

APLICAÇÃO E MAPEAMENTO DE ÍNDICE DE QUALIDADE DA ÁGUA NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO SÃO DOMINGOS - RJ

Rachel Bardy Prado¹ & Leticia Briones Di Lullo²

RESUMO --- 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. O monitoramento se presta a tal, porém muitos são os parâmetros que precisam ser analisados para o diagnóstico da qualidade da água. Para compilar estes resultados e apresentá-los de forma mais simples aos tomadores de decisão, aplica-se os denominados Índices de Qualidade da Água (IQA). Como a bacia hidrográfica do rio São Domingos encontra-se inserida no contexto de degradação dos recursos hídricos, o presente estudo foi proposto. Este teve como objetivos a aplicação e o mapeamento do IQA a partir do monitoramento da qualidade de águas superficiais e subterrâneas realizado em 58 pontos, quanto aos parâmetros físicos, químicos e microbiológicos, nos anos de 2004 e 2005. Os resultados de IQA obtidos foram interpolados utilizando o *Spatial Analyst* do ARCGIS 9.1 da ESRI, o que permitiu fazer uma análise espacial da qualidade da água na bacia. Uma análise multitemporal também foi realizada para as microbacias de Santa Maria/Cambiocó, Barro Branco e Prosperidade. Os resultados mostraram que as áreas mais urbanizadas são as que apresentam pior IQA, merecendo cuidados específicos.

ABSTRACT--- It is important to use tools to evaluate the water quality deterioration in basin level and to support decisions about solve this kind of problem. The monitoring is adequate, but requires many parameters analysis to diagnose water quality along the time. To simplify the results and answers to society is usual apply IQA. The São Domingos river basin present problems related to water quality. Then the present study was proposed aiming to apply and map IQA in the space and time (2004 and 2005) in this basin and microbasins (Santa Maria/Cambiocó, Barro Branco e Prosperidade) by ARCGIS 9.1 techniques. The results showed that the urban areas are the most affected by pontual pollution, presenting worst IQA. For this is necessary to reduce pollutant input in water systems.

Palavras-chave: IQA, geoprocessamento, bacia hidrográfica, rio São Domingos.

¹ Pesquisadora da Embrapa Solos – rachel@cnpq.embrapa.br

Rua Jardim Botânico, 1024, Jardim Botânico, Rio de Janeiro, RJ, CEP: 22460-000.

² Bolsista da Embrapa Solos e graduanda em Ciências Biológicas da Universidade Santa Úrsula – lecadilullo@hotmail.com

Rua Jardim Botânico, 1024, Jardim Botânico, Rio de Janeiro, RJ, CEP: 22460-000.

1.0 INTRODUÇÃO

As águas superficiais e subterrâneas vêm sendo deterioradas, de forma drástica, tanto em bacias hidrográficas rurais como urbanas, devido ao uso e ocupação inadequados da terra e emissão de poluentes nos corpos d'água.

A poluição ocorre gradativamente e, sendo assim, é preciso fazer uso de instrumentos como o monitoramento. Este se presta a identificar o nível da degradação ao longo do tempo, por meio de parâmetros que podem ser de natureza física, química e biológica. No entanto, muitos são os parâmetros utilizados, cujos resultados são de difícil interpretação por pessoas não especialistas no tema. Desta forma, é preciso compilar estes resultados a fim de se obter uma única resposta que possa ser de fácil compreensão pela população afetada, bem como pelos tomadores de decisão da bacia hidrográfica. Uma forma de fazer isto é aplicar Índices de Qualidade da Água (IQA) que vêm sendo desenvolvidos nas últimas décadas mundialmente.

Na bacia hidrográfica do rio São Domingos (BHRSD), localizada no Noroeste do Estado do Rio de Janeiro (predominantemente rural), a situação de degradação e escassez das águas vem ocorrendo devido aos diversos ciclos econômicos de exploração da terra, isentos de preservação ambiental. O mau uso da terra ao longo do tempo resultou em: supressão de grande parte da vegetação natural, processos erosivos intensos, entupimento das calhas dos rios, contaminação das águas superficiais e subterrâneas por esgotos domésticos e resíduos provindos da agricultura, dentre outros danos ambientais. Reduzindo a quantidade e qualidade dos recursos naturais disponíveis, os sistemas de produção agrícola também ficam comprometidos e, sendo, assim, a população da bacia hidrográfica em questão apresenta um IDH comparável a municípios do nordeste brasileiro, onde a pobreza vigora.

Perante esta situação, faz-se necessário um amplo estudo sobre as fontes de poluição difusa e pontual, caracterização da situação de degradação das terras e das águas desta região, a fim de subsidiar ações que venham a mitigar os problemas relacionados aos recursos hídricos. Neste sentido, alguns projetos coordenados pela Embrapa Solos, com atuação de diversos parceiros, vêm sendo desenvolvidos na BHRSD como o projeto “Gestão Participativa da bacia do rio São Domingos”, edital CT-Hidro 02/2002 (finalizado em 2005) e o projeto “Planejamento Conservacionista das Terras e Modelagem Preditiva de Sistemas Aquíferos do Cristalino para a Recarga

Hídrica em Bacias Hidrográficas de Relevo Acidentado” – PRODETAB 087-02/01/Embrapa (em andamento).

Nestes projetos foram feitas diversas amostragens para o monitoramento de qualidade da água, sendo analisados parâmetros físico-químicos e microbiológicos. Também foi elaborada uma base de dados georreferenciados de qualidade da água. No entanto, para apresentar estes resultados numéricos para as comunidades estudadas, torna-se necessário uma compilação dos mesmos, traduzindo-os em uma linguagem de fácil entendimento e possibilitando a comparação entre a qualidade da água dos diversos pontos amostrados.

Diante do exposto, o presente estudo tem como proposta a aplicação e mapeamento do Índice de Qualidade da Água (IQA), desenvolvido pela National Sanitation Foundation (NSF) dos Estados Unidos. Este índice tem sido usado amplamente no Brasil pela Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental (CETESB) do Estado de São Paulo, Fundação Estadual de Meio Ambiente do Estado de Minas Gerais (FEAM), entre outros.

2.0 OBJETIVO

Aplicar e mapear um Índice de Qualidade de Água (IQA) na bacia hidrográfica do rio São Domingos (RJ) com base nos dados do monitoramento da qualidade da água superficial e de poços realizado nos anos de 2004 e 2005, 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”, que faz parte do Programa de Apoio ao Desenvolvimento de Tecnologias Agropecuárias para o Brasil – PRODETAB 087-02/01/Embrapa, com apoio do Banco Mundial.

3.0 ÍNDICES DE QUALIDADE DE ÁGUA (IQA)

3.1 Importância da aplicação de IQA

Para uma interpretação ecológica da qualidade das águas superficiais e/ou para estabelecer um sistema de monitoramento, é necessário a utilização de métodos simples que forneçam informações objetivas e interpretáveis. Neste aspecto, o uso de índices de qualidade de água é uma tentativa que todo programa de monitoramento de águas prevê

como forma de acompanhar, através de informações resumidas, a possível deterioração dos recursos hídricos ao longo da bacia hidrográfica ou ao longo do tempo (Toledo e Nicoletta, 2002).

As principais vantagens dos índices de qualidade de águas são a facilidade de comunicação com o público não técnico e o fato de representar uma média de diversas variáveis em um único número, combinando unidades de medidas diferentes em uma única unidade. Podemos citar ainda, de acordo com Leite e Fonseca (1994), outras relevâncias da aplicação do IQA, como a redução de uma grande quantidade de dados atuando como ferramenta para o estudo de fenômenos ambientais; identificar problemas de qualidade de água que demandem estudos especiais em trechos de rios; servir de instrumento para gestão de recursos hídricos, entre outros.

3.2 Estado da arte da utilização de IQA no Brasil

Índices de qualidade da água foram propostos visando resumir as variáveis analisadas em um número, que possibilite analisar a evolução da qualidade da água no tempo e no espaço e que serve para facilitar a interpretação de extensas listas de variáveis ou indicadores (Gastaldini e Souza, 1994).

Em geral, um índice de qualidade de água é um número adimensional que exprime a qualidade da água para os diversos fins. Esse número é obtido a partir da agregação de dados físicos, químicos e bacteriológicos por meio de metodologias específicas. Segundo Derísio (1992), de acordo com os diversos usos da água, surgiram índices específicos que os complementam, tais como: índice de qualidade de água em geral, índices para uso específico, índices para planejamento ambiental, entre outros.

No Brasil, o interesse por tais índices cresceu a partir de 1972, quando o Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA) manifestou em seu relatório anual a necessidade da utilização de índices para monitorar o meio ambiente. Horton, pesquisador alemão, foi quem fez a primeira apresentação formal de um IQA em 1965, referindo-se aos índices como ferramentas para a avaliação dos programas de redução da poluição e para informação pública (Derísio, 1992).

O IQA proposto por Horton selecionou oito parâmetros de qualidade, cada um com um peso relativo correspondente. Os parâmetros eram: OD, pH, coliformes fecais, alcalinidade, cloreto, condutividade, tratamento de esgoto, Carbono Cloriforme Extraído (CCE), sendo que os pesos variavam de 1 a 4. Ainda segundo este mesmo autor, em 1970, Brown, McClelland, Deininger e Tozer apresentaram um índice de qualidade da

água bastante similar em sua estrutura ao índice de Horton e o estudo foi financiado pela National Sanitation Foundation.

Este índice, IQA-NSF, baseou-se em pesquisa de opinião feita a 142 especialistas em qualidade de águas, que indicaram os parâmetros a serem analisados, os pesos relativos dos mesmos e a condição com que se apresenta cada parâmetro, segundo uma escala de valores. Dos 35 parâmetros indicadores de qualidade da água inicialmente propostos, somente 9 foram selecionados. Para estes foram estabelecidas curvas de variação de qualidade das águas de acordo com o estado ou a condição de cada variável. Os parâmetros selecionados na ocasião foram: temperatura, OD, DBO, pH, turbidez, sólidos totais, coliformes fecais, fosfato total e nitrato. O IQA varia de 0 a 100, sendo que quanto maior o valor do IQA, melhor é a qualidade da água.

Este índice obteve grande aceitação, passando a ser o mais utilizado em diversas regiões do mundo, inclusive no Brasil. A Fundação Estadual do Meio Ambiente (FEAM) juntamente com o Instituto Mineiro de Gestão das Águas (IGAM) e a Fundação Centro Tecnológico de Minas Gerais (CETEC), que realizam o monitoramento da qualidade das águas superficiais dos Estados, utilizam o IQA-NSF.

Já no Estado de São Paulo, a Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental (CETESB), utilizou de 1975 a 2001, o IQA-NSF, mas adotando a seguinte modificação: ao invés de nitrato, foi monitorado o parâmetro nitrogênio total. Segundo técnicos, essa substituição foi feita com o intuito de adaptar o índice às realidades do Estado, que possuíam seus rios comprometidos por esgotos domésticos, que são ricos em outras formas de nitrogênio, tais como o nitrogênio orgânico e amoniacal.

A partir de 2002, tendo em vista a limitação do IQA frente à ocorrência de elementos tóxicos, a CETESB passou a utilizar índices específicos para os principais usos do recurso hídrico: águas destinadas para fins de abastecimento público (IAP), águas destinadas para proteção da vida aquática (IVA) e águas destinadas para o banho (Classificação da praia).

O IQA - CETESB tem sido o índice mais utilizado em sistemas de monitoramento da qualidade da água por instituições estaduais e inclusive federais, como é o caso do monitoramento da Bacia do rio da Prata, em território brasileiro. Além destes, diversos trabalhos foram encontrados na literatura a cerca de análise comparativa relativa a aplicações de diferentes índices de qualidade da água, sendo reconhecido o IQA como o mais representativo da realidade. Entre outros, pode-se citar Deus *et al.* (1999) que compararam o IQA da NSF, Horton e Prati nas bacias hidrográficas dos rios Taquari,

Antas e Caí no Rio Grande do Sul. Ferreira e Ide (2001) aplicaram o IQA - NSF, Smith e Horton no rio Miranda (MS) e observaram que IQA-NSF e Smith foram os que representaram melhor a qualidade da água.

Enquanto são muitos os índices utilizados para exprimir a qualidade das águas superficiais, são poucas as referências encontradas na literatura no que se refere aos índices de qualidade para águas subterrâneas. Por outro lado, tradicionalmente, a classificação da qualidade química das águas subterrâneas é feita através de diagramas. Dentre os vários diagramas de qualidade da água subterrânea propostos na literatura, destacam-se os colunares, radiais e triangulares. Oliveira *et al.* (2006). Ainda, segundo este autor, esses diagramas apresentam forte limitação para a visualização em mapas temáticos, por serem representações pontuais de cada poço, ou de um conjunto de poços.

Atualmente está em discussão no CONAMA a proposta de uma Resolução de classificação e diretrizes ambientais para o enquadramento de águas subterrâneas. Esta classificação proporcionará aos Comitês de Bacias Hidrográficas e Conselhos de Recursos Hídricos a possibilidade de enquadramento dos corpos hídricos subterrâneos, estabelecendo metas de manutenção e melhoria da sua qualidade. CETESB (2007). Enquanto não se desenvolvem e fixam padrões e índices específicos para águas subterrâneas, comumente os métodos de análise utilizados para águas superficiais também são aplicados às subterrâneas, como no caso do presente estudo.

3.3 O IQA desenvolvido pela National Sanitation Foundation

O IQA originário da NSF, adotado e modificado pela CETESB, é calculado pelo produto ponderado das notas atribuídas aos seguintes parâmetros de qualidade de água: temperatura, pH, OD, DBO, coliformes fecais, nitrogênio total, fósforo total, sólidos totais e turbidez, conforme equação 1:

$$IQA = \pi \cdot \sum q_i \cdot w_i \quad (1)$$

Onde:

IQA = índice de qualidade da água (varia de 0 a 100);

π = número “pi” (3,14...);

q_i = nota atribuída ao i -ésimo parâmetro (entre 0 e 100) obtido da respectiva “curva de qualidade”, em função de sua concentração ou medida;

w_i = peso correspondente ao i -ésimo parâmetro, atribuído por sua importância para a conformação global da qualidade um número entre 0 e 1.

Os dados obtidos a partir do monitoramento são utilizados para o cálculo do IQA a partir de uma planilha no aplicativo Excel (Microsoft Office). As curvas de qualidade dos parâmetros da metodologia do NSF foram transformadas em equações. A classificação da qualidade da água segundo o IQA – NSF e CETESB, respectivamente, é feita utilizando os critérios demonstrados nas tabelas 1 e 2.

Tabela 1 – Classificação do IQA segundo NSF.

Classificação NSF	Valor IQA	Cor de referência
Excelente	$90 < IQA \leq 100$	
Bom	$70 < IQA \leq 90$	
Médio	$50 < IQA \leq 70$	
Ruim	$25 < IQA \leq 50$	
Muito Ruim	$0 \leq IQA \leq 25$	

Tabela 2 – Classificação do IQA segundo CETESB.

Classificação CETESB	Valor IQA	Cor de referência
Ótimo	80-100	
Bom	52-79	
Aceitável	37-51	
Ruim	20-36	
Péssimo	0-19	

4.0 GEOPROCESSAMENTO APLICADO A ESTUDOS DE QUALIDADE DA ÁGUA

A integração do desenvolvimento tecnológico da informática e do monitoramento remoto à cartografia convencional gerou o surgimento das técnicas de geoprocessamento, representando hoje um conjunto de ferramentas especialmente adequado à tarefa de gestão dos cursos hídricos (Ávila *et al.*, 1999).

Essas ferramentas encontram-se geralmente integradas em Sistemas de Informação Geográfica (SIG). Para Burrough e McDonnell (1998), o SIG é mais que um simples automatizador de tarefas existentes, ele propicia ambos, um arquivo de dados espaciais na forma original e a exploração de interações entre processos e modelos em fenômenos espaciais e temporais. Diversos são os trabalhos encontrados na literatura especializada que utilizam as ferramentas de geoprocessamento em estudos da qualidade da água. Cada qual com seu objetivo e metodologia, mas todos concordando que se trata de método inovador, útil e indispensável.

A forma de apresentação dos dados gerados permite a visualização, embora de forma qualitativa, das variações mais significativas na qualidade dos cursos d'água,

identificando imediatamente áreas prioritárias a ações mitigadoras dos impactos ambientais constatados (Streck *et al.*, 1999). Conforme Rodriguez *et al.* (1998), a apresentação de dados na forma espacializada, facilita o intercâmbio de informações entre a comunidade tecno-científica, uma vez que os mapas temáticos podem sintetizar uma carga significativa de informações, tornando-as mais facilmente assimiláveis.

E ainda, segundo Barros e Rocha (2000) a complexidade dos processos na gestão de recursos hídricos, aliada à necessidade de trabalhar-se com muitos dados, faz do SIG uma ferramenta essencial no gerenciamento dos recursos hídricos, área que requer uma integração perfeita entre dados dos mais variados tipos (físicos, cartográficos, hidrológicos, econômicos, dentre outros).

Neste contexto, o mapeamento e localização das águas superficiais e subterrâneas e a identificação em meio cartográfico da qualidade e quantidade da água, dos pontos de vulnerabilidade da integração água x atividade humana ou origem do fator de influência, são ações fundamentais na gerência eficiente dos recursos hídricos (Junior *et al.*, 2003).

Assim sendo, encontramos estudos de qualidade da água por meio de espacialização geográfica de dados, em ambientes urbanos e rurais, em águas superficiais e subterrâneas, análises de redução de IQA, variabilidade espaço-temporal, relações do uso e cobertura da terra com a qualidade da água em bacias e microbacias, dentre muitos outros, justificando a aplicação das mesmas técnicas no presente trabalho.

5.0 MATERIAL E MÉTODOS

5.1 Área de estudo

A área de estudo refere-se à bacia hidrográfica do rio São Domingos (BHRSD), situada entre as coordenadas geográficas 21°15'00" e 21°30'00" Sul e 41°45'50" e 42°04'50" Oeste. Esta bacia possui aproximadamente 280 km² e localiza-se no Noroeste do Estado do Rio de Janeiro, sendo 90% do seu território compreendido pelo município de São José de Ubá e 10% pelo município de Itaperuna. O rio São Domingos é afluente do rio Muriaé, fazendo parte do Complexo Hidrográfico do rio Paraíba do Sul, um dos mais importantes do Estado do Rio de Janeiro. A Figura 1 apresenta a localização da bacia no Estado do Rio de Janeiro, destacando as 3 microbacias estudadas, Santa

Maria/Cambiocó, Barro Branco e Prosperidade. Estas microbacias foram selecionadas porque possuem diferenças em suas características, como por exemplo, o uso e ocupação que é mais intensivo em Santa Maria/Cambiocó e Barro Branco, devido ao maior número populacional e plantio de tomate e menos intensivo em Prosperidade, cujas terras correspondem em sua maioria a um único proprietário, que preservou o maior fragmento florestal da bacia, mas também pratica a pecuária no restante da área. A altitude também é diferenciada, sendo menos elevada em Santa Maria/Cambiocó e Barro Branco e mais elevada em Prosperidade que está localizada próximo às nascentes principais da bacia. A geologia e pedologia também possuem aspectos diferenciados.

A BHRSD é uma das regiões mais secas e degradadas do Noroeste do Estado do Rio de Janeiro, cuja população vem enfrentando problemas relacionados à escassez de água. Esta escassez se deve ao regime de chuvas, mas também à degradação ambiental. Desta forma, o ciclo hidrológico se encontra alterado e a reposição dos aquíferos se encontra prejudicada, provocando a escassez de água.

Atualmente, esta bacia é caracterizada essencialmente por pequenas propriedades rurais, compondo várias comunidades, que juntas, compõem a maior parte da população da bacia. Suas principais atividades econômicas são basicamente a pecuária leiteira e de corte, olericultura e fruticultura. Quanto à olericultura, o cultivo do tomate merece destaque por ser a atividade predominante e que vêm aumentando bastante na região nos últimos anos (Prado *et al.*, 2005).

A degradação da água na região encontra-se bastante relacionada ao cultivo de tomate, que requer grandes quantidades de fertilizantes e pesticidas, que usados de forma indiscriminada e em excesso, ficam retidos no solo, podendo seus resíduos ser transportados até os corpos d'água na época das chuvas, causando sua contaminação.

Além deste fator, o cultivo de tomate também necessita de grandes volumes de água para a irrigação. Neste sentido, os produtores rurais têm encontrado várias dificuldades na viabilização da produção do tomate, pois a água superficial já não é mais suficiente para atender à demanda. Desta forma, para suprir a demanda hídrica para a irrigação, é comum na região, a construção de pequenas barragens ao longo dos córregos, interferindo no fluxo natural dos corpos d'água, além das áreas alagadas incrementarem as perdas por evaporação e diminuição do potencial hídrico dos mananciais (Prado *et al.*, 2005). Por outro lado, a maior parte da população rural é abastecida, para as suas necessidades domésticas, por poços rasos e profundos, pois a água superficial além de insuficiente encontra-se poluída.

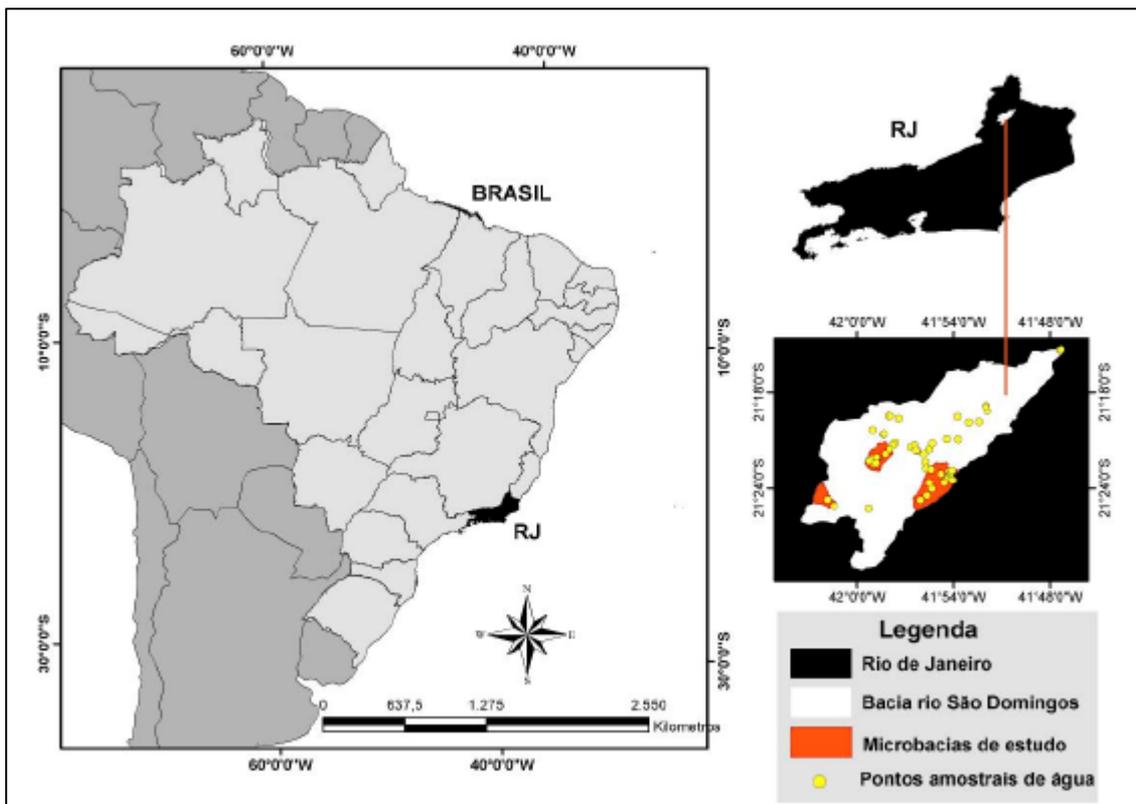


Figura 1 – Localização da área de estudo e dos pontos amostrais de água

5.2 Coleta e análise de amostras de água

Foram identificados e georreferenciados 58 pontos de amostragem distribuídos criteriosamente ao longo da BHRSD. Estes pontos foram georreferenciados com o auxílio de um *Global Positioning System* (GPS), sendo 34 pontos relacionados às águas subterrâneas, sendo poços rasos (R) e profundos (P) e 24 pontos relacionados à água superficial, sendo córregos, rio, reservatórios (S) e nascentes (N).

Na primeira coleta que ocorreu em outubro de 2004 todos os 58 pontos alocados na BHRSD foram amostrados a fim de caracterizar as águas da bacia. A partir daí apenas as 3 microbacias de enfoque do projeto já mencionado (Santa Maria/Cambiocó, Barro Branco e Prosperidade) foram amostradas ao longo do monitoramento, somando um total de 23 pontos, reduzindo o tempo de amostragem, análise e processamento dos dados, além de reduzir os custos. Sendo assim, as coletas subseqüentes ocorreram em abril, agosto e dezembro de 2005. Os parâmetros temperatura, pH e condutividade elétrica (CE) foram analisados *in situ* com o auxílio de um medidor de qualidade da água da marca Horiba U-10. Para a análise dos demais parâmetros, foram coletadas amostras em recipientes adequados, acondicionadas e transportadas refrigeradas até o laboratório. Os parâmetros: Oxigênio Dissolvido (OD), Demanda Bioquímica de

Oxigênio (DBO) e coliformes fecais foram analisados na Fundação Estadual do Meio Ambiente (FEEMA). Os ânions nitrato total e fosfato total foram obtidos utilizando um cromatógrafo de íons Dionex-DX120, no laboratório da Embrapa Solos. A metodologia aplicada baseou-se em APHA (1995).

5.3 Organização de bases de dados georreferenciados

Uma vez obtidos os resultados das análises, foi elaborada e organizada uma base de dados contendo as coordenadas geográficas dos pontos amostrados, no programa Excel, com todas as informações do cadastro dos pontos de amostragem d'água e dos resultados referentes aos parâmetros de qualidade de água analisados.

5.4 Adaptação e aplicação do IQA para BHRSD

Neste estudo, baseado na disponibilidade dos dados, utilizou-se os seguintes parâmetros para o cálculo do IQA: pH, OD, DBO, coliformes fecais, nitrato ao invés de nitrogênio total, fosfato total, sólidos totais e temperatura. Conseqüentemente, os fatores de peso tiveram que ser modificados. Para tal, foi utilizado o fator de normalização, calculado a partir da soma dos pesos dos parâmetros que serão utilizados, o resultado é o fator de normalização dos parâmetros (neste caso 0,92). Cada peso original deve ser dividido pelo fator de normalização e os resultados serão os novos pesos a serem utilizados no cálculo do IQA, sendo importante ressaltar que a soma dos pesos dos parâmetros deve ser igual a 1. A ponderação preconizada pelo IQA e a utilizada encontra-se na tabela 3.

Tabela 3 – Fatores de peso para cálculo do IQA na BHRSD

Parâmetros	Peso relativo-NSF	Peso utilizado
Oxigênio dissolvido	0,17	0,18
Coliformes fecais	0,15	0,16
PH	0,12	0,13
DBO	0,10	0,11
Fosfato total	0,10	0,11
Nitrato	0,10	0,11
Turbidez	0,08	---
Sólidos totais	0,08	0,09
Temperatura	0,10	0,11

Apesar da metodologia do IQA ser aplicada em geral para águas superficiais, optou-se neste estudo por aplicá-la também às águas subterrâneas. Como os parâmetros OD e DBO em águas subterrâneas são naturalmente reduzidos e, desta forma, poderia

estar incorrendo em erros nos resultados do IQA, foi utilizado um novo fator de normalização, desconsiderando estes parâmetros como pode ser observado na tabela 4.

Tabela 4 – Fatores de peso para águas subterrâneas sem considerar OD e DBO

Parâmetros	Peso relativo-NSF	Peso utilizado
Oxigênio dissolvido	0,17	---
Coliformes fecais	0,15	0,231
PH	0,12	0,184
DBO	0,10	---
Fosfato total	0,10	0,154
Nitrato	0,10	0,154
Turbidez	0,08	---
Sólidos totais	0,08	0,123
Temperatura	0,10	0,154

Contudo, como os teores de alguns dos demais parâmetros considerados como coliformes fecais, nitrato e sólidos totais apresentaram teores elevados, não foram observadas alterações significativas nos resultados do IQA para os pontos de água subterrânea sem considerar os parâmetros OD e DBO, pois aqueles parâmetros tiveram o seu peso aumentado no momento da redistribuição de pesos, a partir da nova normalização. A similaridade dos resultados obtidos nesta fase pode ser observada, para alguns pontos de água subterrânea, na tabela 5.

Tabela 5 – Comparação dos resultados do IQA em águas subterrâneas considerando ou não o OD e DBO.

Pontos	IQA – outubro 04 – com OD e DBO	IQA - outubro 04 – sem OD e DBO
15 R	80	88
20 R	56	58
22 R	78	78
24 R	72	73
8 P	87	81
12 P	74	75
17 P	85	90
60 P	66	64

Sendo assim, optou-se por espacializar os resultados de IQA quando os parâmetros OD e DBO foram considerados para as águas subterrâneas, para ficar padronizado com o IQA aplicado para as águas superficiais.

5.5 Mapeamento dos resultados advindos da aplicação do IQA na BHRSD e nas microbacias de enfoque

A tabela em extensão .dbf obtida no item 5.3, contendo as coordenadas dos pontos de amostragem e os resultados da aplicação do IQA (para as diferentes coletas), foi importada para o programa ARCGIS 9.1 da ESRI. Uma vez obtido o shapefile dos valores de IQA relacionados aos pontos de amostragem, foi possível fazer a interpolação dos mesmos para a coleta de outubro de 2004 (58 pontos), utilizando a extensão *Spatial Analyst* e aplicando o método de interpolação *Inverse Distance Weighted* (IDW), cujo peso é função da inversa distância entre os pontos amostrais. O resultado foi obtido na forma matricial. O mapa obtido nesta etapa permitiu realizar uma análise espacial da qualidade das águas, superficiais e subterrâneas na BHRSD.

No caso das outras coletas que foram para as 3 microbacias de estudo, não foi possível aplicar o mesmo método, uma vez que o número de pontos era insuficiente para uma boa interpolação. Neste caso, optou-se por plotar apenas os resultados da aplicação do IQA, na forma de pontos distribuídos ao longo das 3 microbacias para os meses de abril, agosto e dezembro de 2005, adotando a classificação do IQA da CETESB (tabela 2). Os mapas resultantes desta etapa permitiram realizar uma análise temporal da qualidade da água nas 3 microbacias de enfoque da BHRSD.

6.0 RESULTADOS E DISCUSSÃO

6.1 Variação espacial do IQA na BHRSD

A figura 2 apresenta o mapa resultante da interpolação dos valores de IQA na bacia do rio São Domingos, RJ. Quanto menos elevado for o valor do IQA na legenda, significa que pior está a qualidade da água, conforme os parâmetros utilizados. Na situação inversa, quanto mais elevado o IQA, melhor está a qualidade da água. O IQA variou neste caso, de 42 a 100, o que se relaciona às classes aceitável, bom e ótimo, de acordo com a tabela 2. Sendo assim, o estado de degradação da qualidade desta bacia não se apresenta ainda tão acelerado.

Contudo, percebe-se neste mapa que existe uma distribuição espacial do IQA diferenciada ao longo da bacia, apontando áreas onde a degradação da qualidade é maior. Estas áreas correspondem às áreas mais urbanizadas como a sede do município de São José de Ubá e as comunidades de Santa Maria e Cambiocó que apresentam o maior contingente populacional da área rural. Também a região mais próxima do exutório da BHRSD apresentou valores de IQA baixo. Isto significa que a carga de poluição pontual, provinda dos esgotos domésticos, está contribuindo para uma redução

da qualidade da água – IQA baixo, devido aos elevados teores dos parâmetros coliformes fecais, nitrato, fosfato total, sólidos totais e DBO, assim como aos baixos teores de OD, que em alguns casos estiveram fora dos limites permitidos para a classe 2 do CONAMA 357. O aumento da entrada da poluição pontual nos corpos d'água acelera o processo de eutrofização, causando sérios danos ao abastecimento de água local, bem como ao ecossistema aquático, principalmente ao considerar que se trata de uma bacia que enfrenta escassez hídrica. Outro aspecto a se considerar é que os poços rasos e profundos não foram construídos de forma adequada, sendo mais facilmente contaminados por nitratos e coliformes, por exemplo.

A região das nascentes principais do rio São Domingos apresentou IQA alto, correspondendo a uma qualidade melhor da água, além de outros pontos isolados, que correspondem à amostragem subterrânea da água. Destaca-se neste grupo a microbacia de Prosperidade, que apresentou cor bastante clara no mapa (IQA alto). Isto se explica pelo fato da maior porção desta microbacia ser coberta por vegetação em estágio sucessional avançado, o que permite a manutenção da boa qualidade da água.

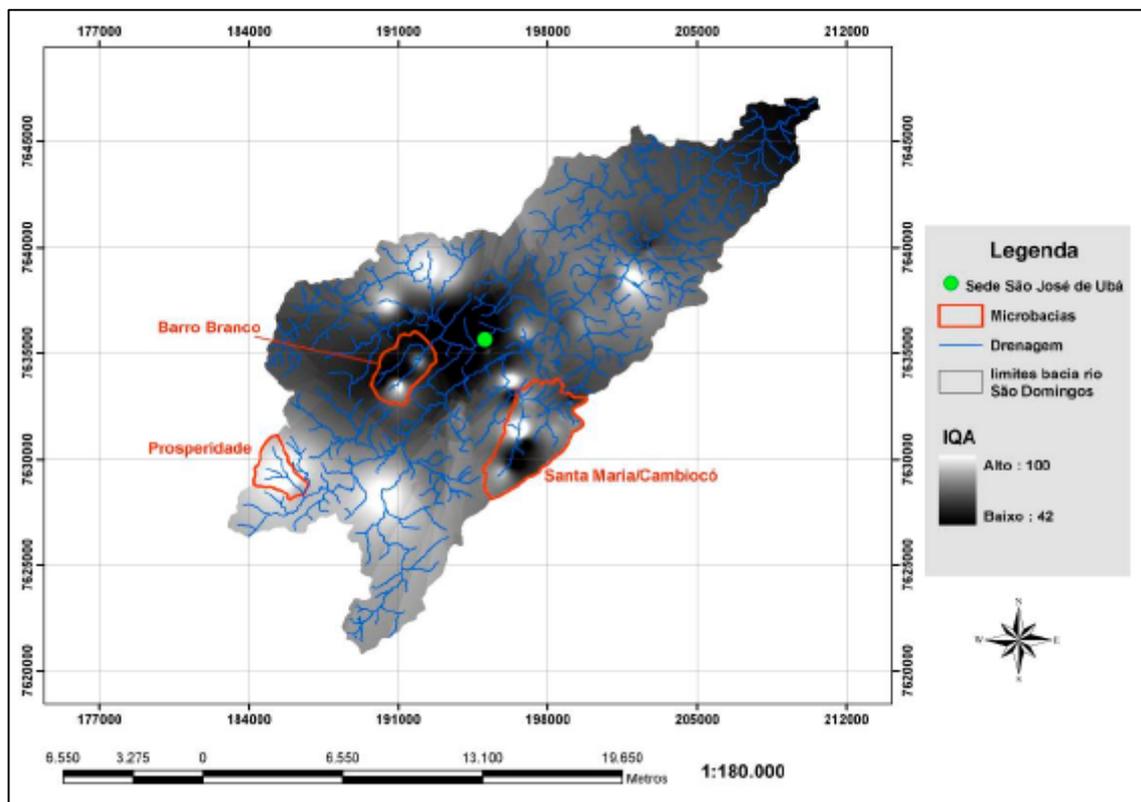


Figura 2 – Mapa da espacialização do IQA na bacia do rio São Domingos – RJ.

Os resultados da aplicação do IQA, considerando os pontos de coleta de água superficiais e subterrâneos de forma separada, mostraram que estes dois compartimentos hídricos comportam-se de modo diferenciado em relação às fontes de poluição, sendo os superficiais afetados mais rapidamente. Observa-se na figura 3 que quanto ao mapa do IQA de águas superficiais (nascentes e córregos - NS), a área urbana (representada como sede do município na legenda do mapa) é a que apresentou teores mais baixos (portanto, pior qualidade da água classificada como aceitável – 37 a 51). Já as regiões de nascentes apresentaram qualidade da água melhor (IQA alto – classificado como ótimo – 79 a 100). Porém, no que se refere ao mapa de IQA aplicado para as águas subterrâneas (poços rasos e profundos – RP), a classe aceitável (37 a 51) não ocorreu, mas apenas as classes bom (52 a 79) e ótimo (79 a 100). As áreas que apresentaram classe ótima estão localizadas próximas às nascentes, mas para a grande maioria da bacia a classificação do IQA foi ótimo para as águas subterrâneas. Estes resultados demonstram que é preciso considerar as particularidades de cada tipo de corpo d'água no gerenciamento de bacias hidrográficas.

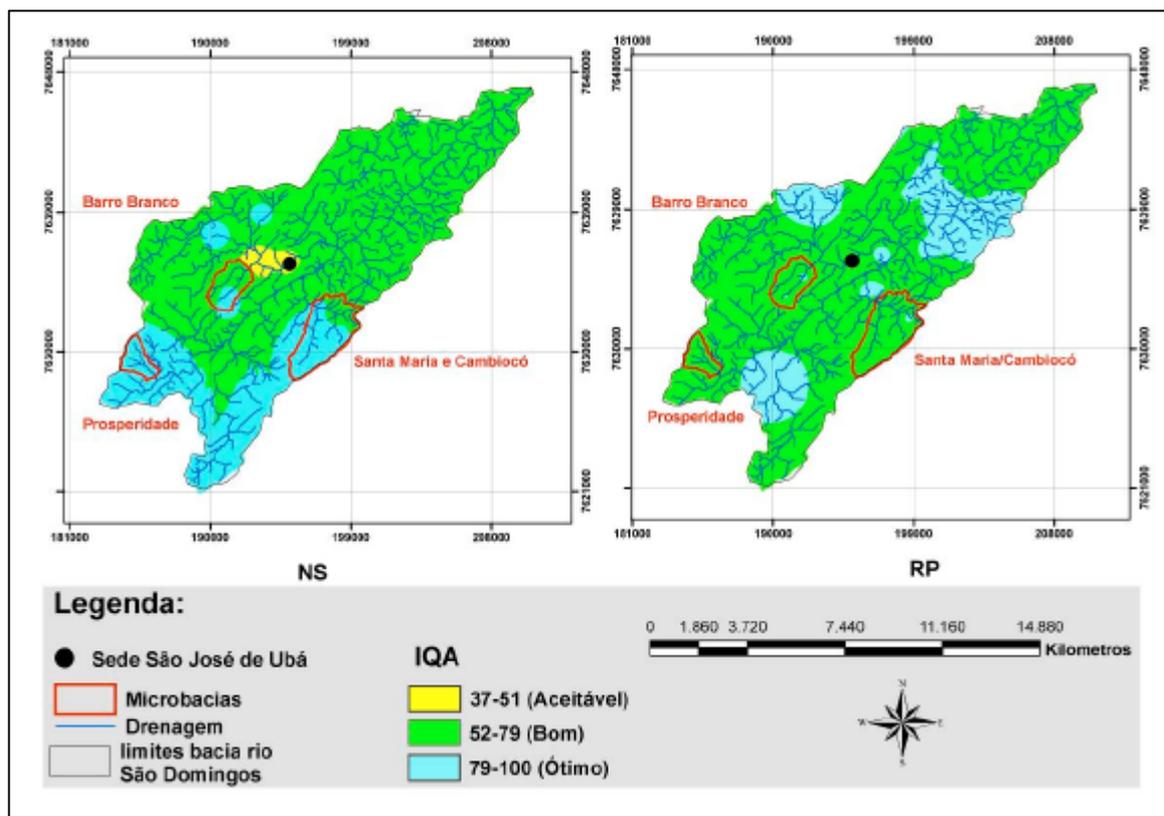


Figura 3 – Mapas da distribuição espacial do IQA aplicado separadamente para águas superficiais (NS) e águas subterrâneas (RP) da BHRSD, segundo classes da CETESB.

6.2 Variação temporal do IQA em microbacias da BHRSD

Os resultados da aplicação do IQA considerando os pontos de monitoramento da qualidade da água (superficial e subterrânea), nos meses de outubro de 2004, abril de 2005, agosto de 2005 e dezembro de 2005, referentes às microbacias de Barro Branco, Prosperidade e Santa Maria/Cambiocó podem ser observados, respectivamente nas tabelas 6, 7 e 8 e nos mapas da figura 4. Observa-se que na microbacia de Barro Branco o ponto 12P foi o que apresentou classe de IQA pior (aceitável no caso) para todos os meses monitorados, com exceção de outubro de 2004. Este poço profundo foi construído para abastecer a população local. Porém, como não foi bem revestido, sua água está sendo contaminada por fontes externas de poluição. Na microbacia de Santa Maria/Cambiocó os pontos 24S e 32S apresentaram pior IQA (aceitável) nas coletas de dezembro de 2005. Este fato ocorreu porque estes pontos estão localizados próximos ao exutório da microbacia (área de baixada) para onde são levados os sedimentos e poluentes na época da chuva, por meio do escoamento superficial. Já para os pontos da microbacia de Prosperidade, a classe predominante de IQA foi ótimo por estar em regiões de nascentes e presença de mata, variando pouco ao longo do monitoramento. O ponto 1S desta microbacia apresentou IQA bom e não ótimo em dezembro de 2005 por estar localizado no seu exutório, onde os valores de turbidez e sólidos em suspensão são maiores resultantes da precipitação também elevada nesta época. De modo geral, percebe-se na figura 3 e 4 que tanto para a bacia como um todo, como para as microbacias de Barro Branco e Santa Maria/Cambiocó (comunidades rurais mais populosas), a classe predominante de IQA a partir do monitoramento foi Bom.

Tabela 6 – Resultados da aplicação do IQA para a microbacia de Barro Branco, ao longo do tempo

Pontos	Outubro 04	Abril 05	Agosto 05	Dezembro 05
15 R	Ótimo	Bom	Ótimo	Ótimo
18 R	Bom	Bom	Bom	Bom
19 R	Bom	Bom	Bom	Bom
20 R	Bom	Bom	Bom	Bom
21 R	Ótimo	Bom	Bom	Ótimo
23 R	Bom	Bom	Bom	Bom
12 P	Bom	Aceitável	Aceitável	Aceitável
20 N	Bom	Bom	Bom	Bom
21 S	Ótimo	Bom	Ótimo	Ótimo
37 S	Aceitável	Ótimo	Bom	Bom

Tabela 7 – Resultados da aplicação do IQA para a microbacia de Prosperidade, ao longo do tempo

Pontos	Outubro 04	Abril 05	Agosto 05	Dezembro 05
1 S	Ótimo	Ótimo	Ótimo	Bom
36 S	Ótimo	Bom	Ótimo	Ótimo

Tabela 8 – Resultados da aplicação do IQA para a microbacia de Santa Maria/Cambiocó, ao longo do tempo

Pontos	Outubro 04	Abril 05	Agosto 05	Dezembro 05
8 R	Bom	Aceitável	Bom	Bom
11 R	Ótimo	Bom	Bom	Ótimo
12 R	Bom	Bom	Bom	Bom
13 R	Bom	Bom	Bom	Bom
4 P	Bom	Bom	Ótimo	Ótimo
7 N	Ótimo	Bom	Bom	Ótimo
25 N	Ótimo	Ótimo	Bom	Ótimo
24 S	Ótimo	Bom	Bom	Aceitável
27 S	Bom	Ótimo	Ótimo	Ótimo
29 S	Ótimo	Bom	Bom	Aceitável
32 S	Ótimo	Bom	Ótimo	Ótimo

7.0 CONCLUSÕES

A interpolação do IQA permitiu melhor visualização espacial da qualidade da água na bacia hidrográfica do rio São Domingos, RJ. Entretanto, é possível aplicar outros métodos de interpolação capazes de estimar o erro, mas para tal seria necessário aumentar o número de amostragem e melhorar a distribuição espacial dos pontos ao longo da bacia, o que nem sempre é possível, devido aos altos custos e muito trabalho e tempo despendido na coleta e análise das amostras. A análise multitemporal da qualidade da água das microbacias foi importante, uma vez que foi capaz de detectar oscilações nos valores de IQA, que ocorrem devido à sazonalidade, dentre outros fatores naturais ou antrópicos. É importante ressaltar que apesar do IQA aplicado não considerar parâmetros como os pesticidas, estes precisam ser monitorados na bacia em questão, visto que predomina o cultivo de tomate, que requer altas doses destes compostos, podendo afetar a qualidade da água e a saúde humana.

Ao se aplicar o mesmo IQA (CETESB) para águas superficiais e subterrâneas, percebeu-se a necessidade de desenvolvimento de novos IQA específicos para águas subterrâneas, uma vez que estes corpos d'água se comportam de maneira diferenciada e que estes IQA são escassos na literatura. Os resultados obtidos indicam, sobretudo, que medidas mitigadoras e de preservação devem ser consideradas no gerenciamento dos recursos hídricos da bacia e das microbacias em questão para evitar que em curto espaço de tempo o IQA, atualmente classificado como bom (na maioria dos pontos amostrados), não seja classificado como aceitável, como ocorreu para alguns pontos e, em uma situação de maior degradação, como ruim e posteriormente péssimo, similar ao que ocorre nos grandes centros urbanos, onde os esgotos não são tratados.

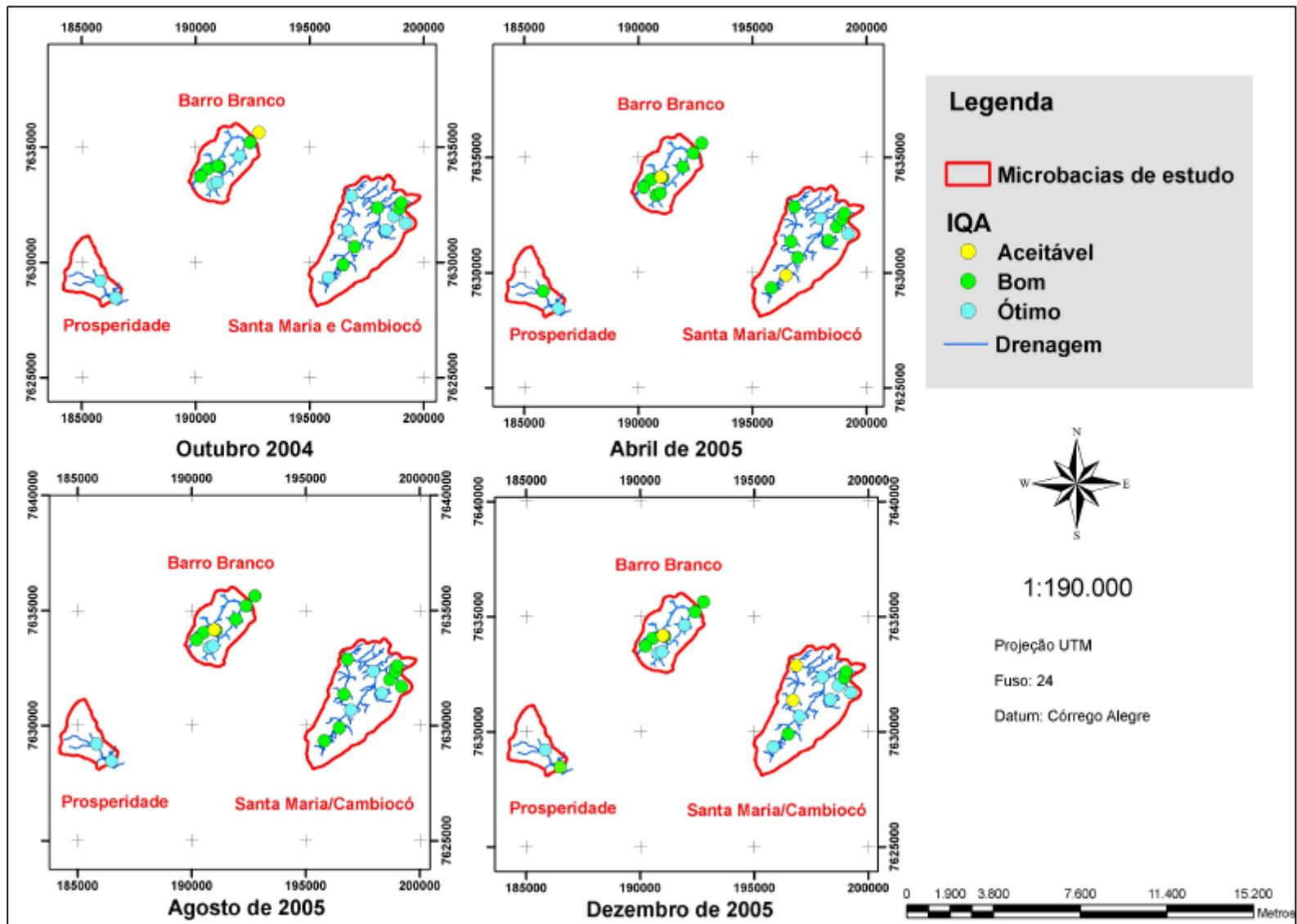


Figura 4 – Mapas dos resultados da aplicação do IQA nas microbacias, para outubro de 2004 e abril, agosto e dezembro de 2005, respectivamente

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a FEEMA-Campos de Goytacazes (RJ) onde as análises microbiológicas foram realizadas, assim como o projeto “Planejamento Conservacionista das Terras e Modelagem Preditiva de Sistemas Aquíferos do Cristalino para a Recarga Hídrica em Bacias Hidrográficas de Relevo Acidentado” – PRODETAB 087-02/01, coordenado pela Embrapa Solos, que proporcionou a aquisição dos dados de qualidade de água.

BIBLIOGRAFIA

APHA. American Public Health Association, American Water Works Association, Water Environment Federation. Standard Methods for the Examination and Wastewater. 19a. Washington: Ed. Byrd. Reprint Springfields, 1995. 1.134p.

ÁVILA, C.J.C.P.; ASSAD, E.D.; VERDESIO, J.J.; EID, N. J.; SOARES, W.; FREITAS, M.A.V.DE (1999) *Geoprocessamento da informação hidrológica*. In CD-ROM – O Estado das Águas no Brasil. ED. ANEEL, Brasília, 1999.

BARROS, E.; ROCHA, G.A. (2000) *Geoprocessamento: Instrumento Decisivo na Gestão de Recursos Hídricos*. SEI- Superintendência de Estudos Econômicos e Sociais da Bahia, Salvador-BA, Setembro 2000, v.10, n.2, p. 57-59.

BURROUGH, P. A.; McDONNEL, R. A., 1998. *Principles of geographical information systems: spacial informationsystems and geostatistics*. Oxford University Press, New York, 1998, 333p.

CETESB. Portal do Governo do Estado de São Paulo. Índices de Qualidade da água. <http://www.cetesb.sp.gov.br/Agua/rios/indice.asp>. Acesso em 2007.

DERÍSIO, J.C. (1992) *Introdução ao controle da poluição ambiental*. CETESB – Companhia de Tecnologia e Saneamento Ambiental, São Paulo, 210 p.

RODRIGUEZ, M.T.; HASENACK, H.; PUNDT, H.; NOELLE, O. (1998) *Tratamento de dados químicos em sistemas de informação geográfica*. GIS Brasil, 1998.

DEUS, A.B.S.; RIBEIRO, M.L.; LUCA, S.J. (1999) *Bacia Hidrográfica do Rio Caí/RS: Índices Podem Mascarar Avaliação da Qualidade da Água*. In Anais do XXI Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, Rio de Janeiro, RJ, 1999, pp. 2373 – 2379.

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 Anais do XXI Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, Rio de Janeiro, RJ, 2001, pp. 1 – 16.

GASTALDINI, M.C.C.; SOUZA, M.D.S. (1994). "*Diagnóstico do Reservatório do Vacacaí-Mirim, Santa Maria - RS, Através de Índices de Qualidade de Água*". in Anais do I Seminário sobre Qualidade de Águas Continentais no Mercosul, Porto Alegre, 1994.

JÚNIOR, J.L.DE S.; ALMEIDA, F.T.DE; ALVES, M.DA G. (2003) *O Uso do Geoprocessamento na Análise da Qualidade da Água Subterrânea para uso Agrícola na Região de São Francisco do Itabapoana – RJ, Versus Formação Geológica*. In Anais do XI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Belo Horizonte, Abr. 2003, pp. 2617 – 2624.

LEITE, F.P.N.; FONSECA, O.J.M. (1994). "*Aplicação de Índices de Qualidade das Águas na Lagoa Caconde, Osório, RS*". in Anais I Seminário de Qualidade das Águas Continentais no Mercosul, Porto Alegre, 1994, p. 249-260.

OLIVEIRA, I.B.; NEGRÃO, F.I.; SILVA, A.G.L.S. (2006) *Aplicação do Índice de Qualidade Natural da Água Subterrânea (IQNAS) Para os Domínios Hidrogeológicos do Estado da Bahia*. In Anais do XIV Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas, Curitiba, Nov. 2006, pp. 1 – 16.

PRADO, R.B.; MENEZES, J.M.; MANSUR, K.L.; MARTINS, A.M.; FREITAS, P.L. DE; SILVA JUNIOR, G.C.DA; CARVALHO, L.G.; PIMENTA, T.S.; LIMA, L.A.DE. (2005). *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 Anais do XVI Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, João Pessoa, Nov. 2005, pp. 1 – 20.

STRECK, C.D.; IGLESIAS, C.; MIGLIAVACA, D.M.; ZOCHE, J.J.; HASENACK, H. (1999) *Avaliação da Qualidade das Águas Superficiais da Bacia do Arroio Candiota – RS Utilizando Sistemas de Informação Geográfica*. In Anais do V Congresso e Feira para Usuários de Geoprocessamento, Salvador-BA, 1999, CD-ROM.

TOLEDO, L.G.; NICOLELLA, G. (2002). "*Índice de Qualidade de Água em Microbacia sob uso Agrícola e Urbano*." *Scientia Agrícola*, v.59, pp.181-186.