

# **ANÁLISE DA REDUÇÃO DO ÍNDICE DE QUALIDADE DA ÁGUA (IQA) UTILIZANDO AMBIENTES DE GEOPROCESSAMENTO**

**Marcos Antônio Timbó Elmiro, Charles Rezende Freitas**

**Universidade Federal de Minas Gerais-UFMG**

**Instituto de Geociências - Departamento de Cartografia**

Av. Antônio Carlos, 6627 – Campus Pampulha

CEP: 31270-901 – Belo Horizonte – MG

mtimbo@ufmg.br, charlesrf@ufmg.br

**Luciano Vieira Dutra, Gilmar Rosa.**

**Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais-INPE**

Av. dos Astronautas, 1758 – CP. 515

CEP: 12227-010 – São José dos Campos – SP

dutra@dpi.inpe.br, gilmar@dpi.inpe.br

## **RESUMO**

A gestão dos recursos naturais é um setor sensivelmente sujeito a diferentes impactos e vem recebendo apoio dos ambientes e ferramentas de geoprocessamento e geoinformação. O levantamento sistemático e a análise eficiente de dados ambientais representa a principal ferramenta para o embasamento consistente de diagnósticos que possam interromper ou minimizar diferentes impactos. A legislação brasileira a estabelece que a bacia hidrográfica é a unidade primária para a aplicação de medidas eficazes no tratamento de possíveis impactos relacionados diversos fatores. A água é um recurso natural limitado e constitui bem de domínio público. Como tal, necessita de instrumentos adequados de gestão a serem aplicados na bacia hidrográfica que é a unidade territorial fundamental. Tais instrumentos visam a assegurar às atuais e futuras gerações água disponível em qualidade e quantidade adequadas, mediante seu uso racional e prevenindo situações hidrológicas críticas. Neste sentido, o presente trabalho tem objetivo de fazer um estudo investigativo no espaço geográfico da bacia do Rio Formiga, em Minas Gerais, para identificar possíveis fatores ou processos que apontem justificativas para a redução do seu índice de qualidade da água (IQA) registrado em relatórios ambientais. O estudo é fundamentado no apoio de técnicas, ferramentas e ambientes de geoprocessamento. A hipótese inicialmente assumida é de que o problema do Rio Formiga está sendo causado pela interferência humana em processos e variáveis ambientais importantes. Os resultados das análises permitiram a identificação de diferentes processos e tendências reforçando as explicações para o baixo Índice de Qualidade da Água (IQA) do Rio Formiga. Além disso o trabalho demonstrou que a análise de fatores ambientais é, por natureza, bastante complexa em termos de parâmetros e elementos de influência. Por fim, o estudo concluiu que a composição integrada de diferentes situações inadequadas pode ser considerada muito crítica, contribuindo com peso elevado para a degradação da qualidade da água do Rio Formiga já constatada por diferentes instrumentos de medida.

Palavras chaves: sistemas de informações geográficas, análise ambiental, sensoriamento remoto

## **ABSTRACT**

The management of the natural resources is a field of study subject to different impacts that has been gradually receiving important support from tools of Geographic Information System (GIS). Nowadays it is proven that systematic survey and efficient analysis of environmental data represents the main tool for consistent diagnostic basement capable of interrupt or minimizes environmental impacts. In the case of studies related to hydrology problems the Brazilian legislation establishes that the basin of a River is the most important unit of studies to prevent possible impacts. The water is natural resource that constitutes public property, so it needs adequate instruments for efficient management. Such instruments aim at to assure to the current and future generations available water in adequate quality and amount, by means of its rational use and preventing critical hydrological situations, with sights to the sustainable development. In this direction, the present work has objective to make an investigative study in the geographic area of the Formiga River basin, to identify factors that can point reasons for the reduction of its water quality index. The study it is basically supported by techniques and tools of GIS. The hypothesis initially assumed is of that the problem of the Formiga River is being caused for the human being interference over important processes and environmental variables. The results indicated that many factors contributed to explain the low Index of water quality (IQA) of the Formiga

River in Minas Gerais. The work also demonstrated that the analysis of environmental factors is a very complex question in terms of parameters and elements of influence. Finally, the study concluded that the integrated composition of different inadequate situations can be considered very critical and harmful, severally contributing to degradation of the water quality in Formiga River already evidenced by different instruments of measure.

Keywords: Geographic Information System, environmental analysis, remote sensing

## 1 INTRODUÇÃO

Nos dias atuais há um grande consenso de que a informação é um dos recursos mais estratégicos e valiosos para a gestão de qualquer tipo projeto, atividade ou negócio, seja de natureza pública ou privada, seja de abrangência global, regional ou local (Burrough e McDonnell, 1998). O Geoprocessamento vem experimentando rápida ascensão e grande importância no contexto tecnológico, científico e comercial por conta dessa premissa de que a informação organizada, correta e disponível de forma ágil é indispensável para fazer análises planejar, e tomar decisões importantes. Os ambientes de geoprocessamento disponibilizam valiosas ferramentas para aplicações em atividades e processos que lidam com recursos geograficamente distribuídos (Câmara et al, 2001).

A gestão dos recursos naturais é um setor sensivelmente sujeito a diferentes impactos e que vem gradualmente recebendo apoio dos ambientes e ferramentas de geoprocessamento. Hoje em dia, está comprovado que o levantamento sistemático e a análise eficiente de dados ambientais representa a principal ferramenta para o embasamento consistente de diagnósticos que possam interromper ou minimizar diferentes impactos. No caso de estudos de problemas ambientais relacionados a hidrografia e hidrologia a legislação brasileira a estabelece que a bacia hidrográfica é a unidade primária para a aplicação de medidas mais eficazes no tratamento de possíveis impactos. A água, recurso natural limitado, constitui bem de domínio público, conforme dispõe a Constituição Federal de 1988 em seus Artigos 20 e 21 e Lei Nº 9.433/97. Como tal, necessita de instrumentos de gestão a serem aplicados na bacia hidrográfica, unidade territorial fundamental. Tais instrumentos visam a assegurar às atuais e futuras gerações água disponível em qualidade e quantidade adequadas, mediante seu uso racional e prevenindo situações hidrológicas críticas, com vistas ao desenvolvimento sustentável.

Segundo dados do Instituto Mineiro de Gestão das Águas (IGAM), o Rio Formiga, da bacia de contribuição da Represa de Furnas em Minas Gerais, tem apresentado Índice de Qualidade de Águas (IQA) inferior ao dos outros rios formadores da mesma bacia. Observando-se a série histórica da estação de medição localizada no Rio Formiga verifica-se também uma

degradação sistemática dos indicadores de qualidade. Esta constatação é aparentemente paradoxal, tendo em vista que o rio é um dos contribuidores de menor extensão da bacia e portanto merece uma investigação.

Assim, o presente trabalho tem objetivo de fazer um estudo investigativo no espaço geográfico da bacia do Rio Formiga para identificar possíveis fatores ou processos que apontem justificativas para a redução do índice de qualidade da água (IQA) constatado pelo IGAM. O estudo é fundamentado no apoio de técnicas, ferramentas e ambientes de Geoprocessamento. A hipótese inicialmente assumida é de que o problema é causado pela interferência humana em processos e variáveis ambientais importantes. Os processos e variáveis objeto da análise serão a redução da cobertura florestal e o conseqüente aumento da antropização a curto prazo, o alto índice de desconformidade do uso do solo confrontado com a legislação de proteção ambiental e a inadequação do uso do solo frente a fatores do relevo, pedologia e geologia

## 2 CARACTERIZAÇÃO DA AREA DE ESTUDO

A área de estudo objeto deste trabalho é constituída pela região da sub bacia do Rio Formiga que é, por sua vez, componente da bacia do Rio Grande. Situa-se na região Centro-Oeste de Minas Gerais, na Zona Campo das Vertentes, segundo a divisão geográfica do Estado. O relevo é predominante ondulado com presença de montanhas. Os minerais existentes são principalmente calcário, areia, argila e granito. A vegetação predominante é a típica do cerrado. O clima é tropical com duas estações bem definidas e apresenta uma temperatura média anual entre 21 a 23 graus. O índice pluviométrico anual é de 1.400 mm. As atividades econômicas da região estão ligadas ao comércio em geral, às indústrias de cal e calcário, fábricas de biscoitos, fábricas de móveis, torrefadores de café, fundição, gesso e confecções em geral, e agricultura e pecuária. Assim como muitas outras áreas situadas no Estado de Minas Gerais, é bastante antropizada, sendo ocupada principalmente pela atividade pecuária, o que indica o uso intensivo da terra, muitas vezes sem a devida atenção à conservação deste importante recurso e de outros interligados, com vistas à sustentabilidade. Neste sentido, normas federais, estaduais e municipais relativas ao meio ambiente foram instituídas objetivando a conservação dos recursos naturais por meio do estabelecimento e decretação de áreas de preservação permanente, porém

muito pouco esforço tem sido empreendido para a verificação do uso atual destas terras. O Ministério Público no Estado de Minas Gerais tem atuado no sentido de fazer valer a legislação ambiental vigente embora a tradição de se usar a terra sem restrições e a insuficiência crônica de recursos de todos os tipos nos órgãos ambientais dificultem bastante o monitoramento e a adequação das atividades antrópicas. A análise geográfica por meio de técnicas e ferramentas disponibilizadas pelo Geoprocessamento tem se mostrado eficiente para a identificação das áreas onde estão ocorrendo incompatibilidades de uso em relação às normas ambientais (Moura, 2003; Silva, 2001). Assim, trabalhos como este podem contribuir para o melhoramento da qualidade ambiental e de vida da população local e regional, através da transferência de conhecimento e do desenvolvimento da capacidade técnica de gestão e planejamento do espaço geográfico. A Figura 1, apresenta uma visão panorâmica dos limites da bacia do Rio Formiga inserida na região através de uma composição RGB-543 de imagens do satélite TM Landsat-5.

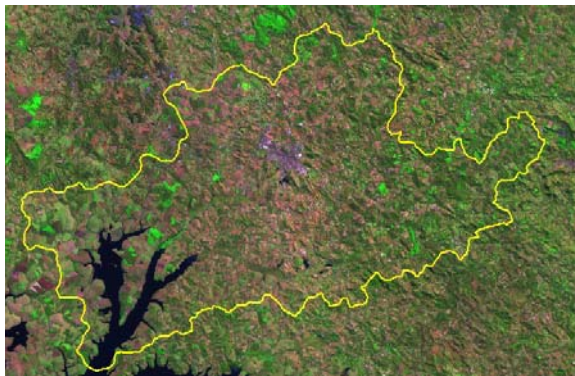


Fig. 1 – Limites da bacia do Rio Formiga sobre imagens do TM Landsat-5.

A Figura 2, mostra uma imagem sombreada do MNT da Bacia do Rio Formiga com iluminação azimutal de 135 graus, inclinação de 35 graus e exagero de 20 vezes para dar uma visão aproximada do relevo da região.

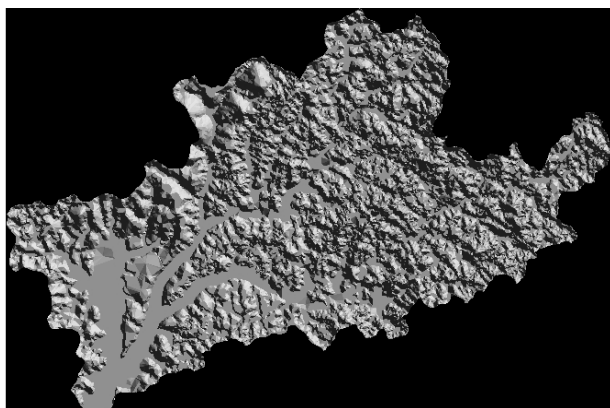


Fig. 2 – Imagem sombreada do MNT da bacia do Rio Formiga.

### 3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Para melhor compreensão do problema em estudo e dos assuntos abordados no contexto do trabalho, bem como, para melhor fundamentar a justificação das decisões metodológicas adotadas serão apresentados a seguir alguns conceitos, termos e definições relacionados ao estudo.

#### 3.1 PARÂMETROS DE QUALIDADE DA ÁGUA

De acordo com o Relatório de Monitoramento das Águas Superficiais na Bacia do Rio Grande (IGAM, 2002) a poluição das águas tem como origem diversas fontes, associadas ao tipo de uso e ocupação do solo, dentre as quais destacam-se: efluentes domésticos; efluentes industriais; carga difusa urbana e agrossilvipastoril; mineração; natural e acidental. Cada uma destas fontes de poluição possui características próprias quanto aos poluentes que carregam. Os esgotos domésticos, por exemplo, apresentam compostos orgânicos biodegradáveis, nutrientes e microrganismos patogênicos. Já para os efluentes industriais há uma maior diversificação nos contaminantes lançados nos corpos d'água, em função dos tipos de matérias-primas e processos industriais utilizados. O deflúvio superficial urbano contém, geralmente, todos os poluentes que se depositam na superfície do solo. Na ocorrência de chuvas, os materiais acumulados em valas, bueiros, etc., são arrastados pelas águas pluviais para os cursos d'água superficiais, constituindo-se numa fonte de poluição tanto maior quanto menos eficiente for a coleta de esgotos ou a limpeza pública.

A poluição agrossilvipastoril é decorrente das atividades ligadas a agricultura, silvicultura e pecuária. Quanto à atividade agrícola, seus efeitos dependem muito das práticas utilizadas em cada região e da época do ano em que se realizam as preparações do terreno para o plantio, assim como, do uso intensivo dos defensivos agrícolas. A contribuição representada pelo material proveniente da erosão de solos intensifica-se quando da ocorrência de chuvas em áreas rurais. Os agrotóxicos com alta solubilidade em água podem contaminar águas subterrâneas e superficiais através do seu transporte com o fluxo de água.

A poluição natural está associada às chuvas e escoamento superficial, salinização, decomposição de vegetais e animais mortos enquanto que a acidental é proveniente de derramamentos acidentais de materiais na linha de produção ou transporte (Tucci, 2001). De modo geral, foram adotados parâmetros de monitoramento que permitem caracterizar a qualidade da água e o grau de contaminação dos cursos d'água do Estado de Minas Gerais.

A poluição natural está associada às chuvas e escoamento superficial, salinização, decomposição de vegetais e animais mortos enquanto que a acidental é proveniente de derramamentos acidentais de materiais na linha de produção ou transporte (Tucci, 2001). De modo geral, foram adotados parâmetros de monitoramento que permitem caracterizar a qualidade da água e o grau de contaminação dos cursos d'água do Estado de Minas Gerais.

No intuito de traduzir de forma concisa e objetiva, para as autoridades e o público, a influência que as atividades ligadas aos processos de desenvolvimento provocam na dinâmica ambiental dos ecossistemas aquáticos, foram criados os indicadores de qualidade de águas. Em Minas Gerais adotam-se o IQA – Índice de Qualidade das Águas – e a CT – Contaminação por Tóxicos, conforme Deliberação Normativa No 10/86 do COPAM – para refletir a situação ambiental dos corpos hídricos de maneira acessível aos não técnicos.

O IQA, por reunir em um único resultado os valores de nove diferentes parâmetros, oferece ao mesmo tempo vantagens e limitações. A vantagem reside no fato de sumarizar a interpretação de nove variáveis em um único número, facilitando a compreensão da situação para o público leigo. A limitação relaciona-se à perda na interpretação das variáveis individuais e da relação destas com as demais. Soma-se a isto o fato de que este índice foi desenvolvido visando avaliar o impacto dos esgotos domésticos nas águas utilizadas para abastecimento público, não representando efeitos originários de outras fontes poluentes. Como uma forma de minimizar a parcialidade do IQA, foi adotada em Minas Gerais a CT – Contaminação por Tóxicos, de maneira a complementar as informações do IQA, conferindo importância a outros fatores que afetam usos diversos da água. Os valores limites em relação a 13 parâmetros foram definidos pela Deliberação Normativa No 10/86 do COPAM para contaminantes de origem industrial, minerária e difusa. O IQA foi desenvolvido pela National Sanitation Foundation dos Estados Unidos, através de pesquisa de opinião junto a vários especialistas da área ambiental, quando cada técnico selecionou, a seu critério, os parâmetros relevantes para avaliar a qualidade das águas e estipulou, para cada um deles, um peso relativo na série de parâmetros especificados. O tratamento dos dados da mencionada pesquisa definiu um conjunto de nove (9) parâmetros considerados mais representativos para a caracterização da qualidade das águas: oxigênio dissolvido, coliformes fecais, pH, demanda bioquímica de oxigênio, nitrato, fosfato total, temperatura da água, turbidez e sólidos totais. A cada parâmetro foi atribuído um peso, de acordo com a sua importância relativa no cálculo do IQA, e traçadas curvas médias de variação da qualidade das águas em função da concentração do mesmo (IGAM, 2002). A Figura 3,

mostra um mapa da qualidade das águas de algumas sub-bacias do Rio Grande incluindo a bacia do Rio Formiga na região em estudo.

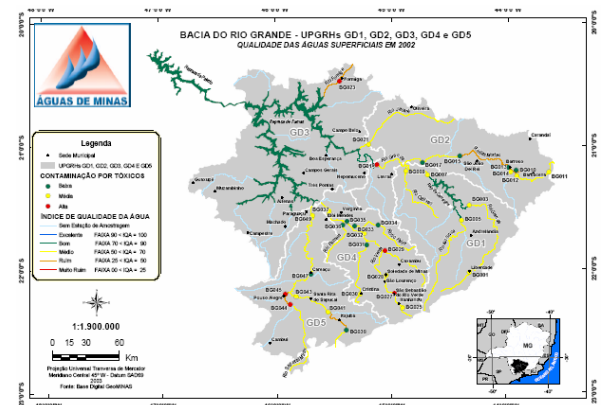


Fig. 3 – Mapa da Qualidade da Água do Rio Formiga e Bacia do Rio Grande - Fonte: IGAM (2002).

### 3.2 ASPECTOS DA LEGISLAÇÃO AMBIENTAL

A preservação e a utilização racional dos recursos hídricos é um aspecto importante na atualidade, para a resolução de problemas agudos relacionados à questão hídrica, visando ao bem estar de todos e à preservação do meio ambiente (Santos, 2002). Em vista da pressão antrópica, principalmente a implantação progressiva de atividades econômicas e o adensamento populacional de forma desordenada, que vêm ocasionando crescentes problemas sobre os recursos hídricos, as instâncias públicas e civis mobilizaram-se para a criação de legislação e políticas específicas, a fim de fundamentar a gestão participativa e descentralizada dos recursos hídricos.

A Legislação Estadual de Minas Gerais, preceitua no seu contexto que “causar poluição ou degradação ambiental de qualquer natureza que resulte ou possa resultar em dano à saúde humana, aos recursos hídricos, às espécies vegetais e animais, aos ecossistemas e habitats ou ao patrimônio natural ou cultural”, é classificada como infração gravíssima. O Código Florestal Brasileiro, assim como outros documentos legais sucedâneos no tema, impõem restrições sobre o uso de determinadas áreas, denominadas de preservação permanente (APPs). O objetivo principal é de preservar a sua cobertura vegetal, de modo a assegurar a manutenção da qualidade de vida e do equilíbrio ecológico e a preservação do patrimônio genético. Algumas APPs relacionam-se diretamente à melhoria da qualidade e quantidade de água, quer dizer, à conservação dos recursos hídricos brasileiros. As áreas de recarga dos mananciais, onde a maior quantidade de águas pluviais têm possibilidade de se infiltrar no terreno, em taxas que variam com as condições de sua cobertura; as áreas nas quais o gradiente de declividade é muito grande, atuando como fator de risco à erodibilidade, fator este

magnificado pela ausência de cobertura vegetal em boas condições de recobrimento; as áreas onde a vegetação atua como proteção ao desmoronamento de margens e ao assoreamento de nascentes, cursos ou reservatórios de água; enfim, todas essas áreas são legalmente protegidas conforme preceitua o texto de diversas leis em vigor tais como a lei federal nº 4.771, de 15 de setembro de 1965 (Código Florestal); o decreto Nº 33.944 de 18/09/92 que regulamenta a lei estadual nº 10.561, de 27/12/91, que dispõe sobre a política florestal no Estado de Minas Gerais; a resolução CONAMA nº 004 de 18 de setembro de 1985, que dispõe sobre reservas ecológicas, formações florísticas e áreas de florestas de preservação permanente.

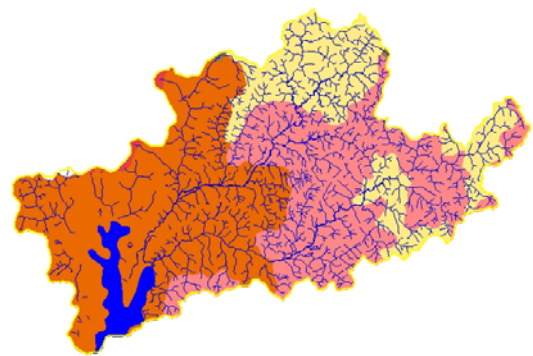


Fig. 4 – Ilustração dos dados básicos: mapa de solos com sobreposição da hidrografia.

#### 4 MATERIAIS E METODOS

Para alcançar os objetivos, a investigação objeto deste trabalho utilizou um conjunto inicial de dados e materiais a partir dos quais foram produzidos todos os demais dados e informações intermediários que permitiram as análises e interpretações necessárias para completar o estudo. Os dados e materiais iniciais foram obtidos a partir de diferentes fontes e para melhor caracterização do seu escopo apresenta-se a seguir uma sucinta descrição de cada um deles.

1. Cartas topográficas escala 1:50.000 do Mapeamento Sistemático Brasileiro produzidas pelo IBGE usadas para auxílio na operação do registro de imagens.
2. Imagens do satélite LANDSAT-5, bandas 3, 4 e 5 cenas de 1995 e 2002, fornecidas pelo INPE.
3. Mapa geológico georeferenciado da bacia do Rio Formiga com as classes geológicas, fornecido pelo GEOMINAS.
4. Mapa de solos georeferenciado da bacia do Rio Formiga com as classes geológicas, fornecido pelo GEOMINAS.
5. Mapa de curvas de níveis e pontos cotados georeferenciados da bacia do Rio Formiga com atributos de altimetria, fornecido pelo GEOMINAS.
6. Mapa de hidrografia completa georeferenciada da bacia do Rio Formiga, fornecido pelo GEOMINAS.
7. Software SPRING (plataforma de geoprocessamento de domínio público) desenvolvido pelo INPE.

Todos os recursos e ferramentas de software no ambiente de geoprocessamento foram efetivados no ambiente SPRING. As bases GEOMINAS anteriormente descritas foram fornecidas em formato MAPINFO e convertidas para o formato SPRING. Para melhor caracterização e exemplificação dos dados básicos usados no trabalho, a Figura 4, mostra uma ilustração do mapa de solos com sobreposição da hidrografia.

Em vista das intervenções do homem, os sistemas ambientais apresentam maior ou menor fragilidade em função de diversas características genéticas, envolvendo principalmente relevo, pedologia, litologia, climatologia, cobertura do solo, uso da terra, bem como, uma complexa inter-relação entre estes fatores. A metodologia utilizada neste trabalho utilizou um enfoque simplificado fundamentado na lógica da Análise Empírica de Fragilidade cujas linhas gerais foram abordadas em Guerra e Cunha (2000). Apesar da simplificação de vários fatores esta metodologia presta-se muito bem aos objetivos propostos no trabalho que é de introduzir o potencial das ferramentas de geoprocessamento em aplicações de gestão de recursos naturais e ambientais. Para melhor compreensão da metodologia adotada no trabalho, a Figura 5, apresenta um fluxograma construído com base no modelo OMT-G implantado no software SPRING.

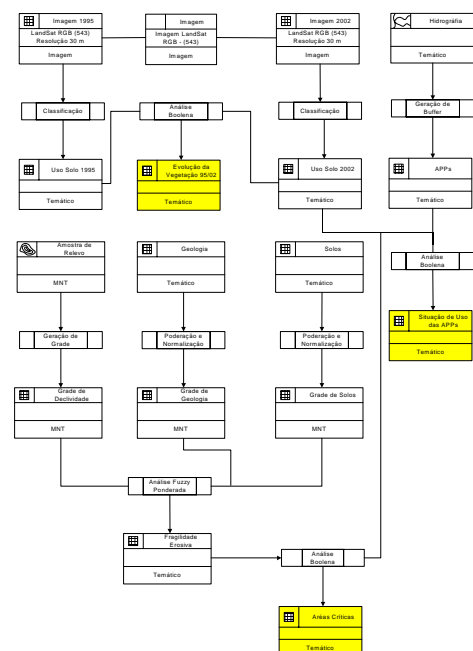


Fig. 5 – Fluxograma OMTG da metodologia de desenvolvimento do trabalho.

Para maior clareza apresenta-se a seguir uma descrição de cada um dos passos da metodologia utilizada.

Importação dos dados básicos iniciais anteriormente descritos já devidamente georeferenciados provenientes do Projeto GEOMINAS para Planos de Informações do SPRING.

Registro das imagens TM Landsat-5 usando pontos de controle extraídos das cartas topográficas do mapeamento sistemático nacional (IBGE) para permitir sua integração ao projeto em planos de informações do modelo Imagem.

Classificação das imagens Landsat pelo método de segmentação utilizando parâmetros de similaridade e área com os valores 7 e 10 respectivamente. Após a segmentação foi utilizado o classificador Isepeg produzindo-se as classes de interesse. Em seguida foi feito o mapeamento das classes identificadas resultando os Planos de Informação de uso do solo de 1995 e 2002.

Produção dos mapas de vegetação de 1995 e 2002 a partir da reclassificação dos planos de informação do uso do solo de 1995 e 2002. Produção do mapa de evolução da vegetação a partir da combinação dos Planos de Informação de uso do solo de 1995 e 2002. Para esta operação foi desenvolvido um programa em linguagem LEGAL.

Medidas das classes vegetação mantida, vegetação suprimida e vegetação incorporada para avaliação dos percentuais de desmatamento e regeneração/reflorestamento ocorridos no período 1995 a 2002 para reforço ou negação das hipóteses iniciais.

Geração de mapas de distâncias com 30 metros em torno dos rios e canais, com 50 metros em torno das nascentes, com 100 metros em torno de lagos e lagoas. Extração de topos de morros e geração de mapa de declividades acima de 45 graus onde a soma de todos deu origem ao Plano de Informação de APPs, representando as áreas protegidas pela legislação ambiental vigente.

Combinação do mapa de uso do solo 2002 com o mapa de APPs para produzir Plano de Informação de situação atual de uso das APPs e avaliação da desconformidade com a legislação ambiental para reforço ou negação das hipóteses iniciais. Para esta operação foi desenvolvido um programa em linguagem LEGAL.

Geração do mapa de fragilidade erosiva a partir da combinação do Plano de Informação numérico declividade percentual com os Planos de Informação temáticos solos e geologia. Para esta

operação foi inicialmente necessário normalizar a declividade para valores na faixa de 0 a 1 utilizando uma abordagem **fuzzy** através da função sigmóide e fazer a ponderação dos Planos de Informação temáticos para faixa de 0 a 1 com atribuição de pesos adequados a cada classe de solo e de geologia. Em seguida foi feita uma média ponderada pela atribuição de pesos compatíveis com a influência de cada um dos Planos de Informação normalizados na composição da fragilidade erosiva. O resultado do Plano de Informação de fragilidade erosiva foi fatiado em quatro classes de erodibilidade. Um programa completo em linguagem Legal foi desenvolvido para esta operação.

O passo final da metodologia foi a combinação do mapa de erodibilidade gerado pelo programa LEGAL com o Plano de Informação de uso do solo 2002 pelo método booleano para gerar o Plano de Informação de áreas mais propensas a perdas de solos e lixiviamento de contaminantes em função de situações críticas ocorrentes nos dois planos de informação, de uso do solo 2002 e de fragilidade erosiva. O percentual dessas áreas mais sujeitas a perdas foi calculado para reforço de conclusão das hipóteses iniciais. Um programa em linguagem Legal foi desenvolvido para esta operação.

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Após aplicação da metodologia descrita na seção anterior que produziu as informações necessárias para uma análise geral do problema é possível fazer as interpretações e discutir os resultados obtidos onde serão evidenciados os fatores que reforçam as hipóteses inicialmente apresentadas. Seguem-se, então os comentários e a discussão dos principais resultados e evidências.

Os Planos de Informação de uso do solo de 1995 e 2002 e os Mapa de vegetação decorrentes deles mostram que a vegetação foi reduzida de 581,76 km<sup>2</sup> em 1995 para 474,61 km<sup>2</sup> em 2002, representando uma redução geral de cerca de 20% do total da cobertura. O Plano de Informação representativo do mapa de evolução da vegetação feito a partir da combinação dos mapas de vegetação de 1995 e 2002, fornece os seguintes valores em km<sup>2</sup>: vegetação mantida : 358,33, vegetação suprimida: 223,43 e vegetação incorporada: 116,28 . Os mapas de vegetação de 1995 e 2002 mostrados nas Figuras 6 e 7 e o mapa de evolução da vegetação mostrado na Figura 8, confirmam a grande redução da cobertura florestal, o que é conseqüência do aumento da antropização no curto prazo de 7 anos, decorridos entre 1995 e 2002. Esta constatação pré supõe lançamento de esgotos decorrentes da urbanização, contaminação por agrotóxicos resultante de atividades agrosilvopastoril, enfraquecimento das camadas superficiais do solo resultante da retirada dos elementos de proteção natural, criando ambiente propício ao carreamento de matérias inadequadas para

os cursos d'água que alimentam o Rio Formiga. Assim, ficou configurado o reforço da hipótese inicial.

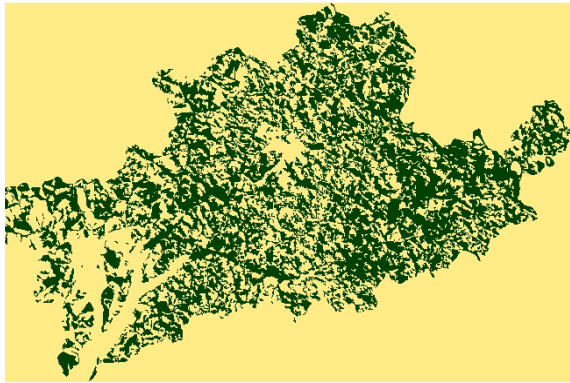


Fig. 6 – Mapa de vegetação 1995 obtido da imagem Landsat de 1995.

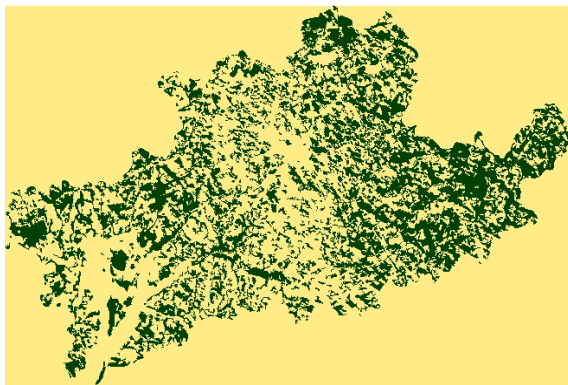


Fig. 7 – Mapa de vegetação 2002 obtido da imagem Landsat de 2002.

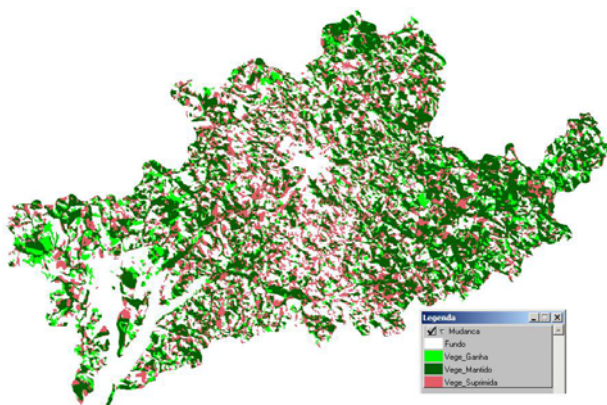


Fig. 8 – Mapa de evolução da vegetação 1995/2002.

O Plano de Informação correspondente as áreas protegidas pela legislação ambiental, APPs é mostrado na Figura 9. O Plano de Informação da situação de uso atual das APPs produzido conforme descrição detalhada na seção anterior é mostrado na

Figura 10 eles confirmam o alto índice de desconformidade do uso do solo nas APPs com a legislação ambiental vigente. De um total de 20893 hectares reservados a proteção permanente, APPs, há cerca de 9220 ha ocupado por solo descoberto e 130 ha ocupados por áreas urbanas significando uma desconformidade de cerca de 45%. Por serem áreas sensíveis e contíguas aos cursos de água ou situadas no topos de elevações, quando desprotegidas da cobertura natural contribuem para desmoronamentos, escorregamentos, lixiviação dos solos, lavagem de produtos químicos, assoreamento e obstrução dos recolhedores de água, facilitando o transporte de matérias inadequados para os cursos de água que alimentam o Rio Formiga.



Fig. 9 – Mapa de áreas de proteção permanente - APP.

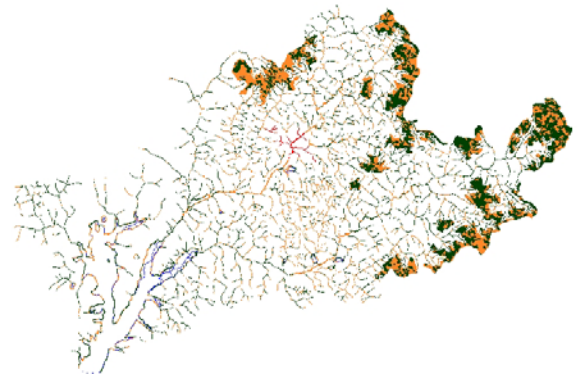


Fig. 10 – Mapa da situação de uso das APPs.

Por fim, o Plano de Informação que denominamos fragilidade erosiva devido a fatores do relevo, solo e geologia é mostrado na Figura 11 e o Plano de Informação que denominamos fragilidade erosiva/uso crítico, produzido conforme metodologia apresentada na seção anterior é mostrado na Figura 12. As medidas de classes feitas neste último plano de informação confirmam a enorme inadequação do uso do solo em áreas de fatores críticos relacionados ao relevo, pedologia e geologia. Um total de 99 km<sup>2</sup> tem uso do solo altamente inadequado frente a fatores

críticos relacionados ao relevo, pedologia e geologia. Isto representa um percentual aproximado de 10% da área total da bacia que é de 1119 km<sup>2</sup>, com uso extremamente críticos.

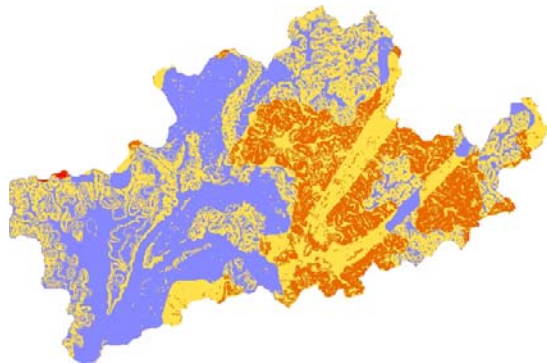


Figura 11 – Mapa de fragilidade erosiva.

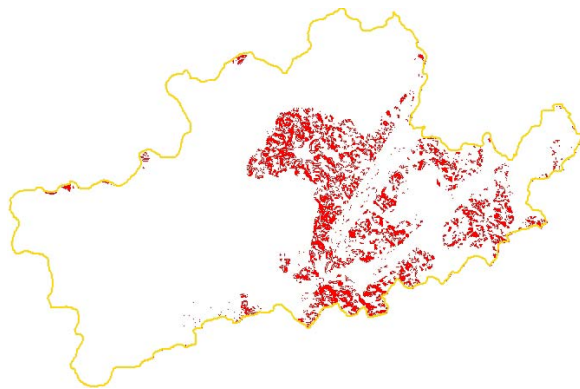


Figura 12 – Mapa risco erosivo e fragilidade crítica.

Todos estes fatores combinados apresentam fortes evidências para validar as hipóteses iniciais colocadas no objetivo do trabalho de que o espaço geográfico da bacia está profundamente descaracterizado por fatores decorrentes de ações antrópicas.

## 6 CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES

Da discussão dos resultados apresentados na seção anterior foi possível inferir algumas conclusões importantes que apontam para uma estreita relação entre processos antrópicos severos (uso inadequado do solo frente a fatores genéticos, utilização inadequada de áreas ambientalmente protegidas, desmatamentos, etc) e a degradação constatada na qualidade da água do Rio Formiga. Os resultados evidenciaram principalmente os seguintes aspectos que reforçam as hipóteses inicialmente estabelecidas para o diagnóstico do problema.

1. Ocorrência de alto índice de inadequação do uso da terra em relação às áreas preservadas por leis

ambientais. As margens de lagoas e represas estão entre as áreas menos preservadas por vegetação natural. Estes resultados sujeitam-se a alguma inexatidão devido a problemas de classificação e interpretação das imagens de sensoriamento remoto e a problemas de delimitação de APPs de topos de morros que requer grande esforço interpretativo do analista. Portanto, recomenda-se precaução no uso dos resultados referentes a essa classe. As áreas em desconformidade com a legislação são coincidentes em grande parte com a localização de situações críticas no mapa de fragilidade erosiva. Situação considerada muito crítica e de alto peso para a degradação da qualidade da água.

2. Redução geral da cobertura vegetal e o conseqüente aumento da antropização a curto prazo, alto crescimento de manchas urbanas, refletindo os processos que ocorrem em várias partes do país. Uma simples análise visual das imagens multitemporais ou dos mapas de uso resultantes delas, apontam um alto crescimento da urbanização, o que acarreta lançamento de resíduos domésticos nas águas da bacia.
3. Inadequação generalizada do uso do solo frente a fatores do relevo, pedologia e geologia refletindo a falta de conhecimento e ou conscientização de agricultores, proprietários rurais, autoridades públicas e gestores dos recursos naturais quanto a necessidade de uma abordagem inteligente e conservacionista do uso deste importante recurso para a humanidade.
4. Ainda que as informações mapeadas não sejam suficientes para uma análise totalmente confiável, verificou-se uma tendência de ocupação generalizada das áreas de preservação permanente determinadas pela legislação ambiental na área de estudo.
5. O trabalho não contempla a influência da poluição por defensivos agrícolas ou agentes químicos de qualquer natureza, mas é razoável relacionar desmatamentos, solos descobertos e utilização agrícola com algum grau de poluição das águas pelo uso destes produtos.

A composição de todas estas situações pode ser considerada crítica e contribui com peso elevado para a degradação da qualidade da água do rio formiga que vem sendo constatada pelos instrumentos de medida.

Cabe ressaltar, que a análise de fatores e problemas ambientais como os aqui abordados constitui uma atividade de natureza bastante complexa em termos de parâmetros e elementos de influência, e por limitação de tempo e de recursos disponíveis para

este trabalho não foi utilizada aqui uma metodologia completa e de alta consistência, tendo sido usado um enfoque simplificado. Apesar da simplificação de vários fatores a metodologia do trabalho presta-se muito bem aos objetivos de introduzir e demonstrar o potencial das ferramentas de geoprocessamento em aplicações de gestão de recursos naturais e ambientais.

No intuito de serem obtidos resultados mais consistentes para o diagnóstico de problema desta natureza é necessário e recomendável a incorporação de todas as variáveis importantes para o problema tratado e a utilização de uma metodologia o mais completa possível para o processo de análise. Isto irá garantir confiabilidade e completude do diagnóstico do problema ambiental o que será é um aspecto fundamental e responsável para que sejam adequadamente investidos os recursos e esforços por parte dos gestores de recursos ambientais.

## 7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Burrough, P; McDonnell, R. **Principles of Geographical Information Systems**. Oxford University Press, New York, 1998.
- Câmara, G; Davis, C; Monteiro, A. M. V. (ed). **Introdução à ciência da geoinformação**. São José dos Campos: INPE, 2001. 344p. (INPE-10506-RPI/249). Disponível em: <<http://iris.sid.inpe.br:1912/col/sid.inpe.br/sergio/2004/04.22.07.43/doc/publicacao.pdf>> . Acesso em: 22 abr. 2005.
- IGAM. **Relatório Monitoramento das Águas Superficiais na Bacia do Rio Grande em 2002**, IGAM, Belo Horizonte, 2002.
- Guerra, A.J.T, Cunha, S. B. **Geomorfologia e Meio Ambiente**. Bertrand Brasil, Rio de Janeiro – RJ, 2000.
- Moura, Ana Clara Mourão. **Geoprocessamento na Gestão e Planejamento Urbano. Belo Horizonte**: Ed. Da Autora, 2003.
- Silva, J. X. **Geoprocessamento para análise ambiental**. Ed. Rio de Janeiro – RJ - 2001.
- Santos, T.C.C.; Câmara, J.B.D. **GEO Brasil 2002 – Perspectivas do Meio Ambiente no Brasil**. Brasília: Edições IBAMA, 2002.
- Tucci, C.E.M.; Hespanhol, I.; Cordeiro Netto, O.M. **Gestão da Água no Brasil** – UNESCO, 2001. Brasília.