

Geoprocessamento aplicado à gestão dos recursos hídricos na bacia hidrográfica do Rio Macaé-RJ

Mariana Rodrigues de Carvalhaes Pinheiro¹

Brunna Rocha Werneck¹

Andrea Franco de Oliveira²

Fabrcio Moté³

Mônica dos Santos Marçal³

José Augusto Ferreira da Silva¹

Maria Inês Paes Ferreira¹

¹ Centro Federal de Educação Tecnológica de Campos – CEFET/ Uned Macaé
Rodovia Amaral Peixoto Km 164, Imboassica - Macaé - RJ, Brasil
brunna.werneck@bol.com.br

marianar@gmail.com

ines_paes@yahoo.com.br

jaferreirasilva@gmail.com

² Instituto Estadual de Florestas – IEF

Rua da Ajuda, nº 5, 7º andar, Centro – Rio de Janeiro - RJ, Brasil

andreafrancoliv@yahoo.com.br

³ Universidade Federal do Rio de Janeiro - LAGESOLOS

Instituto de Geociências, Departamento de Geografia

Av. Brigadeiro Trompowski, CMNN, bloco I salas 09/011, Ilha do Fundão

fabriciomote@yahoo.com.br

monicamarcal@uol.com.br

Abstract. The National and States water resources Politics brought new approach and instruments to guarantee the integrated and decentralized water management. The geoprocessing tool became a ally in democratic decision support groups. The aim of this paper is to describe the use of geoprocessing as a support to diagnose water quality of Rio Macaé hydrographic basin water course, and also to evaluate the soil uses and covertures characteristics and the water usage. The results shows the reationship between physical-chemical parameters and soil use and coverture for each source data. Results also include in terms of one of the many possible water quality indexes, such as WQI (IQA), and in cartograms which exhibit spacialized information of the studied items. The WQI values showed that Rio Macaé water quality can be considered good, in general terms. The main use techniqe was Geographic Information System (GIS) for synthesize the produced data and for full comprehension by the Rio Macaé basin decision makers. The results now presented can be considered as the start point in synthesizing necessary information and facilitate decision-making processes required for managfor water courses classification which is the main instrument of water resource management of VIII Hydrographic Region of Rio de Janeiro, Brazil.

Palavras-chave: Geographic Information System (GIS), water quality, water courses classification, Sistema de Informação Geográfica, qualidade da água, enquadramento dos corpos hídricos

1. Introdução

A lei das águas (Brasil, 1997) trouxe uma abordagem inovadora para gestão dos recursos hídricos incorporando princípios de integração, descentralização e participação, assim como instrumentos que visam o planejamento e o ordenamento dos usos múltiplos. Um dos maiores desafios da gestão dos recursos hídricos é garantir a participação efetiva e democrática na primeira instância de deliberação, os Comitês de Bacia Hidrográfica (CBHs). Portanto, é indispensável que os CBHs disponham de informações adequadas para o processo decisório, que é em si, conflitante.

A gestão dos recursos hídricos tem nas bacias hidrográficas uma estratégia que visa proteger e restaurar a qualidade ambiental e, conseqüentemente, os ecossistemas aquáticos. Esta abordagem baseia-se na constatação de que muitos dos problemas de qualidade e quantidade de água são evitados ou resolvidos de maneira eficaz por meio de ações que focalizem a bacia hidrográfica como um todo - as atividades desenvolvidas em sua área de abrangência e os atores envolvidos. Portanto, discutir a gestão dos recursos hídricos no âmbito da bacia hidrográfica significa, sobretudo, abordar as variáveis socioeconômicas desta localidade.

Em princípio, de acordo com Leal (2000) *apud* Meneguete (2001) não se deve ficar preso aos limites naturais da bacia (seus divisores d'água), tendo em vista que várias bacias encontram-se interligadas por sistemas hidráulicos de reversão de águas, por redes de drenagem urbana, por movimentos de terra de origem antrópica etc. Desta forma, a delimitação territorial de uma bacia hidrográfica envolve, entre outros, estudos cartográficos e de uso e ocupação do solo. Os limites naturais tornam-se dinâmicos e flexíveis e a bacia passa a constituir um espaço de vivência, de conflitos e de organização de novas relações sociais. Essa conceituação aponta para a imperiosa necessidade de se reconceituar a bacia hidrográfica, ampliando seu conceito aplicado nos estudos geomorfológicos, hidrológicos e de engenharia. Trata-se de compreendê-la como unidade físico-territorial de planejamento e gerenciamento de forma abrangente.

Para tanto se faz importante afirmar que o uso de SIGs constitui-se em ferramenta ampla e complexa de análise, que permite que várias possibilidades, tanto dos aspectos de planejamento da organização sócio-espacial da bacia hidrográfica do Rio Macaé quanto dos aspectos de recursos hídricos no âmbito da Política Estadual, sejam sobrepostas e sintetizadas de forma integrada, atualizadas constantemente de maneira dinâmica, não limitando o número de variáveis neste processo, ou seja, é um sistema aberto e multifinalitário, embora esteja com a sua abrangência temática voltada para a gestão dos recursos hídricos. Ademais, proporciona a integração dos dados espaciais da bacia e um modelo para o gerenciamento dos recursos hídricos (SILVA, 2006).

Os referidos sistemas constituem o ambiente de inteligência que dá suporte de forma lógica e estruturante à gestão e ao processo decisório das diferentes esferas de aplicação, permitindo, inclusive, a construção de indicadores, baseados em análises geográficas, além de coletar, armazenar, recuperar, transformar e visualizar dados. Esta tecnologia tem sido alvo de crescente utilização no planejamento ambiental com forte adesão na gestão dos recursos hídricos.

Os SIGs são utilizados como ferramenta de análise espacial, na modelagem e simulação de cenários, como subsídio à elaboração de alternativas para a decisão da política de uso e ocupação do solo, ordenamento territorial, equipamentos urbanos e monitoramento ambiental, entre outras aplicações complexas, que envolvem diferentes componentes dinâmicos (MOTA, 1999).

Esta tecnologia permite integrar informações de dados cartográficos, cadastrais de diferentes naturezas, variáveis ambientais, como as apresentadas neste capítulo, entre outras, em um banco de dados unificado, o que reflete a multiplicidade de usos e a

interdisciplinaridade permitida. Faz-se importante destacar a facilidade de integração dos dados das mais diversas áreas, como geologia, geomorfologia, pedologia, demografia, movimentos sociais, urbanismo, saneamento, ecologia entre outras, possibilitando uma abordagem ampla e completa. Portanto, a utilização destes recursos tecnológicos é proposta como instrumento articulador do processo de integração entre o planejamento ambiental e a gestão dos recursos hídricos.

Para o estudo em questão, a maioria das informações necessárias para apoio à gestão são georreferenciadas, ou seja, são visualizadas por meio de mapas. As informações sobre geologia, geomorfologia, uso do solo, tipo do solo, hidrografia, delimitações de sub-bacias, zoneamentos existentes, sistema viário, áreas verdes, declividades etc., se relacionam às localizações geográficas. A superposição destes mapas, que irá gerar os resultados desejados, é facilitada por meio do uso do SIG, pois este permite a compilação e organização de dados, e a elaboração de um mapa síntese que integra todos esses temas, compreendendo as diversas características da área.

Deve-se considerar, ainda, que os mapas utilizados para a gestão dos recursos hídricos e a organização sócio espacial são dinâmicos, devendo estar em constante atualização, quando utilizado como um instrumento de tomada de decisão. A avaliação final dos resultados depende da qualidade e quantidade dos dados espaciais inseridos no sistema; quanto mais completas e de maior qualidade forem as informações, mais preciso será o resultado.

O presente trabalho traz o relato do uso do geoprocessamento com ferramenta de integração e análise das informações atuais da qualidade das águas, dos usos preponderantes e das fontes poluidoras na bacia hidrográfica do rio Macaé, e de adaptação dessas informações por meio de cartogramas e indicadores. Esse conjunto inicial de procedimentos subsidiará a implantação do instrumento de enquadramento dos corpos hídricos em classes na bacia hidrográfica do rio Macaé, sob jurisdição do CBH Macaé e das Ostras, conforme orientado pela Lei 9.433/97 (Brasil, 1997), a Lei Estadual 3.239/99 (Rio de Janeiro, 1999), a Resolução CONAMA 357/05 (Brasil, 2005) e pelo procedimento de enquadramento descrito na Resolução CNRH n. 91/08.

O objeto do presente estudo é a bacia hidrográfica do rio Macaé, que compreende cerca de 1.765 km² e abrange grande parte do município de Macaé (82%) e parcelas dos municípios de Nova Friburgo, onde estão localizadas as nascentes, e de Casimiro de Abreu, Rio das Ostras, Conceição de Macabu e Carapebus (FGV, 2004). Os principais usos da água hoje verificados no Rio Macaé referem-se ao abastecimento de água, à diluição de despejos domésticos, industriais e agrícolas, à irrigação e à geração de energia elétrica. O CBH Macaé e das Ostras atua na Região Hidrográfica VIII do Estado do Rio de Janeiro - que inclui além da bacia hidrográfica do rio Macaé, a do rio das Ostras e da lagoa Imboacica – desde 2003 e conta com representações dos segmentos da sociedade civil, usuários e poder público.

2. Metodologia de Trabalho

A metodologia incluiu as etapas de levantamento dos dados primários de qualidade da água, levantamento dos usos da água e a análise integrada da qualidade da água com o uso e cobertura do solo. Os resultados foram sistematizados por meio do Índice de Qualidade da Água (IQA) e gráficos, e todas as informações foram especializadas.

Para caracterização da qualidade da água foram realizadas três coletas entre os períodos de março a agosto de 2008 ao longo do leito principal da bacia. O rio foi subdividido em quatro trechos: (i) alto; (ii) médio-alto; (iii) médio-baixo; e (iv) baixo curso e os 12 pontos de coleta foram distribuídos pelos trechos. O procedimento para aplicação do IQA nesse estudo foi detalhado por Pinheiro (2008) e tem como referência o Panorama da qualidade das águas superficiais no Brasil publicado pela ANA (2005).

Para o levantamento dos usos da água foi utilizado o Cadastro Nacional de Usuários dos Recursos Hídricos (CNARH) do qual foram filtrados os usuários da bacia do rio Macaé por cada segmento (abastecimento humano, indústria, irrigação etc).

A partir da análise do uso do solo foi possível identificar a vocação das áreas, relacionar os usos da água e inferir fontes de degradação difusas e de pressões antrópicas. Para esta análise foi utilizado o mapa temático de uso solo e ocupação da terra da bacia hidrográfica do rio Macaé do ano de 2005, produzido por Moté (2008) a partir de classificação visual da imagem CBER 2005.

Para integrar os resultados obtidos da qualidade da água em cada ponto com o uso e cobertura do solo, foram delimitadas sub-bacias para cada ponto coletado, ou seja, cada um dos 12 pontos foram considerados um exutório. A partir dessa delimitação foi feito o recorte do uso e cobertura em cada sub-bacia e esta foi caracterizada quanto a sua vocação principal e as possíveis fontes de poluição. Finalmente, foi possível relacionar os parâmetros de qualidade com as fontes poluidoras de cada sub-bacia.

Para manipulação das informações espacializadas em ambiente SIG, foram utilizados o software *ArcGis 9.2* – ESRI e a carta topográfica do IBGE na escala de 1:50.000. Por ser do ano 1968, a carta topográfica não contempla a retificação no baixo curso do rio Macaé e do rio São Pedro promovida pelo DNOS, tendo sido atualizada. Para as análises e elaboração de mapas, as bases topográficas e os mapas temáticos foram reprojatadas para UTM (Universal Transverse Mercator), fuso 24 estendido, para toda a bacia hidrográfica.

Para espacialização das informações da qualidade de água, do uso da água e para a análise dos conflitos potenciais optou-se pela utilização de cartograma, no qual foram extraídas todas as informações georreferenciadas do mapa temático, diminuindo o número de referências cartográficas, facilitando assim a visualização das informações relevantes para os decisores. Os resultados preliminares do trabalho foram apresentados para os representantes do CBH Macaé e das Ostras em dois momentos: em 10 de julho para a Plenária e em 17 de setembro de 2008 para o Diretório Colegiado e Câmaras Técnicas.

3. Resultados e Discussão

A espacialização de dados e informações é de grande importância para gestores e planejadores ambientais. A informação contida nos mapas temáticos são atualizadas, minimizando erros de localização e utilização pretéritos em função de uma não verificação em campo dos dados a serem aplicados em estudos e pesquisas. O mapa produzido (Figura 1) mostra não só a localização da bacia hidrográfica no contexto estadual, mas também informações georreferenciadas dos pontos de coleta de amostras de água para análise físico-química e bacteriológica, objetivando obter resultados da qualidade da água no corpo hídrico principal.

A Figura 2 apresenta o Geoprocessamento aliado ao uso de indicadores. Os indicadores são modelos simplificados da realidade, facilitando a compreensão de fenômenos, aumentando a capacidade de comunicação de dados brutos e adaptação de linguagem (Magalhães Jr, 2007). Carli e colaboradores (2004) defendem que os indicadores serviriam para aumentar a base de informações necessária para construção de procedimentos participativos, e como consequência, tornar possível o processo de aprendizagem sobre a questão dos recursos hídricos. O cartograma (Figura 2) apresenta de forma simples os resultados obtidos nas duas primeiras campanhas e permitiu ao público, tanto as representações da região serrana como da planície urbana, comparar a qualidade da água em diversos trechos, iniciando assim um debate sobre as causas da qualidade ruim ou média em alguns pontos.

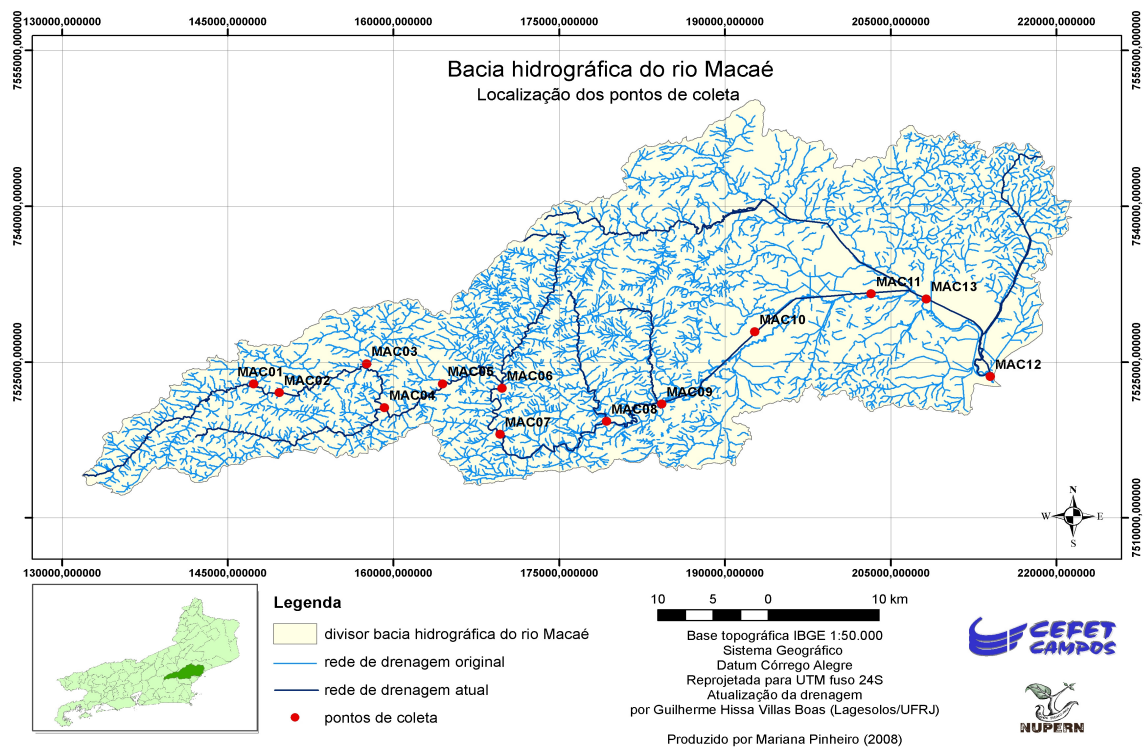


Figura 1. Mapa da bacia hidrográfica do rio Macaé, sua rede de drenagem e localização dos pontos de coleta de amostras de água.

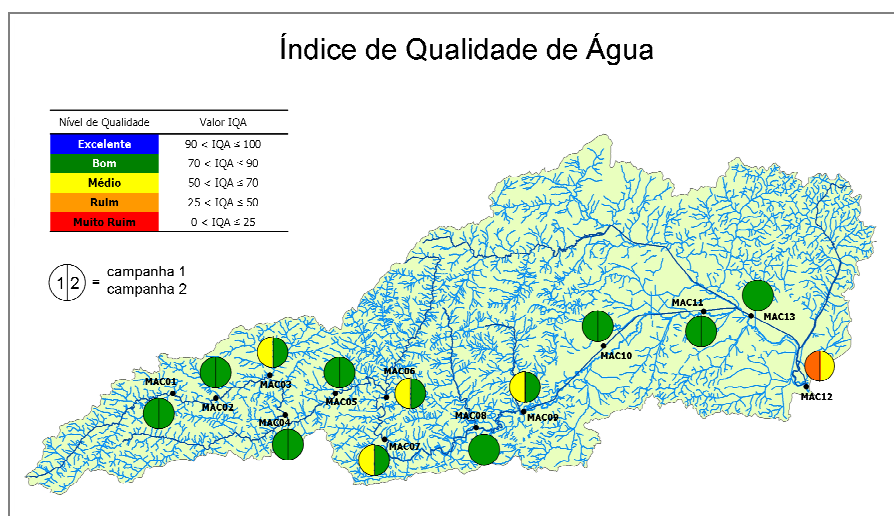


Figura 2. Cartograma dos resultados do IQA na bacia do rio Macaé (Pinheiro, 2008).

A Figura 3 apresenta a utilização do geoprocessamento como ferramenta indispensável para a análise da drenagem e do uso do solo, sobrepondo-os para um entendimento mais claro da situação do curso principal e das sub-bacias de cada ponto coletado. Assim, é possível traçar algumas relações de causa-efeito entre o uso e ocupação do solo e os resultados da qualidade da água do rio Macaé.

As sub-bacias foram delimitadas tal como descrito na metodologia, no entanto, sabe-se que o procedimento de amostragem de água em rios possui algumas limitações espaciais e temporais. Portanto, cabe refletir que a contribuição das margens do rio serão mais representativas nos resultados dos parâmetros de qualidade que toda a área da sub-bacia; e que por sua vez, há grande possibilidade da coleta ser influenciada por fatores locais, como, por exemplo, lançamento de esgoto pontual próximo ao local de amostragem.

Por isso, a relação dos dados de qualidade da água com o uso e cobertura do solo nas sub-bacias se deram em três níveis: (i) para verificar a contribuição da sub-bacia como um todo; (ii) para verificar a contribuição dos usos e ocupações marginais ao rio, na qual considerou-se a delimitação do *buffer* de 50m da rede de drenagem - faixa maior que a indicada a de 30 m para APP segundo Código Florestal e Resolução CONAMA n. 303 (Brasil, 1965; Brasil, 2002); e (iii) para verificar a contribuição local, na qual considerou-se 50m no entorno do ponto e também as observações realizadas em visita, destacando possíveis intervenções (Figura 3).

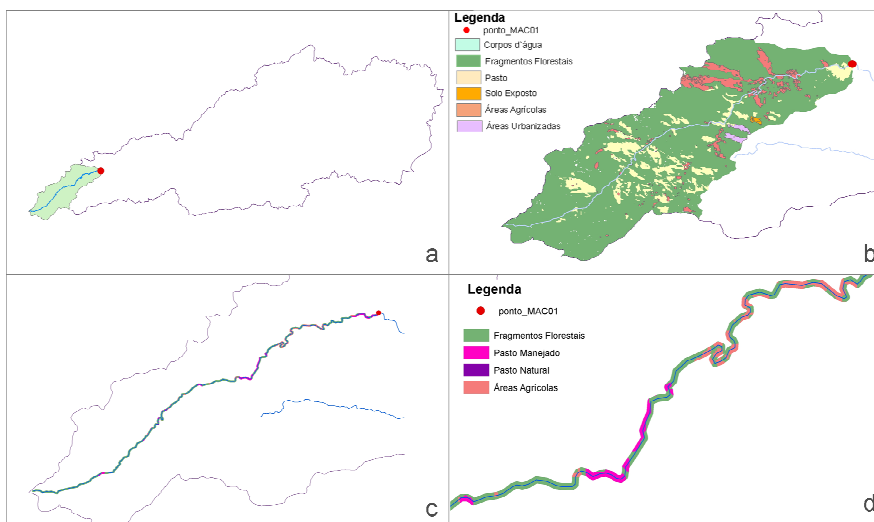


Figura 3 – Ilustração dos três níveis de contribuição do uso e ocupação do solo para qualidade da água, exemplo do ponto MAC01. a) localização da sub-bacia do ponto; b) uso e ocupação do solo na sub-bacia; c) contribuição das margens do rio principal na sub-bacia; e d) detalhe do uso e ocupação nas margens do rio principal sub-bacia.

Foram gerados mapas temáticos para cada sub-bacia considerando em cada uma dela os três níveis de análise. Para melhor visualização, essas informações foram sistematizadas em gráficos conforme exemplificado na Figura 4. As informações sintetizadas da qualidade da água, por meio de indicadores de parâmetros não conformes, e os gráficos do uso e ocupação do solo permitiram traçar na maioria dos pontos de coleta relações de causa-efeito. Na Figura 4 são apresentados dois exemplos dessa relação, o ponto MAC03 localizado a jusante da localidade de Lumiar, distrito de Nova Friburgo e o ponto MAC10, já no município de Macaé, a jusante da confluência de duas sub-bacias rurais.

No ponto MAC03 os indicadores de qualidade de água apontam alguns parâmetros não-conformes (E. coli, turbidez, nitrato etc) e outras evidências de deterioração da qualidade, como diminuição do oxigênio dissolvido e valor médio do IQA. Esses parâmetros juntos são indicativos de poluição por esgoto, o que é factível uma vez que a amostragem se deu na localidade com adensamento populacional e sem sistema de tratamento de esgotos. Nesse caso, observando os três níveis de contribuição para o ponto MAC03 não se destaca nenhum uso ou ocupação no território da sub-bacia que se correlacione com os indicadores encontrados, sendo portanto atribuído a influência local, conforme ilustrado no gráfico “contribuição local” (Figura 4a).

No ponto MAC10 percebe-se uma modificação intensa no uso e cobertura do solo quando comparado ao alto e médio-alto curso da bacia. Os indicadores também são outros, como aumento dos sólidos totais e do fósforo total (Figura 4b). Analisando as contribuições da bacia e as marginais sugere-se que dado ao perfil agropecuário dessas terras, estas estão sujeitas a processos de erosão e perdas e solos, refletindo nos altos valores de sólidos totais. O fósforo total pode estar relacionado a contribuição local já que o entorno do ponto de coleta são áreas agrícolas, e nesse caso, com extensas plantações de feijão.

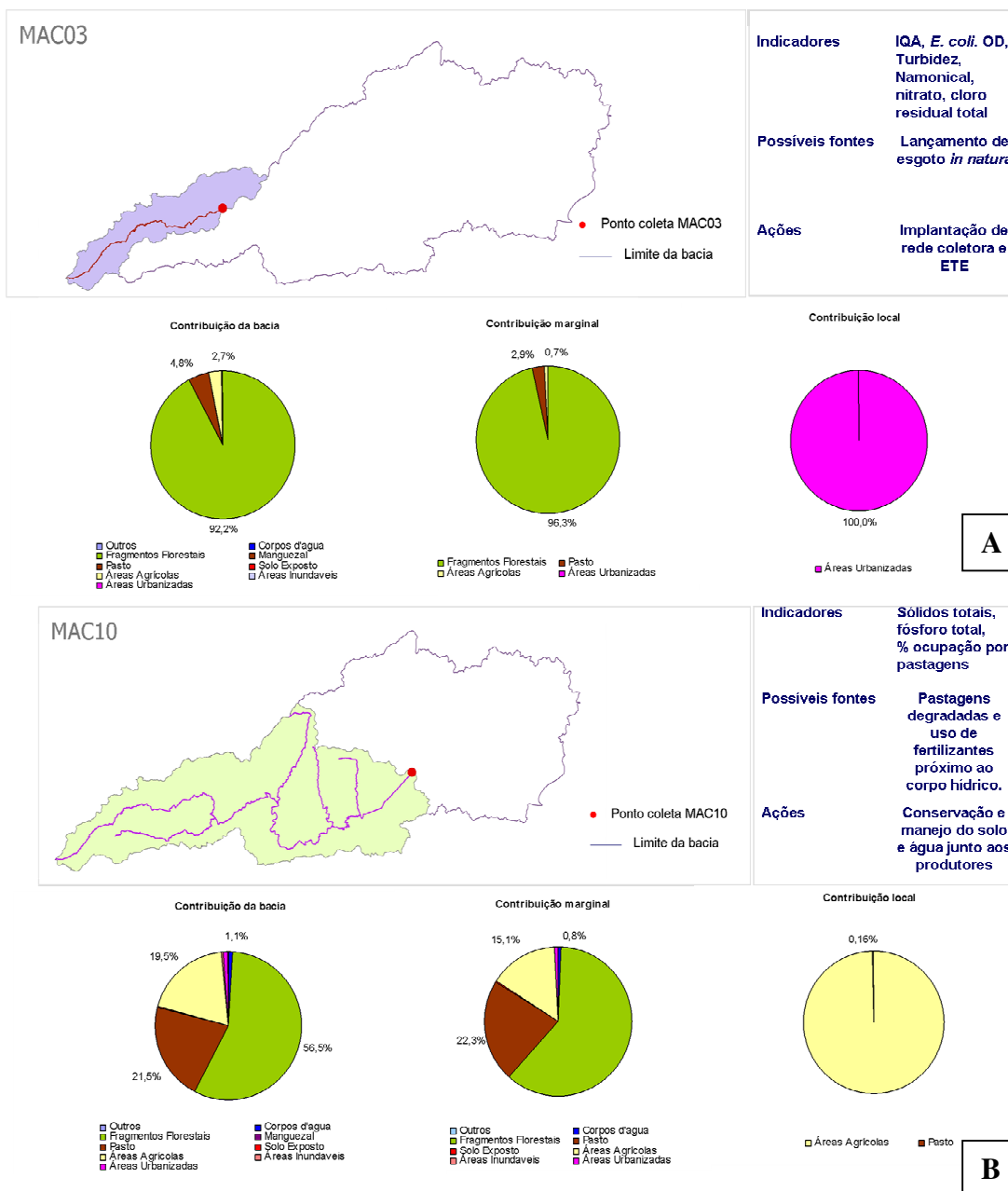


Figura 4 – Exemplo da integração dos dados indicativos de qualidade de água com os dados do uso e ocupação do solo nas sub-bacias doos pontos MAC03 (A) e MAC10 (B).

4. Conclusões

Os resultados apresentados são considerados de extrema importância para a bacia do rio Macaé, pois a partir dessas informações foi possível discutir no âmbito do CBH a qualidade dos recursos hídricos ao longo de todo curso principal da bacia e iniciar a discussão sobre propostas de enquadramento. As informações sobre a qualidade da água na bacia eram fragmentadas e focadas no baixo curso, no entanto este estudo possibilitou aos tomadores de decisões um olhar integrado da qualidade e principalmente sua relação com a fonte poluidora pontual ou difusa e com o uso e cobertura do solo. As informações espacializadas dos usos da água também facilitaram a atualização de alguns dados pela Planária do CBH Macaé e das Ostras, uma vez que as informações eram facilmente detectadas e interpretadas pelos atores participantes. Ainda no âmbito do CBH também foi possível discutir possíveis áreas prioritárias e trechos com restrições ao uso, onde a qualidade da água não se encontra compatível com o uso atual. A partir desse estudo sugere-se a ampliação da rede de

monitoramento e a revisão dos parâmetros de qualidade por trecho. Reafirma-se o potencial do geoprocessamento na gestão dos recursos hídricos e sua contribuição para garantia do caráter democrático da decisão, uma vez que facilita a assimilação de grande volume de informações pelos representantes dos CBHs.

Agradecimentos

Este trabalho foi realizado com o apoio da Fundação de Amparo à Pesquisa do Rio de Janeiro (FAPERJ) dentro do Programa Prioridade Rio, da Fundação Estadual do Norte Fluminense (FENORTE/TECNORTE) e do Centro Federal de Educação Tecnológica de Campos. O CEFET Campos agradece a todas as representações do Comitê das Bacias Hidrográficas dos Rios Macaé e das Ostras, pelas sugestões e pelo aval dado em Plenária à execução do presente projeto de pesquisa e a toda comunidade da bacia.

Referências Bibliográficas

- Agência Nacional de Águas (ANA). **Panorama da qualidade das águas superficiais no Brasil**. Superintendência de Planejamento de Recursos Hídricos. Brasília: ANA/SPR, 2005. 179 p.
- Brasil. Lei n. 4.771 de 15 de setembro de 1965. Institui o Novo Código Florestal. Brasília. DOU 16.09.1965.
- Brasil. Lei n° 9.433, de 8 de Janeiro de 1997. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, regulamenta o inciso XIX do art. 21 da Constituição Federal e altera o art. 1° da Lei 8.001, de 12 de Março de 1990, que modificou a Lei n°7.990 de 28 de dezembro de 1989. Brasília. DOU 09.01.1997.
- Brasil. Resolução CONAMA n° 303, de 20 de Março de 2002, dispõe sobre as áreas de preservação permanente.
- Brasil. Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA) Resolução n°357, de 17 de março de 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. DOU 18.03.2005; ret 09.05.2005.
- Câmara, G.; Medeiros, J. S. **Geoprocessamento para Projetos Ambientais**. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. Capítulo 10. Acesso em 2008.
- Carli, A., Massarutto, A., Paccanhan, V. **Water sustainability indicators as a tool for participatory procedures**. In: Workshop on Modeling and Control for Participatory Planning and Managing Water Systems, Venice, 2004.
- FGV – PROJETOS. **Plano Preliminar de Recursos Hídricos da Bacia do Rio Macaé**. Relatórios 2 e 4. SEMADUR/SERLA/UTE NORTE-FLUMINENSE S.A. Rio de Janeiro: FGV, 2004.
- Leal, A. C.; Guimarães, E. M. A. **Gestão das águas e educação ambiental em bacias hidrográficas**. Presidente Prudente: 2000. CD-ROM.
- Magalhães Jr, A. P. **Indicadores Ambientais e Recursos Hídricos**. Realidade e perspectivas para o Brasil a partir da experiência francesa. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2007. 688p.
- Méllo, J. R. A.V. et al. Uso de ferramentas SIG em sistemas de suporte à decisão em recursos hídricos. In: Simpósio Regional de Geoprocessamento e Sensoriamento Remoto. **Anais III Simpósio Regional de Geoprocessamento e Sensoriamento Remoto**. Aracajú, SE, 2006.
- Meneghette, A. A. C. Atlas interativo do Pontal do Paranapanema: uma contribuição à educação ambiental. Presidente Prudente: Unesp, 2000. (Tese de Livre-Docência).
- Mota, S. **Preservação e conservação de recursos hídricos**. 2.ed. Rio de Janeiro: ABES, 1999.
- Moté, F. O. **Classificação de Unidades de Paisagem na bacia do rio Macaé (RJ) como proposta metodológica ao planejamento ambiental**. (Dissertação de mestrado em Geografia). Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2008.
- Pinheiro, M.R.C.; Silva, F.E.; Prioste, M.A.; Ferreira, M.I.P. Avaliação da qualidade da água na bacia hidrográfica do rio macaé e aplicação do índice de qualidade de água. In: **II Simpósio de Recursos Hídricos Sul-Sudeste**, 2008, Rio de Janeiro.
- Rio de Janeiro. Lei n. 3.239, de 02 de agosto de 1999. Institui a Política Estadual de Recursos Hídricos; cria o sistema estadual de gerenciamento de recursos hídricos; regulam a Constituição Estadual em seu artigo 261, 1° parágrafo, inciso VII; e de outras providências.
- Silva, J. A. **Gestão de recursos hídricos e sistemas de informações geográficas: contribuições para a organização sócio-espacial do Pontal do Paranapanema-SP**. (Tese de Doutorado). Presidente Prudente: Unesp, 2006.
- Viegas, E. C. **Gestão da água e princípios ambientais**. Caxias do Sul, RS: Educ, 2008. 176p.