8: Possíveis limites para o índice. *35*
Tabela 3.9: Faixas escalares de variação do Índice Relativo de Qualidade (IRQ) para caracterização do potencial qualitativo das águas subterrâneas para consumo humano. *37*
Tabela 3.10: Pontos positivos e negativos dos Índices de Qualidade de Água apresentados. *47*
Tabela 3.11: Escala dos IQAs, variação de 0 a 100 (%). *48*
Tabela 5.1: Relação dos procedimentos realizados nas etapas de planejamento e execução no desenvolvimento do trabalho. *57*
Tabela 5.2: Descrição das campanhas de campo realizadas na BHRSD. *60*
Tabela 5.3: Parâmetros determinados in situ. *61*
Tabela 5.4: Parâmetros e métodos utilizados para as análises das águas da BHRSD. *63*
Tabela 5.6: Relação dos procedimentos realizados nas etapas CHECK e ACT no desenvolvimento do trabalho. *64*
Tabela 5.7: Parâmetros selecionados para a ***Primeira parte*** *do* $IQAS_{CH}$ *70*
Tabela 5.8: Parâmetros selecionados para a ***Segunda etapa*** *do* $IQAS_{CH}$. *74*
Tabela 5.9: Padronização produzida para o manganês. *78*
Tabela 5.10: Parâmetros que compõem o $IQAS_{CH}$ *para a BHRSD e seus respectivos VG e VMP.* *80*
Tabela 5.11: Índices aplicados. *87*
Tabela 6.1: Alguns parâmetros que podem apresentar inconformidade para o Consumo Humano em consequência das atividades desenvolvidas pelos stakeholders. *91*
Tabela 6.2: Média (%) e Desvio Padrão do balanço iônico das águas da BHRSD. *92*
Tabela 6.3: Número de pontos analisados e percentual dos que apresentaram parâmetros em inconformidade com a resolução CONAMA 396/08. ..... *95*
Tabela 6.5: Número de poços profundos (tubulares) analisados e percentual dos que apresentaram parâmetros em inconformidade com a Resolução CONAMA 396/08. ..... *100*
Tabela 6.5: Classificação das águas da BHRSD segundo a dureza em mg/L de $CaCO_3$. *106*
Tabela 6.6: Resultados dos índices calculados para toda a BHRSD. *117*
Tabela 6.7: Resultado do cálculo do Índice de Qualidade de Água para Consumo Humano para o período monitorado na BHRSD *120*

1 INTRODUÇÃO

1.1 Contextualização

Os recursos hídricos subterrâneos sempre foram imprescindíveis para a humanidade, condicionando a localização bem sucedida de núcleos populacionais e de eixos de ocupação humana e por vezes definindo o destino de culturas e civilizações. Nos dias de hoje, com a escassez de água, sua importância é crescente, pois funcionam como reservatório do qual se pode extrair água de boa qualidade para o abastecimento de água potável e para utilização na indústria e na agricultura (CCE, 2003). Falkenmark (2005) estimou que um terço da população do mundo seja dependente das águas subterrâneas.

Em muitas regiões do mundo, os recursos hídricos subterrâneos, chegam a ser a única fonte de água potável, principalmente em áreas onde os recursos superficiais são escassos ou de má qualidade. Isso porque as águas subterrâneas, de forma geral, apresentam uma qualidade que não sofre com as variações climáticas sazonais e não requerem tratamentos sofisticados para serem utilizadas no consumo humano, já que são mais protegidas dos microorganismos patogênicos e de alguns constituintes químicos. Além disso, os volumes disponíveis de água subterrânea no planeta são muito superiores aos dos recursos hídricos superficiais, embora distribuídos de modo desigual.

Alguns países, como a Áustria e a Dinamarca, utilizam quase exclusivamente a água subterrânea como fonte de água potável, 99% e 98%, respectivamente. Outros países como Suíça, Portugal, Itália e Alemanha utilizam água subterrânea para mais de 70% de suas necessidades de consumo (Eurostat, 1997; EEA, 1999a *apud* EEA, 1999b). A importância deste recurso é evidente não somente na Europa como nos EUA também. Dados da USEPA (2004) revelam que, apesar da média americana para o uso da água subterrânea com fins domésticos ser de 28%, muitos Estados e cidades dependem fortemente deste recurso. Como exemplo pode-se citar o Havaí, que utiliza água subterrânea para 95% de suas necessidades. Em áreas rurais dos EUA, 96% da água doméstica provêm da água subterrânea.

Segundo a WHO (2006a), muitas cidades da América Latina, que estão entre as maiores do continente e do mundo, como por exemplo a Cidade do México, Lima, Buenos Aires e Santiago do Chile, utilizam a água subterrânea como principal fonte de abastecimento. O

mesmo ocorre na Índia, China, Bangladesh, Tailândia, Indonésia e Vietnã, onde mais de 50% das fontes potáveis são provenientes das águas subterrâneas.

No Brasil, segundo os dados da Agência Nacional de Águas-ANA (2007), as águas subterrâneas vêm sendo aproveitadas de forma crescente, principalmente nas áreas de influência dos grandes centros urbanos, como Recife (com mais de 4.000 poços), Fortaleza, Natal, Brasília, Campo Grande e Dourados. Essas duas últimas cidades com uma participação de 60% de água das reservas subterrâneas no total distribuído às populações. Cerca de 40% das 1.650 localidades no Nordeste, com sistema de abastecimento, utilizam água subterrânea, sendo que nos Estados do Piauí e Maranhão esse percentual ultrapassa os 70% (Pedrosa & Caetano, 2002).

A região Sudeste, especificamente, em virtude das características hidrogeológicas, apresenta grande variedade de condições de armazenamento de água. As rochas cristalinas e as formações inferiores da bacia sedimentar do Paraná, por exemplo, constituem sistemas aquíferos pobres, mas que, devido às suas condições de ocorrência e localização, são intensamente aproveitados em algumas áreas (Pedrosa & Caetano, 2002). Os municípios paulistas também servem como exemplo, pois cerca de 70% deles são total ou parcialmente abastecidos por água subterrânea (Hirata, 2006).

Cerca de 80% do território do Rio de Janeiro é constituído por rochas cristalinas de médio a alto grau metamórfico, tradicionalmente tratadas como de baixa potencialidade para água subterrânea (Barreto *et al.*, 2001). Talvez por essa razão e pela facilidade de acesso às águas superficiais é que, na Região Metropolitana do Rio de Janeiro (RMRJ), dos 34 distritos (77,27% do total) onde há rede de abastecimento geral, somente um distrito é abastecido por poço profundo. Em todos os 10 distritos que não possuem rede de abastecimento geral (23,73% do total), poços particulares são utlizados como a principal solução alternativa (IBGE, 2000).

A água subterrânea, porém, torna-se relevante nos distritos que não fazem parte da RMRJ, onde cerca de 40% dos 244 distritos do Estado do Rio de Janeiro, que possuem rede de abastecimento geral, são abastecidos por poços rasos ou profundos, embora alguns desses também possuam águas superficiais como fonte de captação. A água subterrânea serve então, na maioria das vezes, para complementar o abastecimento público. Dos 32 distritos restantes, que não possuem rede geral de abastecimento, 72% utilizam poços particulares como a

principal alternativa. Os demais distritos utilizam cursos d'água, chafariz, bica ou mina (IBGE, 2000). Ou seja, a captação por poço raso (escavado) ou poço profundo (tubular), é a primeira opção nas áreas que não possuem rede geral de abastecimento.

Entretanto, trabalhos que tratam da qualidade das águas do Rio de Janeiro têm revelado que não somente as águas superficiais, mas também as subterrâneas encontram-se contaminadas por poluição difusa e pontual (Freitas & Almeida, 1999; Silva *et al.*, 2002; Barbosa, 2005; Menezes *et al.,* 2005, 2008a; Prado *et al.*, 2005; Mansur *et al.*, 2006).

A Bacia Hidrográfica do Rio São Domingos (BHRSD), área de aquífero cristalino, que abrange a totalidade do município de São José de Ubá e 10% do município de Itaperuna, localizado no Noroeste do Estado do Rio de Janeiro, vem sofrendo com a contaminação dos seus recursos hídricos (Menezes *et al.,* 2005, 2006; Prado *et al.*, 2005). As fontes de poluição difusas estão presentes, já que é uma área predominantemente agrícola. O cultivo convencional de tomate, principal cultura do município, é bastante expressivo e requer aplicação de quantidades significativas de pesticidas (fungicidas, inseticidas, dentre outros), que na maioria das vezes são aplicados de forma inapropriada. Também são aplicados fertilizantes no momento do preparo da terra para o plantio. Os resíduos destes produtos ficam retidos no solo e, posteriormente, na época das chuvas, podem atingir o lençol freático e/ou serem transportados até os corpos d'água, causando a sua contaminação. Como consequência, pode haver o comprometimento das espécies aquáticas e da saúde humana. Além das fontes difusas de poluição, as pontuais também são significativas em São José de Ubá, visto que não há tratamento prévio do esgoto tanto da população urbana quanto nas comunidades rurais e que estes dejetos são lançados *in natura* nos cursos d'água e várzeas, podendo contaminar inclusive a água dos poços que são utilizadas, principalmente na área rural, para o abastecimento da população (Prado *et al.*, 2005).

1.2 Justificativa

Segundo as Nações Unidas, ao se considerar as tendências atuais, mais de 45% da população do mundo não poderá contar com a quantidade mínima de água para o consumo diário em 2050. Seja em termos quantitativos ou qualitativos, a escassez de água já é realidade em muitas regiões do planeta atualmente. Sendo assim, estima-se que cerca de 1,1 bilhão de pessoas não tenham acesso a água potável, por exemplo. Nos países em desenvolvimento, esse problema aparece relacionado a 80% das mortes e enfermidades (FAO, 2007).

A degradação dos recursos hídricos e as perspectivas de escassez trazem à tona a necessidade de uma interpretação eficaz da qualidade das águas. É portanto necessário avaliar e monitorar, de forma objetiva e adequada, a qualidade das águas com o uso de poucos e significativos parâmetros para diferentes áreas e diversos fins. Tal necessidade é um desafio que tem sido enfrentado, na maior parte das vezes, com a otimização do monitoramento e utilização de Índices de Qualidade de Água (IQA), que consiste no emprego de variáveis que se correlacionam com as alterações ocorridas numa determinada bacia, sejam estas de origem antrópica ou natural (Toledo & Nicolella, 2002).

Alguns estudos têm demonstrado, porém, que os IQAs podem não traduzir os resultados (níveis de degradação) da maneira adequada (Ribeiro *et al.,* 1999; Prado & Di Lullo, 2007, Menezes *et al.,* 2008b). Os IQAs têm sido mais comumente aplicados para águas superficiais e pouco se tem discutido sobre um IQA específico para águas subterrâneas (IQAS). Além disso, a maior parte dos índices existentes foi desenvolvida e testada em países de clima temperado e não tropical, como o Brasil. Outro ponto que também merece destaque é o fato de um IQAS ser desenvolvido para aquíferos cristalinos, já que a importância desses aquíferos é enorme, nem tanto pela quantidade de água que podem oferecer, mas pela localização, uma vez que núcleos populacionais importantes estão assentados sobre esse tipo de terreno (Taylor Howard, 1999; Morris *et al.*, 2003; Tröger *et al.*, 2003; Neves & Albuquerque, 2004; Bocanegra & Silva Jr., 2007).

Com a crescente demanda pelo uso das águas subterrâneas, torna-se necessário o avanço em tais questões visando melhor traduzir para a sociedade os resultados de diagnóstico e monitoramento da qualidade dessas águas.

1.3 Hipótese de Trabalho e Objetivos

A principal questão a ser investigada neste estudo refere-se aos IQAS, mais especificamente sobre o algoritmo que deve ser a base para a elaboração de um índice. Alguns trabalhos (Rizzi, 2001; Almeida, A, 2007) aplicaram índices com algoritmos distintos, mas parâmetros iguais, e apresentaram resultados semelhantes e/ou proporcionais. Em outras pesquisas constatou-se que os resultados não refletiam a degradação existente nos recursos hídricos subterrâneos (Prado & Di Lullo, 2007; Cristo *et al*., 2008, Menezes *et al*., 2008b; Souza *et al*., 2008), ora pelo uso do algoritmo selecionado, ora pela escolha dos parâmetros.

Deste modo, a hipótese de trabalho é a de que, *para avaliar adequadamente a qualidade das águas subterrâneas em relação ao consumo humano a partir da utilização de IQAS, é necessário selecionar parâmetros tanto naturais quanto antrópicos. Além disso, a geologia e o uso e cobertura da terra devem ser considerados. É ainda preciso fazer uso de um algoritmo que não permita que amostras com parâmetros em inconformidade para consumo humano sejam classificadas como adequadas, e para tanto o índice deve ser construído de forma não ponderada, considerando igualdade de importância entre os parâmetros que entram no cálculo.*

Sendo assim, o **objetivo geral** do trabalho *é desenvolver um IQAS que avalie a qualidade da água para consumo humano (ingestão) que possa ser aplicado em área de aquíferos cristalinos sob uso agrícola, tomando como área piloto a BHRSD – RJ.*

Entre os **objetivos específicos** estão:

a) Avaliar o Ambiente em que Águas Subterrâneas da BHRSD estão inseridas;

a_i) Identificar os *stakeholders*[1], seus perfis poluidores, suas percepções sobre a qualidade do recurso hídrico subterrâneo e

a_{ii}) Analisar características naturais e alterações antrópicas que possam comprometer o consumo humano das águas subterrâneas da BHRSD;

b) Aplicar IQAs existentes para verificação de sua adequação a análise da área de estudo;

c) Avaliar a qualidade das águas subterrâneas da BHRSD para consumo humano a partir da aplicação do IQAS desenvolvido, levando em consideração os limites estabelecidos pela legislação ambiental vigente e

d) Validar o IQAS desenvolvido a partir de comparações com os outros índices aplicados e análises das características naturais e alterações antrópicas que inviabilizam o consumo humano das águas subterrâneas geradas no item **a_{ii}**.

---

[1] Os *stakeholders* são aqueles grupos ou indivíduos com os quais a organização interage ou tem interdependências, ou qualquer grupo ou indivíduo/ que pode afetar ou ser afetado pelas ações, decisões, políticas, práticas ou objetivos da organização (Machado Filho, 2002).

A primeira parte (**a**) dos objetivos específicos insere-se no âmbito da subordinação existente entre IQA e monitoramento, já que o índice é, na maioria das vezes, a forma objetiva de apresentação dos resultados obtidos ao longo do período monitorado. Por isso pretende-se ainda nesta pesquisa, contribuir com a sistematização do monitoramento das águas subterrâneas a partir da Análise Dinâmica do Ambiente (Entorno) em Relação às Águas. É importante mencionar que análises geradas nesta parte do trabalho viabilizaram a validação do IQAS desenvolvido.

1.4 Origem da Proposta

Este tema de trabalho nasceu no projeto "Planejamento Conservacionista das Terras e Modelagem Preditiva de Sistemas Aquíferos do Cristalino para a Recarga Hídrica em Bacias Hidrográficas de Relevo Acidentado", financiado pelo PRODETAB/Embrapa nº 087-02/01, finalizado em dezembro de 2005. Esse projeto teve como um de seus objetivos a caracterização, realizada no ano de 2004, e o monitoramento dos recursos hídricos, levado a cabo em 2005, da Bacia Hidrográfica do Rio São Domingos.

Ao finalizar a etapa de caracterização detectou-se a necessidade de utilização de um método que fosse capaz de expressar a qualidade da água, bem como suas variações espaciais e temporais, de forma simples e eficaz, para que essas informações fossem absorvidas com facilidade pelos atores locais. Foi nesse momento que estudos e testes com Índices de Qualidade de Água começaram a ser desenvolvidos na área. No entanto, foi identificada a necessidade de continuidade dos estudos, uma vez que foram identificados níveis de degradação das águas elevados, principalmente em relação a água para consumo humano. Dentro dessa perspectiva, iniciou-se em 2007 o projeto "Caracterização de Aquíferos Fraturados no Noroeste Fluminense e Elaboração de Metodologia para Estimativa de Vulnerabilidade", financiado pelo CNPq, por meio do Edital Universal 2006. Um de seus objetivos foi a elaboração de um IQAS que servisse para áreas rurais e de embasamento cristalino, tendo como referência a BHRSD. Esta tese de doutoramento está, portanto, diretamente vinculada aos projetos supracitados, tendo motivado a submissão ao Edital Universal.

1.5 Organização do Trabalho

Este documento foi organizado em 8 capítulos: no primeiro capítulo foi realizada a contextualização do trabalho apresentando a problemática envolvida, bem como apresentados aspectos relacionados à questão científica, às justificativas e descritos os objetivos da pesquisa. No segundo capítulo encontra-se o referencial teórico da Análise Dinâmica do Ambiente das Águas, que é a contribuição do presente trabalho à sistematização do monitoramento das águas com inclusão da Análise dos *Stakeholders* sob os pilares do Ciclo PDCA. O terceiro capítulo apresenta o Estado da Arte dos Índices de Qualidade de Água. No quarto capítulo a área de estudo é apresentada. O quinto capítulo refere-se aos materiais e métodos empregados para realização desta pesquisa e as razões que justificaram a escolha dos mesmos. No sexto capítulo são apresentados e discutidos os resultados obtidos por meio da metodologia empregada. Finalmente no sétimo capítulo são apresentadas as conclusões e as recomendações para continuidade dos estudos.

2 ANÁLISE DA DINÂMICA DO AMBIENTE EM RELAÇÃO ÀS ÁGUAS

O monitoramento qualitativo das águas pode ser definido como o levantamento de características físicas, químicas e biológicas das águas com frequência definida e visando atender um determinado fim sendo uma ferramenta para a implementação eficaz da Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH), instituída pela Lei 9.433 de 1997.

Apesar de sistemas de monitoramento não serem citados diretamente nesta lei a sua importância está implícita, já que para que alguns instrumentos dessa lei tenham efeito (enquadramento e outorga, por exemplo), o monitoramento das águas se faz necessário.

Mestrinho (2009) identifica ao menos 4 tipos de monitoramento:

a) Monitoramento de Detecção (ofensivo): para identificar o comprometimento do sistema;

b) Monitoramento de Prevenção (defensivo): para investigar áreas de risco (poluição e superexplotação);

c) Monitoramento de Avaliação: estudos em escala piloto para caracterização dos sistemas e

d) Monitoramento de Vigilância para água potável ou de salinização de aquíferos costeiros.

Os tipos de monitoramento supracitados devem conter as orientações básicas dadas pela Resolução 396/2008 do CONAMA, que trata especificamente das águas subterrâneas. Os artigos 12º e 13º, estabelecem, entre outras coisas, que:

a) Os órgãos competentes devem monitorar os parâmetros necessários ao acompanhamento da condição de qualidade da água subterrânea, com base naqueles selecionados em função dos usos preponderantes, das características hidrogeológicas, hidrogeoquímicas, das fontes de poluição e outros critérios técnicos definidos pelo órgão competente. Dentre os parâmetros selecionados, devem ser considerados, no mínimo, sólidos totais dissolvidos, nitrato e coliformes termotolerantes, sendo que pH, turbidez, condutividade elétrica e medição de nível de água são parâmetros também indicados para o monitoramento;

b) A frequência inicial do monitoramento deverá ser no mínimo semestral e definida em função das características hidrogeológicas e hidrogeoquímicas dos aquíferos, das fontes de poluição e dos usos pretendidos, podendo ser reavaliada após um período representativo e,

c) Os órgãos competentes devem realizar, a cada cinco anos, uma caracterização da qualidade da água contemplando todos os parâmetros listados na resolução, bem como outros que sejam considerados necessários.

Apesar do uso e cobertura da terra já serem considerados nas legislações brasileiras, pouquíssimas vezes tem sido mencionado ou incorporado ao monitoramento, à avaliação dos *stakeholders*. Dentro dessa perspectiva é que surge a Análise Dinâmica do Ambiente (Entorno) das Águas (ADAA), dentro da necessidade de uma visão mais ampla do monitoramento da qualidade das águas, de forma que todo o ambiente seja considerado, incluindo a avaliação dos interesses e ações dos *stakeholders*.

Em nenhum momento a ADAA se choca com os tipos de monitoramento preexistentes ou às orientações dadas pela resolução 396/08, pelo contrário, a fusão é totalmente pertinente e confere validade à metodologia. A ADAA é uma sistematização, mais amplificada, das etapas de caracterização e monitoramento de corpos hídricos. Engloba estratégias para avaliar a qualidade da água (principalmente a subterrânea), promovendo diálogo com as partes interessadas no recurso hídrico em questão. A ADAA foi estabelecida abarcando dois métodos preexistentes: Análise dos *Stakeholders* e o Ciclo PDCA.

2.1 Análise dos Stakeholders

O termo *stakeholder*[2] tem sido utilizado em trabalhos das mais diversas áreas do conhecimento, inclusive nas ciências ambientais, embora tenha sua origem relacionada a estratégias de administração de empresas. Freeman (1984) definiu *stakeholders* como todo grupo ou indivíduo que pode afetar ou ser afetado pela empresa ao realizar seus objetivos. Nas palavras do próprio Freeman (1984): *"the Stakeholder approach is about groups and individuals who can affect the organization, and is about managerial behavior taken in response to those groups and individuals"*.

---

[2] Apesar de não existir uma tradução literal do termo *stakeholder* para a língua portuguesa, em geral, é traduzido por "grupos de interesse". Esta tradução será adotada no presente trabalho.

O setor de gestão de recursos hídricos tem incorporado recentemente a estratégia de identificação e envolvimento dos *stakeholders*, num processo de diálogo contínuo, de forma que sejam consideradas as externalidades[3], as percepções e expectativas em relação aos riscos próprios das atividades de exploração dos recursos hídricos, objetivando diminuir ou evitar custos de mitigação de impactos ambientais e a emergência de conflitos sociais.

O Diálogo com Grupos de Interesse (*Stakeholder Dialogue*) é vital na identificação de problemas ambientais e relacionados ao desenvolvimento sustentável. É uma ferramenta de gestão que vem atender ao novo padrão de gerenciamento dos recursos naturais, imposta pela convenção[4] do desenvolvimento sustentável, tanto na sua dimensão regulatória (ambiental e social), quanto na articulação de interesses entre os atores envolvidos (Ebraico, 2003).

2.1.1 Identificação dos *Stakeholders*

De acordo com Grimble & Chan (1995) a análise dos *stakeholders* é um procedimento capaz de gerar uma compreensão de um sistema por meio de identificação dos atores-chave que nele atuam, e acessar seus respectivos interesses.

De acordo com Freeman (1984), antes que as estratégias de negócio fossem estabelecidas, seria indispensável responder três indagações sobre os *stakeholders* em questão, sendo elas:

a) Quem são os *stakeholders*?

b) O que os *stakeholders* desejam?

c) Como os *stakeholders* tentarão atingir suas metas e satisfazer seus interesses?

Há muitas formas de identificação dos *stakeholders* apresentadas na literatura (Grimble & Chan, 1995, Mitchel *et al.*, 1997) que geralmente perpassam por temas como poder, legitimidade, dependência, urgência, reivindicação, entre outros. Na área de gestão dos recursos hídricos diversas pesquisas têm identificado e estabelecido diálogo com os

---

[3] Efeitos das atividades de produção e consumo (que não se refletem diretamente no mercado) exercidas por um agente econômico e que atingem os demais agentes/atores, sem que estes participem ou mesmo conheçam o processo (Pindyck & Rubinfeld, 2006). Esse é o caso das águas subterrâneas, onde o consumo descontrolado degrada o recurso e nenhum custo de reparação é adicionado, afetando toda a sociedade.

[4] Convenção no sentido de "aceito universalmente". Desde a Conferência de Estocolmo, 1972, o conceito de Desenvolvimento Sustentável vem sendo construído e divulgado. Hoje é amplamente aceito pelos Estados, pelas empresas e pela sociedade civil em geral.

stakeholders (Fl Slob *et al.*, 2007; Jessel & Jacobs, 2005; Lerner *et al.*, 2007; Warner, 2005). Muitos tipos de *stakeholders* têm sido identificados, dentre eles: grupos de comércios e serviços, indústrias, consumidores domésticos, agências ambientais, ONGs ambientalistas, agricultores, pecuaristas, silvicultores, autoridades locais, empresas envasadoras de água, dentre outros.

Entretanto, no momento de transpor esse termo da administração para a gestão dos recursos hídricos subterrâneos, é necessário fazer algumas considerações. As águas subterrâneas no Brasil são bens de domínio público pertencentes aos Estados (BRASIL, 1988). Portanto os Estados, por analogia, podem ser considerados como as "empresas", pois estas devem assegurar os direitos dos seus "investidores": a população. Os Estados devem, juntamente com a União, Distrito Federal e municípios, proteger o meio ambiente e combater a poluição da água em qualquer de suas formas. Assim sendo, os *stakeholders* relacionados a um dado recurso hídrico são todos os que nele possuem algum interesse, que de forma geral são os usuários.

No uso das águas acontece um fato relevante, os grupos que têm interesse no recurso hídrico de boa qualidade, muitas vezes são os principais poluidores. Essa característica, por exemplo, revela algumas nuances que uma vez analisadas, podem favorecer a gestão dos recursos hídricos. Conhecendo o perfil de cada *stakeholder*, conhece-se também o perfil poluidor de cada um dos grupos. De posse dessas informações o gerenciamento dos recursos hídricos pode ser mais consistente, principalmente na questão dos parâmetros que devem ser analisados na caracterização e no monitoramento hidrogeoquímico e, consequentemente, os que devem compor um índice de qualidade de água.

2.2 Ciclo PDCA

O Ciclo *PDCA* (Plan/Do/Check/Act) em português significa Planejar/Executar/Verificar/Agir, foi proposto originalmente pelo estatístico Walter A. Shewhart em 1930, nos *Bell Laboratories* (EUA). Porém, foi seu aluno William Edwards Deming quem popularizou a metodologia após a Segunda Guerra Mundial no Japão, mais especificamente por meio da *JUSE* (*Japan Union of Scientists and Engineers*), onde pôde aplicar, de forma sistemática, conceitos da Qualidade Total nas empresas. A metodologia do Ciclo *PDCA* ajudou o Japão arrancar industrialmente após a II Guerra, tanto que Deming foi

homenageado pelo Governo Japonês, por meio do Prêmio Deming de Aplicação, que é concedido às empresas que instituem a busca pela qualidade na corporação.

Este modelo foi elaborado para efeito da gestão da qualidade e passou a ser utilizado para outros propósitos, tornando-se uma espécie de modelo padrão de gestão para implementar qualquer melhoria de modo sistemático e contínuo (Cajazeira & Barbieri, 2004). É uma metodologia que, atualmente, tem sido amplamente utilizada nas mais variadas áreas de atuação e tem servido, por exemplo, como base para a elaboração das normas *ISO* (*International Organization for Standardization*), inclusive para a série ISO 14.000, que trata dos sistemas de gestão ambiental (Cajazeira, 1998; Loureiro, 2005).

Segundo Deming (1990), este método de controle reflete o compromisso com a melhoria contínua e, é composto por quatro etapas, que produzem os resultados esperados de um processo, demonstradas na Figura 2.1.

a) *Plan* (Planejar): momento de determinar metas e objetivos e estabelecer o plano para alcançá-los, a partir da escolha dos itens e da forma que serão controlados;

b) *Do* (Executar): etapa de implementação do plano e de coleta dados;

c) *Check* (Verificar): período de análise dos dados coletados na etapa anterior e investigação de dados duvidosos. Deve-se verificar se os dados obtidos atendem aos objetivos, caso contrário, novos dados devem ser coletados e;

d) *Act* (Agir): parte do ciclo em que é necessário refletir sobre as causas dos desvios e tomar as ações corretivas. Ou seja, caso a operação realizada não esteja de acordo com o planejado, deve-se atuar corretivamente por meio de planos de ação para correção de rumo visando a meta estabelecida.

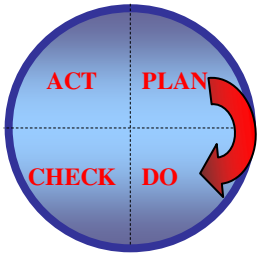


Figura 2.1: Ciclo PDCA – Método de controle de processos (Fonte: Adaptado de Deming, 1990).

O ciclo *PDCA* foi elaborado para ser empregado de modo dinâmico e com revisões periódicas. Isso quer dizer que chegar a etapa *ACT* não significa acabar com a aplicação da metodologia, pelo contrário, outro ciclo com melhor qualidade deve ser iniciado e assim sucessivamente.

2.3 Ciclo PDCA Adaptado

A metodologia ADAA busca identificar e dialogar com os *stakeholders* sobre as bases do modelo padrão de gestão de qualidade do Ciclo *PDCA*. Como dito anteriormente, a identificação dos *stakeholders* é uma ferramenta útil no gerenciamento de recursos hídricos e, se for tomado como alicerce, o método *PDCA* pode ampliar a chance de êxito.

A união das metodologias dos *stakeholders* e do Ciclo *PDCA* pode aperfeiçoar a obtenção de informações, a caracterização, o monitoramento e até mesmo a intervenção nos recursos hídricos. Deste modo, a construção e/ou adaptação de novas ferramentas que apóiem as tomadas de decisão, que na maioria das vezes é complexa, tem se mostrado de extrema importância.

O Ciclo *PDCA* adaptado para a avaliação da qualidade das águas é exibido na Figura 2.2, onde é possível observar as principais características de cada etapa. Um dos objetivos desse Ciclo adaptado é chegar ao seu final tendo respondido ao menos as três perguntas elaboradas por Freeman (1984) expostas no item 2.1.1.

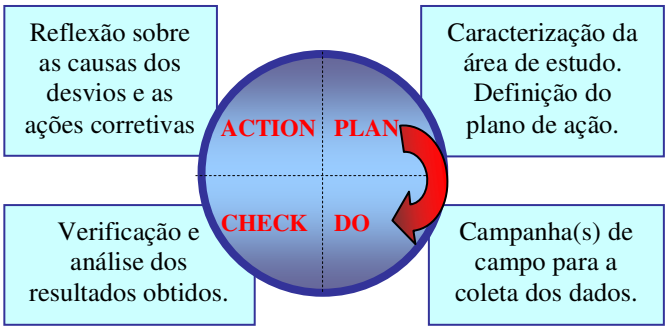


Figura 2.2: Ciclo PDCA adaptado para a avaliação da qualidade das águas.

É preciso fazer uso de instrumentos que permitam avaliar o processo de degradação da qualidade da água em bacias hidrográficas e subsidiar ações de mitigação dos problemas advindos da poluição (Prado & Di Lullo, 2007). O monitoramento de forma geral e a sistematização apresentada (ADAA) se prestam a tal. Porém muitos são os parâmetros que

precisam ser analisados (etapa *DO*) para o diagnóstico da qualidade da água e como uma das alternativas de compilação e apresentação destes resultados (etapa *CHECK*) de forma mais simples aos tomadores de decisão (etapa *ACT*), encontram-se os Índices de Qualidade da Água (IQA), tema do próximo capítulo.

3 INDÍCE DE QUALIDADE DE ÁGUA (IQA)

O índice de qualidade de água é uma ferramenta matemática empregada para transformar vários parâmetros em uma única grandeza, que represente o nível de qualidade da água. O uso de um IQA é prático e é uma diretriz de condução, pois qualquer programa de acompanhamento de qualidade da água, ao longo do tempo e do espaço, gera um grande número de dados analíticos que precisam ser apresentados em um formato sintético, para que descrevam e representem de forma compreensível e significativa o estado atual e as tendências da qualidade da água (Sánchez *et al.*, 2007; CCME, 2001b; Ferreira & Ide, 2001).

O IQA é um instrumento acessório na interpretação de dados, auxiliando na avaliação dos resultados. Dessa forma, torna-se útil no monitoramento e gerenciamento ambiental, servindo como ferramenta na tomada de decisões relativas aos recursos hídricos. Permite comunicação explícita entre profissionais e o público, onde a informação é transmitida em termos compreensíveis da qualidade e localização da poluição (Molozzi *et al.*, 2005; Aureliano *et al.*, 2005; Pinheiro, 2004 *apud* Molozzi *et al.*, 2005).

Índice é a agregação de dois ou mais parâmetros. De acordo com Farias *et al.* (2004), índice ou número índice é um quociente que expressa a variação relativa entre os valores de qualquer medida. O IQA muitas vezes é utilizado como um subindicador, como por exemplo, para cálculos de Índice de Qualidade de Bacia Hidrográfica (Germano *et al.*, 2005a) ou Indicador de Salubridade Ambiental, que é um índice utilizado para análise intraurbana por bairro como uma contribuição para a gestão urbana (Menezes, 2007). Em ambos os casos citados o emprego do IQA tem se mostrado muito importante.

Existem diversos tipos de índices, específicos para ambientes lênticos (água parada como os reservatórios, lagos e lagoas), lóticos (águas continentais moventes como rios e córregos), estuários, uso específico, estritamente biológicos ou para águas subterrâneas, dentre outros. Ainda, existem índices derivados de outros índices, como o utilizado pela CETESB, o Índice de Qualidade de Água Bruta (Superficial) para fins de Abastecimento Público (IAP) (CETESB, 2007). Os índices estão atrelados ao uso que se deseja fazer em um determinado corpo d'água e, geralmente, são elaborados a partir de opiniões de especialistas ou métodos estatísticos.

As metodologias apresentadas a seguir servem como uma mostra dos índices empregados para avaliação da qualidade da água. Deve-se ressaltar que a literatura específica para Índices de Qualidade de Água Subterrânea (IQAS) é escassa. Portanto, serão descritos tanto índices para águas superficiais como para subterrâneas. Ao mesmo tempo procurou-se apresentar as metodologias mais difundidas e as que representassem as diversas formas de elaboração de um IQA.

3.1 Metodologias de Índice de Qualidade de Água (IQA)

3.1.1 IQA_H - Horton

É atribuído ao R. Horton, pesquisador alemão, a elaboração do primeiro IQA. Foi em 1965 que Horton realizou, para a *ORSANCO* (*Ohio River Valley Water Sanitation Comission*), uma apresentação formal do IQA_H. Foi a partir do IQA_H que os índices passaram a ser vistos como ferramenta para a avaliação dos programas de redução da poluição e para informação pública (Derísio, 1992 *apud* CPRH, 2003).

O IQA_H é composto por 8 parâmetros (Oxigênio Dissolvido [OD], pH, coliformes fecais, alcalinidade, cloreto, condutividade elétrica [CE], tratamento de esgoto [% da população atendida], Carbono Extraído por Clorofórmio [CCE]) e baseia-se, como exposto na equação 3.1, em um somatório ponderado de subíndices, divididos pelo somatório dos pesos, multiplicado por dois coeficientes que consideram a temperatura e a poluição evidente de um curso d'água (Horton, 1965).

$$IQA_H = \left(\frac{C_1 w_1 + C_2 w_2 + ... + C_n w_n}{w_1 + w_2 + ... + w_n} \right) M_1 M_2 \qquad (3.1)$$

Onde:

IQA_H: Índice de Qualidade de Água, um número de 0 a 100;

C_i: Pontos de avaliação para a variável "i", um número de 0 a 100;

w_i: peso correspondente ao i-ésimo parâmetro;

M_1: Coeficiente para ajustar o IQA_H em relação à temperatura, M_1= 1 se T < 34ºC e M_1= 0,5 se T > 34ºC e

M_2: Coeficiente para ajustar o IQA em relação às condições de poluição, M_2 é o coeficiente que reflete a poluição aparente. M_2= 1 se sólidos sedimentáveis < 0,1 ml/L e M_2= 0,5 se sólidos sedimentáveis > 0,1 ml/L.

Os pesos (w_i) ficaram distribuídos da seguinte forma: OD= 4, pH= 4, tratamento de esgoto= 4, coliformes fecais= 2, alcalinidade= 1, cloreto= 1, condutividade= 1, Carbono Extraído com Clorofórmio (CCE)= 1. A escala de classificação, exposta na Tabela 3.11, varia de 0 (péssima qualidade) a 100 (ótima qualidade).

3.1.2 *National Sanitation Foundation* (IQA_{NSF})

O índice proposto por Horton serviu de subsídio para a elaboração de outros índices. Sendo assim Brown *et al*. (1970) construíram um IQA para a *National Sanitation Foundation (*NSF*)*. O IQA_{NSFA} é obtido pela soma dos subíndices ponderados como observado na equação 3.2.

$$IQA_{NSFA} = \sum_{i=1}^{n} w_i q_i \qquad (3.2)$$

Onde:

IQA_{NSFA}: Índice de Qualidade de Água Aditivo da *NSF*;

w_i: peso correspondente ao i-ésimo parâmetro, um número entre 0 e 1, aplicado em função da sua relevância para a conformação total de qualidade;

q_i: subíndice ou qualidade do i-ésimo parâmetro, um número entre 0 e 100, obtido da respectiva "curva média de variação de qualidade", em função de sua concentração e

n: número de parâmetros que entram no cálculo do IQA_{NSFA}.

De acordo com Brown *et al*., (1970), a composição do IQA_{NSFA} baseou-se numa pesquisa de opinião (método *Delphi*[5]) realizado com 142 especialistas em qualidade de águas superficiais. Os entrevistados sugeriram os parâmetros que deveriam ser analisados, o peso que cada um deveria receber e o valor de cada parâmetro, de acordo com sua condição ou

[5] Metodologia que consiste na aplicação de questionários a especialistas de determinado assunto. Os especialistas não devem conhecer a composição do grupo nem tão pouco devem trocar informações entre si, dessa forma tenta-se evitar tendenciosidades e influências (Wright & Giovinazzo, 2000).

estado, numa curva média de variação de qualidade. Foram selecionados 9 parâmetros indicadores de qualidade de água. Estas curvas de variação foram sintetizadas em um conjunto de curvas médias para cada parâmetro, bem como seu peso relativo correspondente, sendo possível observar o exemplo do nitrogênio na Figura 3.1 (CETESB, 2007).

Landwehr & Deininger (1976), também para a *NSF*, propuseram uma modificação no índice anterior. Ao invés de o IQA ser obtido pela forma aditiva (IQA_{NSFA}), que pode acarretar o abrandamento de situações extremadas, seria obtido pela forma multiplicativa (IQA_{NSF}), como exemplificado na equação 3.3. Assim sendo, alguns resultados muito baixos não seriam mais mascarados.

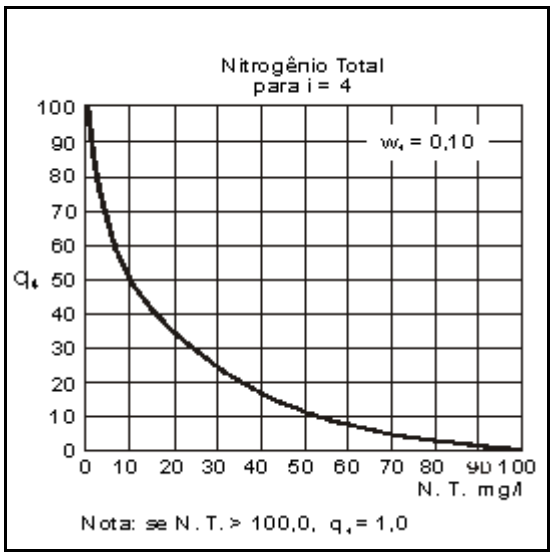


Figura 3.1: Curva média de variação de qualidade da água para o Nitrogênio Total (Fonte: CETESB, 2007).

$$IQA_{NSF} = \prod_{i=1}^{n} q_i^{w_i} \tag{3.3}$$

Onde:

IQA_{NSF}: Índice de Qualidade de Água Multiplicativo da *NSF*, um número entre 0 e 100;

q_i: subíndice ou qualidade do i-ésimo parâmetro, um número entre 0 e 100, obtido da respectiva "curva média de variação de qualidade" e

w_i: peso correspondente ao i-ésimo parâmetro, um número entre 0 e 1, sendo que:

$$\sum_{i=1}^{n} w_i = 1 \tag{3.4}$$

Onde:

n: número de parâmetros que entram no cálculo do IQA.

Após o cálculo, um valor de 0 a 100 é obtido (Tabela 3.11), onde 0 representa péssima qualidade e 100 ótima qualidade, sendo possível classificar a amostra na escala de categorias de qualidade de água.

No Brasil, o IQA_{NSF} foi adaptado pela Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB) e é o mais difundido e aplicado (Sena *et al.*, 2005; Molina *et al.*, 2006; Zuffo & Genovez, 2006; Oliveira *et al.*, 2007; Sousa *et al.*, 2007) fato que promove a comparação de diferentes áreas por meio dos estudos já realizados.

A função de agregação do IQA_{NSF} reduz resultados com efeitos de "eclipse", que costumam ocorrer quando o impacto negativo de algum dos parâmetros agregados em um único número é atenuado. Entretanto nesta função quando os pesos são pequenos, o índice pode vir a ser demasiadamente não-linear. A ausência de algum dos parâmetros dificulta ou até mesmo inviabiliza sua aplicação, já que, a inclusão de novos parâmetros não é simples. Os parâmetros selecionados foram: temperatura, pH, OD, Demanda Bioquímica de Oxigênio ($DBO_{5,20}$ = 5 dias, 20ºC), coliformes termotolerantes, nitrogênio total, fósforo total, resíduo total e turbidez.

3.1.2.1 Índice de Toxidez (IT)

Os índices elaborados pela *NSF* não contemplam parâmetros tóxicos e para preencher esta lacuna Brown *et al.* (1970) sugeriram o emprego do Índice de Toxidez (IT), que é complementar ao IQA da *NSF*. O IT pode ser 0 ou 1, ou seja, quando substâncias tóxicas (cádmio, chumbo, cobre, mercúrio, cromo total, níquel e zinco) são encontradas acima do Valor Máximo Permitido (VMP) o IT é 0 e dessa forma o valor do IQA é anulado e quando substâncias tóxicas não são encontradas acima do VMP o IT é 1, confirmando assim o seu valor.

3.1.2.2 Índice de Qualidade de Água Bruta para fins de Abastecimento Público (IAP)

A CETESB através do IAP tem incorporado não só substâncias tóxicas, mas também substâncias organolépticas.

O *IAP* (equação 3.5) é o produto da ponderação dos resultados do IQA_{NSF} e do ISTO (Índice de Substâncias Tóxicas e Organolépticas), que é composto pelo grupo de substâncias que afetam a qualidade organoléptica da água, bem como de substâncias tóxicas. Assim, o índice é composto por três grupos principais de variáveis (CETESB, 2007):

a) IQA – grupo de variáveis básicas (Temperatura da Água, pH, OD, DBO, Coliformes Termotolerantes, Nitrogênio Total, Fósforo Total, Resíduo Total e Turbidez);

b) ISTO

i) ST = Variáveis que indicam a presença de substâncias tóxicas (Teste de Ames - Genotoxicidade, Potencial de Formação de Trihalometanos - PFTHM, Número de Células de Cianobactérias - NCC, Cádmio, Chumbo, Cromo Total, Mercúrio e Níquel);

ii) SO = Grupo de variáveis que afetam a qualidade organoléptica (Ferro, Manganês, Alumínio, Cobre e Zinco).

O IAP é calculado segundo a equação 3.5.

$$IAP = IQA \times ISTO \tag{3.5}$$

A Figura 3.2 exemplifica a curva de qualidade padrão para as variáveis incluídas no ISTO, com exceção das variáveis Teste de Ames e número de células de cianobactérias. As curvas de qualidade foram elaboradas a partir de dois níveis de qualidade (q_i), que correspondem aos valores numéricos 1,0 e 0,5, ao limite inferior (LI) e ao limite superior (LS), respectivamente (CETESB, 2007).

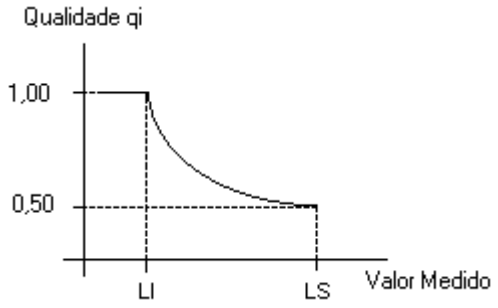


Figura 3.2: Curva de qualidade padrão para as variáveis incluídas no ISTO. Se valor medido ≤ LI então q = 1 senão, q = 0,5 (Valor Medido - LI) / (LS - LI) (Fonte: CETESB, 2007).

O ISTO (apresentado na equação 3.6) é resultado do produto dos grupos de substâncias tóxicas (i) e de substâncias que modificam a qualidade organoléptica da água (ii):

$$ISTO = ST \cdot SO \tag{3.6}$$

Onde:

ST: substâncias tóxicas e

SO: substâncias que alteram a qualidade organoléptica.

O *ST* é obtido por meio da multiplicação dos dois valores mínimos mais críticos do grupo dessas variáveis sendo uma adaptação do Índice de Smith (IS), conforme apresentado na equação 3.7.

$$ST = Mín1\ (qTA;\ qPFTHM;\ qCd;\ qCr;\ qPb;\ qNi;\ qHg;\ qNCC)\ x\ Mín2\ (qTA;\ qPFTHM;\ qCd;\ qCr;\ qPb;\ qNi;\ qHg;\ qNCC) \tag{3.7}$$

Onde:

Mín1 e *Mín2* são os menores valores das variáveis do grupo de ST e

q_i: número variando entre 0 e 1, obtido através das curvas de qualidade (ver Figura 3.2).

O SO é obtido pela média aritmética das qualidades padronizadas das variáveis pertencentes a este grupo, conforme equação 3.8.

$$SO = Média\ Aritmética\ (qAl;\ qCu;\ qZn;\ qFe;\ qMn) \tag{3.8}$$

q_i: número variando entre 0 e 1, obtido através das curvas de qualidade (ver Figura 3.2).

3.1.3 Índice de Qualidade de Água de Prati (IQA_{Prati})

O Índice Implícito de Poluição de Prati (IQA_{Prati}) é um índice para águas superficiais e engloba 13 parâmetros: OD, Demanda Química de Oxigênio (DQO), pH, DBO, nitrato, cloreto, carbono orgânico total, permanganato, sólidos suspensos, ferro, surfactantes, manganês, amônia (Prati *et al.*, 1971). Semelhante aos índices expostos anteriormente, um subíndice foi determinado para cada parâmetro e estes subíndices foram fundamentados em critérios pessoais relacionados ao rigor dos efeitos da poluição.

O índice é calculado como a média aritmética dos 13 subíndices (equação 3.9) e a escala de classificação varia de 0 a 14. Quanto maior for o seu valor mais poluído encontra-se o corpo d'água (CPRH, 2003).

$$IQA_{\text{Prati}} = \frac{1}{13}\sum_{i=1}^{13} qi \tag{3.9}$$

Onde:

IQA_{Prati} = Índice Implícito de Poluição de *Prati* e

q_i: subíndice ou qualidade do i-ésimo parâmetro.

3.1.4 Índice de Qualidade de Água de Bascarán (IQA_B)

O Índice de Qualidade de Águas Superficiais de Bascarán (IQA_B), aplicado na Espanha, é semelhante ao índice desenvolvido por Horton e trabalha com valores individuais de uma série de parâmetros e possibilita um valor global de qualidade de água (Bascarán, 1979 *apud* Rizzi, 2001). É expresso pela equação 3.10:

$$IQA_B = k\frac{\sum_{i=1}^{n} C_i P_i}{\sum_{i=1}^{n} P_i} \tag{3.10}$$

Onde:

C_i: valor percentual correspondente ao parâmetro *i*,

P_i: peso correspondente a cada parâmetro e

k: constante de ajuste, em função do aspecto visual das águas.

Para as águas claras, sem aparente contaminação, é atribuído para *k* o valor 1,00; para águas com ligeira cor, espuma, turbidez aparente ou natural é atribuído valor 0,75; para águas com aparência de estarem contaminadas e com forte odor é atribuído valor 0,50 e para águas negras que apresentam fermentação e odores é atribuído valor 0,25. A escala do IQA_B varia de 0 a 100 (de péssimo à excelente), como exposto na Tabela 3.11.

Embora pouco aplicado no Brasil, o IQA_B já foi adaptado por Rizzi (2001), de forma a contemplar os parâmetros existentes nos Boletins Quinzenais da Estação de Tratamento de Água Iguaçu - Curitiba e por Cristo *et al.,* (2009), para avaliar a qualidade das águas superficiais da Bacia Hidrográfica do Rio São Domingos. A Tabela 3.1 exemplifica os parâmetros e os pesos adotados por Cristo *et al.,* (2009) em sua pesquisa.

Tabela 3.1: Exemplo de parâmetros e pesos dos IQA BASCARÁN.

Parâmetro	**pH**	**O.D.**	**C.T.**	**Nitrato**	**Fosfato**	**DBO**	**Sólidos em Suspensão**	**Valor Percentual**
Peso	1,0	4,0	3	2	2	2	2	%
Valor Analítico do Parâmetro	1,0	,0	>1400	>100	>500	>15	>400	0
	2,0	1,0	1000	50	300	12	250	10
	3,0	2,0	700	20	200	10	180	20
	4,0	3,0	500	15	100	8	100	30
	5,0	3,5	400	10	50	6	50	40
	6,0	4,0	300	8	30	5	20	50
	6,5	5,0	200	6	20	4	18	60
	9,0	6,0	150	4	10	3	15	70
	8,5	6,5	100	2	5	2	10	80
	8,0	7,0	50	1	1	1	8	90
	7,0	7,5	0	0	0	<0,5	<5	100

Fonte: Cristo et al., 2009.

Os subíndices são obtidos de formas diferentes no IQA_{NSF} e no IQA_B. No IQA_{NSF} para cada valor analítico de parâmetro existe um q (subíndice) correspondente (Figura 3.1) e no IQA_B o valor percentual correlato ao parâmetro (C) é distribuído por categorias, de forma que vários valores analíticos possam estar correlacionados com o mesmo valor percentual (Tabela 3.1). Essa diferença faz com o uso do IQA_B seja mais simplificado e que os resultados do IQA_{NSF} apresentem mais detalhes.

3.1.5 Índice de Qualidade de Água de Smith (IS)

Smith (1987) propôs um índice que aborda quatro tipos de uso da água superficial:

a) Geral;

b) Banhos públicos;

c) Abastecimento de água e

d) Desova de peixes.

O método *Delphi* foi empregado para a seleção dos parâmetros e para a elaboração de subíndices (Tabela 3.2). O índice foi construído de forma não ponderada, pois considera igualdade de importância entre os parâmetros que entram no cálculo do IQA. A forma de agregação dos parâmetros deste índice difere em relação ao do Horton ou da NSF, por exemplo, o IS utiliza o método do operador mínimo e não os métodos de produtório ou somatório. O cálculo do IS é exposto na equação 3.11:

$$IS = min\ (I_1, I_2, \ldots I_i) \qquad (3.11)$$

Onde:

IS = Valor do índice e

I_i = Valor dos subíndices (apresentados na Tabela 3.2).

Tabela 3.2: Escala de valores do IS.

Valor do subíndice	Descrição da qualidade
$0 < I_i < 20$	Totalmente inadequada
$20 < I_i < 40$	Inadequada para os principais usos
$40 < I_i < 60$	Usos principais comprometidos
$60 < I_i < 80$	Adequados para utilização
$80 < I_i < 100$	Perfeitamente adequada para todos os usos

Fonte: Smith (1987).

O IS é, portanto, um índice composto de dois ou mais subíndices, em escala decrescente, onde as funções do operador mínimo nunca tocam os dois eixos, evitando com isso regiões ambíguas. O efeito "eclipse" pode ocorrer quando, ao agregar inúmeras variáveis em um único número, há uma atenuação negativa de uma das variáveis frente às demais consideradas para este cálculo, que fica portanto mascarada no resultado final. Ou seja, o peso atribuído a uma determinada variável não representa a realidade ambiental (Simões *et al.*, 2007).

O método proposto por Smith faz com que o valor do IQA seja equivalente ao menor valor dos subíndices já que, segundo o autor, são os parâmetros que apresentam maior inconformidade e não o conjunto deles que conferem à água o grau de adequação para determinado uso requerido.

3.1.6 *Canadian Water Quality Index* (IQA_C)

O método *Canadian Water Quality Index*, foi desenvolvido por uma comissão de especialistas em qualidade de água do *Canadian Council of Ministers of the Environment* (CCME) em 1997. A proposta dessa comissão foi a de avaliar diferentes índices que eram aplicados por diversas instituições e jurisdições do Canadá e formular um IQA que poderia ser usado para simplificar os relatórios de qualidade e pudesse ser acessível aos não especialistas. O IQA_C tem sido aplicado no programa de monitoramento de qualidade da água do Canadá desde 2001, sempre com muito êxito (Khan *et al.*, 2004; Lumb *et al.*, 2006).

De acordo com o CCME (2001a), o IQA_C é composto por três fatores (F_1, F_2, F_3). O primeiro a ser calculado, como pode ser observado na equação 3.12, é o F_1, que é chamado de Alcance, pois representa a porcentagem de parâmetros que estão em inconformidade com os valores de referência ou critérios de qualidade, ou seja, foram superiores (ou inferiores, quando o objetivo é o mínimo) ao limite estabelecido para dado fim.

$$F_1 = \left(\frac{\textit{Número de parâmetros inconformes}}{\textit{Número total de parâmetros}} \right) \times 100 \qquad (3.12)$$

O segundo fator a ser calculado, o F_2, representa a Frequência com que cada parâmetro analisado, em cada amostra coletada, não atende aos valores de referência. Essa comparação, entre os resultados dos parâmetros com os valores de referência, é denominada “teste”. A Frequência (F_2) é calculado através da equação 3.13:

$$F_2 = \left(\frac{\textit{Número de testes em inconformidade}}{\textit{Número total de testes}} \right) \times 100 \qquad (3.13)$$

O F_3 é o terceiro fator a ser calculado e representa a Amplitude das falhas dos testes, ou seja, refere-se à distância com que cada parâmetro está em relação ao limite de referência. A obtenção do F_3 ocorre em três momentos: do cálculo das variações, da soma normalizada das variações (*nse*) e da padronização dessa soma. Designa-se por "variação" o número de vezes

em que a concentração de um indivíduo é superior (ou inferior, quando o objetivo é o mínimo) ao limite estabelecido.

O primeiro passo é calcular o número de vezes que a concentração de um parâmetro não atende os critérios de qualidade ou objetivos definidos. A equação 3.14 é utilizada nos casos em que o parâmetro não deve exceder o valor de referência e a equação 3.15 é empregada quando o parâmetro não deve ser inferior ao valor de referência ou objetivo:

$$Variação_i = \left(\frac{Valor\ que\ excede\ o\ limite\ de\ referência_i}{Valor\ de\ referência_j} \right) - 1 \qquad (3.14)$$

$$Variação_i = \left(\frac{Valor\ de\ referência_j}{Valor\ que\ excede\ o\ limite\ de\ referência_i} \right) - 1 \qquad (3.15)$$

O segundo momento refere-se a soma normalizada dos desvios ou variações ou *nse* (*normalized sum of excursions*), ou seja, a variável *nse* é calculada somando as variações dos testes individuais e dividindo pelo número total de testes (tanto os que estão em conformidade como os que estão em inconformidade com os valores de referência), como exposto na equação 3.16:

$$nse = \frac{\sum_{i=1}^{n} variação_i}{Número\ de\ testes} \qquad (3.16)$$

F_3 é então calculado a partir da padronização da *nse*, em relação aos critérios estabelecidos, em uma escala entre 0 e 100, conforme apresentado na equação 3.17:

$$F_3 = \left(\frac{nse}{0{,}01nse + 0{,}01} \right) \qquad (3.17)$$

Depois que os fatores são obtidos, o IQA_C pode ser calculado pela soma dos três fatores. A soma dos quadrados de cada elemento é, portanto, igual ao quadrado do índice (equação 3.18). Esta metodologia trata o índice como sendo um vetor no espaço tridimensional, definido por cada um dos fatores.

$$IQA_{CCME} = 100 - \left(\frac{\sqrt{F_1^2 + F_2^2 + F_3^2}}{1{,}732} \right) \qquad (3.18)$$

O divisor 1,732 varia em um intervalo entre 0 e 100, onde 0 representa a "pior" qualidade da água e 100 representa a "melhor" qualidade da água. A constante 1,732 é inserida porque cada um dos três fatores individualmente, pode alcançar no máximo 100 (equação 3.19):

$$\sqrt{100^2 + 100^2 + 100^2} = \sqrt{30000} = 173{,}2 \tag{3.19}$$

Uma vez que o valor do IQA_C é determinado e um valor entre 0 e 100 é obtido, a qualidade da água pode ser classificada em uma das categorias apresentadas na Tabela 3.11.

O índice foi desenvolvido especialmente para avaliar o corpo hídrico ao longo do monitoramento. Ele é aberto e por isso é possível incluir ou excluir parâmetros, valores de referência e os objetivos específicos (classes de enquadramento) desejados. Contudo, o método é pouco difundido e empregado com composições diversas, nem sempre possibilitando a comparação entre áreas já analisadas.

3.1.7 Método com o emprego da Lógica *Fuzzy*

Deshpande & Raje (2003), avaliaram a qualidade da água para banho do rio Ganga na Índia por meio da lógica *fuzzy*, que difere da lógica booleana mencionada no item 3.2.4, onde a proposição lógica só pode ser 0 ou 1. Na lógica *fuzzy* não existem somente dois extremos, “totalmente verdadeiro” ou “totalmente falso”, sendo possível variar o grau de verdade em intervalos menores entre 0 a 1, ou seja, pode ser “parcialmente falso” ou “parcialmente verdadeiro”.

Para o desenvolvimento do método, quinze especialistas em qualidade de água foram consultados para a escolha dos parâmetros a serem analisados (coliformes fecais, OD, DBO, pH e turbidez). Foram criadas duas escalas de avaliação de qualidade, a primeira serve para avaliar os parâmetros individualmente (muito boa, boa, regular, ruim) e a segunda para classificar a amostra integralmente (totalmente aceitável, aceitável, parcialmente aceitável, não aceitável). A seguir as etapas para classificação das amostras são exemplificadas:

I - Os parâmetros analisados são transformados em um número *fuzzy* e separados em grupos hierarquizados:

a) Bioquímicos (OD, DBO, pH);

b) Microbiológicos (Coliformes fecais) e

c) Físicos (turbidez)

II - Em seguida cada grupo de parâmetros é classificado na escala que avalia se a água em relação a dada variável está: muito boa, boa, regular, ruim, como exemplificado a seguir:

a) OD = regular; DBO = bom e pH = muito bom. Status químico da água é bom;

b) Coliformes fecais = regular. Status bacteriológico da água é regular e

c) Turbidez = regular. Status físico da água é regular.

III – Classificação da amostra: com base nos grupos de parâmetros analisados em IIa, em IIb e IIc a qualidade da água para banho é aceitável.

Com este método é possível trabalhar as interseções existentes entre os parâmetros do mesmo grupo de alteração. Porém, é um índice fechado e por isso é necessário construir outro IQA para ser aplicado com outros parâmetros.

Seria possível mencionar ainda outras metodologias de cálculo de Índice de Qualidade de Água utilizadas no Brasil, como: a da Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo (Sabesp) que gerou o Índice Geral de Qualidade de Água Distribuída (IGQA) Facincani *et al.*, 1999) e a da Companhia de Água e Esgotos de Brasília (Caesb) que elaborou o IQAD - Índice da Qualidade da Água Distribuída à População do Distrito Federal (Bernardes *et al.*, 1999). Todos esses trabalhos foram desenvolvidos para águas superficiais, entretanto, nota-se muita semelhança na forma de elaboração desses índices, sendo um somatório de subíndices ponderados ou produtório de subíndices potencializados.

3.2 Metodologias de Índice de Qualidade de Água Subterrânea (IQAS)

3.2.1 Índice de Qualidade Natural das Águas Subterrâneas (IQNAS)

No Brasil, um grupo de estudos do Departamento de Engenharia Ambiental da Universidade Federal da Bahia desenvolveu curvas de qualidade para as águas subterrâneas da Bahia. O índice calculado é referente à Qualidade Natural da Água Subterrânea (IQNAS), para poços dos quatro domínios hidrogeológicos (sedimentar, metassedimentar, cárstico e

cristalino) do Estado da Bahia. Os parâmetros físico-químicos selecionados foram: pH, cloreto, resíduos totais, dureza, nitrato e flúor.

De acordo com Oliveira *et al.* (2007), o IQNAS foi construído à semelhança do Índice de Qualidade de Água da *National Sanitation Foundation* (adaptado pela CETESB). Foram utilizados os dados consistidos das análises químicas de 1899 poços cadastrados no Banco de Dados da Companhia de Engenharia Rural da Bahia (Cerb), e de 5 amostras de águas minerais da Bacia Sedimentar do Recôncavo, tomadas como padrão.

A Figura 3.3 apresenta um exemplo das curvas médias de variação de qualidade da água da Bahia. As equações matemáticas para os seis parâmetros utilizados foram modeladas utilizando o *software* estatístico *SYSTAT* e são dadas na Tabela 3.3.

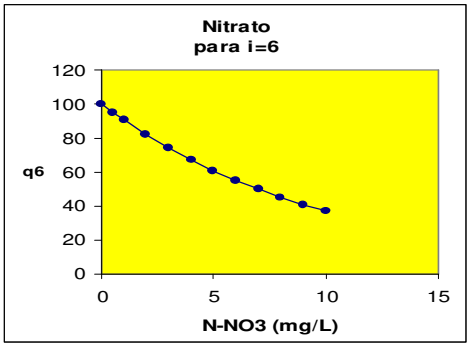


Figura 3.3: Curvas de qualidade versus Intensidade do nitrato (Fonte: Oliveira et al., 2007).

Tabela 3.3: Equações matemáticas da Qualidade versus Concentração do parâmetro.

Parâmetros	**Equações matemáticas das Notas**		**Pesos**
pH	Q_{pH} % = 1,7354*pH^2 Q_{pH} % = 16405*pH^-2,5 – 17	[2≤ pH ≤ 7,34] [pH ≥ 7,35]	0,05
Cloreto (Cl)	Q_{cl} % = 100 Q_{cl} % = 138,9*(Cl^-0,19561) - (Cl^0,42) Q_{cl} % = 0,0	[Cl < 4,86] [4,86 ≤ Cl ≤ 3000] [Cl > 3000]	0,26
Resíduos Totais (RT)	Q_{RT} % = 79 - 0,167284*RT + EXP(RT^0,228) Q_{RT}% = 27,7	[0 ≤ RT ≤ 1630] [RT > 1630]	0,22
Dureza (DUR)	Q_{DUR} % = 100 Q_{DUR} % = 101,1*EXP(-0,00212*DUR)	[DUR < 5,4] [DUR ≥ 5,4]	0,16
Flúor (F)	Q_f % = 80 + 21*F – F^11,6263 Q_F % = 0,0	[0 ≤ F ≤ 1,5] [F > 1,5]	0,16
Nitrato (NO_3 N)	Q_n % = 100*EXP(-0,0994*N)	[N ≥ 0,0]	0,15
Soma total dos pesos			**1,00**

Fonte: Oliveira et al., (2007).

As curvas de qualidade foram geradas especificamente para os principais Domínios Hidrogeológicos do Estado da Bahia, com isso a adequabilidade para o local é maior. Entretanto a inclusão de Cloreto e Resíduos Totais pode gerar casos de redundância ou multicolinearidade.

3.2.2 *Système d'évaluation de la Qualité des Eaux Souterraines (SEQ)*

O sistema de avaliação de qualidade de água subterrânea (*SEQ*) foi desenvolvido na França, pela Agência da Água e pelo Ministério da Ecologia e do Desenvolvimento Sustentável, com o objetivo de refletir as especificidades das águas subterrâneas. O *SEQ* determina a capacidade da água satisfazer os diferentes tipos de uso (Cadilhac & Albinet, 2003).

O *SEQ* avalia a qualidade da água medindo os vários tipos de poluição, que são caracterizados através de grupos formados por parâmetros da mesma natureza ou que provoquem os mesmos efeitos. O IQUAS apresentado no item 3.2.3, por exemplo, foi elaborado com essa mesma filosofia. A Tabela 3.4 apresenta os grupos que provocam alterações na água e os parâmetros relacionados.

O *SEQ* avalia os grupos de alteração de acordo com o uso e finalidade da água, variando de 0 a 100 as categorias. Ou seja, cada parâmetro é avaliado individualmente e posteriormente é avaliado o grupo que ele pertence. Dessa forma, são atribuídos valores para esses grupos e definidas as classes de adequação. Essas classes ou categorias (Tabela 3.5) possuem uma clássica representação em 4 cores (azul, verde, amarelo e vermelho). A definição de cada classe encontra-se também nesta tabela. A categoria final do ponto analisado é dada de acordo com a classificação mais baixa obtida pelos grupos de alteração (Cadilhac & Albinet, 2003), a semelhança de como é feito no Índice de Smith pelo método do operador mínimo.

Este índice apresenta ampla discussão sobre as concentrações dos parâmetros para os mais diversos usos e não somente o Valor máximo permitido (VMP) como é apresentado na legislação brasileira, o que pode ser considerado um grande avanço nessa área. Trabalha com grupos de alteração, diminuindo assim, casos de redundância ou multicolinearidade.

Tabela 3.4: Grupos de Alterações de Qualidade e os Parâmetros relacionados ao método SEQ.

Grupos de Alterações	Parâmetros relacionados
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*, Enterococos ou Estreptococos Fecais, Coliformes Totais
Mineralização e Salinidade	Condutividade Elétrica, Resíduo Seco, pH, Cloreto, Sulfato, Dureza, TAC (Alcalinidade Total), Cálcio, Magnésio, Sódio, Potássio, Fluoreto, Índice de Saturação, RAS (Razão de Adsorção de Sódio)
Nitrato	Nitrato
Nitrogenados (exceto Nitrato)	Amônia, Nitrito
Micropoluentes Minerais	Alumínio, Antimônio, Arsênio, Bário, Boro, Cádmio, Chumbo, Cianeto, Cobre, Cromo Total, Mercúrio, Níquel, Prata, Selénio, Zinco
Pesticidas	Aldrin, Atrazina, Desetilatrazina, Dieldrin, Diuron, Desetilsimazina, Heptacloro, Heptacloro epóxido, Isoproturão, Lindano, Terbutilazina, Simazina, Σ Paration metil+Paration etil, Σ Pesticidas, Outros Pesticidas
Hidrocarbonetos Aromáticos Policíclicos (HAP)	Benzo[a]pireno, H.A.P
Policlorobifenil (PCB)	PCB
Micropoluentes Orgânicos (outros)	Benzeno, Clorofórmio, Detergentes aniônicos, Dicloroetano-1,2, Hidrocarbonetos Dissolvidos, Hexaclorobenzeno, Ìndice Fenol, Tetracloroetileno, Tetracloreto de carbono, Tricloroetileno, Tricloroetano-1,1,1, Tricloroetileno e Tetracloroetileno Totais, Trihalometanos (THM's)
Corrosão	CO_2 dissolvido, O_2 dissolvido, Salinidade, Condutividade, pH, Cloreto, Sulfato, Ferro Bactérias, Sulfito, Eh (potencial redox)
Formação de Depósitos	pH, Eh, O_2 dissolvido, Ferro Bactérias, Índice de Saturação
Temperatura	Temperatura

Fonte: Cadilhac & Albinet, 2003.

Tabela 3.5: Classes de qualidade da água do método SEQ para consumo humano.

Classes	Índice	Definição das classes
Azul	100	Água de muito boa qualidade
Verde	80	Água de boa qualidade
Amarelo	60	Água de qualidade regular
Vermelho	0-19	Água de qualidade muito ruim

Fonte: Cadilhac & Albinet, 2003.

3.2.3 Índice de Qualidade de Água Subterrânea (IQUAS)

De acordo com Almeida & Oliveira (2008) a formulação do Índice de Qualidade de Água Subterrânea (IQUAS) foi baseada na revisão de índices já existentes para a avaliação da qualidade da água subterrânea, tal como o IQNAS e o SEQ - Sistema de avaliação da qualidade da água desenvolvido na França, sendo modificado para a inclusão de outros

parâmetros químicos e bacteriológicos. A escolha dos parâmetros e de seus pesos foi realizada por meio da Metodologia *Delphi*.

As curvas de qualidade foram elaboradas com base nos teores preconizados na minuta da resolução CONAMA (Conselho Nacional de Meio Ambiente) para águas subterrâneas, precursora da Resolução CONAMA nº396/08 (BRASIL, 2008); além da Portaria do Ministério da Saúde nº 518/04 (BRASIL, 2004) e da Diretriz para a Qualidade da Água para Consumo Humano (WHO, 2006b).

A Tabela 3.6 apresenta os parâmetros escolhidos, sendo possível notar que dois grupos de alterações (Ferro e Manganês; Mineralização e Salinidade) possuem mais de um parâmetro, o que os obriga a uma agregação intermediária. A equação 3.20 apresenta o exemplo do I_{FEMN} (Índice de Alteração Ferro e Manganês):

$$I_{FEMN} = Q_{FE}^{0,5} \times Q_{MN}^{0,5}$$

(3.20)

Onde:

Q = subíndice, valor obtido na curva de qualidade.

Na Tabela 3.6 é possível verificar ainda os pesos dos parâmetros, a importância atribuída, pesos temporários e pesos finais dos oito grupos de alteração. A equação final (2.21) do IQUAS é a seguinte:

$$IQUAS = Q_{BIO}^{0,19} \times Q_{FEMN}^{0,06} \times Q_{MS}^{0,19} \times Q_{PS}^{0,06} \times Q_{NIT}^{0,19} \times Q_{AMO}^{0,06} Q_{MIN} \times^{0,06} \times Q_{ORG}^{0,19} \quad (2.21)$$

Do cálculo dos subíndices dos parâmetros, da 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 (Tabela 3.11). O IQUAS também foi construído à semelhança do IQA_{NSF}, e por isso mantém o mesmo intervalo de notas nas categorias de qualidade da água (Almeida & Oliveira, 2008).

O IQUAS é composto por grupos de alteração, diminuindo assim, casos de redundância ou multicolinearidade, todavia é um índice geral e fechado podendo não refletir a realidade de um dado local e dificultando a inclusão de novos parâmetros.

Tabela 3.6: Parâmetros e pesos utilizados na construção do IQUAS.

Índice	Alteração	Parâmetros	Peso do Parâmetro	Importância Atribuída	Peso Temporário	Peso Final
IBIO	Microorganismos	Coliformes Termotolerantes	1	Muito Importante	1,5	0,19
IFEMN	Ferro e Manganês	Ferro Manganês	0,5 0,5	Importância Relativa	0,5	0,06
IMS	Mineralização Salinidade	Cloreto Dureza Fluoreto pH Sulfatos	0,3 0,3 0,1 0,1 0,2	Muito Importante	1,5	0,19
IPS	Partículas em Suspensão	Turbidez	1	Importância Relativa	0,5	0,06
INIT	Nitratos	Nitrato	1	Muito Importante	1,5	0,19
IAMO	Nitrogenados (fora Nitrato)	Amônia	1	Importância Relativa	0,5	0,06
IMIN	Micropoluentes Minerais	Mercúrio Total	1	Importância Relativa	0,5	0,06
IORG	Micropoluentes Orgânicos	Benzeno	1	Muito Importante	1,5	0,19
					8	1
Fórmulas				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

Fonte: Almeida & Oliveira (2008).

3.2.4 Análise Fatorial de Correspondência (AFC)

Para a determinação e interpretação dos dados de qualidade ambiental podem ser utilizadas diversas aplicações estatísticas, como por exemplo: Análise da Matriz de Correlação, Análise de Componentes Principais, Análise Fatorial (CPRH, 2003).

Stigter *et al.* (2006), em Portugal, objetivando acompanhar o impacto da agricultura na qualidade da potabilidade da água subterrânea, aplicaram o método chamado de Análise Fatorial de Correspondência (AFC), desenvolvido por Benzécri no início dos anos 60 do século passado, cujo objetivo era formar grupos a partir de características comuns. A construção do IQA_{AFC} se dividiu em três partes:

a) Seleção dos dados e parâmetros;

b) Padronização dos dados (lógica booleana) e;

c) Classificação das amostras.

Na primeira etapa, foram selecionados os parâmetros: nitrato, sulfato, cloreto e cálcio.

O segundo momento pode ser resumido na equação 3.22:

$$F_i = \frac{1}{p\sqrt{\lambda}} \sum_{j=1}^{m} \delta_j L_j \qquad (3.22)$$

Onde:

F_i = valor do fator i amostra;

P = número de parâmetros envolvidos na construção do índice;

λ = fator de ponderação (para manter a amostra entre 0 e 1);

δ_j = código lógico (δ_j =1, para amostras dentro das classes e δ_j =0, para amostras fora das classes);

L_j = fator de carregamento do fator j (peso de j em relação a lógica), e;

m = número de classes.

A padronização para cada um dos poços em cada parâmetro pode ser feita, por exemplo, por meio de um pacote estatístico como o *X-STAT* 2006, por meio da função de lógica sendo: 0 para a não ocorrência e 1 para a ocorrência.

As amostras, por parâmetro, foram distribuídas em uma faixa de três níveis de concentração:

b_1) <VG (menor que o valor guia);

b_2) VG-VMP (entre o valor guia e o valor máximo permitido) e

b_3) >VMP (acima do valor máximo permitido).

A Tabela 3.7 apresenta um exemplo referente ao nitrato, onde o *valor de guia* é VG = 25 mg/L NO_3 e o VMP= 50 mg/L NO_3. Tanto o valor de guia quanto o valor máximo permitido foram retirados da Norma Européia de 1980 (80/778/CEE - Comunidade

Econômica Européia). Dessa mesma forma, todos os parâmetros utilizados na metodologia passam por esse procedimento de padronização.

Tabela 3.7: Padronização produzida para o nitrato.

Amostra n°	NO^-_3 (mg/L)	NO^-_3		
		≤VG	VG-VMP	>VMP
1	31	0	1	0
2	135	0	0	1
3	6	1	0	0

Fonte: Stigter et al. (2006).

Por fim, com a Tabela 3.8 obtêm-se várias combinações de ocorrência e, de acordo com valores preestabelecidos, qualificam-se as amostras de acordo com os possíveis resultados das variáveis. Passado este momento, adquire-se um índice que varia de -1 a1, sendo 1 para baixa qualidade e -1 para alta qualidade. O zero é atribuído para água dentro dos padrões.

Tabela 3.8: Possíveis limites para o índice.

Índice	Nº de variáveis que ultrapassaram os padrões de qualidade
-1.00	0
-0.75	1var>VG ou 1var >VMP
-0.50	2var>VG ou 1var > VG e 1var> VMP
-0.25	3var>VG ou 1var > VG e 1var> VMP
0.00	4var>VG ou 1var > VG e 1var> VMP ou 2var>VMP
0.25	2var>VMP e 1 var>VG ou 1var>VMP e 3var>VG
0.50	3var>VMP ou 2var>VMP e 2var>VG
0.75	3var>VMP e 1 var>VG
1.00	4var>VMP

var: variável, VG: valor guia, VMP: valor máximo permitido.
Fonte: Stigter et al. (2006).

É um método interessante que considera igualdade de importância entre os parâmetros que entram no cálculo do IQA e possibilita várias combinações de ocorrência.

3.2.5 Índice Relativo de Qualidade (IRQ)

Há o método para caracterização e hierarquização do potencial qualitativo das águas subterrâneas: O Índice Relativo de Qualidade (IRQ), que foi desenvolvido por Fernandes & Loureiro (2006), na Universidade Federal de Minas Gerais. Neste procedimento, são considerados alguns parâmetros hidroquímicos sensíveis às interferências antrópicas, sendo eles: nitrato, cloreto e sólidos totais dissolvidos. Entretanto, nada impede que a referida metodologia seja aplicada para caracterizar as variações de outros parâmetros de natureza

antropogênica, como também para caracterizar alterações naturais da qualidade, desde que sejam previamente reconhecidos os valores de referência (*background*) para o sistema hidrogeológico avaliado.

A seguir serão apresentadas as equações utilizadas para a determinação do *IRQ*, por período de monitoramento e posteriormente as faixas de variação do IRQ (Tabela 3.9):

$$IRQ_{imáx.} = \frac{V_{imáx.}}{VMP_i} \tag{2.23}$$

$$IRQ_{iméd.} = \frac{V_{iméd.}}{VMP_i} \tag{2.24}$$

$$IRQ_{imáx.} = \frac{IRQ_{i1\,imáx.} + IRQ_{i2\,imáx.} + IRQ_{i3\,imáx..}}{3} \tag{2.25}$$

$$IRQ_{iméd.} = \frac{IRQ_{i1\,iméd.} + IRQ_{i2\,iméd.} + IRQ_{i3\,iméd.}}{3} \tag{2.26}$$

Onde:

i: número de parâmetros;

Vi máx.: máximo;

Vi méd.: média dos valores médios;

Vi: valores identificados;

VMPi: Valores Máximos Permitidos (conforme estabelecido pelo padrão de potabilidade das águas [Portaria N°518, do Ministério da Saúde, de 25/03/04]) e

IRQ_i: Índice Relativo de Qualidade de Água.

Tabela 3.9: Faixas escalares de variação do Índice Relativo de Qualidade (IRQ) para caracterização do potencial qualitativo das águas subterrâneas para consumo humano.

Variação do *IRQ*	**Qualidade para Consumo Humano**	**Caracterização Geral**
0,0 < ***IRQ*** _ 0,3	Excelente	Águas subterrâneas sem indicativo de perda de qualidade por parte de qualquer dos parâmetros considerados.
0,3 < ***IRQ*** _ 0,6	Boa	Águas subterrâneas sem problemas de perda de qualidade, alguns valores medidos estão se aproximando do valor máximo permitido para potabilidade das águas, segundo os parâmetros de interesse.
0,6 < ***IRQ*** _ 0,9	Razoável	Águas subterrâneas, em princípio, sem problemas sérios, mas com forte indicativo de perda de qualidade, dados os valores medidos muito próximos do valor máximo permitido para potabilidade das águas, segundo os parâmetros de interesse. Comumente um dos parâmetros pode se apresentar com valor medido pouco acima do máximo permitido. Recomenda-se o tratamento prévio para utilização.
0,9 < ***IRQ*** _ 1,2	Ruim	Águas subterrâneas com qualidade comprometida (perda de qualidade) em função de um ou mais parâmetros analisados comumente apresentarem-se superiores ao valor máximo permitido para potabilidade das águas. Recomenda-se o tratamento prévio para utilização e a continuação do monitoramento constante.
IRQ > 1,2	Péssima	Águas subterrâneas com qualidade comprometida (perda de qualidade) em função de um ou mais parâmetros analisados. Constata-se que os valores medidos comumente são muito superiores ao valor máximo permitido para potabilidade das águas. Recomenda-se o tratamento prévio para utilização e a continuação do monitoramento constante.

Nota: parâmetros avaliados segundo a Portaria N° 518, do Ministério da Saúde, de 25/03/2004.
Fonte: modificado de Fernandes (2005) apud Fernandes & Loureiro (2006).

A partir da realização dos cálculos a caracterização da qualidade das águas subterrâneas pode ser feita de acordo com a comparação com as faixas escalares de variação, conforme apresentado na Tabela 3.9. Este índice, como o próprio nome diz é relativo, não sendo tão preciso e também é pouco difundido.

3.3 Construção de um Índice de Qualidade de Água

Para que o resultado de um IQA se aproxime, o máximo possível, da qualidade real de um dado corpo hídrico, é necessário especificar os objetivos da aplicação do IQA, principalmente no que tange à composição do índice, à normalização dos dados, à escolha da equação e dos pesos.

3.3.1 Seleção dos Parâmetros

O mesmo axioma do modelo de Horton (1965) permanece: o pesquisador alemão já buscava um número restrito de parâmetros, que fossem representativos de todo o país (EUA) e que refletissem a disponibilidade de dados.

Mattos & Von Sperling (1999) reuniram 64 publicações sobre o assunto, desde a criação do primeiro IQA de Horton até as últimas pesquisas da década de 1990. Sendo assim, eles observaram que as escolhas dos parâmetros nos diversos Índices de Qualidade de Água utilizados, nos mais variados países, poderiam ser agrupadas em três classes metodológicas:

a) Pesquisa de opinião por correspondência - método *Delphi*;

b) Métodos estatísticos e

c) Combinação de ambos.

Mattos & Von Sperling (1999) consideram a etapa de seleção das características, ou parâmetros, nos quais o índice estará baseado, como a mais importante. Nos métodos de pesquisa de opinião, a técnica *Delphi* é a que tem sido mais utilizada (CPRH, 2003). A escolha dos parâmetros deve estar focada nos resultados que se deseja obter com a elaboração do IQA. A Figura 3.4 apresenta os princípios que devem ser levados em consideração na escolha dos parâmetros para um IQA.

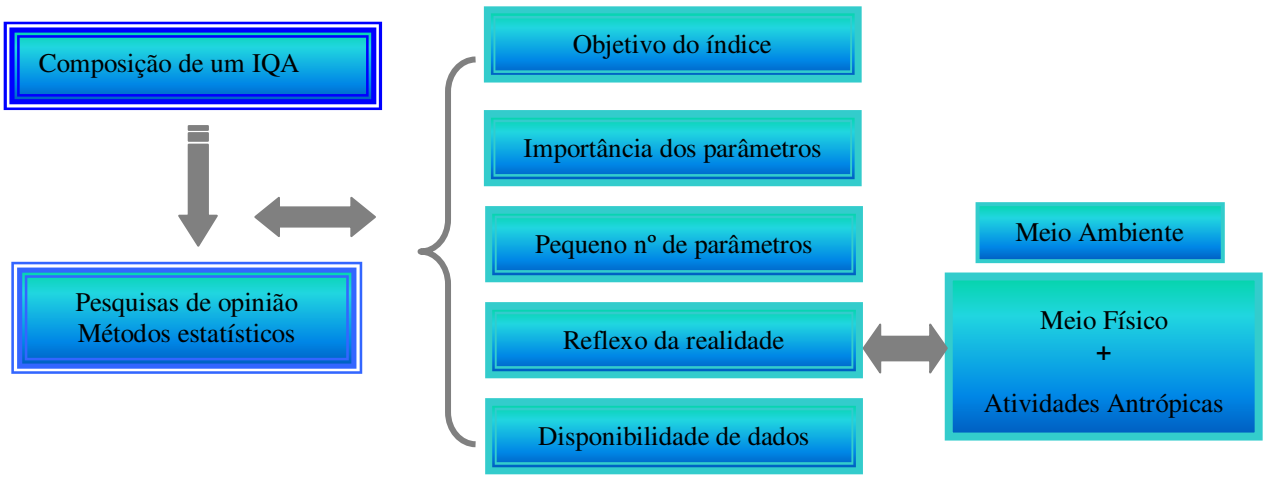


Figura 3.4: Esquema mostrando os princípios que devem ser levados em consideração na escolha dos parâmetros para um IQA.

3.3.1.1 Discussão Sobre o Emprego de Índices Globais ou Locais

Os índices podem ser globais ou locais, podem ser abertos ou fechados, e estas propriedades devem ser traçadas de acordo com objetivo do IQA. Os índices globais e fechados como o de *Horton*, de *Prati* e da *National Sanitation Foundation,* embora sejam úteis para analisar grandes áreas, têm uma tendência de mascarar a realidade, produzindo falsas impressões para os não especialistas em qualidade da água.

Prado & Di Lullo (2007) aplicaram o IQA_{NSF} com algumas modificações para o município de São José de Ubá-RJ e as amostras foram classificadas predominantemente na categoria boa, embora pesquisas realizadas na mesma área mostrem que diversos parâmetros estão em inconformidade para irrigação de hortaliças consumidas cruas e consumo humano (Prado *et al.* 2005 e Menezes *et al.*, 2008a). Algumas outras aplicações com o IQA_{NSF} e o IQA_C (Cristo *et al.,* 2009) também foram realizadas São José de Ubá e parte dos resultados seguiu a mesma tendência dos gerados por Prado & Di Lullo (2007).

Índice local parece mesmo ser uma tendência gerada pela necessidade de dados mais confiáveis e específicos. Essa propensão pode ser exemplificada pelos trabalhos de Stigter *et al.*, (2006), que geraram um IQAS para avaliar a influência das práticas agrícolas na qualidade aquíferos de Campina de Faro e Campina da Luz em Algarve, Portugal. Germano *et al.*, (2005b), elaboraram o Índice de Qualidade da Bacia Hidrográfica (IQBH), que engloba outros índices para avaliar uma sub-bacia da Bacia Hidrográfica do Lago Guaíba e Aguiar & Libânio (2002) propuseram o Índice de Avaliação da Qualidade de Água Distribuída (IQAD) para examinar os sistemas de abastecimento público ou privado. Mattos & Von Sperling (1999), baseando-se na metodologia do IQA_{NSF}, escolheram os parâmetros e os pesos que deveriam compor um IQA específico para o rio das Velhas em Ouro Preto, Minas Gerais.

3.3.1.2 Emprego de Parâmetros Tóxicos

A inclusão ou não de parâmetros tóxicos na composição de um IQA motiva duas grandes vertentes de pensamento. A primeira segue a linha de pensamento de Horton (1965), que não leva em consideração substâncias consideradas tóxicas já que, segundo o autor, os rios não deveriam conter nenhum tipo de substância danosa ao meio ambiente.

Haase *et al.*, (1989) *apud* Mattos & Von Sperling (1999), mencionaram que algumas variáveis como óleos e graxas, substâncias tóxicas e radioativas, apresentam concentrações

frequentemente limitadas espacial e temporalmente a determinadas situações, razão pela qual não podem ser incluídas em índices mais amplos, propostos para áreas com diferenças hidrológicas, demográficas e geológicas. Smith (1990), que propôs um IQA para as águas superficiais da Nova Zelândia, salienta que a presença de substâncias consideradas tóxicas nessas águas não é muito comum e por isso não foram incluídas no seu IQA.

A segunda vertente é adepta da inserção de substâncias tóxicas no IQA, entendendo que é importante avaliar os impactos antrópicos, embora alguns parâmetros possam aparecer naturalmente fora dos padrões de referência. Mattos & Von Sperling (1999) no IQA para o rio das Velhas – MG, incluíram fenóis, arsênio, manganês e mercúrio. Segundo os autores, essas substâncias foram encontradas em níveis elevados na região do alto curso da bacia do rio das Velhas e por isso foram inseridas. Khan *et al.*, (2004) relataram a aplicação do IQA_C no Canadá, onde diversas variáveis consideradas tóxicas também foram inseridas no cálculo do índice.

Se as substâncias tóxicas forem inseridas no índice, duas outras demandas surgem, a saber:

a) A elaboração de curvas de qualidade para as substâncias tóxicas e

b) A aplicação ou não de pesos no índice.

A construção de curvas de qualidade para as substâncias tóxicas é tarefa complexa, pois o grau de toxicidade desses parâmetros não é minuciosamente conhecido.

Se a finalidade do IQA não for tão restritiva quanto às relacionadas à saúde e/ou consumo humano, o uso de pesos pode ser interessante, já que alguns parâmetros podem ser mais importantes que outros. Entretanto, para avaliar águas para ingestão humana, por exemplo, qualquer parâmetro fora do valor permitido deve tornar a água imprópria para consumo. Nesses casos, parece coerente, porém incompleta, a proposta de Brown *et al.* (1970) com o Índice de Toxidez (IT), exposto em subitem anterior (3.1.2.1). Isso porque, no IT de Brown *et al.* (1970), o IQA só é anulado se substâncias tóxicas estiverem presentes, mas se substâncias não tóxicas também possuem valores máximos permitidos ou mínimos exigidos, porque não anular ou tornar imprópria as águas que possuem qualquer substância em inconformidade com o padrão de referência? Caso contrário, o IQA pode classificar uma água

como boa ou até mesmo ótima, mesmo ela não atendendo completamente a todos os padrões para consumo humano.

Todavia é importante estar atento ao fato de que anular o IQA faz com que ele perca sua utilidade para acompanhamento das águas monitoradas e comparação de áreas. Essa é uma lacuna existente em relação aos índices de finalidade restritiva.

3.3.1.3 Análise Dinâmica do (Entorno) Ambiente das Águas

Como dito anteriormente, as formas utilizadas para selecionar parâmetros para compor um IQA são: pesquisa de opinião, métodos estatísticos ou a combinação de ambos. Contudo, diante das necessidades atuais de índices locais e abertos, é necessária a elaboração de metodologias que imprimam mais autonomia aos pesquisadores e que permitam que as modificações locais sejam acompanhadas.

A autonomia está relacionada ao fato de que os questionários aplicados aos especialistas, pelo método *Delphi*, por exemplo, nem sempre retornam e nem todos os técnicos consultados procuram se inteirar sobre a área de estudo de maneira satisfatória, quando a proposta é de um IQA local. Deve-se ressaltar também a alta subjetividade inerente à metodologia *Delphi*, que depende da opinião de especialistas com diversos graus de afinidade ou familiaridade com o tema e ainda variáveis disponibilidades de tempo e boa vontade para preencher os formulários.

É igualmente importante que as mudanças que possam afetar a qualidade da água sejam refletidas na composição dos índices. Ou seja, as mudanças que forem ocorrendo ao longo do tempo na área de estudo devem gerar modificações na seleção dos parâmetros. Os índices não devem, portanto, ser estáticos.

Diante desse quadro, a ADAA pode contribuir na escolha dos parâmetros que devem compor um IQA, já que o perfil poluidor dos *stakeholders* é identificado.

3.3.2 Normalização dos Dados

Após a escolha dos parâmetros é indispensável a verificação da existência de casos de redundância ou multicolinearidade (quando existem mais de duas variáveis independentes fortemente relacionadas, com relações lineares exatas ou quase exatas). É necessário analisar

se dois ou mais parâmetros não são correlacionáveis em dada área. Por exemplo, em um aquífero costeiro pode ser redundante colocar em um mesmo IQAS, cloreto, condutividade elétrica e sólidos totais dissolvidos.

Posteriormente, é preciso padronizar os dados, já que as variáveis estão em diferentes unidades. Os subíndices servem para uniformizar os dados e é a metodologia de padronização mais aplicada em relação aos Índices de Qualidade de Água. Porém, subíndice não é o único método, como apresentado em itens anteriores (3.1.7 e 3.2.4) há também a padronização pela lógica *fuzzy* ou lógica booleana (codificação binária).

Os subíndices são obtidos equiparando-se as concentrações de determinado parâmetro a uma escala, que normalmente varia de 0 a 100. Esse nivelamento pode ser de forma absoluta ou de forma contínua (curvas de qualidade). A curva média de variação de qualidade é, portanto, função da concentração ou medida do parâmetro.

Os limites permitidos para cada parâmetro, de acordo com a finalidade pretendida, são também muito importantes e norteiam toda a discussão de um IQA. De forma geral, as pesquisas de opinião, os métodos estatísticos e as legislações de norma de qualidade de água são as fontes desses valores para cada parâmetro.

O Valor de Referência de Qualidade (VRQ), que trata-se da concentração ou valor de um dado parâmetro, que define a qualidade natural da água subterrânea e o Valor Máximo Permitido (VMP), que é o limite máximo permitido de um dado parâmetro, específico para cada uso da água subterrânea, geram padrões de qualidade que orientam a normalização dos dados (BRASIL, 2008).

Embora a primeira regulamentação sobre as águas brasileiras date de 1934 (Código das Águas), somente em 2008, com a Resolução nº 396/08 do CONAMA, foi apresentada uma lista específica de parâmetros com maior probabilidade de ocorrência em águas subterrâneas e seus respectivos VMP para cada um dos usos considerados como preponderantes (Consumo Humano, Dessedentação de Animais, Irrigação e Recreação).

A Norma 80/778 da Comunidade Econômica Européia (CEE), que aborda a qualidade das águas destinadas ao consumo humano, possui uma diferença em relação às diretrizes brasileiras (Portaria nº 518/04 do Ministério da Saúde; Resoluções nº 357/05 e nº 396/08 do CONAMA), pois inclui em seus valores de referência, não somente os valores máximos

permitidos ou mínimos exigidos, mas também o valor de guia (VG), que é o limite considerado satisfatório. Essa distinção entre o satisfatório e o máximo permitido ou mínimo exigido, favorece a elaboração de curvas de qualidade ou a padronização dos dados de forma geral.

3.3.3 Agregação dos Parâmetros

Regularmente, os valores resultantes de um subíndice são agregados por meio de algum tipo de soma ou média (por exemplo, aritmética, harmônica, geométrica) e, normalmente, incluem algum peso para cada parâmetro (por exemplo, Horton, 1965; Landwehr & Deininger, 1976). Dentro dessa perspectiva Mano (1989) *apud* (Oliveira, 2006) testou seis funções de agregação para o cálculo de IQA:

a) Média Aritmética Simples (AS):

$$IQA_{AS} = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} Subíndice_i \tag{3.27}$$

b) Média Aritmética Ponderada (AP):

$$IQA_{AP} = \sum_{i=1}^{n} Subíndice_i x P_i \tag{3.28}$$

c) Média Aritmética Simples Modificada (ASM):

$$IQA_{ASM} = \frac{1}{100}\left(\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} Subíndice_i\right)^2 \tag{3.29}$$

d) Média Aritmética Ponderada Modificada (APM):

$$IQA_{APM} = \frac{1}{100}\left(\sum_{i=1}^{n} Subíndice_i x P_i\right)^2 \tag{3.30}$$

e) Média Geométrica Simples (GS):

$$IQA_{GS} = \left(\prod_{i=1}^{n} Subíndice_i\right)^{\frac{1}{n}} \tag{3.31}$$

f) Média Geométrica Ponderada (GP):

$$IQA_{GP} = \prod_{i=1}^{n} Subíndice_i^{P_i} \tag{3.32}$$

Onde:

IQA: Índice de Qualidade da Água;

$Subíndice_i$ ou q_i: Subíndice ou valor de qualidade obtido, através de uma função de qualidade para cada variável;

P_i: Peso atribuído a cada parâmetro e

n: número de parâmetros que entram no cálculo do IQA.

De acordo com Mano (1989, *apud* Oliveira, 2006), após comparar os resultados obtidos com a aplicação das seis funções de agregação, concluiu que a formulação Aritmética Ponderada Modificada (equação 3.30), que representa o quadrado do índice aritmético ponderado dividido por 100, é a função que melhor reproduz a qualidade de uma determinada água. Ainda segundo Mano (1989) *apud* (Oliveira, 2006), esta função de agregação, além de conduzir à obtenção de índices ponderados e não apenas a médias simples, não induz, tal como sucede com as funções de agregação multiplicativas, à obtenção de valores por defeito, especialmente para as classes de qualidade mais baixas. Isto ocorre pelo fato de se tratar de uma função de agregação aditiva.

Embora Mano (1989) *apud* (Oliveira, 2006) seja favorável a aplicação da Média Ponderada Modificada, a função mais disseminada é a que foi proposta Landwehr & Deininger (1976) da *NSF*. De acordo Abbasi (2002), o índice multiplicativo da NSF é bom porque elimina o problema de ambigüidade e "ocultamento", da mesma forma que a agregação feita pelo método do operador mínimo. O IQA_{NSF} tem sido empregado em todo mundo (Giljanovicâ, 1999), tornando-se sinônimo de IQA. Para usos restritivos, a expressão matemática do IQA_{NSF} parece bem mais apropriada, já que por ser um produtório, valores próximos a zero (pior qualidade) fazem com que o valor final do índice também seja baixo.

As formulações matemáticas citadas não são as únicas formas de construção de um IQA. O IQA_C e o IQA_{AFC}, por exemplo, demonstram a diversidade que tem sido encontrada

em alguns trabalhos. Algumas pesquisas têm confrontado índices diferentes, com a mesma composição de parâmetros para uma mesma área de estudo.

Almeida, A, (2007) comparou o IQA_{NSF} e o $IQA_{C,}$ para as águas superficiais do rio Cuiabá e concluiu que:

a) Os resultados mostraram que dois métodos de cálculo CWQI e NSF reproduzem o mesmo comportamento de qualidade. Porém, sob certas condições (número de parâmetros e critérios de qualidade) o método CWQI produz valores de IQA com magnitude superior e inferior aos valores calculados com o método NSF;

b) Quando o número de parâmetros e critérios de qualidade é menor ou igual aos nove parâmetros de qualidade utilizados no método NSF, o método CWQI superestima os valores de IQA em relação aos valores calculado pelo método NSF e;

c) Quando o número de parâmetros e critérios aumenta em relação aos nove utilizados no método NSF ocorre o efeito contrário. Ou seja, a magnitude do IQA_C decresce em relação aos valores calculados através do IQA_{NSF}. Isso ocorre porque o método CWQI torna-se mais restritivo que o método NSF, devido ao aumento do número de parâmetros e critérios de qualidade.

É importante ressaltar que o mesmo comportamento de qualidade, não significa a mesma categoria no IQA_{NSF} e no IQA_C, e sim variações proporcionais. Por exemplo, quando o IQA_C superestima os valores no IQA_{NSF} o ponto X está na categoria boa e o Y na regular, no IQA_C o ponto X está na classe ótima e o Y na boa.

Ribeiro *et al.* (1999) compararam o IQA_H, o IQA_{Prati} e o IQA_{NSF} em águas superficiais da Bacia Hidrográfica do rio Caí, no Rio Grande do Sul. Segundo os autores, o IQA_{NSF} descreveu melhor a qualidade das águas do rio Caí e seus afluentes, sendo o mais adequado as condições estudadas. Isso porque o IQA_{NSF} considera um número maior de parâmetros que realmente demonstram o estado do rio Caí se comparado com o IQA_H e com o IQA_{Prati}. Portanto, a comparação foi em relação ao índice completo e não somente as formulações matemáticas.

Ferreira & Ide (2001) analisaram as águas do rio Miranda, no Mato Grosso do Sul e também compararam três índices, o IQA_H, o IQA_{Smith} e o IQA_{NSF}. Ao final do trabalho, os autores constataram divergências entre os resultados, pois enquanto o IQA_H qualificou a água

do rio Miranda como ótima, o IQA_{NSF} a qualificou como boa e o IQA_{Smith}, como inadequada aos principais usos. Foi utilizada a mesma composição para o IQA_H e para o IQA_{Smith} e verificou-se que ambos os índices apresentaram as mesmas oscilações, embora o IQA_{Smith} tenha gerado resultados mais críticos.

Com base nos trabalhos citados anteriormente é possível concluir que mesmo aplicando equações diferentes é possível obter resultados semelhantes, quando a composição do IQA é a mesma. Isso significa dizer que a equação pode ser adequada e, ainda assim, não refletir a realidade com boa aproximação. Isso aponta que o problema pode estar na composição dos índices.

3.4 Aplicabilidade: Pontos Positivos e Negativos

Um IQA perfeito não existe, pois refletir integralmente a realidade não é possível, visto que nesse tipo de aplicação a soma das partes não é o todo. Entretanto, é possível aplicar aquele que melhor se ajuste às necessidades e objetivos do caso estudado. É indispensável que os pontos fortes e fracos do índice a ser aplicado sejam conhecidos, e sendo assim, o conhecimento dessas características poderá ajudar na avaliação dos resultados gerados pelo IQA.

Com base em toda discussão realizada nos tópicos anteriores, a Tabela 3.10 sumariza alguns pontos positivos e negativos dos Índices de Qualidade de Água apresentados.

Tabela 3.10: Pontos positivos e negativos dos Índices de Qualidade de Água apresentados.

IQA	Pontos Positivos	Pontos Negativos
IQA_H	A partir do IQA_H os índices passaram a ser vistos como ferramenta para a avaliação dos programas de redução da poluição e para informação pública (Derísio, 1992 *apud* CPRH, 2003).	Índice voltado para as águas superficiais e possibilita a formação de "eclipses".
IQA_{NSF}	Método bastante difundido, facilita, portanto, a comparação de diferentes áreas através de estudos já realizados. A função de agregação elimina resultados com efeitos de "eclipse".	Ausência de algum dos parâmetros dificulta ou até mesmo inviabiliza sua aplicação, já que, a inclusão de novos parâmetros não é simples. Quando os pesos são pequenos, pode vir a ser demasiadamente não-linear.
IQANAS	As curvas de qualidade foram geradas especificamente para os principais Domínios Hidrogeológicos do Estado da Bahia, com isso a adequabilidade para o local é maior. A função de agregação elimina resultados com efeitos de "eclipse".	A inclusão de Cloreto e Resíduos Totais pode gerar casos de redundância ou multicolinearidade em alguns pontos. Ausência de algum dos parâmetros dificulta ou até mesmo inviabiliza sua aplicação, já que, a inclusão de novos parâmetros não é simples.
IQUAS	A função de agregação elimina resultados com efeitos de "eclipse". Trabalha com grupos de alteração, diminuindo assim, casos de redundância ou multicolinearidade.	Índice Geral podendo não refletir a realidade de um dado local. A ausência de algum dos parâmetros dificulta ou até mesmo inviabiliza sua aplicação, já que, a inclusão de novos parâmetros não é simples.
IQA_B	Os valores nas curvas ou funções de qualidade dos parâmetros são distribuídos de forma absoluta, tal fato permite inserção de novos parâmetros.	A constante de ajuste, em função do aspecto visual das águas (k), além de ser um critério subjetivo, não é apropriado para as águas subterrâneas.
IQA_{Prati}	As curvas de qualidade foram construídas de forma a que as novas unidades fossem proporcionais ao efeito poluente. Ou seja, mesmo que um poluente esteja presente em concentrações menores do que os outros poluentes, ela ainda irá exercer um grande impacto na pontuação do índice, se o seu efeito é mais poluente.	Índice voltado para as águas superficiais e possibilita a formação de "eclipses" ou "ocultamentos".
IS	Método do operador mínimo elimina o "eclipse". Repercute com clareza ocorrências extremas.	Índice voltado para as águas superficiais. Não exprime as nuances da qualidade da água
IQA_C	O índice é aberto, sendo possível incluir parâmetros, valores de referência e os objetivos específicos (classes de enquadramento) desejados. Índice desenvolvido objetivando avaliar o monitoramento do corpo hídrico.	Método pouco difundido e empregado com composições diversas, portanto, comparação entre áreas já analisadas nem sempre é viável.
AFC	De acordo com várias combinações de ocorrência e valores preestabelecidos as amostras são qualificadas, de forma simplificada, segundo os possíveis resultados das variáveis.	Índice fechado. Para ser aplicado com outros parâmetros é necessário construir outro IQA.
Lógica Fuzzy	É possível trabalhar as interseções existentes entre os parâmetros do mesmo grupo de alteração.	Índice fechado. Para ser aplicado com outros parâmetros é necessário construir outro IQA.
IRQ	Índice de fácil aplicação.	Índice Relativo, por isso não tão preciso. É também pouco difundido.
SEQ	Apresenta ampla discussão sobre as concentrações dos parâmetros para os mais diversos usos e não somente o VMP como é apresentado na legislação brasileira. Trabalha com grupos de alteração, diminuindo assim, casos de redundância ou multicolinearidade.	Os parâmetros ou agrupamentos são avaliados individualmente e em grande número.

A escala de categorias também é um tema peculiar, principalmente, na comparação de índices. Existem índices que não adotam a escala de 0 a 100, como por exemplo o *IRQ*, o IQA_{Prati} e o IS. Os que adotam uma variação de 0 a 100 são apresentados na Tabela 3.11, onde é possível observar que o IAQ_C é o mais restritivo. Já o IQA_B é o que possui o maior número de classes e o IQA_{NSF} (e suas adaptações) o que aceita amostras com menor valor na classe boa ($51 < IQA \geq 79$).

Tabela 3.11: Escala dos IQAs, variação de 0 a 100 (%).

Ponderação	**IQA_H**	**IQA_{NSF} IQANAS IQUAS**	**IQA_B**	**IAQ_C**	**SEQ**
100	Ótima	Ótima	Excelente	Ótima	Muito boa
95	Ótima	Ótima	Muito Bom	Ótima	Muito boa
90	Boa	Ótima	Muito Bom	Boa	Muito boa
85	Boa	Ótima	Bom	Boa	Muito boa
80	Boa	Ótima	Bom	Boa	Muito boa
75	Boa	Boa	Agradável	Regular	Boa
70	Regular	Boa	Agradável	Regular	Boa
65	Regular	Boa	Aceitável	Regular	Boa
60	Regular	Boa	Aceitável	Ruim	Boa
55	Regular	Boa	Normal	Ruim	Regular
50	Ruim	Regular	Normal	Ruim	Regular
45	Ruim	Regular	Impróprio	Ruim	Regular
40	Ruim	Regular	Impróprio	Muito Ruim	Regular
35	Ruim	Ruim	Desagradável	Muito Ruim	Ruim
30	Ruim	Ruim	Desagradável	Muito Ruim	Ruim
25	Péssima	Ruim	Ruim	Muito Ruim	Ruim
20	Péssima	Ruim	Ruim	Muito Ruim	Ruim
15	Péssima	Péssima	Muito Ruim	Muito Ruim	Péssima
10	Péssima	Péssima	Muito Ruim	Muito Ruim	Péssima
5	Péssima	Péssima	Péssima	Muito Ruim	Péssima
0	Péssima	Péssima	Péssima	Muito Ruim	Péssima

4 ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo, localizada no Noroeste Fluminense, é a Bacia Hidrográfica do rio São Domingos (BHRSD), de 280 km^2, que contempla integralmente o município de São José de Ubá e pequena parte (10%) de Itaperuna (Figura 4.1).

A BHRSD tem sofrido com a escassez e alteração da qualidade natural dos seus recursos hídricos. A insuficiência de água ocorre devido à distribuição irregular das chuvas ao longo do ano, ao pequeno percentual de cobertura vegetal, à erosão dos solos e ao assoreamento dos corpos d'água, dentre outros possíveis fatores. Estes são majoritariamente consequência da ocupação não planejada das terras e dos sistemas agrícolas não-preservacionistas que têm vigorado até o momento na região (Freitas *et al.*, 2001).

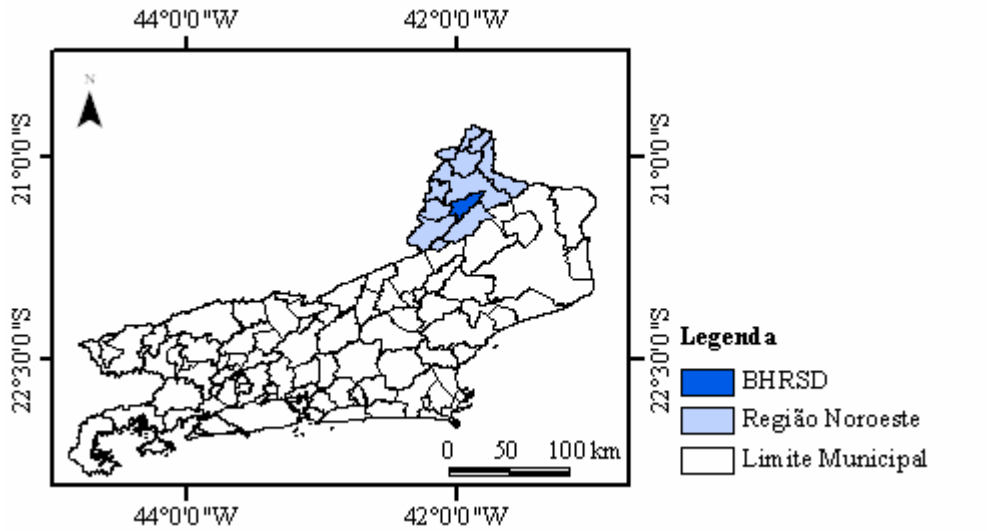


Figura 4.1: Mapa com a divisão municipal do Estado do Rio de Janeiro (IBGE) com destaque para a Região Noroeste e BHRSD.

As águas superficiais não são mais suficientes para atender à demanda dos produtores rurais e, para o seu aproveitamento, os produtores não se furtam em interferir no fluxo natural dos corpos d'água. Para isso constroem pequenas barragens ao longo dos córregos e as áreas alagadas incrementam as perdas por evaporação, diminuindo o potencial hídrico dos mananciais (Prado *et al.*, 2005). A alternativa para as práticas agropecuárias e para o abastecimento doméstico é então a água subterrânea. Porém, o ciclo hidrológico encontra-se alterado e a recarga dos aquíferos encontra-se também prejudicada (Menezes *et al.*, 2007). Cerca de 60% do abastecimento de água ocorre por meio de poços (públicos ou particulares)

ou nascentes na propriedade (IBGE, 2000), utilizados de um modo geral sem nenhum controle efetivo por parte do poder público.

Menezes *et al.* (2008a) apontam que durante monitoramento das águas superficiais realizado entre 2004 e 2008 os parâmetros que mais vezes encontraram-se em inconformidade com a Resolução CONAMA 357/05 (Classe 2) foram: Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO), Oxigênio Dissolvido (OD), Alumínio, Ferro e Manganês. Os parâmetros DBO e OD indicam a eutrofização que as águas vêm sofrendo com lançamentos dos resíduos agrícolas, esgotos e criação de animais. Apesar de existirem minerais alumino-silicatados e ferromagnesianos na área de estudo, segundo os autores, os parâmetros Alumínio, Ferro e Manganês podem ter apresentado inconformidade com a legislação por conta das atividades relacionadas à agricultura.

Portanto, a degradação da água encontra-se bastante relacionada à atividade predominante da região, o cultivo do tomate, que além de requerer grandes volumes de água para a irrigação, utiliza grandes quantidades de fertilizantes e pesticidas, que frequentemente são aplicados indiscriminadamente e também à falta de tratamento dos esgotos (Prado *et al.*, 2005).

O **clima** da Região Noroeste Fluminense, baseado na classificação de Köppen, é o Aw, tropical quente e úmido com estações seca (inverno) e chuvosa (verão) bem marcadas (Gonçalves *et al.*, 2006). Em relação aos tipos de **solos**, nas baixadas (várzeas) localizam-se os Gleissolos e nas posições ligeiramente mais elevadas os Planossolos e Cambissolos. Nas áreas de morros e montanhas, estão os Argissolos Vermelhos e Vermelho-Amarelos que gradativamente dão lugar a Cambissolos e a Neossolos Litólicos à medida que o relevo fica mais acentuado (Lumbreras *et al.*, 2006). Quanto ao uso e cobertura da terra da BHRSD a classe Pastagem, que corresponde às áreas cobertas por pastagem sob diferentes manejos, incluindo pasto sujo, é a predominante na bacia, ocupando 88,30% de sua área (Fidalgo & Abreu, 2005).

4.1 Geologia

Do ponto de vista **geológico** e **estrutural**, na área da BHRSD, afloram rochas cristalinas pré-cambrianas recobertas por sedimentos aluviais recentes ao longo das principais drenagens. Uma importante descontinuidade geológica corta a área longitudinalmente (rumo NE-SW)

limitando os domínios Juiz de Fora a norte e Cambuci a sul (Heilbron *et al.*, 2005), exemplificados na Figura 4.2. As descrições petrográficas das rochas coletadas durante o Projeto Carta Geológica do Estado em escala 1:50.000 (Folha São João do Paraíso, DRM-RJ, 1978) foram utilizadas para identificação da mineralogia básica de cada litotipo.

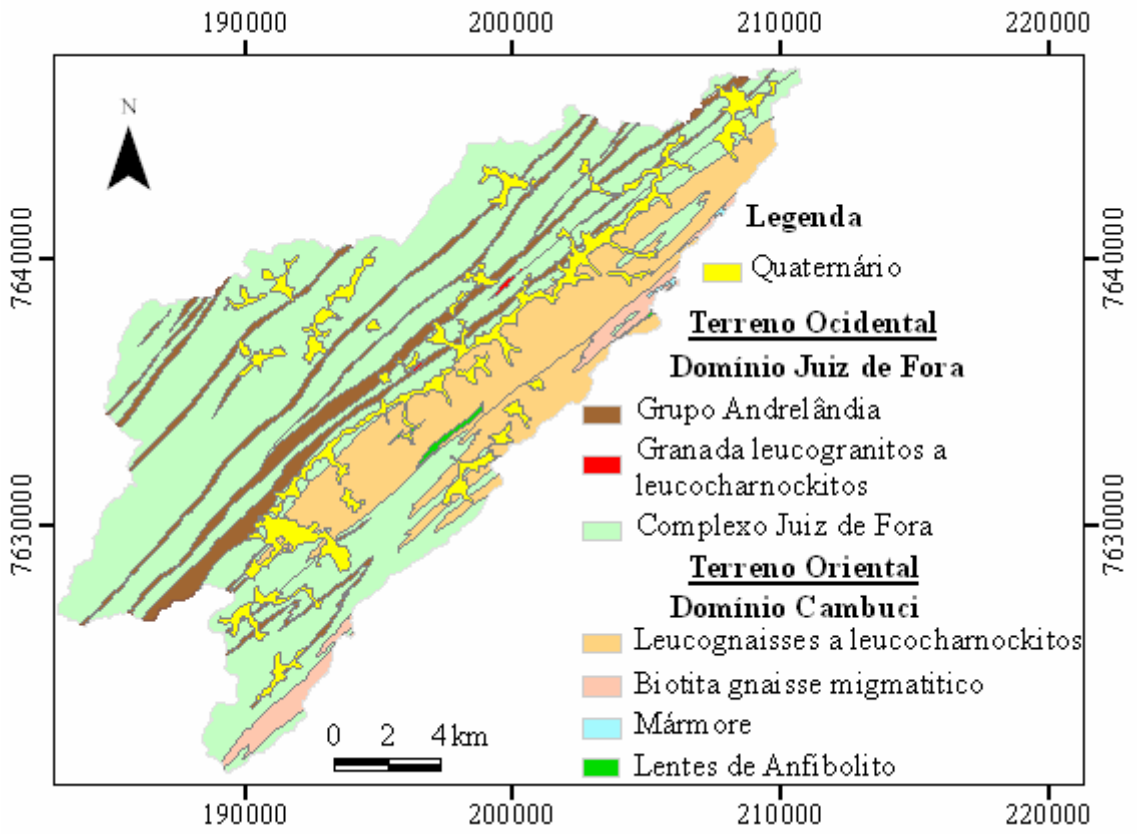


Figura 4.2: Mapa Geológico da Bacia Hidrográfica do rio São Domingos (Heilbron et al., 2005).

O **Domínio Juiz de Fora** é composto pelo Grupo Andrelândia, pelo Complexo Juiz de Fora e por corpos descontínuos de Granada leucogranitos a leucocharnoquitos que ocorrem entre as rochas do Grupo Andrelândia e do Complexo Juiz de Fora. Assim, no Domínio Juiz de Fora predominam rochas ortoderivadas granulíticas, cuja composição mineralógica mais comum é de plagioclásio, quartzo, ortoclásio, hiperstênio, hornblenda e biotita. Os minerais acessórios são apatita, opacos e zircão. Intercaladas aos ortogranulitos, ocorrem níveis de metassedimentos concordantes com foliação regional, compostas predominantemente por quartzo, granada, biotita, plagioclásio e microclina. Raras lentes de calcissilicáticas (ricas em minerais com Ca e Mg) podem ocorrer.

O **Domínio Cambuci** é composto por leucognaisses a leucocharnoquitos, conjunto de rochas metassedimentares compostas por biotita gnaisses bandados, corpos lenticulares

alongados de mármores dolomíticos e Lentes de anfibolito. Portanto, no Domínio Cambuci predominam rochas leucocráticas compostas por plagioclásio (labradorita – andesina), quartzo, biotita, microclina, hiperstênio e localmente granada (Mansur *et al.*, 2006). É importante notar que um modo geral tais unidades são de muito difícil diferenciação em campo, constituindo associações e suítes frequentemente interdigitadas e de limites imprecisos. Como consequência, há poucas diferenças perceptíveis do ponto de vista hidrogeológico entre os dois domínios.

4.2 Hidrogeologia

A BHRSD apresenta um **potencial hidrogeológico** relativamente alto para aquíferos cristalinos. Dos poços profundos cadastrados para esta pesquisa (Anexo 1) 17 apresentam dados de vazão (a média para a BHRSD é cerca de 15m³/h), podendo ser considerada boa, para terrenos de natureza cristalina. Isso se deve provavelmente à intensa deformação rúptil que esta parte do território fluminense sofreu ao longo do tempo geológico, em vários episódios deformacionais ao longo, principalmente, da chamada Faixa Paraíba do Sul.

Os dados citados são provenientes de poços situados exclusivamente no aquífero fraturado, mais profundo, em geral com caráter semiconfinado, recoberto por materiais coluviais e aluviões. As águas contidas no aquífero fraturado podem, no entanto, apresentar valores elevados de dureza (Menezes *et al.*, 2007), o que compromete o seu uso em muitos casos e por isso a importância de alguns aquíferos superficiais detríticos é grande.

Dois tipos de aquíferos foram portanto identificados por Ferreira *et al.,* (2006), em uma sub-bacia da área de estudo (Vila de Barro Branco): o sedimentar e o fissural. Foram empregados métodos geofísicos, como o do levantamento resistivimétrico e das inversões unidimensionais e bidimensionais para essa identificação. O aquífero sedimentar é composto por sedimentos aluviais quaternários e é caracterizado por uma camada subhorizontalizada com espessura variável ao longo dos perfis (espessuras de 2 a 12 metros). O aquífero fissural é caracterizado por duas zonas sub-verticais de baixa resistividade, possuindo larguras na faixa de 30 a 50 metros e profundidade superior a 30 metros.

Lima (2009) elaborou um de Mapa de Vulnerabilidade Geral à contaminação de aquíferos fraturados da BHRSD (Figura 4.3) que classificou cerca de 80% da bacia nas classes de vulnerabilidade alta a moderada, indicando o comprometimento desses aquíferos quando submetidos a uma carga contaminante. A porção norte da bacia, correspondendo a apenas 20% de sua área, apresenta vulnerabilidade baixa.

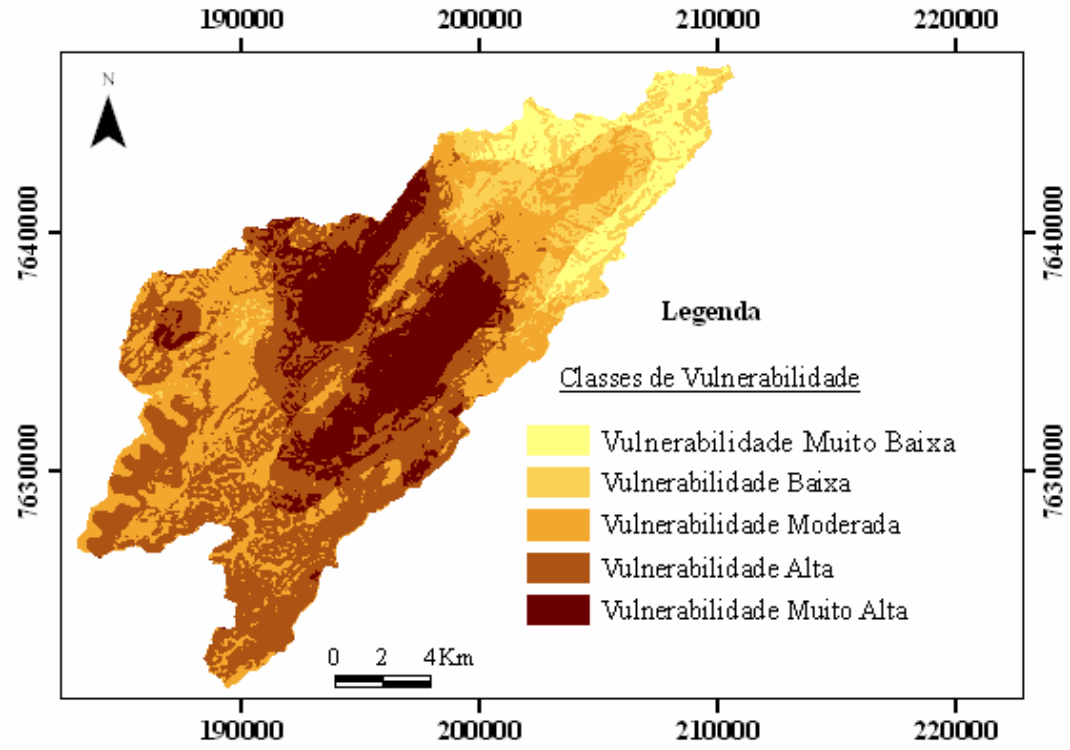


Figura 4.3: Mapa de Vulnerabilidade Geral à contaminação de aquíferos fraturados da BHRSD (Fonte: Lima, 2009).

Segundo Menezes *et al.*, (2007), os **tipos hidroquímicos predominantes** na BHRSD são respectivamente, o bicarbonatado-sódico e o bicarbonatado-misto para as águas dos poços rasos e profundos. Para este último tipo de captação, as águas bicarbonatadas-cálcicas também são importantes.

4.3 Áreas de Monitoramento

Duas microbacias dentro da Bacia Hidrográfica do Rio São Domingos foram escolhidas para serem monitoradas: Vila de Santa Maria e Vila de Barro Branco (Figuras 4.4 e 4.5). O uso e ocupação do solo são intensivos nessas áreas, devido a maior densidade demográfica e plantio de tomate. Quanto a Geologia as áreas apresentam diferença, entretanto os litotipos não são muito distintos em composição e por isso, as estruturas parecem ser mais preponderantes no controle dos tipos de água mais mineralizadas do que suas composições litológicas. Isto pode ser explicado pelo maior tempo em que a água pode ficar em contato com as rochas quando penetra em fraturas/falhas profundas, provocando a dissolução dos seus minerais (Mansur *et al.*, 2006).

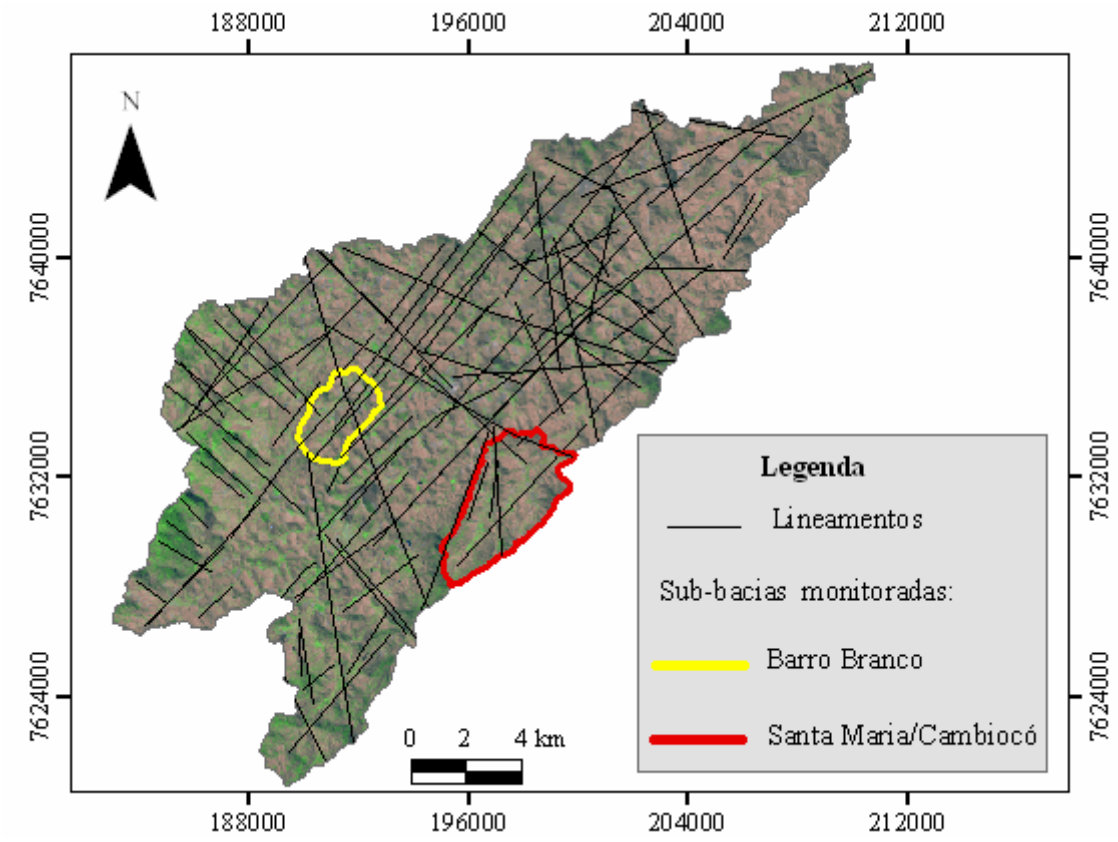


Figura 4.4 Localização das sub-bacias de Santa Maria/Cambiocó e Barro Branco na BHRSD.

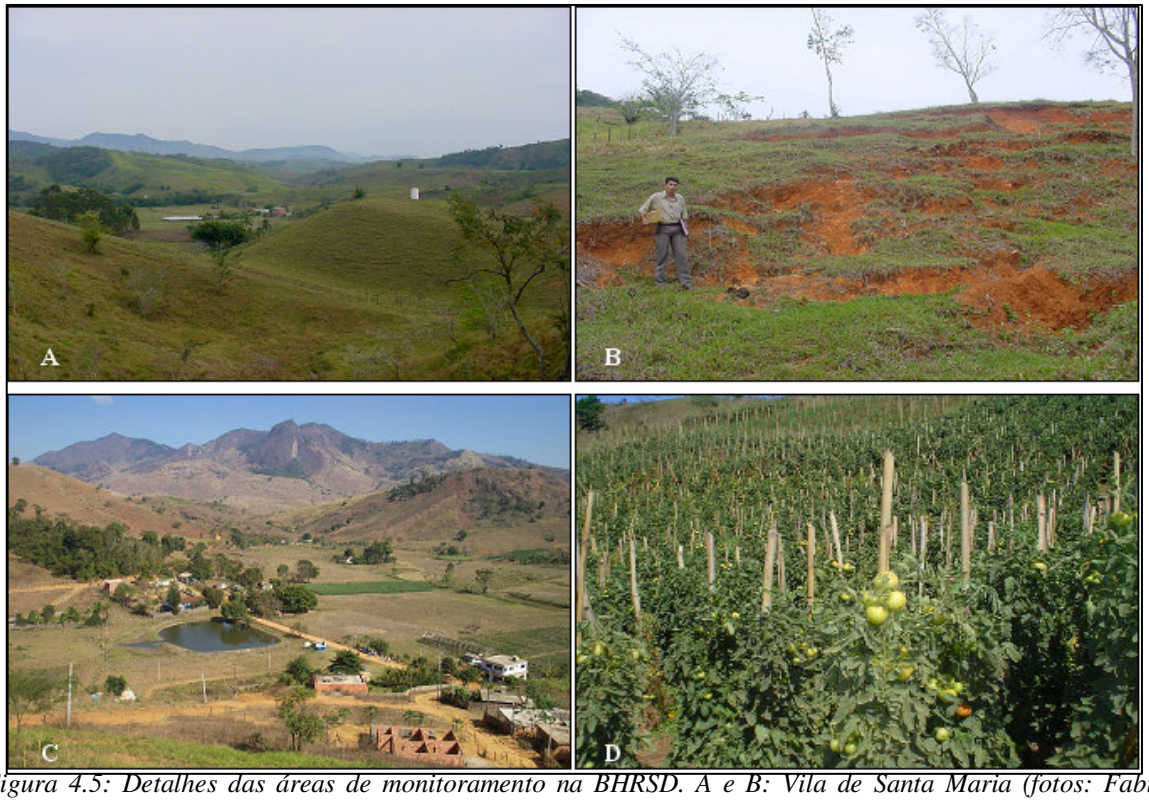


Figura 4.5: Detalhes das áreas de monitoramento na BHRSD. A e B: Vila de Santa Maria (fotos: Fabiano Araújo); C e D: Vila de Barro Branco (foto A: Claudio Capeche, foto B: Andréa dos Santos).

5 METODOLOGIA

Neste capítulo toda a metodologia aplicada para a elaboração do presente estudo será detalhada. Quatro etapas são consideradas pontos chave para realização do trabalho: 1) a aplicação da metodologia de Análise Dinâmica do Ambiente das Águas (ADAA), para caracterizar e monitorar os recursos hídricos subterrâneos da Bacia Hidrográfica do Rio São Domingos; 2) a formação do Banco de Dados Georreferenciados (BDG); 3) a aplicação de Índices de Qualidade de Água preexistentes e 4) a elaboração de um IQAS adequado para a avaliação da qualidade da água para consumo humano ($IQAS_{CH}$) da BHRSD ou áreas com características similares. Estas etapas são apresentadas na Figura 5.1.

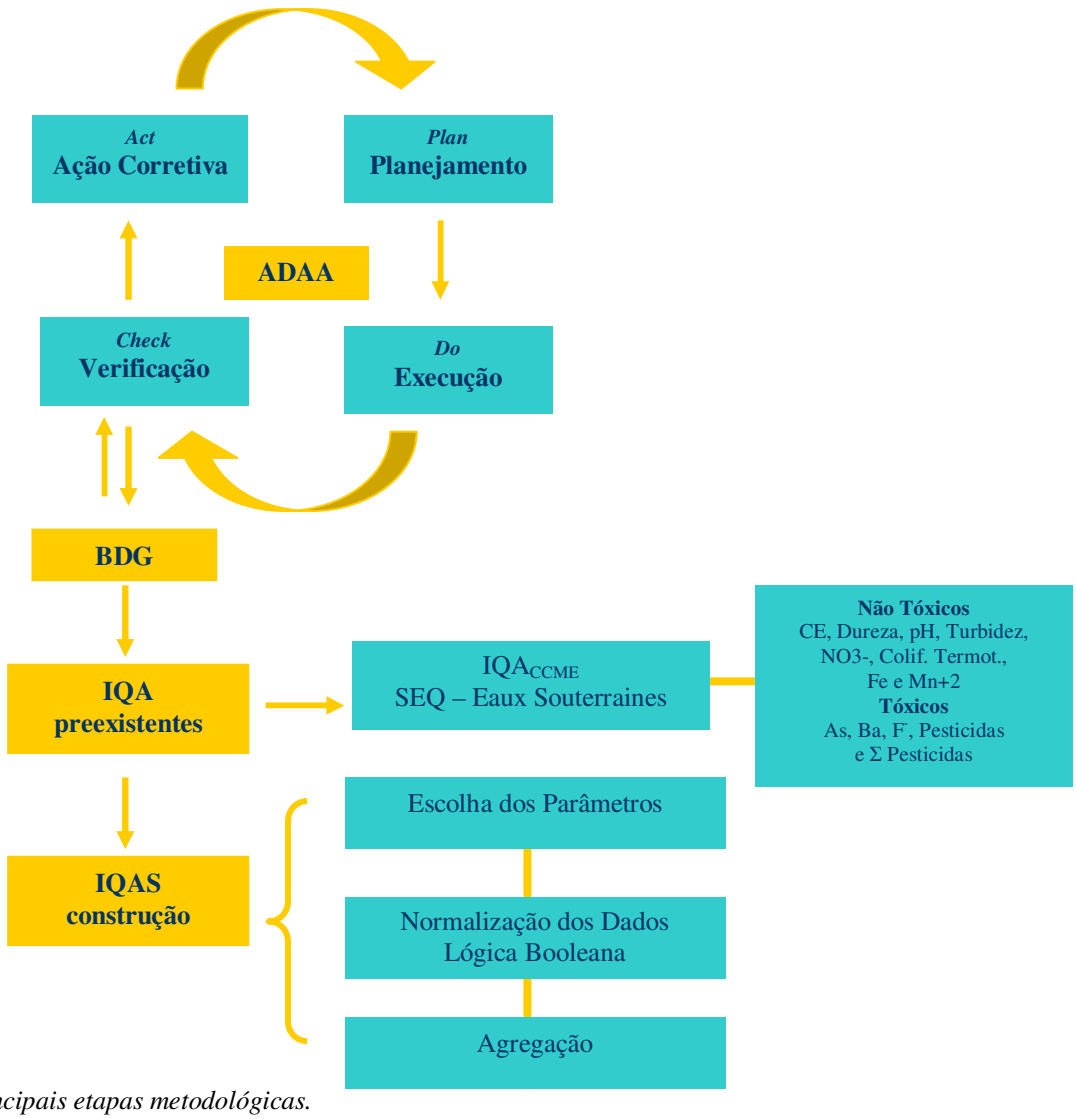


Figura 5.1: Principais etapas metodológicas.

5.1 Análise Dinâmica do Ambiente das Águas

Este tópico trata da Análise Dinâmica do Ambiente das Águas (ADAA), que consiste numa metodologia que une o método do Ciclo *PDCA* (Deming, 1990) com a Análise dos *Stakeholders* (Freeman, 1984), conforme exposto na Figura 5.2. Pretendeu-se com a aplicação da metodologia ADAA, caracterizar, monitorar e analisar os recursos hídricos da BHRSD e ainda ressaltar parâmetros que deveriam entrar na composição de um IQAS.

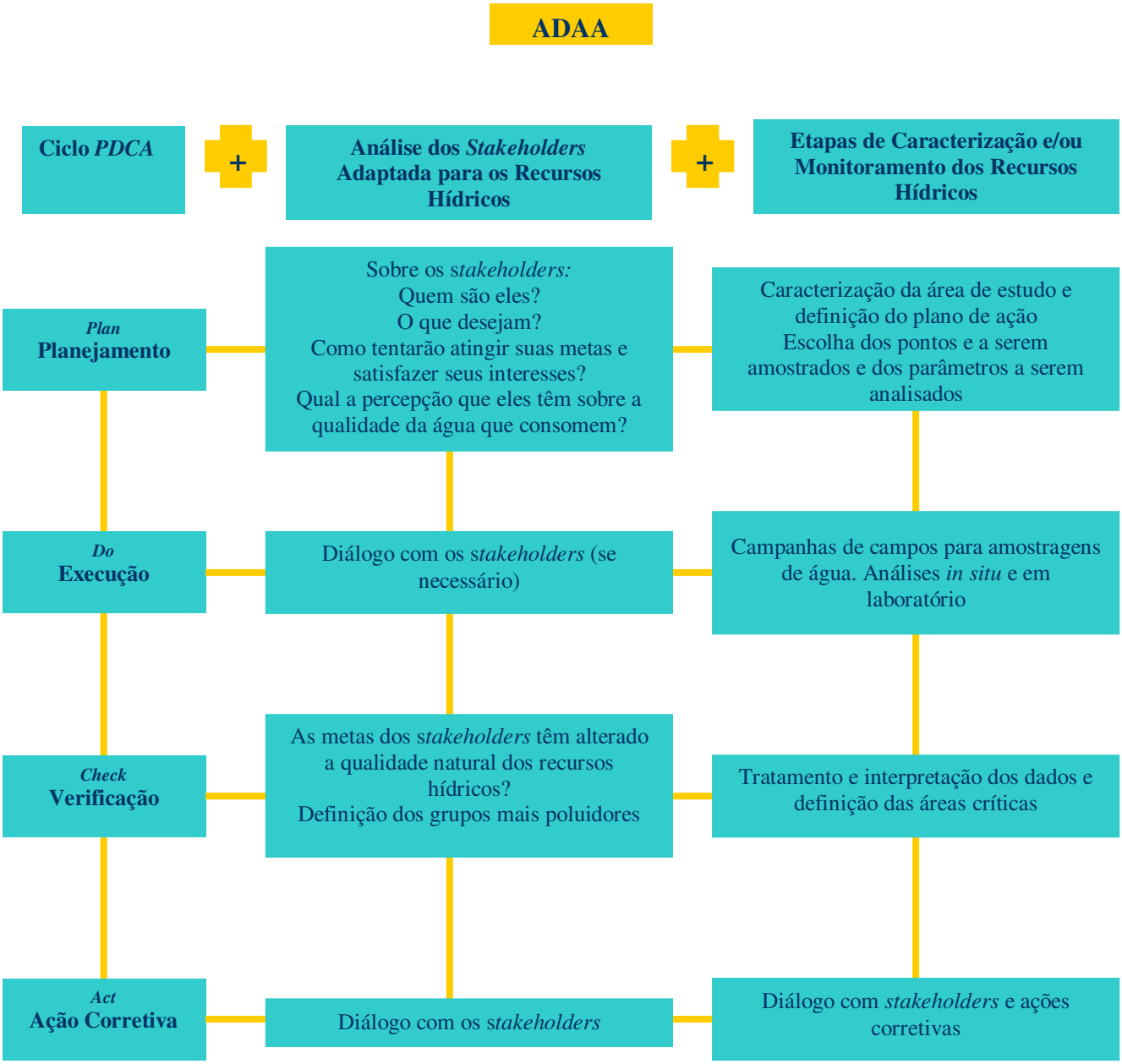


Figura 5.2: Integração da Análise dos Stakeholders adaptada com o Ciclo PDCA visando análise dos recursos hídricos.

5.1.1 Planejamento

O **planejamento** (***PLAN***) é o início do Ciclo e representou o momento onde os problemas da área de estudo foram identificados e os dados preexistentes foram coletados. Um resumo desta etapa pode ser observado na Tabela 5.1.

Tabela 5.1: Relação dos procedimentos realizados nas etapas de planejamento e execução no desenvolvimento do trabalho.

Etapas	Sub-etapas	Procedimentos e Observações
PLAN	Caracterização da área de estudo e identificação prévia dos *stakeholders.*	Pesquisas bibliográficas, fotografias aéreas, imagens de satélite, visitas a órgãos da prefeitura, trabalhos de campo, etc.
	Escolha do número de pontos a serem amostrados.	Avaliação da logística, que incluiu recursos financeiros, recursos humanos, acesso aos pontos e objetivo principal do estudo.
	Escolha das melhores locações para amostragem de água.	Cruzamento no *software ArcGis*® (8.3 da *ESRI*), dos mapas de classes de declividade, geologia, hidrografia, localização das culturas de tomate e vias de acesso. Confeccionou-se um mapa com a melhor localização dos pontos em potencial. Foram alocados no mapa 100 pontos potenciais para amostragem de água na área da BHRSD.
	Identificação dos *stakeholders*, dos seus perfis poluidores e escolha dos parâmetros a serem analisados.	Elaboração e aplicação de questionário junto aos grupos que têm interesse nas águas que provém de poços. Foram contemplados nas entrevistas 430 usuários. Tratamento estatístico dos dados dos questionários.
	Escolha e cadastramento dos pontos a serem amostrados.	Os pontos mais representativos foram locados e georreferenciados. No total foram 47 pontos de amostragem, sendo 28 poços rasos, 8 nascentes e 10 poços profundos. Mensurados *in situ* foram o pH, temperatura e condutividade elétrica.
DO	Amostragem da água.	Campanha de campo, em outubro de 2004, para coleta de água para fins de caracterização hidrogeoquímica da região (MENEZES *et al*., 2007; MENEZES *et al*., 2008a).
	Análise (*in situ* e laboratório)	Medição de alguns parâmetros de qualidade *in situ* com medidor de qualidade da água, tais como: temperatura, pH, CE, alcalinidade total e turbidez. No laboratório da Embrapa Solos foram analisados a alcalinidade total e o bicarbonato, os cátions (Al, As, B, Ba, Be, Bi, Ca, Cd, Co, Cu, Fe, K, Li, V, Mo, Pb, Se, Sb, Si, Sr, Ba e Ni) e os ânions (sulfatos, fosfatos, cloretos, nitritos, nitratos, fluoretos e brometos). As análises de materiais particulados na água foram realizadas no Laboratório de Hidrogeologia da UFRJ, por meio de análise de sólidos dissolvidos, totais e suspensos. As medidas coliformes totais e fecais/termotolerantes foram analisadas na Fundação Estadual de Engenharia do Meio Ambiente (FEEMA – Campos). A medição dos organoclorados (12 compostos) e organofosforados (9 compostos) ocorreu no Laboratório do Instituto Nacional de Tecnologia (INT). Toda a coleta, bem como o transporte, armazenamento e análise seguiram as metodologias recomendadas pela APHA (1998).

O plano de ação foi dividido basicamente em três partes. A **primeira** abrangeu a caracterização da área de estudo e a identificação prévia dos *stakeholders*. Nesta etapa realizou-se o reconhecimento da área por meio de pesquisas bibliográficas, fotografias aéreas, imagens de satélite, visitas a prefeitura de São José de Ubá, consulta a base de dados censitários do IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística) e do IPEA (Instituto de Pesquisas Econômicas Aplicadas) e trabalhos de campo. Com isso foi possível identificar os principais problemas sócio-ambientais e as atividades econômicas.

Na **segunda** etapa foi determinado o número de amostras de água e selecionados os locais a serem amostrados. Quanto ao número de amostras foi necessário considerar a logística das coletas, que incluiu analisar os recursos financeiros, os recursos humanos, o acesso aos pontos, sem perder de vista o objetivo principal do estudo. Os pontos (em potencial) para coleta de água foram selecionados a partir da sobreposição dos mapas de declividade, geologia, hidrografia, localização das culturas de tomate e estradas no *software Arcview®* (versão 8.3 da *ESRI*). Com esse cruzamento foram identificados 100 pontos em potencial, de forma que toda a área da bacia fosse contemplada, assim como todas as unidades geológicas. Também foi considerada a proximidade dos pontos de coleta com as fontes difusas e pontuais de poluição. No entanto, a partir de trabalho de campo apenas 47 pontos[6], os mais representativos, foram selecionados como viáveis para a amostragem de água das nascentes, das cacimbas (poços escavados) e dos poços tubulares. A Figura 5.3 apresenta os pontos amostrados distinguidos por tipo de água e ainda a identificação das microbacias onde o monitoramento posterior se sucedeu.

O objetivo da **terceira** parte foi identificar os *stakeholders* e seus respectivos perfis poluidores. Para isso foram realizadas entrevistas (Anexo 2) aos *stakeholders* segundo a técnica da entrevista semi-estruturada (Vinha, 2002). Com os resultados das análises das entrevistas e de posse das informações obtidas na Prefeitura, no IBGE e no IPEA, além dos dados obtidos na literatura, foi possível traçar o perfil poluidor de cada grupo e com isso selecionar com maior segurança os principais parâmetros de qualidade da água que deveriam ser analisados. As entrevistas permitiram também identificar os desejos dos *stakeholders*, bem como suas metas e impressões sobre a qualidade dos recursos hídricos utilizados por eles.

---

[6] Além desses 47, 19 pontos de águas superficiais também foram analisados, parte dos resultados encontram-se em Menezes *et al.* (2008a).

Além da campanha de caracterização foram realizadas mais cinco campanhas para coleta de água e em todas elas o momento do **Planejamento** ocorreu e nele buscava-se sempre aperfeiçoar o monitoramento da qualidade da água. Ou seja, além de melhorar a parte técnica, que compreende a coleta, o transporte, o armazenamento e as análises das amostras, procurou-se também acompanhar qualquer modificação no uso e ocupação do solo, no uso da água e nas atividades desenvolvidas na área de estudo. Para isso, a Prefeitura de São José de Ubá, os *stakeholders* e a base de dados do IBGE e do IPEA foram consultados quando necessário. Desta forma, alguns pontos de amostragem foram suprimidos e outros introduzidos ao longo do monitoramento. A idéia foi retroalimentar o sistema com informações de modo a acompanhar as mudanças temporais e espaciais, reiniciando-se o ciclo após as modificações.

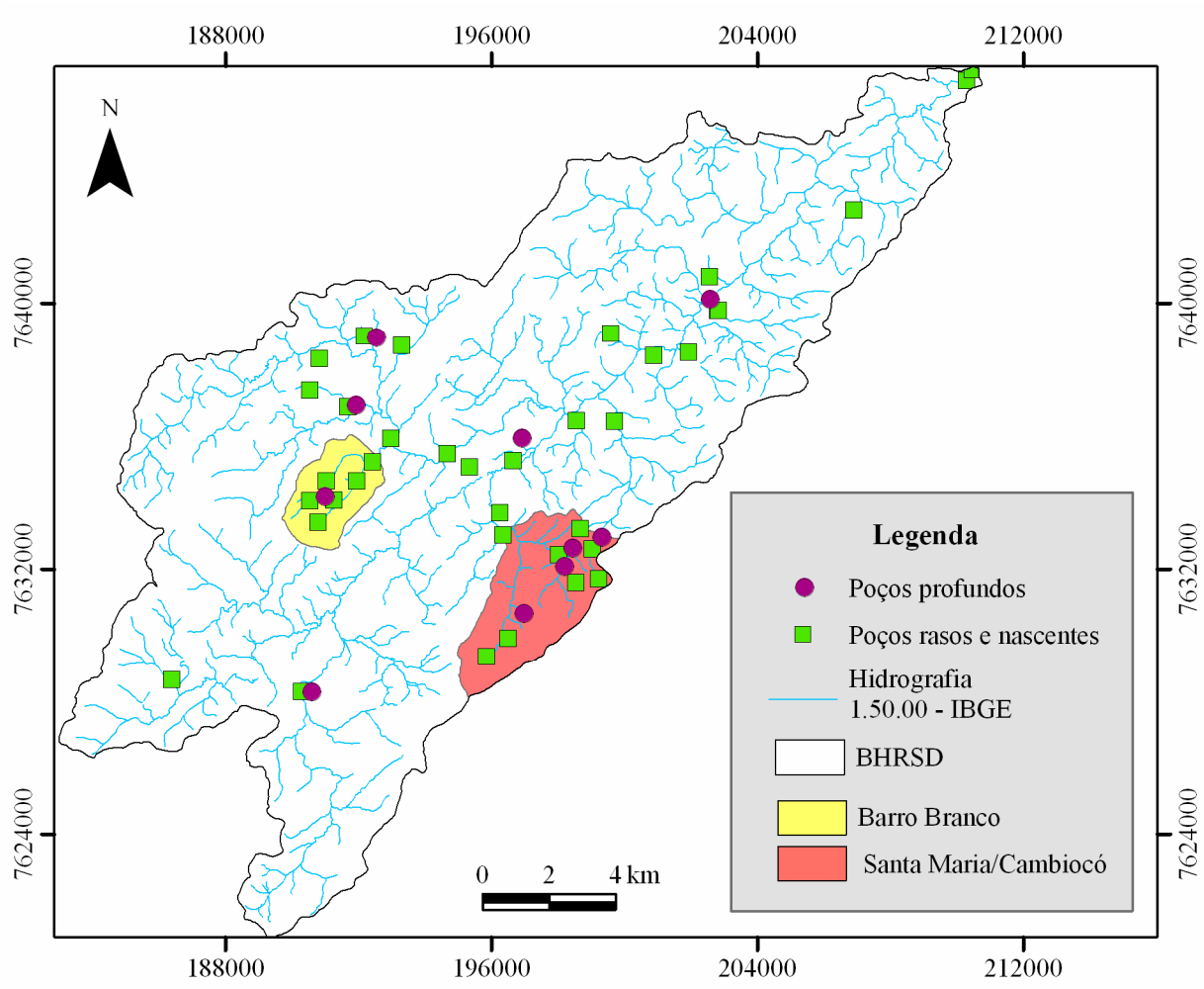


Figura 5.3: Mapa da localização dos pontos amostrados na primeira campanha para a caracterização hidrogeoquímica da bacia e as microbacias monitoradas.

5.1.2 Execução

A etapa de **execução** (***DO***) compreendeu as campanhas de campo para as amostragens e análises da água *in situ* e laboratoriais e quando houve necessidade, os *stakeholders* foram consultados novamente. Esta etapa subsidiou a fase de **Verificação** e **Ações Corretivas**.

5.1.2.1 Campanhas de Campo

Foram realizadas seis campanhas de campo para coleta de água (Tabela 5.2), além de trabalhos de campos para reconhecimento da área, escolha dos pontos, reuniões com a Prefeitura e comunidade local. Procurou-se realizar amostragens em períodos secos e chuvosos alternadamente, visando identificar também a influência da sazonalidade.

As campanhas realizadas nos anos de 2004[7] e 2005 foram realizadas no âmbito do projeto "Planejamento conservacionista das terras e modelagem preditiva de sistemas aquíferos do cristalino para a recarga hídrica em bacias hidrográficas de relevo acidentado", e as campanhas de 2007 e 2008 no âmbito do projeto "Caracterização de Aquíferos Fraturados no Noroeste Fluminense e Elaboração de Metodologia para Estimativa de Vulnerabilidade".

Tabela 5.2: Descrição das campanhas de campo realizadas na BHRSD.

Campanha	Período	Nº de Pontos	Abrangência
1º	Outubro de 2004	47	Bacia Hidrográfica do Rio São Domingos (BHRSD), que contempla integralmente o município de São José de Ubá e 10% do município de Itaperuna
2º	Abril de 2005	19	Microbacias: Santa Maria e Barro Branco em São José de Ubá
3º	Agosto de 2005	21	Microbacias: Santa Maria e Barro Branco em São José de Ubá
4º	Dezembro de 2005	21	Microbacias: Santa Maria e Barro Branco em São José de Ubá
5º	Outubro de 2007	19	Microbacias: Santa Maria e Barro Branco. Alguns poços profundos em outros pontos do município de São José de Ubá também foram analisados
6º	Julho de 2008	19	Microbacias: Santa Maria e Barro Branco. Alguns poços profundos em outros pontos do município de São José de Ubá também foram analisados

Pontos: superficiais, nascentes, cacimbas e poços tubulares.

[7] Os dados da coleta de 2004 (47 pontos) geraram basicamente 2 tipos de análises: a caracterização do comportamento hidrogeoquímico da BHRSD e a avaliação da qualidade das águas da BHRSD. A primeira análise foi publicada em outros momentos (Menezes, 2005; Menezes *et al*., 2007) e não faz, portanto, parte dos resultados gerados para esta tese de doutorado. Porém, os pontos que continuaram sendo monitorados nas demais campanhas são incluídos nesta tese em algumas avaliações hidrogeoquímicas para facilitar a visualização do comportamento e da evolução dos parâmetros.

Na primeira campanha o objetivo foi caracterizar a BHRSD quanto a hidrogeoquímica, nas demais campanhas o objetivo foi monitorar as possíveis alterações na qualidade da água e por isso houve uma redução do número de pontos, concentrando em duas microbacias bastante representativas da situação natural da BHRSD, sendo elas: Santa Maria e Barro Branco.

O uso e a ocupação do solo foram fatores que influenciaram na escolha das áreas. Santa Maria e Barro Branco possuem uso e ocupação mais intensivos por conta da atividade agrícola, são áreas com pequeno percentual de cobertura vegetal e, consequentemente, apresentam grandes parcelas de solos erodidos. Cogitou-se a possibilidade de inclusão de uma terceira área, que fosse mais preservada, entretanto, não foram encontrados poços tubulares nessas áreas, nem poços escavados em bom estado de conservação para realização de coleta de água subterrânea.

Nas coletas de 2007 e 2008 buscou-se ampliar o número de poços tubulares para que fossem obtidas mais informações sobre o aquífero profundo, e como todos os poços de Santa Maria e Barro Branco já estavam sendo analisados, optou-se por buscar esses pontos em outras áreas da BHRSD.

5.1.2.2 Análises da qualidade da água

Alguns parâmetros foram medidos *in situ*: alcalinidade, condutividade elétrica, pH, temperatura e turbidez. A Tabela 5.3 indica em quais campanhas esses parâmetros foram analisados e quais equipamentos e/ou métodos foram utilizados.

Tabela 5.3: Parâmetros determinados in situ.

Parâmetros	**Símbolo**	**Campanhas**	**Método e/ou Equipamento**
Alcalinidade Total	$CaCO_3$	1ª	Método volumétrico com as ampolas *Titrets*® Alcalinidade Total da *CHEMETRICS*.
Condutividade Elétrica	CE	1ª a 4ª	Aparelho digital da marca ANALION®, modelo C 702
		5ª e 6ª	Medidor de qualidade da água *in situ* – marca Horiba
pH	pH	1ª a 4ª	pH - Metro digital da marca ANALION® modelo PM-602
		5ª e 6ª	Medidor de qualidade da água *in situ* – marca Horiba
Temperatura	T	1ª a 4ª	Termômetro digital da marca ALA® graduado nas escalas Celsius e Fahrenheit, com faixa de medição de 1 a 112ºC
		5ª e 6ª	Medidor de qualidade da água *in situ* – marca Horiba
Turbidez	UNT	3ª a 6ª	Medidor de qualidade da água *in situ* – marca Horiba
Salinidade	---	2ª a 6ª	Medidor de qualidade da água *in situ* – marca Horiba

UNT: Unidade nefelométrica de turbidez.
--- Sem unidade.

Diversos parâmetros foram analisados em cinco diferentes laboratórios de instituições parceiras das que lideraram os projetos que forneceram os dados para o presente trabalho, a saber: Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária/Embrapa Solos (cátions, ânions, pH, CE, alcalinidade, fósforo, nitrogênio e sólidos), Instituto Nacional de Tecnologia/INT (organoclorados e organofosforados), Fundação Estadual de Engenharia do Meio Ambiente/FEEMA-Campos (análises microbiológicas), Instituto de Química/Departamento de Química Analítica da UFRJ (ânions) e Laboratório de Hidrogeologia da UFRJ (sólidos). Antes porém que as amostras chegassem aos laboratórios citados, procedimentos de coleta, armazenamento e transporte recomendadas pela APHA (1998) foram adotados. Os recipientes para a coleta foram devidamente lavados em laboratório. Foi coletado, aproximadamente, um litro e meio de água para cada amostra para as análises físico-químicas e depois os recipientes foram devidamente etiquetados para fins de identificação das amostras e dos tipos de análise.

Para as análises físico-químicas as amostras foram filtradas imediatamente após a coleta, utilizando-se unidades filtrantes não estéreis, adaptadas em seringa 50 mL com porosidade de 0,45 μm. Foram filtrados 50 mL para a análise de cátions dissolvidos e 10 mL para a análise dos ânions em laboratório. Separou-se 50 mL de amostra sem filtrar para a análise de condutividade e pH em laboratório, 50 mL para a análise de cátions e o restante da amostra foi utilizado para as análises de materiais sólidos. Adicionou-se 100 μL de ácido nítrico P.A. nas amostras para análise de cátions para evitar deposição de metais nas paredes dos tubos.

No caso das amostras para análise de pesticidas os frascos utilizados foram de vidro âmbar, previamente descontaminados com detergente alcalino (EXTRAN®, Merck 10% e banho de ultra-som por 15 minutos). Na última coleta, ao invés de vidro foram utilizados sacos plásticos descartáveis, próprios para coleta de água para análise de organoclorados e organofosforados.

Todas as amostras foram armazenadas e transportadas em caixas térmicas com gelo, até aos laboratórios onde foram armazenadas e preservadas em refrigerador a (4 ± 2)ºC até o momento da análise.

Não foi possível analisar todos os parâmetros nas seis coletas, seja por motivos de ordem logística ou financeira. As Tabelas 5.4 e 5.5 apresentam quais parâmetros foram analisados, bem como metodologia e/ou equipamentos utilizados.

Tabela 5.4: Parâmetros e métodos utilizados para as análises das águas da BHRSD.

Parâmetro	Símbolo	Unidade	Campanhas	Equipamento/Método Utilizado para análise	Laboratório
Alcalinidade total	$CaCO_3$	mg/L	1ª, 2ª, 3ª, 4ª e 6ª	Método Titulométrico – APHA (1998)	*In situ* e Embrapa Solos
Brometo	Br^-	mg/L	Todas	Cromatógrafo de íons Dionex-DX120/ APHA (1998)	Embrapa ou Instituto de Química da UFRJ
Cloreto	Cl^-	mg/L	Todas	Cromatógrafo de íons Dionex-DX120/ APHA (1998)	Embrapa ou Instituto de Química da UFRJ
Fluoreto	F^-	mg/L	Todas	Cromatógrafo de íons Dionex-DX120/ APHA (1998)	Embrapa ou Instituto de Química da UFRJ
Fosfato	$(PO_4)^{3-}$	mg/L	Todas	Cromatógrafo de íons Dionex-DX120/ APHA (1998)	Embrapa ou Instituto de Química da UFRJ
Nitrato	$(NO_2)^-$	mg/L	Todas	Cromatógrafo de íons Dionex-DX120/ APHA (1998)	Embrapa ou Instituto de Química da UFRJ
Nitrito	$(NO_3)^-$	mg/L	Todas	Cromatógrafo de íons Dionex-DX120/ APHA (1998)	Embrapa ou Instituto de Química da UFRJ
Sulfato	$(SO_4)^{2-}$	mg/L	Todas	Cromatógrafo de íons Dionex-DX120/ APHA (1998)	Embrapa ou Instituto de Química da UFRJ
Alumínio	Al	mg/L	Todas	ICP*/ APHA (1998)	Embrapa Solos
Antimônio	Sb	mg/L	1ª, 2ª, 3ª, 4ª	ICP*/ APHA (1998)	Embrapa Solos
Arsênio	As	mg/L	1ª, 2ª, 3ª, 4ª, 6ª	ICP*/ APHA (1998)	Embrapa Solos
Bário	BA	mg/L	1ª, 2ª, 3ª, 4ª, 6ª	ICP*/ APHA (1998)	Embrapa Solos
Berílio	Be	mg/L	6ª	ICP*/ APHA (1998)	Embrapa Solos
Bismuto	Bi	mg/L	6ª	ICP*/ APHA (1998)	Embrapa Solos
Boro	B	mg/L	1ª, 2ª, 3ª, 4ª, 6ª	ICP*/ APHA (1998)	Embrapa Solos
Cádmio	Cd	mg/L	Todas	ICP*/ APHA (1998)	Embrapa Solos
Cálcio	Ca	mg/L	Todas	ICP*/ APHA (1998)	Embrapa Solos
Chumbo	Pb	mg/L	Todas	ICP*/ APHA (1998)	Embrapa Solos
Cobalto	Co	mg/L	Todas	ICP*/ APHA (1998)	Embrapa Solos
Cobre	Cu	mg/L	Todas	ICP*/ APHA (1998)	Embrapa Solos
Cromo	Cr	mg/L	Todas	ICP*/ APHA (1998)	Embrapa Solos
Estrôncio	Sr	mg/L	1ª, 2ª, 3ª, 4ª, 6ª	ICP*/ APHA (1998)	Embrapa Solos
Ferro	Fe	mg/L	Todas	ICP*/ APHA (1998)	Embrapa Solos
Lítio	Li	mg/L	1ª, 2ª, 3ª, 4ª, 6ª	ICP*/ APHA (1998)	Embrapa Solos
Magnésio	Mg	mg/L	Todas	ICP*/ APHA (1998)	Embrapa Solos
Manganês	Mn	mg/L	Todas	ICP*/ APHA (1998)	Embrapa Solos
Molibdênio	Mo	mg/L	1ª, 2ª, 3ª, 4ª, 6ª	ICP*/ APHA (1998)	Embrapa Solos
Níquel	Ni	mg/L	Todas	ICP*/ APHA (1998)	Embrapa Solos
Potássio	K	mg/L	Todas	ICP*/ APHA (1998)	Embrapa Solos
Selênio	Se	mg/L	1ª, 2ª, 3ª, 4ª, 6ª	ICP*/ APHA (1998)	Embrapa Solos
Sílica/Silício	Si	mg/L	Todas	ICP*/ APHA (1998)	Embrapa Solos
Sódio	Na	mg/L	Todas	ICP*/ APHA (1998)	Embrapa Solos
Vanádio	V	mg/L	1ª, 2ª, 3ª, 4ª, 6ª	ICP*/ APHA (1998)	Embrapa Solos
Zinco	Zn	mg/L	Todas	ICP*/ APHA (1998)	Embrapa Solos
Amônia	NH_3	mg/L	3ª, 4ª	ICP*/ APHA (1998)	Embrapa Solos
Coliformes totais	CT	NMP/100mL	Todas	APHA (1998)	FEEMA-Campos
Coliformes fecais/ termotolerantes	CF	NMP/100mL	Todas	APHA (1998)	FEEMA-Campos
Nitrogênio Total	N Total	mg/L	5ª	NOVA 60	Embrapa Solos
Fósforo Total	P Total	mg/L	5ª	Nova 60	Embrapa Solos
Fósforo Dissolvido	P	mg/L	Todas	ICP*/ APHA (1998)	Embrapa Solos
Sólidos em suspensão	SS	mg/L	1ª, 4ª, 5ª e 6ª	Método gravimétrico	UFRJ (1ª coleta), Embrapa Solos (demais coletas)
Sólidos totais	ST	mg/L	1ª, 4ª, 5ª e 6ª	Método gravimétrico	UFRJ (1ª coleta), Embrapa Solos (demais coletas)
Sólidos dissolvidos	STD	mg/L	Todas	Método gravimétrico	UFRJ (1ª coleta), Embrapa Solos (demais coletas)

**ICP=Análise elementar por espectroscopia de emissão por plasma.*

Tabela 5.5: Pesticidas analisados nas águas da BHRSD.

Parâmetro	Símbolo	Unidade	Campanhas	Equipamento/Método Utilizado para análise	Laboratório
Organofosforados Azinfos etil, Azinfos metil, Clorpirofós, Diazinon, Diclorvós, Dissulfoton, Fenitrotion, Fentoato, Malation, Metamidofos, Metilparation, Metilparation, Paraoxon etil, Paration etil, Paration Metil e Σ Paration metil+Paration etil.	Ops	µL	1ª, 3ª, 5ª e 6ª	Cromatógrafo a gás Shimadzu, modelo 17 A / US-EPA (2000) e POQ/ ME/ APO 01 (2004)	INT
Organoclorados Alacloro, Aldrin, cis-Permetrina, Dieldrin, DDT e isômeros, Endrin, Heptacloro + Heptacloro epóxido, Hexaclorobenzeno, Lindano, Lindano, Metolacloro, Trans-Permetrina, α Endossulfan, β Endossulfam, α – HCH e β – HCH.	OCs	µL	1ª, 2ª, 3ª, 5ª e 6ª	Cromatógrafo a gás Shimadzu, modelo 17 A / US-EPA (2000) e POQ/ ME/ APO 01 (2004)	INT

5.1.3 Verificação

A fase de **verificação** (***CHECK***) compreendeu a averiguação, análise e tratamento dos dados coletados (Tabela 5.6).

Tabela 5.6: Relação dos procedimentos realizados nas etapas CHECK e ACT no desenvolvimento do trabalho.

Etapas	Sub-etapas	Procedimentos e Observações
CHECK	Tratamento dos dados.	Elaboração de um Banco de Dados Georreferenciado no *ArcGis*® (8.3). A acurácia das análises foi verificada a partir da Eletroneutralidade (E.N.) e da Estatística descritiva.
	Interpretação dos dados.	Confrontação dos resultados com os limites estabelecidos pela Resolução 396/08 (limites para consumo humano). Elaboração de mapas no *software ArcGis*® (8.3 da *ESRI*). A interpretação dos resultados teve como suporte a geologia e o uso do solo BHRSD. Delimitaram-se as áreas mais críticas, as áreas que devem continuar sendo monitoradas, os grupos que estão mais expostos aos riscos das águas contaminadas e as atividades/grupos mais poluidoras.
ACT	Diálogo com *stakeholders.*	Repasse dos resultados.
	Ações corretivas.	Repasse dos resultados gerados a prefeitura de São José de Ubá. Avaliação dos resultados obtidos e das metodologias utilizadas.

A partir da base de dados organizada em meio SIG, as seguintes etapas foram realizadas para o tratamento dos dados:

a) Estatística Descritiva - métodos estatísticos descritivos foram aplicados aos dados para avaliar o comportamento dos mesmos e eliminação de *outliers*.

A eletroneutralidade (E.N.) das amostras também foi calculada, já que, a soma dos cátions deve ser igual a dos ânions para uma mesma amostra, mas na prática existe uma diferença nesses valores, devido aos erros acumulados em cada uma das determinações individuais e também por não levar em conta os íons menores. A E.N. foi calculada por meio da expressão 5.1 (Appelo & Postma, 1993):

$$E.N.,\% = \frac{\left(\sum cátions - \sum ânions\right)}{\left(\sum cátions + \sum ânions\right)} * 100 \qquad (5.1)$$

Onde:

$\sum cátions$ - somatório dos cátions em miliequivalente por litro;

$\sum ânions$ - somatório dos ânions em miliequivalente por litro.

De acordo com Appelo & Postma (1993), o erro em torno de 2% é praticamente inevitável para quase todas as amostras, mas erros acima de 10% precisam ter seus procedimentos avaliados.

b) Os dados das análises químicas foram exportados para o *software AquaChem®* (*Aqueous Geochemical Data Analysis and Plotting*, versão 3.7, da *Waterloo Hydrogeologic*) para elaboração de gráficos e diagramas para fins de análise hidrogeoquímica das amostras de verificação de possíveis variações temporais e espaciais em São José de Ubá;

c) Foram averiguados também quais parâmetros encontravam-se acima do VMP, de acordo com as legislações brasileiras. Para as águas subterrâneas utilizou-se a Resolução CONAMA 396/08 (Consumo Humano), para os parâmetros Turbidez e pH que não possuem limite nesta resolução, utilizou-se a Portaria 518/04 do Ministério da Saúde e o CONAMA 357/05 para Classe 1 (abastecimento para consumo humano, após tratamento simplificado entre outros usos) respectivamente. Esta averiguação foi muito importante para a seleção dos parâmetros que devem entrar em um Índice de Qualidade de Água Subterrânea.

d) No *ArcGis®* (8.3), a partir dos resultados do confronto com os limites do CONAMA foram gerados mapas temáticos, facilitando a correlação com as características espaciais para

todas as áreas e também com as evoluções temporais para São José de Ubá. A espacialização dos resultados dos parâmetros que apresentaram inconformidade foi obtida com a utilização da extensão *Spatial Analyst* do *ArcGis*® (8.3). O método de interpolação utilizado, o *Inverse Distance Weighted* (*IDW*), baseia-se na dependência espacial, ou seja, quanto maior a distância de um ponto em relação ao outro, menor deverá ser a correlação entre seus valores.

O uso do solo da área pesquisada e o resultado das entrevistas dos *stakeholders* também entraram no processo de análise na etapa de verificação. Identificaram-se os grupos mais expostos aos riscos da água contaminada, as atividades/grupos mais poluidoras e as áreas críticas[8].

5.1.4 Ações Corretivas

Quanto às **Ações Corretivas** procurou-se sempre melhorar a metodologia aplicada para a próxima coleta, buscou-se corrigir os erros cometidos nas etapas anteriores. Entretanto, a **Ação Corretiva** não é relacionada somente à pesquisa em si, mas, sobretudo pertinente àa atuação do Estado, que de posse dos laudos e dos relatórios pode cumprir seu dever de proteger os recursos hídricos. Tal proteção pode se dar a partir dos mecanismos de regulação (políticas regulatórias), da intervenção direta (políticas estruturadoras) ou de ações que visem influenciar (políticas indutoras) o comportamento de indivíduos ou grupos sociais e são associadas à noção de desenvolvimento sustentável (Cunha & Coelho, 2003).

Este então, é o momento adequado para o diálogo e conscientização dos *stakeholders* e retorno dos resultados gerados. Por esse motivo buscou-se repassar os resultados não só para a Prefeitura de São José de Ubá, mas também para os *stakeholders*. Na medida em que os pontos eram re-visitados para uma nova coleta, os *stakeholders* recebiam os resultados da coleta anterior, bem como orientações por escrito (*folder*) de como proteger os poços e tratar a água para consumo humano, exemplificados no Anexo 3.

Dentro da filosofia do ciclo *PDCA* a etapa ***ACT*** não é a finalização da metodologia, pelo contrário, é o momento de iniciar um novo ciclo que deve ter qualidade superior ao anterior, pois deve ter corrigido os erros e aprimorado os acertos.

---

[8] Ver tópico 5.1.2.1 Campanhas de Campo.

5.2 Construção do Índice de Qualidade de Água Subterrânea para Consumo Humano ($IQAS_{CH}$)

5.2.1 Escolha dos Parâmetros

Como o objetivo do desenvolvimento do índice neste estudo é avaliar a qualidade das águas subterrâneas de terrenos cristalinos sob uso agrícola, foi necessário pesquisar parâmetros que frequentemente podem se apresentar acima do VMP, com a presença dessas duas características, ou seja, que podem ter sua origem relacionada aos materiais geológicos percolados ou às atividades agrícolas praticadas na área de estudo. Para isso os estudos se concentraram em dados da literatura, de trabalhos que tratam de contaminação das águas subterrâneas, dos Padrões de Potabilidade de diversos países, incluindo o Brasil, e dos resultados obtidos na própria BHRSD, procurando incluir no índice, parâmetros que se apresentaram em inconformidade com mais frequência na bacia. Buscou-se também evitar inserir no $IQAS_{CH}$ duas ou mais variáveis independentes fortemente relacionadas, com relações lineares quase exatas, para que não ocorressem efeitos de multicolinearidade. A lista com todos os parâmetros analisados encontra-se no Anexo 4 e nas Tabelas 5.7 e 5.8, onde são identificados os parâmetros que foram selecionados, juntamente com as respectivas justificativas.

O cálculo do Índice de Qualidade de Água Subterrânea para Consumo Humano ($IQAS_{CH}$) ocorreu em duas etapas independentes, mas complementares. Na primeira, foram considerados apenas parâmetros que nas concentrações que naturalmente são observadas, não oferecem riscos a saúde humana e aos animais domésticos, sendo considerados como não-tóxicos (CE, Dureza, pH, Turbidez, NO_3^-, Coliformes Termotolerantes, Fe e Mn^{+2}). Na segunda etapa do índice são considerados parâmetros tóxicos (As, Ba, F, Pesticidas e Σ Pesticidas), cuja presença pode comprometer a saúde humana e aos animais domésticos.

5.2.1.1 Parâmetros da Primeira Etapa do $IQAS_{CH}$ (Parâmetros Não Tóxicos)

Os parâmetros que fazem parte do grupo de parâmetros que não podem deixar de ser avaliados pelo órgão competente, de acordo com o CONAMA 396/08, são: Sólidos Totais Dissolvidos (STD), coliformes termotolerantes, nitrato, pH, turbidez e condutividade elétrica (CE). Desse grupo, optou-se por não considerar STD para compor o $IQAS_{CH}$, já que este apresenta uma forte relação com a CE, sendo possível estimar um parâmetro em função do

outro e também porque a CE é obtida em campo, de forma rápida e com menores custos, ao passo que STD tem que ser analisado em laboratório. A importância de se analisar a CE é que a concentração de sais dissolvidos na água pode afetar sua aceitabilidade para usos domésticos, principalmente para potabilidade.

Um outro parâmetro incluído no $IQAS_{CH}$ que também influi na CE é a dureza, definida pela soma dos cátions polivalentes em solução - cálcio, magnésio e outros elementos (Fe, Mn, Cu, Ba e outros). Uma água com teor elevado de tais íons em solução é dita dura pela sua dificuldade em dissolver (fazer espuma) sabão e pelos efeitos indesejáveis na pele e cabelo e também devido a encrustações em tubulações e equipamentos sanitários, bem como de irrigação (Santos, 2000). A relação entre CE e dureza está no fato de que altos valores de dureza indicam, sobretudo, altos valores de cálcio e magnésio, que são íons que afetam significativamente a CE da água. Porém, a CE não depende somente da presença de Cálcio e Magnésio, outros íons interferirão em seus valores.

A dureza é composta pela dureza temporária e pela dureza permanente. A dureza temporária é a que pode ser removida pela ebulição, e se deve à presença dos carbonatos e bicarbonatos de cálcio e magnésio. A dureza permanente não pode ser removida pela ebulição, sendo atribuída, principalmente aos sulfatos, cloretos e nitratos de cálcio e magnésio. A dureza total é a soma da dureza temporária com a dureza permanente.

Cogitou-se a inclusão do parâmetro alcalinidade, que representa a capacidade que um sistema aquoso tem de neutralizar ácidos, e esta capacidade depende de alguns compostos, principalmente carbonatos, bicarbonatos, hidróxidos e ocasionalmente boratos, silicatos e fosfatos (Esteves, 1998). A alcalinidade e a dureza guardam relação entre si, pois alguns dos compostos que conferem à água a sua alcalinidade são também responsáveis pela dureza, a fração correspondente aos carbonatos de cálcio e magnésio. A partir das duas análises é possível separar a dureza de carbonatos e a de não carbonatos, conforme explicado a seguir (Mabilia & Assunção, 2005):

a) Dureza Total > Alcalinidade = a água contém dureza de carbonatos (temporária/alcalinidade) e não-carbonatos (permanente);

b) Dureza Total = Alcalinidade = significa que existe apenas a dureza temporária e

c) Dureza Total < Alcalinidade = informa que a água possui somente dureza temporária, sendo o excesso de alcalinidade devido a carbonatos e bicarbonatos de sódio (Na^+) e potássio (K^+).

Pelo fato da alcalinidade e a dureza terem relação entre si, optou-se por incluir somente a dureza na composição do $IQAS_{CH}$, já que nas normas de potabilidade não se encontrou limite para a alcalinidade. Deve-se levar em conta, contudo, que uma água pode ser dura e ter alcalinidade baixa ou alta, conforme os compostos em solução.

O potencial hidrogeniônico (pH) expressa a concentração de íons de hidrogênio (H^+) na solução, conferindo a condição ácida ou básica à mesma, dependendo dessa concentração. O pH de um corpo de água é afetado por vários fatores, entre eles: o substrato rochoso e composição do solo por meio do qual a água se move (alguns tipos de rochas como calcário podem neutralizar o ácido, enquanto outros, tais como granito, tem pouco efeito sobre o pH); o despejo de produtos químicos na água; a precipitação pluviométrica média na bacia, principalmente por conta da chuva ácida (Oram, 2009).

A chuva (principal fonte de águas subterrâneas) tem valores de pH próximo de 5 ou 6, se está relativamente livre de poluição. No entanto, em muitas áreas do mundo (principalmente áreas urbanas) é comum a ocorrência de "chuva ácida", por conta de atividades poluidoras (por exemplo, combustão de materiais de origem fóssil). A “chuva ácida” pode ter valores de pH inferiores a 4.

Os teores de acidez da água acima ou abaixo dos padrões de consumo em si não significam necessariamente danos à saúde, pois muitas bebidas populares têm considerável acidez, como é ocaso dos refrigerantes (chegando a 2,5) e do suco de laranja (em torno de 3,5). Também o vinagre utilizado na culinária possui pH em torno de 3,0, mas a preocupação com a acidez na água potável é que, mesmo levemente ácida, a água pode conduzir ou dissolver elementos químicos (AGWT, 2003).

*Tabela 5.7: Parâmetros selecionados para a **Primeira parte** do $IQAS_{CH}$.*

Parâmetros	Unidade	Grupo de Alteração[1]	Justificativa[2 ou 3]
Condutividade Elétrica	µS/cm à 25°C	Mineralização e Salinidade	- Pode afetar a aceitabilidade da água - A Condutividade (CE, µS/cm) pode ser obtida em campo e apresenta relação com a concentração de Sólidos Totais Dissolvidos (STD, mg/l), sendo possível estimar um parâmetro em função do outro (STD ≈ 0,640xCE ou C ≈ 1,5625xSTD) - Indicado pelo CONAMA 396/08 para monitoramento
Dureza	mg/L $CaCO_3$	Mineralização e Salinidade	- Pode afetar a aceitabilidade da água para diversos usos incluindo o consumo humano - Capacidade da água em neutralizar o sabão, principalmente pelo efeito do Cálcio e Magnésio
pH		Mineralização e Salinidade	- Sem preocupação para a saúde nos níveis comumente encontrados, mas é um importante parâmetro operacional da qualidade da água - Indicado pelo CONAMA 396/08 para monitoramento
Turbidez	UT	Partículas em Suspensão	- Maiores níveis de turbidez são muitas vezes associados a níveis mais elevados de microorganismos causadores de doenças, como vírus, parasitas e algumas bactérias - Proveniente do escoamento da água no solo - Indicado pelo CONAMA 396/08 para monitoramento - Pode ser obtida em campo
Nitrato	mg/L	Nitrato	- Pode gerar a metahemoglobinemia, que pode ser fatal em crianças - Originário de fertilizantes; lixiviação de fossas sépticas, esgotos, erosão dos depósitos naturais - Indicado pelo CONAMA 396/08 para monitoramento
Coliformes Termotolerantes	nº/100mL	Microorganismos	- Não é uma ameaça em si, é utilizado para indicar se outras bactérias potencialmente prejudiciais podem estar presentes; - São provenientes de fezes humanas e de animais - Indicado pelo CONAMA 396/08 para monitoramento
Ferro	mg/L	Ferro e Manganês	- Abundante nas rochas cristalinas - Pode ser indicativo de ocorrência de ferrobactérias ou mesmo corrosão do revestimento do filtro ou do poço; - Não causa problemas à saúde nos níveis comumente encontrados, porém o sabor e a aparência da água são afetados
Manganês	mg/L	Ferro e Manganês	- Pode ocorrer naturalmente nas águas subterrâneas - Faz parte da composição de alguns pesticidas - Afeta a aparência, sabor ou odor da água - A intoxicação crônica por manganês pode acarretar cefaléia, lassidão, sonolência, dores articulares e musculares

[1]SEQ-Eaux Souterraines (Cadilhac & Albinet, 2003); [2]EPA - National Primary Drinking Water Standards (2009); [3]WHO - Guidelines for Drinking-water Quality (2006b).

A água com um pH abaixo ou acima do intervalo 6,5 a 8,5 pode levar alguns metais, com os quais entre em contato, a altas concentrações (por exemplo, chumbo e, cobre). Estes são metais que possuem efeitos potencialmente nocivos à saúde. Por conseguinte, quanto maior a disponibilidade de H^+ (quanto menor o pH), maior a tendência de haver de metais na água (Nelson, 2002). Em relação ao ambiente, ecossistemas aquáticos que apresentam com mais frequência valores baixos de pH têm elevadas concentrações de ácidos orgânicos dissolvidos de origem alóctone e autóctone (Esteves, 1988).

Segundo Esteves (1998), a turbidez da água é a medida de sua capacidade de dispersar a radiação, ou seja, é a medida da dificuldade de um feixe de luz atravessar uma dada quantidade de água, implicando numa aparência turva. A turbidez é causada por matérias sólidas em suspensão (silte, argila, colóides, matéria orgânica, dentre outros). É um parâmetro usado para indicar a qualidade da água e eficácia da filtração quando esta ocorre. Maiores níveis de turbidez são muitas vezes associados a níveis mais elevados de microorganismos causadores de doenças, como vírus, parasitas e algumas bactérias. Estes organismos podem causar sintomas tais como náuseas, cólicas, diarréia e cefaléia associadas (EPA, 2009). Em alguns casos, as águas subterrâneas ricas em ferro podem aumentar a turbidez, por conta da oxidação dos íons ferrosos em férricos, que conferem cor amarelada a água. Na ausência de dados de turbidez é aceitável utilizar como substituto os dados de sólidos em suspensão, mesmo não sendo possível estabelecer uma relação direta entre os dois, pelo fato da composição dos materiais em suspensão ser variável (NHMRC/NRMMC, 2003).

Numa área agrícola as principais fontes de contaminantes para águas subterrâneas que podem ser encontradas são: nutrientes (nitrogênio e fósforo), microrganismos (patogênicos) e pesticidas.

O risco de nutrientes como nitrogênio e fósforo alcançarem as águas subterrâneas depende do tipo do nutriente e do tipo de solo. O fósforo não é muito solúvel em água e raramente atinge águas subterrâneas, exceto em solos arenosos sem a presença de argila (WSC, 2009). Por esse motivo o parâmetro fósforo não foi incluído na composição do $IQAS_{CH}$.

Ao contrário do fósforo, o nitrogênio é hidrossolúvel e se converte rapidamente para nitrato, que pode contaminar as águas subterrâneas, salvo se for utilizado por plantas (WSC, 2009). O nitrogênio pode ocorrer na água nas formas de nitrogênio orgânico, amoniacal

(NH_4^+), nitrito (NO_2^-) e nitrato (NO_3^-). Algumas outras formas tais como cianeto (CN^-), podem ocorrer em águas afetadas pela eliminação de resíduos. O nitrogênio orgânico e o amoniacal são formas reduzidas e o nitrito e o nitrato, formas oxidadas. Sendo assim, pode-se deduzir se as fontes de poluição estão próximas ou não, de acordo com formas de nitrogênio encontradas na água. Quando nas amostras de água predominarem as formas reduzidas, significa que o foco da poluição se encontra próximo. Por outro lado, se prevalecer nitrito e nitrato, significa que as descargas de esgotos se encontram distantes (CETESB, 2007).

A amônia é fortemente adsorvida sobre superfícies minerais e o nitrato, por exemplo, é facilmente transportado em água e é mais estável ao longo de uma considerável gama de condições (Hem, 1985). Por isso optou-se pelo nitrato para a composição do $IQAS_{CH}$. Os nitratos são tóxicos, causando uma doença chamada metahemoglobinemia infantil, que é letal para crianças (o nitrato se reduz a nitrito na corrente sanguínea, competindo com o oxigênio livre, tornando o sangue azul) (CETESB, 2007). Alto teor de nitrato pode acarretar problemas para os animais jovens também.

As bactérias coliformes não causam doença, pelo contrário, normalmente habitam o trato digestivo de animais de sangue quente, incluindo o homem, outros mamíferos e as aves. Por dia, cada pessoa excreta cerca de dois bilhões dessas bactérias. Por esse motivo, é um indicativo de contaminação, pois se existem coliformes nas águas é porque estas estão recebendo aporte de matérias fecais ou esgotos. Ou seja, se o material fecal está chegando às águas, também podem estar chegando bactérias patogênicas. Estas são bactérias resistentes às elevadas temperaturas e por este motivo, são denominadas mais recentemente por coliformes termotolerantes, sendo este parâmetro selecionado para compor o $IQAS_{CH}$.

Nas rochas cristalinas, ígneas e metamórficas, o ferro (Fe) ocorre em olivinas, piroxênios, anfibólios, granadas, micas, piritas, magnetitas e hematitas (Hem, 1985). Trata-se de um elemento persistentemente presente em quase todas as águas subterrâneas, em teores abaixo de 0,3 mg/L. Em ambientes oxidantes o Fe^{2+} passa a Fe^{3+} dando origem ao hidróxido férrico, que é insolúvel e se precipita, tingindo fortemente a água.

O alto teor de ferro na água subterrânea pode estar relacionado não somente à composição química das rochas, como também à ocorrência de ferrobactérias ou mesmo à corrosão do revestimento do filtro ou do poço (Santos, 2000), uma vez que para análise da

água é preciso coletá-la em poços. Como o custo de construção de poços é elevado, muitas vezes se aproveita poços já construídos com tubulação de ferro, para se fazer a coleta.

A legislação vigente estabelece limites para este elemento (0,3mg/L), no entanto, é importante lembrar que o organismo humano demanda ferro para diversas funções e a Ingestão Diária Recomendada (IDR) para uma pessoa adulta saudável é de 14mg, segundo Resolução nº 269/05 da Agência Nacional de Vigilância Sanitária que trata sobre IDR de alguns nutrientes. O fator que justifica valores tão baixos de Fe na água é que quando está presente acima de 0,3mg/L começa a provocar alterações no sabor e na aparência da água (WHO, 2006b).

O manganês é um elemento pouco frequente nas rochas magmáticas e as baixas concentrações nas águas marinhas demonstram pequena mobilidade geoquímica desse elemento. Encontra-se muitas vezes incorporado a certos minerais (biotita, hornblenda) nas posições de outros íons de mesma carga e de tamanho semelhante como, por exemplo, o ferro.

O manganês participa do ciclo biológico e é liberado durante a decomposição de plantas. Os íons de manganês mais comuns nas águas naturais são: Mn^{+2} em águas com um pH em torno de 7,0; $MnHCO_3^+$ em águas com altas concentrações de bicarbonato e $MnSO_4$ em águas com teores de sulfato acima de 1000mg/L (Fenzl, 1988).

O manganês, no estado Mn^{+2}, é instável em contato com o ar, mudando para o estado MnO_2 quando a água que o contém é exposta ao ar, pois se oxida facilmente. O bicarbonato manganoso decompõe-se da mesma forma que o bicarbonato ferroso, deixando a água sob a forma de um depósito de cor negra e aspecto fuliginoso, ao desprender-se o gás carbônico. O manganês frequentemente está presente com baixos teores (< 0,2mg/L) em quase todas as águas naturais (Santos, 2000).

As águas residuais e as lixiviadas de aterros também podem contribuir com ferro e manganês para as águas subterrâneas. Nas concentrações encontradas na maioria das águas naturais, o ferro e o manganês não são considerados um risco para a saúde, porém acima de 0,3mg/L e 0,1mg/L, respectivamente, podem modificar a aparência da água e conferir um sabor desagradável. Ambas as substâncias podem aumentar o crescimento de bactérias indesejáveis, que formam um revestimento viscoso nas tubulações (BCGWA, 2007). Os pesticidas também são importantes fontes de manganês e de acordo com Souto (2005), a intoxicação crônica por manganês é de evolução lenta e os sintomas iniciais são inespecíficos,

constam de cefaléia, lassidão, sonolência, dores articulares e musculares. Pelos motivos expostos e pelo fato do ferro ter sido encontrado em inconformidade em 55% das amostras dos poços tubulares e o maganês em 79% das amostras dos poços tubulares e 27% das amostras dos poços escavados, é que ambos os parâmetros foram selecionados para o $IQAS_{CH}$.

5.2.1.2 Parâmetros da Segunda Etapa do $IQAS_{CH}$ (Parâmetros Tóxicos)

Os parâmetros tóxicos devem ser escolhidos de acordo com as especificidades de cada área, e por isso foram selecionados com base nos resultados obtidos na BHRSD (Tabela 5.8), entretanto existe a possibilidade de ocorrência em áreas semelhantes, sendo eles: As, Ba, F, Pesticidas e Somatório de Pesticidas. Mas a proposta deste $IQAS_{CH}$ é que sejam analisados os parâmetros que são prováveis de aparecer na área analisada, caso a caso, principalmente em relação aos pesticidas.

*Tabela 5.8: Parâmetros selecionados para a **Segunda etapa** do $IQAS_{CH}$.*

Parâmetros	**Unidade**	**Grupo de Alteração[1]**	**Justificativa[2 ou 3]**
Arsênio	mg/L	Elemento Poluente	- Detectado acima do VMP para consumo humano em São José de Ubá (área de estudo) - Lesões de pele, distúrbios circulatórios, alto risco de câncer - Origem associada: erosão de depósitos naturais, pesticidas, mineração, fundição (ouro, chumbo, cobre e níquel), produção de ferro e aço, combustão de carvão, fabricação eletrônica
Bário	mg/L	Elemento Poluente	- O íon bário é um estimulante muscular e é muito tóxico para o coração, podendo causar fibrilação ventricular. Os sintomas de envenenamento com bário são salivação excessiva, tremores e convulsões, ritmo cardíaco acelerado, hipertensão, paralisia dos braços e das pernas, hemorragias internas e eventualmente a morte - Origem associada: Pesticidas, resíduos de perfuração, efluentes de metais de refinarias, erosão de depósitos naturais
Fluoreto	mg/L	Mineralização e Salinidade	- O excesso pode gerar doença nos ossos (dor e fragilidade óssea). As crianças podem sofrer de dentes manchados - Proveniente de resíduos de fertilizantes, ou mesmo da água aditivada para dentes fortes, ou erosão de depósitos naturais
Pesticidas (Individual e Somatório[4])	µ/l	Pesticidas	- Detectado em São José de Ubá (área de estudo) - Organoclorados podem gerar tumores hepáticos e de tireóide, benignos e malignos, alterações neurológicas, dermatoses, rinites alérgicas, disfunções gastrointestinais, pulmonares e hepáticas - Organofosforados podem gerar paralisias, neoplasia, problemas cardiorrespiratórios - Pesticidas são utilizados em São José de Ubá

[1]SEQ-Eaux Souterraines (Cadilhac & Albinet, 2003), [2]USEPA - National Primary Drinking Water Standards (2009); [3]WHO - Guidelines for Drinking-water Quality (2006b), [4]Pesticidas (Total): a soma de todos os pesticidas detectados e quantificados no processo de controle.

Optou-se por trabalhar tanto com os pesticidas individualmente quanto com o somatório de pesticidas, já que nem todos os compostos possuem VMP, assim como é feito no SEQ-Eaux Souterraines. A Tabela 5.8 apresenta de forma sumarizada as justificativas para a seleção dos parâmetros desta etapa.

As fontes naturais de arsênio são principalmente, jazidas de metais, onde o elemento se encontra na forma de arsenita (AsO_4^{3-}) ou arsenopirita (FeAsS), por exemplo. Na área de estudo, as principais fontes antrópicas relacionam-se aos inseticidas e herbicidas. O arsênio é altamente tóxico, podendo provocar lesões de pele, distúrbios circulatórios e câncer. O pior caso de contaminação de água subterrânea e humana que se tem conhecimento no mundo ocorreu em Bangladesh e West Bengal (Índia), onde mais de 40 milhões de pessoas foram afetadas (Smedley & Kinniburgh, 2002).

O bário está presente na composição de pesticidas, sendo por isso fonte deste elemento em áreas agrícolas. Ocorre na natureza sob a forma de cátion divalente, em combinação com outros elementos. As principais fontes naturais deste elemento são intemperismo e erosão de depósitos naturais, onde normalmente ocorre na forma de barita ($BaSO_4$), podendo também ocorrer na forma da witherite ($BaCO_3$). Encontra-se também, em pequenas quantidades, em rochas ígneas, como feldspato e micas e pode ainda ser encontrado como um componente de combustíveis fósseis. Compostos solúveis de bário ($Ba(NO_3)_2$ e $Ba(CO_3)_2$, por exemplo) são extremamente venenosos (Hicks *et al.*, 1986), pois são solúveis em água e se dissociam neste meio. Portanto, são absorvidos no trato gastrintestinal, provocando intoxicação (Cunha *et al.*, 2006). Podem migrar também para as águas subterrâneas em condições ácidas, mas geralmente, o bário não é muito móvel no solo, por causa da formação de sais insolúveis em água e de sua incapacidade de formar complexos solúveis com materiais fúlvicos e húmicos (USEPA, 2009).

O flúor é o mais eletronegativo de todos os elementos químicos, tão reativo que nunca é encontrado em sua forma elementar na natureza, sendo normalmente encontrado na sua forma combinada como fluoreto (CETESB, 2007). A fluorita (CaF_2) é o mineral mais comum que contém flúor, sendo um mineral de baixa solubilidade que ocorre tanto em rochas ígneas como sedimentares. A apatita $Ca_5(PO_4)_3(F,OH,Cl)$ também comumente contém flúor. Anfibólios tais como hornblenda e micas podem conter fluoreto que substituiu parte do hidróxido (Hem, 1985). Frequentemente o fluoreto ocorre em concentrações entre 0,1 e 1,5

mg/L nas águas naturais, podendo chegar, às vezes, até 10 mg/L e, raramente, a 50 mg/L em águas muito sódicas com pouco cálcio (Santos, 2000).

Dependendo da concentração o fluoreto pode se tornar altamente tóxico. Por isto, embora exerça proteção contra cárie dentária, muitos pesquisadores não vêem necessidade na fluoração da água tratada, pelo contrário, acima de certas dosagens o fluoreto provoca a fluorose dentária, ou seja, o mosqueamento do esmalte dos dentes, além da ocorrência de outros problemas como a descalcificação de ossos de idosos, a chamada fluorose óssea (CETESB, 2007). Por apresentar essas caraterísticas tóxicas e por ter sua origem na água associada também aos resíduos de fertilizantes é que este parâmetro foi selecionado para o $IQAS_{CH}$.

Nem todos os pesticidas que tratam da potabilidade da água são mencionados nas legislações, mas algumas normas (Norma 80/778/CEE, Norma 98/83/CE) e o índice SEQ-Eaux Souterraines limitam o total de pesticidas na água. Como o índice desenvolvido nesse trabalho propõe-se a ser de aplicação local, o recomendado é que seja realizada uma pesquisa identificando os principais pesticidas e princípios ativos utilizados na área de interesse, visando subsidiar a seleção dos compostos que devem ser analisados e monitorados e, consequentemente, quais devem entrar na composição do $IQAS_{CH}$, desde que os limites estejam estabelecidos por lei, ou que sua presença em qualquer dose possa comprometer a saúde humana ou de animais domésticos. Tal pesquisa foi realizada pela Embrapa Solos na BHRSD, porém, não foi possível analisar todos os compostos desejados por motivos de ordem financeira, pois estas análises possuem custo elevado. Por isso no $IQAS_{CH}$ proposto foram considerados individualmente, os pesticidas identificados na BHRSD (que são elencados da Tabela 5.10) e a soma total destes pesticidas.

Entende-se por pesticidas: acaricidas (controle de ácaros), bactericidas (controle de bactérias), fungicidas (controle de fungos), herbicidas (controle de ervas daninhas), inseticidas (controle de insetos), nematicidas (controle de nematóides -vermes), algicidas orgânicos (controle de algas), rodenticidas orgânicos (controle de ratos e roedores em geral), controladores orgânicos de secreções viscosas, produtos afins nomeadamente, reguladores do crescimento e seus metabólitos, produtos de degradação e de reação importantes (Norma 98/83/CE). Os pesticidades de forma geral podem gerar tumores benignos e malignos; alterações neurológicas; dermatoses; disfunções gastrointestinais, pulmonares e hepáticas e problemas cardiorrespiratórios.

5.2.2 Normalização dos Dados

A normalização dos dados foi realizada com a utilização da lógica booleana, pois o índice foi construído de forma não ponderada, considerando igualdade de importância entre os parâmetros que entram no cálculo, já que o objetivo foi avaliar a qualidade para consumo humano, uso este restritivo. Para tal aplicação, foi necessário:

a) Construir a tabela de dados (Anexo 5), elaborada a partir dos resultados das análises químicas;

b) $IQAS_{CH}$ Primeira Etapa: Construir a tabela de contingência[9] disjuntiva[10], exemplificada na Figura 5.4, com os resultados dos parâmetros escolhidos para compor o $IQAS_{CH}$;

b_i) A padronização para cada um dos poços em cada parâmetro pode ser realizada por meio da função de lógica, sendo: 0 para a não ocorrência e 1 para a ocorrência;

b_{ii}) As amostras, por parâmetro, foram distribuídas em uma faixa de três níveis de concentração:

- ≤VG (menor ou igual ao valor guia);
- VG-VMP (valores maiores que o valor guia e menores ou iguais que o valor máximo permitido) e
- >VMP (acima do valor máximo permitido).

c) $IQAS_{CH}$ Segunda Etapa: realizar os mesmos procedimentos detalhados em **b** e **b_i**, mencionados anteriormente, e distribuir as amostras, por parâmetro, em uma faixa de dois níveis de concentração:

- <VMP (valor máximo permitido) e

---

[9] A tabela de contingência nada mais é do que o cruzamento de várias categorias, definindo assim um conjunto de tipos ou celas, onde se conta o número de indivíduos em cada cela. De uma maneira mais formal, uma tabela de contingência a duas dimensões a |I| linhas e |J| colunas é simplesmente o resultado da amostragem de um vetor aleatório bidimensional (X_1, X_2). Tal vetor deve ser discreto (=categórico) ou ter sido previamente discretizado (=categorizado) em um número finito de ocorrências possíveis através de uma classificação. Ao conjunto de valores de X_1, convenciona-se chamar conjunto de linhas e o denotaremos sempre por I, quanto ao de X_2, será o conjunto de J de colunas (Flores, 1975).

- >VMP (acima do valor máximo permitido).

A Tabela 5.9 apresenta um exemplo referente ao manganês, onde o valor de guia é VG= 0,02 mg/L Mn^{+2} e o valor máximo permitido é VMP= 0,1 mg/L Mn^{+2}. O valor guia, que é o nível desejável, foi retirado da Norma Européia de 1980 (80/778/CEE - Comunidade Econômica Européia) e o VMP foi extraído da Resolução CONAMA 396/08. Dessa mesma forma, todos os parâmetros utilizados na metodologia passaram por esse procedimento de padronização.

Na tabela disjuntiva completa, o número de informações existentes passou de 9 (parâmetros do 1º da Primeira Etapa do $IQAS_{CH}$) para 27 (considerando os parâmetros selecionados para a Segunda Etapa), aumentando assim, o nível de detalhamento da análise.

p

Indivíduos (I)	Variáveis (J)							Total
	Variável A Modalidades J_K			Variável B Modalidades			(...)	
	1	2	3	1	2	3	...	
1	0	1	0	1	0	0	...	J
2	1	0	0	0	0	1	...	J
. . .	. . .	. . .	. . .	. . .	. . .	. . .	. . .	. . .
i	1	0	0	0	1	0	..	J
Total	I_{A1}	I_{A2}	I_{A3}	I_{B1}	I_{B2}	I_{B3}	(...)	IJ

n

Figura 5.4: Representação de uma Tabela Disjuntiva Completa/TDC (modificado de Crivisqui & Villamonte, 1997).

Tabela 5.9: Padronização produzida para o manganês.

Poço n°	Mn^{+2}(mg/L)		
	≤VG (0,02)	VG-VMP (0,02-0,1)	>VMP (0,1)
1	0	1	0
2	0	0	1
3	1	0	0

VG: Valor Guia; VMP: Valor Máximo Permitido.

[10] Chama-se a isto quando o conjunto *J* (das propriedades) pode ser particionado em subconjuntos disjuntos J_K, de tal maneira que cada indivíduo i, possua uma e somente uma propriedade em cada J_K (Flores, 1975). Sendo p colunas a soma das modalidades de todas as variáveis.

5.2.2.1 Padrões de Qualidade Adotados

De acordo com a Resolução CONAMA 396/08 padrão de qualidade é o valor limite adotado como requisito normativo de um parâmetro de qualidade de água, estabelecido com base nos valores de referência de qualidade e nos valores máximos permitidos (ou mínimos exigidos) para cada um dos usos preponderantes e parâmetro de qualidade da água é a substância ou outro indicador representativo da qualidade da água.

Os valores máximos permitidos, bem como os mínimos exigidos foram levantados nas mais diversas legislações de variados países (Anexo 6). No Brasil pode-se citar: Portaria do Ministério da Saúde nº 518/04; Resolução do CONAMA 396/08 (águas subterrâneas), CONAMA 357/05 (águas superficiais, mas também apresenta limites para consumo humano); nos Estados Unidos: National Primary Drinking Water Regulations (USEPA, 2009); na Austrália: Australian Drinking Water Guidelines 6 (NHMRC/NRMMC, 2003); na Europa: Normas 80/778/CEE e 98/83/CE e ainda o Guia da Organização Mundial de Saúde (WHO, 2006b).

De igual modo os valores normalmente encontrados nas águas subterrâneas foram consultados em textos clássicos como os de Davis & De Wiest (1966), Custodio e Llamas (1983), Hem (1985) e Schoeller (1955 e 1962), assim como os valores de Ingestão Diária Recomendada (IDR) de Proteína, Vitaminas e Minerais, em textos de farmacologia Goodman & Gilman (1967) e na Resolução nº 269/05 da Agência Nacional de Vigilância Sanitária que versa sobre IDR de nutrientes. Tais padrões encontram-se expostos no Anexo 7.

Estas consultas foram importantes principalmente para verificar se os valores máximos permitidos não ficavam muito aquém da realidade encontrada, embora o objetivo do VMP seja de orientar/limitar a ingestão humana de dado parâmetro e não acompanhar os valores comumente encontrados. Identificou-se que os padrões não sofrem grandes variações de uma norma para outra, muitas vezes são parecidos, sendo até mesmo replicados, principalmente, das normas americanas. Constatou-se também que em muitos parâmetros os VMPs estão relacionados a alterações na aparência, sabor ou odor da água, como por exemplo ferro, manganês e dureza. O problema é que essas informações não são fornecidas junto das normas brasileiras. Por isso que separar as substâncias tóxicas para compor parte de IQA é importante, assim não se corre o risco de classificar uma amostra de água como não potável

pelo fato de o pH, para citar um exemplo, estar abaixo ou acima do intervalo estabelecido pela legislação.

Os padrões de potabilidade adotados podem ser visualizados na Tabela 5.10.

Tabela 5.10: Parâmetros que compõem o $IQAS_{CH}$ para a BHRSD e seus respectivos VG e VMP.

Parâmetros	Consumo Humano		Fontes Bibliográficas	
	VG	VMP ou VME	VG	VMP
Parâmetros da Primeira Etapa – Não Tóxicos				
Coliformes Termotolerantes (N/100 ml)	0	0	Norma 80/778/CCE	Resolução do CONAMA n° 396/08 (Cons. Hum.)
Condutividade Elétrica (µS/cm à 20°C)	400	1470	Norma 80/778/CCE	Resolução do CONAMA n° 396/08 (Cons. Hum.)
Dureza (mg/L $CaCO_3$)	80 e 400	<80 ou >400	SEQ-Eaux Souterraines (2003)	SEQ-Eaux Souterraines (2003)
Ferro (mg/L)	0,05	0,3	Norma 80/778/CCE	Resolução do CONAMA n° 396/08 (Cons. Hum.)
Manganês (mg/L)	0,02	0,1	Norma 80/778/CCE	Resolução do CONAMA n° 396/08 (Cons. Hum.)
Nitrato (mg/L)	5[1]	10	SEQ-Eaux Souterraines (2003)	Resolução do CONAMA n° 396/08 (Cons. Hum.)
pH	6,5 e 8,5	<6 ou >9,5	Norma 80/778/CCE	Portaria da ANVISA nº 518/04
Turbidez (NTU)	1	5	Regulamento de Água Potável da EPA (2009)	Portaria da ANVISA nº 518/04
Sólidos em Suspensão[2] (mg/L)	2	5	SEQ-Eaux Souterraines (2003)	SEQ-Eaux Souterraines (2003)
Parâmetros da Segunda Etapa - Tóxicos				
Arsênio (mg/L)		0,01		Resolução do CONAMA n° 396/08 (Cons. Hum.)
Bário (mg/L)		0,7		Resolução do CONAMA n° 396/08 (Cons. Hum.)
Fluoreto (mg/L)		1,5		Resolução do CONAMA n° 396/08 (Cons. Hum.)
Pesticidas (µ/l)				
Aldrin		0,03		Resolução do CONAMA n° 396/08 (Cons. Hum.)
Clorpirifós		30		Resolução do CONAMA n° 396/08 (Cons. Hum.)
Diazinon		3		Australian Drinking Water Guidelines 6 (NHMRC/NRMMC, 2003)
Diclorvós		1		Australian Drinking Water Guidelines 6 (NHMRC/NRMMC, 2003)
Endossulfan (α e β)		≤20		Portaria da ANVISA nº 518/04
Fenitrotion		≤10		Australian Drinking Water Guidelines 6 (NHMRC/NRMMC, 2003)
Fentoato[3]				
Lindano		2		Resolução do CONAMA n° 396/08 (Cons. Hum.)
Malation		190		Resolução do CONAMA n° 396/08 (Cons. Hum.)
Metilparation		100		Australian Drinking Water Guidelines 6 (NHMRC/NRMMC, 2003)
Metolocloro		10		Resolução do CONAMA n° 396/08 (Cons. Hum.)
Pesticidas		0,1		Norma 98/83/CE
Σ Pesticidas		0,5		Norma 98/83/CE

VG: Valor Guia; VMP: Valor Máximo Permitido; VME: Valor Mínimo Exigido, [1]Valor equivalente, [2]Este parâmetro foi incluído para ser usado em lugar da turbidez, quando esta não for analisada, [3]Não foi encontrado VMP para este parâmetro, logo ele é analisado como "Pesticida", que possui VMP de 0,1 µ/l.

Os VMPs foram retirados prioritariamente da legislação brasileira, específica para águas subterrâneas, CONAMA 396/08 (Consumo Humano). Quando estes padrões não eram indicados optou-se por retirá-los da Portaria 518/04 da ANVISA. No caso da Condutividade Elétrica, o VMP foi obtido a partir da correlação existente com o parâmetro STD, que tem como padrão de potabilidade 1000 mg/L.

Considerou-se o valor da Portaria 518/04 como limite para o caso da dureza muito elevado (500 mg/L), já que em entrevista com a população, poços com valores menores receberam críticas quanto a esta característica da água, por isso preferiu-se adotar os limites do índice SEQ-Eaux Souterraines, que são menores (Tabela 5.10).

Os padrões para os pesticidas também seguiram essa hierarquia, sendo que alguns valores foram retirados do Guia Australiano, por ser o único a apresentar os VMPs. Na realidade o número de parâmetros tóxicos não é fixo e o ideal é que também não seja muito extenso, já que um dos objetivos do índice é ser prático e com um número menor de parâmetros chegar próximo da realidade. Porém, no caso da BHRSD, esses contaminantes já foram analisados, então não há motivos para não incluí-los no índice. Entretanto, as análises mostraram que os mesmos não ultrapassaram o VMP em nenhuma das amostras em que foram identificados, ficando apenas na Tabela 5.10, como exemplo de aplicação. Portanto foi considerado apenas o total de pesticidas por amostra.

Os Valores Guia foram obtidos a partir da Norma Européia 80/778/CEE, com exceção do nitrato, cujo Valor Guia foi extraído da Norma da EPA, pelo fato da unidade de medida ser a mesma adotada no Brasil e da turbidez e da dureza que tiveram seus valores obtidos no índice SEQ-Eaux Souterraines, que apresenta valores quanto a dureza mais conservadores.

5.2.3 Agregação

O momento de agregação é muito significativo para que o índice represente as diferenças entre os pontos amostrados. Optou-se por trabalhar com duas abordagens diferentes para descobrir qual é a melhor para avaliar uma área como a BHRSD.

5.2.3.1 Primeira Abordagem

<u>Primeira Etapa do $IQAS_{CH}$ – Não Tóxicos</u>

A agregação ocorreu a partir da contagem do número de ocorrência em cada conjunto *J* (das propriedades), mais especificamente em cada subconjunto disjunto *JK*, ou seja, em cada modalidade. Foi averiguado e somado o número de ocorrências em cada poço em cada uma das classes: ≤VG (menor ou igual ao valor guia); VG-VMP (valores maiores que o valor guia e menores ou iguais que o valor máximo permitido) e >VMP (acima do valor máximo permitido). Isso é possível porque apesar de existirem 8 conjuntos diferentes de parâmetros, os subconjuntos, que são as classes, são análogos.

A partir da soma de ocorrência em cada modalidade equivalente, os poços foram distribuídos em suas respectivas categorias de qualidade de água, que variam de 0 a 100, a saber: *Ótima* e *Boa*, que são as classes que apresentam amostras totalmente adequadas ao consumo humano e classe *Precisa* de *Tratamento*, que é a classe que agrupa as amostras com algum parâmetro em inconformidade em relação aos padrões de potabilidade adotados.

Segunda Etapa do $IQAS_{CH}$ – Tóxicos

Depois de calculado o índice na primeira etapa, a segunda, que avaliará a presença de substâncias tóxicas na água acima do VMP, foi calculada também. Para tanto, foi necessário apenas verificar em qual das duas classes <VMP ou >VMP o valor do parâmetro para a amostra se encontra. A amostra que não possuir nenhum parâmetro acima do VMP continua com o mesmo valor obtido na primeira etapa do cálculo. No entanto, a amostra que apresentar algum parâmetro acima do VMP é classificada como *Imprópria* ($IQAS_{CH}$ = 0) para o consumo humano.

A definição e descrição das categorias são apresentadas nas Figuras 5.5 e 5.6, a classe *Precisa de Tratamento* foi subdividida, de forma que as nuances existentes entre as amostras, com pelo menos 1 parâmetro em inconformidade, não se perdesse.

A classe *Imprópria* para consumo humano também precisa de tratamento, mas o nome *Precisa de Tratamento* é dado a uma classe da primeira etapa do $IQAS_{CH}$, ou seja, dos parâmetros não tóxicos, por conseguinte, são parâmetros que apresentam menor risco a saúde humana, mesmo quando ultrapassam os padrões de potabilidade. As ponderações das categorias do $IQAS_{CH}$ são proporcionais aos números de ocorrência, ou seja, é possível que ocorram 46 combinações e por isso existem 46 subclasses, todas as possibilidades são apresentadas no (Anexo 8).

Grupo	Cores	$IQAS_{CH}$	Definição da Categoria
1º		100	Água de **Ótima qualidade** para o consumo humano
		82	Água de **Boa qualidade** para consumo humano
		2	Água que **Precisa de Tratamento** para que possa ocorrer consumo humano
2º		0	Água **Imprópria** para o consumo humano, presença de parâmetros tóxicos

Figura 5.5: Definição das categorias do $IQAS_{CH}$ consumo humano (1ª abordagem).

Descrição das Categorias

	Todos os parâmetros ≤VG
	Todos os parâmetros ≤VMP
	Um ou mais parâmetros >VMP
	Parâmetros tóxicos >VMP

	IQAS	Precisa de Tratamento
I	49-80	1-2 parâmetros > VMP
	25-47	3-4 parâmetros > VMP
II	9-22	5-6 parâmetros > VMP
	2-7	7-8 parâmetros > VMP

Figura 5.6: Descrição das categorias do $IQAS_{CH}$ consumo humano (Primeira Etapa).

Esta forma de agregação é interessante porque é simples e trabalha com os dois grupos de parâmetros. O ponto negativo é que a informação da primeira etapa se perde quando as amostras possuem algum parâmetro tóxico. Na confecção dos mapas, por exemplo, com a espacialização do $IQAS_{CH}$, não é possível saber como foi o comportamento da amostra na primeira parte do $IQAS_{CH}$. Um outro aspecto é que para áreas que foram acompanhadas através de monitoramento, a melhora ou piora, em relação aos parâmetros da primeira etapa do $IQAS_{CH}$, não é evidenciada. Por isso uma outra forma de agregação foi elaborada para ser testada e será relatada a seguir.

5.2.3.2 Segunda Abordagem

Primeira Etapa do $IQAS_{CH}$ – Não Tóxicos

A agregação ocorreu da mesma forma da primeira abordagem, ou seja, também a partir da soma de ocorrência em cada modalidade equivalente. A diferença reside nas categorias, a *Ótima* ($IQAS_{CH}$ = 100), a *Boa* ($IQAS_{CH}$ = 75) e a *Precisa de Tratamento* ($IQAS_{CH}$ = 50 ou 25) foram mantidas e foi acrescentada uma quarta, que é a classe *Inadequada* ($IQAS_{CH}$ = 0), que agrupou as amostras, em que todos os parâmetros apresentaram-se em inconformidade para os padrões de potabilidade adotados. Embora esta última categoria também necessite de tratamento, como a *Imprópria* da primeira abordagem, foi criada para que a classificação fosse um pouco mais rígida e diferenciada da primeira abordagem.

Segunda Etapa do $IQAS_{CH}$ – Tóxicos

As amostras são classificadas inicialmente entre 0 e 100, que foi a classificação referente a primeira etapa. O segundo momento só é realizado com as amostras que possuem alguma substância da segunda etapa (Parâmetros Tóxicos), quando o valor do índice (Primeira Etapa) é subtraído por 75 e multiplicado por –1, para as amostras de *Ótima* qualidade e, subtraído por 100, para as outras classes, e dessa forma, são classificadas na segunda etapa do $IQAS_{CH}$ (-25 a -100).

A decisão de definir a escala de 100 a -100 foi motivada pela necessidade do índice não perder as informações da classificação da primeira etapa. Já a divisão das classes foi realizada de acordo com a necessidade dos objetivos propostos para o $IQAS_{CH}$ em questão. Todas as possibilidades de ocorrência são apresentadas no Anexo 9.

Nas Figuras 5.7 e 5.8 a definição e a descrição das categorias são apresentadas. As cores amarela e laranja estão ligadas por fazerem parte da mesma classe, que é a *Precisa de Tratamento.*

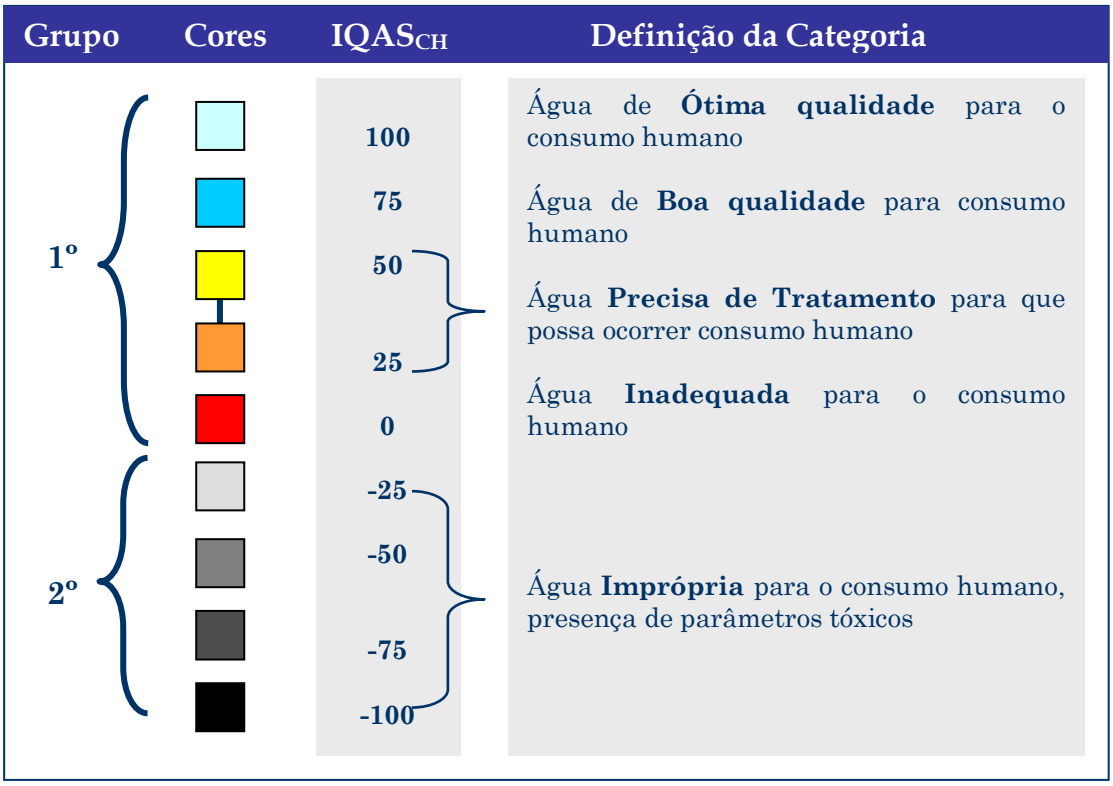


Figura 5.7: Definição das categorias do $IQAS_{CH}$ consumo humano (2ª abordagem).

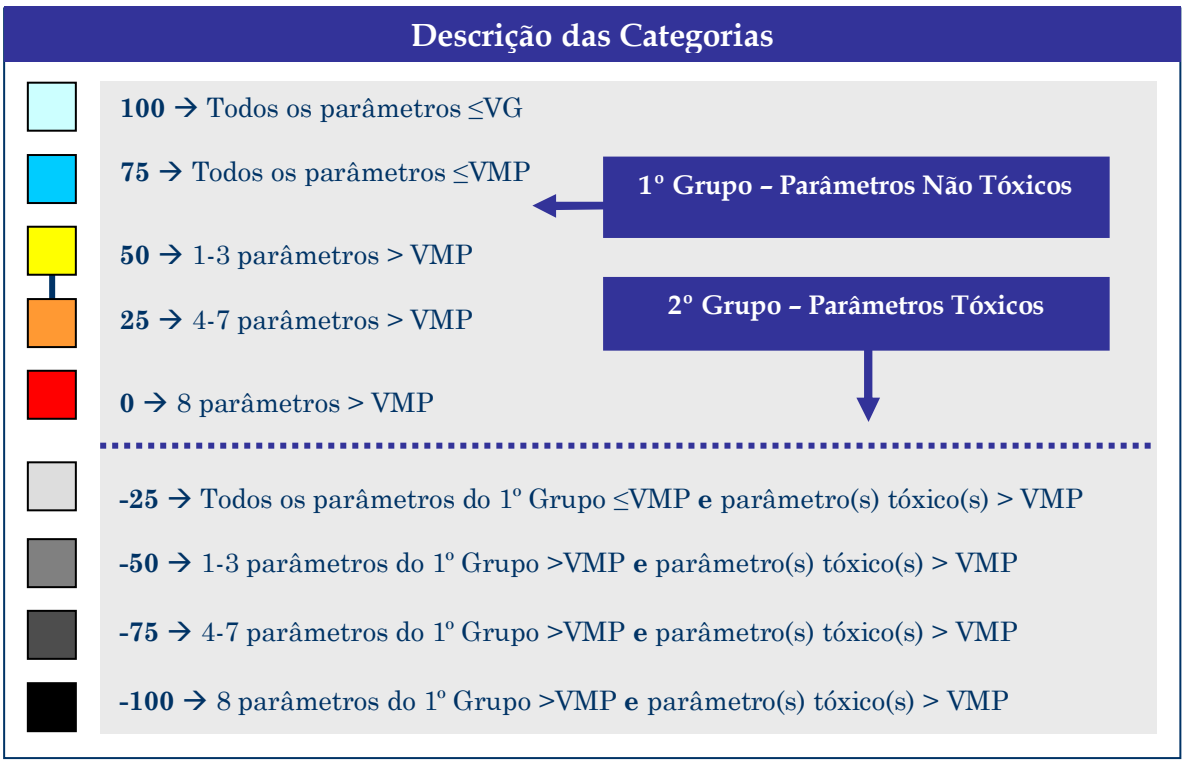


Figura 5.8: Descrição das categorias do $IQAS_{CH}$ consumo humano (2ª abordagem).

5.2.4 Aplicação e Validação

5.2.4.1 Aplicação e Comparação entre o Índice de Qualidade de Água Subterrânea para Consumo Humano ($IQAS_{CH}$) elaborado para a BHRSD e outros Índices Preexistentes

Com o objetivo de comparar o índice elaborado ($IQAS_{CH}$) com outros IQAs já existentes, foram aplicados o *Système d'évaluation de la qualité des eaux souterraines* (SEQ)[11] e o IQA_C[12] (*CCME,* 2001a) para os dados de qualidade de água obtidos na BHRSD. Esses índices foram escolhidos, principalmente, porque seus respectivos algoritmos não são coincidentes entre si e também pelo fato que o SEQ - Eaux Souterraines, como o próprio nome já diz, ter sido desenvolvido especificamente para águas subterrâneas, além desses índices, ainda que não sejam muito difundidos, permitirem maior mobilidade quanto a composição dos índices e aos padrões de potabilidade.

Pensou-se em aplicar um índice multiplicativo adaptado para as águas subterrâneas, à semelhança do IQA_{CETESB} para as águas superficiais ou IQUAS (Índice de Qualidade de Água Subterrânea)[13], mas a análise de alguns pontos fez com que essa aplicação não ocorresse. Isto se deveu ao fato de não ser possível a inserção de parâmetros tóxicos, já que a elaboração de suas curvas de qualidade é tarefa complexa, devido ao grau de toxicidade dos parâmetros não ser minuciosamente conhecido. O outro ponto é a questão do uso dos pesos, que não parece ser o mais adequado em se tratando de um uso tão restrito, tanto que no trabalho de elaboração do IQUAS é mencionado que:

> "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/L" (Almeida, R, 2007, p.158).

Os índices foram aplicados somente para os resultados da primeira campanha de campo (Tabela 5.11), que é a que possui o maior número poços e também para que o trabalho fosse objetivo. Os parâmetros utilizados foram CE, Dureza, pH, Turbidez, NO_3^-, Coliformes Termotolerantes, Fe e Mn^{+2} (Primeira etapa do $IQAS_{CH}$ desenvolvido) e As, Ba, F^- e Σ

[11] Ver capítulo 3, tópico 3.2.2
[12] Ver capítulo 3, tópico 3.1.6
[13] Ver capítulo 3, tópico 3.2.3

Pesticidas relativos à Segunda etapa do $IQAS_{CH}$, pois preferiu-se utilizar somente a Σ Pesticidas porque as análises revelaram que individualmente nenhum composto ultrapassou os VMPs.

Os resultados foram espacializados através do Sp*atial Analyst* do *ArcGis*® (8.3) e foram confeccionados gráficos frequência acumulada no *software SPSS*® (*Statistical Package for the Social Sciences, versão 15 for Windows, da SPSS Inc.*) para facilitar a comparação entre os índices. Pretende-se ainda averiguar qual tipo de agregação do $IQAS_{CH}$ (1ª ou 2ª abordagem) é mais adequada para a proposta do estudo.

Tabela 5.11: Índices aplicados.

IQA	Área aplicada	Parâmetros utilizados	Padrões de Potabilidade
SEQ - Eaux Souterraines	BHRSD (47 amostras de 2004)	CE, Dureza, pH, Turbidez, NO_3^-, Colif. Termot., Fe, Mn^{+2}, As, Ba, F^- e Σ Pesticidas	Normas 80/778/CCE e 98/83/CE entre outras, valores disponíveis no Anexo 10
IQA_C	BHRSD (47 amostras de 2004)	CE, Dureza, pH, Turbidez, NO_3^-, Colif. Termot., Fe , Mn^{+2}, As, Ba, F^- e Σ Pesticidas	CONAMA 396/08 e Portaria 518/04 entre outras (todos os valores na Tabela 5.10)

5.2.4.2 Aplicação do Índice de Qualidade de Água Subterrânea para Consumo Humano ($IQAS_{CH}$) elaborado para a BHRSD para todo o Período Monitorado

Uma das abordagens do $IQAS_{CH}$ foi escolhida para ser aplicada em cinco das seis campanhas de campo realizadas, sendo elas: outubro de 2004, agosto e dezembro de 2005, outubro de 2007 e julho de 2008 (Tabela 5.2). O índice não pode ser calculado para as amostras de abril de 2005 porque nessa campanha não foram analisados nem turbidez, nem material em suspensão.

De forma a possibilitar o acompanhamento da variação dos valores do índice e portanto da variação da qualidade da água para as áreas monitoradas os resultados foram espacializados com o auxílio do *ArcGis*® (8.3) e através do *software SPSS*® (15) foram confeccionados histogramas e dendogramas, que são a representação do método estatístico hierárquico de *cluster* ou análise de agrupamento. A medida de similaridade utilizada para avaliar o grau de semelhança entre as amostras de água foi o quadrado da distância euclidiana, o *software* oferece vários métodos de análise de *cluster* e dentre esses o que apresentou os grupos com melhores definições foi o método *Between Groups Linkage*.

A validação do $IQAS_{CH}$ desenvolvido se deu essencialmente pela comparação entre os resultados da aplicação do $IQAS_{CH}$ com o SEQ e o IQA_C para a primeira campanha (outubro de 2004) com os mesmos parâmetros e dados. Dessa forma foi possível verificar qual índice se aproxima mais da realidade da BHRSD, checando assim a aplicabilidade do $IQAS_{CH.}$

Com a aplicação do $IQAS_{CH}$ para os dados obtidos nas demais campanhas, procurou-se verificar se as diferenças nos resultados do $IQAS_{CH}$ eram similares ou não com as diferenças percebidas na BHRSD ao longo do monitoramento sem aplicação do $IQAS_{CH}$.

5.2.4.3 Desenvolvimento de Interface do $IQAS_{CH}$ com Usuário

Concomitantemente a elaboração do $IQAS_{CH}$, foi desenvolvido um programa interativo para calcular o índice, concebido no Visual Basic, para plataforma de Microsoft Excel. O objetivo desta etapa foi facilitar os cálculos da aplicação do mesmo índice e divulgar o $IQAS_{CH}$, podendo subsidiar o monitoramento das águas subterrâneas na BHRSD e a avaliação da qualidade das águas subterrâneas em áreas similares, por comitês de bacias hidrográficas, prefeituras e órgãos ambientais.

6 RESULTADOS

Os resultados serão apresentados em 2 etapas, a saber: (i) a Análise Dinâmica do Ambiente das Águas da BHRSD e (ii) Aplicação de Índices de Qualidade de Água preexistentes e do $IQAS_{CH}$ elaborado para a BHRSD.

6.1 Análise Dinâmica do Ambiente das Águas (ADAA)

Os resultados da ADAA foram divididos em 6 partes: 1) identificação dos *stakeholders*; 2) caracterização do perfil poluidor de cada grupo/atividade; 3) apresentação da caracterização hidrogeoquímica da BHRSD; 4) avaliação de como os *stakeholders* têm alterado a qualidade natural das águas subterrâneas da bacia, ao longo do período monitorado; 5) verificação da percepção que os grupos de interesse têm sobre a qualidade desses recursos hídricos e 6) descrição de como ocorreu a comunicação com os *stakeholders*.

6.1.1 Identificação dos *Stakeholders*

A Figura 6.1 apresenta um diagrama radial usado para identificar quais são os *stakeholders* das águas subterrâneas na BHRSD.

A população relativa às atividades agrícolas compreende os principais *stakeholders* dos recursos hídricos subterrâneos da BHRSD e um dos fatores que levam a isso é o fato da cultura do tomate ser a principal fonte de renda do município de São José de Ubá, que corresponde a 90% da bacia estudada. Este município é o segundo maior produtor do Estado, arroz e milho também são produzidos, mas em quantidades bem menores (IPEA, 2009).

A maior parte dos *stakeholders* do grupo comércio e serviços tem um potencial poluidor semelhante ao grupo consumo doméstico, já que o saneamento básico na região é precário, pois somente 26,0% do esgoto é destinado a rede geral de esgoto ou pluvial, sem nenhum tipo de tratamento prévio. Quanto ao restante do esgoto, 44,8% é despejado em valas, 10,5% em fossa rudimentar, 8,6% em fossa séptica, 2,2% em rios ou lagos, 0,4% em outro escoadouro e 7,4% não têm instalação sanitária (IBGE, 2000). A outra parte dos *stakeholders* relativa ao comércio e serviços, que apresenta um potencial poluidor maior que o grupo relacionado ao consumo doméstico, é a que compreende atividades como postos de serviços automotivos e

hospitais, por exemplo, pois os resíduos e os possíveis vazamentos dos postos e os lixos hospitalares possuem alto grau de toxicidade. Tais atividades se concentram na Sede do município de São José de Ubá, onde o uso das águas subterrâneas é menor, pois esta área é abastecida por rede geral (águas superficiais).

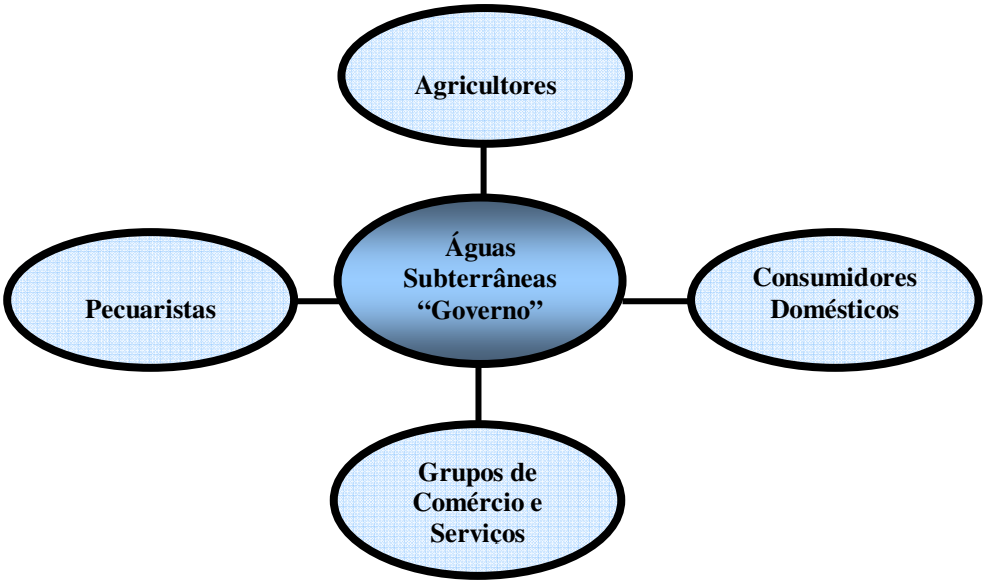


Figura 6.1: Diagrama radial mostrando os stakeholders das águas subterrâneas da Bacia Hidrográfica do rio São Domingos.

Os maiores problemas relacionados à atividade pecuária relacionam-se ao estado precário que alguns poços rasos se encontram: alguns são mal revestidos e tampados, outros ficam abertos e poucos recebem limpeza no tempo adequado. Dessa forma, ficam sujeitos a contaminação oriunda das fezes de animais, dentre outras fontes de poluição.

6.1.2 Perfil Poluidor dos *Stakeholders*

O segundo passo foi definir a capacidade de influência que cada grupo possuía sobre o recurso hídrico. Para isso, é preciso identificar o tipo de contaminação originária de cada grupo/atividade. As principais substâncias contaminantes que podem estar nas águas devem ser identificadas, bem como os principais parâmetros que podem estar em inconformidade segundo a legislação de referência. Neste estudo adotaram-se os limites para consumo humano estabelecidos pela Resolução CONAMA 396/08. Os trabalhos de campo, as visitas aos órgãos do município e as entrevistas foram importantes na definição do perfil poluidor. As

entrevistas permitiram não só listar as atividades e formas de uso da água da BHRSD, mas também identificar os principais agrotóxicos utilizados. A Tabela 6.1 apresenta alguns dos parâmetros que, de acordo com as atividades dos *stakeholders,* podem estar em inconformidade para o consumo humano.

Tabela 6.1: Alguns parâmetros que podem apresentar inconformidade para o Consumo Humano em consequência das atividades desenvolvidas pelos stakeholders.

Tipo de Atividade	Parâmetros que podem apresentar inconformidade para o Consumo Humano na BHRSD
Agricultura	Nitrato, Metais (Manganês, Cobre, Brometo, Zinco e Chumbo), Organoclorados e Organofosforados e CE.
Consumo Doméstico	Coliformes termotolerantes, Nitrato e CE.
Comércio e Serviços	Coliformes totais e termotolerantes, Metais e CE.
Pecuária	Coliformes totais e termotolerantes, Nitrato e CE.

A Tabela 6.1 auxiliou na seleção dos parâmetros que foram analisados nas amostras coletadas na BHRSD. A análise espacial dessas atividades também ajudou na escolha desses parâmetros, indicando as áreas que deveriam ser amostradas em maior detalhe.

Além dos parâmetros da Tabela 6.1 foram identificados também aqueles capazes de avaliar as características naturais dos aquíferos, sendo eles: bicarbonato, sulfato, cloreto, fluoreto, sódio, potássio, magnésio e ferro.

6.1.3 Caracterização Hidrogeoquímica

A precisão dos dados foi obtida a partir do cálculo da Eletroneutralidade (E.N.) e poucas amostras apresentaram erros no balanço iônico superiores a 10% (Tabela 6.2). De acordo com Appelo & Postma (1993), pequenos erros de balanço são praticamente inevitáveis, por isso os erros obtidos estão dentro do aceitável, pois sempre há algum tipo de imprecisão que pode ser analítica ou devido a processos de precipitação de metais durante o transporte ou armazenamento das amostras, embora estas tenham sido acidificadas.

Tabela 6.2: Média (%) e Desvio Padrão do balanço iônico das águas da BHRSD.

Coletas	Eletroneutralidade		
	Média	**Desvio Padrão**	**Pontos >10%**
1ª - Outubro de 2004	-0,6	2,5	12R, 37S
2ª - Abril de 2005	-0,2	2,8	12P
3ª - Agosto de 2005	2,8	3,9	15N, 23R, 12P
4ª - Dezembro de 2005	-4,9	4,3	17R
6ª - Julho de 2007	-1,9	3,0	---

--- nenhuma amostra, R: poços rasos, P: poços profundos.

Tanto a média quanto o do desvio padrão calculados para cada coleta foram realizados sem considerar os pontos em que o erro foi superior a 10%. Os valores de eletroneutralidade para as amostras de 2004 foram somente dos pontos que continuaram sendo monitorados nos meses seguintes e a coleta de Outubro de 2007 não é contemplada na Figura 6.2 nem na Tabela 6.2, pelo fato de a alcalinidade não ter sido analisada nessa campanha.

Os diagramas de *Piper* (Figura 6.2) ilustram as características hidrogeoquímicas das amostras. Nas águas de circulação rasa, as amostras apresentaram tendência à fácies bicarbonatada-sódica (mista). Ocorreram, ainda, os tipos cloretada-sódica, bicarbonatada-cálcica, e mescla dos tipos dominantes. Nas águas de circulação profunda, as amostras apresentaram tendências à fácies bicarbonatada-cálcica (mista). Ocorreram, ainda, os tipos sulfatada-cálcica, bicarbonatada-sódica e mescla dos tipos dominantes.

O bicarbonato (HCO_3^-) é o íon predominante tanto nas amostras dos poços rasos quanto nas amostras dos poços profundos (tubulares). Este ânion predominou sobre os íons cloreto (Cl^-) e sulfato (SO_4^{-2}), sendo esta uma característica comumente encontrada em terrenos cristalinos, pelo fato do cloreto e sulfato não serem, de forma geral, abundantes nas rochas ígneas (Hem, 1985). A concentração de bicarbonato é função do dióxido de carbono dissolvido (CO_2), originário do ar atmosférico e do solo, da hidrólise de silicatos em presença de dióxido de carbono e também do pH (Custodio & Llamas, 1983). No caso da BHRSD nenhuma amostra apresentou pH acima de 8,6, o que explica porque a alcalinidade, predominantemente, é expressa pelo íon bicarbonato.

Quanto ao conteúdo catiônico, o sódio (Na^+) predominou sobre os demais íons, sendo liberado, provavelmente, pelos minerais plagioclásio e hornblenda, presentes na BHRSD, segundo as análises disponíveis. O cálcio (Ca^{+2}) e o magnésio (Mg^{+2}) apresentaram uma variação mais irregular, ou seja, em alguns pontos predominou o Ca^{+2} e em outros o Mg^{+2}.

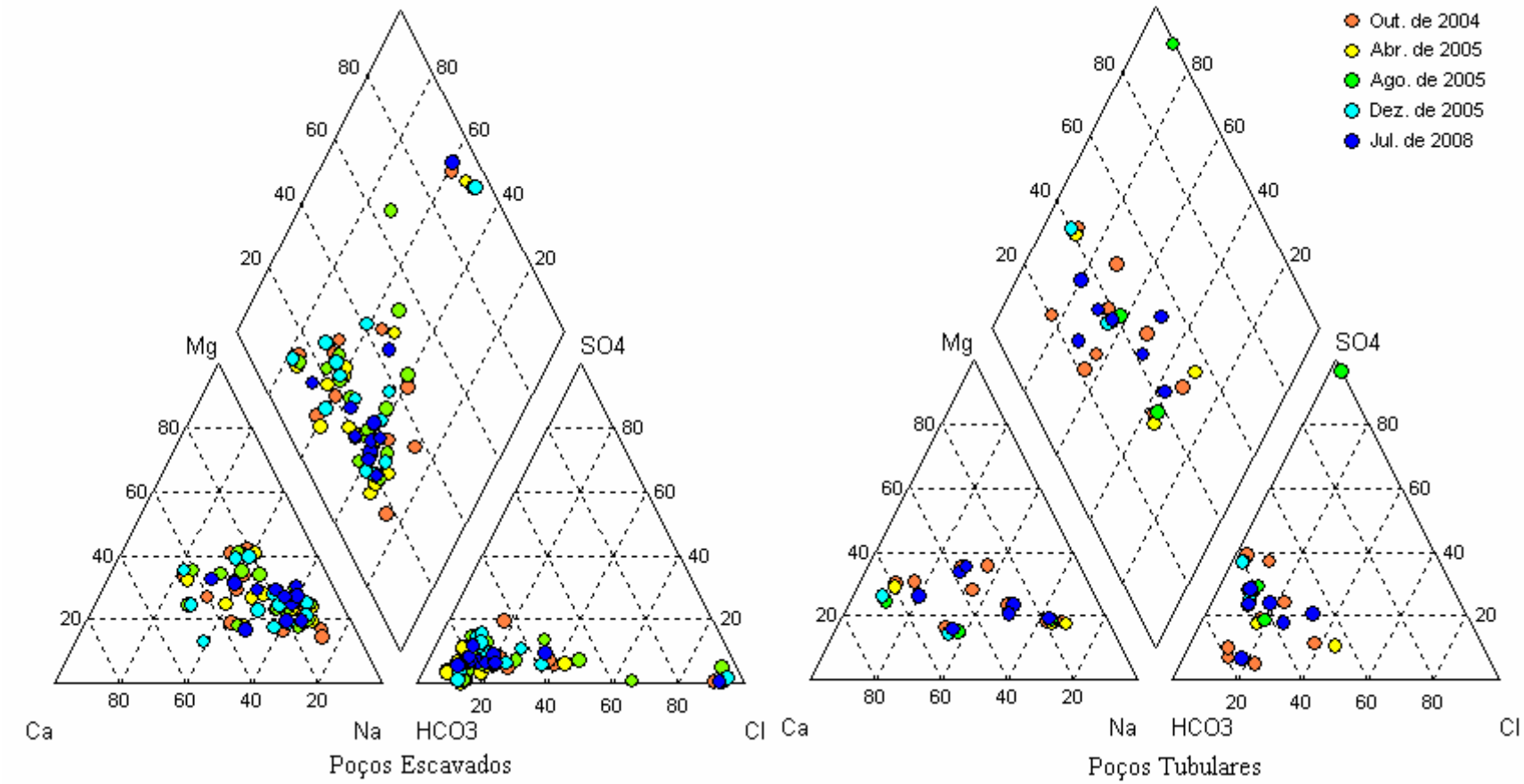


Figura 6.2: Diagrama de Piper ilustrando as composições químicas entre as águas subterrâneas provenientes dos poços escavados e dos poços tubulares da BHRSD.

Observou-se que as águas do aquífero profundo, de maneira geral, são mais "duras" que as do aquífero raso, apresentando, portanto, teores mais elevados de Ca^{+2} e Mg^{+2}. Este fato é possivelmente resultado do maior tempo residência das águas com os materiais mais básicos (anfibolitos, ígneas com caráter intermediário, por exemplo) presentes na BHRSD.

Os litotipos que ocorrem nas microbacias Santa Maria e Barro Branco não diferem muito em relação à sua composição, o que faz com que não haja muita diferença nos tipos hidrogeoquímicos. As diferenças observadas se devem também a outros fatores como variação na espessura e tipo de solos, profundidade do nível freático, drenagem, dentre outros.

Ao analisar os resultados observa-se (Anexos 5 e 11) que, em relação aos íons maiores, as amostras sofreram poucas variações por conta da sazonalidade. Entretanto, nota-se que as águas estão, de forma geral, pouco menos mineralizadas na época úmida indicando que a recarga não deve estar acontecendo de forma lenta, pois observa-se o efeito de diluição após o início das chuvas. Este resultado é esperado, pois a região é de cristalino fraturado.

6.1.4 Adequação das Águas quanto aos Limites Estabelecidos pela Legislação (CONAMA 396/08)

6.1.4.1 Campanha de Caracterização

Quanto à qualidade da água analisada na BHRSD, 14 dos 49 parâmetros mensurados apresentaram-se em inconformidade com as legislações de referência, ao menos em uma das 47 amostras analisadas, na primeira campanha de campo. Optou-se, por esse motivo, apresentar somente os resultados desses 14 parâmetros na Tabela 6.3, onde constam o número de pontos de amostragem da água e o percentual dos que apresentaram parâmetros em inconformidade com a resolução CONAMA 396/08.

As águas da BHRSD, de acordo com os resultados da fase de caracterização, apresentam certo grau de comprometimento em relação a sua qualidade, já que diversas amostras apresentaram inconformidade em relação aos limites estabelecidos pela legislação brasileira para as águas subterrâneas. As causas podem ser tanto naturais como antrópicas. Os parâmetros STD, Al, Mn e Fe podem estar relacionados à geologia da área; já os valores dos parâmetros nitrato e coliformes termotolerantes, aparentemente são reflexos do uso e da ocupação do solo na BHRSD, dos intensos processos de eutrofização que as águas da bacia

vêm sofrendo, não só com lançamentos dos resíduos agrícolas, mas também com esgotos e resíduos provenientes da criação de animais. Os valores altos de boro e manganês estão provavelmente relacionados com as atividades agrícolas, uma vez que compõem fertilizantes e fungicidas, respectivamente, utilizados na cultura do tomate, predominante na bacia. O boro em particular apresentou valores acima do VMP em 100% das amostras dos poços profundos. A presença de rochas com minerais contendo boro, como a afrisita é uma outra provável fonte. Deve-se observar que o VMP da legislação brasileira é consideravelmente mais restritivo que o da União Européia (1,0 mg/L) e o valor recomendado pela USEPA (0,9 mg/L).

Tabela 6.3: Número de pontos analisados e percentual dos que apresentaram parâmetros em inconformidade com a resolução CONAMA 396/08.

Parâmetros	Limites CONAMA 396/08*	Águas de circulação rasa	%	Águas de circulação profunda	%
Coliformes Termotolerantes	Ausência em 100ml	26	83,9	10	80
pH	6,0, a 9,0**	37	24,3	10	0
Sólidos Totais Dissolvidos	1000mg/L	34	5,9	10	30
Alumínio	0,20mg/L	37	13,5	10	0
Arsênio	0,01mg/L	37	5,4	10	10
Bário	0,70mg/L	37	2,7	10	0
Boro	0,50mg/L	37	35,1	10	100
Ferro	0,30mg/L	37	5,4	10	30
Chumbo	0,01mg/L	37	5,4	10	0
Fluoreto	1,50mg/L	37	2,7	10	0
Manganês	0,10mg/L	37	13,5	10	50
Nitrato	10,00mg/L	37	24,3	10	0
Nitrito	1,00mg/L	37	2,7	10	0
Sulfato	250mg/L	37	0	10	10

** Limites para consumo humano. ** Classe 2 do CONAMA 357/05. Em realce os parâmetros que apresentaram pontos em inconformidade com maior freqüência.*

As Figuras 6.3 e 6.4 apresentam a BHRSD com parâmetros que apresentaram teores fora do permitido pelas legislações de referência juntamente com a localização das culturas Abreu & Fidalgo (2006). Cada ponto amostrado aponta também a localização das culturas agrícolas da bacia. Em toda a extensão da BHRSD, nos pontos analisados, algum parâmetro apresentou inconformidade e o mapa de distribuição em superfície (Figuras 6.3 e 6.4) mostra quais são os pontos mais críticos. Nas águas de circulação rasa (Figura 6.3) as áreas de ao menos 4 pontos em inconformidade coincidem com os adensamentos urbanos e as de 7 pontos são as que possuem pontos de coleta próximos a lançamentos de esgoto. As áreas que apresentaram ao menos 3 parâmetros em inconformidade com a legislação são coincidentes

com as áreas utilizadas para plantações, mostrando assim, a influência das práticas agrícolas na contaminação dos recursos hídricos. As áreas mais claras nos mapas são as que apenas 1 parâmetro não atendeu a os limites propostos pelas resoluções de referência, e estes coincidem com áreas mais preservadas da BHRSD.

As águas do aquífero profundo estão menos contaminadas que as do aquífero raso, sendo que a parte sul da BHRSD apresentou mais parâmetros em inconformidade do que a parte norte. De maneira geral, pode-se dizer que as áreas (ao norte) com menor número de parâmetros em inconformidade coincidem com mantos de alteração mais espessos, conforme exposto em Lima (2009). O manto estaria servindo como uma proteção ao aquífero profundo. Diferentemente dos poços rasos, que estão localizados em toda a extensão da BHRSD, os poços profundos (tubulares) concentram-se mais na região central da bacia (área urbanizada), por isso os valores de interpolação para áreas afastadas devem ser considerados apenas como um indicativo.

De forma geral, cinco áreas críticas foram reconhecidas após análise da coleta de caracterização (que abrangeu toda a BHRSD): a Sede do município de São José de Ubá, as sub-bacias Santa Maria e Barro Branco e as localidades de Cruz da Moça e Jenipapo. Apesar da Sede do município ser a área em que as águas do aquífero estão mais contaminadas, por conta do lançamento dos esgotos e resíduos, ela não foi selecionada para o monitoramento.

Na Sede do município a comunidade residente não utiliza água subterrânea para consumo humano e por isso essa área é considerada menos crítica que as demais. Santa Maria e Barro Branco foram as áreas monitoradas, principalmente por já serem objeto de outros estudos na bacia e pelo fato do número de pessoas que utilizam o recurso hídrico subterrâneo, para consumo humano, ser maior que em Cruz da Moça e Jenipapo.

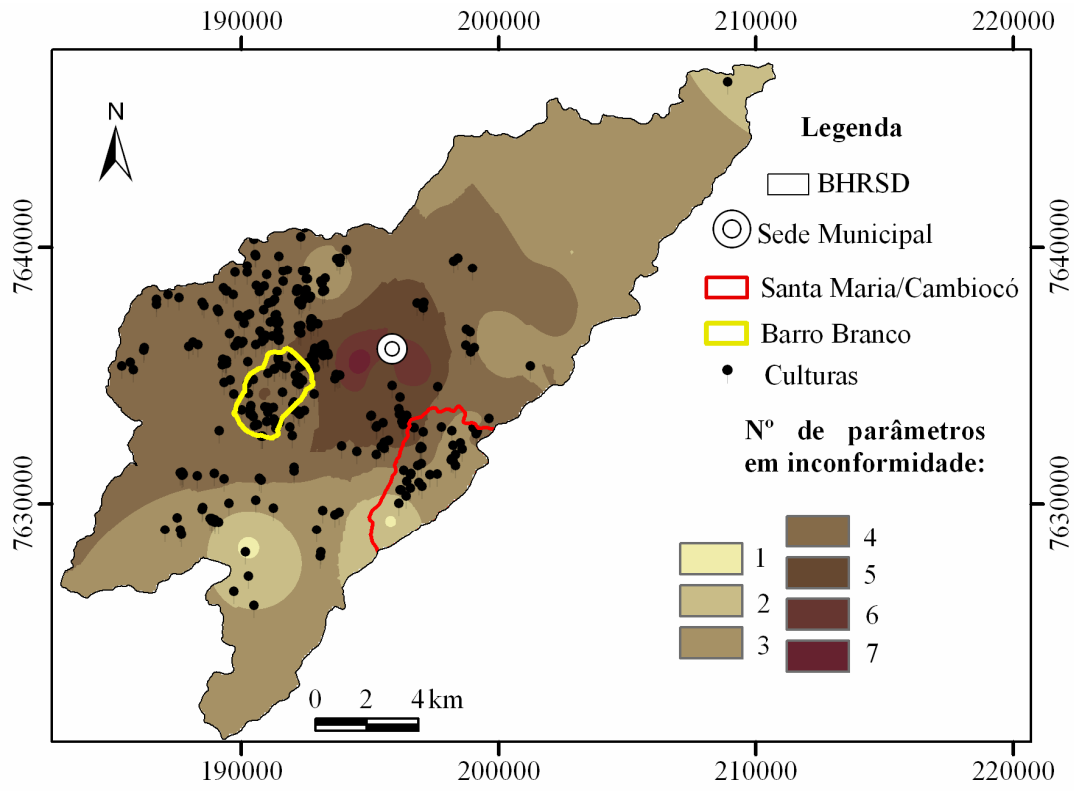


Figura 6.3: Mapa ilustrando a distribuição espacial dos parâmetros em inconformidade na água dos poços rasos e a localização das culturas mapeadas por Abreu & Fidalgo (2006).

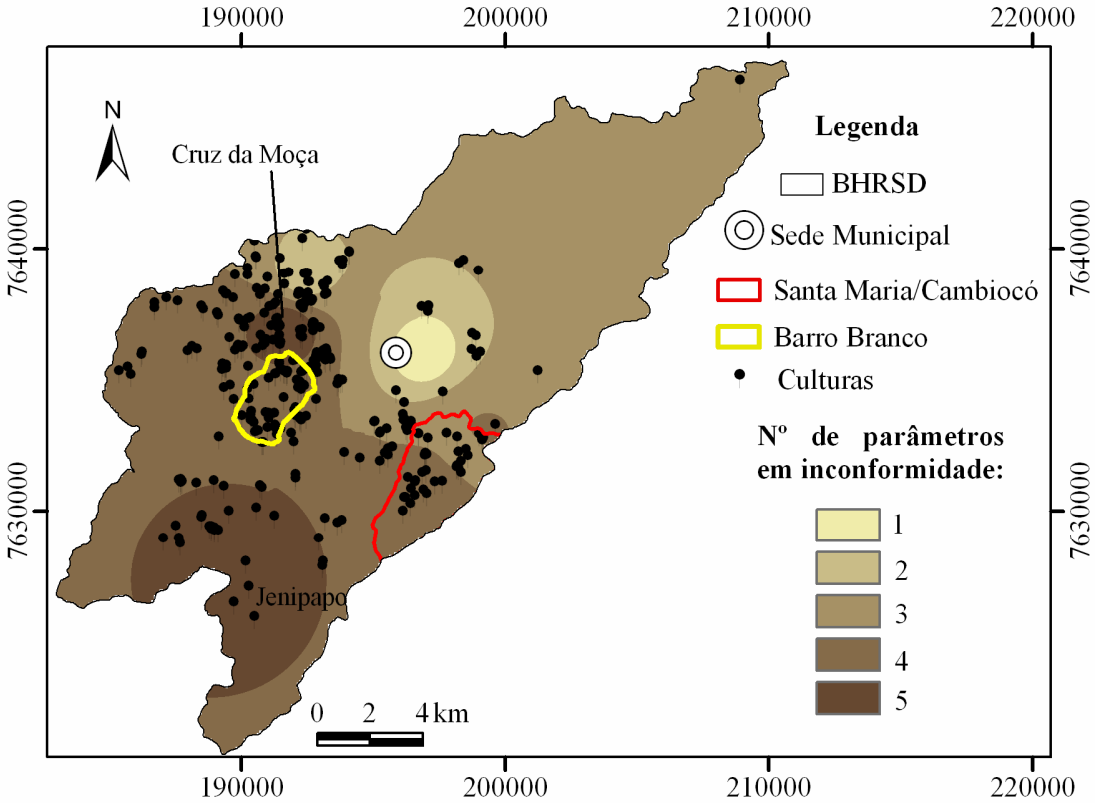


Figura 6.4: Mapa ilustrando a distribuição espacial de parâmetros em inconformidade na água dos poços tubulares e a localização das culturas mapeadas por Abreu & Fidalgo (2006).

6.1.4.2 Campanhas de Monitoramento

Ao longo do monitoramento foram analisados 49 parâmetros (além dos pesticidas) e desses 18 apresentaram-se em inconformidade com as legislações de referência ao menos em uma amostra. As Tabelas 6.4 e 6.5 apresentam, por tipo de captação, os parâmetros que não atenderam aos valores de referência no CONAMA 396/08 (Consumo Humano para as águas subterrâneas) e o percentual dos pontos que estão em inconformidade. As informações da coleta de 2004, contidas nas Tabelas 6.4 e 6.5, são referentes aos pontos que foram monitorados nos meses subsequentes, estas foram incluídas para facilitar a visualização da evolução dos resultados dos parâmetros analisados.

O parâmetro **Coliformes Termotolerantes** ultrapassou o limite do CONAMA 396/08 (Consumo Humano) em 53% dos poços tubulares e 86% dos poços escavados. A ocorrência dos coliformes em águas profundas justifica-se pelo fato de que, em alguns poços tubulares, não foi possível esgotar o poço para amostrar a água, ou seja, a contaminação deve estar ocorrendo nas próprias tubulações. Muitas vezes os poços escavados não foram vedados adequadamente e encontram-se próximos de fossas sépticas, e ainda podem estar recebendo poluição advinda da infiltração da água em áreas onde se tem rebanho bovino.

Algumas amostras de águas de circulação rasa (36%) e profunda (15%) apresentaram **pH** em inconformidade com a legislação de referência (CONAMA 357/05 – Classe 1). A média do pH das amostras foi de 6,45, valor mínimo de 4,89 e valor máximo de 8,60. As amostras que estão em inconformidade apresentaram o pH abaixo do limite permitido.

Os valores mais elevados de **Sólidos Totais Dissolvidos** (STD) foram encontrados nas águas profundas, esse incremento de salinidade deve provavelmente ocorrer pelo tempo de contato da água com os substratos geológicos. Entretanto, somente 9% das amostras dos poços tubulares apresentaram STD acima de 1000 mg/L. Nas amostras dos poços rasos (escavados) esse percentual é menor ainda, em torno de 1%.

A **Turbidez** foi mensurada somente em três campanhas (agosto e dezembro de2005 e julho de 2008). Nas águas subterrâneas de circulação profunda 46% das amostras excederam o VMP e nas de circulação rasa, 23% não atenderam aos valores de referência.

Tabela 6.4: Número de poços rasos (escavados) analisados e percentual dos que apresentaram parâmetros em inconformidade com a Resolução CONAMA 396/08.

Parâmetros	Limites CONAMA 396/08 Consumo Humano	Out. de 2004		Abr. de 2005		Ago. de 2005		Dez. de 2005		Out. de 2007		Jul. de 2008		Todas as coletas	
		Poços analisados	%	Poços analisados	%	Poços analisados	%	Poços analisados	%	Poços analisados	%	Poços analisados	%	Poços analisados	%
Coliformes Termotolerantes	ausentes em 100 ml	13	92	15	100	17	94	16	88	11	64	9	67	81	**86**
pH *in situ*	6,0 a 9,0*	13	23	15	47	17	35	16	25	0		11	55	72	**36**
Sólidos Totais Dissolvidos	1000	12	0	15	0	17	0	16	6	11	0	11	0	82	**1**
Turbidez	5 UT**	0		0		17	18	15	33	0		11	18	43	**23**
Cloreto	250	13	0	15	7	17	6	16	6	11	9	11	9	83	**6**
Fluoreto	1,5	13	8	15	7	17	6	16	0	11	9	11	18	83	**7**
Nitrato	10	13	23	15	13	17	18	16	6	11	36	11	27	83	**19**
Nitrito	1	13	8	15	13	17	0	16	0	11	0	11	0	83	**4**
Alumínio	0,2	13	8	15	0	17	0	16	13	11	9	11	0	83	**5**
Ferro	0,3	13	8	15	13	17	0	16	0	11	0	11	0	83	**4**
Manganês	0,1	13	15	15	33	17	24	16	38	11	36	12	17	84	**27**
Arsênio	0,01	13	0	15	20	17	0	16	6	0		11	0	72	**6**
Boro	0,5	13	23	15	0	17	0	16	0	0		11	0	72	**4**
Bário	0,7	13	8	0		17	6	16	6	0		11	9	57	**7**
Níquel	0,02	13	0	15	0	17	0	16	6	11	0	11	0	83	**1**
Chumbo	0,01	13	0	15	0	17	0	16	0	11	9	11	9	83	**2**
Selênio	0,01	13	0	15	0	17	0	16	0	0		11	100	72	**15**

**Não existe referência no CONAMA de Águas Subterrâneas, limite utilizado foi retirado do CONAMA 357/05 Classe 1. ** Portaria 518/04 do Ministério da Saúde.*

Tabela 6.5: Número de poços profundos (tubulares) analisados e percentual dos que apresentaram parâmetros em inconformidade com a Resolução CONAMA 396/08.

Parâmetros	**Limites CONAMA 396/08 Consumo Humano**	**Out. de 2004**		**Abr. de 2005**		**Ago. de 2005**		**Dez. de 2005**		**Out. de 2007**		**Jul. de 2008**		**Todas as coletas**	
		Poços analisados	**%**	**Poços analisados**	**%**	**Poços analisados**	**%**	**Poços analisados**	**%**	**Poços analisados**	**%**	**Poços analisados**	**%**	**Poços analisados**	**%**
Coliformes Termotolerantes	ausentes em 100 ml	9	78	4	75	3	67	2	50	8	38	8	25	34	**53**
pH *in situ*	6,0 a 9,0*	9	0	4	50	3	33	2	50	0		8	0	26	**15**
Sólidos Totais Dissolvidos	1000	7	14	4	0	3	0	2	50	8	13	8	0	32	**9**
Turbidez	5 UT**	0		0		3	33	2	100	0		8	38	13	**46**
Sulfato	250	9	11	4	25	3	33	2	50	8	0	7	0	33	**12**
Alumínio	0,2	9	0	4	0	3	0	2	0	8	0	7	14	33	**3**
Ferro	0,3	9	33	4	75	3	67	2	50	8	63	7	57	33	**55**
Manganês	0,1	9	67	4	75	3	100	2	100	8	88	7	71	33	**79**
Arsênio	0,01	9	0	4	25	3	0	2	50	0		7	0	25	**8**
Boro	0,5	9	100	4	0	3	0	2	0	0		7	0	25	**36**
Chumbo	0,01	9	0	4	0	3	0	2	0	8	0	7	14	33	**3**
Selênio	0,01	9		4	0	3		2		0		7	100	25	**28**

**Não existe referência no CONAMA de Águas Subterrâneas, limite utilizado foi retirado do CONAMA 357/05 Classe 1. ** Portaria 518/04 do Ministério da Saúde.*

A amostra 12P (aquífero profundo) foi a única em inconformidade ao longo do monitoramento para o parâmetro **Sulfato**. Este poço, situado em Barro Branco, apresenta média de CE de 1.847 µS/cm e não foi analisado nas duas últimas coletas (outubro de 2007 e julho de 2008) porque foi desativado por fornecer água muito dura. Durante um período, este poço contou com um sistema de abrandamento da dureza, aparentemente pouco efetivo. Tal salinidade pode ser justificada pela percolação de água subterrânea em níveis mais profundos, ocasionando um maior contato com os materiais geológicos presentes, levando ao incremento significativo do conteúdo salino. Essa explicação, contudo, parece insuficiente para justificar valores tão altos como o do poço 12P, levando à suspeita de alguma litologia particularmente suscetível à dissolução, como materiais carbonáticos metamórficos ou, ainda, processos de evaporação em sistema fratura-solo, comuns em ambientes mais áridos (Menezes *et al.*, 2007).

Em relação ao **Cloreto** as águas dos poços tubulares não ultrapassaram o VMP. Uma única amostra nas águas rasas (20R), esteve em inconformidade (de abril de 2005 a julho de 2008). Este poço raso (escavado) está localizado na sub-bacia Barro Branco a jusante do lançamento dos resíduos retirados da operação de redução de dureza realizada nas águas oriundas do poço profundo 12P. Portanto, o poço 20R recebe todo o sal retirado das águas do 12P e, por conseguinte, deve estar sendo contaminado.

Somente duas amostras do aquífero raso (12R e 13R), localizadas em Santa Maria, ultrapassaram o VMP para o **Fluoreto** ao longo do monitoramento. No entanto, a média para esse aquífero foi de 0,58 mg/L (Anexo 11), abaixo do limite de 1,5 mg/L estabelecido para Consumo Humano (CONAMA 396/08).

Um outro parâmetro que apresentou parte dos valores em inconformidade foi o **Nitrato**, cerca de 20% nas águas de circulação rasa. De acordo com Mueller & Helsel (2001) e Singh *et al.* (2005), o nitrato na água subterrânea acima de cerca de 2 a 5 mg/L indica a ocorrência de alguma fonte antrópica, podendo esta estar relacionada às fontes pontuais (esgotos) ou difusas (resíduos da agricultura). O **Nitrito**, indicativo de contaminação recente, também só ultrapassou o VMP nas águas do aquífero raso, com 4% das amostras.

Quanto ao **Alumínio**, a maior parte das amostras apresentou concentração abaixo de 0,1 mg/L. A ocorrência de alumínio pode estar relacionada à presença de minerais alumino-silicatados que estão presentes na BHRSD. O fato do alumínio não ultrapassar os limites nas

águas profundas se deve à facilidade com que é retido pelos processos físico-químicos que ocorrem na zona vadosa.

O VMP para o **Ferro** é de 0,3 mg/L e, 55% das amostras dos poços tubulares, ultrapassaram o valor de referência e no caso das amostras dos poços escavados apenas 4%. Na BHRSD, por exemplo, encontram-se minerais ferromagnesianos (piroxênios, hornblendas). Entretanto, o ferro também pode estar relacionado à ocorrência de ferrobactérias ou mesmo à corrosão do revestimento ou filtro do poço (Santos, 2000). Esta última opção parece ser a mais coerente frente às informações obtidas com a própria população sobre a construção e conservação dos poços.

Em relação ao **Manganês**, excederam o VMP 79% das amostras das águas profundas e 27% das águas do aquífero raso. Minerais existentes na área (granada, biotita e hornblenda, servem como exemplo) podem até contribuir para os teores de manganês nas águas profundas, entretanto, o manganês pode ser encontrado em resíduos fungicidas utilizados na BHRSD, como exemplos, podem ser citados o Curzate-M + Zinco, Mancozeb e o Manzate 800 utilizados na cultura do tomate. É possível, portanto, que as águas estejam sendo contaminadas pelas atividades agrícolas desenvolvidas na BHRSD.

O **Arsênio** foi encontrado acima do VMP em 8% das amostras dos poços tubulares e em 6% das amostras dos poços rasos. A maioria das amostras em inconformidade está localizada em Barro Branco, área de forte atividade agrícola. Não se conseguiu estabelecer, contudo, um vínculo entre essa atividade e a presença de arsênio.

O **Boro** foi o parâmetro que mais apresentou inconformidade com o valor de referência, na coleta de caracterização (outubro de 2004), visto que 100% dos poços tubulares amostrados foram superiores ao limite estabelecido. Não se estabeleceu uma relação com alguma unidade litológica em particular, mas esse elemento pode ocorrer em alguns minerais presentes na área, como, turmalina, biotita e anfibólios (Mansur, *et al.*, 2006). Contudo, a presença do boro nesses minerais não justificaria valores tão altos, sendo possível o incremento de boro nas águas a partir das atividades antrópicas, contudo, o mesmo resultado não se repetiu nas demais coletas, quando nenhuma amostra ultrapassou o VMP. Tal fato aponta para um possível erro analítico na primeira coleta.

Tanto o **Bário** quanto o **Níquel** não atenderam aos respectivos VMP's somente na amostra 20R. O bário foi encontrado nas 4 coletas deste poço escavado e o níquel somente

uma vez. O poço 20R, conforme explicado anteriormente, é o localizado a jusante do lançamento dos resíduos retirados da operação de redução de dureza do 12P (denominada estação de tratamento de água).

O **Chumbo** foi encontrado uma vez no poço profundo 2P (Jenipapo) e duas vezes no poço raso 17R, que pertence à Escola Municipal de Barro Branco, onde crianças do Ensino Fundamental, professores e funcionários consomem a água do aquífero raso.

Na última coleta (julho de 2008) nenhuma amostra atendeu aos valores de referência em relação ao **Selênio**, todavia, nas coletas anteriores o selênio não foi detectado. Como o selênio é raro na natureza e sua concentração nas águas subterrâneas varia em torno de 1 μg/L (Santos, 2000) o resultado da coleta de julho pode estar comprometido por algum erro analítico, mas não se descarta alguma anomalia geoquímica.

A Figura 6.5 apresenta os pontos de coleta e o número total de parâmetros em inconformidade, que cada ponto apresentou no mês monitorado. Com isso, foi possível verificar os pontos de amostragem mais críticos.

A localidade de Barro Branco apresentou pontos de coleta com águas subterrâneas pouco mais mineralizadas e com maior inconformidade de teores dos parâmetros analisados, perante os limites da legislação se comparado com Santa Maria. Alguns desses parâmetros, como foi o caso do cloreto e do sulfato, só não atenderam o limite da legislação em pontos localizados em Barro Branco.

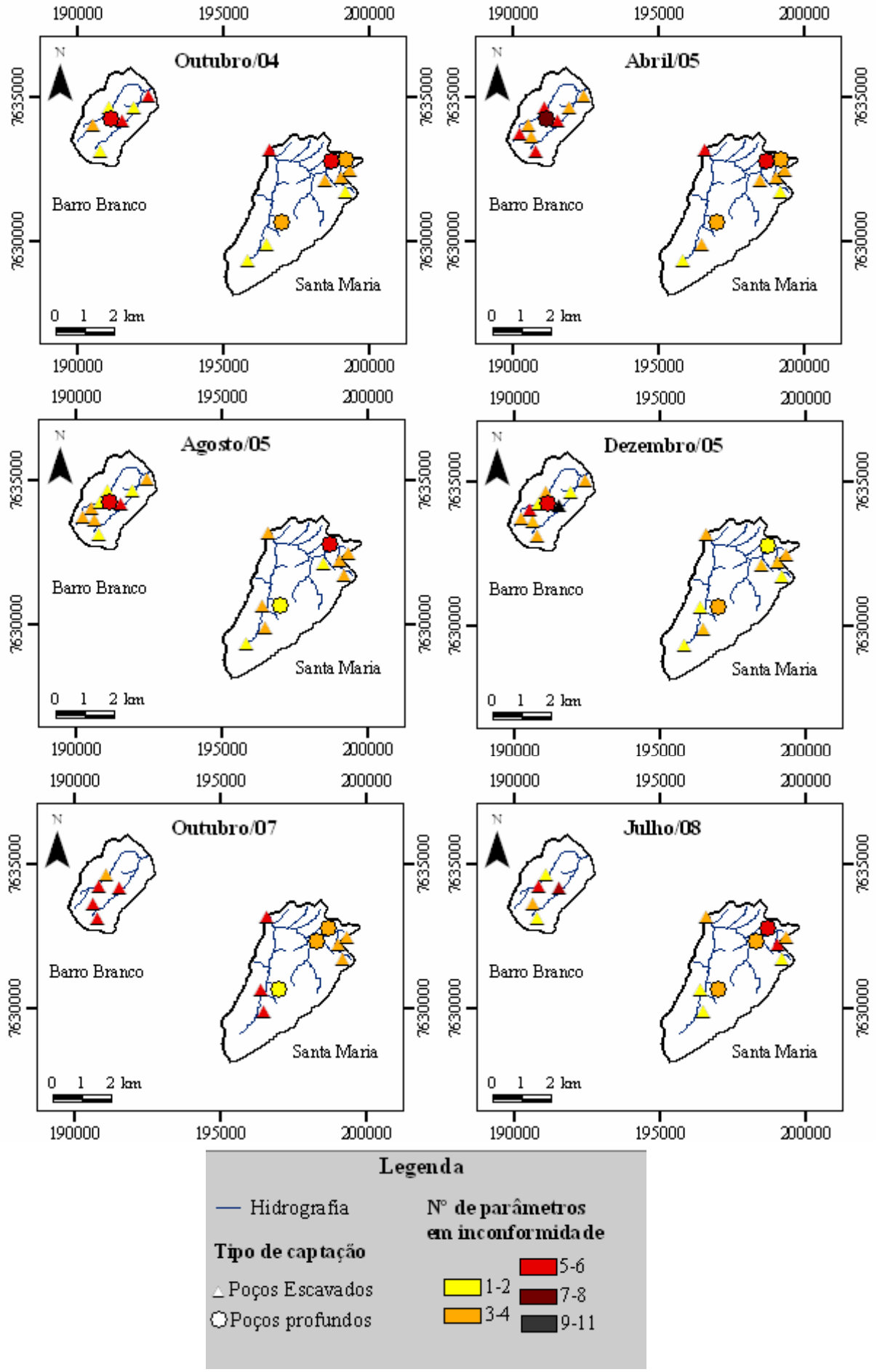


Figura 6.5: Distribuição espacial do número dos parâmetros em inconformidade por ponto de amostragem para as campanhas realizadas.

Há uma pequena variação sazonal nas áreas estudadas, todavia, a diferença de um mês para outro não é muito significativa, mantendo em média 1 ou 2 parâmetros de diferença, para mais ou para menos. Ainda assim, observa-se que em dezembro de 2005 e outubro de 2007, períodos mais chuvosos, as amostras apresentam mais parâmetros em inconformidade, uma vez que a precipitação deve ter desencadeado o processo de transporte dos poluentes encontrados nas amostras. Em agosto de 2005 e julho de 2008, períodos mais secos, mais parâmetros se enquadraram dentro dos valores dos padrões de potabilidade.

As resoluções CONAMA 357/05 e 396/08 estabelecem valores máximos permitidos distintos para os diversos **agrotóxicos**. Em alguns casos, o limite para consumo humano (CONAMA 396/08) é menos restritivo que para água utilizada para irrigar hortaliças consumidas cruas (CONAMA 357/05 – Classe 2).

Os **organoclorados** são compostos de alta persistência e toxicidade (Arruda & Jardim, 2007) e encontram-se presentes em quase todo ambiente, retidos em plantas e em tecidos animais. As restrições à sua utilização originam-se da grande capacidade residual dos mesmos e da possível ação carcinogênica.

Os organoclorados foram analisados em outubro de 2004, quando foram encontrados: Aldrin, Lindano, Metolocloro, α-Endossulfan e β-Endossulfan; em abril de 2005 quando foram identificados Lindano e α-Endossulfan e em agosto de 2005, quando nenhum analito foi identificado. Os resultados para estes parâmetros referentes a 2007 e 2008 não foram obtidos por problemas técnicos laboratotriais. Os organoclorados foram encontrados em todos os 7 pontos amostrados em outubro de 2004 (7N, 14R, 53R, 4P, 7P, 8P, 12P); nos 4 pontos analisados em abril de 2005 (53R, 4P, 8P, 12P) e em nenhum dos 4 pontos amostrados em agosto de 2005.

Quanto aos agrotóxicos **Organofosforados** analisados, somente o Malation e o Clorpirofós são mencionados pela Resolução 396/08 e apenas o Malation é citado na Resolução 357/05. Os organofosforados foram analisados em outubro de 2004 (12 pontos), quando foram identificados nas águas da BHRSD: Clorpirifós, Diazinon, Diclorvós, Fenitrotion, Fentoato, Malation, Metilparation; em agosto de 2005 (8 pontos), quando foi encontrado o Fenitrotion e outubro de 2007 (23 pontos), quando foram identificados o Clorpirifós e o Fentoato. Todos os pontos foram amostrados em duplicata e em nenhuma das amostras avaliadas os limites definidos pelas resoluções foram excedidos. Os resultados para

estes parâmetros referentes a 2007 e 2008 não foram obtidos por problemas técnicos laboratoriais Ao longo do monitoramento, os organofosforados foram encontrados em 8 pontos, sendo 4 do aquífero raso (25N, 19R, 20R, 53R) e 4 do aquífero profundo (2P, 17P, 19P, 21P). Percebeu-se que a maior parte das amostras que acusaram organofosforados foi coletada em período chuvoso, aumentando, portanto, a possibilidade de solubilização dos pesticidas pela chuva. Embora menos persistentes que os organoclorados, os organofosforados também possuem toxicidade elevada.

É sabido que muitos destes componentes químicos estão presentes nos pesticidas utilizados na cultura do tomate, predominante na região. Esta cultura tem um ciclo de aproximadamente 100 dias, iniciando a partir de março e os frutos colhidos até o final de setembro, quando se iniciam as chuvas. Este fato pode explicar a presença de um número maior de compostos no início das chuvas (outubro de 2004), quando o solo é lavado pelas chuvas e os compostos transportados até os corpos hídricos, em relação ao período seco (coletas de abril e agosto de 2005).

6.1.4.2.1 Dureza

Em relação à dureza das águas, verificou-se que as águas mais duras são as de origem profunda, mostrando maior predominância dos íons Ca^{+2} e Mg^{+2} (Tabela 6.5). Apesar da prefeitura de São José de Ubá ter instalado em alguns poços profundos sistemas de abrandamento da dureza, estes parecem ser pouco efetivos, já que os usuários dos poços profundos entrevistados reclamaram da dureza das águas subterrâneas.

Tabela 6.5: Classificação das águas da BHRSD segundo a dureza em mg/L de $CaCO_3$.

Poços Tubulares (%)							
Tipos de Dureza	**Teor de $CaCO_3$ (mg/L)**	**Out/04**	**Abr/05**	**Ago/05**	**Dez/05**	**Out/07**	**Jul/08**
Branda	0 – 50	0	0	25	50	0	0
Pouco Dura	51 -100	33	50	25	0	13	14
Dura	101 - 200	33	0	0	0	63	57
Muito Dura	> 200	33	50	50	50	25	29
Poços Escavados (%)							
Tipos de Dureza	**Teor de $CaCO_3$ (mg/L)**	**Out/04**	**Abr/05**	**Ago/05**	**Dez/05**	**Out/07**	**Jul/08**
Branda	0 – 50	23	23	8	8	18	20
Pouco Dura	51 -100	62	62	69	54	64	50
Dura	101 - 200	8	0	8	15	9	10
Muito Dura	> 200	8	15	15	23	9	20

6.1.5 Percepção dos *Stakeholders*

Uma das perguntas direcionadas aos *stakeholders*, na aplicação dos questionários, referia-se a qualidade da água consumida por eles. Foi indagado à população usuária: "Você considera a água que utiliza para beber e para os afazeres domésticos de boa ou de má qualidade?" explicando-se que água de boa qualidade seria aquela adequada ao consumo humano, que não tem restrições e de má qualidade o oposto. Verificou-se que a maior parte da população usuária opina que a água não está oferecendo riscos e que, portanto, apresenta boa qualidade (Figura 6.6). Porém, existe uma discrepância entre as respostas obtidas dos *stakeholders* com os resultados obtidos pelas análises laboratoriais, como é possível observar nas Figuras 6.3 e 6.4. Entretanto, vale ressaltar que a pergunta referia-se a qualidade da água do poço (seja raso ou profundo) que o entrevistado utilizava para suas necessidades. Este fato merece destaque porque alguns poços tubulares já haviam sido abandonados na época, pela péssima qualidade de suas águas, os principais problemas relacionavam-se a excessiva dureza e altos teores de ferro (Menezes *et al.*, 2007).

Outra resposta a se destacar é que cerca de 60% dos entrevistados não fervem ou filtram a água que consomem. As áreas em vermelho, na Figura 6.6, correspondem principalmente às reclamações de água "pesada" e "salgada", tanto para poços escavados quanto para tubulares. Mas também existem queixas de poços escavados mal lacrados que recebem toda a água de escoamento, ficando "suja".

Com os dados obtidos até o momento não é possível afirmar quais são os problemas de saúde que a contaminação das águas tem trazido diretamente para a população. Informações relacionadas a internações hospitalares no ano de 2007 no município, segundo dados do Ministério da Saúde (2008), apontam o elevado índice de internações por neoplasia (câncer), cerca de 18,5%. Esse número é alto se comparado, por exemplo, com os 5,9% do município de Natividade, que apresenta as mesmas características demográficas de São José de Ubá e também integra a Região Noroeste. Esses 18,5% de internações por neoplasia continuam elevados se comparados até mesmo com o município do Rio de Janeiro, que é altamente urbanizado, onde somente 9% das internações ocorrem por neoplasia.

Há, portanto, a possibilidade da exposição da população a elementos tóxicos ligados a agricultura, ser uma das causas, ou até mesmo a principal causa, dos elevados números de

tumores na população. Não foram avaliados outros possíveis fatores para explicar tais resultados quanto à saúde populacional, mas os resultados são sugestivos.

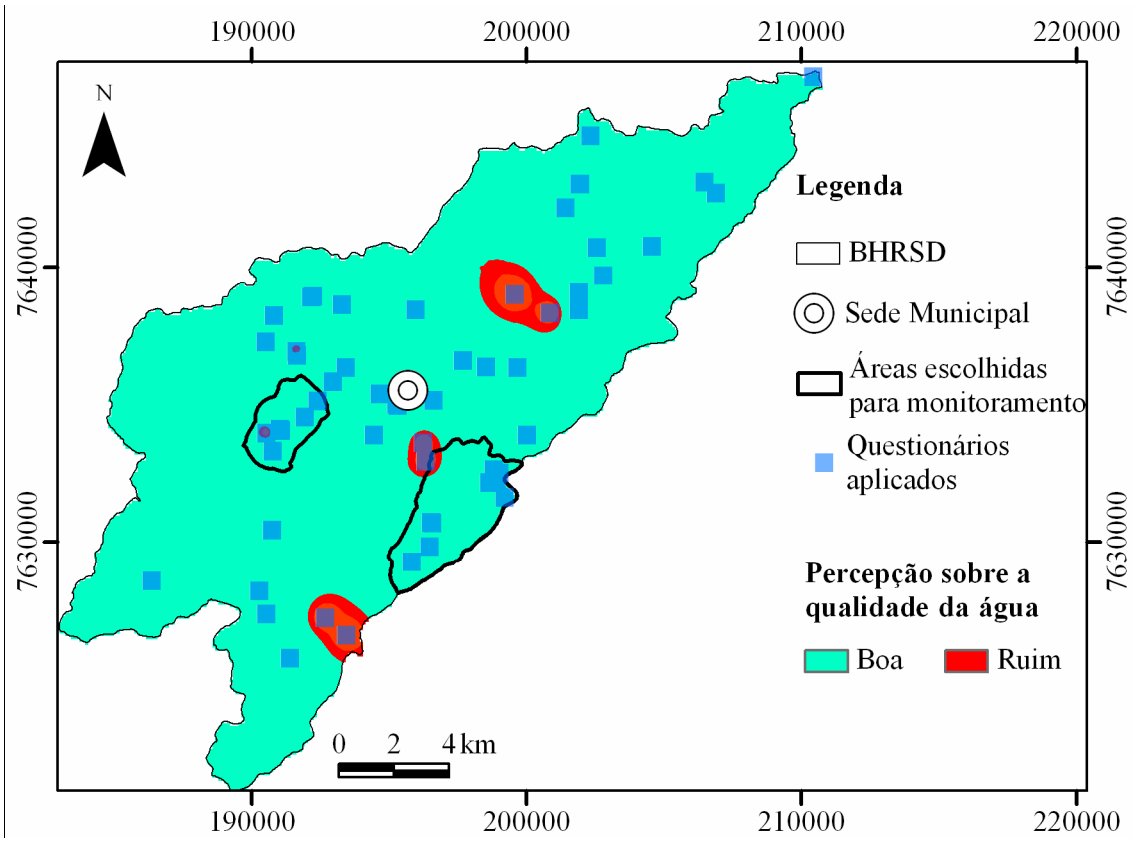


Figura 6.6: Mapa de superfície sobre a percepção dos stakeholders em relação a qualidade das águas subterrâneas da BHRSD.

6.1.6 Comunicação com os *Stakeholders*

Os resultados das análises realizadas nas seis campanhas de coleta de água foram entregues a prefeitura de São José de Ubá e a comunicação com os *stakeholders*, que também incluiu o repasse dos resultados das análises das águas, se deu na medida em que essas áreas eram revisitadas para o monitoramento. O diálogo com os *stakeholders* serviu não só para apreender as especificidades locais como também para que fossem repassadas orientações de como e porque as águas devem ser tratadas antes do consumo humano e noções de preservação dos recursos hídricos. Contudo, os resultados desta pesquisa apontam para a necessidade de medidas que assegurem melhor qualidade da água de abastecimento para a população da Bacia Hidrográfica do Rio São Domingos, por meio de políticas públicas de manejo adequado das terras e tratamento adequado da água.

6.2 Qualidade das Águas pela Aplicação de IQAs

6.2.1 Comparação entre os Resultados da Aplicação de Índices de Qualidade de Água Preexistentes e o $IQAS_{CH}$

Aquífero Raso

Nos gráficos setoriais da Figura 6.7 é possível observar o percentual de cada classe dos índices aplicados em relação aos resultados da campanha de outubro de 2004 para os poços rasos de toda a BHRSD. O percentual do número de parâmetros em inconformidade também foi acrescentado à figura para que a comparação com os resultados da BHRSD fosse facilitada. Deve-se ressaltar que o número de parâmetros em inconformidade é o retratado no item 6.1.4.1, ou seja, não se refere somente aos parâmetros escolhidos para compor o $IQAS_{CH}$. Isso foi feito pelo fato de o objetivo ser de o de fazer uma comparação dos índices entre si, além da verificação de qual deles se aproxima mais da realidade da área-piloto.

Nota-se então que, as classificações dos índices aplicados foram divergentes e alguns aspectos podem ser observados, como:

a) O IQA_C classificou cerca de 60% das amostras como *Ótima* ou *Boa*, mesmo que cerca 60% delas tenham apresentado 1, 2 ou 3 parâmetros em inconformidade;

b) De acordo com os resultados do índice *SEQ Eaux Souterraines*, todas as amostras foram enquadradas na classe *Não Potável* e

c) Percebe-se nas duas opções do $IQAS_{CH}$ (1ª abordagem, classes de 0 a 100; 2ª abordagem, classes de -100 a 100) que nenhuma amostra foi classificada como *Ótima*, e que apenas uma pequena parcela de 3% foi classificada como *Boa*. Na segunda forma de agregação, a classe *Imprópria* possui uma gradação de cores na escala de tons de cinza, o mesmo não acontece com a primeira forma de agregação, onde a classe *Imprópria* possui uma única cor, o vermelho. Uma parcela significativa de amostras classificadas como *Precisa de Tratamento I* na primeira abordagem, foi considerada como *Precisa de Tratamento II* na segunda abordagem, isso porque a segunda abordagem possui uma forma de agregação menos progressiva ou gradual.

Na Figura 6.8 pode-se observar, além da predominância da classe *Boa* no $IQA_{C,}$ a única classificação no *SEQ*. Por outro lado, esta figura mostra que os resultados da aplicação do

índice elaborado ($IQAS_{CH}$), sob as duas abordagens compreendem um número maior de classes, sendo possível diferenciar áreas para receberem por exemplo, ações de remediação. Na segunda abordagem, nota-se que a classe *Inadequada* circunscreve as áreas com águas *Impróprias*, ou seja, que possuem parâmetro tóxico acima do VMP.

A espacialização dos parâmetros em inconformidade, Figura 6.3, é bastante distinta das espacializações obtidas a partir dos índices aplicados. Ambas as abordagens do índice elaborado ($IQAS_{CH}$) mostram na Figura 6.8 por exemplo, áreas classificadas como *Impróprias* que na Figura 6.3 correspondem as áreas mais claras, ou seja, que possuem menos parâmetros em inconformidade. Em princípio, essa diferença pode ser interpretada como se o $IQAS_{CH}$ não tivesse atingido seu objetivo, mas é exatamente ao contrário, o $IQAS_{CH}$ está "revelando" áreas críticas de forma mais simples, que só seriam percebidas com análise minuciosa de cada parâmetro em cada ponto amostrado. Ainda assim, a análise não seria tão didática, de forma a facilitar a comunicação com os diversos interessados.

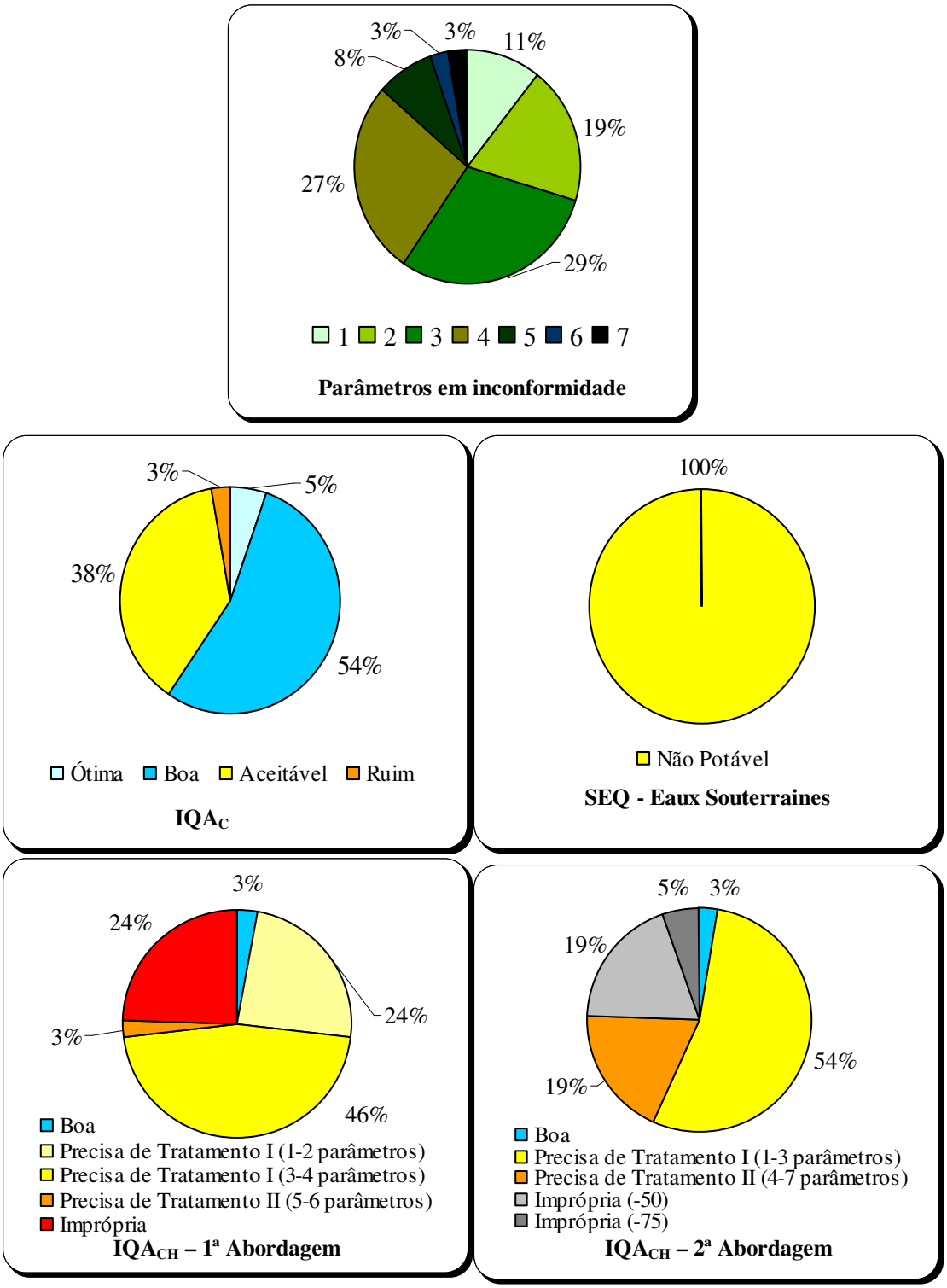


Figura 6.7: Percentual dos parâmetros em inconformidade e das classes dos índices aplicados aos resultados (campanha outubro de 2004) dos poços escavados da BHRSD.

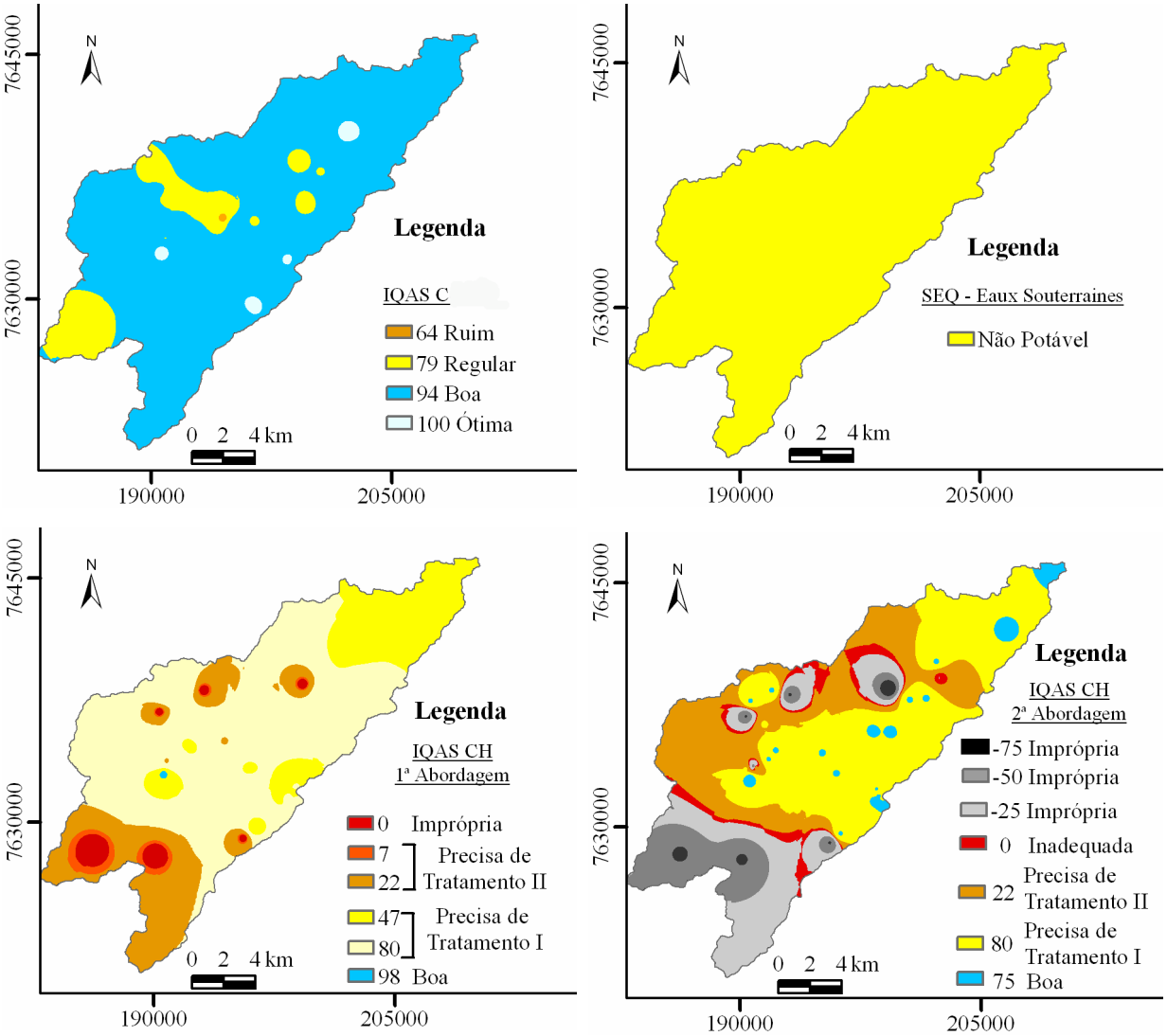


Figura 6.8: Mapa de superfície para os resultados da aplicação dos IQAs para os poços escavados em relação à campanha de outubro de 2004 para toda a BHRSD.

O oposto acontece com o IQA_C, no sentido de nem sempre refletir adequadamente pontos críticos. Isso mostra que considerar em uma área apenas os parâmetros que não atendem a legislação pode não ser suficiente, é preciso ainda "qualificá-los" quanto ao grau de toxicidade e tratá-los separadamente, como feito no índice construído nesse trabalho, onde a classificação da amostra se dá em duas etapas: a primeira em relação aos parâmetros não tóxicos e a segunda com os tóxicos.

Aquífero Profundo

A partir dos gráficos setoriais da Figura 6.9 é possível observar que:

a) O IQA_C classificou metade das amostras como *Boa* ou *Ótima* e a outra metade como *Aceitável* ou *Ruim*, e nenhuma amostra foi classificada como *Muito Ruim*;

b) O índice SEQ Eaux Souterraines enquadrou todas as amostras de água na classe *Não Potável*;

c) No $IQAS_{CH}$ elaborado, tanto na primeira abordagem como na segunda as classificações foram similares, pelo fato da maior diferença entre as duas abordagens ser acusada quando se contemplam amostras com parâmetros tóxicos.

A Figura 6.10 apresenta a espacialização dos resultados dos índices aplicados às amostras dos poços profundos. Nota-se a predominância das classes *Precisa de Tratamento* do IQA_{CH} (nas duas abordagens) e *Não Potável* no índice *SEQ*. O IQA_C é o que possui a maior área em azul claro e azul mais escuro, ou seja, *Ótima* e *Boa qualidade,* respectivamente. A classe *Ótima* não aparece nos demais índices.

O centro da bacia que é a área com menos parâmetros em inconformidade, conforme visualizado na Figura 6.4, com exceção do *SEQ* é sinalizada em todos os outros índices. De forma similar ocorre com a área mais ao sul da bacia, que possui mais parâmetros em inconformidade e também foi indicada na cor laranja, que significa *Ruim* para o IQA_C e *Precisa de Tratamento* para o $IQAS_{CH}$ gerado (abordagens 1 e 2).

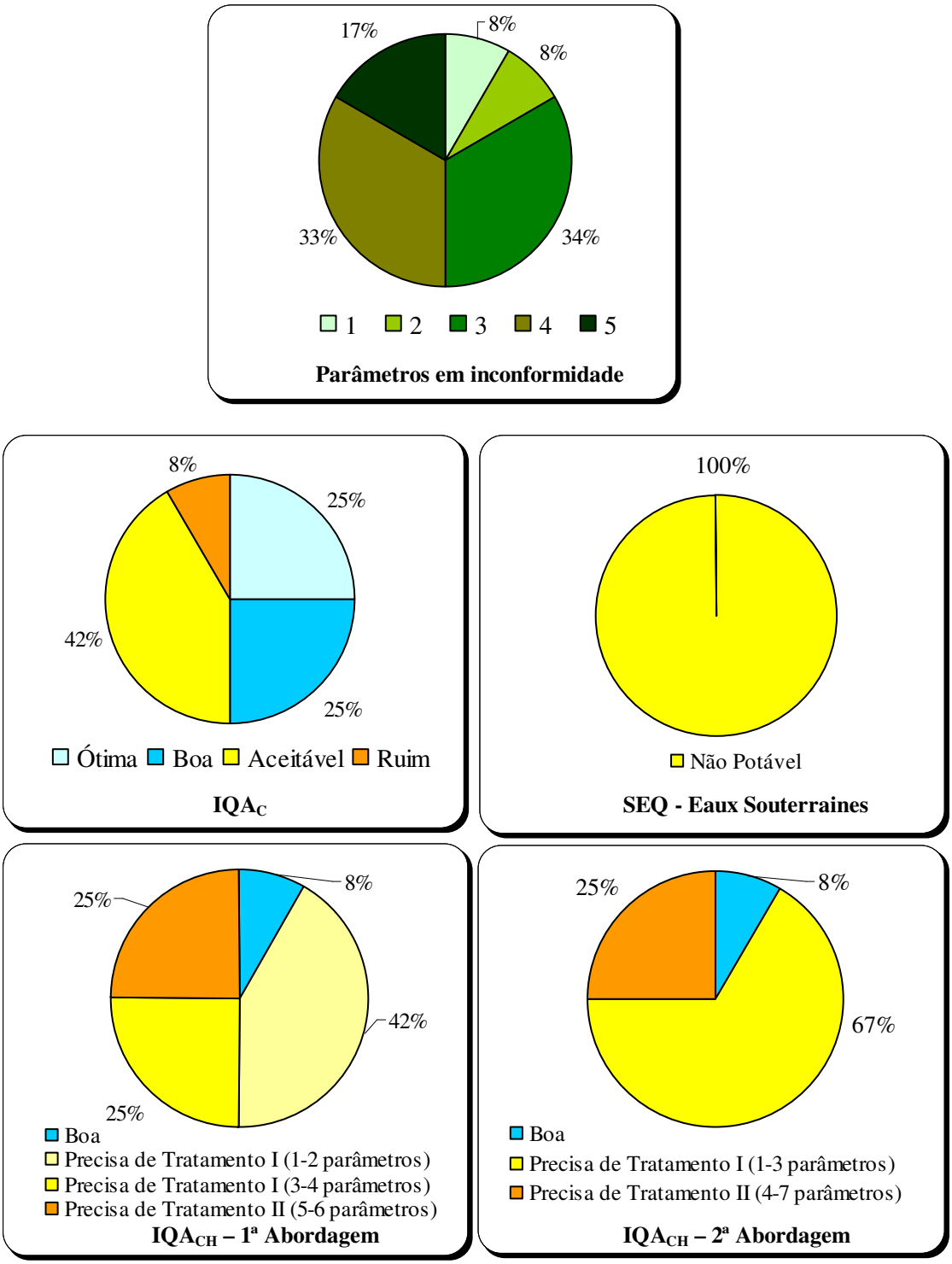


Figura 6.9: Percentual dos parâmetros em inconformidade e das classes dos índices aplicados aos resultados (campanha outubro de 2004) dos poços profundos na BHRSD.

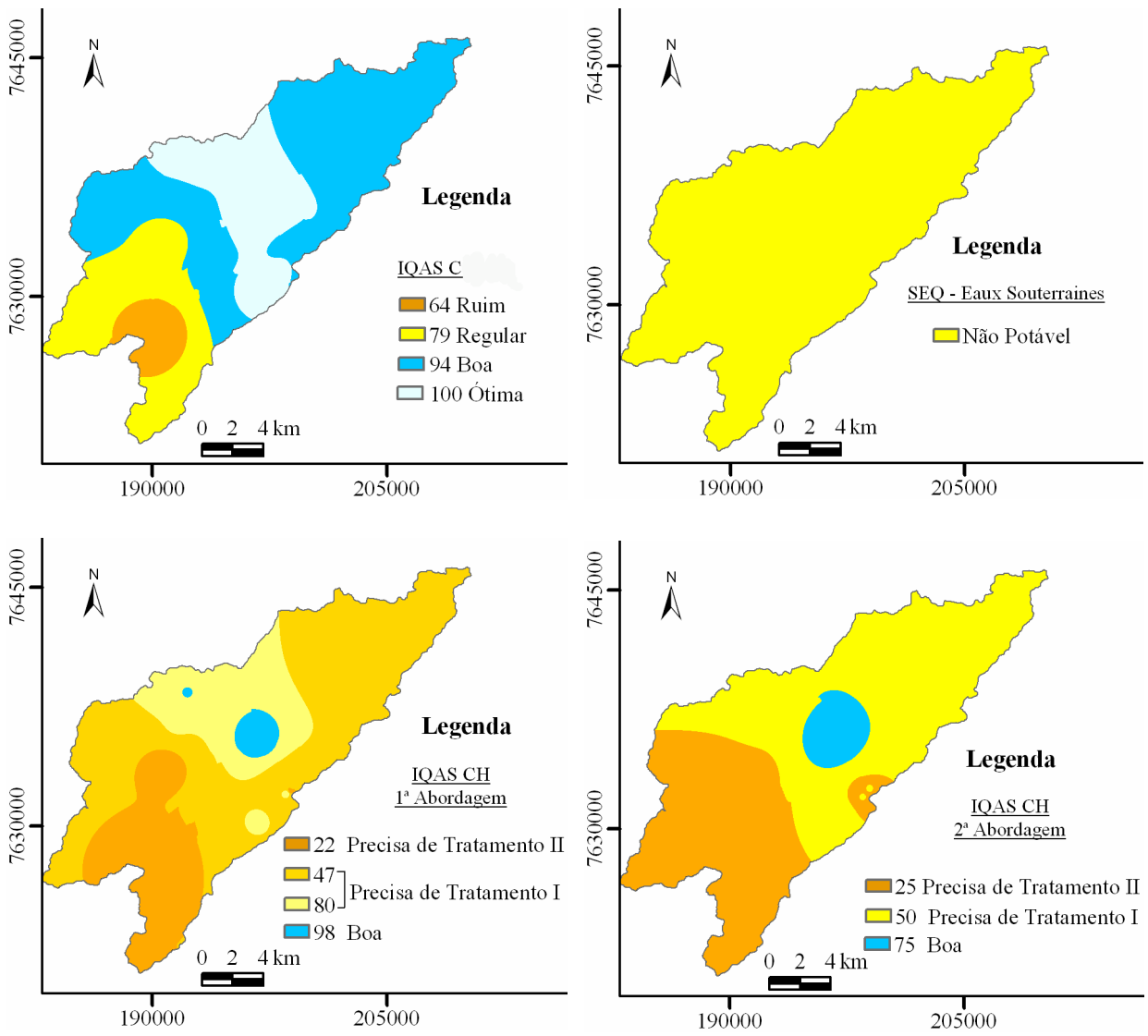


Figura 6.10: Mapa de superfície para os resultados da aplicação dos IQAs para os poços profundos em relação à campanha de outubro de 2004 para toda a BHRSD.

Verifica-se que o IQA_C é o índice mais permissivo, e para isso a amostra 20P será tomada como exemplo, mesmo com a presença de 50mg/L de coliformes termotolerantes, foi classificada como *Ótima*.

O índice SEQ mostrou um comportamento mais restritivo, já que a categoria final do ponto analisado é dada de acordo com a classificação mais baixa obtida pelos parâmetros (ou grupos de alteração) avaliados, por isso todas as amostras foram consideradas como *Não Potáveis*. Entretanto, agrupar todos os poços em uma única categoria, mesmo que restritiva, cumpre apenas parte da função de um índice de qualidade de água, já que a possibilidade de identificar áreas mais ou menos críticas se perde. Nesta perspectiva o $IQAS_{CH}$ elaborado

parece mais adequado, já que subdivide a categoria *Precisa de Tratamento* de acordo com o número de parâmetros que não atendem aos padrões estabelecidos pela legislação específica.

Os resultados individuais das amostras consideradas na aplicação dos índices encontram-se na Tabela 6.6. Confeccionou-se gráficos de frequência acumulada, expostos nos Anexos 12 e 13, que confirmaram o que foi exposto anteriormente sendo ainda possível ressaltar que, os índices aplicados com exceção do *SEQ,* de forma geral representam bem as situações extremas da BHRSD, ou seja, pontos com poucos parâmetros em inconformidade são agrupados em categorias que representam águas de qualidade boa ou regular. Já os pontos com 5, 6, ou 7 parâmetros em inconformidade são agrupados nas categorias que representam águas de qualidade ruim. Embora pontos (poços rasos) com apenas 1 parâmetro em inconformidade tenham sido classificados na categoria *Imprópria*, pois o parâmetro presente era tóxico.

Os resultados do IQA_C demonstraram também que pontos com muitos parâmetros em inconformidade foram categorizados como de *Boa* ou *Ótima* qualidade. A diferença entre os resultados obtidos pelo índice Canadense e os demais reside no fato dele calcular também quanto os valores dos parâmetros analisados estão fora dos padrões de potabilidade, desse modo amostras que ultrapassam pouco o VMP de dado parâmetro pode ser classificada como de *Boa* ou *Ótima* qualidade.

Apesar dos parâmetros tóxicos avaliados nos índices não terem sido encontrados nos poços profundos em 2004 e por isso a grande diferença de uma abordagem ($IQAS_{CH}$) para outra não poder ser retratada nos mapas (Figura 6.10), é notória a diferença na espacialização dos dados. Isso porque a divisão das classes é distinta, a primeira abordagem possui gradações inter-classe, ou seja, a classe *Precisa de Tratamento* é subdivida em 4 cores, ao passo que a segunda abordagem é subdividida em apenas 2. Por esse motivo o $IQAS_{CH}$ (primeira abordagem) mostrou-se mais adequado que $IQAS_{CH}$ (segunda abordagem). Diante disso, verifica-se que quando o cálculo do índice não envolve muitos parâmetros tóxicos, a primeira abordagem apresenta-se mais adequada. Por isso optou-se por aplicar aos resultados das demais campanhas apenas o $IQAS_{CH}$ (primeira abordagem) que a partir de então foi denominado apenas de $IQAS_{CH}$.

Tabela 6.6: Resultados dos índices calculados para toda a BHRSD.

ID	IQA_C	Categoria	SEQ	Índice	$IQAS_{CH}$ 1ª Abordagem	Índice	$IQAS_{CH}$ 2ª Abordagem
11R	85	Boa	Água Não Potável	45	Precisa de Tratamento I	50	Precisa de Tratamento I
12R	85	Boa	Água Não Potável	0	Imprópria	-50	Imprópria
13R	79	Aceitável	Água Não Potável	33	Precisa de Tratamento I	25	Precisa de Tratamento II
14R	100	Ótima	Água Não Potável	76	Precisa de Tratamento I	50	Precisa de Tratamento I
15R	100	Ótima	Água Não Potável	96	Boa	75	Boa
16R	86	Boa	Água Não Potável	56	Precisa de Tratamento I	50	Precisa de Tratamento I
18R	77	Aceitável	Água Não Potável	29	Precisa de Tratamento I	25	Precisa de Tratamento II
19R	86	Boa	Água Não Potável	47	Precisa de Tratamento I	50	Precisa de Tratamento I
20R	71	Aceitável	Água Não Potável	0	Imprópria	-75	Imprópria
21R	86	Boa	Água Não Potável	45	Precisa de Tratamento I	50	Precisa de Tratamento I
23R	78	Aceitável	Água Não Potável	60	Precisa de Tratamento I	50	Precisa de Tratamento I
24R	75	Aceitável	Água Não Potável	27	Precisa de Tratamento I	25	Precisa de Tratamento II
25N	81	Boa	Água Não Potável	45	Precisa de Tratamento I	50	Precisa de Tratamento I
25R	63	Ruim	Água Não Potável	20	Precisa de Tratamento	25	Precisa de Tratamento II
26R	72	Aceitável	Água Não Potável	31	Precisa de Tratamento I	25	Precisa de Tratamento II
27R	84	Boa	Água Não Potável	45	Precisa de Tratamento I	50	Precisa de Tratamento I
28R	71	Aceitável	Água Não Potável	45	Precisa de Tratamento I	50	Precisa de Tratamento I
29R	85	Boa	Água Não Potável	38	Precisa de Tratamento I	50	Precisa de Tratamento I
2N	86	Boa	Água Não Potável	0	Imprópria	-50	Imprópria
31R	68	Aceitável	Água Não Potável	31	Precisa de Tratamento I	25	Precisa de Tratamento II
33N	78	Aceitável	Água Não Potável	0	Imprópria	-50	Imprópria
34N	69	Aceitável	Água Não Potável	47	Precisa de Tratamento I	50	Precisa de Tratamento I
35N	75	Aceitável	Água Não Potável	42	Precisa de Tratamento I	50	Precisa de Tratamento I
36R	86	Boa	Água Não Potável	40	Precisa de Tratamento I	50	Precisa de Tratamento I
38N	86	Boa	Água Não Potável	0	Imprópria	-50	Imprópria
39R	83	Boa	Água Não Potável	42	Precisa de Tratamento I	50	Precisa de Tratamento I
40N	69	Aceitável	Água Não Potável	0	Imprópria	-50	Imprópria
41N	73	Aceitável	Água Não Potável	0	Imprópria	-75	Imprópria
43N	86	Boa	Água Não Potável	0	Imprópria	-50	Imprópria
43R	92	Boa	Água Não Potável	78	Precisa de Tratamento I	50	Precisa de Tratamento I
44R	93	Boa	Água Não Potável	76	Precisa de Tratamento I	50	Precisa de Tratamento I
48R	80	Boa	Água Não Potável	60	Precisa de Tratamento I	50	Precisa de Tratamento I
52N	88	Boa	Água Não Potável	58	Precisa de Tratamento I	50	Precisa de Tratamento I
52R	85	Boa	Água Não Potável	58	Precisa de Tratamento I	50	Precisa de Tratamento I
53R	79	Aceitável	Água Não Potável	31	Precisa de Tratamento I	25	Precisa de Tratamento II
7N	86	Boa	Água Não Potável	0	Imprópria	-50	Imprópria
8R	93	Boa	Água Não Potável	60	Precisa de Tratamento I	50	Precisa de Tratamento I
2P	47	Ruim	Água Não Potável	22	Precisa de Tratamento II	25	Precisa de Tratamento II
4P	92	Boa	Água Não Potável	60	Precisa de Tratamento I	50	Precisa de Tratamento I
6P	79	Aceitável	Água Não Potável	42	Precisa de Tratamento I	50	Precisa de Tratamento I
7P	100	Ótima	Água Não Potável	76	Precisa de Tratamento I	50	Precisa de Tratamento I
8P	75	Aceitável	Água Não Potável	22	Precisa de Tratamento II	25	Precisa de Tratamento II
12P	66	Aceitável	Água Não Potável	22	Precisa de Tratamento II	25	Precisa de Tratamento II
17P	100	Ótima	Água Não Potável	93	Boa	75	Boa
19P	80	Boa	Água Não Potável	60	Precisa de Tratamento I	50	Precisa de Tratamento I
20P	100	Ótima	Água Não Potável	76	Precisa de Tratamento I	50	Precisa de Tratamento I
21P	79	Aceitável	Água Não Potável	40	Precisa de Tratamento I	50	Precisa de Tratamento I

R: poço raso (escavado); N: nascente e P: poço profundo (tubular).

6.2.2 Aplicação do $IQAS_{CH}$ elaborado para as microbacias Santa Maria e Barro Branco

Os resultados de outubro de 2004 referentes à aplicação do $IQAS_{CH}$ nas microbacias Santa Maria e Barro Branco dizem respeito apenas aos pontos que continuaram sendo

monitorados nas campanhas subsequentes. A Figura 6.11 apresenta a distribuição espacial do $IQAS_{CH}$ por ponto de amostragem para as campanhas realizadas. Os resultados individuais dos poços por campanha de coleta estão disponíveis na Tabela 6.7.

De acordo com os resultados do $IQAS_{CH}$, verifica-se que as águas subterrâneas de Barro Branco e de Santa Maria foram consideradas como de qualidade regular, sendo agrupadas predominantemente na classe *Precisa de Tratamento*, cerca de 4% no nível II e 78% no nível I. Entretanto, poucas amostras foram classificadas como *Impróprias* para o consumo humano, apenas 15% de todas analisadas durante o monitoramento. Nenhuma amostra, porém, foi classificada como *Ótima*, sendo essa ausência um efeito direto da definição dessa classe, que é rigorosa. Isso significa dizer que em nenhum ponto amostrado todos os parâmetros apresentaram valores iguais ou menores que o Valor Guia. Além disto, poucas amostras foram qualificadas como *Boa*, apenas 2,5%.

A média do índice mais elevada para ambos os poços ocorre no mês de julho de 2008, com o valor de 58 e 55 (*Precisa de Tratamento Nível I*), para os poços tubulares e escavados, respectivamente. Nota-se, no comportamento geral, uma pequena melhora nos resultados dos índices durante o período de acompanhamento, embora estes não tenham alcançado a classe *Boa*.

Cerca de 50% das amostras apresentaram melhoras na comparação entre outubro de 2004 e julho de 2008, conquanto deva ser destacado que essa melhora não foi linear, ou seja, os meses intermediários apresentaram oscilações, ora elevando o índice, ora diminuindo, levando a crer que, mantidas as características atuais de precipitação, recarga e uso do solo, as próximas coletas não devem apresentar necessariamente índices com valores mais elevados. Os outros 50% dividem-se em amostras (40%) que tiveram uma queda e sofreram muito pequenas alterações (10%).

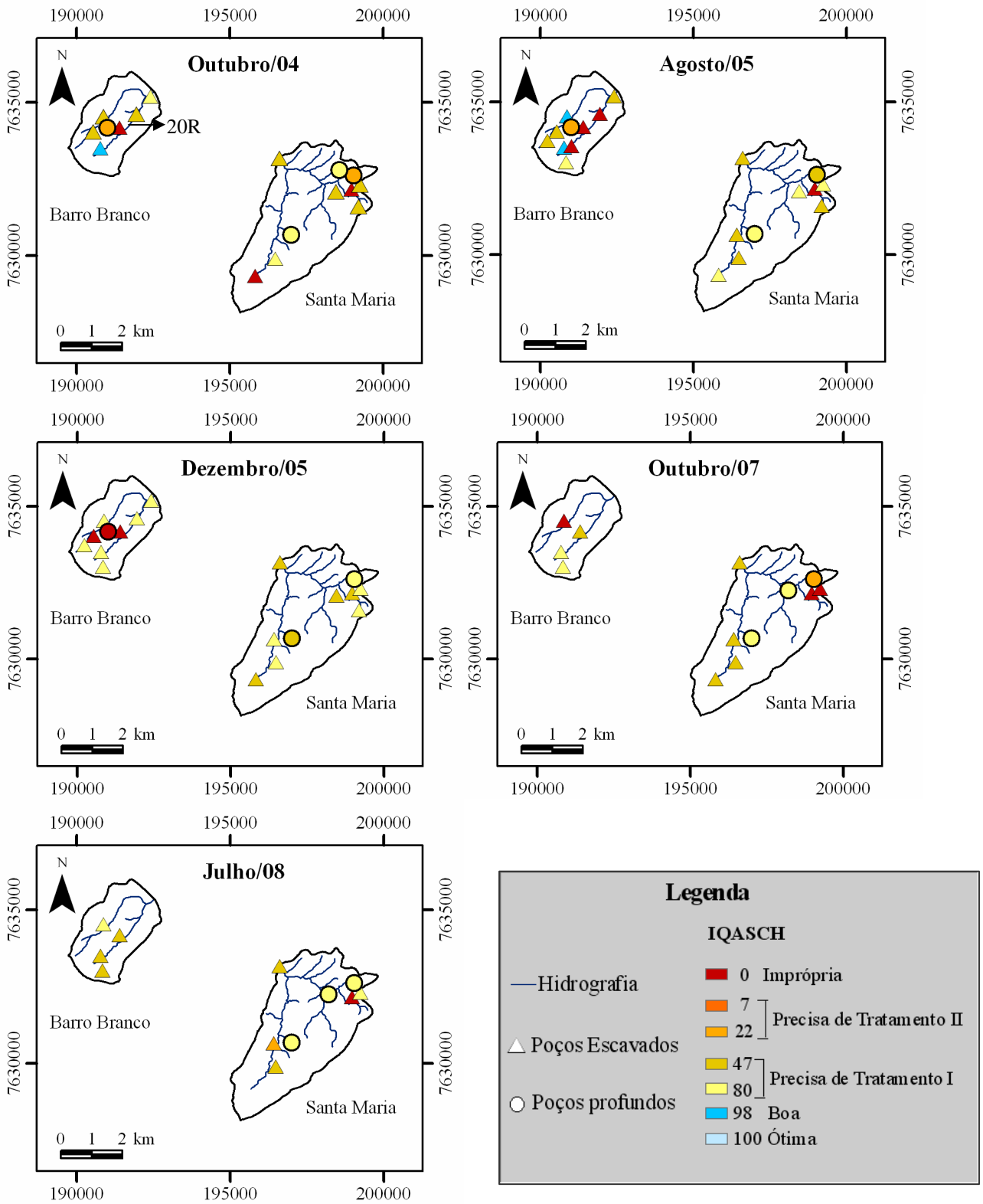


Figura 6.11: Distribuição espacial dos resultados da aplicação do $IQAS_{CH,}$ por ponto de amostragem, para as campanhas realizadas nas microbacias de Santa Maria/Cambiocó e Barro Branco.

Tabela 6.7: Resultado do cálculo do Índice de Qualidade de Água para Consumo Humano para o período monitorado na BHRSD

ID	$IQAS_{CH}$				
	Out. 04	**Ago. 05**	**Dez. 05**	**Out. 07**	**Jul. 08**
12R	58	76	40	96	73
13R	33	56	53	58	71
15R	96	78	56	62	47
53R	31	31	31	31	45
19R	47	76	53	0	78
20R	0	0	0	45	45
7N	0	60	45	42	
25N	45	42	58		60
11R	45	60	31		
18R	29	38	0		
21R	45	0	53		
23R	60	33	56		
8R	60	42	58	42	42
17R		78	73	58	58
15N		58	53	76	45
7R		33	62	29	22
20N		27	53		
CGR		60	62		
BBR					71
12P	22	20			
8P	22	31	62	22	42
4P	60	58	42	73	73
2P	22			31	31
17P	93			78	93
19P	60			0	31
20P	76			60	
21P	40			73	73
7P	76				

R: poço raso (escavado); N: nascente e P: poço profundo (tubular).

Pontualmente, é possível destacar que os únicos poços rasos que apresentaram águas na classe *Boa* (outubro de 2004 e agosto de 2005) tiveram queda de qualidade ao longo do monitoramento. Os pontos considerados *Impróprios* foram predominantemente de poços rasos distribuídos em torno da região central de Barro Branco e localizados ao norte de Santa Maria, próximos a plantações. Essas duas áreas foram consideradas as mais críticas.

O único poço tubular considerado *Impróprio* foi o 12P em Barro Branco, poço este desativado em 2006 por conta da má qualidade de suas águas. Justamente depois que o poço e seu sistema de abrandamento da dureza pararam de funcionar, o poço 20R obteve índices mais altos, ou seja, melhorou.

Os histogramas das Figuras 6.12 e 6.13 evidenciam que as amostras dos aquíferos raso e profundo apresentam uma distribuição pouco uniforme das classes de qualidade segundo o $IQAS_{CH}$.

O fluoreto foi o maior responsável pelos poços rasos de Santa Maria terem sido enquadrados como *Impróprios*. Possivelmente, este resultado associa-se a uma área de plantação a montante dos poços que são utilizados para atividades domésticas e ingestão humana e de animais. Já em Barro Branco, os parâmetros tóxicos identificados acima do VMP foram Arsênio e Bário, ambos também relacionados a atividades agrícolas.

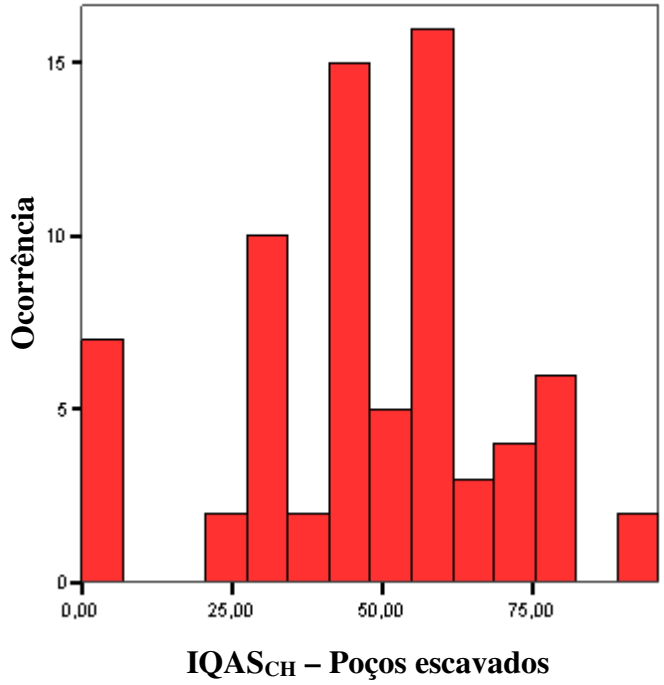


Figura 6.12: Histograma de ocorrência de classes obtidas pelo $IQAS_{CH}$ para os poços escavados para todo o período monitorado.

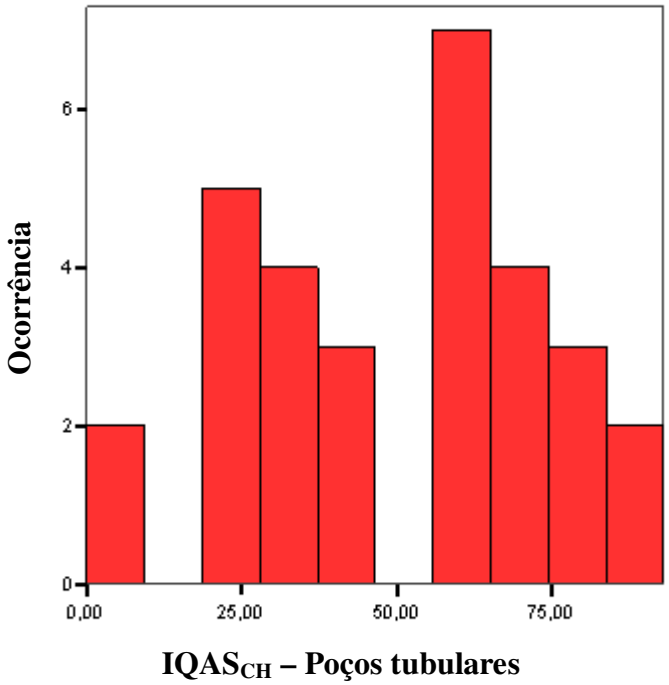


Figura 6.13: Histograma de ocorrência de classes obtidas pelo $IQAS_{CH}$ para os poços tubulares para todo o período monitorado.

As Figuras 6.14 e 6.15 são dendogramas mostrando a afinidade entre as amostras das diversas campanhas. Na Figura 6.14 os meses monitorados foram agrupados pelo número de parâmetros em inconformidade[14] e na Figura 6.15 pelos valores do $IQAS_{CH.}$ Nota-se que o primeiro agrupamento é semelhante para os dois dendogramas, reune outubro de 2004, agosto e dezembro de 2005 que são meses com uma concentração de amostras com 2, 3 ou 4 parâmetros em inconformidade. Os meses mais distantes que são outubro de 2007 e julho de 2008 possuem resultados mais diluídos e foram individualizados nas Figuras 6.14 e 6.15 por conta do ponto de corte.

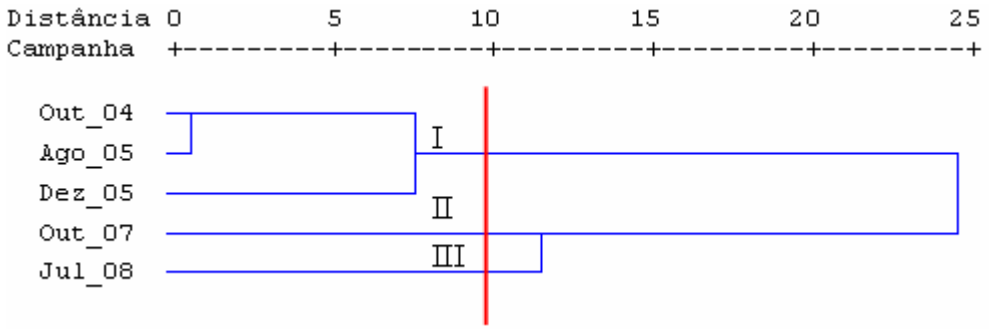


Figura 6.14: Dendograma para os meses monitorados, agrupados pelo número de parâmetros em inconformidade para todos os poços. A linha vermelha indica onde foi realizado o corte e obtido 2 grupos.

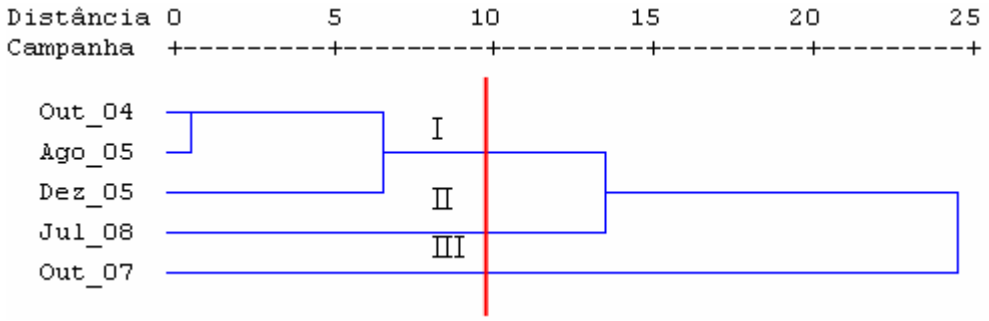


Figura 6.15: Dendograma para os meses monitorados, agrupados pelos valores do $IQAS_{CH}$ para todos os poços. A linha vermelha indica onde foi realizado o corte e obtido 3 grupos.

Por esses motivos os agrupamentos de uma figura para outra foram relativamente pouco divergentes, sendo possível observar similaridade entre os agrupamentos, indicando que os resultados estão condizentes com a realidade.

[14] Ver item 6.1.4.2

6.2.3 Programa Computacional para o Cálculo do $IQAS_{CH}$ e Interface com o Usuário

Os resultados do $IQAS_{CH}$ foram gerados por meio do programa desenvolvido para o cálculo do mesmo em ambiente Excel. Sua tela inicial encontra-se apresentada na Figura 6.16. O programa traz ainda informações sobre os valores de referência adotados, obtidos nas legislações pertinentes e sobre a BHRSD, que foi a área piloto para a elaboração e aplicação do $IQAS_{CH}$. Este é de fácil manuseio, porém, em sua versão inicial ainda não é possível acrescentar ou retirar parâmetros, nem alterar os padrões de potabilidade, mas espera-se poder incluir essas funcionalidades posteriormente, antes de divulgar o mesmo programa para os órgãos competentes em relação à gestão de recursos hídricos.

Figura 6.16: Tela Inicial do Programa IQASCH.

7 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Os *stakeholders* dos recursos hídricos subterrâneos da BHRSD encontram-se predominantemente na zona rural e bastante envolvidos com atividades agropecuárias, sendo estas atividades as geradoras de fontes de poluição mais frequentes à água. A partir dos questionários aplicados foi possível perceber que a população deseja água de boa qualidade para os diversos fins a que a destinam e assim a consideram. Para suprir a demanda de água rural, como as águas superficiais encontram-se poluídas e, em determinadas épocas do ano, escassas, é comum a perfuração de poços rasos, independentemente dos tubulares perfurados pela prefeitura. Em muitos casos estes são construídos de forma rudimentar, sem um revestimento adequado, o que torna a sua água vulnerável à contaminação. Ainda, a água advinda de poços (rasos ou tubulares) não recebe um tratamento adequado para o consumo humano. Por fim, as adaptações das metodologias do *stakeholder* e do Ciclo PDCA mostraram-se ferramentas úteis no processo de avaliação de águas subterrâneas e identificação de suas fontes de poluição na BHRSD.

Os parâmetros que mais vezes estiveram em inconformidade na BHRSD em todo o período monitorado foram: coliformes termotolerantes, turbidez, nitrato, manganês e ferro. Os parâmetros nitrato e coliformes termotolerantes podem estar associados à inadequação do revestimento dos poços e à proximidade dos poços de fossas sépticas. O manganês, por ser constituinte de fertilizantes e pesticidas, deve estar correlacionado com atividades agrícolas. Entretanto, por conta das características geológicas da área de estudo, é possível que parte da origem deste elemento seja natural. O ferro provém significativamente da corrosão do revestimento ou filtro do poço. Em relação aos pesticidas, alguns compostos organoclorados e organofosforados também foram identificados na BHRSD, mas ficaram abaixo do VMP para consumo humano.

A pesquisa bibliográfica apontou uma discrepância entre a quantidade de Índices de Qualidade de Água Superficiais e Subterrâneos, sendo os índices superficiais bem mais discutidos na literatura. Este fato mostrou que a discussão para índices restritivos ainda é incipiente e que neste sentido, o presente trabalho contribuiu para o avanço em tais questões.

A Análise da Dinâmica do Ambiente em Relação às Águas da BHRSD promoveu o conhecimento da qualidade da água subterrânea da bacia e dos seus grupos de interesse e foi

útil para a elaboração do $IQAS_{CH}$, principalmente, em dois aspectos: escolha dos parâmetros que deveriam compor o $IQAS_{CH}$ e comparação dos resultados obtidos a partir de índices com resultados de avaliação da qualidade das águas. O $IQAS_{CH}$ classificou as amostras da BHRSD predominantemente na categoria *Precisa de Tratamento*.

O *Canadian Water Quality Index* (IQA_C) não é adequado para usos restritivos, já que não considera apenas o fato da amostra apresentar algum parâmetro em inconformidade com a legislação específica, mas também o quão acima determinado parâmetro está do valor-padrão. Entretanto, essa posição relativa da concentração permitida versus concentração real é difícil de se comparar entre parâmetros, principalmente em se tratando de parâmetro tóxico, pois a variação no teor de dureza não tem necessariamente o mesmo peso de contribuição para a toxicidade de uma água que a mesma variação no teor de arsênio, por exemplo.

O *SEQ Eaux Souterraines* é um índice adequado para caracterizar uma amostra e para guiar os usuários e os órgãos ambientais ao uso em si, mas é inadequado para distinção de áreas e análises temporais, já que a inexistência de classes intermediárias promove naturalmente a concentração das amostras, dificultando a identificação destas.

Tanto o IQA_C como *SEQ* são índices flexíveis e abertos, permitindo a incorporação de novos parâmetros e padrões de potabilidade, sendo este um ponto positivo que merece ser salientado. Embora o $IQAS_{CH}$ também seja aberto, o programa ainda não permite ainda tais modificações. Contudo este programa em desenvolvimento foi bastante útil na aplicação do índice, agilizando e facilitando o processo.

Os resultados do monitoramento mostraram, fundamentalmente, que o $IQAS_{CH}$ é bastante restritivo, funcionando de forma similar ao método do operador mínimo, com a vantagem de obter gradações inter-classe, proporcionando uma avaliação dos pontos mais detalhada. Deste modo foi possível comprovar a hipótese do trabalho, já que, o algoritmo utilizado proporcionou classificação rigorosa, essencialmente, pela escolha dos parâmetros baseada em áreas de aquíferos cristalinos, sob uso agrícola, e não adoção de pesos.

A partir dos resultados obtidos pode-se inferir que a BHRSD trata-se de uma área que precisa receber investimentos em saneamento básico, tratamento de água e em educação ambiental, de forma que as fontes de poluição pontuais como os esgotos e as difusas, provindas principalmente da agricultura (fertilizantes e defensivos agrícolas) possam ser

reduzidas, evitando um agravamento da contaminação das águas subterrâneas, principalmente, as do aquífero raso, evitando assim, o comprometimento da saúde humana.

Para a continuidade do presente trabalho recomenda-se:

•Buscar alternativas para a questão da agregação/categorização do $IQAS_{CH}$. Procurar formas de agregação que considerem também o número de parâmetros tóxicos acima do VMP e não somente sua presença. Esta possibilidade é útil para avaliação temporal do poço monitorado;

•Aplicação do $IQAS_{CH}$ e da Análise Dinâmica do Ambiente em Relação às Águas para possíveis adaptações das respectivas metodologias em outras áreas de aquífero cristalino sob uso agrícola;

•Aplicação do $IQAS_{CH}$ em regiões com outros tipos de aquíferos e tipos diferentes de usos do solo para a elaboração de outros $IQAS_{CH}$ específicos;

•Aperfeiçoamento do programa já desenvolvido de modo que seja possível a alteração de parâmetros e padrões de potabilidade;

•Divulgação dos resultados obtidos na BHRSD a partir da aplicação do $IQAS_{CH}$ e do programa utilizado para o cálculo, de forma a subsidiar a gestão da água subterrânea na região.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABBASI, S.A. **Water Quality Indices**, State of the art report, Scientific Contribution No.-INCOH/SAR-25/2002, Published by – INCOH, National Institute of Hydrology, Roorkee, p.66. 2002. Disponível em: <www.nih.ernet.in/general/Water%20Quality%20Indices.doc>. Acesso em: 15 out. 2008.

ABREU, B.M.; FIDALGO, E.C.C; Mapeamento do Uso e Ocupação da Terra na Bacia Hidrográfica do Rio São Domingos. In: WORKSHOP DE INTEGRAÇÃO DE INFORMAÇÕES OBTIDAS NO ÂMBITO DO PROJETO PRODETAB AQÜÍFEROS. 2006. Anais... Rio de Janeiro: Embrapa, 2006.

AGWT - American Ground Water Trust. Acid Rain and Ground Water pH. The American Well Owner, 2003, n 3.

AGUIAR, M.S.A.; LIBÂNIO, M. Proposta para estabelecimento de índice de avaliação da qualidade de água distribuída. *In*: SIMPÓSIO ITALO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 6., 2002, Vitória. **Anais**... Vitória: ABES, 2002. Disponível em:<http://www.bvs.br/php/index.php>. Acesso em: 28 nov. 2008.

ANA - Agência Nacional de Águas Disponibilidade e Demanda de Recursos Hídricos no Brasil. **Caderno de Recursos Hídricos**. 2007. Agência Nacional de Águas. Disponível em <http://www.ana.gov.br/sprtew/2/2-ANA.swf>. Acesso em 29 mar. 2008.

ALMEIDA, A.A. **Estudo Comparativo entre os Métodos IQA_{NSF} e IQA_{CCME} na Análise da Qualidade da Água do Rio Cuiabá**. 2007. 94f. Dissertação de Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Física e Meio Ambiente, Universidade Federal de Mato Grosso, Mato Grosso, 2007.

ALMEIDA, R.A.S**. Índice de Qualidade de Água Subterrânea destinadas ao uso na produção de água potável (IQUAS)**. 2007. 221f. Dissertação. Mestrado em Engenharia Ambiental Urbana. Universidade Federal da Bahia. Disponível em:<http://www.dominiopublico.gov.br/pesquisa>. Acesso em 10 ago. 2009.

ALMEIDA, R.A.S.; OLIVEIRA, I.B. Aplicação do Índice de Qualidade de Água Subterrânea (IQUAS) Destinado ao Uso para Consumo Humano. *In*: CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS, 15., 2008, Natal. **Anais...** Natal: ABAS, 2008. 1 CD-ROM.

APHA. American Public Health Association, American Water Works Association, Water Environment Federation. **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater**. Washington: Ed. Byrd. Repress Springfield, 1998. 1.134 p.

APPELO, C.A.J.; POSTMA, D. **Geochemistry, Groundwater and Pollution**. Rotterdam, Holanda: Balkema, 1993. 536 p.

ARRUDA, T.L. DE; JARDIM, W.F. Tratamento de água subterrânea contaminada com compostos organoclorados usando ferro elementar e o reagente de Fenton. ***Quím. Nova***, São Paulo, v.30, n.7, p.1628-1632, 2007.

AURELIANO, J.; FERRAZ, A.C.; CLEMENTE, A.; FALCÃO, D. Monitoramento da Qualidade da Água com Base em Zonas Homogêneas na Bacia do Rio Ipojuca em Pernambuco. *In*: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 16., 2005, João Pessoa. **Anais**... João Pessoa: ABRH, 2005. 1 CD-ROM.

BARBOSA, C.F. **Hidrogeoquímica e a contaminação por nitrato em água subterrânea no bairro Piranema, Seropédica** – RJ. 2005. Dissertação (Mestrado em Geociências). Instituto de Geociências, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, SP. Disponível em: <http://libdigi.unicamp.br/document/?code=vtls000363549>. Acesso em: 16 maio 2007.

BARRETO, A. B. C.; MONSORES, A. L. M.; LEAL, A. S.; PIMENTEL, J. **Hidrogeologia do Estado do Rio de Janeiro** – Texto explicativo do Mapa de Favorabilidade Hidrogeológica do Estado do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro: CPRM, DRM/RJ, 2001. 23p.

BCGWA - Britsh Columbia Association. Ground Water. Iron & Manganese In Groundwater. **Water Stewardship Information Series**. 2007.

BERNARDES, R.S.; ABREU, L.M.; DORNAS, M. O Índice da Qualidade da Água Distribuída à População do Distrito Federal. *In*: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 20., 1999, Rio de Janeiro. **Anais**... Rio de Janeiro: ABES, 1999. Disponível em:<http://www.bvs.br/php/index.php>. Acesso em: 28 nov. 2008.

BOCANEGRA, E.; SILVA JR., G.C. Groundwater exploitation of fractured rocks in South America. Eds.: Krásný J.; Sharp J. **IAH Selected Papers**, 9. 2007. p:20-32.

BRASIL. Artigo 26 da Constituição (1988). **Constituição da República do Brasil**. Brasília, DF: Senado, 1988. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/port/srh/politica/legislacao/constitu.html>. Acesso em: 5 jan. 2008.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Resolução n° 357,** de 23 de Janeiro 2005. Disponível em: <www.mma.gov.br/port/conama>. Acesso em: 1° jun. 2005.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Resolução n° 396,** de 3 de Abril 2008. Disponível em: <www.mma.gov.br/port/conama>. Acesso em: 1° maio 2008.

BRASIL. Decreto nº 24.643, de 10 de Julho de 1934. **Código das Águas**. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto/d24643.htm>. Acesso em: 2 dez. 2008.

BRASIL. Lei nº 9.433, de 08 de janeiro de 1997. **Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH)**. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br>. Acesso em: 2 ago. 2009.

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. Disponível em: <http://e-legis.anvisa.gov.br/>. Acesso em: 1° jun. 2005.

BRASIL. Ministério da Saúde**. Gestão da Saúde Pública.** Disponível em: <http://portal.saude.gov.br/portal/aplicacoes/tabfuncion/default.cfn?estado=RJ>. Acesso em: 18 jun. 2008.

BRASIL. Ministério da Saúde. **Resolução nº 269**, de 22 de Setembro de 2005. Trata dos valores de Ingestão Diária Recomendada (IDR) de Proteína, Vitaminas e Minerais para indivíduos e diferentes grupos populacionais, e dá outras providências. Disponível em: <http://e-legis.anvisa.gov.br/>. Acesso em: 1° ago. 2009.

BROWN, R.M.; MCLELLAND, N.I.; DEININGER, R.A.; TOZER, R.G.A. Water Quality Index – Do we dare? **Water & Sewage Works**, p.339-343, 1970.

CADILHAC, L.; ALBINET, M. (Coord.). **SEQ -** ***Système d'évaluation de la qualité des eaux souterraines: Rapport de présentation.*** *Agences de l'Eau*. 2003. 75p. Disponível em: <http://siecorse.eaurmc.fr/eaux_souterraines/fichiers-telechargeables/SEQSOUT0803.pdf>. Acesso em: 15 nov. 2006.

CAJAZEIRA, J.E.R. **ISO 14.001** – Manual de Implantação. 1º ed. Rio de Janeiro: Qualitymark, 1998.

CAJAZEIRA, J.; BARBIERI, J. **A nova norma ISO 14.001**: atendendo à demanda das partes interessadas. Artigos Técnicos. 2004. Disponível em: <http://www.cempre.org.br/artigos.php>. Acesso em: 22 abr. 2007.

CCE - Comissão das Comunidades Européias. **Norma 98/83/CE.** Disponível em <http://eur-lex.europa.eu/pt/index.htm>. Acesso em: 20 fev. 2006.

CCE - Comissão das Comunidades Européias. 2003. **Proposta de Directiva do Parlamento Europeu e do Conselho Relativa à Protecção das Águas Subterrâneas Contra a Poluição**. 2003, Bruxelas. Disponível em: <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=COM:2003:0550:FIN:PT:DOC> Acesso em: 29 abr. 2005.

CCME - Canadian Council of Ministers of the Environment, 2001a, **Canadian Water Quality Guidelines for the Protection of Aquatic Life: CCME Water Quality Index 1.0, user's manual**. *In*: Canadian Environmental Quality Guidelines, 1999, Winnipeg.

CCME - Canadian Council of Ministers of the Environment, 2001b, **Canadian Water Quality Guidelines for the Protection of Aquatic Life: CCME Water Quality Index 1.0, technical report.** *In*: Canadian Environmental Quality Guidelines, 1999, Winnipeg.

CEE - Comunidade Econômica Européia. **Norma 80/778/CEE**. 1980. Disponível em <http://eur-lex.europa.eu/pt/index.htm>. Acesso em: 20 fev. 2006.

CETESB - Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental do Estado de São Paulo. **Índice de Qualidade da Água.** 2007. Disponível em: <http://www.cetesb.sp.gov.br/Agua/rios/indice_iap_iqa.asp>. Acesso em: 10 maio 2007.

CPRH - Agência Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos do Estado de Pernambuco. Índice e Indicadores de Qualidade da Água. 2003. v.1, 114p. Disponível em: < http://www.cprh.pe.gov.br>. Acesso em 17 de nov. de 2006.

CRISTO, V.; MENEZES, J.M.; SILVA JR., G.C. Índice de Abastecimento Público na Bacia Hidrográfica do Rio São Domingos – RJ. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 46., 2008, Curitiba. **Anais**... Curitiba: SBG, 2008. 1 CD – ROM.

CRISTO, V.; MENEZES, J.M.; SILVA JUNIOR, G.C. Comparação entre Índices de Qualidade de Água. In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DO SUDESTE, 11., 2009. **Anais**... São Pedro: SBGEO/SP, 2009. 1 CD – ROM.

CRIVISQUI, E.; VILLAMONTE, G. Presentación de los métodos de Análisis Factorial de Correspondencias Simples y Múltiples, Programme de Recherche et D'Enseignement en Statistique Appliquée (PRESTA), Cuba-Belgica-Union Europea. 1997.

CUNHA, L.C.; OLIVEIRA, R.B.; AZEREDO, F.S.; VALADARES, M.C. Contrastes Baritados: A Toxicologia Experimental como Ferramenta no Estabelecimento de Nexo Causal de Intoxicação Maciça por Bário. **Revista Eletrônicade Farmácia**. v 3, n 2, 68-74, 2006. ISSN 1808-0804. Disponível em: <http://www.farmacia.ufg.br/revista/>. Acesso em 10 ago. 2009.

CUNHA, L.H.; COELHO, M.C.N. Política e Gestão Ambiental. In: CUNHA, L. H.; GUERRA, A. J. T. (Org). **Questão Ambiental: Diferentes Abordagens**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2003.

CUSTODIO, E.; LLAMAS, M. R. **Hidrología Subterránea**. Barcelona: Omega, 2° ed., vol.1, 1983. 2350p.

DAVIS, S. N.; DE WIEST, R. J. M. **Hidrogeology.** New York: Jonh Willey & Sons, 1966, 463p.

DEMING, William Edward. Qualidade: a revolução da administração. Rio de Janeiro: Marques-Saraiva, 1990.

DESHPANDE, A.W.; RAJE, D.V. Fuzzy logic applications to environment management systems: case studies. *In*: Industrial Informatics, 2003. INDIN 2003. Proceedings. IEEE International Conference on Volume. p.364-368. Disponível em: <http://ieeexplore.ieee.org/xpl/topAccessedArticles.jsp?punumber=9109>. Acesso em: 8 set. 2007.

DRM-RJ - Departamento de Recursos Minerais do Estado do Rio de Janeiro. Projeto Carta Geológica do Estado do Rio de Janeiro na Escala 1:50.000. **Folha São João do Paraíso**. Relatório Final. Rio de Janeiro. 1978.

EBRAICO, P. R. B. M. **O diálogo com grupos de interesse (*stakeholders*) na indústria de petróleo e gás**. 2003. 46 f. Instituto de Economia, UFRJ, RJ.

EEA - European Environment Agency. 1999b. Groundwater Quality and Quantity in Europe. **Environmental Assessment Report**, 3, p. 42.

ESTEVES, F. de A. **Fundamentos de Limnologia**. 2ª edição. Rio de Janeiro: Interciência, FINEP, 1998.

EUROSTAT – European Distributors of Statistical Software. 1997. **Water abstractions in Europe**. Internal working document, Water/97/5.

FANCICANI,V.R.; MORAES,I.P.S.; NARIYOSHI, M.A.C.; ONOFRE, R.M.S.; ORSATTI, W. A. Índice Geral de Qualidade de Água Distribuída pela Sabesp – IGQA. *In*: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 20., 1999,

Rio de Janeiro. **Anais**... Rio de Janeiro: ABES, 1999. Disponível em:<http://www.bvs.br/php/index.php>. Acesso em: 28 nov. 2008.

FALKENMARK, M. Water usability degradation – economist wisdom or societal madness? **Water International**, v. 30, n. 2, 136-146. 2005. Disponível em: <http://196.36.166.88/iwra/Journal/>. Acesso em: 10 jan. 2008.

FAO – Food and Agriculture Organization of the United Nations. **Dia Mundial da Água**. 2007. Disponível em: <https://www.fao.org.br/vernoticias.asp?id_noticia=45>. Acesso em: 25 abr. 2007.

FARIAS, A.M.L.; LAURENCEL, L.C.; SILVA, A.P.S.; MACEDO, R.W.; SILVEIRA, M.M. **Números Índices**. 2004. Niterói: UFF – Instituto de Matemática.

FENZL, N**. Introdução à Hidrogeoquímica.** Paraná: UFPA, 1988, i, 179p.

FERNANDES, R.A.; LOUREIRO, C.O. Índice Relativo de Qualidade (*IRQ*): Um Método para Caracterização e Hierarquização do Potencial Qualitativo das Águas Subterrâneas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUA SUBTERRÂNEA, 14., 2006, Curitiba. **Anais**... Curitiba: ABAS, 2006. 1 CD-ROM.

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

FERREIRA, L.M.; IDE, C.N. 2001. Avaliação comparativa da sensibilidade do IQA-NSF, IQA-Smith e IQA-Horton, aplicados ao Rio Miranda, MS. *In*: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 21., 2001, João Pessoa. **Anais**... João Pessoa: ABES, 2001. Disponível em:<http://www.bvs.br/php/index.php>. Acesso em: 28 nov. 2008.

FIDALGO, E.C.C; ABREU, B.M. Uso de imagens Aster para o mapeamento do uso e cobertura da terra na bacia hidrográfica do rio São Domingos, RJ. In: XII SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO. 2005. **Anais...** Goiânia: INPE, 2005. p. 3747-3753.

FLORES, R.G. Análise de Correspondências: Uma Introdução. **Revista Brasileira de Estatística.** v. 36, n. 142, abr/jun. 1975.

FL SLOB, A.; DUIJN, M.; ELLEN, G.J. The changing role of science in groundwater and river basin management. In: INTERNATIONAL ASSOCIATION OF HYDROGEOLOGISTS CONGRESS, 35, 2007, Lisbon. **Anais...** Lisbon: IAH, 2007.

FREEMAN, R. E. **Strategic management: a *Stakeholder* approach**. Boston: Pitman, 1984.

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

FREITAS, P.L.DE; MANZATO, C.V.; COUTINHO, H.L. DA C. A Crise de Energia e a Degradação dos Recursos Naturais – Solo, ar, água e biodiversidade. **Boletim Informativo**, Soc. Bras. Ci. Solo. Viçosa, 26 4:7-9, 2001.

GERMANO, P.C.C.; NEVES, J.M.M.; WARTH, M.F.N.; RICARDO, L..M.M.; TONIOLLI, D.M. Proposição de um Índice de Qualidade de uma Sub Bacia Hidrográfica do Lago Guaíba, como Instrumento de Gestão de Recursos Hídricos. *In*: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 16., 2005, João Pessoa. **Anais**... João Pessoa: ABRH, 2005a. 1 CD-ROM.

GERMANO, P.C.C.; CALDART, E.L.; RICARDO, E.M.M.; NEVES, J.M.M.; WARTH, M.F.N. Proposta de adoção de um índice de qualidade para uma sub bacia do lago Guaíba, como ferramenta de gestão de recursos hídricos. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 23. 2005, Campo Grande. **Anais...** Campo Grande: ABES, 2005b. Disponível em:<http://www.bvs.br/php/index.php>. Acesso em: 28 nov. 2008.

GILJANOVICÂ, N.S.T. Water Quality Evaluation by Index in Dalmatia. **Wat. Res**. v. 33, n. 16, p. 3423±3440, 1999.

GOODMAN, L.S.; GILMAN, A. **As Bases Farmacológicas da Terapêutica**. Ed. Guanabara Koogan. 3ª ed. 1596p. 1967.

GONÇALVES, A.O.; FIDALDO, E.C.C; BASTOS, C.L.; ABREU, M.B. Caracterização climática da Bacia do Rio São Domingos. In: WORKSHOP DE INTEGRAÇÃO DE INFORMAÇÕES OBTIDAS NO ÂMBITO DO PROJETO PRODETAB AQUÍFEROS, 2006. **Anais...**. Rio de Janeiro: Embrapa, 2006.

GRIMBLE, R. J.; CHAN, M-K. *Stakeholder* analysis for natural resource management in developing countries. **Natural Resources Forum**, v.19, n.2, p.113-124, mai. 1995.

HEILBRON, M.; DUARTE, *et al.* Geologia da bacia do Rio São Domingos, São José de Ubá, Rio de Janeiro. In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DO SUDESTE, 2005. **Boletim...** Niterói, 2005, p.118.

HEM, J. D. **Study and Interpretation of Chemical Characteristics of Natural Water**. 3°ed. 1985. 263p.

HICKS, R.; CALDAS L.Q.A.; DARE, P.R.M.; *et al.* 1986. Cardiotoxic and bronchoconstrictor effects of industrial metal fumes containing barium. **Archives of Toxicology, Suppl 9**. Toxic interfaces of neurones, smoke and genes. Secaucus, NJ: Springer-Verlag New York, Inc.

HIRATA, R. **Recursos hídricos subterrâneos**: caminhos para a sustentabilidade de um recurso estratégico. 2006. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/gsi/saei/paginas/Brasilia2006SAG.pdf>. Acesso em 12 jan. 2008.

HORTON R. K. An index number system for rating water quality. **Journal WPCF** 37, p. 300±305, 1965.

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

IPEA – Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada. IPEADATA - Regional. Disponível em: <http://www.ipeadata.gov.br>. Acesso em: 18 jun. 2009.

JESSEL, B.; JACOBS, J. Land use scenario development and *stakeholders* involvement as tools for watershed management within the Havel River Basin. **Limnologica**, 35, p. 220-233, 2005.

KHAN, A.A., PATERSON, R.; KHAN, H. Modification and application of the Canadian Council of Ministers of the Environment Water Quality Index (CCME WQI) for the communication of drinking water quality data in Newfoundland and Labrador. **Canadian Water Quality Research Journal**, v. 39, n. 3, p. 285-293, 2004. Disponível em: <http://www.cawq.ca/journal/temp/article/30.pdf>. Acesso em: 19 jul. 2008.

LANDWEHR, J.M.; DEININGER, R.A. A Comparison of Several Water Quality Indices. **J. Water Poll. Control Fed**. v. 48, n. 5, p. 954 – 958. 1976.

LERNER, D. N.; SURRIDGE, B.; PAETZOLD, A.; HOLZKÄMPER, A. The macro-ecological model: making sense of the conflicts in integrated catchment management. In: INTERNATIONAL ASSOCIATION OF HYDROGEOLOGISTS CONGRESS, 35, 2007, Lisbon. **Anais...** Lisbon: IAH, 2007.

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

LOUREIRO, S. M. **Índice de Qualidade no Sistema da Gestão Ambiental em Aterros de Resíduos Sólidos Urbanos – IQS**. 2005. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

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

LUMBRERAS, J.F.; NAIME, U.J.; MOTTA, P.E.F.; PALMIERI, F.; CARVALHO FILHO, A.DE.; BARUQUI, A.M.; CALDERANO, S.B.; FIDALGO, E.C.C.; MOREIRA, D.M.DE. Solos da Bacia Hidrográfica do rio São Domingos, RJ. In: WORKSHOP DE INTEGRAÇÃO DE INFORMAÇÕES OBTIDAS NO ÂMBITO DO PROJETO PRODETAB AQUÍFEROS, 2006. **Anais...**. Rio de Janeiro: Embrapa, 2006.

MABILIA, R.G.; ASSUNÇÃO, R. A Qualidade da Água no Aquarismo. **Aquarismo de Verdade: Artigos**. 2005. Disponível em <http://www.aquarismodeverdade.com.br>. Acesso em: 2 ago. 2009.

MACHADO FILHO, C. A. P. **Responsabilidade social corporativa e a criação de valor para as organizações: um estudo multicasos**. 2002. 204f. Tese (Doutorado em Administração) - Faculdade de Administração. USP, São Paulo.

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

MATTOS, A.R.; VON SPERLING, E. Índice de Qualidade de Águas para a Bacia do Rio das Velhas - Aspectos Metodológicos e Avaliação Qualitativa do Meio Ambiente. *In*: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 20., 1999, Rio de Janeiro. **Anais**... Rio de Janeiro: ABES, 1999. Disponível em:<http://www.bvs.br/php/index.php>. Acesso em: 28 nov. 2008.

MENEZES, G.O. 2007. **Aplicação do Índice de Salubridade Ambiental em Comunidade Carentes e sua Comparação com Comunidades Padrão: Instrumento para Planos de Gestão Municipal.** Dissertação de Mestrado. 203f. Universidade Federal de Ouro Preto. Programa de Mestrado em Engenharia Ambiental. Disponível em: <http://www.tede.ufop.br/tde_busca/arquivo.php?codArquivo=188>. Acesso em 20 jul. 2009.

MENEZES, J.M. **Hidrogeoquímica de Aquíferos Fraturados no Noroeste Fluminense: Bacia Hidrográfica do Rio São Domingos – RJ.** 2005. 181f. Dissertação (Mestrado em Geologia) - Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

MENEZES, J.M.; PRADO, R. B.; SILVA JR., G. C. Manejo Inadequado do Solo e Reflexo na Qualidade dos Recursos Hídricos Superficiais e Subterrâneos em São José De Ubá/ Noroeste do Estado do RJ. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE MANEJO E CONSERVAÇÃO DO SOLO E DA ÁGUA, 17., 2008a. **Anais**... Rio de Janeiro: SBCS, 2008a.

MENEZES, J.M.; PRADO, R.B.; SILVA JR., G.C.; FERNANDES, N.F.; LIMA, L.A.; MANSUR, K.L.; MARTINS, A.M.; PIMENTA, T.S.; FREITAS, P.L. Avaliação da Qualidade da Água Superficial e Subterrânea para Irrigação na Bacia Hidrográfica de São Domingos – RJ. CONGRESSO NACIONAL DE IRRIGAÇÃO E DRENAGEM, 15., 2005. **Anais**... Teresina: ABID, 2005. 1 CD-ROM.

MENEZES, J.M.; PRADO, R.B.; SILVA JR., G.C. DA, MANSUR, K.L.; MARTINS, A.M.; TAVARES, N.S.; PIMENTA, T.S.; PEREZ, D.; LIMA, L.A.DE; PINHEIRO, A.; OLIVEIRA, A.J. DE. Avaliação da Qualidade da Água Superficial e Subterrânea na Bacia Hidrográfica do Rio São Domingos - RJ. In: WORKSHOP DE INTEGRAÇÃO DE INFORMAÇÕES OBTIDAS NO ÂMBITO DO PROJETO PRODETAB AQÜÍFEROS. 2006. **Anais...** Rio de Janeiro: Embrapa, 2006.

MENEZES, J.M.; SILVA JR., G.C. DA., SANTOS, R.T. DOS. Hidrogeoquímica de aquíferos fraturados: estudo de caso na bacia hidrográfica do rio São Domingos, Noroeste do Estado do Rio de Janeiro. **Revista Águas Subterrâneas**. Associação Brasileira de Águas Subterrâneas, jan./jun., v. 21, nº. 1, 2007.

MENEZES, J.M.; SOUZA, M.; CRISTO, V.N.; SILVA JR., G.C.; PRADO, R.B. Aplicação do IQA_{ccme} em Aqüíferos do Estado do Rio de Janeiro. In: SIMPÓSIO DE RECURSOS HÍDRICOS DO SUL-SUDESTE, 2., 2008. **Anais**... Rio de Janeiro: ABRH, 2008b. 1 CD-ROM.

MESTRINHO, S.S.P. Introdução ao Monitoramento das Águas Subterrâneas. São Paulo. 2009. Disponível em: <www.sirhesc.sds.sc.gov.br/sirhsc>. Acesso em 22 jul. 2009.

MITCHEL, R.K.; AGLE, B.R.; WOOD, D.J. Toward a Theory of *Stakeholder* Identification and Salience: Defining the Principle of Who and What Really Counts. **Academy of Management Review**, v. 22, n. 4, p. 853-886, 1997.

MOLOZZI, J.; DIAS, A. S.; PINHEIRO, A.; SILVA, M. R. Qualidade da Água Utilizada na Atividade de Rizicultura: Caso do Município de Gaspar/SC. *In*: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 16., 2005, João Pessoa. **Anais**... João Pessoa: ABRH, 2005. 1 CD-ROM.

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

MORRIS, B.L., LAWRENCE, A.R.L., CHILTON, P.J.C., ADAMS, B., CALOW R.C. AND KLINCK, B.A.Groundwater and its Susceptibility to Degradation: A Global Assessment of the Problem and Options for Management. **Early Warning and Assessment Report Series**, RS. 03-3. United Nations Environment Programme, Nairobi, Kenya, 2003.

MUELLER, D.K.; HELSEL D. R. **Nutrients in the Nation's Waters** - Too Much of a Good Thing, Circular 1136, U.S. Geological Survey. 2001.

NHMRC/NRMMC - National Health and Medical Research Council, Natural Resource Management Ministerial Council. **Australian Drinking Water Guidelines 6**. National Water Quality Management Strategy. 2003.

NELSON, D. **Natural Variations in the Composition of Groundwater**. Drinking Water Program. Presented at Groundwater Foundation Annual Meeting Oregon. Department of Human Services. Springfield, Oregon. November, 2002. Disponível em:<http://www.oregon.gov/DHS/ph/dwp/docs/gwater/chem.pdf>. Acesso em: 7 jul. 2009.

NEVES, B.B.B, ALBUQUERQUE, J.P.T. Tectônica e Água Subterrânea em Rochas Pré-Cambrianas do Nordeste do Brasil - A Diversidade do Sistema Aqüífero. Série Científica **Revista do Instituto de Geociências** – USP. São Paulo, 4(2):71-90, 2004.

OLIVEIRA, I. B.; NEGRÃO, F.I.; SILVA, A.G.L.S. Mapeamento dos Aqüíferos do Estado da Bahia Utilizando o Índice de Qualidade Natural das Águas Subterrâneas – IQNAS. Revista Águas Subterrâneas. 2007. *no prelo.*

OLIVEIRA, R.E.S. **Construção de um Sistema de Indicadores da Qualidade das Águas Superfíciais numa Bacia Hidrográfica**. 2006.237f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Municipal). Universidade do Minho. Escola de Engenharia. Disponível em: <http://www.notapositiva.com/monograf/engcivil/mestrado/001constsistindqual.htm>. Acesso em: 18 mar. 2008.

ORAM, B. **Water Quality**. Wilkes University. Environmental Engineering and Earth Science Department. 2009. Disponível em:<http://www.water-research.net/helpguide.htm>. Acesso em: 7 jul. 2009.

PEDROSA, C. A.; CAETANO, F.A. **Águas Subterrâneas**. Brasília: ANA, 2002. 85p.

PINDYCK, R.S.; RUBINFELD, D.L. **Microeconomia**. Tradução: Eleutério Prado e Thelma Guimarães. 6º ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2006.

PRADO, R.B.; LULLO, L.B. Aplicação e Mapeamento de Índice de Qualidade da Água na Bacia Hidrográfica do Rio São Domingos – RJ. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 17., 2007. **Anais**... São Paulo: ABRH, 2007.

PRADO, R.B.; MENEZES, J.M.; MANSUR, K.L.; MARTINS, A.M.; FREITAS, P.L. DE; SILVA JUNIOR, G.C.; CARVALHO, L.G.; PIMENTA, T.S.; LIMA, L.A. Parâmetros de Qualidade da Água e sua Relação Espacial com as Fontes de Contaminação Antrópicas e Naturais: Bacia Hidrográfica do Rio São Domingos – São José de Ubá, RJ. *In*: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 16., 2005, João Pessoa. **Anais**... João Pessoa: ABRH, 2005. 1 CD-ROM.

PRATI, L.; PAVANELLO, R.; PESARIN, F. Assessment of Surface Water Quality by a Single Index of Pollution. **Wat. Res**. v.5, p. 741–751. 1971.

RIBEIRO, M.L.; DEUS, A.B.S.; LUCA,S.J. Bacia Hidrográfica do Rio Caí/ RS: Índices Podem Mascarar Avaliação da Qualidade da Água. *In*: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 20., 1999, Rio de Janeiro. **Anais**... Rio de Janeiro: ABES, 1999. Disponível em:<http://www.bvs.br/php/index.php>. Acesso em: 28 nov. 2008.

RIZZI, N.E. Índices de qualidade de água. **Sanare. Revista Técnica da Sanepar**, Curitiba, v.15, n.15. p.11-20, jan./jun. 2001.

SÁNCHEZ, E.; COLMENAREJO, M.F.; VICENTE, J., RUBIO, A.; GARCÍA, M.G., TRAVIESO, L.; BORJA, R. Use of the Water Quality Index and Dissolved Oxygen Deficit as Simple Indicators of Watersheds Pollution. **Ecological Indicators**. v. 7, n. 2, p. 315-328. 2007.

SANTOS. Noções de Hidroquímica. *In* FEITOSA, F.A.C.;MANOEL FILHO, J. **Hidrogeologia: Conceitos e Aplicações**. Fortaleza: CPRM, 2000, p. 81-102.

SCHOELLER, H. **Hydrogéologie. Inst. Français du pétrole.** França: 1955, vol. 2, 251p.

SCHOELLER, H. **Les eaux souterraines**. França: Ed. Masson & Cie. 1962. 642p.

SENA, M.C.; ROCHA, S.R.A.G.; MARTINS, M.A.L.; CALLADO, N.H.; HARRY, N.M.M.M. Monitoramento da Qualidade da Água no Riacho das Águas do Ferro em Maceió/ AL. *In*: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 16., 2005, João Pessoa. **Anais**... João Pessoa: ABRH, 2005. 1 CD-ROM.

SILVA, R.L.B.; BARRA, C.M.; MONTEIRO, T.C.N.; BRILHANTE, O.M. Estudo da Contaminação de Poços Rasos por Combustíveis Orgânicos e Possíveis Conseqüências para a

Saúde Pública no Município de Itaguaí, Rio de Janeiro, Brasil. **Caderno Saúde Pública**, Rio de Janeiro, v.18, n.6, p.1599-1607, 2002.

SIMÕES, F.S.; YABE, M.J.S.; MOREIRA, A.B.; BISINOTI, M.C. Avaliação do Efeito da Piscicultura em Sistemas Aquáticos em Assis e Cândido Mota, São Paulo, Por Indicador de Qualidade da Água e Análise Estatística Multivariada. **Quim. Nova**, v. 30, n. 8, p. 1835-1841. 2007. Disponível em: <http://quimicanova.sbq.org.br/qn/qnol/2007/vol30n8/07-AR06360.pdf>. Acesso em: 1º dez. 2008.

SINGH, K.P., SINGH, V.K., MALLIK, A., BASANT N. Distribution of nitrogen species in groundwater aquifers of an industrial area. **Environ Geochem Health** 28, p. 473–485. 2005.

SMEDLEY, P.L.; KINNIBURGH, D.G. A review of the source, behaviour and distribution of arsenic in natural waters. **Applied Geochemistry** 17, 517-568. 2002.

SMITH, D.G. A New Form of Water Quality Index for Rivers and Streams. **Wat. Sci. Tech**., New Zealand, v.21, n. 2, p. 123-127**.** 1987.

_____ A Better Water Quality Indexing System for Rivers and Streams. **Water Research**, v. 24, n.10, p. 1237 – 1244, 1990.

SOUTO D.F. **Exposição ao manganês.** Associação Brasileira de Medicina do Trabalho. Disponível em:<http://www.sobes.org.br>.Acesso em: 11 jul. 2005.

SOUSA, I.V.A.; SOUZA, R.O.; PAULINO, W.D. Cálculo do Índice de Qualidade de Água em Reservatórios Tropicais com Estudo de Caso no Acarape do Meio. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 17., 2007. **Anais**... São Paulo: ABRH, 2007. 1 CD-ROM.

SOUZA, M.; FARIA, D.L.P.; MENEZES, J.M.; SILVA JR., G.C. Avaliação da Qualidade da Água de Aqüíferos do Estado do Rio de Janeiro pelo Método IQA_{CCME}. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 46., 2008, Curitiba. **Anais**... Curitiba: SBG, 2008. 1 CD – ROM.

STIGTER, T.Y.; RIBEIRO, L.; CARVALHO DILL, .A.M.M**.** Application of a Groundwater Quality Index as an Assessment and Communication Tool In Agro-Environmental Policies – Two Portuguese Case Studies. **Journal of Hydrology.** 327, p. 578– 591. 2006.

TAYLOR, R.G; HOWARD K.W.F. The influence of Tectonic Setting on the Hydrological Characteristics of Deeply Weathered Terrains: Evidence from Uganda. **Journal of Hydrology**, 218, p. 44-71, 1999.

TOLEDO, L.G.; NICOLELLA, G. Water Quality Index For Agricultural And Urban Watershed Use. **Sci. agric. (Piracicaba, Braz.)**, Jan./Mar. 2002, v.59, n.1, p.181-186. ISSN 0103-9016.

TRÖGER, U, CAMPOS, J.E.G., PETERSEN, F., VÖCKLER, H. Groundwater Occurrence in Fractured Metamorphic Rocks – Quality and Quantity, an example from North East Brazil. In: **Proc. Intern. Conf. on Groundwater in Fractured Rocks**, Prague, Czech Rep. (1): 21-23, 2003.

USEPA – U.S. Environmental Protection Agency. **Estimated Per Capita Water Ingestion in the United States**. 2004. Disponível em: <www.epa.gov/safewater>. Acesso em: 29 abr. 2005.

_____ National Primary Drinking Water Standards. 2009. Disponível em: <www.epa.gov/safewater>. Acesso em: 29 jul. 2009.

VINHA, V.G.DA. Estratégias empresariais e a gestão do social: o diálogo com os grupos de interesse (stakeholder). In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENERGIA, 2002, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro.

WARNER, J. Multi-*Stakeholder* Platforms: integrating society in water resource management? **Ambiente & Sociedade**, v. 8, n. 2, jul./dez. 2005.

WSC - Water Systems Council. Protecting Groundwater through Agricultural Best Management Practices. **Wellcare® Information**. Disponível em:<http://www.watersystemscouncil.org/documents/AgriculturalBMPOverview.pdf>. Acesso em: 7 jul. 2009.

WHO - World Health Organization. **Protecting Groundwater for Health Managing the Quality of Drinking-water Sources**. Edited by Oliver Schmoll, Guy Howard, John Chilton and Ingrid Chorus. London, Seattle: IWA. 2006a. 663p. ISBN 92 4 154668 9

_____ Guidelines for drinking - water quality. 3º ed. Geneva: WHO, 2006b. Disponível em: <http://www.who.int/water_sanitation_health >. Acesso em: 12 jan. 2007.

WRIGHT, J.T.C.; GIOVINAZZO, R.A. *Delphi*: uma ferramenta de apoio ao planejamento prospectivo. **Cadernos de Pesquisa em Administração**, São Paulo, v. 1, n. 12, p. 54-65, 2000. Disponível em: <http://www.regeusp.com.br>. Acesso em: 20 fev. 2007.

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

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS DE CITAÇÕES INDIRETAS

BASCARAN, G.M. Estabelecimiento de una Metodologia para Conocer la Calidad del Agua. *In*: ***Boletin Informativo del Medio Ambiente***. 1979. p. 30-49.

DERÍSIO, J.C. **Introdução ao controle da poluição ambiental.** São Paulo: CETESB. 1992. 201p.

EEA - European Environment Agency. 1999a. **Sustainable Water Use in Europe**: Part 1: Sectoral use of water. Topic Report 1. European Environment Agency. Copenhagen.

FERNANDES, R.A. **Gestão Integrada de Águas Subterrâneas: Critérios Gerais Orientadores para Definição e Caracterização de Áreas Estratégicas de Abastecimento**. 2005. 494p. Tese de Doutorado. Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental da Escola de Engenharia da UFMG, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2005.

HAASE, J., KRIEGER, J.A.H., POSSOLI, S. Estudo da viabilidade do uso da técnica de análise fatorial como um instrumento na interpretação da qualidade da água da bacia hidrográfica do Guaiba, RS, Brasil, **Ciências e Cultura SBPC**, v. 41, n. 6, p. 576 – 582, 1989.

KÖPPEN, W. **Climatologia**. México, D.F.: Fondo de Cultura Económica, 1948. 478 p.

MANO, A.P. **Contribuição para o Estudo da Aplicabilidade de Índices de Qualidade da Água.** 1989. Dissertação de Mestrado. Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Nova de Lisboa, Lisboa, Portugal.

PINHEIRO, A. Monitoramento e Avaliação da Qualidade das Águas *In:* **Avaliação e contabilização de impactos ambientais.** ROMEIRO, A.R. 1ª ed. Campinas: Editora da Unicamp. p. 55-73. 2004.

ANEXOS

Anexo 1 – POÇOS PROFUNDOS X VAZÃO 1

Anexo 2 – QUESTIONÁRIO APLICADO 2

Anexo 3 – FOLDER DISTRIBUÍDO 3

Anexo 4 – POSSIVEÍS PARÂMETROS PARA COMPOR O IQAS 5

Anexo 5 –ANÁLISES FÍSICO-QUÍMICAS E MICROBIOLÓGICAS 6

Anexo 6 – PADRÕES DE POTABILIDADE – DIVERSOS 20

Anexo 7 – IDR, IDA E VALORES COMUMENTE ENCONTRADOS 21

Anexo 8 – IQAS – CATEGORIZAÇÃO – 1ª ABORDAGEM 22

Anexo 9 – IQAS – CATEGORIZAÇÃO – 2ª ABORDAGEM 23

Anexo 10 – PADRÕES DE POTABILIDADE – SEQ EAUX SOUTERRAINES 24

Anexo 11 – MÉDIA E DESVIO PADRÃO DOS POÇOS 25

Anexo 12 – GRÁFICOS DE FREQUÊNCIA ACUMULADA – P. TUBULARES 29

Anexo 13 – GRÁFICOS DE FREQUÊNCIA ACUMULADA – P. ESCAVADOS 32

ANEXO 1 – POÇOS PROFUNDOS X VAZÃO

Poços profundos cadastrados na BHRSD que possuem dados de vazão.

Nº	Localidade	Fonte	Empresa	UTM N	UTM E	Município	Profundidade	Vazão litros/hora	Classificação da favorabilidade segundo CPRM (2001)
1	Brejinho	Hidrosonda	Hidrosonda	7627032	192654	S.J.Ubá	65	13.200	Alta a muito alta (maior que 5m³/h)
2	Cambiocó	Hidrosonda	Hidrosonda	7630671	196990	S.J.Ubá	100	13.478	Alta a muito alta (maior que 5m³/h)
3	Cambiocó II	Proj. "Vulnerabilidade de Aquiferos"	Hidrosonda	---	---	S.J.Ubá	---	17.200	Alta a muito alta (maior que 5m³/h)
4	Campo Grande	Hidrosonda	Hidrosonda	7630512	190752	S.J.Ubá	56	14.400	Alta a muito alta (maior que 5m³/h)
5	Capelinha	Hidrosonda	Hidrosonda	7633374	195549	S.J.Ubá	80	4.200	Mediana (1 a 5m³/h)
6	Capelinha II	Hidrosonda	Hidrosonda	---	---	S.J.Ubá	100	2.913	Mediana (1 a 5m³/h)
7	Centro	CPRM - Proj. "RJ"	---	7635193	194693	S.J.Ubá	114	7.000	Alta a muito alta (maior que 5m³/h)
8	Cruz da Moça	Hidrosonda	Hidrosonda	7636916	191721	S.J.Ubá	50	14.000	Alta a muito alta (maior que 5m³/h)
9	Genipapo	Hidrosonda	Hidrosonda	7628283	190279	S.J.Ubá	106	2.460	Mediana (1 a 5m³/h)
10	Horto Florestal	Hidrosonda	Hidrosonda	7635929	196924	S.J.Ubá	90	2.250	Mediana (1 a 5m³/h)
11	Mangueirão	Hidrosonda	Hidrosonda	7636511	190912	S.J.Ubá	90	6.711	Alta a muito alta (maior que 5m³/h)
12	Panelão	Hidrosonda	Hidrosonda	7638961	192384	S.J.Ubá	100	40.000	Alta a muito alta (maior que 5m³/h)
13	Ponte Preta	Hidrosonda	Hidrosonda	7640394	202639	S.J.Ubá	100	9.990	Alta a muito alta (maior que 5m³/h)
14	Santa Maria	Hidrosonda	Hidrosonda	7632480	198863	S.J.Ubá	60	4.000	Mediana (1 a 5m³/h)
15	Santa Maria II	Proj. "Vulnerabilidade de Aquiferos"	Hidrosonda	7632315	198332	S.J.Ubá	---	3.200	Mediana (1 a 5m³/h)
16	Santa Maria III (CPRM)	CPRM - Proj. "RJ"	Geoplan	7632415	198800	S.J.Ubá	76	80.000	Alta a muito alta (maior que 5m³/h)
17	Valão de Areia (CPRM)	CPRM - Proj. "RJ"	---	7630949	197408	S.J.Ubá	40	9.000	Alta a muito alta (maior que 5m³/h)
Média							82	14.353	
Desvio Padrão							23	19.189	

--- Dado não disponível.

ANEXO 2 – QUESTIONÁRIO APLICADO

Questionário aplicado junto à população usuária das águas provenientes de poços

PRODETAB Bacias Hidrográficas Data: _____/_____/_____

Cadastro dos pontos de monitoramento da água na Bacia do Rio São Domingos –RJ

1) Número:_____

2) Poço raso ☐ Nascente ☐ _____ ☐
Poço profundo ☐ Barragem ☐

3) Município: São José de Ubá ☐ Itaperuna ☐

4) Sub-bacia:_____

5) Coordenadas
x:_____ y: _____

6) Referência do ponto_____
_____
_____

7) Profundidade:_____ 8) Quando foi perfurado:_____

9) Nível d'água:_____ 10) Vazão:_____

11) Extensão (barragem):_____

12) O poço nunca secou ☐ O poço já secou ☐ Quando: _____
O poço já rebaixou muito ☐ Quando: _____

13) Temperatura: Máx._____ Mín._____

14) Ce:_____ 15) pH:_____

16) Quantas famílias fazem uso dessa água:_____
Quantas pessoas:_____

17) Finalidades: Beber/cozinhar SEM FILTRAR ☐ Beber/cozinhar FILTRADA ☐ Casa ☐
Agricultura ☐ Animais ☐ _____ ☐

18) Você considera a água que utiliza para beber e para os afazeres domésticos de boa ou de má qualidade?
Boa ☐ Má ☐
_____

19) Nome do entrevistado:_____
20) Nome do proprietário:_____

ANEXO 3 – FOLDER STRIBUÍDO

A cloração (colocar água sanitária na água) é um dos tratamentos mais eficientes para tratar a água e impedir a proliferação das principais doenças infecciosas. Porém, determinados micro-organismos (amebas e giárdias que causam diarréias), que são muito comuns em nosso meio, resistem ao cloro, por isso é necessário filtrar a água de beber e lavar alimentos.

Depois disso, a água está em condições de ser utilizada pela população para beber e cozinhar, lavar frutas e verduras, etc.

Por que tratar a água antes de beber?

Porque várias doenças são transmitidas pela água contaminada. As principais doenças relacionadas à água são: Cólera, Febre tifóide, Giardíase, Amebíase, Hepatite infecciosa, Diarréia aguda infecciosa.

FIQUE LIGADO:

Mantenha seu poço lacrado.
Tenha cuidado com as fossas, elas devem ficar bem distantes dos poços.
Fique atento com os animais, eles não devem ficar próximos aos poços.
Cuidado com os produtos químicos utilizados na agricultura, eles contaminam os solos e as águas e causam doenças graves nos seres humanos.

As dicas apresentadas foram retiradas do Guia SUS – cidadão 2003 (http://www.saude.rj.gov.br) e da aula 39 do Telecurso 2000 (www.telecurso2000.org.br).

Você consome água potável?

Projeto Vulnerabilidade Aqüíferos

Realização:
UFRJ (Universidade Federal do Rio de Janeiro), Embrapa Solos (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária), FEEMA Campos (Fundação Estadual de Engenharia do Meio Ambiente) e INT (Instituto Nacional de Tecnologia).

Água Potável

Você sabe o que é água potável? É a água que pode ser consumida sem oferecer perigo à saúde do ser humano.

Água da Rede Pública

Quando a água que abastece sua casa é de rede geral, ou seja, que vem canalizada e tratada por uma companhia de abastecimento, como por exemplo, a CEDAE - Companhia Estadual de Água e Esgoto, você não precisa usar nenhum produto para utilizá-la, porém recomenda-se filtrá-la tanto para o preparo de alimentos, como para bebê-la.

Quando a água estiver com aparência, cheiro ou sabor alterado, evite usá-la para beber e preparar alimentos; e entre em contato com a companhia que abastece a sua comunidade, informando as alterações observadas.

Lembre-se de que a água tratada que vem da companhia fica armazenada em caixas de água, cisternas ou galões de plástico, que devem ser limpos de 6 em 6 meses, uma vez que a água aos poucos perde o cloro, devido aos materiais que se depositam no fundo dos reservatórios (lodo), favorecendo a contaminação da água.

Água obtida de outras fontes: como tratar para consumir

Quando a água que abastece a sua casa for de poços, fontes, minas, cacimbas, rios e açudes, você deve filtrá-la e tratá-la com uma solução de hipoclorito de sódio 2,5%, que é equivalente à água sanitária.

Como fazer o tratamento da água

1ª etapa: Para remover partículas grandes. Use como filtro uma toalha limpa apoiando-a em uma vasilha limpa .

2ª etapa: Recolha a água da primeira filtração e coloque em um filtro de barro que possua vela, ou então use um filtro de coar café com o suporte e recolha a água em um vasilhame limpo.

3ª etapa: Faça o tratamento da água conforme tabela a seguir:

HIPOCLORITO DE SÓDIO 2,5% (Água Sanitária)			
Volume da água	**Dosagem**	**Medida Prática**	**Tempo de Contato**
1000 LITROS	100 ml	2 copinhos de café descartáveis	30 minutos
200 LITROS	15 ml	1 colher de sopa	30 minutos
20 LITROS	2 ml	1 colher de chá	30 minutos
1 LITRO	00,5 ml	2 gotas	30 minutos

ANEXO 4 – POSSIVEÍS PARÂMETROS PARA COMPOR O IQAS

Lista com os possíveis parâmetros para a composição do IQAS pretendido.

Parâmetros
Alcalinidade
Alumínio
Cálcio
Cloreto
Condutividade Elétrica
Dureza
Magnésio
pH
Potássio
Sódio
Sólidos Totais Dissolvidos
Sulfato
Amônia
Bário
Boro
Carbono Orgânico Dissolvido
Ferro
Fluoreto
Fósforo Total
Manganês
Nitrato
Nitrito
Coliformes Termotolerantes
Turbidez
Arsênio
Chumbo
Níquel
Selênio
Organoclorados
Aldrin
Lindano
Metolocloro
Endossulfan (α e β)
Organofosforados
Clorpirifós
Diazinon
Diclorvós
Fenitrotion
Fentoato
Malation
Metilparation

ANEXO 5 –ANÁLISES FÍSICO-QUÍMICAS E MICROBIOLÓGICAS

*Resultado das análises de Temperatura, pH, Alcalinidade, Coliformes e ânions da coleta de **Outubro de 2004**.*

ID	Temp. Média	pH in situ	pH	CE in situ	Alcalinidade total CaCO3	Coliformes totais	Coliformes fecais	Fluoreto	Cloreto	Nitrito	Brometo	Nitrato	Fosfato	Sulfato
	ºC			mS/cm	mg/L	NMP	NMP	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L
2N	22,45		6,56		170			0,21	10,73	0	0	2,59	0	6,81
7N		6,73	7,15	0,16	86	50	4	0,61	5,85	0	0	3,23	0	4,46
25N	28,60	6,60	7,14	0,12	37	1600	170	0,18	7,57	0	0	0,95	0	11,90
33N	34,55	5,96	6,68	0,10	30	500	23	0,31	2,89	0	0	6,13	0	3,27
34N	28,85	5,34	5,84	0,11	9			0,04	11,83	0	0	10,07	0	0,69
35N	26,60	6,12	6,86	0,14	52	300	23	0,53	6,49	0	0	1,10	0	12,11
38N	27,95	6,86	7,29	0,30	92	30	0	0,79	3,85	0	0	4,78	0,12	38,48
40N		6,09	6,52	0,13	44			0,38	3,75	0	0	4,03	0	5,31
41N	31,40	5,92	6,58	0,10	60	900	80	0,40	4,75	0	0	2,60	0,64	1,89
43N	30,55	6,82	7,43	0,16	70	80	13	0,38	6,61	0	0	4,46	0,18	5,06
52N		6,05	6,61	0,17	40	80	4	0,34	16,87	0	0	5,20	0	5,03
8R		6,59	7,27			900	80	1,33	14,32	0	0,10	2,29	0	13,36
11R	26,55	6,13	6,77	0,20	88	1600	110	0,21	7,97	0	0,09	0,51	0	12,88
12R	28,70	6,69	7,08	0,43	188	500	50	1,68	20,16	0	0,08	6,19	0,65	11,98
13R	29,00	5,98	6,62	0,22	55	240	13	0,25	25,18	0	0	14,99	0,42	7,45
14R		6,41	6,84	0,21	80	900	130	0,83	13,00	0	0,08	9,09	0,44	18,41
15R		6,39	6,85	0,35	123	30	0	0,50	18,09	0	0	2,79	0	18,55
16R	30,60	6,28	6,78	0,47	83	0	0	0,62	52,78	0	0,17	12,16	0	45,86
18R		6,30	6,67	0,32	97	500	30	0,52	21,83	0,06	0,09	13,27	0	11,11
19R		6,64	7,11	0,31	120	900	110	0,85	19,99	0	0,07	3,42	0,34	12,37
20R		5,62	6,24	0,77	29	900	80	0,13	201,44	0	0,12	7,36	0	2,71
21R		6,82	7,37	0,20	82	5000	300	0,18	10,65	0	0	5,20	0,10	1,12

Continuação da tabela anterior...

*Resultado das análises de Temperatura, pH, Alcalinidade, Coliformes e ânions da coleta de **Outubro de 2004**.*

ID	Temp. Média	pH in situ	pH	CE in situ	Alcalinidade total $CaCO_3$	Coliformes totais	Coliformes fecais	Fluoreto	Cloreto	Nitrito	Brometo	Nitrato	Fosfato	Sulfato
	ºC			mS/cm	mg/L	NMP	NMP	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L
23R		7,30	7,74	1,01	309	500	30	0,28	80,55	2,25	0,13	3,68	1,44	22,00
24R	30,35	6,39	7,09	0,66	140	240	23	0,39	54,50	0	0,15	17,92	0	109,37
25R	23,85	5,77	7,60	0,09	25	16000	900	0,13	4,26	0	0	1,32	0	2,55
26R	28,65	6,06	6,76	0,28	63	300	23	0,34	33,97	0	0,14	16,05	0,20	2,88
27R	28,65	6,62	7,18	0,33	127	1600	24	0,29	20,63	0	0,09	19,87	0	13,93
28R	31,25	6,06	6,65	0,11	37	500	80	0,58	7,03	0	0	3,00	0,57	1,80
29R	33,90	6,46	7,02	0,17	69	3000	300	0,31	10,82	0	0	6,10	0,31	3,31
31R	23,80	5,22	5,85	0,12	11	300	13	0,02	22,37	0	0,08	1,63	0	2,51
36R	31,55	6,31	7,04	0,42	138	300	30	0,92	60,94	0	0,18	15,72	0	10,44
39R	32,00	6,42	6,62	0,23	81	80	23	0,80	5,22	0	0	6,63	0,20	14,60
43R	27,00	6,75	7,44	0,82	271			1,28	134,17	0	0,16	4,68	0	133,77
44R	27,30	6,91	7,56	0,88	329			0,86	64,08	0	0,14	5,07	0,37	64,78
48R	27,95	5,95	6,62	0,14	56			0,59	5,55	0	0,00	4,17	0	3,96
52R		6,06	6,78	0,28	43	0	0	0,28	44,55	0	0,17	8,51	0	10,37
53R		5,94	6,39	0,26	58	80	8	0,14	29,56	0	0,14	17,74	0	6,40
2P	22,70		6,62		89	300	23	0,27	20,82	0	0,08	0,00	0	6,50
7P		7,35	7,70	0,44	191	3000	300	0,93	30,20	0	0,10	3,70	0,19	25,35
4P		7,16	7,56	0,81	316	80	8	0,69	40,51	0	0,15	1,76	0	140,48
6P		6,31	6,74	0,35	78	3000	300	0,82	41,39	0	0,12	2,73	0,24	17,98
8P		6,88	7,24	0,35	128	240	23	0,88	25,86	0	0,11	0,97	0	37,23
12P		6,99	7,44	1,64	541	80	13	0,49	23,40	0	0,07	1,04	0	354,49
12PD		7,14	7,52	1,64	460			0,47	18,72	0	0,03	1,03	0	335,22
17P	30,60	6,31	7,79	0,30	140	0	0	0,25	17,99	0	0	0,19	0	12,38
19P	30,10	6,60	7,09	0,65	170	4	0	0,43	26,13	0	0,09	0	0	118,18
20P	30,55	6,51	7,12	0,44	173	900	50	0,53	19,19	0	0,14	1,90	0	22,20
21P	26,20	6,43	7,10	0,63	180	23	8	1,08	53,09	0	0,16	8,08	0	79,27
21P		6,40	7,20	0,66	170			1,04	52,75	0	0,16	7,81	0	75,84

ID= identificação, N= nascente, R= poços rasos, P= poços profundos, S=pontos superficiais.

Resultado das análises dos cátions e dos sólidos totais, suspensos e dissolvidos da coleta de ***Outubro de 2004****.*

ID	Ca	Mg	K	Na	B	Mn	Fe	Zn	Cu	Cr	Co	Ni	Al	Cd	Pb	Mo	Ba	Sr	Li	Si	Sb	As	V	Se	Sól. Totais	Sól. em Suspensão	Sól. Dissolvidos
	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L
2N	9,750	7,160	1,630	11,1	0,413	0,002	0,003	0,002	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	0,099	0,055	ND	18,000	ND	ND	0,001	ND	161,00	8,00	153,00
7N	8,300	10,100	0,582	17,1	0,399	0,001	0,001	0,001	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	0,035	0,083	0,003	17,500	ND	ND	0,003	ND	175,00	8,00	167,00
25N	2,750	2,770	0,413	16,9	0,352	0,002	0,341	0,001	ND	ND	ND	ND	1,190	ND	ND	ND	0,046	0,030	ND	8,110	ND	ND	0,001	ND	137,00	4,00	133,00
33N	2,250	1,730	0,453	9,75	0,310	0,004	0,007	0,003	ND	0,002	0,002	ND	0,012	ND	0,008	ND	0,056	0,021	0,002	18,600	ND	ND	ND	ND	143,00	4,00	139,00
34N	1,420	1,320	1,130	9,77	0,236	0,010	0,008	0,013	ND	0,004	0,005	0,004	0,017	ND	ND	ND	0,083	0,013	0,004	16,700	ND	ND	ND	ND	111,00	2,00	109,00
35N	4,130	2,890	0,200	20	0,993	0,004	1,610	0,004	ND	0,002	ND	ND	4,180	ND	ND	ND	0,049	0,036	0,004	16,100	ND	ND	ND	ND	222,00	4,00	218,00
38N	8,770	10,700	0,661	33,1	0,437	0,005	0,012	0,004	0,002	ND	0,003	ND	ND	ND	0,013	ND	0,044	0,043	ND	22,500	ND	ND	0,002	ND	214,00	8,00	206,00
40N	4,500	4,400	0,477	11,6	0,422	0,036	0,154	0,006	ND	ND	ND	ND	0,012	ND	ND	ND	0,038	0,041	ND	18,500	ND	ND	ND	ND	1860,00	52,00	1808,00
41N	3,090	1,360	0,478	11,600	0,271	0,007	0,105	0,007	ND	0,002	ND	ND	0,207	ND	ND	ND	0,028	0,030	0,002	25,900	ND	ND	0,002	ND	182,00	6,00	176,00
43N	3,650	2,330	0,113	30,900	0,735	ND	0,047	ND	ND	0,007	ND	ND	0,030	ND	ND	ND	0,030	0,025	0,005	33,500	ND	ND	0,006	ND			
52N	4,490	2,970	3,720	19,3	0,412	ND	0,003	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	0,170	0,043	ND	18,600	ND	ND	ND	ND	123,00	2,00	121,00
8R	7,040	9,360	0,405	45,9	0,435	0,026	0,006	0,004	ND	ND	ND	ND	0,015	ND	ND	ND	0,081	0,076	ND	17,300	ND	ND	ND	ND	256,00	2,00	254,00
11R	10,400	8,620	0,669	18,9	0,318	0,001	0,002	0,002	0,003	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	0,142	0,118	ND	11,600	ND	ND	ND	ND	188,00	12,00	176,00
12R	5,500	4,760	1,030	38,1	0,392	0,000	0,002	0,009	ND	ND	ND	ND	0,039	ND	ND	ND	0,068	0,050	0,003	21,900	ND	ND	ND	ND	239,00	2,00	237,00
13R	9,680	4,230	0,339	28	0,4	0,004	0,023	0,018	ND	ND	ND	ND	0,006	ND	ND	ND	0,290	0,173	0,005	22,000	ND	ND	0,001	ND	237,00	2,00	235,00
14R	15,000	12,300	0,882	77,7	0,575	0,007	0,003	0,006	0,002	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	0,262	0,273	0,001	23,300	ND	ND	0,007	ND			
15R	18,200	17,200	0,626	26,2	0,552	0,100	0,002	0,006	0,004	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	0,045	0,122	0,001	20,900	ND	ND	0,002	ND			
16R	11,100	14,100	8,200	50,8	0,471	0,044	0,002	0,010	0,002	ND	ND	ND	0,004	ND	0,005	ND	0,103	0,149	0,001	19,500	ND	ND	0,001	ND	364,00	6,00	358,00
18R	8,050	8,270	0,377	42,9	0,47	0,044	0,043	0,007	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	0,271	0,126	0,003	26,300	ND	ND	ND	ND	214,00	16,00	208,00
19R	9,700	9,500	0,310	40,1	0,463	0,007	0,026	0,001	0,001	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	0,097	0,078	0,004	27,200	ND	ND	0,004	ND	250,00	6,00	244,00
20R	37,200	22,400	1,960	57,9	0,544	0,229	0,007	0,007	0,003	ND	0,006	0,010	0,033	ND	ND	ND	1,230	0,505	0,014	18,400	ND	ND	ND	ND	714,00	6,00	708,00
21R	15,800	7,980	2,120	9,07	0,382	0,006	0,022	0,003	0,001	ND	ND	ND	0,007	ND	ND	ND	0,111	0,073	0,003	24,300	ND	ND	0,004	ND	165,00	6,00	159,00

Continuação da tabela anterior...

*Resultado das análises dos cátions e dos sólidos totais, suspensos e dissolvidos da coleta de **Outubro de 2004**.*

ID	Ca	Mg	K	Na	B	Mn	Fe	Zn	Cu	Cr	Co	Ni	Al	Cd	Pb	Mo	Ba	Sr	Li	Si	Sb	As	V	Se	Sól. Totais	Sól. em Suspensão	Sól. Dissolvidos
	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L
23R	63,400	26,600	44,800	59,8	0,686	0,764	0,044	0,013	0,003	ND	0,003	ND	ND	ND	ND	ND	0,227	0,564	ND	13,800	ND	ND	ND	ND	368,00	2,00	366,00
24R	37,600	18,000	2,430	74,8	0,637	0,104	0,214	0,003	0,004	ND	0,006	0,004	0,489	ND	ND	ND	0,188	0,303	0,004	15,100	ND	ND	0,003	ND	559,00	20,00	539,00
25R	3,020	1,350	0,611	7,72	0,326	0,522	0,262	0,004	ND	ND	0,003	ND	0,658	ND	ND	ND	0,093	0,034	ND	10,900	ND	ND	ND	ND	181,00	6,00	175,00
26R	10,050	11,400	0,531	21,5	0,443	0,601	0,007	0,027	0,002	ND	0,004	0,003	ND	ND	ND	ND	0,116	0,069	0,005	24,600	ND	ND	ND	ND	252,00	2,00	250,00
27R	30,20	8,62	4,04	21	0,809	0,008	0,268	0,048	0,01	0,008	ND	ND	0,131	ND	ND	ND	0,2	0,267	0,002	12,9	ND	ND	ND	ND	30,20	9,19	4,50
28R	2,360	0,814	0.696	17,1	0,299	0,001	0,008	0,019	ND	0,002	ND	ND	0,010	ND	ND	ND	0,035	0,028	0,003	26,600	ND	ND	0,004	ND	153,00	14,00	139,00
29R	10,040	2,760	1,140	20,2	0,364	0,025	0,058	0,001	ND	0,001	ND	ND	0,016	ND	ND	ND	0,167	0,041	0,002	24,600	ND	ND	0,002	ND	260,00	8,00	252,00
31R	0,909	1,840	1,360	12,3	ND	0,028	0,005	0,009	ND	ND	0,002	ND	0,020	ND	ND	ND	0,136	0,018	0,001	8,460	ND	ND	ND	ND	3146,00	12,00	3124,00
36R	18,700	14,700	0,872	48,2	0,443	0,056	0,002	0,001	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	0,171	0,285	ND	18,800	ND	ND	ND	ND	322,00	6,00	316,00
39R	6,100	8,670	0,717	26	0,408	0,004	0,014	0,008	0,002	ND	ND	ND	ND	ND	0,006	ND	0,012	0,050	0,002	25,400	ND	ND	0,005	ND	188,00	14,00	174,00
43R	45,700	24,600	1,350	88,6	0,627	0,015	0,004	0,003	0,004	ND	ND	ND	0,009	ND	ND	ND	0,072	0,225	0,013	20,600	ND	ND	0,007	ND	223,00	10,00	213,00
44R	46,400	34,000	1,600	85,8	0,686	0,004	0,026	0,003	0,005	ND	0,001	ND	0,074	ND	0,006	ND	0,047	0,281	0,012	22,300	ND	ND	0,004	ND	580,00	6,00	574,00
48R	2,910	2,190	0,326	22	0,305	0,004	0,067	0,004	ND	0,001	ND	ND	0,141	ND	0,006	ND	0,034	0,032	ND	25,400	ND	ND	0,002	ND	206,00	2,00	204,00
52R	5,950	5,190	0,482	34,7	0,312	0,003	0,002	0,003	0,002	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	0,072	0,033	0,007	21,100	ND	ND	0,001	ND	236,00	8,00	228,00
53R	16,100	5,320	1,480	22,3	0,210	0,045	0,008	0,005	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	0,168	0,197	ND	20,400	ND	ND	ND	ND	232,00	2,00	230,00
2P	13,9	10,800	1,35	19,2	5,06	3,390	9,330	0,024	ND	ND	ND	ND	0,006	ND	ND	ND	0,352	0,166	ND	15,900	ND	ND	ND	ND	392,00	8,00	384,00
7P	40,3	12,300	1,89	57,2	0,806	0,002	0,004	0,020	ND	ND	ND	ND	0,005	ND	ND	ND	0,138	0,536	0,008	22,000	ND	ND	0,002	ND	2447,00	4,00	2443,00
4P	96,2	19,300	2,89	71,6	0,988	0,211	0,014	0,007	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	0,099	20,500	0,017	20,600	ND	ND	ND	ND	711,00	2,00	709,00
6P	9,130	7,220	1,380	49,9	0,49	0,032	0,020	0,004	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	0,032	0,092	0,011	223,600	ND	ND	ND	ND	469,00	26,00	443,00
8P	15,3	9,990	1,14	58	0,986	0,142	0,559	0,007	0,001	ND	ND	ND	0,004	ND	ND	0,001	0,033	0,224	0,008	24,500	ND	ND	ND	ND	322,00	20,00	302,00
12P	220,0	69,100	5,000	46,3	1,47	0,508	0,025	0,013	0,004	ND	ND	0,006	ND	ND	ND	ND	0,070	8,730	0,055	32,700	ND	ND	ND	ND	1048,00	10,00	1038,00
12PD	217,0	69,800	5,040	45,8	1,36	0,467	0,012	0,016	0,004	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	0,074	ND	0,055	32,700	ND	ND	ND	ND	1387,00	4,00	1383,00
17P	34,900	12,100	2,170	12,8	0,522	0,036	0,064	0,002	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	0,086	1,400	0,007	21,000	ND	ND	ND	ND			
19P	47,300	28,700	2,700	42,5	1,79	0,223	2,180	0,005	ND	ND	0,001	ND	ND	ND	ND	ND	0,062	0,468	0,020	27,900	ND	ND	ND	ND			
20P	32,700	15,400	1,910	35,2	0,628	0,052	0,007	0,142	0,003	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	0,099	0,106	0,006	23,800	ND	ND	0,003	ND	385,00	2,00	382,00
21P	37,800	19,400	2,150	73,6	0,723	0,356	0,006	0,010	0,005	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	0,044	0,446	0,021	24,800	ND	ND	ND	ND	501,00	14,00	497,00
21P	37,400	19,200	2,120	73,1	0,710	0,299	0,005	0,014	0,005	ND	ND	ND	ND	ND	0,005	ND	0,040	0,442	0,021	21,600	ND	ND	ND	ND	451,00	12,00	439,00

ID= identificação, N= nascente, R= poços rasos, P= poços profundos, S=pontos superficiais.

Resultado das análises de Temperatura, pH, Alcalinidade, Coliformes e ânions da coleta de ***Abril de 2005****.*

ID	Temp. Média	pH in situ	pH	CE in situ	Alcalinidade total CaCO3	Coliformes totais	Coliformes fecais	Salinidade	Fluoreto	Cloreto	Nitrito	Brometo	Nitrato	Fosfato	Sulfato	Fósforo
	ºC			mS/cm	mg/L	NMP	NMP		mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L
7N	27,700	6,320	6,800	0,181	81,000	1600,000	240,000	ND	0,550	5,620	0,010	0,020	3,740	0,150	3,240	ND
15N	28,400	5,900	6,450	0,930	74,600	240,000	13,000	ND	0,510	7,510	0,010	0,050	4,830	0,130	7,040	ND
20N	26,000	5,700	6,150	0,107	38,800	240,000	23,000	ND	0,190	3,800	0,200	0,020	3,190	0,040	5,320	ND
25N	29,000	6,300	6,860	0,077	25,000	80,000	8,000	ND	0,130	4,620	0,010	0,020	0,540	0,040	1,970	ND
8R	25,600	6,000	6,510	0,324	129,000	500,000	50,000	0,010	1,150	10,780	0,010	0,060	3,080	0,040	10,050	ND
11R	26,100	5,860	6,370	0,243	81,400	240,000	13,000	ND	0,170	12,620	0,010	0,050	0,220	0,040	14,890	ND
12R	25,900	6,200	7,040	0,487	177,000	900,000	80,000	0,020	1,530	18,820	0,010	0,050	8,530	0,300	15,320	ND
13R	25,700	6,280	6,890	0,484	162,000	30,000	13,000	0,020	1,330	28,040	0,010	0,060	11,680	0,310	12,750	ND
15R	26,200	6,000	6,630	0,321	110,000	300,000	23,000	0,010	0,450	8,850	1,260	0,050	1,420	0,040	15,730	ND
18R	27,000	6,050	6,590	0,248	97,200	300,000	50,000	ND	0,380	17,480	0,010	0,060	8,300	0,040	8,790	ND
19R	26,500	6,250	7,130	0,340	96,400	500,000	80,000	ND	0,830	12,640	1,160	0,060	4,030	0,290	10,590	ND
20R	26,000	5,490	5,870	1,220	26,200	900,000	110,000	0,050	0,080	271,370	0,010	0,080	8,330	0,040	3,320	ND
21R	27,700	6,160	6,950	0,158	55,200	240,000	13,000	ND	0,100	6,090	0,010	0,110	4,100	0,040	0,750	ND
23R	26,200	6,120	6,700	0,259	87,400	3000,000	300,000	0,010	0,130	17,590	0,010	0,050	0,960	0,040	6,780	ND
53R	27,100	5,560	5,940	0,237	43,800	3000,000	900,000	ND	0,090	25,690	0,010	0,060	15,330	0,040	5,410	ND
4P	25,300	6,400	7,160	0,954	304,200	23,000	0,000	0,040	0,550	33,620	0,010	0,050	0,080	0,040	133,760	ND
8P	26,100	6,180	6,920	0,411	118,800	300,000	23,000	0,010	0,860	22,270	0,010	0,080	2,410	0,040	31,890	ND
12P	25,200	5,610	6,030	2,010	581,200	80,000	23,000	ND	0,440	22,810	0,010	0,040	1,970	0,040	351,700	ND
60P	31,100	5,970	6,450	0,449	82,000	300,000	23,000	0,010	0,620	58,470	0,010	0,100	3,100	0,140	19,880	ND

ID= identificação, N= nascente, R= poços rasos, P= poços profundos, S=pontos superficiais, ND= não detectado.

*Resultado das análises dos cátions e dos sólidos dissolvidos da coleta de **Abril de 2005**.*

ID	Ca	Mg	K	Na	B	Mn	Fe	Zn	Cu	Cr	Co	Ni	Al	Cd	Pb	Mo	Sb	As	Se	Sól. Dissolvidos
	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L
7N	6,740	8,540	ND	15,800	0,125	ND	0,013	0,039	0,002	ND	ND	ND	0,023	ND	ND	ND	ND	ND	ND	66,70
15N	5,940	5,560	ND	23,800	ND	0,001	0,004	0,002	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	0,012	ND	62,30
20N	4,150	3,780	1,060	10,000	ND	0,170	0,572	0,036	ND	ND	ND	ND	0,012	ND	ND	ND	ND	ND	ND	37,40
25N	2,450	2,280	0,653	7,600	ND	ND	0,018	0,002	ND	ND	ND	ND	0,012	ND	ND	ND	ND	ND	ND	24,8
8R	6,310	9,740	0,438	47,200	0,125	0,079	0,007	0,003	0,002	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	99,50
11R	11,500	9,440	0,843	19,500	ND	0,002	0,013	0,004	0,005	ND	ND	ND	0,026	ND	ND	ND	ND	ND	ND	82,70
12R	14,400	11,200	0,929	72,100	0,148	0,005	0,009	0,004	0,002	ND	ND	ND	0,018	ND	ND	ND	ND	ND	ND	154,70
13R	11,400	11,000	0,477	73,400	ND	0,050	0,009	0,009	ND	ND	ND	ND	0,012	ND	ND	ND	ND	0,014	ND	133,50
15R	14,200	15,600	0,498	25,000	0,132	0,167	0,005	0,003	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	106,70
18R	9,870	7,470	1,130	34,200	ND	0,861	0,051	0,012	0,002	ND	0,003	ND	0,016	ND	ND	ND	ND	ND	ND	86,90
19R	9,610	8,550	ND	39,500	0,147	0,036	0,036	0,003	0,002	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	0,013	ND	99,80
20R	44,800	27,000	3,340	88,100	0,188	0,226	0,025	0,011	0,004	ND	0,009	0,013	0,069	ND	ND	ND	ND	ND	ND	167,50
21R	11,600	5,000	1,920	7,960	0,114	0,001	0,006	0,002	ND	ND	ND	ND	0,010	ND	ND	ND	ND	ND	ND	55,10
23R	14,600	6,640	10,700	18,300	0,154	0,276	0,391	0,057	ND	ND	ND	ND	0,033	ND	ND	ND	ND	ND	ND	83,90
53R	12,600	4,140	1,520	20,900	ND	0,034	0,026	0,006	ND	ND	ND	ND	0,016	ND	ND	ND	ND	ND	ND	96,70
4P	85,300	17,800	2,700	71,500	ND	0,408	1,040	0,015	0,002	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	348,30
8P	13,800	8,880	1,220	55,600	ND	0,142	0,427	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	137,10
12P	189,000	56,000	4,620	40,200	0,364	0,469	9,210	0,063	0,004	ND	ND	ND	0,016	ND	ND	ND	ND	0,014	ND	884,20
60P	10,600	8,990	1,490	59,100	0,132	0,018	0,280	0,004	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	118,90

ID= identificação, N= nascente, R= poços rasos, P= poços profundos, S=pontos superficiais, ND= não detectado.

Resultado das análises de Temperatura, pH, Alcalinidade, Coliformes e ânions da coleta de ***Agosto de 2005****.*

ID	Temp. Média	pH in situ	pH	CE in situ	Turbidez	Alcalinidade total CaCO3	Coliformes totais	Coliformes fecais	Amônia	Salinidade	Fluoreto	Cloreto	Nitrito	Brometo	Nitrato	Fosfato	Sulfato	Fósforo
	ºC			mS/cm	UT	mg/L	NMP	NMP	mg/L		mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L
7N	21,1	6,56	6,7	0,102	0,93	44,200	500	110	<0,01	ND	0,330	5,410	<0,01	<0,02	0,520	0,120	2,210	ND
15N	23,3	6,00	6,4	0,205	0,63		240	13	<0,01	ND	0,440	8,750	<0,01	0,120	5,900	0,390	8,670	ND
20N	24,1	5,50	6,4	0,990	7	36,200	300	23	<0,01	ND	0,190	4,280	<0,01	<0,02	4,990	<0,04	6,890	ND
25N	25,8	6,22	7	0,076	6,23	26,200	900	240	<0,01	ND	0,090	4,410	<0,01	<0,02	1,050	<0,04	2,950	ND
7R	23,9	5,87		0,158		56,000	500	80	0,07	ND	0,33	16	<0,01	0,14	0,54	<0,04	6,41	ND
8R	23,0	5,95	6,5	0,339	1,1	142,000	80	13	<0,01	0,01	1,110	17,770	<0,01	0,180	3,280	<0,04	12,470	ND
11R	24,2	6,08	6,6	0,240	0,69	80,200	240	23	<0,01	ND	0,190	7,560	<0,01	0,120	0,100	<0,04	15,450	ND
12R	24,9	6,63	6,8	0,491	0,68	208,000	900	300	<0,01	0,02	1,750	26,520	<0,01	0,170	9,550	0,520	18,990	ND
13R	24,4	6,36	6,7	0,499	1,3	186,000	300	30	<0,01	0,02	1,360	38,850	<0,01	0,170	12,300	0,440	15,290	ND
15R	24,1	6,56	6,5	0,328	0,67	116,200	240	23	0,04	0,01	0,370	17,400	<0,01	0,170	1,970	0,260	20,700	ND
17R	24,4	6,22		0,250		92,600	23	ND	<0,01	ND	0,37	11,84	<0,01	0,14	10,08	0,33	10,69	ND
18R	26,2	6,09	6,5	0,297	1,94	107,000	240	17	0,05	0,01	0,430	15,300	<0,01	0,180	8,510	<0,04	14,200	ND
19R	24,8	6,10	6,3	0,395	0,94	106,600	300	30	<0,01	0,01	0,520	45,500	<0,01	0,240	2,980	0,440	26,410	0,162
20R	23,8	5,53	6	1,960	1,54	37,800	80	13	0,24	0,09	0,240	538,640	<0,01	0,200	6,480	<0,04	41,760	ND
21R	22,7	6,48	6,5	0,163	1	70,600	900	240	<0,01	ND	0,110	8,820	<0,01	0,100	6,250	0,350	1,200	ND
23R	21,6	6,75	6,9	0,219	6,3	141,000	500	130	0,13	ND	0,150	193,000	0,060	0,130	0,850	0,750	4,780	0,321
53R	25,3	5,80	6	0,242	0,94	46,000	130	30	<0,01	ND	0,110	32,740	<0,01	0,310	17,660	<0,04	7,610	0,078
4P	24,2	6,60	6,5	1,060	3,75	292,000	240	23	0,22	0,04	0,670	42,500	<0,01	0,250	0,820	<0,04	140,000	ND
8P	26,6	6,24	6,6	0,400	146	124,000	500	130	<0,01	0,01	0,820	27,800	<0,01	0,160	2,040	<0,04	36,300	ND
12P	24,8	5,50	6	1,770	1,06		23	0	1,56	0,08	0,300	12,110	<0,01	0,140	0,400	<0,04	479,370	ND
1S	20,4	6,50	7,1	0,109	3,13	42,200	1600	300	<0,01	ND	0,130	8,370	<0,01	<0,02	0,730	<0,04	1,670	ND
CG	24,1	6,55		0,180		62,200	240	23	<0,01	ND	0,28	17,34	<0,01	0,12	8,5	<0,04	3,2	ND

ID= identificação, N= nascente, R= poços rasos, P= poços profundos, S=pontos superficiais, ND= não detectado.

*Resultado das análises dos cátions e dos sólidos dissolvidos da coleta de **Agosto de 2005**.*

ID	Ca	Mg	K	Na	B	Mn	Fe	Zn	Cu	Cr	Co	Ni	Al	Cd	Pb	Mo	Ba	Sb	Sr	Li	Si	As	V	Se	Sól. Dissolvidos
	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L
7N	4,600	3,380	0,359	14,400	ND	0,006	0,069	0,006	0,001	ND	ND	ND	0,022	ND	ND	ND	0,023	ND	0,046	0,001	11,600	ND	ND	ND	24,60
15N	7,820	7,830	0,650	28,300	ND	ND	0,008	0,003	0,001	ND	ND	ND	0,015	ND	ND	ND	0,049	ND	0,080	0,003	22,100	ND	0,002	ND	55,90
20N	4,810	4,160	1,070	10,000	ND	0,050	0,095	0,004	ND	0,001	ND	ND	0,009	ND	ND	ND	0,091	ND	ND	ND	15,400	ND	ND	ND	30,8
25N	3,290	2,540	0,596	9,870	ND	0,001	0,053	0,007	ND	ND	ND	ND	0,074	ND	ND	ND	0,038	ND	0,031	ND	4,940	ND	ND	ND	20,5
7R	4,56	6,19	0,44	22	ND	0,31	0,03	0,009	ND	ND	ND	ND	0,032	ND	ND	ND	0,074	ND	0,042	ND	21,2	ND	0,002	ND	38,10
8R	8,300	12,100	0,565	59,100	0,006	0,084	0,009	0,007	0,002	ND	ND	ND	0,012	ND	ND	ND	0,095	ND	0,101	ND	15,700	0,008	0,002	ND	89,40
11R	12,800	10,300	0,756	21,000	ND	0,002	0,032	0,008	0,003	ND	ND	ND	0,063	ND	ND	ND	0,169	ND	0,138	ND	11,200	ND	ND	ND	58,70
12R	15,700	14,000	ND	89,300	ND	0,005	ND	ND	ND	ND	ND	ND	0,022	ND	ND	ND	0,281	ND	0,278	ND	23,600	ND	0,009	ND	137,90
13R	19,300	12,600	1,650	83,700	ND	0,008	0,013	0,010	0,005	ND	ND	ND	0,016	ND	ND	ND	0,552	ND	0,241	0,003	22,600	ND	0,005	ND	132,20
15R	17,100	18,400	0,620	29,300	ND	0,094	0,006	0,006	0,004	ND	ND	ND	0,015	ND	ND	ND	0,039	ND	0,112	0,001	20,100	ND	0,003	ND	84,00
17R	17,80	11,10	3,51	20,1	ND	0,01	0,022	0,007	0,003	ND	ND	ND	0,072	ND	ND	ND	0,186	ND	0,106	0,003	22,4	ND	0,002	ND	70,20
18R	13,000	9,280	1,730	40,000	ND	1,750	0,111	0,008	0,002	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	0,359	ND	0,179	0,002	21,600	ND	ND	ND	85,60
19R	14,200	12,200	0,404	56,800	ND	0,015	0,106	0,018	0,002	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	0,161	ND	0,129	0,005	24,000	ND	0,004	ND	109,00
20R	89,800	47,800	ND	190,000	ND	0,422	0,004	ND	ND	ND	ND	ND	0,136	ND	ND	ND	1,890	ND	1,760	0,010	14,600	ND	ND	ND	377,10
21R	13,800	7,780	2,390	9,720	ND	0,002	0,005	0,003	0,001	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	0,107	ND	0,053	0,003	22,400	0,010	0,004	ND	40,00
23R	19,300	6,590	10,200	13,600	ND	0,157	0,046	0,005	0,001	ND	ND	ND	0,045	ND	ND	ND	0,071	ND	0,130	ND	12,900	ND	0,002	ND	52,50
53R	16,100	5,630	1,650	24,400	ND	0,062	0,010	0,007	0,002	ND	ND	ND	0,012	ND	ND	ND	0,170	ND	0,189	ND	20,600	ND	ND	ND	70,00
4P	98,600	19,400	3,180	88,000	ND	0,285	0,026	0,011	0,002	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	0,108	ND	24,700	0,017	19,200	ND	ND	ND	339,20
8P	15,800	10,200	1,350	64,500	ND	0,159	0,645	0,015	0,001	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	0,229	0,009	23,000	ND	ND	ND	148,70
12P	248,000	57,400	6,060	47,700	ND	0,613	13,900	0,020	0,001	ND	ND	ND	0,036	ND	ND	ND	0,065	ND	12,300	0,064	27,500	ND	0,005	ND	848,70
CG	13,30	3,67	2,64	20,1	ND	ND	0,041	0,005	0,001	ND	ND	ND	0,023	ND	ND	ND	0,183	ND	0,087	ND	21,1	ND	0,002	ND	47,90

ID= identificação, N= nascente, R= poços rasos, P= poços profundos, S=pontos superficiais, ND= não detectado.

Resultado das análises de Temperatura, pH, Alcalinidade, Coliformes e ânions da coleta de ***Dezembro de 2005****.*

ID	Temp. Média	pH in situ	pH	CE in situ	Turbidez	Alcalinidade total CaCO3	Coliformes totais	Coliformes fecais	Amônia	Salinidade	Fluoreto	Cloreto	Nitrito	Brometo	Nitrato	Fosfato	Sulfato	Fósforo
	ºC			mS/cm	UT	mg/L	NMP	NMP	mg/L		mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L
7N		6,55	7	0,166	5,23	85,400	130,000	13,000	ND	0,000	0,530	8,600	<0,01	<0,02	2,300	<0,04	4,180	ND
15N	25,9	6,07	6,7	0,208	1,66	90,200	240,000	8,000	ND	0,000	0,640	10,280	<0,01	<0,02	7,480	<0,04	8,480	ND
20N	24,6	6,00	7,6	0,096	1,57	37,000	240,000	23,000	ND	0,000	0,220	4,940	<0,01	<0,02	5,560	<0,04	7,100	ND
25N		6,60	7,4	0,070	2,72	33,800	240,000	30,000	ND	0,000	0,120	4,300	<0,01	<0,02	0,340	<0,04	7,900	ND
7R																		
8R		6,40	6,4	0,316	1,22	141,400	80,000	0,000	ND	0,010	1,080	16,100	<0,01	0,070	3,030	<0,04	11,320	ND
11R		5,90	6,7	0,212	6,2	95,400	300,000	30,000	ND	0,000	0,160	12,010	<0,01	0,070	2,410	<0,04	14,880	ND
12R		6,10	6,7	0,299	12,6	136,600	170,000	50,000	ND	0,010	0,650	13,580	<0,01	0,040	5,430	<0,04	11,550	ND
13R		6,39	6,4	0,517	18,8	197,200	240,000	23,000	ND	0,020	1,130	48,970	<0,01	0,060	9,770	<0,04	18,840	ND
15R	25,4	6,25	6,6	0,313	1,55	125,600	240,000	30,000	ND	0,010	0,510	16,340	<0,01	0,040	0,440	<0,004	21,560	ND
17R	25,4	6,11		0,219		96,600	23	0	ND	0,000	0,19	15,27	<0,01	<0,02	6	0,12	17,12	ND
18R	25,7	6,09	6,4	0,279	0,78	112,000	80,000	8,000	ND	0,010	0,520	18,010	<0,01	0,040	9,390	0,080	12,600	ND
19R	25,7	6,19	6,3	0,383	1,88	123,400	130,000	13,000	ND	0,010	0,710	37,690	<0,01	0,070	5,460	0,240	21,230	ND
20R	24,7	5,50	5,8	1,910	23,1	32,000	130,000	8,000	ND	0,090	0,270	505,590	<0,01	<0,02	7,340	<0,04	14,970	ND
21R	25,8	6,35	6,9	0,173	1,78	81,400	240,000	23,000	ND	0,000	0,150	8,790	<0,01	<0,02	5,880	<0,04	1,030	ND
23R	25,1	6,63	6,8	0,521	3,53	222,600	130,000	23,000	ND	0,020	0,190	33,540	<0,01	0,090	0,940	0,420	30,120	0,239
53R	22,8	5,87	6,9	0,262	3,27	73,000	130,000	13,000	ND	0,010	0,220	31,350	<0,01	0,090	14,290	<0,04	7,000	ND
4P		6,74	6,6	0,899	7,56	352,400	110,000	13,000	ND	0,030	0,640	44,490	<0,01	0,110	0,120	<0,04	135,320	ND
8P																		
12P	24,7	5,50	5,8	1,970	40,5	712,000	80,000	0,000	ND	0,090	0,440	25,960	<0,01	<0,02	0,100	<0,04	423,920	ND

ID= identificação, N= nascente, R= poços rasos, P= poços profundos, S=pontos superficiais, ND= não detectado.

*Resultado das análises dos cátions e dos sólidos dissolvidos da coleta de **Dezembro de 2005**.*

ID	Ca	Mg	K	Na	B	Mn	Fe	Zn	Cu	Cr	Co	Ni	Al	Cd	Pb	Mo	Ba	Sb	Sr	Li	Si	As	V	Se	Sól. Totais	Sól. em Suspens.	Sól. Dissolv..
	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L
7N	7,89	8,76	0,50	15,30	0,003	0,001	0,088	0,069	0,002	ND	ND	ND	0,085	ND	ND	ND	0,036	ND	0,080	0,002	13,500	ND	0,004	ND	145,0	0,0	145,0
15N	8,09	7,16	0,52	25,40	0,003	ND	0,061	0,005	0,001	ND	ND	ND	0,018	ND	ND	ND	0,060	ND	0,086	0,003	19,400	ND	0,002	ND	195,0	0,0	195,0
20N	4,43	3,79	0,99	9,18	0,003	0,014	0,077	0,006	ND	ND	ND	ND	0,015	ND	ND	ND	0,096	ND	0,077	ND	14,500	ND	ND	ND	125,0	7,0	118,0
25N	2,41	2,08	0,38	8,34	0,004	ND	0,084	0,071	ND	ND	ND	ND	0,057	ND	ND	ND	0,041	ND	0,026	ND	4,690	ND	ND	ND	195,0	0,0	195,0
8R	7,80	10,50	0,38	48,10	0,006	0,109	0,041	0,004	0,002	ND	ND	ND	0,015	ND	ND	ND	0,108	ND	0,104	ND	14,700	ND	0,002	ND	250,0	1,0	249,0
11R	12,00	8,91	0,76	18,70	0,007	0,001	0,102	0,167	0,005	ND	ND	ND	0,076	ND	ND	ND	0,180	ND	0,144	ND	9,970	ND	ND	ND	170,0	1,5	168,5
12R	12,10	7,82	0,49	43,10	0,006	0,008	0,081	0,076	0,003	ND	ND	ND	0,086	ND	ND	ND	0,327	ND	0,231	ND	14,500	ND	0,003	ND	250,0	2,0	248,0
13R	25,40	11,70	4,89	68,30	0,010	0,009	0,115	0,157	0,009	ND	ND	ND	0,158	ND	ND	ND	0,673	ND	0,305	0,002	19,600	ND	0,006	ND	430,0	3,5	426,5
15R	15,70	14,70	0,54	24,50	0,005	0,103	0,062	0,006	0,004	ND	ND	ND	0,013	ND	ND	ND	0,041	ND	0,111	0,001	17,200	ND	0,003	ND	220,0	0,5	219,5
17R	16,20	6,36	6,86	14,20	0,006	0,01	0,162	0,007	0,004	ND	ND	ND	0,216	ND	ND	ND	0,181	ND	0,104	0,002	13,8	ND	0,004	ND	250,0	16,5	233,5
18R	7,94	7,07	0,40	41,10	0,004	0,227	0,063	0,092	0,002	ND	ND	ND	0,015	ND	ND	ND	0,291	ND	0,128	0,002	21,800	0,014	0,002	ND	260,0	0,0	260,0
19R	14,10	11,30	0,43	47,90	0,003	0,124	0,118	0,031	0,002	ND	ND	0,003	0,011	ND	ND	ND	0,166	ND	0,131	0,005	21,700	ND	0,004	ND	305,0	1,0	304,0
20R	77,60	40,10	5,49	166	ND	0,492	0,082	0,121	0,005	ND	0,022	0,031	0,260	ND	ND	ND	2,300	ND	1,620	0,017	12,800	ND	ND	ND	1215,0	6,0	1209,0
21R	14,90	7,43	2,28	8,84	ND	0,005	0,062	0,006	0,001	ND	ND	ND	0,013	ND	ND	ND	0,120	ND	0,066	0,003	20,900	ND	0,005	ND	185,0	1,5	183,5
23R	43,20	14,90	27,30	31,50	0,030	0,419	0,127	0,011	0,003	ND	ND	0,002	0,021	ND	ND	ND	0,174	ND	0,361	ND	10,800	ND	0,002	ND	375,0	8,0	367,0
53R	24,40	4,47	1,60	22,10	0,006	0,016	0,043	0,149	0,005	ND	ND	ND	0,038	ND	ND	ND	0,162	ND	0,221	ND	19,200	ND	ND	ND	270,0	2,5	267,5
4P	97,40	17,30	2,55	76,50	0,006	0,476	0,185	0,009	0,010	ND	ND	ND	0,011	ND	ND	ND	0,123	ND	25,400	0,016	17,000	ND	ND	ND	725,0	3,5	721,5
12P	261,00	64,00	5,02	40,90	0,028	0,678	14,800	0,074	0,001	ND	ND	0,007	0,034	ND	ND	ND	0,082	ND	13,400	0,063	27,700	0,020	0,006	ND	1660,0	39,0	1621,0

ID= identificação, N= nascente, R= poços rasos, P= poços profundos, S=pontos superficiais, ND= não detectado.

*Resultado das análises de Temperatura, pH, Alcalinidade, Coliformes e ânions da coleta de **Outubro de 2007**.*

ID	Temp. Média	pH in situ	pH	CE in situ	Turbidez	Coliformes totais	Coliformes fecais	Salinidade	Fluoreto	Cloreto	Nitrito	Brometo	Nitrato	Fosfato	Sulfato	Fósforo
	ºC			mS/cm	UT	NMP	NMP		mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L
15N	32,00	5,5	5,5	0,153	2,34	30,00	23	0,00	1	12	<0,01	0,11	6	0	9	ND
25N	31,70	6,50	6,5	0,09	1,33	0,00	0	0,00	0	13	<0,01	0,10	7,50	<0,04	10	ND
7R	25,00	5,90	5,9	0,10	4,3	240,00	4	0,00	0,34	10,29	<0,01	<0,02	0,63	<0,04	5,76	ND
8R	26,20	6,38	6,38	0,23	3,85	1600,00	900	0,00	1	13	<0,01	0,16	2,88	0	14	ND
12R	26,00	6,60	6,6	0,37	1,8	80,00	0	0,01	2	22	<0,01	0,15	7	1	21,1	ND
13R	25,90	6,60	6,6	0,32	1,12	900,00	13	0,01	1,5	24,5	<0,01	0,22	10,17	0,71	19	ND
15R	26,00	5,90	5,9	0,21	0,56	500,00	0	0,00	1	13	<0,01	0,15	1	0	17,50	ND
17R	26,00	6,07	6,07	0,20	1,96	22,00	13	0,00	0,44	10,88	<0,01	0,14	11,32	0,45	6,83	ND
19R		6,30	6,3	0,23	0,047	500,00	50		0,98	20,5	<0,01	0,14	4,47	0,67	15	ND
20R	25,30	4,89	4,89	1,04	0,98	50,00	0	0,04	0	291	<0,01	0,23	12	<0,04	2,48	ND
53R	27,30	5,80	5,8	0,17	0,89	240,00	4	0,00	0,09	24,5	<0,01	0,22	11	<0,04	9	ND
2P	25,50	6,2	6,2	0,20	36,1	0,00	0	0	0	14	<0,01	0,18	0	<0,04	12,00	ND
4P	25,80	6,80	6,8	0,96	4,8	0,00	0	0,04	1	32	<0,01	0,23	<0,01	<0,04	154,00	ND
8P	26,90	5,90	5,9	0,37	14,4	80,00	27	0,01	0,58	18	<0,01	0,22	0,22	<0,04	49	ND
9P	26,80	6,3	6,3	0,65	3	0,00	0	0,02	0,71	108,00	<0,01	0,30	0,90	<0,04	100,00	ND
17P	24,80	7,1	7,1	0,22	1,96	4,00	0	0,00	0	11	<0,01	<0,02	0	<0,04	73,25	ND
19P	25,80	6,4	6,4	0,38	9,28	130,00	34	0,01	0,46	21	<0,01	0,05	0,13	<0,04	65,75	ND
20P	34,80	7	7	0,32	4,06	2,00	0	0,01	1	12	<0,01	<0,02	0	<0,04	20,20	ND
21P	26,40	6,6	6,6	0,56	1,02	22,00	13	0,02	1	40	<0,01	0,09	3	0	90,50	ND

ID= identificação, N= nascente, R= poços rasos, P= poços profundos, S=pontos superficiais, ND= não detectado.

*Resultado das análises dos cátions e dos sólidos dissolvidos da coleta de **Outubro de 2007**.*

ID	Ca	Mg	K	Na	Mn	Fe	Zn	Cu	Cr	Co	Ni	Al	Cd	Pb	Si	N total	P total	Sólidos Totais	Sólidos em Suspensão	Sólidos Dissolvidos
	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L
15N	9	7,8	0	26,2	ND	ND	0,02	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	21	1,80	0,65	129,5	41,6	88
25N	4	3,14	1	16,10	ND	ND	0,05	ND	ND	ND	ND	0,43	ND	ND	7	2,10	2,70	51,00	1,60	49
7R	3,38	4,71	0,254	16,7	0,268	0,28	0,027	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	19,9	3,80		173,50	0,40	173,10
8R	8	9,52	0	45,50	0	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	16	3,90		267,50	0,00	268
12R	16,7	12,80	1	78,20	0	ND	0,03	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	22	5,90		187,50	0,40	187
13R	14	11,50	0	66,90	0	ND	0,19	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	24	6,30		255,00	0,00	6
15R	15,10	16,20	0	25,40	0	ND	0,02	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	19	<0,5	0,90	105,50	0,40	6
17R	19,2	11,7	1,4	18	0,005	ND	0,158	ND	ND	ND	ND	ND	ND	0,026	23,4	8,10		1,00	0,00	1,00
19R	10,2	10,8	ND	41	0,016	ND	0,028	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	25,3	1,00	0,85	154,5	0,8	3,85
20R	49,00	29,3	2,38	72	0,182	ND	0,028	ND	ND	ND	ND	0,073	ND	ND	16,5	3,00	7,60	641,00	0,00	5,63
53R	14,6	4,4	1,29	22	0,059	ND	0,048	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	19,6	6,10		211,50	0,00	6,08
2P	12,30	9,76	1,1	17,9	2,85	9	0,037	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	15,8	1,10	0,75	229,00	22,80	206,20
4P	93,90	17,2	2,47	73,2	0,547	0,098	0,02	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	18	0,90	0,60	477,00	0,40	476,60
8P	43,9	12,6	1,65	45,5	0,489	1,07	0,233	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	19,7	1,80		392,00	3,20	388,80
9P	51,7	26,6	1,49	101	0,432	0,404	0,079	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	17,6	2,30	0,75	448,00	0,00	448,00
17P	50,3	13,9	1,46	24,6	0,389	ND	0,031	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	16,3	2,10		209,00	1,20	207,80
19P	39,5	21,6	2,31	36	0,326	3,19	0,093	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	22,2	5,00		335,00	0,40	334,60
20P	32,50	14,5	1,78	33,8	2,21	0,988	0,23	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	1,02	<0,5	0,75	4171,00	1,60	4169,40
21P	48,50	17,7	1,62	75,6	0,062	ND	0,029	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	19,1	4,50		308,00	0,00	308,00

ID= identificação, N= nascente, R= poços rasos, P= poços profundos, S=pontos superficiais, ND= não detectado.

*Resultado das análises de Temperatura, pH, Alcalinidade, Coliformes e ânions da coleta de **Julho de 2008**.*

ID	Temp. Média	pH in situ	CE in situ	Turbidez	Alcalinidade Total	Coliformes totais	Coliformes fecais	Salinidade	Fluoreto	Cloreto	Nitrito	Brometo	Nitrato	Fosfato	Sulfato
	ºC		mS/cm	UT	mg/L	NMP	NMP		mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L
15N	23,30	5,72	0,252	27	104			0,00	0,80	11,68	ND	0,00	6,84	0,14	10,11
25N	23,90	5,70	0,09	3	36			0,00	0,15	5,30	ND	ND	2,44	ND	3,41
7R	24,40	5,40	0,15	14	60	14,00	4	0,00	0,52	10,42	ND	0,10	0,24	0,00	5,91
8R	23,50	5,93	0,37	5	166	22,00	4	0,01	1,15	19,95	ND	ND	2,72	0,03	15,35
12R	24,80	6,23	0,54	1	224	240,00	80	0,02	1,79	24,48	ND	ND	5,82	0,32	23,27
13R	25,30	6,22	0,57	2	206	50,00	4	0,02	1,53	42,40	ND	ND	9,90	0,42	18,82
15R						23,00	4								
17R	23,60	6,18	0,29	2	122	23,00	7	0,01	0,60	10,78	ND	ND	13,17	0,26	8,17
19R	23,60	6,02	0,37	0	140	22,00	0	0,01	1,05	26,20	ND	ND	4,51	0,35	17,06
20R	24,40	5,19	0,92	1	30	17,00	0	0,04	0,36	257,70	ND	1,08	12,08	ND	2,67
53R	26,20	5,51	0,24	0	60	23,00	0	0,00	0,33	26,09	ND	0,02	14,02	ND	10,00
2P	24,30	6,37	0,35	40	130	13,00	4	0,01	0,50	22,05	ND	0,15	0,40	ND	11,49
4P	24,30	6,53	0,98	2	340	0,00	0	0,04	0,96	38,88	ND	n.a.	0,04	ND	152,77
8P	25,80	6,11	0,47	96	134	23,00	0	0,01	1,10	42,95	ND	0,26	2,12	ND	41,36
9P	25,20	6,26	1,02	0	240	0,00	0	0,04	1,01	120,69	ND	0,69	0,66	ND	104,21
17P	24,50	6,87	0,41	5	142	0,00	0	0,01	0,40	18,41	ND	0,13	0,06	ND	49,87
19P	25,40	5,6	0,54	7	180	0,00	0	0,02	0,67	23,02	ND	0,17	ND	ND	64,58
21P	25,20	5,76	0,72	3	222	2,00	0	0,03	1,47	49,93	ND	0,03	4,13	0,03	89,29
BBr	24,3	6,18	0,107	3	48			0	0,30	5,16	ND	ND	6,22	ND	7,64

ID= identificação, N= nascente, R= poços rasos, P= poços profundos, S=pontos superficiais, ND= não detectado.

*Resultado das análises dos cátions e dos sólidos dissolvidos da coleta de **Julho de 2008**.*

ID	Ca	Mg	K	Na	Mn	Fe	Zn	Cu	Cr	Co	Ni	Al	Cd	Pb	Si	Sr	B	Ba	Li	Bi	Mo	V	As	Be	Se	Sól. Totais	Sól. em Susp.	Sól. Dissolv.
	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L
15N	8,93	8,48	0,67	27,7	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	0,013	ND	ND	ND	0,089	ND	0,062	ND	ND	ND	ND	ND	ND	15,9	203,2	22,4	181
25N	2,71	2,22	0,56	9,39	ND	ND	0,005	ND	ND	ND	ND	0,002	ND	ND	ND	0,031	ND	0,052	ND	ND	ND	ND	ND	ND	4,10	44,4	0,0	44
7R	3,46	5,22	1,58	18,9	0,204	0,045	0,006	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	0,034	0,004	0,060	ND	ND	ND	ND	ND	ND	15,7	294,4	0,4	294
8R	9,67	12,6	1,06	50,6	0,083	ND	0,006	ND	ND	ND	ND	0,002	ND	ND	ND	0,109	ND	0,101	ND	ND	ND	ND	ND	ND	11,9	236,4	0,0	236
12R	15,7	12,1	0,99	75,1	ND	ND	ND	0,001	ND	ND	ND	0,003	ND	ND	ND	0,268	ND	0,304	ND	ND	ND	ND	ND	ND	15,6	336,0		
13R	20,4	12,3	1,73	70,8	ND	ND	0,009	0,005	ND	ND	ND	0,036	ND	ND	ND	0,250	ND	0,557	ND	ND	ND	ND	ND	ND	17,5	360,4	0,8	360
17R	18,7	10,9	2,63	18,2	ND	0,011	0,007	0,005	ND	ND	ND	0,021	ND	0,027	ND	0,100	ND	0,169	ND	ND	ND	ND	ND	ND	17,5	202,0	2,0	200
19R	11,0	11,6	ND	43,3	0,015	ND	0,008	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	0,086	ND	0,112	ND	ND	ND	ND	ND	ND	19,7	263,2		
20R	42,1	27,1	2,48	64,9	0,159	0,013	0,013	0,005	ND	ND	ND	0,086	ND	ND	ND	0,582	ND	1,60	ND	ND	ND	ND	ND	0,005	12,8	783,6		
53R	13,2	4,26	1,62	22,3	0,062	ND	0,050	0,005	ND	ND	ND	0,021	ND	ND	ND	0,170	ND	0,149	ND	ND	ND	ND	ND	ND	15,0	201,2		
2P	22,3	12,5	1,51	19,2	3,09	3,30	0,024	ND	ND	ND	ND	0,012	ND	0,027	ND	0,159	0,007	0,270	ND	ND	ND	ND	ND	ND	12,9	249,6	29,6	220
4P	90,4	18,0	2,75	75,1	0,572	0,103	0,008	0,003	ND	ND	ND	0,019	ND	ND	ND	23,6	ND	0,132	ND	ND	ND	ND	ND	ND	14,0	626,0	5,2	621
8P	15,2	10,3	1,71	61,4	0,168	0,482	0,010	0,003	ND	ND	ND	0,271	ND	ND	ND	0,207	0,007	0,040	ND	ND	ND	ND	ND	ND	17,2	326,0	34,8	291
9P	48,1	26,8	1,62	104	0,425	0,405	0,009	0,004	ND	ND	ND	0,021	ND	ND	ND	0,709	ND	0,063	ND	ND	ND	ND	ND	ND	13,7	624,0		
17P	40,9	12,8	2,09	17,2	0,031	0,026	0,008	0,003	ND	ND	ND	0,003	ND	ND	ND	1,94	ND	0,078	ND	ND	ND	ND	ND	ND	14,1	164,4	0,0	164
19P	34,2	21,0	2,86	33,9	0,339	2,58	0,010	0,003	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	0,306	0,007	0,077	ND	ND	ND	ND	ND	ND	17,0	385,4	4,4	381
21P	39,2	17,2	2,02	77,5	0,052	0,028	0,014	ND	ND	ND	ND	0,089	ND	ND	ND	0,421	0,004	0,041	0,02	ND	ND	ND	ND	ND	15,5	471,6	0,8	471
BBr	4,38	3,95	1,72	9,87	0,012	0,094	0,016	ND	ND	ND	ND	0,010	ND	ND	ND	0,073	ND	0,092	ND	ND	ND	ND	ND	ND	11,9	106,4		

ID= identificação, N= nascente, R= poços rasos, P= poços profundos, S=pontos superficiais, ND= não detectado.

ANEXO 6 – PADRÕES DE POTABILIDADE – DIVERSOS

Diversos Padrões de Potabilidade nacionais e internacionais para os parâmetros que irão compor o IQAS.

Parâmetros	Anvisa 518/04 VMP	Conama 396/08[1] VMP	Conama 357/05[2] VMP	EPA VG	EPA VMP	80/778/CEE VG	80/778/CEE VMP	98/83/CE VMP	Austrália VMP p/ Sáude	Austrália VMP p/ Estética
Parâmetros do Grupo I										
Coliformes Termotolerantes (N/100 ml)	0	0	200	0	1amostra/mês[3]	0	< 1	0	0	-x-
Condutividade Elétrica (µS/cm à 20°C)	-x-	-x-	-x-	-x-	-x-	400	-x-	2.500	-x-	-x-
Dureza (mg/L $CaCO_3$)	500	-x-	-x-	-x-	-x-	-x-	-x-	-x-	Não é necessário	200
Ferro (mg/L)	0,3	0,3	0,3	-x-	0,3	0,05	0,2	0,2	Dados insuficientes[4]	0,3
Manganês (mg/L)	0,1	0,1	0,1	-x-	0,05	0,02	0,05	0,05	0,5	0,1
Nitrato (mg/L)	10	10	10	10	10	25	50	50	50	-x-
pH	6-9,5	-x-	6-9	-x-	6,5-8,5	6,5-8,5	9,5	6,5-9,5	Dados insuficientes[4]	6,5-8,5
Turbidez (NTU)	5	-x-	40	0,3 - 1	5	1[5]	10[5]	-x-	-x-	-x-
Parâmetros do Grupo II										
Arsênio (mg/L)	0,01	0,01	0,01	0	0,01	0,05	-x-	0,01	0,007	-x-
Bário (mg/L)	0,7	0,7	0,7	2	2	0,1	-x-	-x-	0,7	-x-
Fluoreto (mg/L)	1,5	1,5	1,4	-x-	2	-x-	1,5	1,5	1,5	-x-
Pesticidas (µ/l)										
Aldrin	0,03	0,03[6]	0,005	-x-	-x-	-x-	-x-	-x-	0,3 [6]	0,01[6]
Clorpirifós	-x-	30	-x-	-x-	-x-	-x-	-x-	-x-	10	-x-
Diazinon	-x-	-x-	-x-	-x-	-x-	-x-	-x-	-x-	3	1
Diclorvós	-x-	-x-	-x-	-x-	-x-	-x-	-x-	-x-	1	1
Endossulfan (α e β)	20	-x-	0,056[7]	-x-	-x-	-x-	-x-	-x-	30	0,05
Fenitrotion	-x-	-x-	-x-	-x-	-x-	-x-	-x-	-x-	10	-x-
Fentoato	-x-	-x-	-x-	-x-	-x-	-x-	-x-	-x-	-x-	-x-
Lindano	2	2	0,020	0,2	0,2	-x-	-x-	-x-	20	0,05
Malation	-x-	190	0,1	-x-	-x-	-x-	-x-	-x-	-x-	-x-
Metilparation	-x-	-x-	-x-	-x-	-x-	-x-	-x-	-x-	100	0,3
Metolocloro	10	10	10	-x-	-x-	-x-	-x-	-x-	300	2
Σ Pesticidas	-x-	-x-	-x-	-x-	-x-	-x-	0,5	0,5	-x-	-x-
Pesticidas[8]	-x-	-x-	-x-	-x-	-x-	-x-	0,1[8]	0,1[8]	-x-	-x-

VG: valor guia; VMP: valor máximo permitido; -x- Não apresentou valores; [1]Consumo Humano; [2]Classe 1; [3]se menos de 40 amostras são analisadas no mês; [4]dados insuficientes para estabelecer valor para a saúde; [5]mg/SiO_2 unidades Jackson; [6]aldrin + dieldrin; [7] α + β + Sulfato e [8]substância individualizada.

ANEXO 7 – IDR, IDA E VALORES COMUMENTE ENCONTRADOS

Ingestão Diária Recomendada (IDR) ou Aceitável (IDA) e Valores Comumente Encontrados nas Águas Subterrâneas para os parâmetros que irão compor o IQAS.

Parâmetros	IDR – Ingestão Diária Recomendada[1]	Valores Comumente Encontrados nas Águas Subterrâneas
Coliformes Termotolerantes (N/100 ml)	0	-x-
Condutividade Elétrica (µS/cm à 20°C)	-x-	- Varia entre 100 e 2000 µS/cm para águas doces podendo chegar a mais de 100000 nas salmouras. - Água do mar: 45000 µS/cm
Dureza	-x- (Ca^{2+}: 1000 mg/L e Mg^{2+}: 260)	- Normalmente entre 10 e 300 mg/L $CaCO_3$; podendo chegar a 1000 e excepcionalmente a 2000 ou mais. - Água do mar: 1500 mg/L $CaCO_3$
Ferro	14 mg	- Normalmente abaixo de 0,3mg/L
Manganês	2,3 mg	- Normalmente abaixo de 0,2mg/L
Nitrato	3,7 mg kg^{-1} de peso corpóreo[2]	- Valores baixos em áreas não contaminadas
pH	-x-	- 5,5-8,5 -Água do mar tem um pH próximo de 8.
Turbidez	-x-	- Em geral valores abaixo de 5 UNT
Arsênio	-x-[5]	- Comumente abaixo de 0,1 mg/L, mas pode chegar até 4mg/L
Bário	-x-	- Normalmente ocorre em concentrações muito baixas, de 0,0007 a 0,9 mg/L.
Fluoreto	3mg	- Frequentemente ocorre entre 0,1 e 1,5 mg/L, podendo chegar às vezes até 10 mg/L
Σ Pesticidas	-x-	-x-
Pesticidas[7]	-x-	-x-

-x- Não possui valor ou não se aplica a essa questão; [1]Adultos; [2]Ingestão diária aceitável (IDA), 3,7 mg kg^{-1} de peso corpóreo, expresso como íon nitrato, por dia, multiplicado pelo peso médio de um adulto de 60 kg = 222 mg; 5 não existe um valor porque não há justificativa de acrescentar ou usar Arsênio em alimentos.

ANEXO 8 – IQAS – CATEGORIZAÇÃO – 1ª ABORDAGEM

Possibilidade de ocorrência nas categorias do $IQAS_{CH}$ (1ª abordagem).

>VMP	NG_VMP	<NG	$IQAS_{CH}$	$IQAS_{CH}$	Categorias
Nº de Parâmetros por classe				Valores arredondados	
0	0	8	100,0	**100**	***Ótima***
0	1	7	97,8	**98**	***Boa***
0	2	6	95,6	**96**	
0	3	5	93,4	**93**	
0	4	4	91,1	**91**	
0	5	3	88,9	**89**	
0	6	2	86,7	**87**	
0	7	1	84,5	**84**	
0	8	0	82,3	**82**	
1	0	7	80,0	**80**	***Precisa de Tratamento*** **Nível I**
1	1	6	77,8	**78**	
1	2	5	75,6	**76**	
1	3	4	73,4	**73**	
1	4	3	71,2	**71**	
1	5	2	68,9	**69**	
1	6	1	66,7	**67**	
1	7	0	64,5	**64**	
2	0	6	62,3	**62**	
2	1	5	60,1	**60**	
2	2	4	57,8	**58**	
2	3	3	55,6	**56**	
2	4	2	53,4	**53**	
2	5	1	51,2	**51**	
2	6	0	49,0	**49**	
3	0	5	46,7	**47**	
3	1	4	44,5	**45**	
3	2	3	42,3	**42**	
3	3	2	40,1	**40**	
3	4	1	37,9	**38**	
3	5	0	35,6	**36**	
4	0	4	33,4	**33**	
4	1	3	31,2	**31**	
4	2	2	29,0	**29**	
4	3	1	26,8	**27**	
4	4	0	24,5	**25**	
5	0	3	22,3	**22**	***Precisa de Tratamento*** **Nível II**
5	1	2	20,1	**20**	
5	2	1	17,9	**18**	
5	3	0	15,7	**16**	
6	0	2	13,4	**13**	
6	1	1	11,2	**11**	
6	2	0	9,0	**9**	
7	0	1	6,8	**7**	
7	1	0	4,6	**5**	
8	0	0	2,3	**2**	
No mínimo 1			0,1	**0**	***Imprópria*** **Presença de Parâmetros Tóxicos**

ANEXO 9 – IQAS – CATEGORIZAÇÃO – 2ª ABORDAGEM

Possibilidade de ocorrência nas categorias do $IQAS_{CH}$ (1ª abordagem).

>VMP	NG_VMP	<NG	$IQAS_{CH}$	Categorias
Nº de Parâmetros por classe				**Grupo 1**
0	0	8	100	***Ótima***
0	1	7	75	***Boa***
0	2	6	75	
0	3	5	75	
0	4	4	75	
0	5	3	75	
0	6	2	75	
0	7	1	75	
0	8	0	75	
1	0	7	50	**Precisa de *Tratamento I***
1	1	6	50	
1	2	5	50	
1	3	4	50	
1	4	3	50	
1	5	2	50	
1	6	1	50	
1	7	0	50	
2	0	6	50	
2	1	5	50	
2	2	4	50	
2	3	3	50	
2	4	2	50	
2	5	1	50	
2	6	0	50	
3	0	5	50	
3	1	4	50	
3	2	3	50	
3	3	2	50	
3	4	1	50	
3	5	0	50	
4	0	4	25	**Precisa de *Tratamento II***
4	1	3	25	
4	2	2	25	
4	3	1	25	
4	4	0	25	
5	0	3	25	
5	1	2	25	
5	2	1	25	
5	3	0	25	
6	0	2	25	
6	1	1	25	
6	2	0	25	
7	0	1	25	
7	1	0	25	
8	0	0	0	***Inadequada***

Presença de Parâmetro Tóxico (Grupo 2)

Tóxico >VMP	Possibilidades	$IQAS_{CH}$	Categorias
No mínimo 1	Todos os parâmetros do 1º Grupo ≤VMP **e** parâmetro(s) tóxico(s) > VMP	-25	***Imprópria***
No mínimo 1	1-3 parâmetros do 1º Grupo >VMP e parâmetro(s) tóxico(s) > VMP	-50	***Imprópria***
No mínimo 1	4-7 parâmetros do 1º Grupo >VMP e parâmetro(s) tóxico(s) > VMP	-75	***Imprópria***
No mínimo 1	8 parâmetros do 1º Grupo >VMP e parâmetro(s) tóxico(s) > VMP	-100	***Imprópria***

ANEXO 10 – PADRÕES DE POTABILIDADE – SEQ EAUX SOUTERRAINES

Padrões de Potabilidade dos parâmetros que fazem da parte da composição do $IQAS_{CH}$..

Parâmetros	SEQ - Ótima	SEQ - Boa	SEQ - Regular	SEQ - Totalmente Imprópria
Coliformes Termotolerantes (N/100 ml)	0	20	20000	não tem
Condutividade Elétrica (µS/cm à 20°C)	≥ 180 - ≤ 400	> 400 - ≤ 2500	< 180 ou > 2500 - ≤ 4000	> 4000
Dureza	≥ 8 - ≤ 40 (d °F)	não tem	< 8 ou > 40 (d °F)	não tem
Ferro	0,05	0,2	10	não tem
Manganês	0,02	0,05	1	não tem
Nitrato	25	50	100	não tem
pH	≥ 6.5 - ≤ 8.5	> 8.5 - ≤ 9.0	< 6.5 - >= 5.5 ou > 9.0 - ≤ 9.5	< 5,5 ou > 9,5
Turbidez (NTU)	0,4	2	3750	não tem
Arsênio	0,005	0,01	0,1	não tem
Bário	0,1	0,7	não tem	não tem
Fluoreto	≥ 0.7 - ≤ 1.5	< 0.7	> 1.5 - ≤10	>10
Σ Pesticidas	0.10	0.50	5	não tem
Pesticidas	0.05	0.10	2	não tem

ANEXO 11 – MÉDIA E DESVIO PADRÃO DOS POÇOS

*Média e Desvio Padrão dos parâmetros analisados nos **poços tubulares** na BHRSD ao longo do monitoramento.*

Parâmetros	Out. de 2004		Abr. de 2005		Ago. de 2005		Dez. de 2005		Out. de 2007		Jul. de 2008	
	Média	Desvio Padrão	Média	Desvio Padrão	Média	Desvio Padrão	Média	Desvio Padrão	Média	Desvio Padrão	Média	Desvio Padrão
Alcalinidade Total $CaCO_3$ (mg/L)	169	159	272	228	139	147	532	254	---	---	198	76
Amônia (mg/L)	---	---	---	---	0,60	0,84	ND	ND	---	---	---	---
CE mS/cm *in situ*	0,586	0,432	0,780	0,471	1,077	0,685	1,435	0,757	0,456	0,255	0,577	0,309
Coliformes Fecais NMP	47	96	17	12	51	69	7	9	9	14	3	6
Coliformes Totais NMP	203	302	176	145	254	239	95	21	30	49	21	45
N Total (mg/L)	---	---	---	---	---	---	---	---	2,5	1,6	---	---
P total (mg/L)	---	---	---	---	---	---	---	---	0,7	0,1	---	---
pH	7,2	0,4	6,6	0,5	6,4	0,3	6,2	0,6	6,5	0,4	---	---
pH *in situ*	7,0	0,4	6,0	0,3	6,1	0,6	6,1	0,9	6,7	0,3	6,2	0,4
Salinidade *in situ*	---	---	0,015	0,017	0,043	0,035	0,060	0,042	0,014	0,013	0,020	0,015
Sólidos Dissolvidos (mg/L)	536	256	372	357	446	362	1171	636	817	1358	356	205
Sólidos em Suspensão (mg/L)	12	9	---	---	---	---	21	25	4	8	11	15
Sólidos Totais (mg/L)	547	254	---	---	---	---	821	1357	821	1357	366	201
Temperatura ºC	29,91	5,12	26,93	2,81	25,20	1,25	24,70	0,00	27,10	3,19	24,31	1,90
Turbidez UNT	---	---	---	---	50,27	82,92	24,03	23,29	---	---	19,63	33,46
Bicarbonato (mg/L)	221,39	183,64	331,29	278,39	169,17	178,79	649,28	310,22	---	---	241,91	92,76
Brometo (mg/L)	0,10	0,05	0,07	0,03	0,18	0,06	0,07	0,06	0,14	0,11	0,20	0,23
Cloreto (mg/L)	29,8	12,2	34,3	16,9	27,5	15,2	35,2	13,1	32,0	32,3	45,1	35,4
Fluoreto (mg/L)	0,6	0,3	0,6	0,2	0,6	0,3	0,5	0,1	0,6	0,3	0,9	0,4
Fosfato (mg/L)	0,03	0,08	0,07	0,05	0,04	0	0,04	0	0,08	0,10	0	0,01

Continuação da tabela anterior...

*Média e Desvio Padrão dos parâmetros analisados nos **poços tubulares** na BHRSD ao longo do monitoramento.*

Parâmetros	Out. de 2004		Abr. de 2005		Ago. de 2005		Dez. de 2005		Out. de 2007		Jul. de 2008	
	Média	Desvio Padrão	Média	Desvio Padrão	Média	Desvio Padrão	Média	Desvio Padrão	Média	Desvio Padrão	Média	Desvio Padrão
Nitrato (mg/L)	1,85	2,52	1,89	1,29	1,09	0,85	0,11	0,01	0,57	0,95	1,06	1,54
Nitrito (mg/L)	0,00	0,00	0,01	0,00	0,01	0,00	0,01	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00
Sulfato (mg/L)	87,63	111,20	134,31	153,67	218,56	231,75	279,62	204,07	70,59	45,81	73,37	46,53
Alumínio (mg/L)	0,001	0,002	0,004	0,008	0,012	0,021	0,023	0,016	0,000	0,000	0,059	0,098
Cálcio (mg/L)	56,4	66,6	74,7	83,7	120,8	117,7	179,2	115,7	46,6	23,0	41,5	24,3
Ferro (mg/L)	1,4	3,1	2,7	4,3	4,9	7,8	7,5	10,3	1,8	3,1	1,0	1,4
Potássio (mg/L)	2,3	1,2	2,5	1,5	3,5	2,4	3,8	1,7	1,7	0,5	2,1	0,5
Magnésio (mg/L)	21,3	19,0	22,9	22,4	29,0	25,0	40,7	33,0	16,7	5,4	16,9	5,7
Manganês (mg/L)	0,6	1,1	0,3	0,2	0,4	0,2	0,6	0,1	0,9	1,0	0,7	1,1
Sódio (mg/L)	45,5	21,0	56,6	12,9	66,7	20,2	58,7	25,2	51,0	29,1	55,5	32,9
Arsênio (mg/L)	0	0	0,004	0,007	0	0	0,010	0,014	---	---	0	0
Boro (mg/L)	1,406	1,438	0,124	0,172	0,022	0,038	0,017	0,016	---	---	0,004	0,004
Bário (mg/L)	0,097	0,099	---	---	0,058	0,054	0,103	0,029	---	---	0,100	0,081
Cádmio (mg/L)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Cobalto (mg/L)	0,0001	0,0003	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Cromo (mg/L)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Cobre (mg/L)	0,001	0,002	0,002	0,002	0,001	0,001	0,006	0,006	0	0	0,002	0,002
Lítio (mg/L)	0,016	0,016	---	---	0,030	0,030	0,040	0,033	---	---	0,003	0,007
Molibdênio (mg/L)	0,0001	0,0003	0	0	0	0	0	0	---	---	0	0
Níquel (mg/L)	0,001	0,002	0	0	0	0	0,004	0,005	0	0	0	0
Fósforo (mg/L)	---	---	0	0	0	0	0	0	0	0		
Chumbo (mg/L)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,004	0,010
Antimônio (mg/L)	0	0	0	0	0	0	0	0	---	---	---	---
Selênio (mg/L)	0	0	0	0	0	0	0	0	---	---	14,914	1,681
Silício (mg/L)	46,1	66,7	---	---	23,2	4,2	22,4	7,6	16,2	6,5	0,0	0,0
Estrôncio (mg/L)	3,6	6,9	---	---	12,4	12,2	19,4	8,5	---	---	3,9	8,7
Vanádio (mg/L)	0,0003	0,001	---	---	0,002	0,003	0,003	0,004	---	---	0	0
Zinco (mg/L)	0,02	0,04	0,02	0,03	0,02	0,00	0,04	0,05	0,09	0,09	0,01	0,006

--- não analisado, ND= não detectado.

*Média e Desvio Padrão dos parâmetros analisados nos **poços escavados** na BHRSD ao longo do monitoramento.*

Parâmetros	Out. de 2004		Abr. de 2005		Ago. de 2005		Dez. de 2005		Out. de 2007		Jul. de 2008	
	Média	Desvio Padrão	Média	Desvio Padrão	Média	Desvio Padrão	Média	Desvio Padrão	Média	Desvio Padrão	Média	Desvio Padrão
Alcalinidade Total $CaCO_3$ (mg/L)	106	77	86	46	88	58	105	53	---	---	109	69
Amônia (mg/L)	---	---	---	---	0,04	0,06	ND	ND	---	---	---	---
CE mS/cm	0,32	0,21	0,31	0,21	---	---	---	---	---	---	---	---
CE mS/cm *in situ*	0,36	0,27	0,37	0,31	0,41	0,45	0,37	0,43	0,28	0,27	0,35	0,25
Coliformes Fecais NMP	76	85	128	231	77	95	18	13	92	269	11	26
Coliformes Totais NMP	985	1315	805	978	375	287	171	78	378	492	48	73
N Total (mg/L)	---	---	---	---	---	---	---	---	4,2	2,3	---	---
P total (mg/L)	---	---	---	---	---	---	---	---	2,5	2,9	---	---
pH	7,0	0,4	6,6	0,4	5,8	2,2	6,7	0,4	6,0	0,5	---	---
pH *in situ*	6,4	0,4	6,0	0,3	6,2	0,4	6,2	0,3	6,1	0,5	5,8	0,4
Salinidade *in situ*	---	---	0,008	0,014	0,010	0,022	0,012	0,022	0,006	0,013	0,010	0,013
Sólidos Dissolvidos (mg/L)	260	153	91	40	87	82	299	255	194	170	274	194
Sólidos em Suspensão (mg/L)	6	4	---	---	---	---	3	5	4	12	2	7
Sólidos Totais (mg/L)	265	153	---	---	---	---	303	256	198	168	276	192
Temperatura ºC	28,2	1,1	26,7	1,0	24,0	1,3	25,1	0,9	27,1	2,6	24,3	0,9
Turbidez UNT	---	---	---	---	1,876	2,266	5,726	6,901	---	---	5,273	8,199
Bicarbonato (mg/L)	129,28	94,07	104,51	55,67	114,12	66,71	128,37	65,19	---	---	132,65	83,75
Brometo (mg/L)	0,06	0,06	0,05	0,02	0,14	0,08	0,04	0,03	0,16	0,05	0,11	0,32
Cloreto (mg/L)	35,63	53,35	30,10	67,16	58,40	131,41	49,09	122,40	41,33	82,99	40,02	73,06
Fluoreto (mg/L)	0,53	0,49	0,51	0,48	0,48	0,48	0,46	0,32	0,75	0,62	0,78	0,54
Fosfato (mg/L)	0,23	0,42	0,11	0,11	0,23	0,22	0,08	0,11	0,35	0,28	0,14	0,17

Continuação da tabela anterior...

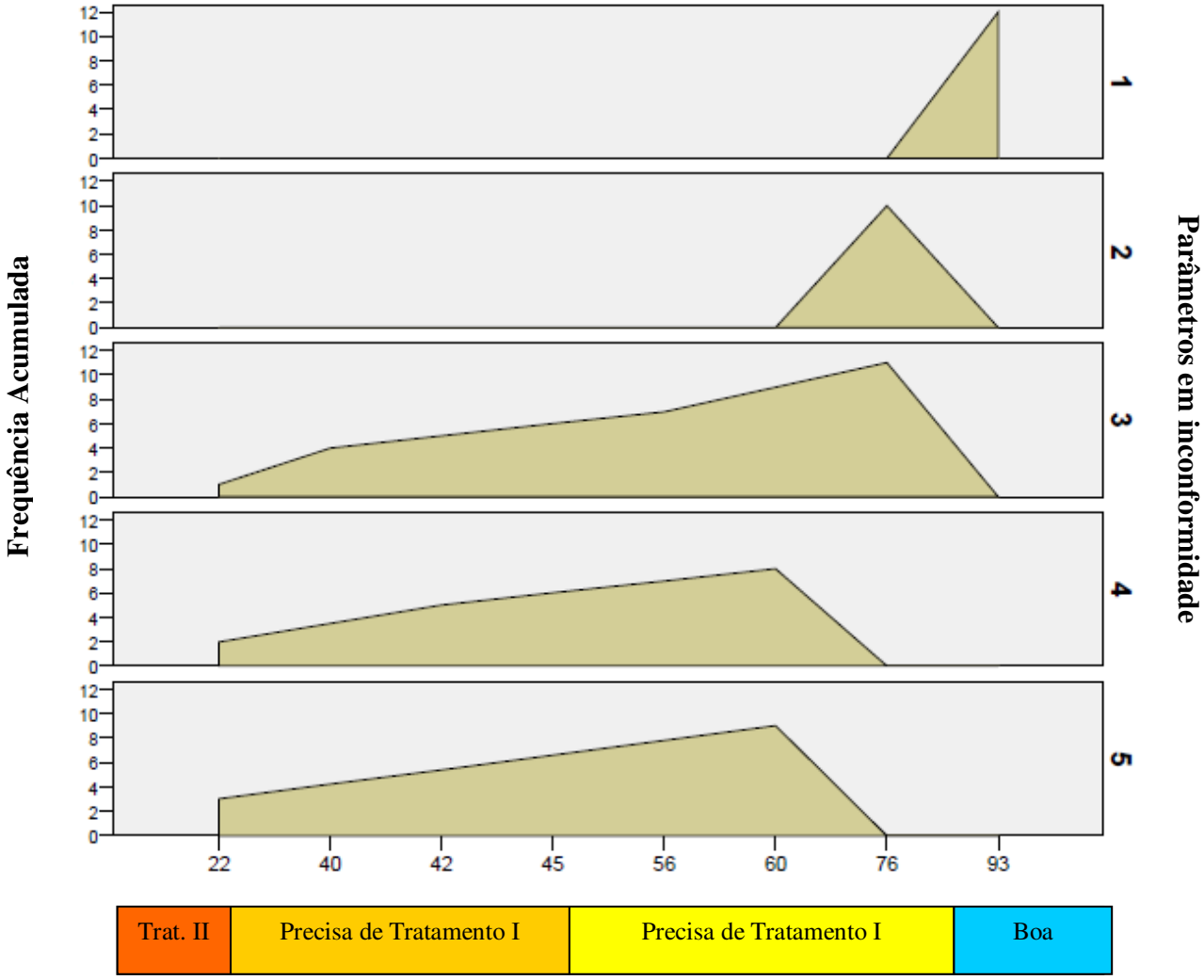
*Média e Desvio Padrão dos parâmetros analisados nos **poços escavados** na BHRSD ao longo do monitoramento.*

Parâmetros	Out. de 2004		Abr. de 2005		Ago. de 2005		Dez. de 2005		Out. de 2007		Jul. de 2008	
	Média	Desvio Padrão	Média	Desvio Padrão	Média	Desvio Padrão	Média	Desvio Padrão	Média	Desvio Padrão	Média	Desvio Padrão
Nitrato (mg/L)	6,28	5,57	5,22	4,37	5,47	4,91	5,38	3,80	6,77	4,12	7,09	4,63
Nitrito (mg/L)	0,18	0,62	0,18	0,42	0,01	0,01	0,01	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00
Sulfato (mg/L)	10,48	5,99	8,13	4,96	12,75	10,22	13,12	7,46	11,74	5,93	11,13	6,64
Alumínio (mg/L)	0,10	0,33	0,02	0,02	0,03	0,04	0,07	0,08	0,05	0,13	0,02	0,03
Cálcio (mg/L)	16,32	16,58	12,01	9,83	16,60	19,63	18,39	18,65	14,74	12,48	13,66	11,13
Ferro (mg/L)	0,04	0,09	0,08	0,17	0,04	0,04	0,09	0,03	0,03	0,08	0,01	0,03
Potássio (mg/L)	4,24	12,20	1,57	2,67	1,56	2,41	3,36	6,72	0,74	0,70	1,37	0,80
Magnésio (mg/L)	10,55	7,20	9,06	6,03	11,29	10,29	10,44	8,68	11,08	7,23	10,07	6,84
Manganês (mg/L)	0,09	0,21	0,13	0,22	0,17	0,42	0,10	0,15	0,09	0,10	0,04	0,07
Sódio (mg/L)	32,55	16,19	33,56	25,67	42,45	45,44	37,04	38,45	38,91	23,56	37,37	24,65
Arsênio (mg/L)	0	0	0,003	0,005	0,001	0,003	0,001	0,004	---	---	0	0
Boro (mg/L)	0,431	0,119	0,076	0,075	0,009	0,006	0,006	0,007	---	---	0,000	0,001
Bário (mg/L)	0,216	0,316	---	---	0,256	0,442	0,310	0,553	---	---	0,296	0,457
Cádmio (mg/L)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Cobalto (mg/L)	0,0007	0,0018	0	0	0	0	0,0014	0,0055	0	0	0	0
Cromo (mg/L)	0	0	0	0	0,0001	0,0002	0	0	0	0	0	0
Cobre (mg/L)	0,001	0,002	0,001	0,002	0,002	0,002	0,003	0,002	0	0	0,002	0,002
Lítio (mg/L)	0,003	0,004	---	---	0,002	0,003	0,002	0,004	---	---	0,000	0,000
Molibdênio (mg/L)	0,0000	0,0000	0	0	0	0	0	0	---	---	0	0
Níquel (mg/L)	0,001	0,003	0	0	0	0	0,002	0,008	0	0	0	0
Fósforo (mg/L)	---	---	0	0	0,03	0,09	0,01	0,06	0	0		
Chumbo (mg/L)	0	0	0	0	0	0	0	0	0,002	0,008	0,002	0,008
Antimônio (mg/L)	0	0	0	0	0	0	0	0				
Selênio (mg/L)	0	0	0	0	0	0	0	0			14,327	4,173
Silício (mg/L)	19,21	5,60	---	---	18,06	5,51	15,57	4,78	19,40	5,13	0	0
Estrôncio (mg/L)	0,17	0,17	---	---	0,21	0,41	0,24	0,38	---	---	0,16	0,16
Vanádio (mg/L)	0,001	0,002	---	---	0,002	0,002	0,002	0,002	---	---	0	0
Zinco (mg/L)	0,006	0,005	0,013	0,017	0,006	0,004	0,061	0,061	0,053	0,060	0,011	0,014

--- não analisado, ND= não detectado.

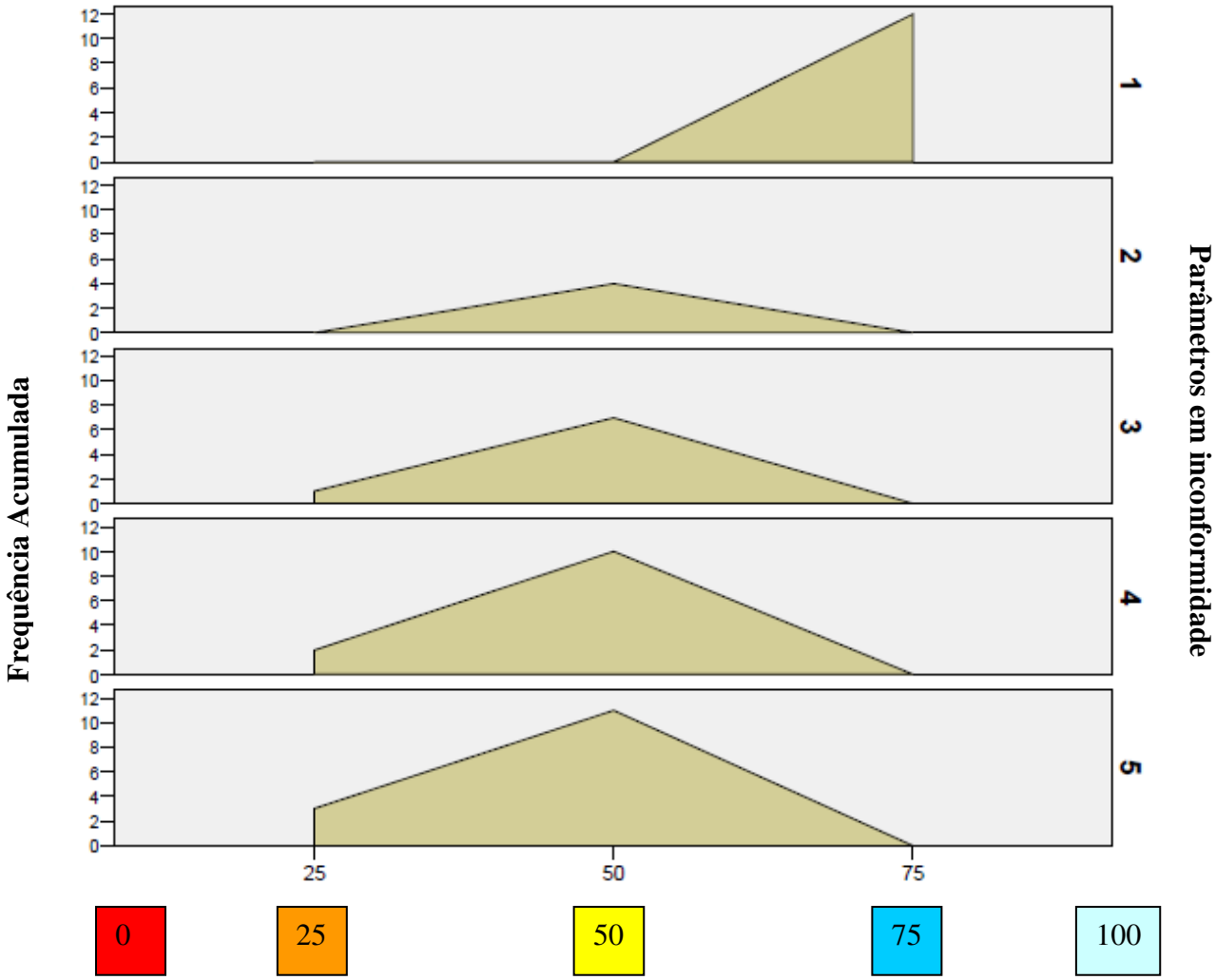
ANEXO 12 – GRÁFICOS DE FREQUÊNCIA ACUMULADA – P. TUBULARES

Gráfico de Fequência Acumulada: Número de parâmetros de inconformidade X IQA_{CH} – 1ª abordagem.



$IQAS_{CH}$ - 1ª Abordagem (Incluindo avaliação de parâmetros tóxicos).

Gráfico de Fequência Acumulada: Número de parâmetros de inconformidade X IQA_{CH} – 2ª abordagem.

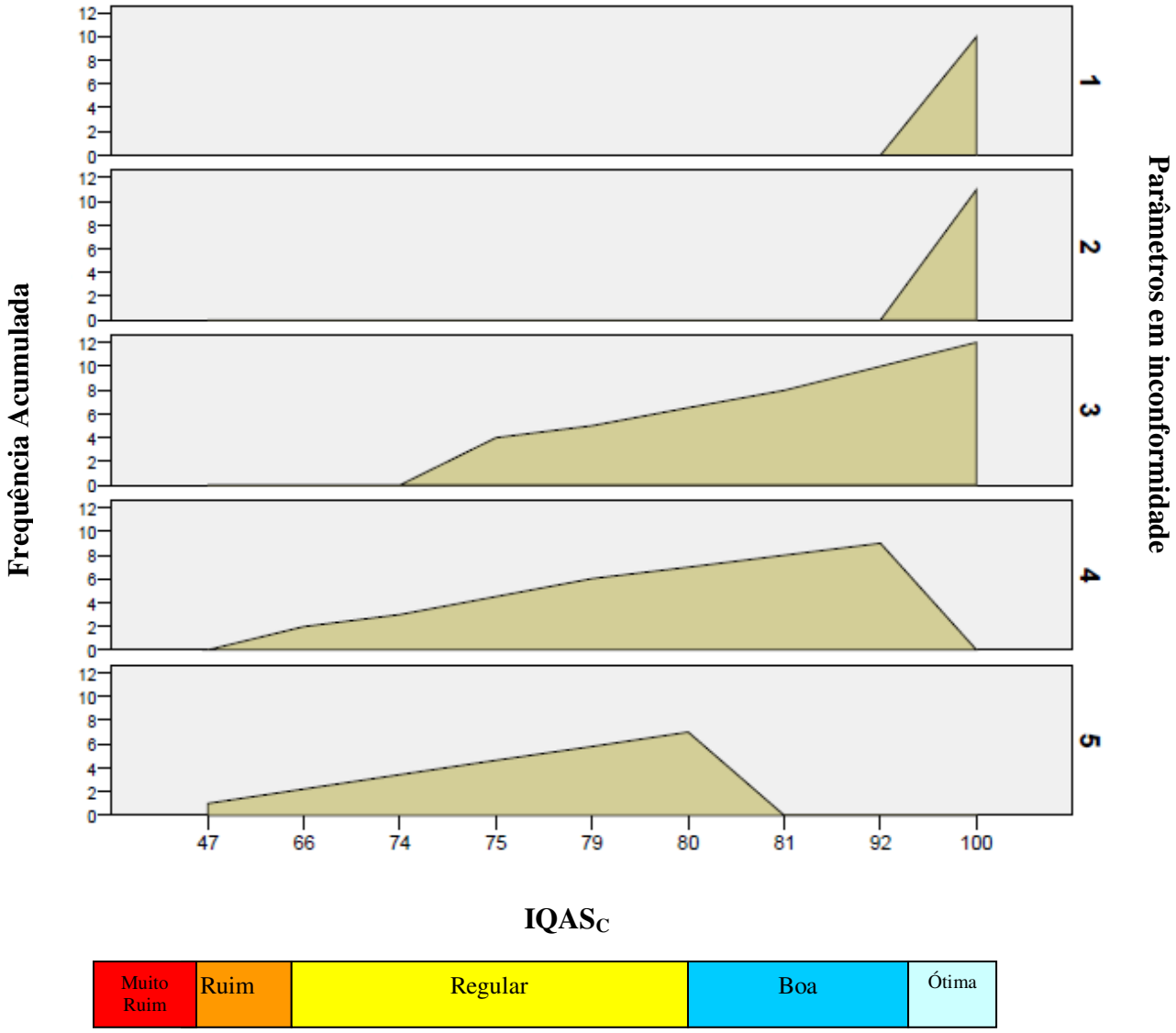


$IQAS_{CH}$ - 2ª Abordagem (Incluindo avaliação de parâmetros tóxicos)

Legenda:

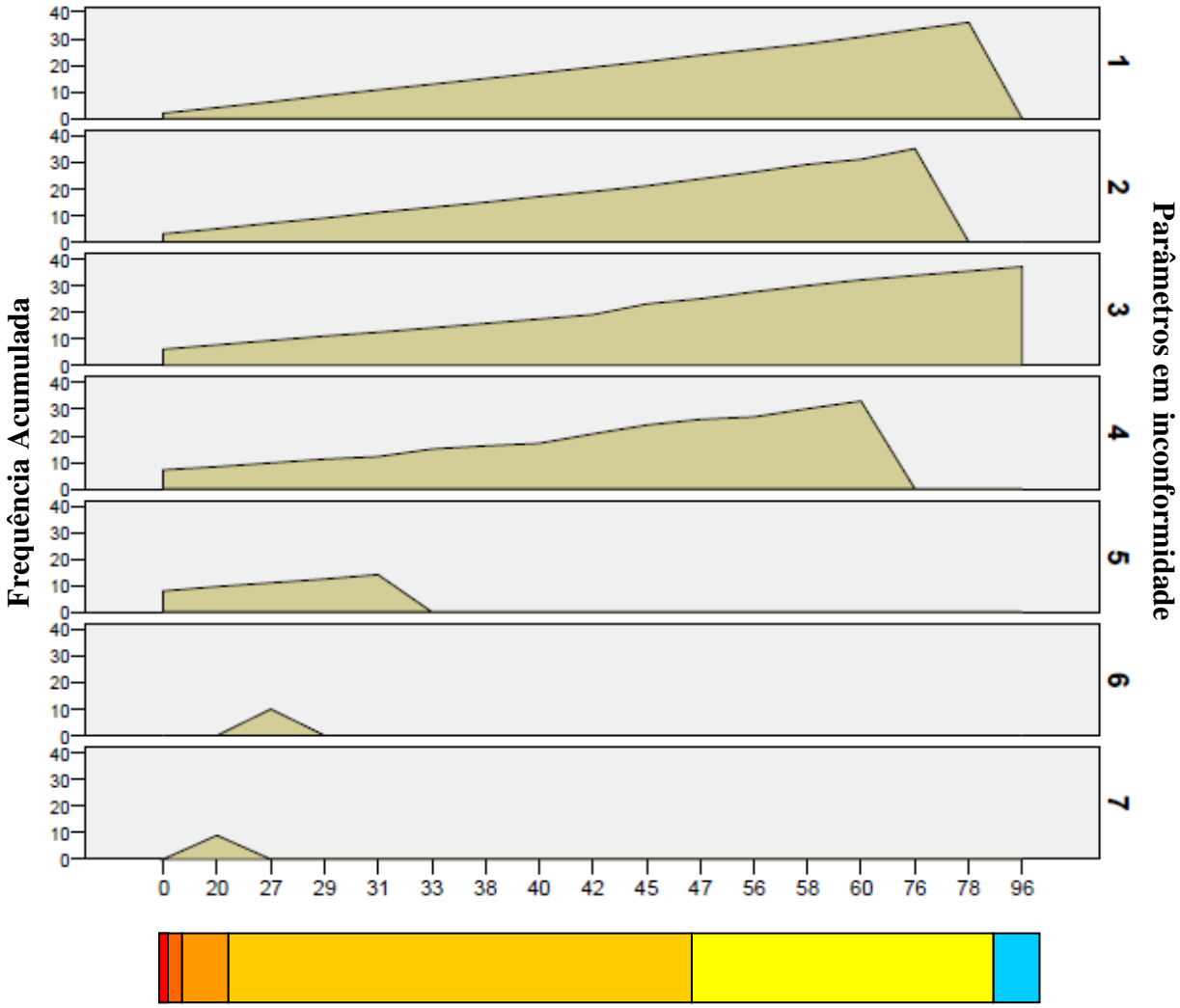
Inadequada	Precisa de Tratamento II	Precisa de Tratamento I	Boa	Ótima

Gráfico de Fequência Acumulada: Número de parâmetros de inconformidade X IQA_C.



ANEXO 13 – GRÁFICOS DE FREQUÊNCIA ACUMULADA – P. ESCAVADOS

Gráfico de Fequência Acumulada: Número de parâmetros de inconformidade X IQA_{CH} – 1ª abordagem.

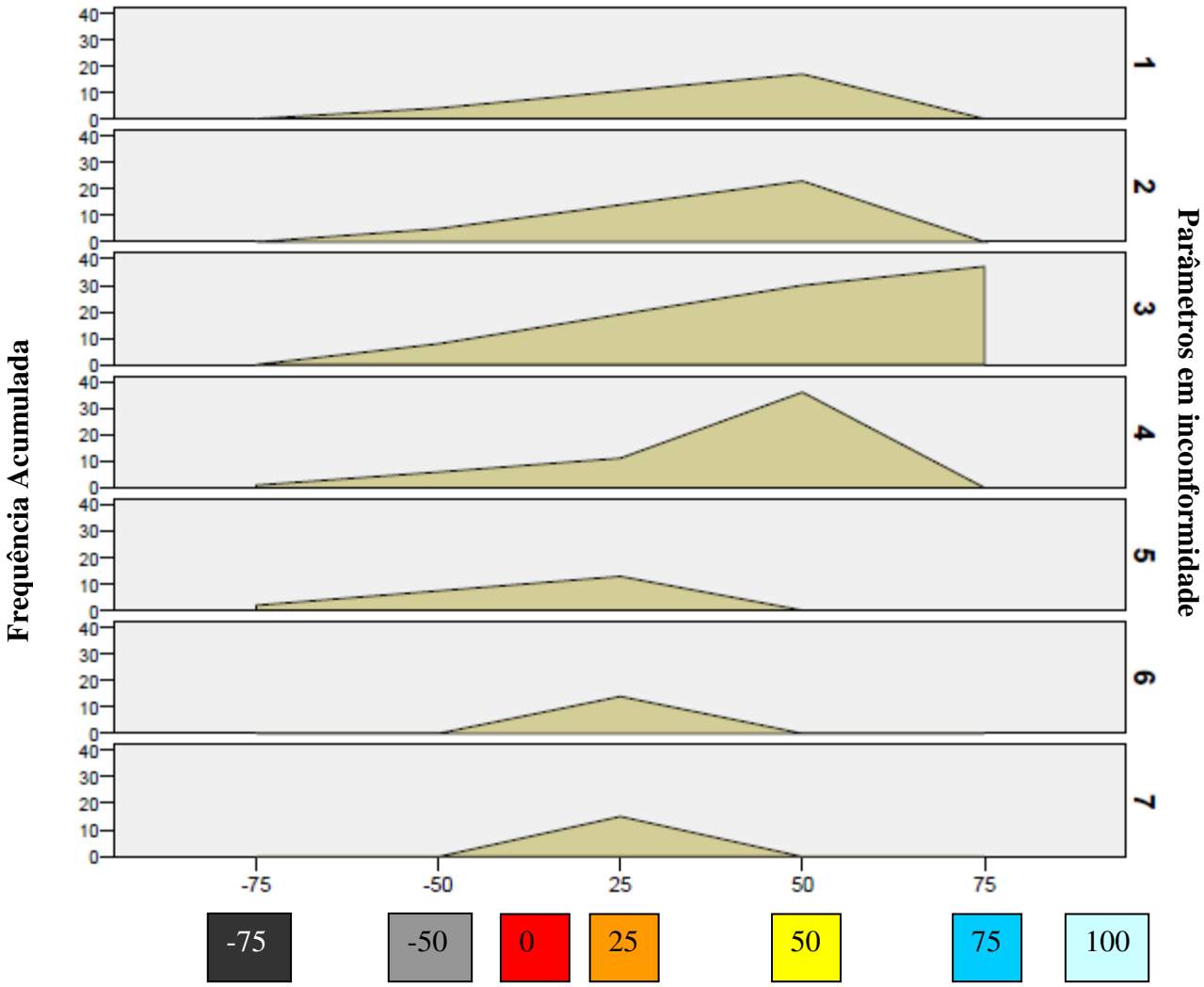


$IQAS_{CH}$ - 1ª Abordagem (Incluindo avaliação de parâmetros tóxicos).

Legenda:

Imprópria	Precisa de Tratamento II	Precisa de Tratamento I	Boa	Ótima

Gráfico de Fequência Acumulada: Número de parâmetros de inconformidade X IQA_{CH} – 2ª abordagem.



$IQAS_{CH}$ - 2ª Abordagem (Incluindo avaliação de parâmetros tóxicos)

Legenda:

Imprópria	Imprópria	Inadequada	Precisa de Tratamento II	Precisa de Tratamento I	Boa	Ótima

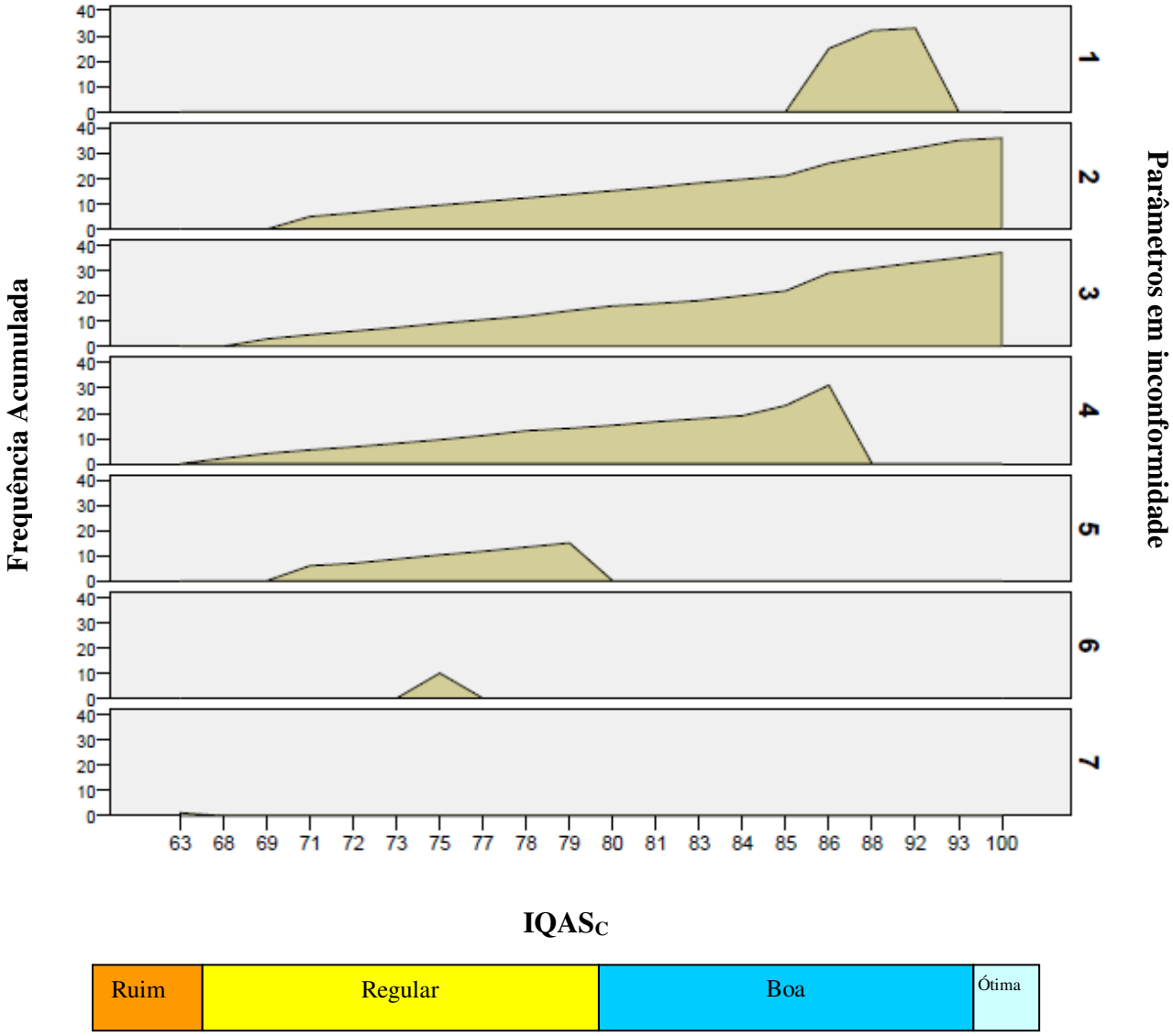



Gráfico de Fequência Acumulada: Número de parâmetros de inconformidade X IQA_C.