

# A contribuição da base hidrográfica digital ottocodificada para a construção de sistemas de apoio à decisão (SAD)

FILGUEIRAS, Joselaine Aparecida Ribeiro – Instituto Mineiro de Gestão das Águas  
FELIPPE, Miguel Fernandes – Universidade Federal de Minas Gerais  
NOGUEIRA, Renata Fraga – Instituto Mineiro de Gestão das Águas  
BRAGA, Fernanda de Souza – Instituto Mineiro de Gestão das Águas

## Abstract

Water resources management is an activity essentially spacial where is necessary to understand the water bodys' distribution and dynamics in the geographic space. Therefore, it is important to adopt tools that support an efficient spatial analysis. The codified hydrographic database, according to methodology developed by Otto Pfafstetter, represents a great advance to the water politics in Minas Gerais by allowing the development of computational procedures more appropriated to water management. This database was created to be incorporated in the activities of water management by the Instituto Mineiro de Gestão das Águas, Minas Gerais, Brazil, improving the permission of water usage analysis, despite of other potential uses. The article aims to explain and analyze the improvements in the granting of water usage process for water resources management. Nevertheless, other potencial uses of the "ottocodified" hydrographic database are explored. .

**Key words:** spatial analysis, information system for water resources management, decision support system.

**Palavras-chave:** análise espacial, sistema de informação de recursos hídricos, sistema de apoio à decisão.

## 1 – Introdução

O estado de Minas Gerais possui um papel de primeira importância no que tange aos recursos hídricos no Brasil. Com extensão territorial equivalente às áreas de países como a França e a Bélgica juntos, nele situam-se os interflúvios de importantes bacias hidrográficas brasileiras, que fornecem água para milhões de habitantes desse país e também da América Latina. Mais do que isso, o estado comporta as porções de montante dessas bacias, que, como se sabe, carecem ainda mais de uma gestão eficiente e adequada de suas águas (FIG. 1). Para tanto, a operacionalização de grande parte das atividades de gerenciamento dos recursos ambientais, dentre eles os recursos hídricos, não pode prescindir do auxílio de ferramentas computacionais que permitam a análise de dados e informações. No caso dos recursos hídricos, a análise espacial permite conhecer a distribuição e a dinâmica dos corpos e cursos de água no espaço geográfico.

Além de ferramentas adequadas, é importante a utilização de bases de dados apropriadas aos usos pretendidos. A espacialização das informações referentes à gestão de recursos hídricos esteve durante muitos anos deficitária, devido à falta de sistematização de dados acarretada, muitas vezes, pela ausência de uma base hidrográfica consistente, que permitisse o desenvolvimento de sistemas computacionais de apoio às tomadas de decisões na gestão das águas.

Nesse contexto, surgiu para o Instituto Mineiro de Gestão das Águas (IGAM), órgão gestor estadual de recursos hídricos, a necessidade de desenvolver uma base de dados espaciais referente à rede hidrográfica do estado, que comungasse com as atuais demandas relacionadas à gestão das águas no estado.

Alicerçado no conceito de grafos direcionais, estruturas matemáticas muito utilizadas por aplicações em computação, que necessitam considerar o conjunto de conexões entre pares de objetos ordenados (MARIANI, 2010), essa base digital representa a distribuição da rede hidrográfica no estado, em escala de 1:50.000 e 1:100.000, identificada por codificação própria, baseada em metodologia denominada ottocodificação, desenvolvida por Otto Pfafstetter (PFAFSTETTER, 1989). Adicionalmente, representam-se as bacias hidrográficas sob o conceito de ottobacia, essencial para a compreensão da lógica de construção da rede hidrográfica ottocodificada.

Em relação ao desenvolvimento de sistemas de informação especialistas, essa base de dados espaciais da rede hidrográfica permite a aplicação de modelagens do comportamento hidrológico, da propagação de enchentes, da concentração de poluentes, dentre outros modelos com base topológica que buscam resolver problemas que envolvam questões como:

- O caminho para ir de um objeto a outro seguindo as conexões;
- Menor distância entre um objeto e outro;
- Quantidade de outros objetos que podem ser alcançados a partir de um determinado objeto etc.

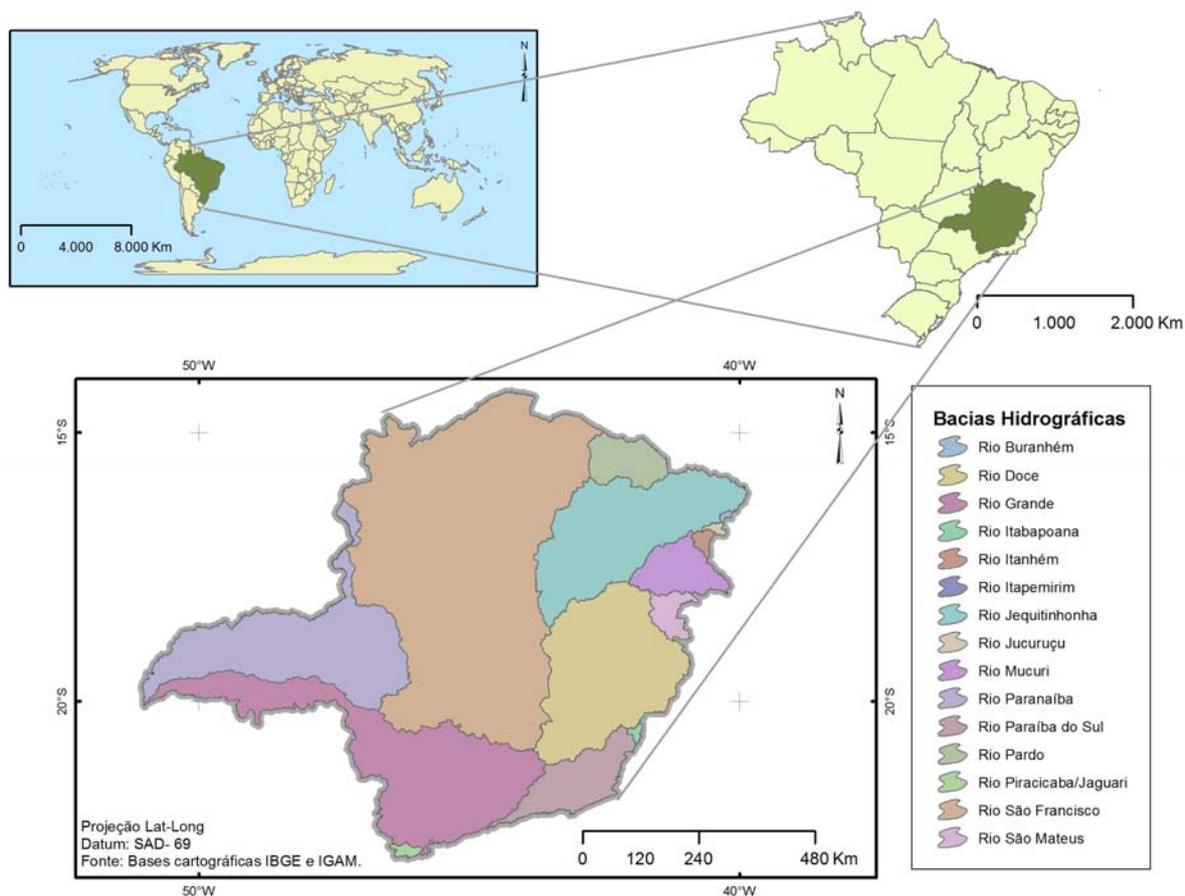


Figura 1: Localização do estado de Minas Gerais, evidenciando suas principais bacias hidrográficas.

Concluída em 2010, a construção dessa base possibilitou, até o momento, o aperfeiçoamento do sistema de informação de apoio à decisão destinado a dar suporte à análise de outorga – concessão do direito de uso da água pelo poder público estadual e federal –, respeitando-se os critérios técnicos e os princípios preconizados no arcabouço legal da gestão dos recursos hídricos.

Sob esse enfoque, este trabalho objetiva apontar as melhorias a serem obtidas nas análises de outorga a partir da implementação da base otocodificada. Além disso, buscar-se-á discutir os usos potenciais, bem como as possibilidades de melhoria na gestão das águas do estado de Minas Gerais, considerando as inúmeras aplicabilidades computacionais do banco de dados.

## 2 – A construção da base hidrográfica otocodificada

Um dos grandes problemas para a gestão dos recursos hídricos consiste na dificuldade de obtenção de informações sobre os corpos de água. Muitas vezes, os dados só podem ser obtidos em campo, ou via modelagens complexas que demandam recursos humanos e computacionais altamente especializados. Além disso, trabalhar com dados hidrográficos de forma remota recai em uma série de problemas cartográficos, já que raros são os casos em que há uma base digital de dados consistente capaz de subsidiar a gestão.

Porém, para construção de um banco de dados georreferenciado de recursos hídricos, é necessária a existência de um identificador de cada elemento do sistema. Na maioria das vezes a criação dessa chave de codificação baseia-se na hierarquia fluvial proposta por Horton, Strahler ou Shreeve (STRAHLER; STRAHLER, 1992). Esses métodos não são considerados eficientes quando se tratam de bacias independentes, já que a hierarquia é repetida em cada uma das bacias e o identificador fica comprometido. Ademais, são metodologias eminentemente escalares, de modo que a mudança no detalhamento dos mapeamentos acarreta na alteração de toda a estrutura hierárquica previamente determinada.

O estado de Minas Gerais, até o ano de 2010, possuía como base digital hidrográfica oficial para o gerenciamento das águas um conjunto de cartas topográficas vetorizadas no Programa Integrado do Uso da Tecnologia de Geoprocessamento pelos Órgãos do Estado de Minas Gerais – GeoMINAS. A fonte de tais informações foi o mapeamento realizado pelo então Ministério da Defesa e pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE – nas escalas de 1:50.000 e 1:100.000. Esta base cartográfica hidrográfica utilizada anteriormente à base otto pelo estado de Minas Gerais apresentava, no entanto, uma série de impeditivos, ou dificultadores à gestão eficiente, tais como: hidrografia digitalizada por carta, de acordo com

o modelo de articulação do mapeamento sistemático, o que demandava grande esforço em tempo e profissionais para edição de bases para desenvolvimento de estudos e mapeamentos de grandes áreas; ausência de consistência topológica com descontinuidades, duplicidade de dados e fragmentação de feições cartográficas; ausência de toponímia para grande parte dos cursos de água; ausência de identificadores hierarquizados para cada elemento da rede, etc. Assim, o banco de dados utilizado era inconsistente e impossibilitava quaisquer procedimentos automatizados ou modelagens dos dados produzidos pelo IGAM, criando empecilhos ao aumento da eficiência na gestão dos recursos hídricos pelo estado.

No final do ano de 2008 a partir de uma parceria entre a Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG) e o Instituto Mineiro de Gestão das Águas (IGAM), iniciou-se a construção da base hidrográfica ottocodificada para o estado de Minas Gerais.

Pfafstetter (1989) elaborou uma proposta metodológica de codificação multiescalar (VERDIN; VERDIN, 1999) de bacias hidrográficas que vislumbrava a mitigação dos problemas encontrados em propostas de codificação anteriores (como as propostas da ANEEL de 1972 e do IBGE do ano 2000), baseando-se na área drenada e na topologia hídrica. Inicialmente, ele dividiu a América do Sul em suas dez principais bacias hidrográficas (critério de área) e atribuiu a cada uma um algarismo. A partir dessa identificação arbitrária inicial, cada grande bacia do continente é dividida em sub-bacias que recebem um novo algarismo, sendo que às quatro maiores sub-bacias são atribuídos os algarismos pares 2, 4, 6 e 8 (no sentido de jusante para montante do rio principal); e, para os demais afluentes do rio principal (as interbacias) são atribuídos os algarismos ímpares 1, 3, 5, 7 e 9, no mesmo sentido. Assim, a partir do primeiro nível de divisão é possível fazer novas subdivisões seguindo a mesma lógica, por exemplo, a bacia continental 2 se subdivide nas bacias 22, 24, 26 e 28 e nas interbacias 21, 23, 25, 27 e 29, ou seja, os algarismos de um código informam a conectividade e hierarquia da rede hidrográfica, (FIG. 2).

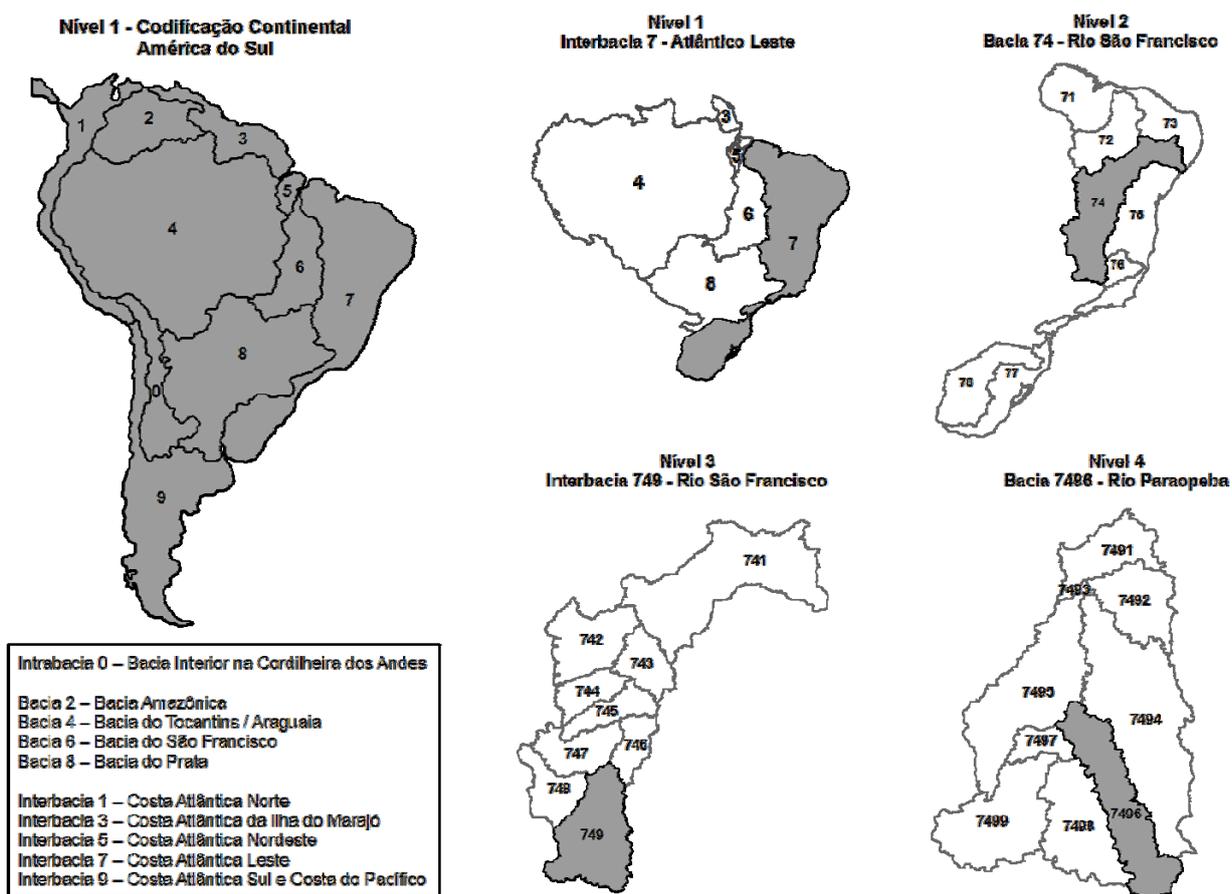


Figura 2: Classificação e codificação de bacias segundo sistema de Otto Pfafstetter, exemplo de codificação até o 4º nível para a bacia do rio Paraopeba em Minas Gerais a partir da Interbacia continental 7 - Costa Atlântica Leste (NOGUEIRA, 2010).

Ao final, a junção de todos os algarismos recebidos por uma bacia ao longo de sua segmentação em sub-bacias corresponde a um código único, identificador daquela área (PFAFSTETTER, 1989). A metodologia de Pfafstetter foi utilizada anteriormente pela Agência Nacional de Águas (ANA) para codificar os trechos de cursos d'água brasileiros na escala de 1:1.000.000, desenvolvendo bases metodológicas para a modelagem da rede hidrográfica ottocodificada que encontram-se descritas em ANA (2006) e ANA (2008).



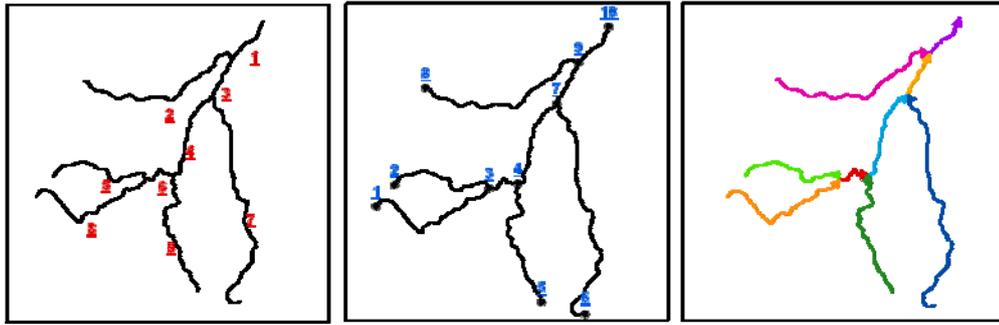


Figura 4: Cada trecho da rede de drenagem possui um identificador único e nós de origem e destino com direção de fluxo de montante para jusante (NOGUEIRA, 2010).

Neste sentido, a representações de rios mais largos com margens duplas ou de corpos de água como barragens e lagoas são substituídas por linhas medianas centrais. Esses aspectos descaracterizam a referida base como cartográfica, *strictu sensu* (FIG. 5).

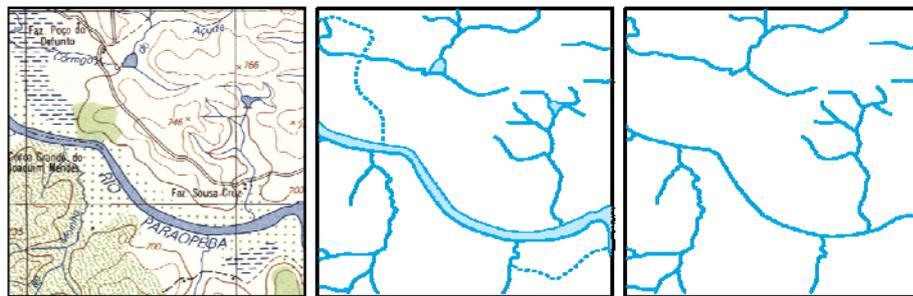


Figura 5: Exemplo de simplificações efetuadas na rede hidrográfica para processamento da ottocodificação (NOGUEIRA, 2010).

A mais significativa diferença encontra-se no banco de dados alfanuméricos associado a cada uma das bases. Enquanto nas bases GeoMINAS as informações restringem-se a um identificador aleatório e a pouquíssimas toponímias fluviais, na rede ottocodificada, uma série de informações hidrográficas são fornecidas, além de atributos hierárquicos, toponímia e, evidentemente, a codificação, que possibilita a rápida identificação e seleção de bacias e sub-bacias em diferentes recortes espaciais. É exatamente essa característica que permite a automação de procedimentos e a modelagem de informações sobre recursos hídricos para o estado de Minas Gerais (FIG. 6).

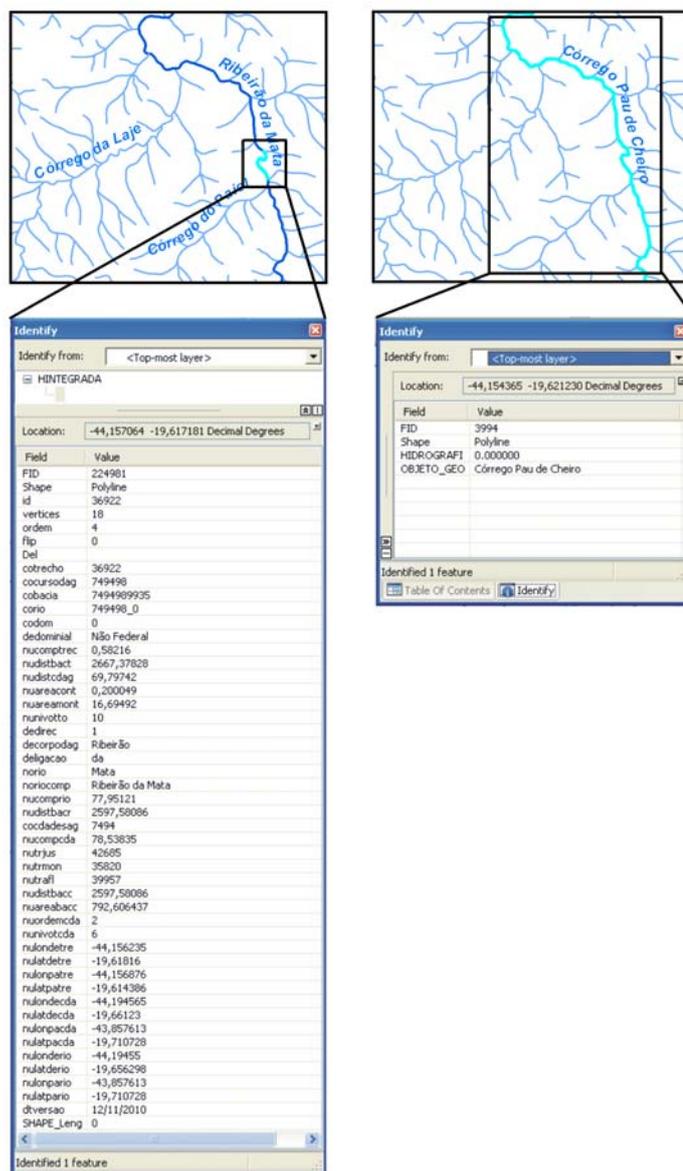


Figura 6: Exemplo das tabelas de atributos associados a um mesmo trecho de curso d'água da bacia do rio das Velhas, para a base ottocodificada ("HINTEGRADA"), na esquerda, e para a base GeoMINAS, na direita. (Fontes: bases digitais GeoMINAS e base ottocodificada, IGAM, 2010).

Por se tratar de uma escala de trabalho muito detalhada e por Minas Geras ser um estado do interior do Brasil, encontrou-se vários percalços na consecução da base ottocodificada e sua consequente integração ao sistema de apoio à decisão de outorgas.

Como tratado anteriormente, para construção da base hidrográfica ottocodificada, é necessário que toda a rede hidrográfica esteja consistida topologicamente. Após as etapas de edição e correção topológica da rede, a execução de procedimentos de verificação final da consistência topológica, a verificação da consistência espacial das toponímias, a geração de todos os códigos para trechos de cursos de água e ottobacias bem como a extração de informações hídricas, a normalização das tabelas de dados foram realizadas em um banco de dados relacional utilizando-se a plataforma Microsoft Access (© Microsoft Corporation 1983- 2003). Este banco de dados foi desenvolvido pela ANA e opera a partir de três objetos básicos: as tabelas, as consultas e as macros, que funcionam como uma linguagem de programação simplificada que permite a manipulação automática dos outros dois objetos do banco de dados, sendo capaz de armazenar, transferir e analisar dados referentes às tabelas de atributos dos arquivos (*shape*). Utilizados como dados de entrada para a codificação, este banco de dados possui interface com o ArcGIS. No entanto, este banco de dados possui reduzida capacidade de armazenamento e de processamento de dados, uma vez que foi desenvolvido para processamento e codificação da base de dados hidrográficos nacional, na escala do milionésimo. Assim, foram desenvolvidos dois programas auxiliares para substituição de algumas etapas previstas no manual de codificação de bacias, desenvolvido pela ANA (2008): os programas *Conv\_mif2mif* e *Ordena* (© Philippe Maillard 2009) desenvolvidos para auxiliar na conferência e consistência da topologia da rede hidrográfica. Com a utilização destes programas, foi possível identificar

trechos desconexos, a existência de “laços” na rede, nós de origem e destino com valência múltipla (valência maior do que três, identificando a existência de confluência de mais de três trechos de curso de água em um mesmo ponto), além de realizarem a ordenação da rede segundo a metodologia de Strahler (1952) e o direcionamento de fluxo da rede de montante para jusante.

No entanto, embora os programas acima citados tenham resumido parte das etapas iniciais de codificação, foi necessário realizar subdivisões das grandes bacias mineiras para que todo o processo de otocodificação pudesse ser realizado pelo banco de dados, já que este possui reduzida capacidade de armazenamento e processamento. Assim, as bacias foram subdivididas da seguinte forma: rio São Francisco, em 12 partes; rio Grande, em 8 partes; rio Doce, em 9 partes; rio Paranaíba, em 4 partes; e rio Jequitinhonha, em 2 partes. Em função das subdivisões, três campos referentes às medidas de distância dos trechos de curso d’água até as fozes reais (*nudistbact*, *nudistbacr* e *nudistbacc*) das tabelas de atributos dos arquivos gerados ficaram comprometidos. Assim, após a junção de todas as partes codificadas, foram realizados ajustes da distâncias.

A atribuição de toponímia aos trechos também apresentou desafios para a geração da base otocodificada. No total, foram atribuídas toponímias a 319.000 trechos de curso de água, sendo utilizada como fonte oficial de dados as cartas topográficas “escaneadas”, que originaram a base hidrográfica vetorizada. Nesse processo, alguns problemas foram encontrados tais como: a descontinuidade de nome de um dado curso de água entre uma carta e outra; trechos sem nome à jusante de um trecho com nome; cursos de água que possuíam mais de um nome com intervalos de trechos sem nomes entre as diferentes toponímias; trechos sem nome após a confluência de dois trechos com toponímias distintas; entre outros. Em função da metodologia de codificação proposta por Pfafstetter prever um código (para cada trecho de curso de água) relacionado especificamente com os nomes de rios (*corio*), é necessário que a toponímia possua consistência e certa continuidade espacial. Caso contrário, as macros de codificação relacionadas à geração do *corio* não são processadas, impedindo o avanço nas etapas posteriores de codificação, conforme previstas no manual da ANA. Assim, foram estabelecidas regras e adaptações para atribuição das toponímias para os casos problemáticos acima citados, visando minimizar possíveis erros durante a codificação. Na ausência de algum dos casos, a atribuição de nomes seguiu rigorosamente as cartas fonte.

Outro desafio à codificação relaciona-se ao fato de Minas Gerais ser um estado do interior do Brasil. Como descrito anteriormente, a atribuição dos códigos, segundo a metodologia de Pfafstetter, é feita no sentido de jusante para montante. Como se sabe, o estado de Minas Gerais não possui fozes no mar. Assim, para que os códigos fossem atribuídos de maneira espacialmente consistente e em concordância com a base nacional, foi necessário prolongar as bacias mineiras até suas fozes reais fora do estado de Minas Gerais. Para tal, foram acrescentados às bases digitais das bacias mineiras os trechos de curso d’água e as áreas de contribuição específica da base nacional otocodificada (1:1.000.000) até as fozes. Resultante destes ajustes e do grau de detalhamento das escalas trabalhadas, foram codificados cerca de 964.500 trechos de cursos de água e suas respectivas áreas de contribuição específica.

### **3 – Sistemas de informação no contexto da gestão das águas**

O Sistema de Informação é um dos instrumentos de gestão de recursos hídricos, que genericamente podem ser definidos como mecanismos por meio dos quais a política das águas é efetivada. É definido como um sistema que visa organizar “a coleta, o tratamento, o armazenamento, a recuperação e a divulgação de informações sobre recursos hídricos e fatores intervenientes em sua gestão” (MINAS GERAIS, 1999).

Segundo o Decreto Estadual nº 41.578 de 2001, que regulamenta a política das águas, o sistema de informações das águas deve subsidiar:

- I – o desenvolvimento e manutenção dos sistemas de outorga, enquadramento e cobrança;
- II – a elaboração de critérios e normas que visem a prevenção ou mitigação dos danos provenientes da ocorrência de eventos hidrológicos adversos;
- III – a elaboração de critérios e normas para o regime de racionamento do uso das águas superficiais e subterrâneas. (MINAS GERAIS, 2001)

A complexidade do atendimento dessa demanda pelo Sistema exige que a sua concepção e implantação sejam feitas de forma gradual, em partes ou módulos, definidos conforme suas finalidades e as características das atividades as quais os sistemas dão suporte.

Assim, no âmbito dos sistemas de informação voltados para suportar atividades de recursos hídricos, esses podem ser classificados em 5 tipos, conforme classificação adaptada, com base nos modelos propostos por Gory & Morton (1971), Laudon & Laudon (1998) e Zwass (1998), citados por Alves (2006): sistemas de processamento de transações (SPT), sistemas especialistas (SIE), sistemas de apoio à decisão (SAD), sistemas de informação gerencial (SIG) e sistemas de suporte executivo (SSE).

Os sistemas de processamento de transações (SPT) são os sistemas básicos que suportam as atividades operacionais, visando à automação das operações e à busca de eficiência. Os principais usuários são os administradores operacionais e supervisores. Esses sistemas mantêm atualizadas as atividades elementares conduzidas durante as operações, que são baseadas em procedimentos. As rotinas,

recursos e objetivos são predefinidos e altamente estruturados. Caracterizam-se pelo grande volume de transações, por dados bem definidos e estruturados, saídas bem definidas e foco no processo e na eficiência. Servem de base para todos os sistemas de suporte organizacional. Exemplos desses sistemas são os de cadastro de usuários de recursos hídricos e de dados de monitoramento hidrométrico.

Os sistemas especialistas (SIE) são aqueles utilizados por profissionais especializados no domínio da aplicação para criar novas informações e conhecimento, apoiando as atividades técnico-científicas. Sua principal característica é que são desenvolvidos com a incorporação de conhecimentos, recomendações e regras, definidos por especialistas de determinada área específica e aplicados sobre os dados do usuário para ajudá-lo a resolver um problema (CHERMONT, 2001). Podem utilizar dados dos SPT, bem como de outras fontes. Um sistema para cálculos hidrológicos ou de manipulação de informações geográficas são exemplos de sistemas especialistas. Laudon & Laudon (1998, citado por ALVES, 2006) afirmam que os sistemas especialistas estão sendo bastante utilizados nas organizações e que se encontram integrados em diversas aplicações ou sistemas nas organizações.

Os sistemas de apoio à decisão (SAD) são desenvolvidos especialmente para dar suporte ao processo decisório que não é completamente programado pelo computador, no qual o julgamento do analista, interagindo com o sistema, compõe o ambiente decisório. Os principais usuários são especialistas e assessores. Por meio de modelos analíticos específicos, baseia-se em tendências e cenários possíveis, a partir de análises e comparações complexas, voltadas para questões semi-estruturadas e não estruturadas, sendo mais flexíveis. Os SIE podem estar integrados a esse tipo de sistema. A capacidade analítica advém da variedade de modelos que podem incorporar e à condensação dos dados em uma forma que pode ser entendida tanto pelos administradores quanto especialistas. O sistema de apoio à análise de outorga pode ser classificado com um SAD.

Os sistemas de informação gerencial (SIG) visam prover gerentes e administradores de informações históricas e atuais rotineiras na forma de relatórios, originados diretamente dos bancos de dados gerados pelos sistemas transacionais ou de extratos especiais desses bancos. São gerados relatórios por demanda (quando solicitados), programados (produzidos periodicamente) e de exceção (produzidos automaticamente quando uma situação incomum ocorre, requerendo posteriormente alguma atitude da administração).

Os sistemas de suporte executivo (SSE) são voltados para o nível estratégico da organização e objetivam identificar e analisar elementos estratégicos e tendências de longo prazo, tanto do ambiente externo quanto interno. O principal usuário é a alta administração. Suportam principalmente decisões não estruturadas, criando um ambiente com recursos gráficos de alto nível, em vez de prover capacidades específicas. Dependem de dados sumarizados advindos de todos os sistemas de informações, filtrando e trilhando dados críticos para a organização. Não são projetados para resolver problemas específicos, mas para serem aplicados em uma variedade de problemas, associados a ameaças e oportunidades para o negócio.

Pela natureza do trabalho proposto, o foco está nos sistemas de informação de tipologias especialista e de apoio à decisão.

#### **4 – O desenvolvimento do sistema de apoio à decisão de outorga**

A concessão do direito de uso das águas ou outorga é um processo administrativo, realizado por órgãos gestores estaduais e pela Agência Nacional de Águas (ANA), que se apóia em atividades técnicas que buscam analisar a relação entre disponibilidade hídrica – por meio de métodos de vazões regionalizadas – e demanda, a partir das solicitações formais de uso da água. Essas atividades seguem orientações e critérios técnicos estabelecidos no arcabouço legal.

Com o objetivo de facilitar e melhorar o controle sobre tal atividade, por vários anos, o estado de Minas Gerais contou com o Sistema Integrado de Meio Ambiente (SIAM), responsável por gerenciar de forma integrada todos os processos autorizativos ambientais e de recursos hídricos (licenças ambientais, outorgas de água, entre outros). No entanto, o sistema passou a apresentar inconsistências nas saídas do processamento de transações, atribuídas às modelagens e à integração dos seus diversos bancos de dados, e problemas de desempenho, devido ao subdimensionamento da infra-estrutura de tecnologia da informação e comunicação (TIC) e ao intenso uso simultâneo distribuído do sistema.

Em relação à outorga, o sistema especialista que dá suporte ao cálculo de vazão utiliza a base GeoMINAS, o que restringe, pelos aspectos citados dessa base, a possibilidade de desenvolvimento de aplicativos para automatização de tarefas, como a delimitação da área de contribuição, que atualmente é feita manualmente pelos técnicos. Há de se esclarecer também que várias regras de negócio assumidas pelo SIAM caducaram, devido a alterações de prazos legais, de critérios técnicos etc. difíceis de serem incorporados ao sistema, e outras nem sequer foram consideradas, o que tornou o sistema obsoleto.

Com o objetivo de resolver tais questões, novo sistema, denominado provisoriamente SisemaNet, está em desenvolvimento com o auxílio da Universidade Federal de Lavras (UFLA). O sistema de apoio à decisão que gerenciará os processos autorizativos ambientais e de recursos hídricos e dará suporte à análise técnica, inclusive à outorga, é integrado a um sistema de processamento de transações (chamado de “entrada única”), por meio do qual serão cadastrados os dados dos empreendedores e empreendimentos

demandantes de “serviços” da área ambiental (licenças e autorizações). Esse sistema fornecerá os dados a partir dos quais os técnicos farão suas análises, com o suporte do sistema especialista de outorga.

Essencialmente, o sistema especialista de outorga é um sistema de informações geográficas com funcionalidades especificamente desenvolvidas para a análise de outorga. O seu banco de dados espaciais utiliza a base hidrográfica ottocodificada com a agregação dos dados de regionalização das vazões de referência  $Q_{7,10}$ ,  $Q_{90}$  e  $Q_{95}$ , cujo processamento só foi possível a partir da consecução da base otto, que é hidrologicamente consistida. Os dados foram pré-processados e atribuídos a cada trecho de curso de água. Para os pontos de captação/interferência que não coincidem exatamente com os nós da rede, desenvolveu-se um aplicativo que permite interpolar os valores para o ponto específico. A produção dos dados hidrológicos de vazão regionalizada foi realizada pela Universidade Federal de Viçosa (UFV).

O aperfeiçoamento do sistema de apoio à decisão de outorga, possibilitado pela base ottocodificada, proporcionará mais agilidade e confiabilidade ao processo de concessão de outorga. Pretende-se eliminar a variabilidade nos resultados de cálculo de vazões, que atualmente são obtidos pelo uso de diferentes ferramentas e tarefas: cálculos em planilhas eletrônicas, consultas a estudo de referência de vazão regionalizada (SOUZA, 1993), uso de aplicativos computacionais e delimitação manual da bacia hidrográfica. Maior agilidade será conferida à atividade, pela eliminação de algumas tarefas, como a delimitação manual pelo técnico da área de contribuição, que passará a ser feita pelo sistema. O aumento da confiabilidade dos dados de análise e a diminuição de erros humanos pela automatização de etapas do processo de análise também são melhorias esperadas.

## **5 – Descobertas e discussões referentes a outras aplicações da base hidrográfica ottocodificada no gerenciamento dos cursos de água**

Como todo vasto banco de dados, as possibilidades de exploração da rede hidrográfica ottocodificada são inúmeras. Inicialmente, pode-se afirmar que praticamente todos os processos inerentes à gestão de recursos hídricos no estado de Minas Gerais serão afetados, em maior ou menor grau de intensidade, por esses novos materiais. A tendência é que as mudanças estejam relacionadas às novas estruturas de procedimentos técnicos, voltadas à automatização de determinadas tarefas, à identificação dos corpos de água e bacias por seus ottocódigos e à otimização de processos os mais diversos.

Uma aplicação imediata, que já foi incorporada à rotina do IGAM, é a utilização do banco de dados da ottocodificação para fins de geoprocessamento. A elaboração de mapas, dos mais diversos tipos, é atividade corriqueira e essencial para a gestão das águas, e já utiliza a base ottocodificada. Isso implica em uma série de vantagens relacionadas ao ganho de tempo e à facilidade de obtenção de determinadas informações que subsidiam decisões no IGAM.

A eliminação de problemas de toponímia é outro ganho proveniente da base ottocodificada, fundamental para a gestão de recursos hídricos. O número de rios com nomes idênticos ou similares em um estado como Minas Gerais é imenso. Além disso, a maioria dos rios não possui toponímia definida oficialmente nas cartas topográficas, ficando a cargo dos moradores locais a denominação do curso de água. Tais fatores podem gerar os mais diversos erros e divergências devido ao desconhecimento da localização precisa do corpo de água em questão. A utilização dos ottocódigos elimina o problema de homônimos e de rios sem toponímia, já que estabelece códigos únicos para cada elemento da rede de drenagem. A incorporação gradativa desses códigos na gestão de recursos hídricos do estado de Minas Gerais, tanto na esfera governamental quanto para os co-gestores (agências de bacias e entidades equiparadas), já foi iniciada.

Futuras possibilidades são vislumbradas no que tange à automatização de procedimentos internos e à modelagem de dados hidrológicos, ambientais e de gestão. Nesse ponto, insere-se o mapeamento das classes de enquadramento dos cursos de água, entendido como a classificação dos trechos de curso de água, compatível com os usos preponderantes em cada trecho (MINAS GERAIS, 2001), e da dominialidade dos cursos de água. A relevância dessas informações se dá pelo fato de que, na análise de outorga, ela ajuda a definir quais são os usos de água e de ocupação do solo que podem ocorrer na área de influência do trecho de curso de água, sem afetar a classe estabelecida para o determinado trecho, bem como se a responsabilidade de gestão é da Agência Nacional de Águas (para rios de dominialidade da União) ou do Instituto Mineiro de Gestão das Águas (para os de dominialidade do Estado). No estado, somente algumas bacias hidrográficas possuem seus cursos de água enquadrados (Paracatu, Velhas e Piracicaba). A norma legal estabelece que, nos trechos onde não se fez estudos de enquadramento, deve-se considerar a classe 2, para fins de gerenciamento. O mapeamento dessas classes é uma tarefa notadamente complexa quando não se tem uma base topologicamente consistida. Desse modo, a partir da rede hidrográfica ottocodificada, elaboraram-se procedimentos metodológicos capazes de espalhar os códigos de classe pelos atributos e localização dos trechos de curso de água, o que não seria possível na base GeoMINAS.

Uma aplicação possível para a base otto é utilizá-la como suporte para o desenvolvimento de sistema especialista de simulação da contaminação das águas, uma vez que, definidos os parâmetros e as regras de negócio, é possível modelar o comportamento do fluxo de contaminantes pela rede hidrográfica.

Incorporando-se dados meteorológicos à vazão já existente, é viável também modelar a simulação de ondas de cheias, que poderão subsidiar as atividades do sistema de alerta de enchentes.

O grande desafio que está posto é o de consolidar a utilização da rede hidrográfica ottocodificada primeiramente no IGAM, em atividades de monitoramento, enquadramento e localização dos usuários de água e, posteriormente, expandir seu uso para as academias e sociedade civil. Sabe-se que as possibilidades de uso são diversas, principalmente no que tange a modelagens computacionais para estudos e simulações de fenômenos que se propagam pela rede hidrográfica, como contaminações, cheias etc. e, por isso, são necessários constantes estudos exploratórios para conhecer cada vez mais o banco de dados que se tem em mão.

## 6 – Considerações finais

A base ottocodificada representa para o gerenciamento das águas grande melhoria, por prover base de dados espaciais da rede hidrográfica que possibilita o desenvolvimento de sistemas especialistas mais apropriados ao gerenciamento das águas. A superação dos desafios e dificuldades encontrados no processo de construção da base criou condições ao IGAM para avançar na implantação de alguns instrumentos de gestão.

A idéia foi apresentar a experiência, as lições aprendidas e os desafios na construção da base hidrográfica a partir da metodologia otto e os ganhos que se obteve (e os que podem ser obtidos), principalmente no gerenciamento das águas, voltado para atividades de controle, como outorga e monitoramento, e atividades de planejamento, como enquadramento.

Entende-se também que esse foi um passo na direção de consolidar o Sistema de Informações de Recursos Hídricos.

## 7 – Referências bibliográficas

ALVES, J. A. da C. Sistemas de informação organizacionais: tipologia e adequação. In: STAREC, C., GOMES, E., BEZERRA, J. (org). **Gestão estratégica da informação e inteligência competitiva**. São Paulo: Saraiva, 2006. p. 322-338.

ANA – Agência Nacional de Águas (Brasil). **Manual de Construção da Base Hidrográfica Ottocodificada: fase 1 – construção da base topológica de hidrografia e ottobacias conforme a codificação de bacias hidrográficas de Otto Pfafstetter: versão 2.1**. de 17/03/2008. Brasília: ANA, SGI, 2008

ANA – Agência Nacional de Águas (Brasil). **Topologia hídrica: método de construção e modelagem dabase hidrográfica para suporte à gestão de recursos hídricos. versão 1.11**. Brasília: ANA, SGI, 2006.

CHERMONT, G. S. de. **A qualidade na gestão de projetos de sistemas de informação**. 2001. 162 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção da COPPE) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2006.

MARIANI, A. C. **Teoria dos grafos**. Livro eletrônico. Departamento de Informática e Estatística. Centro Tecnológico. Universidade Federal de Santa Catarina, 2010. Disponível em: <<http://www.inf.ufsc.br/grafos/livro.html>> Acesso em: 7 de maio de 2011.

MINAS GERAIS, Lei n. 13.199 de 29 de janeiro de 1999. Dispõe sobre a Política Estadual de Recursos Hídricos e dá outras providências. Belo Horizonte: IGAM, 2002, 46 p.

MINAS GERAIS, Decreto Estadual nº 41.578 de 08 de março de 2001. Regulamenta a Lei nº 13.199, de 29 de janeiro de 1999, que dispõe sobre Política Estadual de Recursos Hídricos. Belo Horizonte: IGAM, 2002, 46 p.

NOGUEIRA, R. F. **Uso da codificação hidrográfica segundo o método de Otto Pfafstetter para análise hidrológica da bacia do Rio Paraopeba (MG)**. Belo Horizonte, 2010. 63 p. Monografia (Graduação em Geografia) – Instituto de Geociências, Universidade Federal de Minas Gerais.

STRAHLER, Alan H; STRAHLER, Arthur Newell. **Modern physical geography**. 4th. ed. New York: John Wiley & Sons, 1992.

VERDIN, K. L.; VERDIN, J. P. A Topological System for Delineation and Codification of the Earth's River Basins. **Journal of Hydrology**, vol. 218, nº 1-2, 1999.

PFAFSTETTER, O. **Classificação de Bacias Hidrográficas – Metodologia de Codificação**. Rio de Janeiro, RJ: DNOS, 1989.

SOUZA, S. T. **Deflúvios Superficiais no Estado de Minas Gerais**. Hidrossistemas-COPASA. Belo Horizonte. 1993.