Construção da base Otto-codificada em Minas Gerais: implementação da metodologia desenvolvida por Otto Pfafstetter (1989) para escalas 1:100.000 e 1:50.000

Carlos Henrique Pires Luiz [1]
Sérgio Donizete Faria[2]

[1, 2] Universidade Federal de Minas Gerais – UFMG - Instituto de Geociências
Departamento de Cartografia – Programa de Mestrado em Análise e Modelagem de Sistemas Ambientais
Campus Universitário, Av. Antônio Carlos, 6.627
CEP 31270-901 Belo Horizonte – MG – Brasil
[1]carlospires@ufmg.br; [2]fariamaracai@yahoo.com.br

Abstract. This paper has like aim to present the application of Otto-codification in Minas Gerais. The methodology is based on the hierarchization of watersheds according to its area of unique contribution and was developed by Pfafstetter (1989). The Agência Nacional de Águas – ANA, generates the otto-codification base to Brazil in millionth scale. However, this scale of analysis does not adequately represent local information, compatible with the 1:50.000 and 1:100.000 base. Thus, the Instituto de Gestão das Águas de Minas Gerais - IGAM through partnership with UFMG adapted the otto-codification methodology to be compatibility with more detail. To generate the Otto-codification base is necessary some pre-processing steps such as: hydrographic network topologic correction, SRTM image processing, review and adaptation of Pfafstetter methodology. With the otto-codification is possible to extract lots of information about the basin, such as: contribution area of each basin, upstream area contribution, length of watercourse, stretch immediately upstream and downstream of the confluence and others informations.The first hydrographic otto-codification base version encoded by ANA was created on 07/12/2006, has reached 178.561 pieces and up to order 12 from Brazil. The base produced by IGAM has 974.494 for the State of Minas Gerais, and can reach the order 14. This difference of numbers and scale was the great challenge beaten in IGAM Project. The success of result of otto-codification base construction is an important step to improve water resources management in Brazil.

Palavras-chave: water resources management, geoprocessing, hydrologic modeling, image processing, gerenciamento de recursos hídricos, geoprocessamento, modelagem hidrológica, processamento de imagens.

1. Introdução

A partir da Lei 9.433, de 8 de janeiro de 1997, institui-se a Política Nacional de Recursos Hídricos no Brasil que, dentre outras orientações em seu artigo 1º, define a água como um recurso natural limitado, dotado de valor econômico. Essa definição tem grande importância por constituir a água enquanto recurso finito, concepção contrária ao que é apresentado como ciclo hidrológico. A importância da água está ligada diretamente a manutenção da vida no planeta (PETRELLA, 2004). A disponibilidade hídrica de determinada região pode variar em função dos seus usos, do seu nível de preservação, de fatores ligados ao clima e variações do nível freático. No Brasil, essa disponibilidade é uma das maiores do Planeta (13,8%), entretanto, é mal distribuída uma vez que 70% do volume estão concentrados na Bacia do Rio Amazonas (SENRA, 2004). A má distribuição da água somada a outros fatores como a crescente demanda provocada pelo crescimento econômico e populacional, a descaracterização das áreas de recargas e o aumento da poluição dos cursos d'água colocam em pauta discussões para um melhor gerenciamento da água enquanto recurso hídrico.

As discussões sobre recursos hídricos no Brasil avançaram no sentido da instituição de sistemas de gestão integrada do Poder Público, dos usuários e das comunidades (MAGALHÃES,

2010). O modelo de gestão adotado apresenta uma concepção moderna de gerenciamento e seu ponto chave é a definição da bacia hidrográfica como recorte territorial para implementação da Política Nacional de Recursos Hídricos.

Uma vez adotada a bacia hidrográfica como unidade de gestão, foi preciso criar um sistema de classificação de bacias para elaboração das futuras ações dos Planos Básicos de Recursos Hídricos. Para atender essa demanda, o Conselho Nacional de Recursos Hídricos- CNRH, adotou oficialmente para o Brasil, a partir da resolução nº 30, de 11 de dezembro de 2002, o sistema de codificação e classificação de bacias desenvolvido por Otto Pfafstetter (1989). Essa metodologia possibilita a extração de diversas informações da rede hidrográfica que são úteis à implementação de políticas de gestão de recursos hídricos. A otto-codificação é baseada na hierarquização das bacias hidrográficas segundo sua área de contribuição exclusiva. Esse fato torna possível extrair dados como: área de contribuição da bacia, área de contribuição a montante, distância em relação à foz, comprimento do curso d'água, trecho imediatamente a montante e a jusante da confluência, dentre outras informações (NOGUEIRA, 2010). A codificação é baseada no reconhecimento prévio na rede hidrográfica das quatro maiores bacias (não recebem drenagem de qualquer outra área), das quatro maiores interbacias (recebem fluxo de água de duas bacias a montante) e de possíveis intrabacias (área da rede hidrográfica que não contribuem para outra sub-bacia). Para as bacias são atribuídos os números pares (2, 4, 6 e 8), para as interbacias os números ímpares (3, 5, 7 e 9) e para as intrabacias o número zero. A codificação é realizada no sentido da foz para a nascente (PFAFSTETTER, 1989). Após a primeira identificação é possível subdividir as áreas de bacia, interbacia e intrabacias previamente codificadas sucessivamente, utilizando a quantidade de dígitos necessários a atender a densidade da rede considerando sua escala (Figura 1).

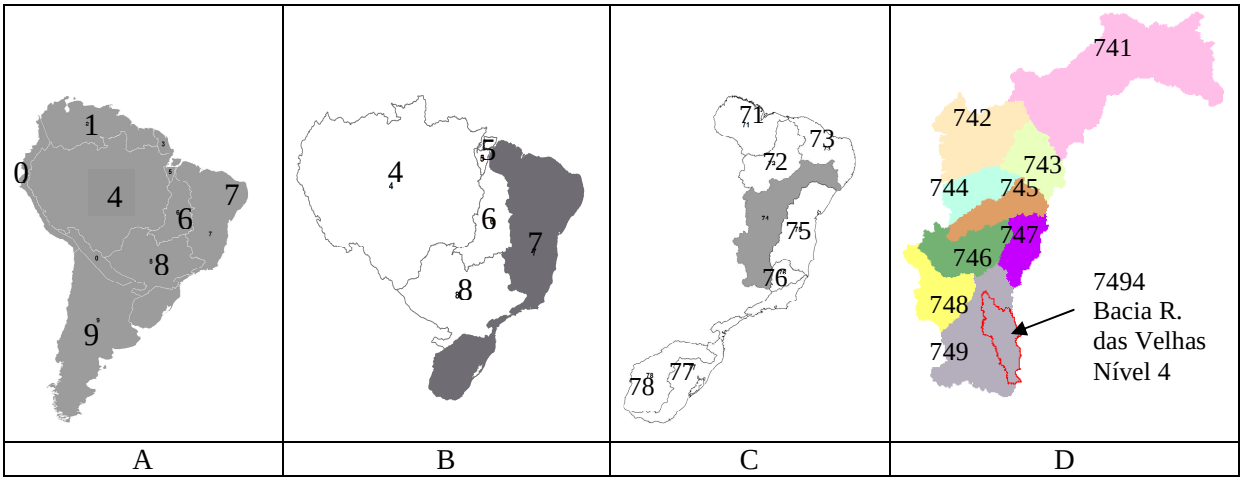

Figura 1 – Esquema da divisão de bacias: (a) Ottobacias Nível 1 – América do Sul; (b) Ottobacias Nível 1 – Brasil, destacando em cinza a interbacia 7 (Atlântico Leste); (c) Ottobacias Nível 2, destacando em cinza a bacia 74 (Rio São Francisco); (d) Ottobacias Nível 3, e Bacia Rio das Velhas (ordem 4), destacada em vermelho.

Em 2000, foi realizada a primeira codificação segundo metodologia proposta por Otto Pfastetter (1989). Essa codificação foi realizada pelo Instituto Brasileiro de Geografia e

Estatística - IBGE para escala do milionésimo. Para essa escala foi possível chegar até a quinta ordem de otto-códigos (GALVÃO e MENEZES, 2005). Em Minas Gerais, o Instituto de Gestão de Águas Mineiras – IGAM, através da equipe técnica da UFMG, trabalhou entre 2008 e 2010 na construção da base Otto-codificada para as escalas de 1:50.000 e 1:100.000. Nesse estudo, a bacia do Rio São Francisco chega até a 14º ordem de codificação, na escala 1:50.000. Representando um código maior, e, portanto, indicando detalhe na codificação da rede hidrográfica. O resultado do trabalho permitiu a obtenção da base Otto-codificada para uma escala de maior detalhe do que a produzida pela ANA. Com isso a gestão dos recursos hídricos em Minas Gerais é executada de maneira mais fiel a realidade, sendo a base Otto-codificada instrumento essencial nas análises de pedidos de concessão de pedidos de outorga.

Estudos sobre a otto-codificação são recentes, algumas referencias são encontrados em Pires-Luiz *et. al*, (2009); Elesbon *et. al*, (2011); Gomes e Barros (2011). Contudo, esses estudos não tratam da implementação da Otto-codificação para escalas de 1:50.000 e 1:100.000. No caso da metodologia desenvolvida para Minas Gerais, a Otto-codificação poderá ser implementada para qualquer escala de análise.

2. Metodologia

A metodologia adotada no Projeto seguiu o Manual de Construção da Base Hidrográfica Ottocodificada da ANA Fase 1 – Construção da base topológica de hidrografia e ottobacias conforme codificação de bacias hidrográficas de Otto Pfastetter. As etapas foram adaptadas para a escala e quantidade de trechos muito maior do que aquelas da codificação da ANA feita para o Brasil, em escala menor. As etapas adaptadas e desenvolvidas são pontuadas na figura 2.

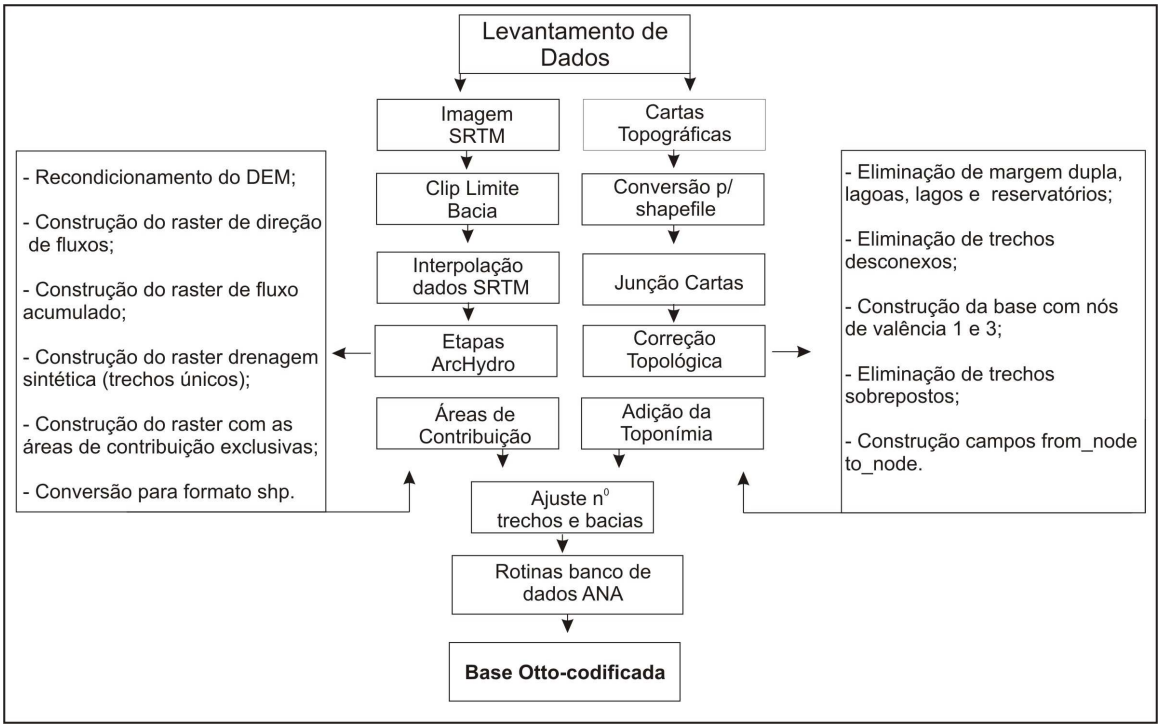

Figura 2 – Fluxograma das etapas seguidas na metodologia de construção da base ottocodificada

A construção da base vetorial a ser codificada segue alguns parâmetros específicos constantes no manual de otto-codificação da ANA. As principais etapas de correção topológica são detalhadas na figura 3.

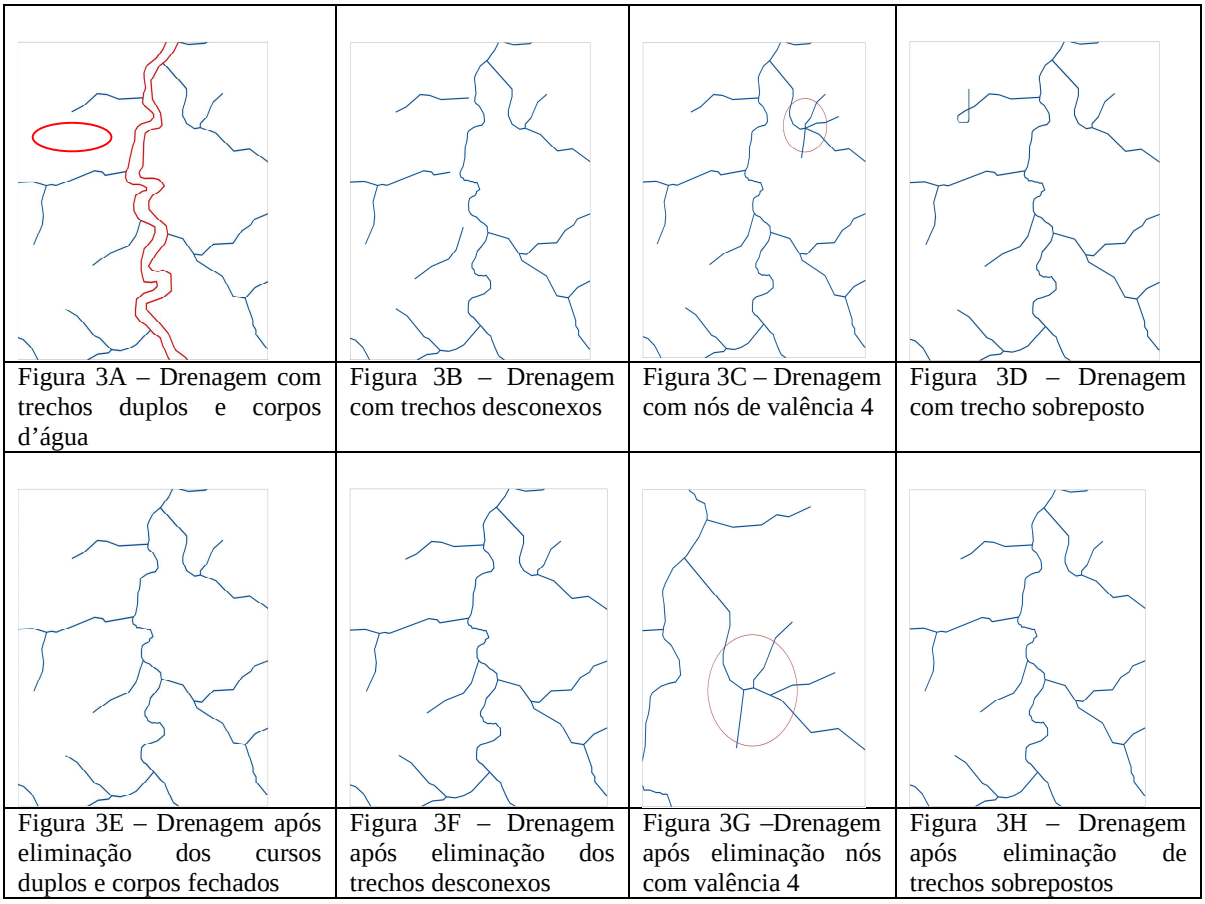

Figura 3A – Drenagem com trechos duplos e corpos d'água	Figura 3B – Drenagem com trechos desconexos	Figura 3C – Drenagem com nós de valência 4	Figura 3D – Drenagem com trecho sobreposto
Figura 3E – Drenagem após eliminação dos cursos duplos e corpos fechados	Figura 3F – Drenagem após eliminação dos trechos desconexos	Figura 3G –Drenagem após eliminação nós com valência 4	Figura 3H – Drenagem após eliminação de trechos sobrepostos

Figura 3 – Erros topológicos eliminados, conforme necessidade para construção da base

Além dos passos detalhados na figura 3, a base para a otto-codificação necessita da eliminação de polígonos na rede e qualquer tipo de informação em círculo, como os efeitos *loop*. Ou seja, o fluxo de água tem que ter um sentido único. Dessa forma, uma das etapas de correção topológica consiste no ordenamento Strahler (1952) e *flip* de todos os trechos de drenagem para o mesmo sentido. A etapa do *flip* consiste na alteração do sentido de digitalização, onde todos os *endpoints* necessariamente devem estar nas confluências, ou seja, como se a drenagem tivesse sido digitalizada da nascente para a foz.

Após execução da correção topológica vetorial, foi necessário criar as áreas de contribuição exclusivas para cada trecho da drenagem. As etapas são detalhadas na figura 4.

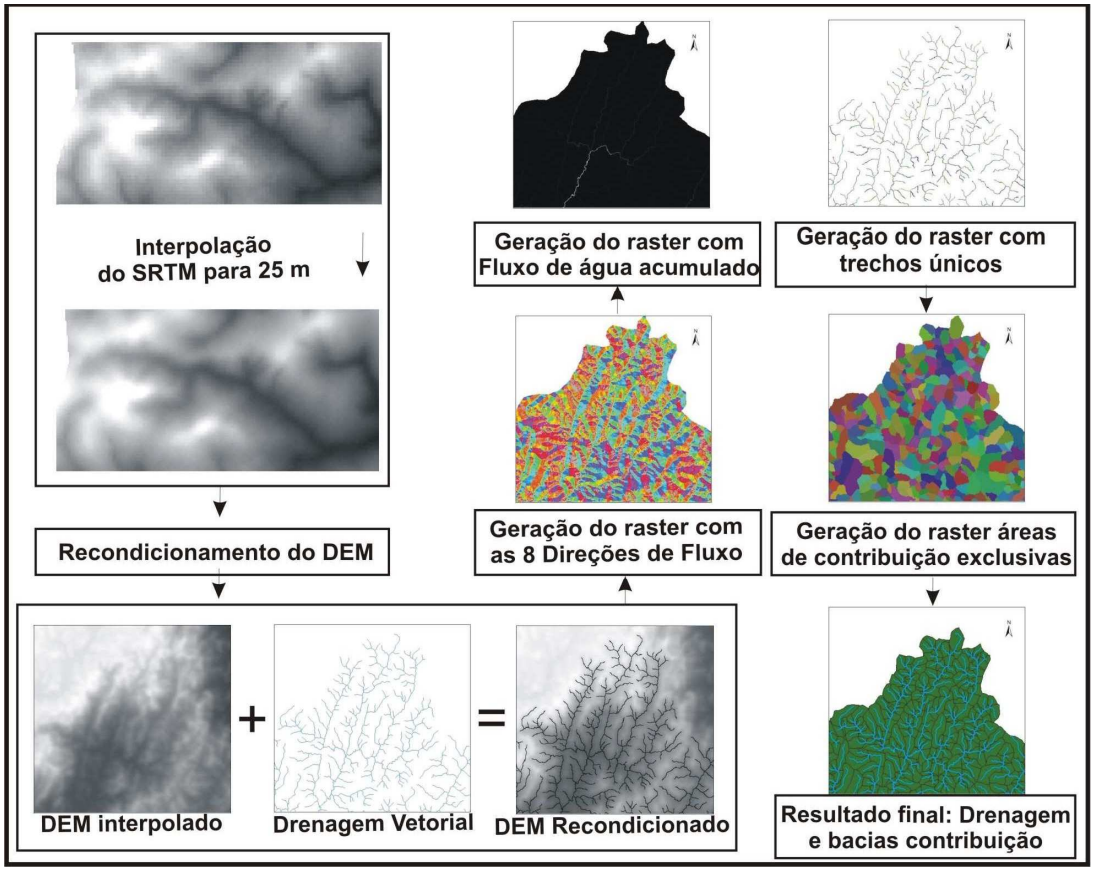

Figura 4 – Metodologia delimitação das áreas de contribuição exclusiva

3. Resultados e Discussão

A Lei 9.433/97 propôs um modelo de gerenciamento de recursos hídricos pautado na gestão descentralizada e participativa, e na bacia hidrográfica como unidade territorial de implementação. Como forma de auxílio à essa gestão compartilhada e ao planejamento dos recursos hídricos é necessário que as pesquisas proporcionem um banco de informações que fomentem a utilização racional e a conservação da água (TUCCI, 2005). O planejamento é uma maneira de sustentar as atividades humanas com o mínimo de impactos físicos, ecológicos e sociais (CHRISTOFOLETTI, 1999). O principal desafio vencido na condução do Projeto de Otto-codificação para Minas Gerais foi descobrir uma forma de processamento de dados compatível com as escalas 1:50000 e 1:100000. A diferença entre as escalas da base ottocodificada ANA para o Brasil e a da gerada no projeto do IGAM fez com que os arquivos gerados possuíssem tamanho muito maior. Isso por sua vez veio de encontro ao limite do banco de dados que comporta as macros da codificação. Esse banco de dados possui limite máximo de 2GB, contudo, algumas bacias, em que a ordem ultrapassava 12 níveis e com mais de 70.000 trechos, o banco de dados ultrapassava esse limite. Nesse caso foi necessária a subdivisão dessas bacias, aumentando o tempo empregado na codificação. A base ottocodificada da ANA versão 07/12/2006, possui 178.561 trechos e chegou até a ordem 12. A base produzida pelo IGAM possui 974.494 para o Estado de Minas Gerais, sendo possível alcançar a ordem 14. A figura 5 apresenta a comparação entre a densidade de trechos de drenagem da base ANA com a base IGAM.

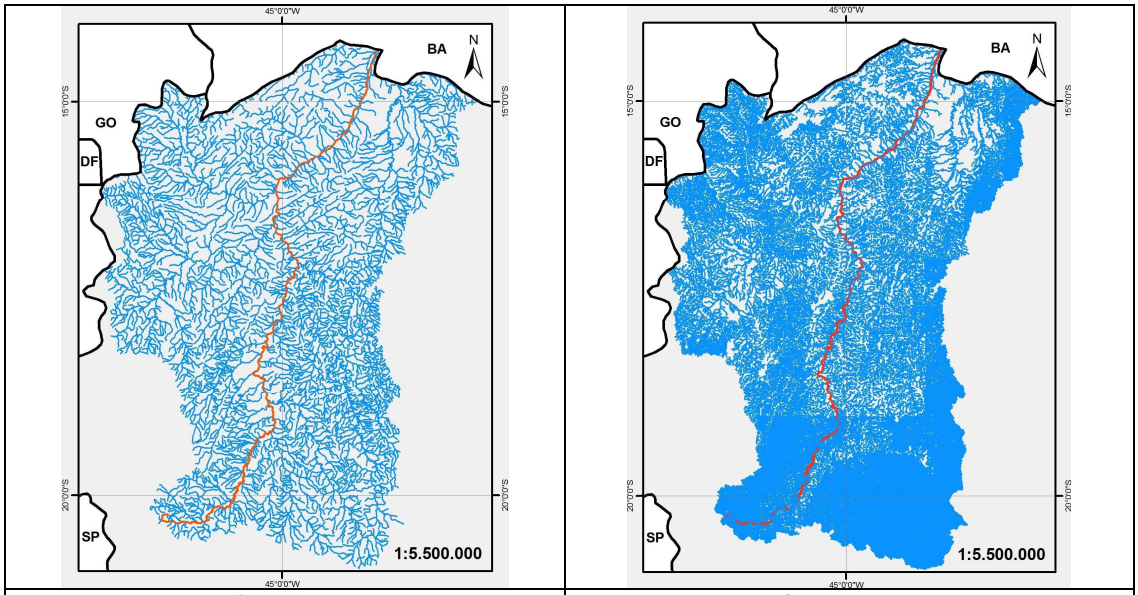

Figura 5A- Hidrografia São Francisco ANA | Figura 5B- Hidrografia São Francisco Projeto IGAM

Figura 5 – Comparação da densidade da rede hidrográfica trabalhada pela ANA e IGAM

Não só a densidade e quantidade de trechos interferem na velocidade de processamento dos dados. A ordem máxima que a bacia possui é o principal fator limitador ao processamento das informações conforme observado na execução das rotinas da ANA. O limite de processamento em alguns casos teve de ser contornado com a divisões da bacia e processamento em pacotes, conforme tabela 1.

Tabela 1 – Bacias ottocodificadas em MG segundo quantidade de trechos, ordem máxima e número de subdivisões no processamento.

Bacia	Quantidade de trechos	Ordem máxima	Divisões necessárias
Rio Piraciba / Jaguari	6.691	12	0
Rio Mucuri	14.417	12	0
Rio Paraíba do Sul	91.987	13	0
Rio Jequitinhonha	92.012	14	2
Rio Paranaíba	47.447	13	4
Rio Doce	181.095	12	9
Rio São Francisco	245.377	14	12
Rio Grande	261.855	14	9

Em Minas Gerais as cartas topográficas disponíveis encontram-se em duas escalas: 1:50.000 e 1:100.000. Esse fato gerou alguns problemas na junção das cartas, uma vez que no encontro dessas, as escalas diferentes de alguns trechos fazia com que em determinados pontos não

houvesse contigüidade espacial dos trechos, sendo necessário eliminar esses trechos. Outro ponto em que a codificação de Minas Gerais divergiu da base ANA, diz respeito à forma de gerar as áreas de contribuição exclusivas. Enquanto que a ANA utilizou a técnica da equidistância, no Projeto do IGAM as áreas de contribuição foram geradas a partir de MDE oriundo dos dados SRTM interpolado a 25 metros (Figura 6).

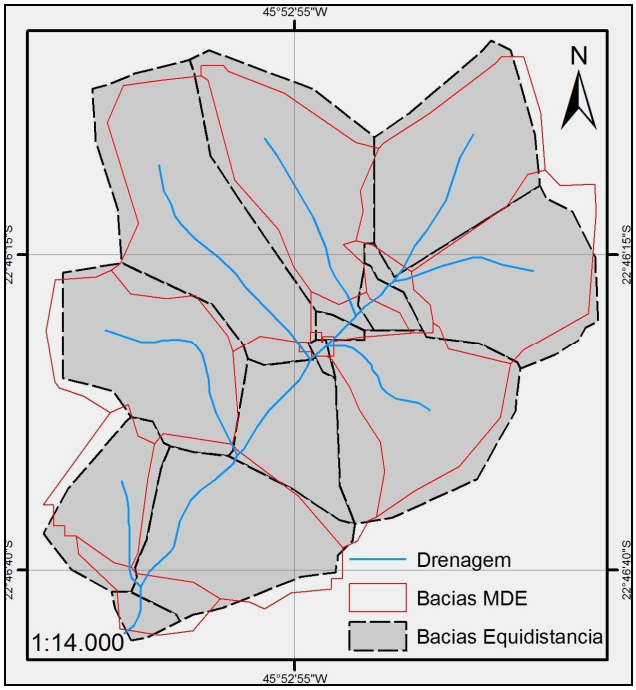

Figura 6 – Diferença na delimitação das áreas de contribuição exclusivas ANA e IGAM

É possível observar na figura 6, há uma divergência nos limites das áreas de contribuição exclusivas. As áreas geradas pelo MDE (em vermelho) apresentam a vantagem de possuírem uma correspondência com o terreno. Ou seja, são mais fiéis à realidade. As bases geradas por eqüidistância são baseadas nas relações topológicas dos trechos da drenagem. Não sendo, portanto, o melhor parâmetro para criação das áreas de contribuição exclusivas.

4. Conclusões

O sucesso alcançado por Minas Gerais na codificação após algumas adaptações do manual técnico da ANA representa importante passo para uma melhor gestão dos recursos hídricos no Estado. Como forma de auxílio à gestão compartilhada é necessário que as pesquisas proporcionem um banco de informações que fomentem a utilização racional e a conservação da água enquanto recurso hídrico. Para isso o Projeto conduzido pelo IGAM apresentou uma proposta de construção de um banco de dados espacial capaz de agregar essas informações em uma única base, facilitando as análises e tomadas de decisão.

5. Referencias

ANA - Agência Nacional de Águas. **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 2.0 de 1/11/2007**. Brasília: ANA, SGI, 2007. 144 p.

BRASIL. Lei Federal nº 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 alerta o art. 1º da Lei nº 8.001, de 13 de março de 1990, que modificou a Lei 7.990, de 28 de dezembro de 1989. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l9433.htm >. Acesso em 23 de setembro de 2012.

CNRH – Conselho Nacional de Recursos Hídricos. Resolução n^0 30, de 11 de dezembro de 2002. Disponível em: <http://www.cnrh-srh.gov.br/delibera/resolucoes/R030.htm>. Acesso em 23 de setembro de 2012.

ELESBON, A. A. A.; GUEDES, H. A. S.; AMARAL, R. V.; RIBEIRO, C. A. A.; SILVA, D. D. Otto-codificação de bacias hidrográficas utilizando dados SRTM. **Anais**: XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR, Curitiba, PR, Brasil, 30 de abril a 05 de maio de 2011, INPE p.5084

GALVÃO, W. S.; MENESES, P. R. Avaliação dos sistemas de classificação e codificação de bacias hidrográficas brasileiras para fins de planejamento de redes hidrométricas. **Anais**: XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Goiânia: INPE, 15/abr/2005, Anais, p 2511 – 2518.

GOMES, J. V. P.; BARROS, R. S. A importância das Ottobacias para gestão de recursos hídricos. **Anais:** XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR, Curitiba, PR, Brasil, 30 de abril a 05 de maio de 2011, INPE p.1287

MAGALHÃES, A. Apostila de Recursos Hídricos. Departamento de Geografia, UFMG. Belo Horizonte, 2010. 164p.

NOGUEIRA, R. F. **Uso da codificação hidrográfica segundo o método de Otto Pfafstetter para análise hidrológica da bacia do Rio Paraopeba (MG).** Departamento Geografia, UFMG. Monografia. Belo Horizonte, 2010. 63p.

PETRELLA, R. **A água. O desafio do bem comum**. In: NEUTZLING, I (org). Água: bem público universal. Coleção Humanitas. São Leopoldo: Ed Unisinos. 2004.

PFAFSTETTER, O. 1989. Classificação de bacias hidrográficas: metodologia da codificação. Rio de Janeiro: Departamento Nacional de Obras de Saneamento, 1989.

PIRES-LUIZ, C. H.; MATOS, L. F. P.; NOGUEIRA, R. F.; MAILLARD, P. Fatores complicadores na construção da base hidrográfica ottocodificada para escala 1:100.000 no Pantanal Mato-Grossense. **Anais** 2º Simpósio de Geotecnologias no Pantanal, Corumbá, 7-11 novembro 2009, Embrapa Informática Agropecuária/INPE, p.249-258.

SENRA, J. B. **A paisagem da água no Brasil**. In: NEUTZLING, I. (Org.) **Água:** bem público universal. São Leopoldo: Ed. Unisinos, 2004, p. 33-56.

STRAHLER, A. N. **Hypsometric (area-altitude) – analysis of erosion al topography**. Geological Society of America Bulletin, v.63, n.10, p.1117-1142, 1952.

TUCCI, E. M. **Hidrologia Ciência e Aplicação**. In: TUCCI, E. M. Hidrologia Ciência e Aplicação. 2 ed. Porto Alegre: Editora da Universidade: ABRH. p.25-31. 1997