

MODELAGEM HIDROLÓGICA DA BACIA DO RIO DOCE (MG/ES) COM BASE EM IMAGENS SRTM (Shuttle Radar Topography Mission)

André Luiz Nascentes Coelho

Doutorando no Departamento de Geografia pela UFF

andré.ufes@bol.com.br

RESUMO

O objetivo deste trabalho é verificar a eficiência dos comandos e funções do SIG na análise de características fisiográficas e parâmetros morfométricos em bacias hidrográficas de médio grande porte, tendo como objeto de estudo a bacia do Rio Doce de 83.465 km², localizada entre os estados de MG e ES. A partir da aquisição de imagens orbitais (SRTM - Shuttle Radar Topography Mission) e o uso das ferramentas do SIG ArcGIS 9.1 foi traçado (automaticamente) com maior nível de precisão: os limites da bacia, delimitação da rede de canais, hierarquização da bacia segundo proposta de Strahler (1952), seleção e delimitação das sub-bacias mais representativas, entre outros. Para cada um dos mapas elaborados foi realizado um cruzamento confrontando com os dados/informações das cartas topográficas do IBGE correspondente a área e, também, a conferência em campo com uso de GPS demonstrando uma excelente precisão e confiabilidade dos produtos gerados, portanto, indicado como um instrumental de apoio a inúmeras pesquisas físico-territoriais, estudos hidrodinâmicos e gestão em bacias hidrográficas de médio e grande porte.

Palavras-chave: Geotecnologias, Modelagem Hidrológica, Bacia do Rio Doce.

HYDROLOGY MODELING OF BASIN OF DOCE RIVER (MG/ES) WITH SUPPORT IN SRTM (shuttle radar topography mission) IMAGES

ABSTRACT

The objective of this work is to verify the efficiency of the commands and functions of GIS (Geographic Information System) in the analysis of characteristics physic and morphometric in hydrographic basins of great medium load, tends as study object the basin of Doce river with an area of 83.465 km², located in the states of Minas Gerais and Espírito Santo. Starting from the acquisition of orbital images (SRTM - Shuttle Radar Topography Mission) and the use of the tools of GIS ArcGIS 9.1 was traced (automatically) with larger precision: the limits of the basin, delimitate of the net of channels hierarchization according with Strahler (1952), delimit of the most representative sub-basins, among others. For each one of the elaborated maps a crossing was accomplished confronting with the data / information of the topographical letters of corresponding the area and, also, the conference of several of these information in field with use of GPS demonstrating an excellent precision and reliability of the generated products, therefore, suitable as an instrumental one of support to countless physical-territorial researches, hydrodynamic studies and administration in basins hydrographic of medium and big load.

Key-words: Geotechnology, Hydrology Modeling, Basin of Doce River.

INTRODUÇÃO

O estudo físico-territorial integrado de um canal fluvial de grande expressão espacial, como é o caso da Bacia do rio Doce, com aproximadamente 83.465 km² superior ao estado do Espírito Santo¹ mostra-se como um grande desafio a ser empreendido para qualquer pesquisador ou interessado pelo assunto, ainda mais, considerando os elementos sociais. Um dos métodos mais adequados para iniciar esta jornada é partir do estudo morfométrico de bacias, definido como a análise quantitativa das relações entre a fisiografia e sua dinâmica hidrológica, possuindo importância para o tratamento/discussão das questões sócio-econômicas e de gerenciamento da bacia.

Este trabalho procura contribuir com o emprego de novas geotecnologias objetivando realizar uma modelagem hidrológica em uma bacia de médio-grande porte, tendo como objeto a Bacia do Rio Doce, iniciando-se com a aquisição de imagens orbitais derivadas do radar SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*) com o uso do SIG (Sistemas de Informações Geográficas), apoiada na análise com as cartas topográficas do IBGE e trabalhos de campo. Como objetivos específicos o estudo busca identificar a eficiência dos comandos/funções do software SIG ArcGIS 9.1 na elaboração de mapas, a partir, da junção (comando *mosaic*) de um conjunto de Imagens SRTMs correspondente a área da bacia realizando-se: a delimitação precisa da bacia, definição e hierarquização dos canais destacando os troncos principais segundo a proposta de Strahler (1952), elaboração do mapa das sub-bacias mais representativas, além do cálculo da área (A) da bacia e sub-bacias, o perímetro (P) e o comprimento total do canal principal (Lcp).

BASES TEÓRICAS

Sistema de Informações Geográficas

Os Sistemas de Informações Geográficas (SIGs) de acordo Santos (2006) constitui o tipo de estrutura mais importante em termos de viabilização do Geoprocessamento, este último sendo um conjunto de procedimentos computacionais que, operando sobre uma base de dados integradas possibilita a execução de análises e cálculos que variam desde a álgebra cumulativa (operações tipo soma, subtração, multiplicação, divisão, etc) até álgebra não cumulativa (operações lógicas), permitindo a elaboração de mapas politemáticos (contendo dados qualitativos e quantitativos), reformulações e sínteses sobre os dados ambientais disponíveis, constituindo-se em instrumento de grande potencial para o estabelecimento de planos integrados de conservação do solo e da água. O SIG (para o uso em PC) constitui um ambiente tecnológico e organizacional que tem, cada vez mais, ganho adeptos no mundo todo não só para as análises geográficas, como as demais ciências, a exemplo, da Medicina, Geologia, Pedologia, Biologia (ecologia), etc, caracterizado como uma ferramenta Multidisciplinar.

Bacias Hidrográficas

Bacia hidrográfica ou bacia de drenagem pode ser caracterizada como uma área da superfície terrestre definida topograficamente que drena água, sedimentos e materiais dissolvidos para uma saída comum, num determinado ponto de um canal fluvial (Coelho Neto, 2001). Tal conceito abrange todos os espaços de armazenamento, de circulação e saídas de água e do material por ela transportado, que mantêm relações com esses canais. A bacia de drenagem pode desenvolver-se em diferentes tamanhos que variam desde a bacia do Rio Amazonas (grande porte), até bacias com poucos metros quadrados que drenam de um pequeno canal erosivo ou simplesmente para o eixo de um fundo de vale não-canalizado. Assim, bacias de diferentes tamanhos se articulam a partir dos divisores de drenagem principais e drenam em direção a um canal, tronco ou coletor principal, constituindo um sistema de drenagem hierarquicamente organizado (Cunha, 2002; Christofolletti, 1981). O conceito "bacia hidrográfica" atualmente é uma das referências espaciais mais comuns nos estudos físico-territoriais ou de

¹ com 46.078 km² (IBGE, 2001).

projetos, não só em função de suas características naturais, mas pelo fato dela estar presente em grande parte da legislação vigente no que diz respeito ao meio ambiente, fazendo parte, portanto, do planejamento territorial e ambiental no Brasil (Rodrigues e Adadi, 2005). A Política Nacional de Recursos Hídricos² é quem tem estabelecido os critérios e normas gerais para este modelo de gestão, sendo o norteador das ações, para que haja uma sistematização dos recursos em todas as esferas: federal, estadual e municipal. Assim, as bacias hidrográficas são consideradas excelentes unidades de gestão dos elementos socioambientais, pois possibilita uma visão integrada do comportamento das condições naturais, como também, das mudanças introduzidas pelo homem e as respectivas respostas da natureza.

Análises Morfométricas de bacias hidrográficas com o uso de geotecnologias

Como já destacado as análises morfométricas são consideradas essenciais quando se faz um estudo de uma determinada bacia ou sub-bacia. As principais fontes de informação dessas análises continuam a ser as cartas topográficas, consideradas indispensáveis, que somadas a novas geotecnologias como o uso do SIG e produtos orbitais disponibilizados (gratuitamente) como imagens de Radar (SRTM) imagens de satélite (em bandas), possibilitam um levantamento mais rápido e detalhado de uma determinada bacia, incluindo as de médio e grande porte. Com o domínio destas tecnologias torna-se possível a construção de Modelo Sombreado do Terreno, apresentação do relevo em 3D, modelagem hidrológica e uma diversidade de cálculos matemáticos (declividade, elevação, áreas, polígonos, comprimento, etc.) a partir dos produtos SRTM.

MATERIAIS E MÉTODOS

Para se alcançarem os objetivos proposto neste estudo, o mesmo foi dividido em duas principais etapas sendo:

Primeira: realização de uma revisão bibliográfica (já abordada) que discorre a respeito do tema tratado (geotecnologias e bacias hidrográficas).

Segunda: uso do programa ArcGIS 9.1 e o aplicativo ArcMap, considerado o módulo central e fundamental no ArgGIS, pois é nele que foram confeccionados/manipulados os mapas, realizadas a edição dos dados georeferenciados, exportação, entre outros comandos.

Nesta etapa foi realizada a aquisição das imagens SRTM; mapas topográficos que engloba toda a bacia para nomear os respectivos rios no banco de dados e confrontar com as informações geradas pelo sistema, como por exemplo, o traçado da rede hidrográfica, cotas de elevação. Considerado, portanto, essencial para a conclusão dos mapas.

Detalhamento das Principais Etapas

Aquisição e filtragem do MNT/SRTM

A aquisição do MNT (Figura 1) foi realizada no site da Embrapa (disponível em: <<http://www.embrapa.br/>>, acesso em: 22 de jan. 2007). Esses produtos foram gerados a partir de dados de radar, obtidos de sensores a bordo do ônibus espacial Endeavour, no projeto SRTM (Shuttle Radar Topography Mission), uma parceria das agências espaciais dos Estados Unidos (NASA e NIMA), Alemanha (DLR) e Itália (ASI).

O arranjo do radar foi projetado para coletar medidas tridimensionais da superfície terrestre através de interferometria conhecido como MNT (Modelo Numérico do Terreno).

Outras características da imagem adquirida:

² Lei 9.433 de 8 de janeiro de 1997 - Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos criando o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, regulamenta o inciso XIX do art.21 da Constituição Federal, altera o art.1º da Lei nº 8.001, de 13 de março de 1990 e modifica a Lei nº 7.990, de 28 de dezembro de 1989 (MMA, 2004).

- Formato: GEOTIFF (16 bits)
- Resolução espacial: 90 metros
- Unidade de altitude: metros
- Sistema de Coordenadas Geográfica
- Datum: WGS-84 (depois transformada para *UTM*)

Para a composição de toda a bacia do rio Doce foram adquiridos os seguintes MNTs: se-23-x-d, se-23-z-a, se-23-z-b, se-23-z-c, se-23-z-d, se-24-v-c, se-24-y-a, se-24-y-b, se-24-y-c, se-24-y-d, se-24-v-c, sf-23-x-a , sf-23-x-b, sf-23-x-c, sf-23-x-d, sf-24-v-a. Posteriormente, foi utilizado o comando **Mosaic** para juntar as imagens (Figura 2).



Figura 1 – MNT adquirido no site: <http://www.embrapa.br/> (SE-23-Z-C)

Delimitação da Bacia Hidrográfica do Rio Doce

Após a instalação da barra de ferramentas *HIDROLOGY MODELING* e sua ativação foram utilizados os seguintes comandos/funções:

- **Fill** para correção MNT; (MNT_FILL)
- Avaliação de direção de fluxo **Flow Direction**
- Cálculo do Fluxo acumulado **Flow Accumulation**
- **Watershed** (delimitação da bacia - Figura 3)
- Transformação para polígono (**Raster to features**)

Após a delimitação correta da bacia foi utilizado o comando **Stream Network** para delimitação da rede hidrográfica (stream 1500), com o posterior corte através do comando **Clip** e nomeação de cada rio (Start Editing) com base nas cartas do IBGE. Em seguida procedeu-se com o corte da imagem raster com o comando: **Extract by Mask** dando prosseguimento à elaboração de outros mapas, conforme fluxograma da Figura 4.

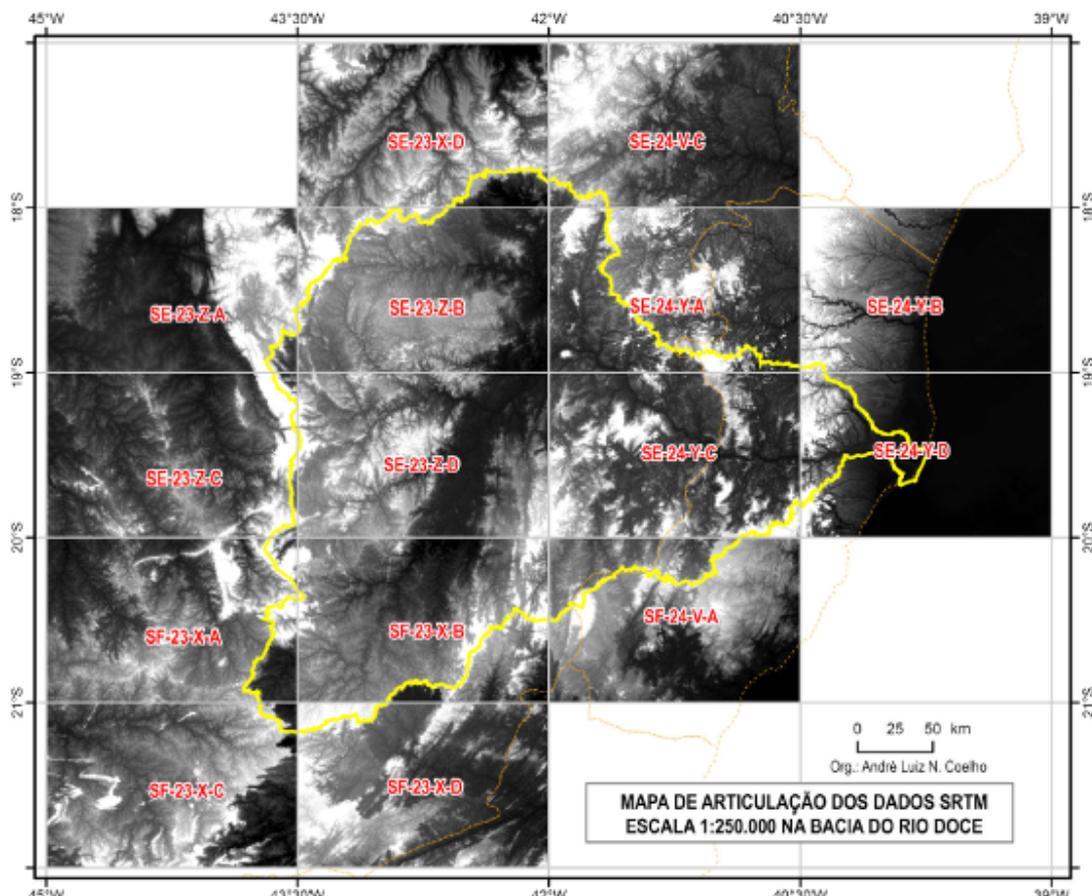


Figura 2 – Articulação dos dados SRTM/MNT da bacia do rio Doce compatível com a escala: 1:250.000 do IBGE.

RESULTADOS DE ALGUNS PRODUTOS DERIVADOS DAS IMAGENS SRTM

A Bacia Hidrográfica do Rio Doce está localizada na Região Sudeste do Brasil entre os estados de Minas Gerais e Espírito Santo nos paralelos 17°45' e 21°15' de latitude sul e os meridianos 39°55' e 43°45' de longitude oeste (Figura 5), dos quais 86% pertencem ao Estado de MG e o restante (14%) ao Estado do ES sendo, portanto, uma bacia de domínio federal³. Limita-se a norte pela serra Negra e pela serra dos Aimorés (bacias hidrográficas do Itaúnas e do Mucuri), a oeste pelo Complexo do Espinhaço (bacia hidrográfica do São Francisco), a sudoeste pela serra da Mantiqueira, a centro-sul pela serra do Caparaó e leste pelo Oceano Atlântico. Suas nascentes situam-se nos limites sudoeste da bacia na Serra da Mantiqueira (município de Ressaquinha) e no Complexo do Espinhaço em Minas Gerais, região de altitudes superiores de 1.200 metros. É formado, inicialmente, pelo rio Xotopó que segue em direção NE até desaguar no Rio Piranga, e na confluência deste com o ribeirão do Carmo, limites entre os municípios de Ponte Nova (MG),

³ De acordo com o Artigo 20, parágrafo III da Constituição Federal. “ São bens da União: [...] III. os lagos, rios e quaisquer correntes de águas em terrenos de seu domínio, ou que banhem mais de um Estado, sirvam de limites com outros países, ou se estendam a território estrangeiro ou dele provenham, bem como os territórios marginais e as praias fluviais; VIII. os potenciais de energia hidráulica”.

Rio Doce (MG) e Santa Cruz do Escalvado (MG) recebe o nome de Rio Doce. Seus principais afluentes são pela margem esquerda os rios Piracicaba, Santo Antônio e Suaçuí Grande, em Minas Gerais, Pancas e São José, no Espírito Santo; pela margem direita os rios Casca, Matipó, Caratinga-Cuieté e Manhauçu, em Minas Gerais, e Guandu no Espírito Santo.

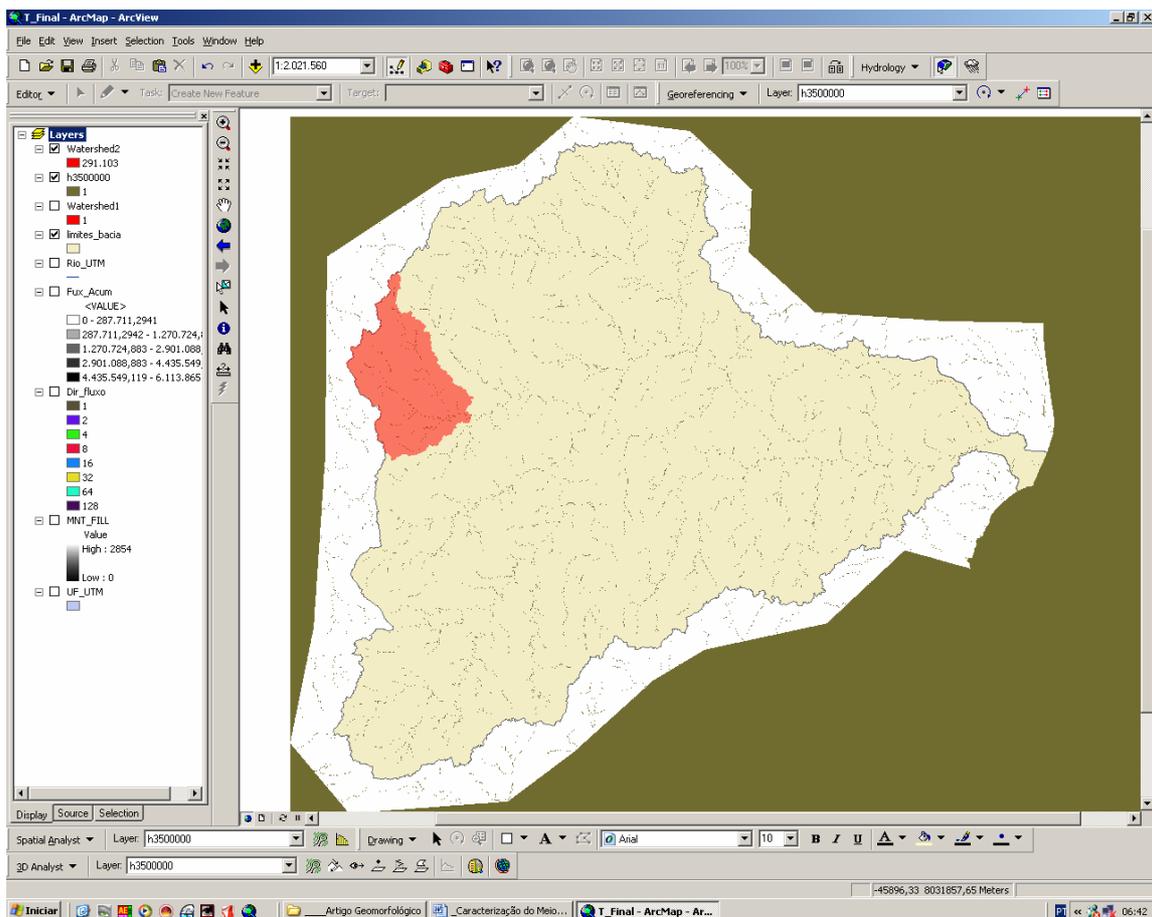


Figura 3 - Uso da ferramenta *Waterched* no ArcGIS 9.1 para delimitação precisa da bacia e sub-bacias

Hierarquia Fluvial e Sub-bacias

A hierarquia fluvial consiste no processo de se estabelecer a classificação de determinado curso de água (ou da área drenada a qual pertence) no conjunto total da bacia hidrográfica. Um sistema muito utilizado não só nos estudos geomorfológicos foi introduzido por Strahler (1952), em que os menores canais sem tributários são considerados como de primeira ordem, estendendo-se desde a nascente até a confluência; os canais de segunda ordem surgem da confluência de dois canais de primeira ordem e só recebem afluentes de primeira ordem;

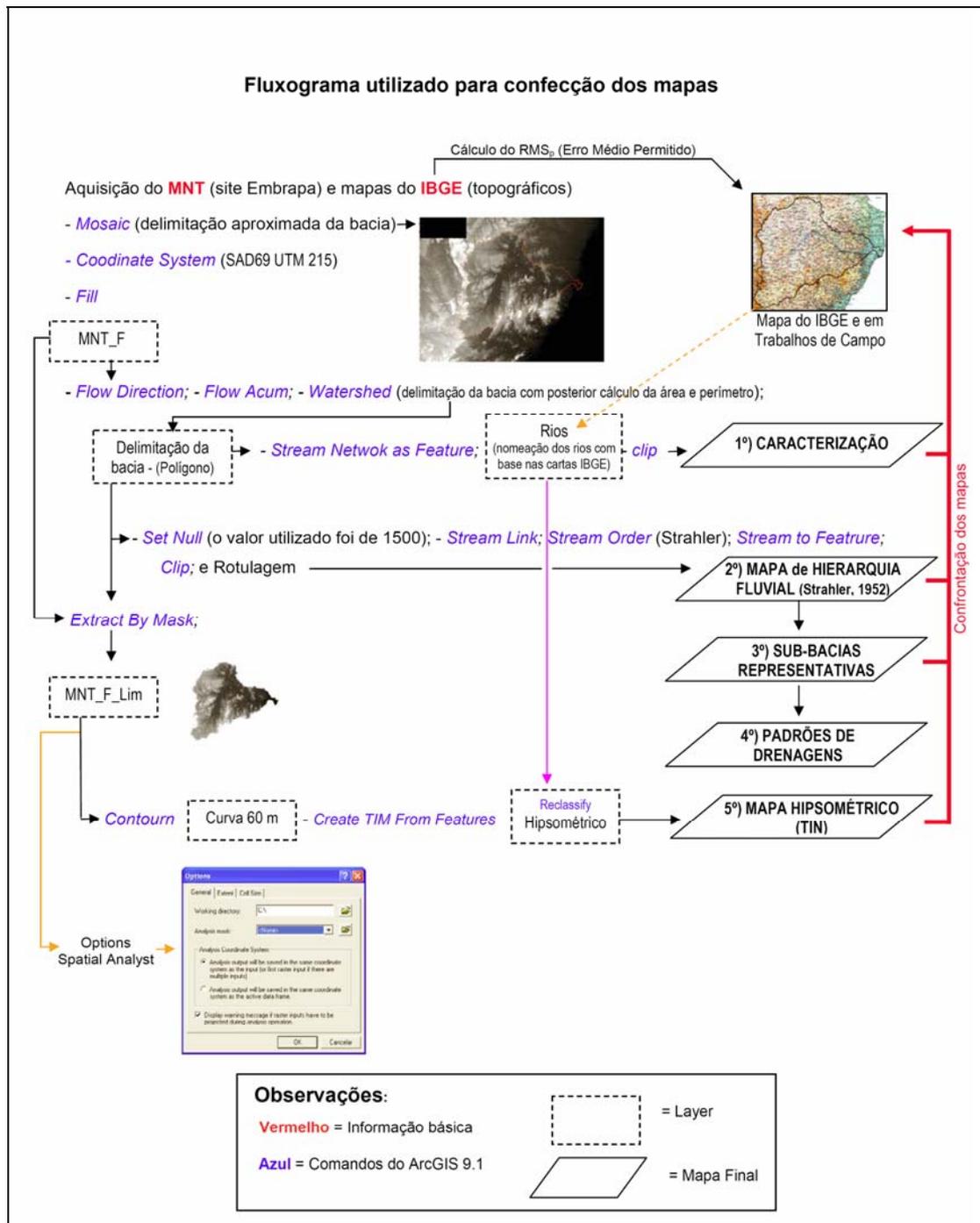


Figura 4 - Fluxograma utilizado para caracterização da Bacia do Rio Doce, destacando as principais etapas desde a aquisição dos dados SRTM, o uso de vários comandos e funções do ArcGIS 9.1, a exemplo, do georreferenciamento no sistema de coordenadas da Projeção Universal Transversa de Mercator (UTM) Datum horizontal: SAD 169, até a geração de Layers e Mapas, seguida da confrontação destes dados com as cartas do IBGE e trabalhos de campo.

os canais de terceira ordem surgem da confluência de dois canais de segunda ordem, podendo receber afluentes de segunda e de primeira ordens; os canais de quarta ordem surgem da confluência de dois canais de terceira ordem, podendo receber tributários das ordens inferiores e assim sucessivamente.

A classificação hierárquica baseada na proposta por Strahler (op. cit) permite melhor analisar a morfometria da bacia, a exemplo da seleção de sub-bacias mais representativas do ponto de vista físico (vazão, número de canais), como também, auxiliar no gerenciamento físico-econômico da mesma. Considerando a hierarquia a partir da 5ª ordem (Figura 6) com um total de 10, a maior delas é formada a partir da confluência do rio Piracicaba com o rio Doce no Vale do Aço e, todas as de 9ª ordem estão situadas no estado mineiro com a maior parte destas localizadas na margem esquerda como: na confluência do rio do Carmo com o Doce, rio Santa Bárbara com Piracicaba, rio Santo Antônio com do Peixe, rio Suaçuí Grande com Ucuponga e pela margem direita somente na confluência do rio Procrane com Manhuaçu. No estado Capixaba a maior hierarquia fica para os rios São José, Pancas pela margem esquerda e Guandu pela direita, todos de 7ª ordem. Tal fato é justificado pelo formato da bacia, reduzindo as ordens dos canais em direção ao oceano.

A partir desta classificação hierárquica foi elaborado o mapa das sub-bacias mais representativas possibilitando identificar um total de 24 (Figura 7 e Tabela 1), destacando-se, entre elas, a do rio Suaçuí/Itabacurí a noroeste da bacia com uma área aproximada de 12.674 km², Santo Antônio com 10.486 km², Manhuaçu de 8.826 km², rio Piracicaba com 5.469 km², todas estas localizadas no estado de Minas Gerais. A maior Sub-Bacia do estado Capixaba é a do rio São José com uma área de 2.379 km² que deságua na maior lagoa natural da bacia, a *Juparanã*. Também foram apresentados na Figura 7 as principais UHEs (Usinas Hidrelétricas) acima de 30 mw (ANEEL, 2006), somando um total de 9 e o destaque para a de Aimorés (MG/ES) no rio Doce com área de reservatório (área inundada) de 36 km² e Mascarenhas (ES) com área de reservatório 5,31 km².

Há a ocorrência de diversos padrões e direções de drenagens na bacia, sobressaindo o subdendrítico com as direções preferenciais NE/SO e NNE/SSO ambos, controlado por uma das estruturas mais antiga da bacia de idade Arqueana. Os demais padrões de drenagem ocorrem predominantemente em setores controlados pelas estruturas mais recentes decorrentes, sobretudo, dos eventos Neotectônicos¹, como exemplo destacado do médio baixo Rio Doce (Figura 8).

Hipsometria e Cotas Altimétricas

O mapa hipsométrico² da bacia em estudo permite ter uma melhor noção do comportamento do relevo, e verificar, por exemplo, o extenso rio que penetra profundamente no planalto mineiro, notar os limites e a ocorrência das principais elevações/serras no interior da mesma. As altitudes variam de 0 a 2.600 metros elevando-se de leste para oeste com o predomínio entre 100 a 200 metros e de 600 a 800 metros, sendo as maiores situadas na serra do Caparaó (pico da Bandeira 2.880m, coordenadas 20° 19' e 20° 37' S e 41° 43' e 41° 53' W) divisa de Minas Gerais e Espírito Santo, localizada na extremidade centro-sul da bacia no Parque Nacional do Caparaó (Tabela 2 e Figura 9).

¹ Sugerido por Saadi et al. (2005) e Radambrasil (1983).

² O mapa de hipsometria foi elaborado utilizando-se a estrutura de grade triangular, mais conhecida como TIN "Triangular Irregular Network", que é uma estrutura do tipo vetorial com topologia do tipo nó-arco possibilitando representar uma superfície por meio de um conjunto de faces triangulares interligadas. Para cada um dos três vértices da face do triângulo são armazenadas as coordenadas de localização (x, y) e o atributo z correspondente ao valor de elevação ou altitude. Praticamente todos os SIGs modernos possuem funções para tratar o MNT (Modelo Numérico do Terreno) e gerar a grade triangular com base na triangulação de Delaunay. É um método de interpolação exata muito eficiente para expressar relevos acentuados e baseia-se em um algoritmo que cria triângulos através da ligação dos pontos. Cada triângulo define um plano e o valor do atributo de determinado ponto no interior do triângulo é obtido a partir de simples cálculos. A Rede de Triângulos Irregulares (TIN) é um tipo especial da triangulação de Delaunay.

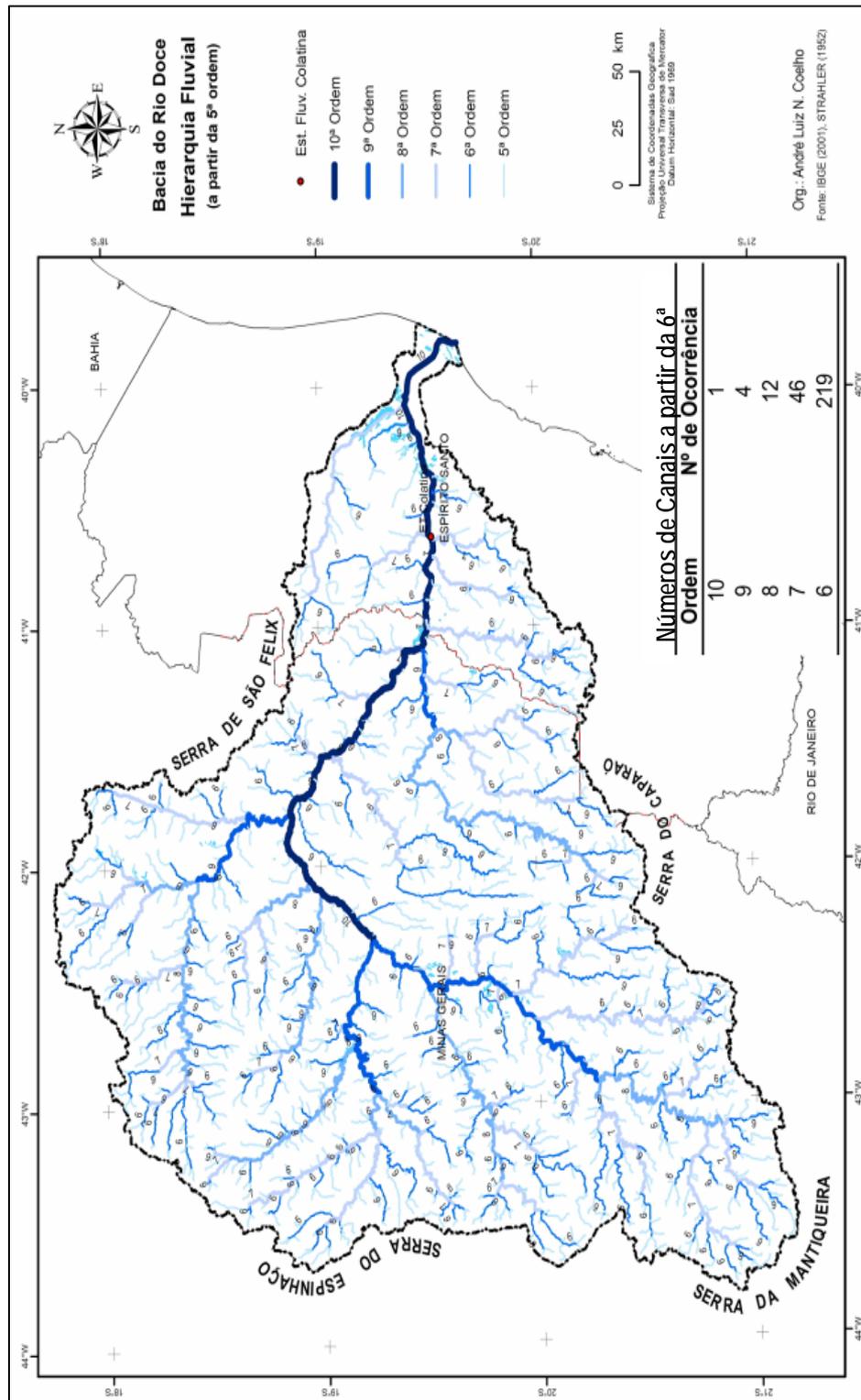


Figura 6 - Hierarquia Fluvial da Bacia do Rio Doce calculada com uso do SIG apresentando cursos a partir da 5ª ordem conforme Strahler (1952).

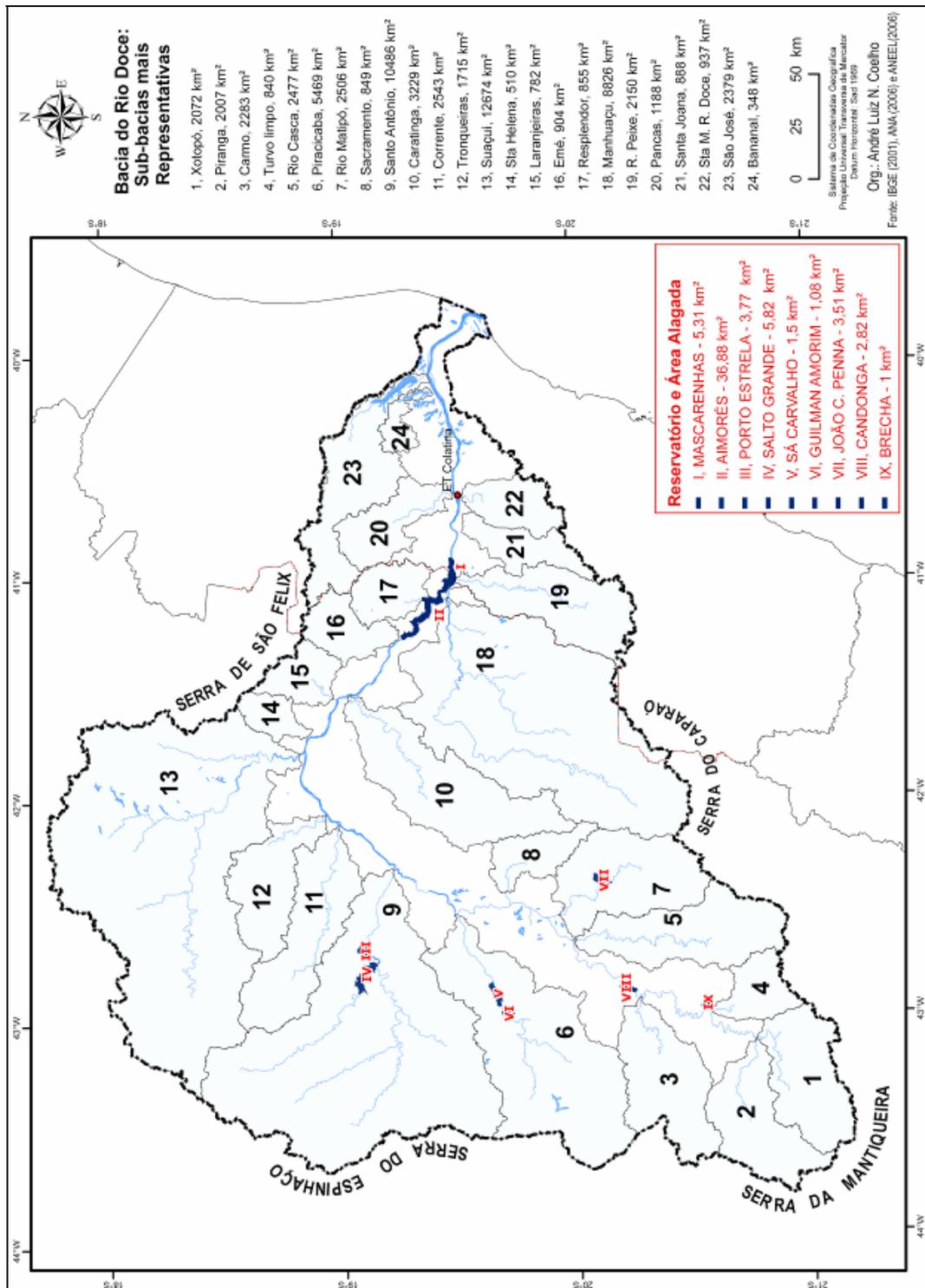


Figura 7 – Elaboração do mapa das sub-bacias mais representativas com suas respectivas áreas, a partir da proposta de Strahler (1952), destacando também, as principais Usinas Hidrelétricas (em vermelho) com base nos dados do Sistema de Informações Georreferenciadas do Setor Elétrico (ANNEI, 2006).

Tabela 1

Principais Usinas Hidrelétricas da Bacia do Rio Doce segundo ANNEL (2006) por ordem de área inundada

| N | NOME | Rio | Área km ² (inundada) | Potência MW | Vazão (out/06) ¹ | Vazão (MLT) ² |
|---|----------------------------------------------|--------------|---------------------------------|-------------|-----------------------------|--------------------------|
| 1 | Aimorés (MG/ES) | Doce | 36,88 | 330,00 | 441 | 464 |
| 2 | Salto Grande (MG) | Sto. Antônio | 5,82 | 102,00 | 89 | 86 |
| 3 | Mascarenhas (ES) | Doce | 5,31 | 131,00 | 570 | 559 |
| 4 | Porto Estrela (MG) | Guanhães | 3,77 | 112,00 | 88 | 86 |
| 5 | João Camilo Penna (ex Cach. do Emboque) – MG | Piracicaba | 3,51 | 18,00 | - | - |
| 6 | Candongá (MG) | Piracicaba | 2,82 | 140,00 | 128 | 102 |
| 7 | Sá Carvalho (MG) | Matipó | 1,50 | 78,00 | 54 | 53 |
| 8 | Guilman Amorim (MG) | Xotopó | 1,08 | 140,00 | 52 | 49 |
| 9 | Brecha (MG) | Xotopó | 1,00 | 12,40 | - | - |

Fonte: banco de dados ANNEL (2006) e ANA (2006).

1 Vazão segundo o Boletim de Monitoramento dos Reservatórios da Bacia do Rio Doce (ANA 2006)

2 Vazão Média de Longo Termo (MLT) da segunda quinzena de outubro de 2006 (ANA, 2006).

Org: André Luiz N. Coelho - 2007.

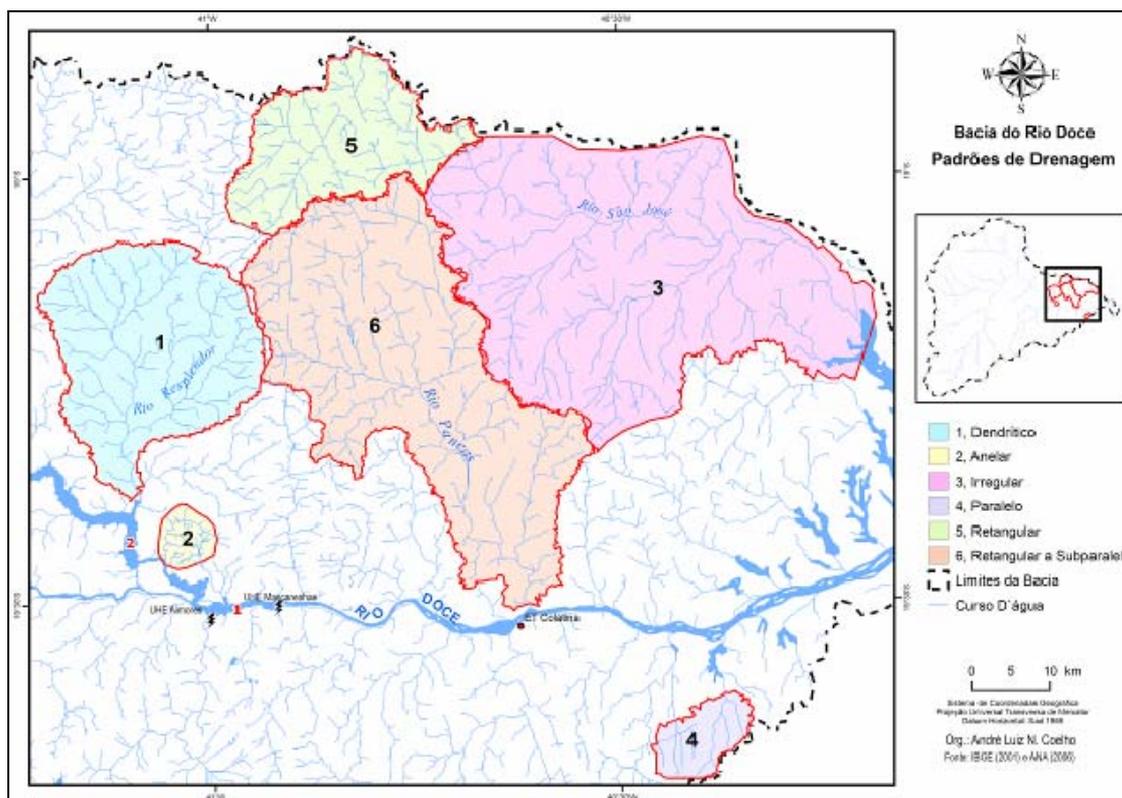


Figura 8 – Exemplo dos Padrões de Drenagens identificados no médio-baixo rio doce, sobressaindo o Dendrítico a Subdendrítico.

Tabela 2

Altitudes ao longo do canal principal entre a foz e o município de Desterro do Melo - MG

| ALTITUDE (m) | MINICÍPIO | UF | RIO |
|--------------|------------------|----|---------|
| 835 | Desterro do Melo | MG | Xotopó |
| 665 | Cipotânea | MG | Xotopó |
| 593 | Porto Firme | MG | Piranga |
| 578 | Guaraciaba | MG | Piranga |
| 431 | Ponte Nova | MG | Piranga |
| 242 | Ipaba | MG | Doce |
| 192 | Perequito | MG | Doce |
| 171 | Gov. Valadares | MG | Doce |
| 138 | Tumiritinga | MG | Doce |
| 121 | Conselheiro Pena | MG | Doce |
| 101 | Resplendor | MG | Doce |
| 98 | Itueta | MG | Doce |
| 83 | Aimorés | MG | Doce |
| 77 | Baixo Guandú | ES | Doce |
| 38 | Colatina | ES | Doce |
| 33 | Linhares | ES | Doce |

Fonte: banco de dados: ANA (2006) e IBGE (2001).
Org: André Luiz N. Coelho - 2007.

As altitudes no canal principal a partir do município de Desterro do Melo (MG) um dos formadores do rio Doce (rio Xotopó) é de 835 m (Figura 9). Na confluência entre os rios Piranga e Carmo que formam o Rio Doce, decai para menos de 350m e, na confluência entre o rio Piracicaba com Doce às altitudes são inferiores a 250m. Deste ponto em diante, ela diminui proporcionalmente até a foz, com exceção da ruptura de declive situada no setor entre os municípios de Itueta (MG) e Baixo Guandu (ES) caindo de 98m para 77m, local em que foi construída a UHE de Aimorés.

Outros cálculos morfométricos realizados com o uso do SIG são destacados:

Área da bacia (A): 83.465 km² que constitui a área plana delimitada pelo divisor de águas, dado fundamental para definir a potencialidade hídrica de uma determinada bacia hidrográfica.

- *Área da bacia em MG*: 71.863 km², (86,1%);
- *Área da bacia no ES*: 11.602 km², (13,9 %)

Perímetro da bacia (P): encontrado foi de 2.848,6 km que constitui o comprimento médio ao longo do divisor de águas.

Comprimento total do canal principal (Lcp): 853 Km.

Comprimento total dos cursos d'água (Lt): 24.069,5 km sendo a medida em planta desde a nascente até a seção de referência de cada tributário, incluindo o curso principal.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Hoje em dia as facilidades em se ter acesso a tecnologias como softwares robustos de SIG juntamente com disponibilização gratuita de dados de sensores remotos (SRTM), imagens de satélites, shapefiles em sites como IBGE, ANA, entre outros, traz para o pesquisador uma série de facilidades durante o empreendimento de trabalhos, antes considerado extremamente exaustivo, a exemplo da delimitação das bacias, traçado dos rios, curvas de nível através da digitalização e cálculos manuais. Com o advento e uso destas novas técnicas ganha-se mais tempo para dedicar-se a outras etapas da pesquisa.

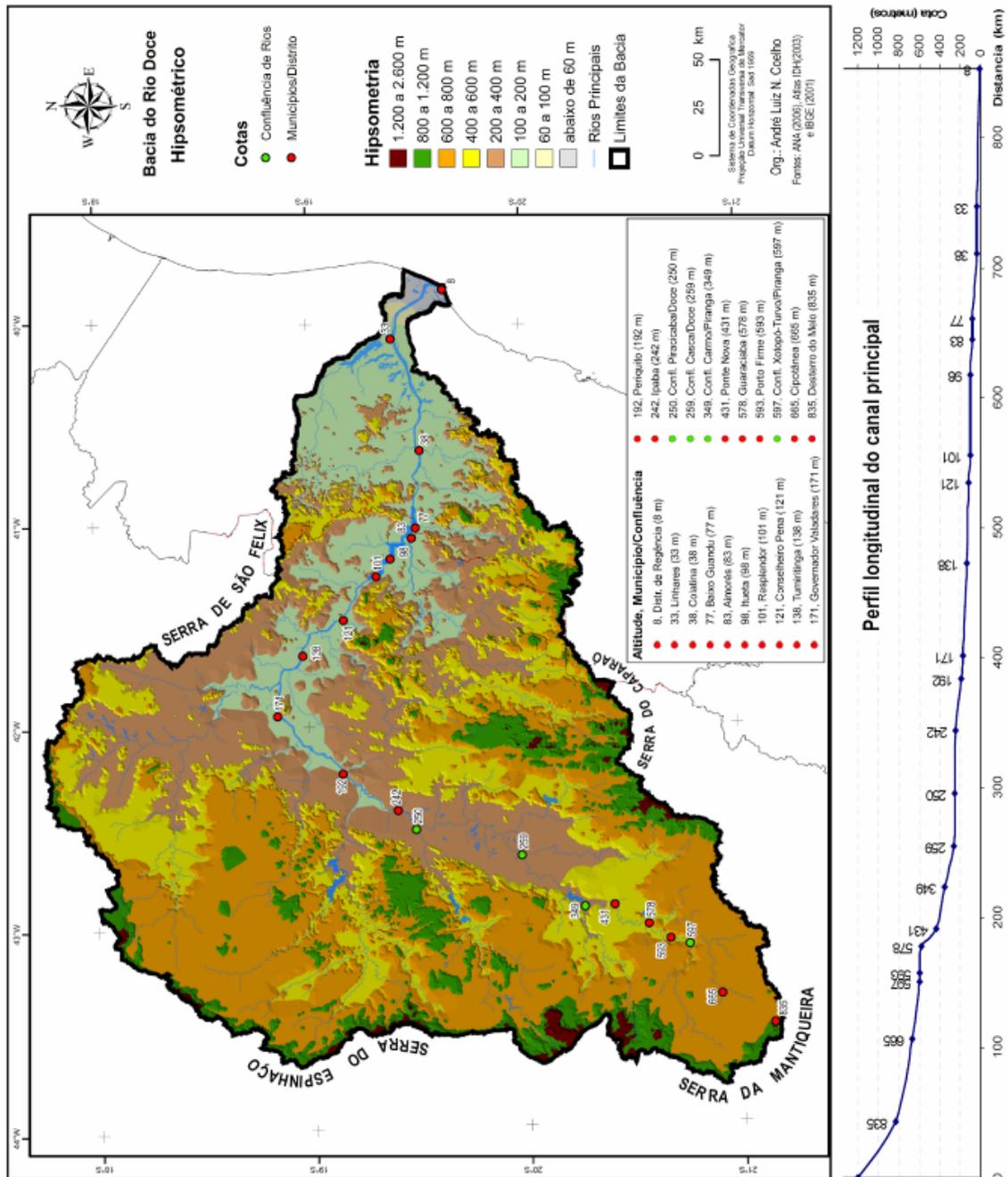


Figura 9 - Mapa Hipsométrico com contornos de altitude no Canal Principal e o predomínio de elevações entre 100 a 200 m e 600 a 800 m.

É importante ressaltar que a adoção destas tecnologias não eliminam os trabalhos de campo, pelo contrário, complementam as informações a serem pesquisadas no local, consideradas indispensáveis nos estudos socioambientais.

A análise da bacia aqui proposta não só atingiu os seus objetivos ao promover o maior entendimento dos elementos físicos, em especial ligados à hidrografia como também, desenvolveu um produto de importância substancial para as diversas categorias de planejamento, gestão do meio ambiente, em particular, nos estudos em geomorfologia fluvial.

O aplicativo computacional ArcGIS 9.1 utilizado possui outros recursos que possibilita a elaboração de outros mapas derivados dos MNTs/SRTMs como o modelo sombreado do terreno, curvas de nível, cálculo de declividades e geração de imagens em 3D. Auxilia na elaboração de mapas geológicos e geomorfológicos além de perfis transversais e geração de gráficos a partir das informações dos bancos de dados.

Enfim, ficou comprovado que o uso dos Sistemas de Informações Geográficas aplicado também para bacias de médio/grande porte é perfeitamente viável e confiável, possibilitando a sistematização de informações e a interação com outras ciências, sobretudo, aquelas preocupadas com o gerenciamento do ambiente físico. Ou seja, o SIG constitui-se em uma importante ferramenta para dar suporte às análises e estudos ambientais, bem como à gestão e tomadas de decisão sobre os recursos hídricos, podendo gerar um sem-número de classificações, cruzamentos de dados, sendo também, uma ponte que possibilita o diálogo entre diversas áreas do saber.

Referências

ANA - Agência Nacional das Águas **Boletim de Monitoramento dos Reservatórios da Bacia do Rio Doce**, 2006.

ANA – Agência Nacional de Águas, **Bacias Hidrográficas do Atlântico Sul - Trecho Leste (cd nº 4)**, Série: **Sistema Nacional de Informações Sobre Recursos Hídricos**, 2001. Cd-Rom.

ANEEL - Agência Nacional de Energia Elétrica: **Sistema de Informações Georreferenciadas do Setor Elétrico**. Disponível em: <<http://sigel.aneel.gov.br/>>. acesso em: 05 set. 2006.

Christofoletti, Antônio, **Geomorfologia Fluvial**. São Paulo: Edgar Blucher Ltda., 1981.

Coelho Neto, Ana L. **Hidrologia de Encosta na Interface com a Geomorfologia**. In: GUERRA, A.J.T.; CUNHA, S.B. (orgs.) **Geomorfologia uma Base de Atualização e Conceitos**. 4ª ed., Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2001, pp. 93 - 148.

Cunha, Sandra B. **Geomorfologia Fluvial**. In: Cunha, S.B.; Guerra, A.J.T. (orgs.) **Geomorfologia exercícios técnicas e aplicações**. 2ª ed., Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2002, pp.157 - 189.

Empresa brasileira de Pesquisa Agropecuária - Embrapa - **Imagens SRTM** disponível em: <<http://www.embrapa.br/>>, acesso em: 22 de jan. 2007.

IBGE **Cartas Topográficas** diversas escalas, 2001 (1:50.000; 1:100.000; 1:250.000 e 1:1.000.000).

Ministério do Meio Ambiente. Secretaria de Recursos Hídricos. **Recursos hídricos: conjunto de normas legais** 3ª Edição, Brasília, 2004

Projeto RADAMBRASIL Volume 34, **Levantamento de Recursos Naturais - Folha SE.24 Rio Doce; Geologia, Geomorfologia, Pedologia, Vegetação, Uso potencial da Terra**. Edição Fac-similar. Rio de Janeiro. IBGE, 1987.

Rodrigues, Cleide; Adadi, Samuel, **Técnicas Fundamentais para o Estudo de Bacias Hidrográficas**. In: Venturi Luis A. B. **Praticando a Geografia: técnicas de Campo e Laboratório em geografia e análise ambiental**. São Paulo: Oficina de Textos, 2005, pp. 147 -166.

Saadi, Allaoua; Bezerra, Francisco H. R.; Costa, Ricardo D. da; Igreja, hailton L. S.; Franzinelli, Elena, **Neotectônica da Plataforma Brasileira**, in: Souza, Célia R. de G.; Suguio, Kenitiro; Oliveira, Antônio M. dos S.; Oliveira, Paulo E. (Orgs.) **Quaternário no Brasil, Ribeirão Preto, S.P.**

Hollos, 2005, Cap. 10, pp.211-234.

Santos, Alexandre R. dos, **Apostila de Geoprocessamento** (impresso) 2006.

Strahler, A.N. **Quantitative Analysis of Watershed Geomorphology**. Trans. Amer. Geophys. Union, 1952, 38: 913-920.