


UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA   
DEPARTAMENTO DE GEOGRAFIA  
PÓS-GRADUAÇÃO EM GESTÃO AMBIENTAL E TERRITORIAL

**ANÁLISE COMPARATIVA DE MÉTODOS PARA DELIMITAÇÃO  
AUTOMÁTICA DAS SUB-BACIAS DO ALTO CURSO DO RIO PRETO.**


**PAULO ROBERTO DE SOUSA CARVALHO**

**RENATO FONTES GUIMARÃES**  
Orientador

**Dissertação de Mestrado**

**Brasília –DF,**

**Agosto de 2007.**

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA   
DEPARTAMENTO DE GEOGRAFIA  
PÓS-GRADUAÇÃO EM GESTÃO AMBIENTAL E TERRITORIAL

**ANÁLISE COMPARATIVA DE MÉTODOS PARA DELIMITAÇÃO AUTOMÁTICA DAS  
SUB-BACIAS DO ALTO CURSO DO RIO PRETO.**

Paulo Roberto de Sousa Carvalho

Dissertação de Mestrado submetida ao Departamento de Geografia da Universidade de Brasília, como parte dos requisitos necessários para a obtenção do Grau de Mestre em Geografia, área de concentração Gestão Ambiental e Territorial.

Aprovado por:

---

Prof. Dr. Renato Fontes Guimarães – Orientador  
GEA/UnB

---

Prof. Dr. Osmar Abílio de Carvalho Júnior – Examinador Interno  
GEA/UnB

---

Dr. Éder de Souza Martins – Examinador Externo  
CPAC/Embrapa

Brasília-DF, 31 de agosto de 2007.

## FICHA CATALÓGRAFICA

CARVALHO, PAULO ROBERTO DE SOUSA

Análise comparativa de métodos para delimitação automática das sub-bacias do alto curso do rio Preto. (UnB/IH/GEA, Mestre, Gestão Ambiental e Territorial, 2007, 58 fls.).

Dissertação de Mestrado – Universidade de Brasília. Departamento de Geografia.

1. Geoprocessamento

2. Bacias hidrográficas

3. Paisagem

4. Recursos hídricos

É concedida à Universidade de Brasília permissão para reproduzir cópias desta dissertação e emprestar ou vender tais cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva outros direitos de publicação e nenhuma parte desta dissertação de mestrado pode ser reproduzida sem a autorização por escrito do autor.

---

Paulo Roberto de Sousa Carvalho

*Aos meus queridos pais e amigos que  
pelo apoio constante e confiança me  
impulsionaram a completar mais uma etapa dessa caminhada.*

## **AGRADECIMENTOS**

Ao professor Renato pela orientação, disponibilidade e conhecimentos transmitidos durante a realização desse programa de pós-graduação.

Aos professores Osmar, Roberto e Verônica pela ajuda e orientações em momentos de dificuldade da pesquisa.

Aos professores Peluso, Steinberger, Ercília, Mário Diniz, Neio, Del Prete e Balbim pela possibilidade de enxergar outras nuances da Geografia.

Aos colegas do Laboratório de Sistemas de Informações Espaciais – LSIE, em especial ao Sandro, Felipe, Fred e Alexandre pela ajuda valiosa.

Aos colegas do mestrado, em especial Rossana, Erick e Fábio Goulart.

Aos funcionários do Departamento de Geografia e do CDS/UnB.

## RESUMO

A gestão dos recursos hídricos representa hoje uma das mais importantes vertentes no que tange à gestão ambiental. Tendo em vista os problemas de aumento das demandas localizadas por água e a degradação de sua qualidade, torna-se premente o desenvolvimento de estudos morfométricos de bacias hidrográficas, a fim de fornecer maiores subsídios para sua gestão. O alto curso do rio Preto, objeto da presente pesquisa, é caracterizado por uma forte presença de atividades agrícolas, o que confere um uso intensivo da água. O presente trabalho se propôs a analisar a melhor metodologia de delimitação automática de sub-bacias através de técnicas de geoprocessamento, utilizando os *softwares TauDEM e Archydro* na análise do Modelo Digital do Terreno (MDT), servindo de base para o desenvolvimento de estudos morfométricos. Os melhores resultados obtidos apontaram a importância do uso de procedimentos de construção de consistência hidrológica, como os representados pela construção de um *canyon* sobre a calha da drenagem e de um *flow path*, baseados na geração de produtos intermediários com aprimoramento na determinação das direções de fluxo da drenagem.

**Palavras chaves:** geoprocessamento, bacias hidrográficas, modelo digital do terreno, recursos hídricos.

## ABSTRACT

The management of the water resources, nowadays, represents one of the most important sides in the environmental management field. Considering the problems of the increasing of the demands for water and the degradation of its quality, the development of morphometric studies of watershed basins becomes imperious in order to provide more subsidies to its management. The high flow of the *rio Preto*, object of this research, is known by a large amount of agricultural activities, which attributes an intensive use of the water. This research intended to develop a methodology for automatic delimitation of sub-basins through geoprocessing techniques, using software TauDEM and Archydro in the analysis of the Digital Elevation Model (DEM), serving as a base for the development of morphometric studies. The best results aimed had pointed the importance of the use of procedures of construction of hydrological consistency, as represented by the construction of a canyon on the draining network and flow path, established on conception of intermediate products with improvement in the determination of flow directions of the draining.

**Keywords:** geoprocessing, watershed basin, Digital Elevation Model, water resources.

## SUMÁRIO

<b>1 – INTRODUÇÃO</b> .....	1
<b>2 – ÁREA DE ESTUDO</b> .....	6
2.1 – Hidrogeografia... .....	10
2.2 – Clima e condições meterológicas. ....	11
2.3 – Geomorfologia e Geologia .....	11
2.4 – Relevo e solos.....	12
<b>3 – METODOLOGIA</b> .....	13
3.1 – Confecção do Modelo Digital do Terreno.....	13
3.2 – Construção do Modelo Digital do Terreno Hidrologicamente Consistente.....	16
3.3 – Construção do flow path .....	18
3.4 – Delimitação de bacias e sub-bacias hidrográficas .....	19
3.4.1 – Utilização do programa TauDEM para delimitação de bacias .....	20
3.4.2 – Utilização do programa Archydro para delimitação de bacias .....	24
<b>4 – RESULTADOS</b> .....	25
4.1 – Delimitação das sub-bacias através do programa Archydro .....	25
4.2 – Delimitação das sub-bacias através do programa TauDEM .....	29
4.2.1 – Delimitação com utilização do MDT original e outlet .....	29
4.2.2 – Delimitação com utilização do MDTHC e outlet.....	34
4.2.3 – Delimitação com utilização do MDT original, flow path e outlet .....	38
<b>5 – CONSIDERAÇÕES</b> .....	42
<b>6 – CONCLUSÃO</b> .....	45
<b>7 – REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	46



## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Exemplo de exutório.....	2
Figura 2 – Mapa de localização do alto rio Preto .....	7
Figura 3 – Principais tributários do rio Preto .....	8
Figura 4 – Perfil do rio Preto .....	10
Figura 5 – Fluxograma das etapas de construção do Modelo Digital do Terreno .....	13
Figura 6 – Modelo Digital do Terreno do alto rio Preto.....	15
Figura 7 – Esquema de obtenção da rede de drenagem do <i>TRACEGRID</i> .....	16
Figura 8 – Rede de drenagem da base cartográfica e do <i>TRACEGRID</i> .....	17
Figura 9 – Rede de drenagem contendo a direção de fluxo (D8).....	18
Figura 10 – Outlet utilizado para delimitação das sub-bacias .....	19
Figura 11 – Ordem de uma rede de drenagem segundo classificação de Strahler (1952).....	21
Figura 12 – Esquema de determinação da direção de fluxo – método D8.....	22
Figura 13 – Orientações da direção de fluxo do método D8 .....	23
Figura 14 – Esquema de obtenção de fluxo – método D-infinito .....	23
Figura 15 – Fluxograma de delimitação das sub-bacias .....	24
Figura 16 – Mapa das sub-bacias com 5.000 células .....	26
Figura 17 – Mapa das sub-bacias com 10.000 células .....	27
Figura 18 – Mapa das sub-bacias com 20.000 células .....	28
Figura 19 – Mapa das sub-bacias de primeira ordem – MDT original.....	31
Figura 20 – Mapa das sub-bacias de segunda ordem – MDT original .....	32
Figura 21 – Mapa das sub-bacias de terceira ordem – MDT original.....	33
Figura 22 – Mapa das sub-bacias de primeira ordem – MDTHC .....	35
Figura 23 – Mapa das sub-bacias de segunda ordem – MDTHC .....	36
Figura 24 – Mapa das sub-bacias de terceira ordem – MDTHC.....	37
Figura 25 – Mapa das sub-bacias de primeira ordem – Flow path.....	39
Figura 26 – Mapa das sub-bacias de segunda ordem – Flow path.....	40
Figura 27 – Mapa das sub-bacias de terceira ordem – Flow path.....	41

## LISTA DE TABELA

Tabela 1 – Distribuição da área e das ocorrências de equipamentos de irrigação na bacia do rio preto .....	9
Tabela 2 – Comprimentos totais dos cursos de rios e área das sub-bacias .....	42
Tabela 3 – Número de sub-bacias geradas .....	43
Tabela 4 – Densidades de drenagem de acordo com o método utilizado.....	44

## 1 – INTRODUÇÃO

A deterioração dos recursos naturais, principalmente dos recursos hídricos é uma das maiores preocupações da atualidade. A água é insumo fundamental à vida, sendo um elemento insubstituível em diversas atividades humanas, além de manter o equilíbrio do meio ambiente. O aumento da demanda de água, em função do acelerado crescimento populacional no mundo, vem ocasionando, em diversas regiões, problemas de escassez dos recursos hídricos. Estima-se que, atualmente, mais de 1 bilhão de pessoas vivem em condições insuficientes de disponibilidade de água para consumo e que, em menos de 20 anos, cerca de 5,5 bilhões de pessoas enfrentarão problemas de falta de água (Setti *et al.*, 2000).

Ao analisarmos o problema de forma global, observa-se que as fontes hídricas são abundantes, suficientes para o atendimento de toda a população, porém esses recursos possuem uma distribuição não uniforme na superfície do planeta. Em algumas áreas, as retiradas são bem maiores que a oferta, causando um desequilíbrio nos recursos hídricos disponíveis. Essa situação tem se configurado em entrave para o desenvolvimento em algumas regiões, restringindo o atendimento às necessidades humanas e degradando ecossistemas aquáticos

O país enfrenta hoje problemas de escassez hídrica, decorrentes do crescimento das demandas localizadas e da degradação da qualidade das águas, em consequência dos processos desordenados de urbanização, industrialização e expansão agrícola.

Segundo a Lei Federal nº 9.433, de 08 de janeiro de 1997, que institui a Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH) no Brasil, a água é um “recurso natural de disponibilidade limitada”. Esse recurso é essencial à vida, ao desenvolvimento e ao bem-estar social, sendo, portanto, necessária a observação dos aspectos qualitativos e quantitativos das bacias hidrográficas envolvendo, contudo, a questão da sustentabilidade do desenvolvimento regional, que deve se pautar pela garantia do equilíbrio entre as ações voltadas para a promoção do crescimento econômico e a manutenção da qualidade ambiental. A referida lei

institui também a bacia hidrográfica como a unidade territorial para implantação da PNRH.

A bacia hidrográfica é a área coletora ou de captação natural da água proveniente da precipitação, na qual existe a convergência de um conjunto de canais de escoamento inter-relacionados para um único ponto de saída, denominado exutório (figura 1). A quantidade de água que atinge os cursos fluviais está na dependência do tamanho da área ocupada pela bacia da precipitação total e de seu regime, e das perdas devidas a evapotranspiração e infiltração (Silveira, 1997; Christofolletti, 1980).

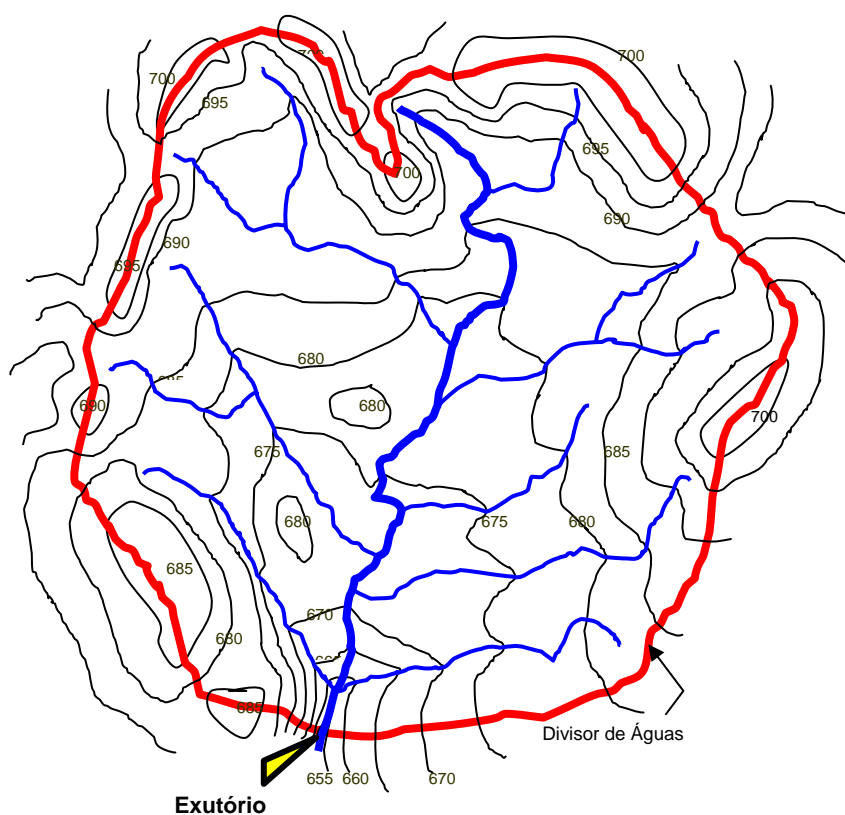


Figura 1- Exemplo de exutório.

Segundo Silva *et al.* (2006), uma bacia hidrográfica, com todos os seus elementos e atributos, pode ser descrita como um sistema aberto com trocas permanentes e dinâmicas de matéria e energia com seu meio. A evolução de uma bacia de drenagem é o resultado da interação entre os fluxos de matéria e energia e a resistência topográfica. A soma de matéria e energia que atuam sobre as variáveis

definem as características de uma bacia hidrográfica. Algumas dessas características podem ser quantificadas pelos estudos morfométricos.

A bacia hidrográfica deve ser entendida como sendo a unidade ecossistêmica e morfológica que permite a análise e entendimento dos problemas ambientais. Ela também é perfeitamente adequada para um planejamento e manejo, buscando otimizar a utilização dos recursos humano e natural, para estabelecer um ambiente sadio e um desenvolvimento sustentado (Bauer, 1988).

A paisagem é um conceito extremamente complexo, sendo usado sobre diversas visões, de acordo com a ciência que a estuda: Geografia, Ecologia, Arquitetura, Pedologia, História. Sua natureza holística tem sido reconhecida em muitos estudos geográficos e ecológicos a respeito do tema. Por ser um fenômeno complexo ele pode ser analisado de diferentes maneiras, o que traz um grau de dificuldade de integração dos elementos de análise. A necessidade de integração sempre existiu, como também, a crescente necessidade de compreender as relações estruturais que carregam essa integração.

Etimologicamente o termo paisagem pode trazer consigo os seguintes sentidos: (i) conjunto, coleção, classes (o que é organizado em classes); (ii) ação, resultado da ação (o que muda ou está em processo de mudança – dinâmico); (iii) cobertura (o que cobre); (iv) descrição (o que descreve); (v) porção da superfície da Terra; (vi) identificação cultural com determinada porção da superfície da Terra (com sentido de propriedade, nação, tradição); (vii) descrição das características estáticas e dinâmicas de determinada região (aspectos naturais e culturais). (Martins *et al.*, 2004).

Segundo Schier (2003), tradicionalmente os geógrafos diferenciam entre a paisagem natural e a paisagem cultural. A paisagem natural refere-se aos elementos combinados de terreno, vegetação, solo, rios e lagos, ao passo que a paisagem cultural (humanizada), inclui todas as modificações feitas pelo homem, a exemplo dos espaços urbanos e rurais.

Mais recentemente, entre os geógrafos há um consenso de que a paisagem, embora tenha sido estudada historicamente sob ênfases diferenciadas, ela resulta

da relação dinâmica de elementos físicos, biológicos e antrópicos. Sendo ela não apenas um fato natural, mas inclui também a existência humana (Bertrand, 1968).

Segundo Martins *et al.* (2004), dentre os diversos conceitos de paisagem existentes algumas idéias centrais podem ser traçadas, como: a compreensão integrada da realidade; aspectos de estrutura, dinâmica/processos, escala e histórico, representados pelas relações espaciais, temporais, os vários níveis de observação e os aspectos genéticos e evolução, respectivamente. Sendo as principais características a serem consideradas: a estrutura, função e mudança (Forman & Gordon, 1986, *apud* Martins, 2004).

Considerando uma bacia hidrográfica como unidade de planejamento ambiental, podemos resgatar nos princípios da ecologia da paisagem os meios para compreender as transformações que ocorrem, tomando como análise a complexidade das atividades humanas e a realidade, que trazem em sua essência, atributos bióticos, abióticos diversos interdependentes. Esta interdependência pode possuir maior ou menor grau de vulnerabilidade e se expressa na qualidade ambiental dos lugares, condição resultante da perda dos padrões de uso do solo, da água, do ar e da perda do estado de conservação ou do grau de degradação ambiental (Souza, 2007).

Os conceitos da Ecologia da Paisagem, aliado às técnicas de Sensoriamento Remoto e Geoprocessamento, nos fornecem informações espaciais básicas, observando o que o ambiente pode oferecer no tocante à auto-regulação, para propormos quais devem ser as tecnologias mais compatíveis a serem utilizadas (Souza, 2007).

O alto curso da bacia do rio Preto, objeto desta pesquisa, está localizado nos Estados de Goiás, Minas Gerais e Distrito Federal estando inserido em municípios que compõem a Região Integrada de Desenvolvimento Econômico do Distrito Federal e Entorno (RIDE-DF), que foi criada pela Lei Complementar nº 94, de 19 de fevereiro de 1998 e regulamentada pelo Decreto nº 2.710, de 04 de agosto de 1998, com a finalidade de diminuir as desigualdades econômicas e sociais do Distrito Federal e seus municípios vizinhos (Entorno).

A exploração econômica da bacia do rio Preto no estado de Goiás é pouco expressiva, tendo em vista que a maior parte da área ocupada pela bacia neste Estado é pertencente ao Exército, sendo utilizada como área de treinamento (Cordeiro Netto *et al.*, 2000).

Segundo o Plano Diretor de Ordenamento Territorial do Distrito Federal, a área da bacia do rio preto é definida como Zona Rural de Dinamização, o que significa que essa área é caracterizada pela atividade agropecuária consolidada, sendo incentivado o uso rural produtivo (IPDF, 1997).

No Distrito Federal a bacia se caracteriza hoje pelo intensivo uso dos recursos hídricos destinado ao desenvolvimento das atividades agrícolas. Dentre os principais produtos comercializados na região destaca-se o milho; os hortifrutigranjeiros, que atendem o mercado interno, mas também são comercializados no restante do país; a soja, que atende o mercado nacional e que também é exportada por intermédio de multinacionais; e o feijão, que atende ao mercado nacional (Maldaner, 2003).

A presença das atividades agrícolas, em larga escala, no alto curso do rio Preto, se apóiam e um modelo de agricultura irrigada, com um uso intensivo de defensivos agrícolas, que podem acarretar na contaminação do lençol freático e rede de drenagem (ZEE da RIDE-DF, 2003).

Diante deste cenário de comprometimento quantitativo e qualitativo dos recursos hídricos do rio Preto, torna-se premente o estudo das características e aspectos da bacia que podem ser trazidos pela delimitação das sub-bacias e análise dos padrões morfométricos destas.

A presente pesquisa tem como objetivo geral analisar a melhor metodologia a ser utilizada na delimitação automática das sub-bacias hidrográficas do alto curso do rio Preto utilizando técnicas de geoprocessamento.

## **2 – ÁREA DE ESTUDO**

O rio Preto tem sua nascente no município goiano de Formosa, constituindo a divisa leste entre o Distrito Federal e o Estado do Goiás (GO), sendo um dos principais tributários do rio Paracatu, no Estado de Minas Gerais (MG). Este último é um importante afluente do médio curso do rio São Francisco.

A bacia do rio Preto engloba os municípios de Formosa (GO), Cabeceiras (GO), Cabeceira Grande (MG), Unaí (MG), Natalândia (MG), Dom Bosco (MG), além do Distrito Federal.

O alto curso do Rio Preto está inserido na porção leste do território do Distrito Federal, nos municípios goianos de Formosa e Cabeceiras e no município mineiro de Cabeceira Grande (figura 2).



## Mapa de Localização do Alto Curso do Rio Preto

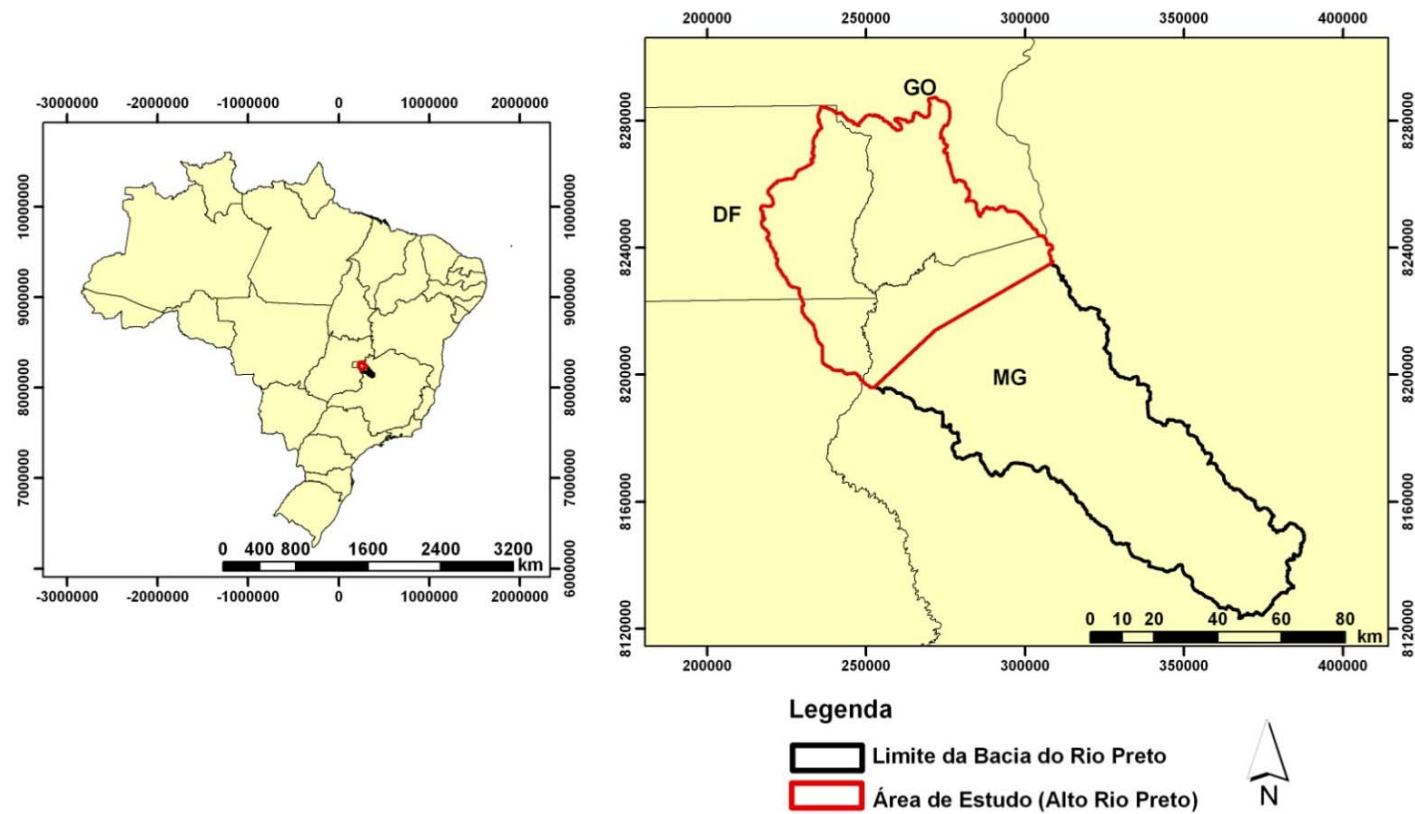


Figura 2 – Mapa de localização do alto rio Preto.

Dentro do território do Distrito Federal a bacia do rio Preto se localiza na porção oriental, limitando-se a oeste com a Bacia do rio São Bartolomeu e a sudeste com a bacia do rio São Marcos. Seus principais afluentes são o ribeirão Santa Rita e o ribeirão Jacaré, ambos situados na porção norte da bacia; o ribeirão extrema e o rio jardim, localizados na porção central da bacia e que drenam a mesma no sentido noroeste-sudeste; e o córrego São Bernardo, localizado ao sul da bacia. No Estado de Goiás o principal tributário é o rio Bezerra (figura 3).

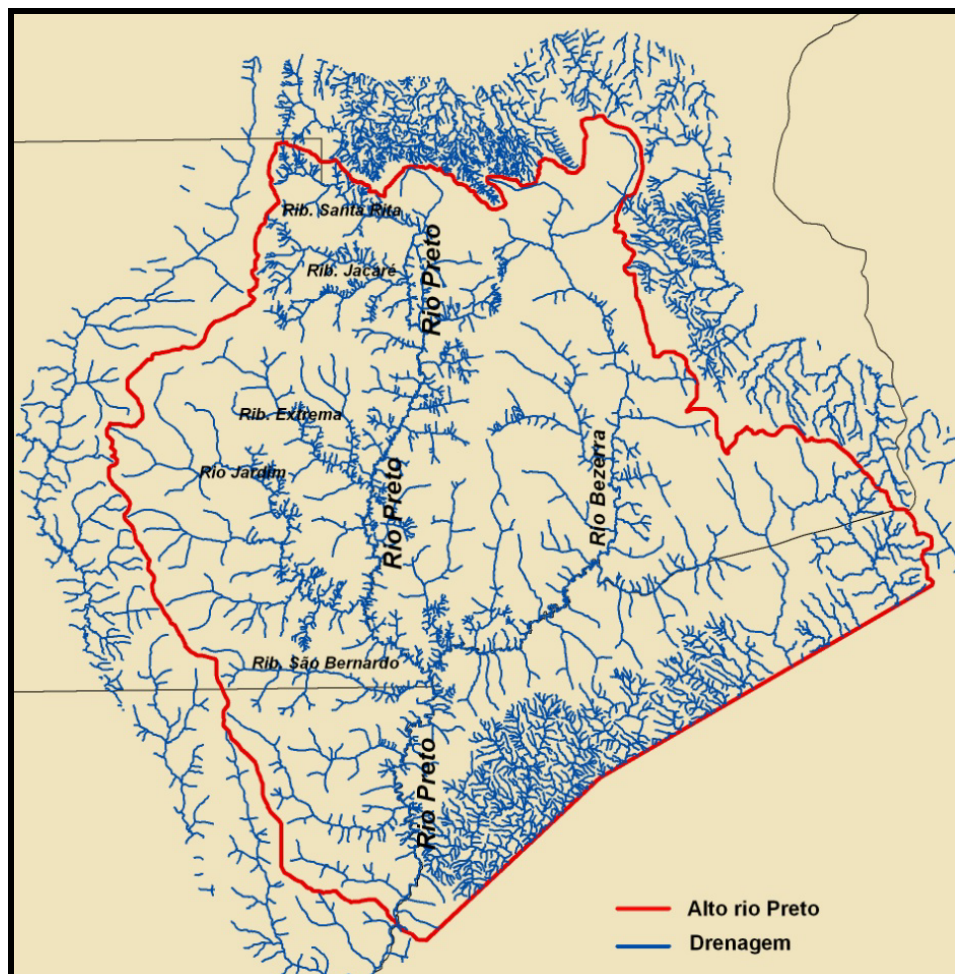


Figura 3 – Principais tributários do alto rio Preto.

Na bacia do rio Preto a demanda de água para a irrigação é a maior entre as demais, segundo dados do Seminário Interinstitucional da bacia do Rio Preto, realizado em setembro de 2003, 99,53% da vazão demandada tem como destino a

irrigação; 0,43% para dessedentação animal, 0,01% para a indústria, e 0,03% para o consumo humano.

Dentre os tipos de equipamentos de irrigação utilizados na bacia do rio Preto, o pivô central é o que possui a maior ocorrência (39,90 %), seguido do sistema de aspersão convencional (29,56 %), conforme a tabela 1.

Tabela 1 – Distribuição da área e das ocorrências de equipamentos de irrigação na bacia do rio preto. Fonte: Maldaner, 2003.

<b>Sistemas de irrigação</b>	<b>Ocorrências</b>	<b>Ocorrências (%)</b>	<b>Área irrigada</b>	<b>Área irrigada (%)</b>
Pivô Central	81	39,90	5974,00	84,38
Aspersão convencional	60	29,56	607,00	8,57
Auto propelido	3	1,48	106,00	1,50
Localizada Gotejamento	10	4,93	131,1	1,85
Localizada Mangueira	2	0,99	2,00	0,03
Micro aspersão	4	1,97	38,50	0,54
Superfície em Sulcos	43	21,18	221,00	3,12
<b>Total</b>	<b>203</b>	<b>100</b>	<b>7079,60</b>	<b>100</b>

Diante do cenário apresentado, torna-se necessária uma análise integrada dos fatores que vêm comprometendo a quantidade e qualidade dos recursos hídricos, a fim de garantir a sustentabilidade do desenvolvimento humano e socioeconômico dos municípios componentes da bacia.

## 2.1 – Hidrogeografia

O rio Preto possui 400 km de extensão e pode também ser dividido em três trechos principais: o Alto Preto, que vai de suas nascentes até o local da estação fluviométrica de rio Preto em Fazenda Limeira, com 80 km de extensão e área de drenagem de 3.882 km<sup>2</sup>; o Médio Preto, que vai de Fazenda Limeira até a estação de rio Preto em Santo Antônio do Boqueirão, com 190 km de extensão e área de contribuição de 2.021 km<sup>2</sup> e o Baixo Preto, que vai de Santo Antônio do Boqueirão até a foz e tem suas vazões medidas na estação de rio Preto em Porto dos Poções, este último trecho tem uma extensão de 130 km e uma área de drenagem parcial de 4.556 km<sup>2</sup> (PLANPAR, 1996) (Figura 4).

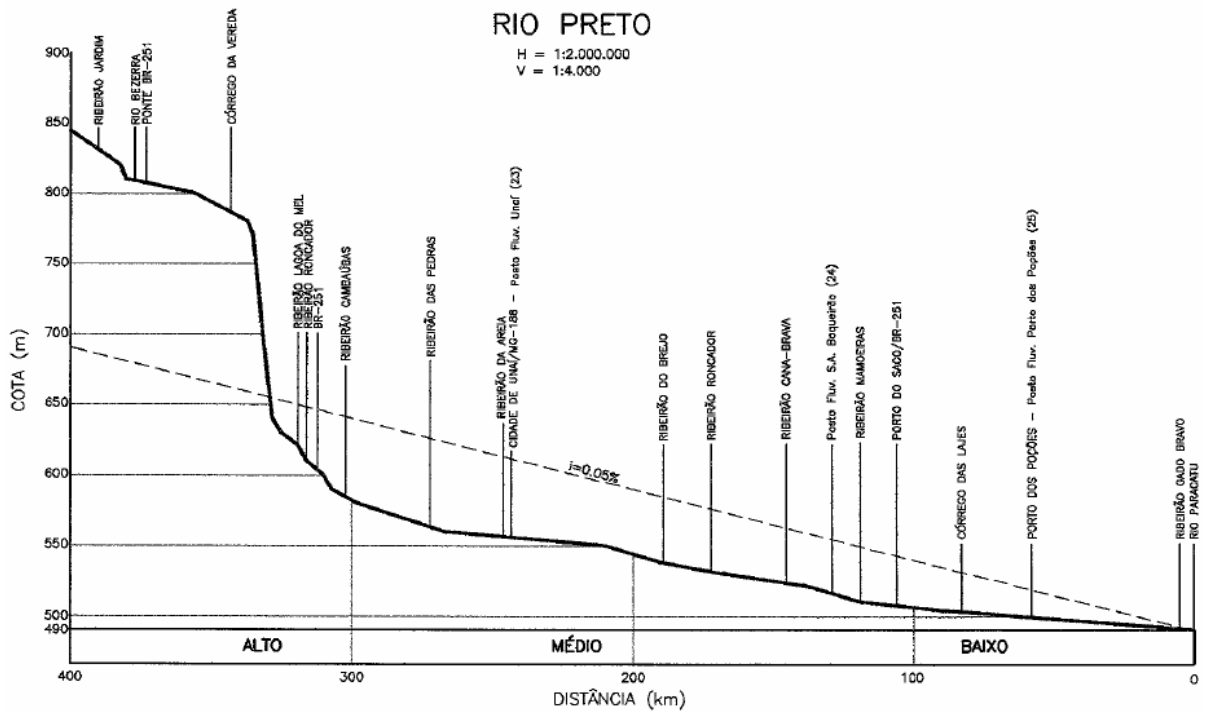


Figura 4 – Perfil do Rio Preto. Fonte: PLANPAR, 1996.

## **2.2 – Clima e condições meteorológicas**

Segundo dados do Plano Diretor da Bacia Hidrográfica do Paracatu o clima da bacia do rio Preto, na classificação de Köppen, é tropical úmido de savana com inverno seco (Aw). O índice de aridez, na classificação de Martonne e Sauer, que representa o número de meses úmidos durante o ano é da ordem de 7.

A precipitação média anual é de 1.336,8 mm, com uma temperatura média anual entre 21° e 24° C, sendo os meses de setembro e outubro os mais quentes (21° a 26° C), e os mais frios os meses de junho e julho (17° a 22° C).

O balanço hídrico no solo da bacia indica que a região apresenta deficiência hídrica durante o período de inverno.

## **2.3 – Geomorfologia e Geologia**

A bacia do rio Preto insere-se na Unidade Neogênica, que representa o retrabalhamento da chapada pelo aplainamento por erosão lateral, sem perder ainda suas características originais. O vale do rio preto situa-se em uma depressão onde predomina o relevo de colinas e interflúvios tabulares de declividades pouco acentuadas, em cotas altimétricas entre 1200 a 640 metros. A topografia é recoberta por latossolos vermelhos, latossolos vermelho-amarelos e laterita (SADF, 1995).

A bacia é constituída por rochas pertencentes ao Grupo Paranoá de idade pré-cambriana média a superior, uma cobertura detrito-laterítica de idade Terciária-Quaternária (predominante) e de aluviões recentes do Quaternário (SADF, 1995).

Segundo o ZEE da RIDE-DF, o alto curso do rio Preto está inserido na compartimentação geomorfológica designada como Unidade Geomorfológica Planalto do Alto Rio Preto, sendo drenado pelos rios Preto e Bezerra, dentre os principais. Este planalto está delimitado, a oeste, pelo vale encaixado do rio São Bartolomeu, por meio de abruptos rebordos erosivos; a noroeste, pelo planalto do rio Pipiripau, através de um nítido degrau estrutural de aproximadamente 70 metros de desnivelamento; a norte, pela depressão do alto rio Paranã, por meio de uma escarpa erosiva; e a leste, pela depressão São-Franciscana, também delimitada por meio de uma escarpa erosiva.

Essa unidade geomorfológica apresenta extensas superfícies tabulares sulcadas por uma rede de drenagem de baixa densidade e padrão dendrítico, mantidas em cotas de 900 a 1.000m, sendo que os fundos de vales dos dois rios principais da bacia (Preto e Bezerra) registra cotas em torno de 850 metros (ZEE RIDE-DF, 2003).

O planalto do alto rio Preto consiste num planalto de configuração morfológica similar ao do planalto do Distrito Federal, porém está rebaixado por volta de 100 a 200 metros em relação a este. Processos de etchplanação parecem ser responsáveis por esse desdobramento da Superfície Sul-Americana, podendo também estar associados com reativações tectônicas (ZEE RIDE-DF, 2003).

Extensas áreas do planalto do alto rio Preto estão capeadas por crostas detrítico-lateríticas que, devido a sua resistência, apresentam a ocorrência de pediplanos (ZEE RIDE-DF, 2003).

#### **2.4 – Relevo e solos**

O relevo da bacia do rio preto pode ser dividido em duas unidades geomorfológicas: a) superfícies aplainadas, constituídas por chapadões; b) superfícies dissecadas (IESA, 1993).

Os solos predominantes nas superfícies aplainadas são os latossolos correlacionados às formações detrítico-lateríticas. O latossolo vermelho-escuro distrófico ou álicos é o predominante na área, seguido pelo latossolo vermelho-amarelo (IESA, 1993).

Nas superfícies dissecadas predominam os cambissolos e os litossolos, que ocorrem de forma muito associada, desenvolvidos a partir de metassiltito. Os litossolos caracterizam-se pela baixa permeabilidade e capacidade de retenção hídrica, e altamente erodíveis (IESA, 2003).

### 3 – METODOLOGIA

A metodologia utilizada para a obtenção das sub-bacias do alto rio Preto envolveu as seguintes etapas: a) confecção do Modelo Digital do Terreno; b) construção do modelo digital do terreno hidrológicamente consistente c) construção do *flow path da bacia*; d) obtenção automática da bacia e sub-bacias através dos módulos *TauDEM* e *Archydro*, utilizando o *software ArcGIS 9.2*;

#### 3.1 – Confecção do Modelo Digital do Terreno

Esta etapa consistiu em confeccionar o Modelo Digital do Terreno (MDT) que é o dado de entrada necessário para a geração de mapas derivados que foram empregados na delimitação automática dos limites e métricas da bacia. Para tanto, foi utilizada uma base cartográfica na escala 1:100.000, em formato digital, cedida pela CODEVASF (Companhia de Desenvolvimento dos Vales do São Francisco e do Parnaíba), contendo curvas de nível, pontos cotados e hidrografia (figura 5).

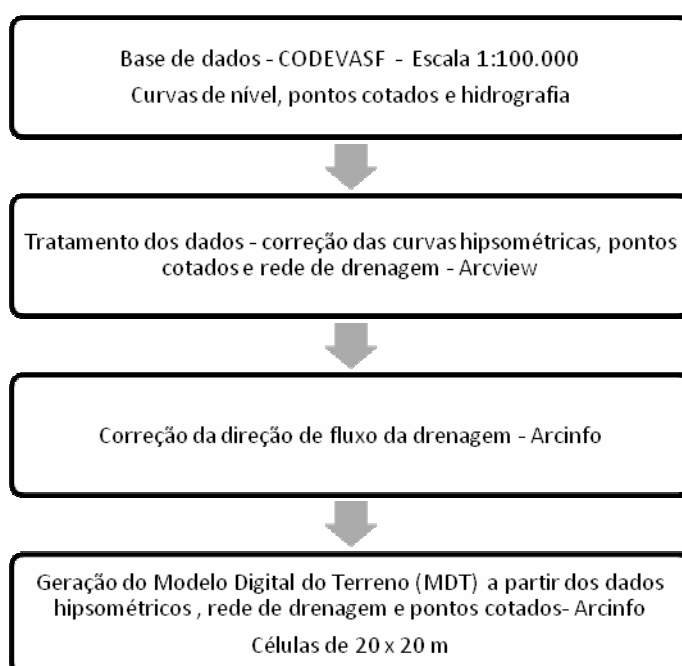


Figura 5 - Fluxograma das etapas de construção do Modelo Digital do Terreno.

Os dados foram tratados no *software Arcview 3.3* com o objetivo de corrigir: as curvas de nível e pontos cotados que apresentam valores zerados ou errados; a direção do fluxo da rede de drenagem; descontinuidades dos eixos dos canais de drenagem.

De posse dos dados corrigidos foi confeccionado o Modelo Digital do Terreno da bacia no *software ArcInfo*, no módulo *TOPOGRID*, com resolução de 20m x 20m e com um buffer de limite da bacia de 10km (Figura 6).



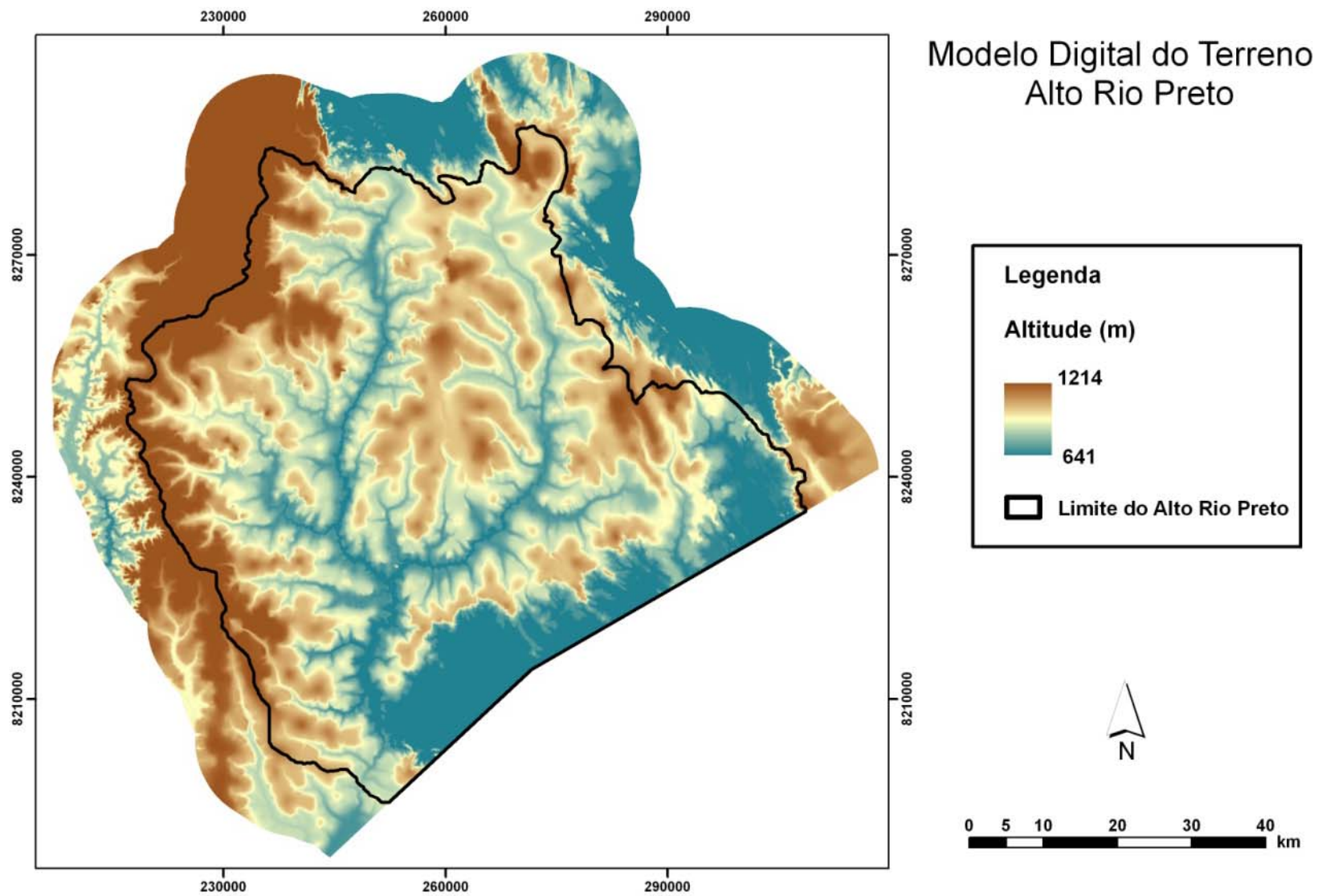


Figura 6 – Modelo Digital do Terreno do alto rio Preto.

### 3.2 – Construção do Modelo Digital do Terreno Hidrologicamente Consistente (MDTHC)

O Modelo Digital do Terreno deve representar o relevo de forma mais fiel possível à realidade e assegurar a convergência do escoamento superficial para a rede de drenagem mapeada, garantindo, assim, a sua consistência hidrológica (Baena *et al*, 2004).

No presente trabalho a construção de um modelo digital do terreno hidrologicamente consistente (MDTHC) envolveu, primeiramente, a utilização de procedimentos para obtenção de uma rede de drenagem numérica, gerada através da aplicação do algoritmo *TRACEGRID*, desenvolvido por Chris Duncan (Universidade de Massachusetts - [duncan@geo.umass.edu](mailto:duncan@geo.umass.edu)), utilizando o software *ArcInfo* e tendo como dados de entrada: os pontos de nascentes, gerado no módulo *X-Tools*, no *Arcgis 9.2*, e a direção de fluxo da drenagem gerado através do método D8 (Figura 7).

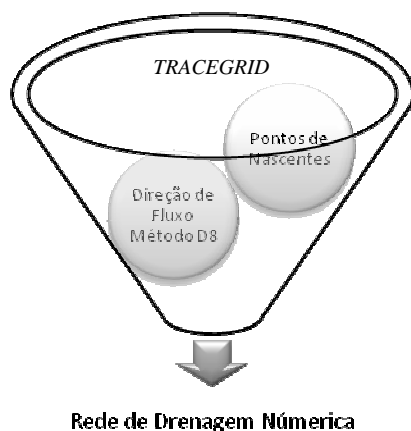


Figura 7 – Esquema de obtenção da rede de drenagem do *TRACEGRID*.

A seguir, segue o resultado da rede de drenagem obtida através do algoritmo *TRACEGRID* (Figura 8).

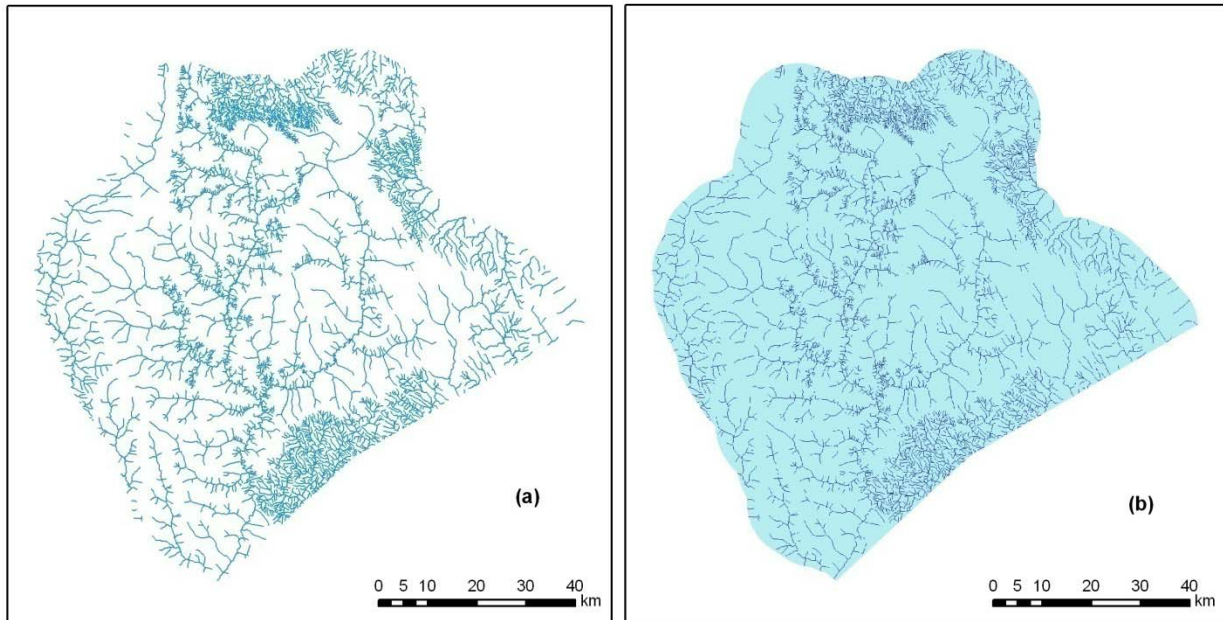


Figura 8 - Rede de drenagem da base cartográfica (a) e a rede de drenagem obtida através do *TRACEGRID* (b).

O uso desse algoritmo resulta em uma rede de drenagem mais coerente para a delimitação de bacias, tendo em vista que alguns dos algoritmos de delimitação se utilizam de valores pré-fixados de células, a critério do usuário, para a captura das áreas de contribuição. Por vezes, este último método pode resultar, dependendo da área abrangida, em bacias homogêneas (Barbosa *et al.*, 2007).

Após obtenção da rede de drenagem rasterizada foi gerado um MDT com um *canyon* de 100 metros sobre a calha da drenagem com a finalidade de criação do MDTHC e do *flow path*, o qual contém a rede de drenagem com a direção de fluxo inclusa. Este procedimento visa evidenciar as feições da rede drenagem.

Os dados de entrada para criação do MDT *canyon* são: o MDT e a rede de drenagem gerada pelo *TRACEGRID*. No *ArcGIS* efetuam-se as seguintes etapas: i) a subtração de 100 metros do MDT original, através do *raster calculator*; ii) multiplica-se esse MDT pelo *raster* da drenagem com valor 1 para a drenagem e 0 para não-drenagem; iii) reclassifica-se a drenagem para obter-se um *raster* com valor 0 para a drenagem e 1 para não-drenagem; iv) multiplica-se o MDT original pelo *raster*

reclassificado na etapa anterior; v) soma-se os arquivos gerados nas etapas ii e iv obtendo-se o MDT *canyon*, que é o MDTHC.

### 3.3 – Construção do *flow path*

Após a construção do MDT *canyon* foi criado o arquivo *flow path*, o qual força para que a direção de fluxo ocorra nos locais de drenagem, sendo gerado através da aplicação dos comandos “*fill pits*” e “*d8 flow directions*” do *TauDEM* com o MDT *canyon* como dado de entrada. O arquivo de direção de fluxo d8 é então dividido pela *raster* de drenagem do *TRACEGRID* com valores 1 para drenagem e 0 para não-drenagem no *raster calculator*, obtendo-se, assim, o *flow path* (figura 9).

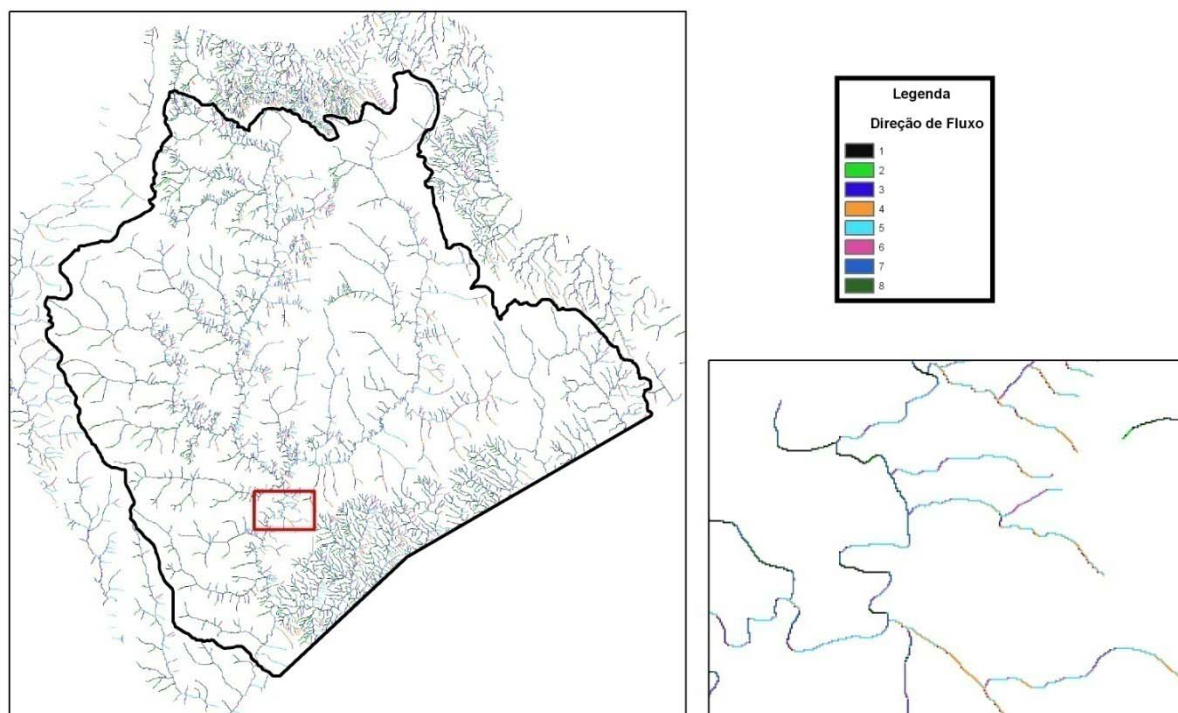


Figura 9 - Rede de drenagem contendo a direção de fluxo (d8) – *flow path*.

Na presente pesquisa também foi utilizado um arquivo, em formato *shape*, com o *outlet* no trecho a jusante do alto curso do rio Preto (figura 10).

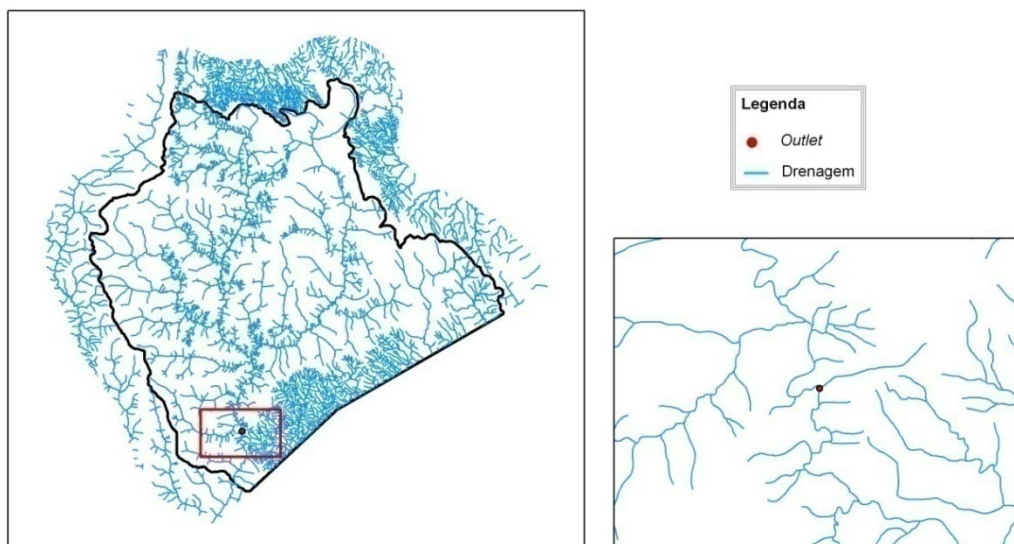


Figura 10 - *Outlet* utilizado para delimitação das sub-bacias.

### 3.4 – Delimitação de bacias e sub-bacias hidrográficas

A delimitação de uma bacia hidrográfica é um dos primeiros e mais comuns procedimentos executados em análises hidrológicas ou ambientais. Para isso, tem sido comum a utilização de informações de relevo em formato analógico, como mapas e cartas, o que compromete a confiabilidade e a reprodução dos resultados devido à carga de subjetividade inerente aos métodos manuais. Com o advento e consolidação dos Sistemas de Informações Geográficas e, conseqüentemente, o surgimento de formas digitais consistentes de representação do relevo, como os Modelos Digitais de Terreno (MDT's), métodos automáticos para delimitação de bacias têm sido desenvolvidos desde então (Garbrecht e Martz, 1999).

O uso de Modelos Digitais de terreno para delimitação de bacias e sub-bacias se configura hoje na forma mais prática e rápida e menos subjetiva. Além disso, existe a possibilidade de extração de uma maior gama de informações dos dados topográficos representados nestes MDT's.

Os MDT's podem ser entendidos como a representação espacial de um terreno através de elementos de uma matriz. Cada pixel, ou seja, a menor unidade de imagem representada na matriz armazena diversas informações como a elevação topográfica do terreno. A localização de cada pixel é obtida a partir do tamanho da célula e das coordenadas dos limites da região representada pelo MDT (Zeiler, 1999).

No presente trabalho foram utilizados dois programas para delimitação automatizada de sub-bacias a partir do MDT do alto rio Preto foram utilizados: o programa *TauDEM* e *Archydro*.

#### **3.4.1 – Utilização do programa *TauDEM* para delimitação de bacias**

O programa *TauDEM*, *Terrain Analysis Using Digital Elevation Models*, desenvolvido por David Tarboton (2002), incorpora ferramentas que contêm funções de análise do terreno que tratam dados matriciais para a extração da rede de drenagem (vetorial) e bacias (polígonos) finais.

Segundo Christofolletti (1980), existem vários métodos de ordenamento de drenagem como os propostos por Horton (1945), Strahler (1952), Scheidegger (1965) e Shreve (1966; 1967).

Mais recentemente o engenheiro Otto Pfafstetter desenvolveu um método conhecido como ottobacias, onde é feita uma distinção entre rio principal e tributário, em função do critério de área drenada. Assim, em qualquer confluência, o rio principal será sempre aquele que possui a maior área drenada entre os dois. Denominam-se bacias as áreas drenadas pelos tributários e interbacias as áreas remanescentes, drenadas pelo rio principal (Silva, 1999).

Uma das vantagens encontradas na utilização do *TauDEM* está na possibilidade de delimitação de bacias e sub-bacias baseadas na classificação de Strahler (1952).

Segundo este autor, a ordem dos cursos d'água pode ser determinada seguindo os seguintes critérios (figura 11):

- os menores canais identificáveis são designados por ordem 1;
- onde dois canais de ordem 1 se unem, resulta em um canal de ordem 2 a jusante; em geral, onde dois canais de ordem  $i$  se unem, resulta em um canal de ordem  $i+1$  a jusante;
- onde um canal de ordem menor se une a um canal de ordem maior, o canal a jusante mantém a maior das duas ordens a ordem da bacia hidrográfica ( $i$ ) é designada como a ordem do rio que passa pelo exutório.

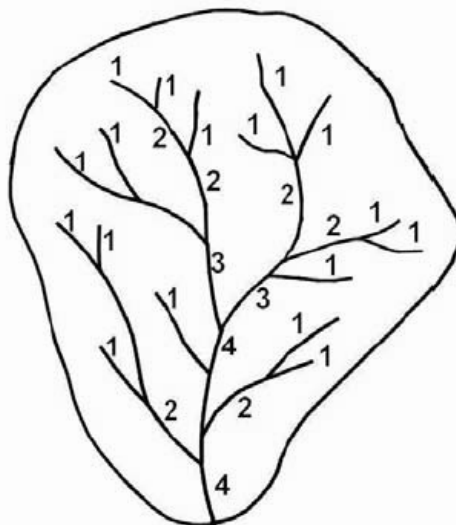


Figura 11 – Ordem de uma rede de drenagem segundo classificação de Strahler (1952)

A delimitação de bacias através do programa *TauDEM* requer continuidade e confluência entre todos os vetores que representam a drenagem. Além disso, vetores representando lagos e canais anastomosados devem ser substituídos por linhas em seu “centro de fluxo”. Quando alguma descontinuidade não puder ser tratada faz-se necessária a seleção de pontos de saída do fluxo d'água (exutório ou *outlet*), para delimitação das bacias de interesse no *TauDEM* (Tarboton, 2002).

A geração de bacias através desse programa é baseada no uso das direções de fluxo da drenagem, que é o caminho preferencial de escoamento da água.

Dentre os métodos de obtenção de direção de fluxo de uma rede de drenagem existem os métodos D8 e D-infinito.

A utilização do método D8 para determinação da direção de fluxo envolve a análise de fluxo para cada pixel de uma imagem *raster* com base nas cotas altimétricas desses *pixels* (Figura 12). A direção de fluxo indica para qual dos 8 *pixels* vizinhos um determinado pixel drena sendo atribuído uma única direção, a qual pode ter oito variações.

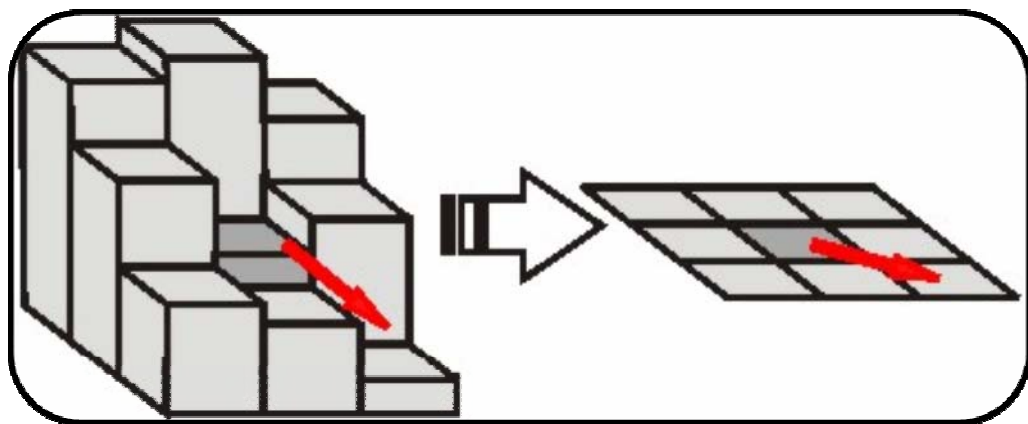


Figura 12 – Esquema de determinação da direção de fluxo para um pixel a partir das cotas e distâncias relativas aos *pixels* vizinhos.

O *grid* de direção de fluxo gerado no método D8 usa a seguinte codificação de sentido: 1 - leste, 2 - nordeste, 3 - norte, 4 - noroeste, 5 - oeste, 6 - sudoeste, 7 - sul, 8 – sudeste (Figura 13).



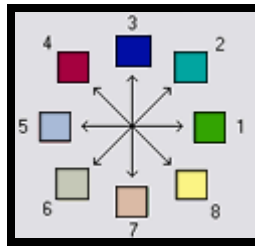


Figura 13 – Orientações da direção de fluxo do método D8.

A direção de fluxo obtida através do método D-Infinito atribui um sentido de fluxo baseado na inclinação mais íngreme em uma faceta triangular (Figura 14). O sentido de fluxo é medido em radianos, contado no sentido horário a partir do leste. Este método permite ângulos contínuos de fluxo e o particionamento da direção entre dois ou mais *pixels* vizinhos (Tarboton, 1997).

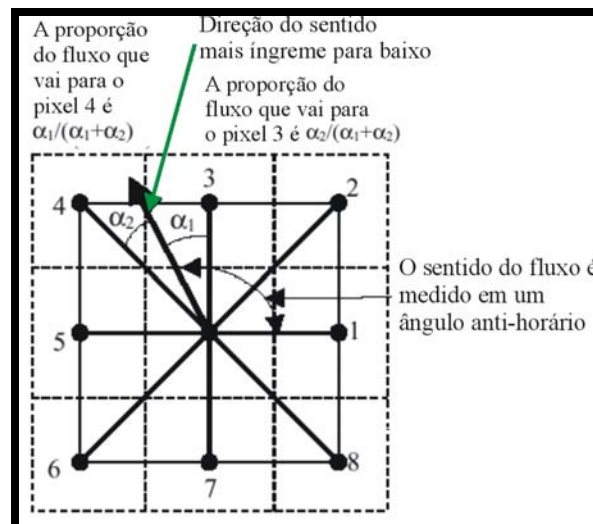


Figura 14 – Esquema de obtenção da direção de fluxo da drenagem baseado no método D-Infinito proposto por Tarboton (1997).

Para a delimitação da rede de drenagem o *TauDEM* utiliza a análise integrada dos *grids* de: direção de fluxo D8; área de contribuição D8; declividade D-Infinito; área

de contribuição D-Infinito; e ordem dos canais de rio, baseada na classificação de Strahler.

### 3.4.2 – Utilização do programa *Archydro* para delimitação de bacias

O programa *Archydro* é um programa que foi desenvolvido pela Universidade do Texas (GISWR, 2006) e que possui funcionalidades para construção de modelagens hidrológicas.

A delimitação automatizada desse programa utiliza como dado de entrada o MDT e os parâmetros utilizados são baseados, basicamente, na determinação da direção de fluxo pelo método D8, fluxo acumulado e no número de *pixels*, a critério do usuário, da área de contribuição.

A seguir segue o fluxograma das etapas desenvolvidas para a delimitação das sub-bacias do alto curso do rio Preto (figura 15).

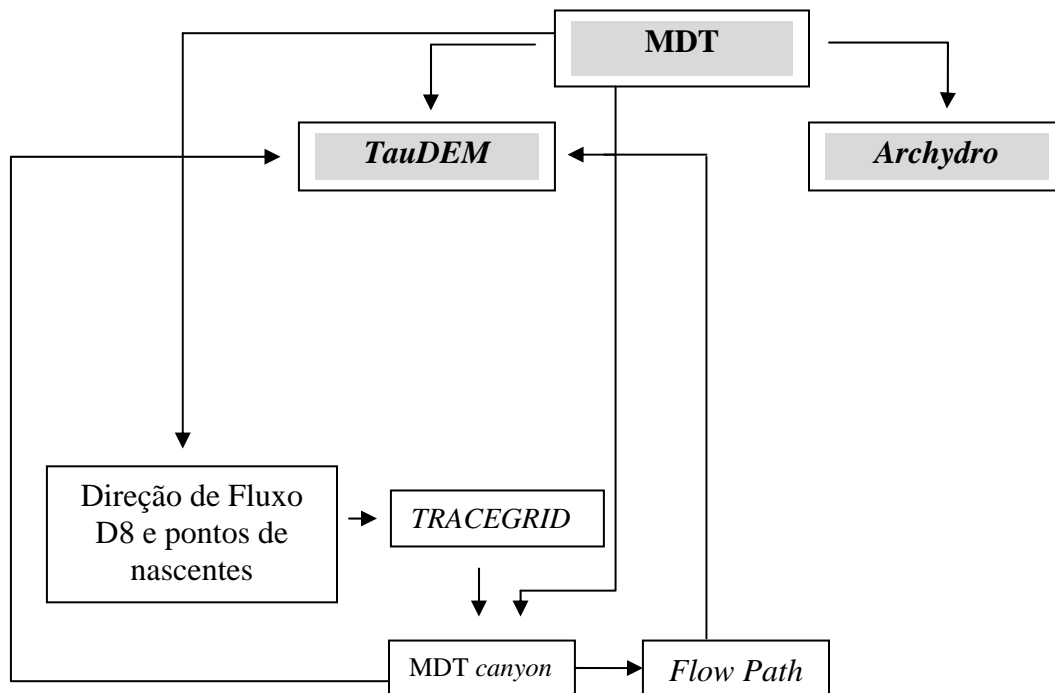


Figura 15 – Fluxograma de delimitação das sub-bacias.

## 4 – RESULTADOS

### 4.1 – Delimitação das sub-bacias através do programa *Archydro*

A partir do MDT original da bacia do rio Preto foram realizados três testes para delimitação das sub-bacias no programa *Archydro*, utilizado no *software ArcGIS 9.2*. Foram realizados testes de delimitação de sub-bacias com os números de 5.000, 10.000 e 20.000 células para área de contribuição.

Foram aplicados os seguintes passos: i) aplicação do comando “*fill sinks*”, que confere a consistência da drenagem; ii) *flow direction*, que é baseado no método d8; iii) *flow accumulation*; iv) *stream definition*, onde é escolhido o número de células; v) *stream segmentation*; vi) *catchment grid delineation*; vi) *catchment polygon processing*; vii) *drainage line processing*.

O resultado da aplicação dessas rotinas é a geração de arquivos com as sub-bacias e drenagens, em formato *shape*.

Os mapas a seguir mostram as sub-bacias delimitadas por esse programa para células de área de contribuição de 5.000 (figura 16), 10.000 (figura 17) e 20.000 (figura 18).

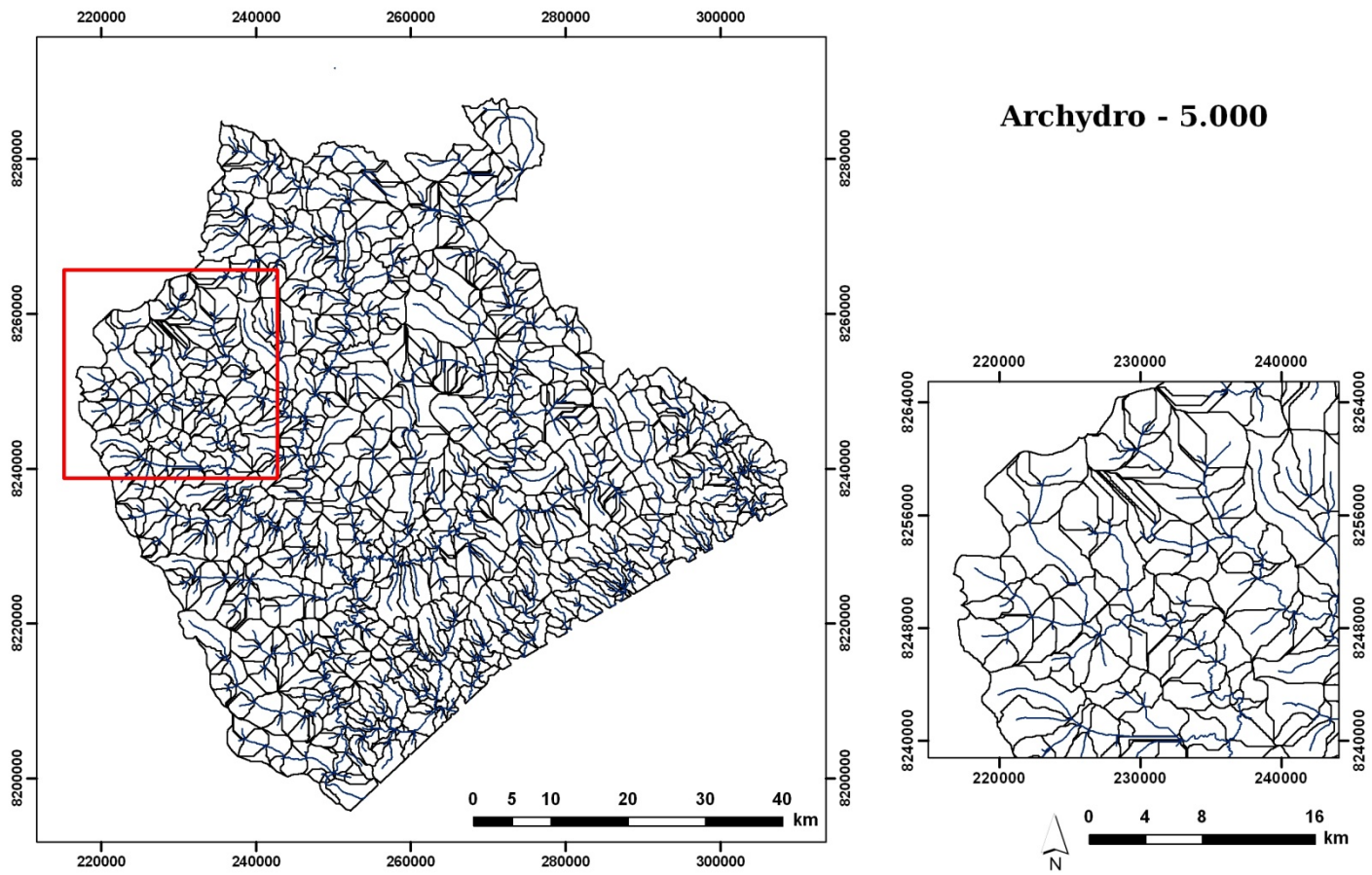


Figura 16 – Mapa das sub-bacias com 5.000 células.

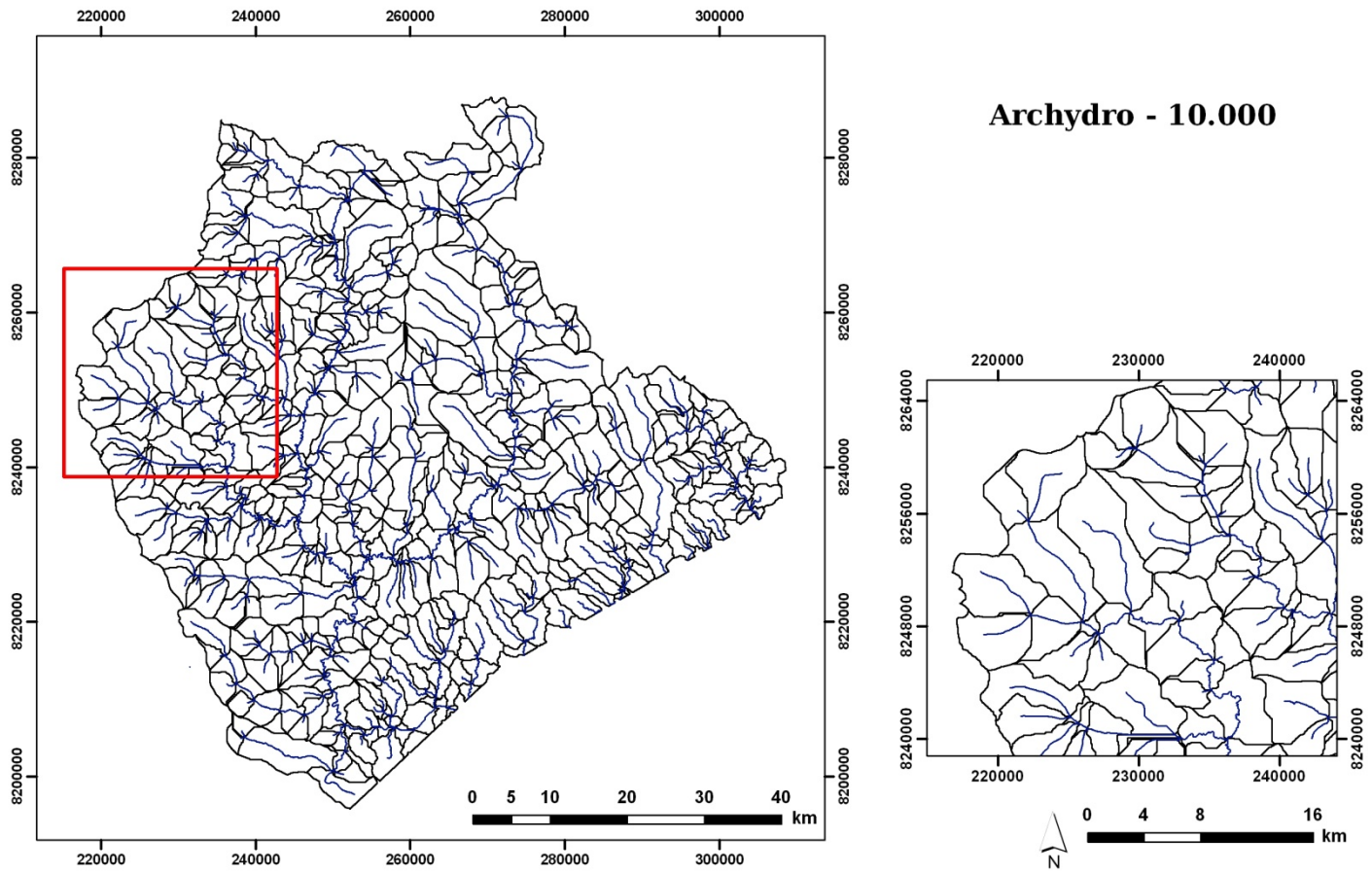
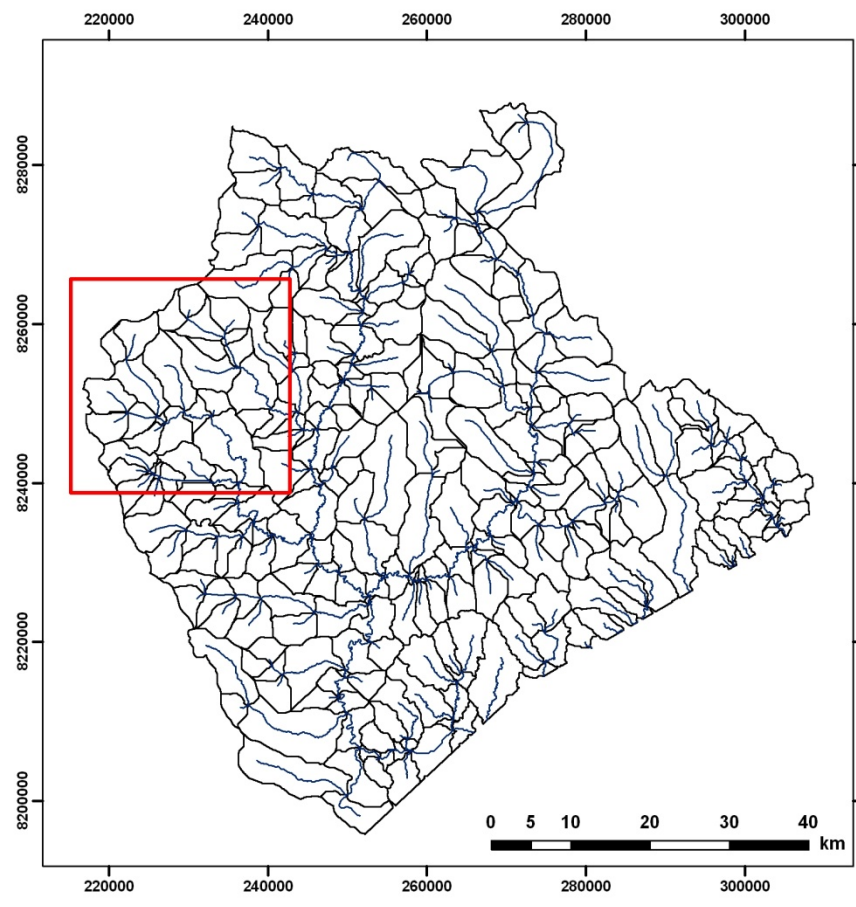


Figura 17 – Mapa das sub-bacias com 10.000 células.



**Archydro - 20.000**

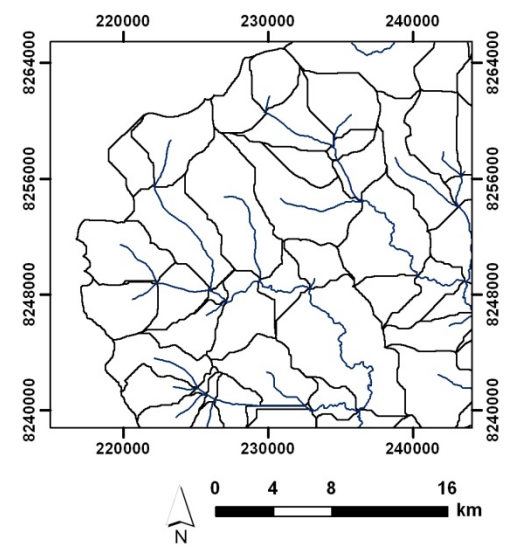


Figura 18 – Mapa das sub-bacias com 20.000 células.

## 4.2 – Delimitação das sub-bacias através do programa *TauDEM*

A partir dos arquivos gerados no passo anterior, foi utilizado o programa *TauDEM*, no software *ARCGIS 9.2*, para a delimitação automática dos limites da bacia e suas subdivisões.

Foram realizados três testes, com arquivos de entrada diferentes, para delimitação das sub-bacias. Sendo eles:

- a) Delimitação com o Modelo Digital do Terreno original e *outlet*;
- b) Delimitação com o MDTHC e *outlet*;
- c) Delimitação com o MDT original, *flow path* e *outlet*.

### 4.2.1 – Delimitação com utilização do MDT original e *outlet*

Neste primeiro teste foi selecionado o MDT original para realização das rotinas do programa. Foi aplicado o comando “*do all*” do menu “*basic grid analysis*”, sendo inserido no comando de determinação da área de contribuição d8 o arquivo com o *outlet*. Com a finalização desse passo é obtido um arquivo *raster* contendo a drenagem, baseado no método de curvatura do MDT, resultante da análise integrada da direção de fluxo d8 e D-Infinito, suas respectivas direções de fluxo, além de um arquivo preliminar com a drenagem ordenada segundo a classificação de Strahler.

Após este procedimento é aplicado o comando “*stream order grid and network files*” do menu “*network delineation*”. O produto é um *raster* com a drenagem ordenada segundo Strahler para toda a bacia. Retorna-se ao último comando do menu “*basic grid analysis*” e aplica-se o comando “*full river network raster*” e troca-se o arquivo de entrada do “*network order grid*” pelo *raster* de drenagem gerado nesta última etapa. Nesse procedimento é ativada a função “*grid order threshold*” e escolhida a ordem do rio, segundo Strahler, com a qual se pretende delimitar as sub-bacias. No caso, esse procedimento foi realizado três vezes, para obter-se as sub-bacias de 1<sup>a</sup>, 2<sup>a</sup> e 3<sup>a</sup> ordens.

Os resultados são apresentados nos mapas a seguir (figuras 19, 20 e 21). O primeiro contém as sub-bacias de primeira ordem, o segundo de segunda ordem e o terceiro de terceira ordem.



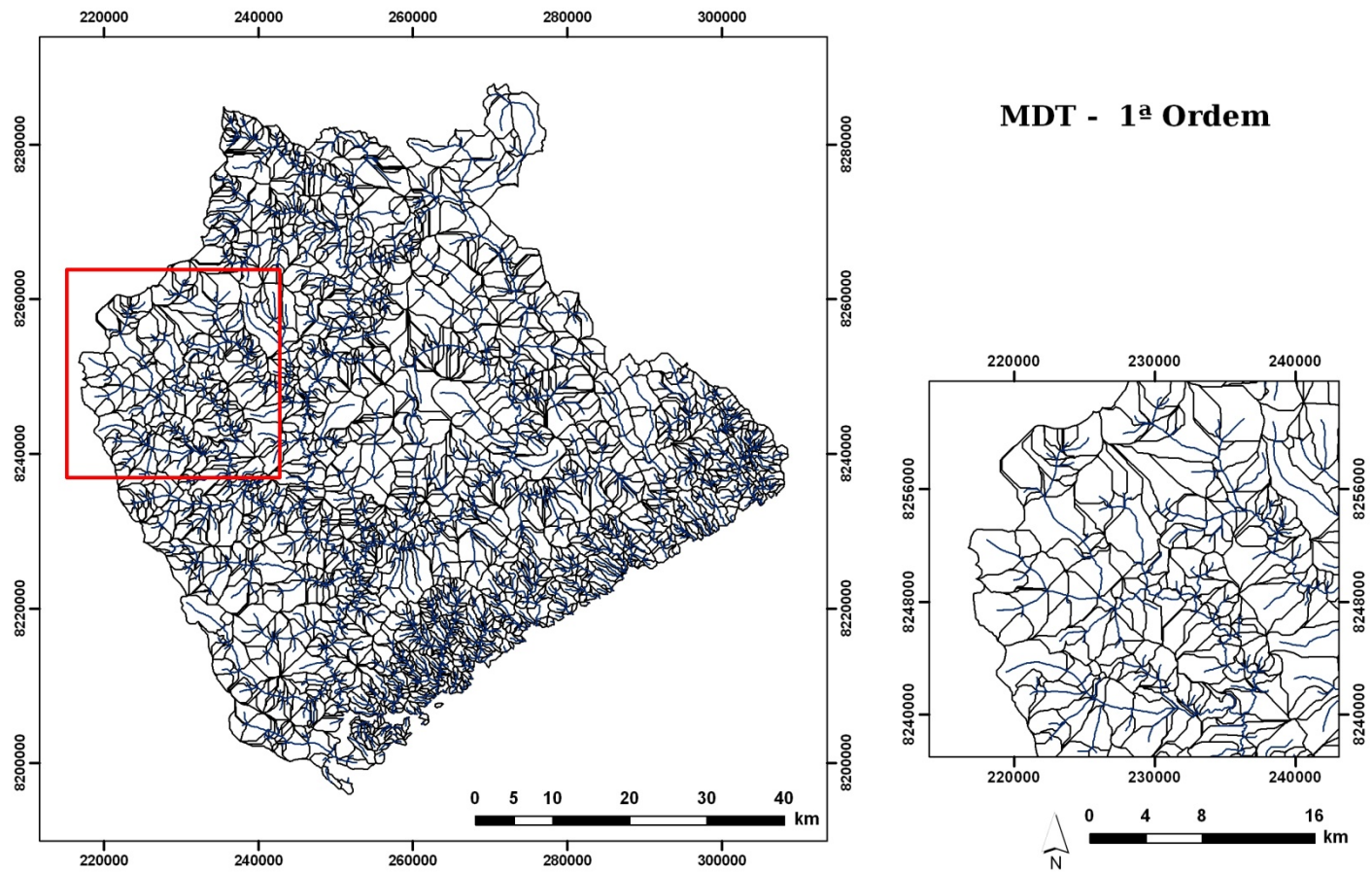


Figura 19 – Mapa das sub-bacias de primeira ordem – MDT original.

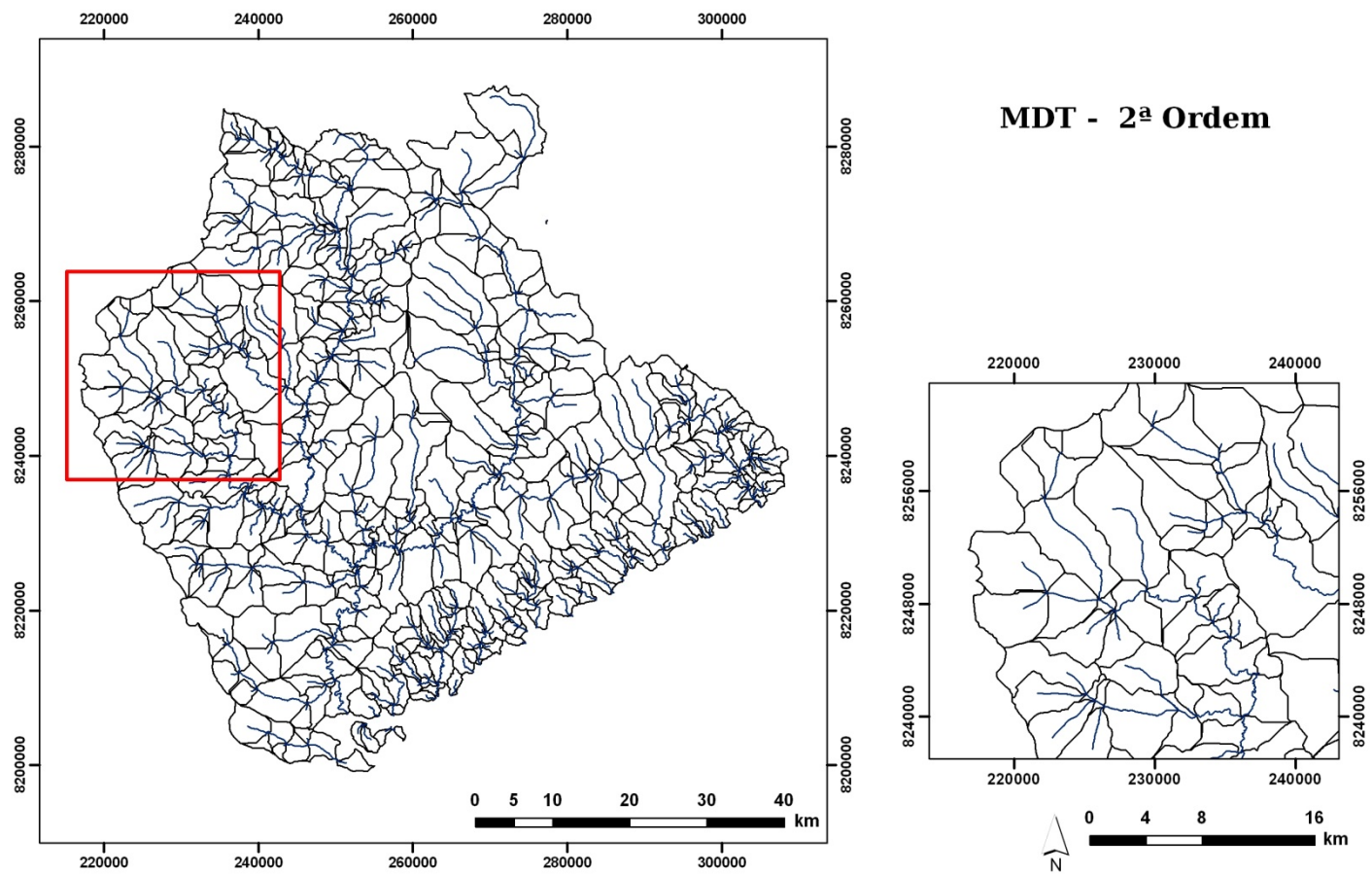


Figura 20 – Mapa das sub-bacias de segunda ordem – MDT original.

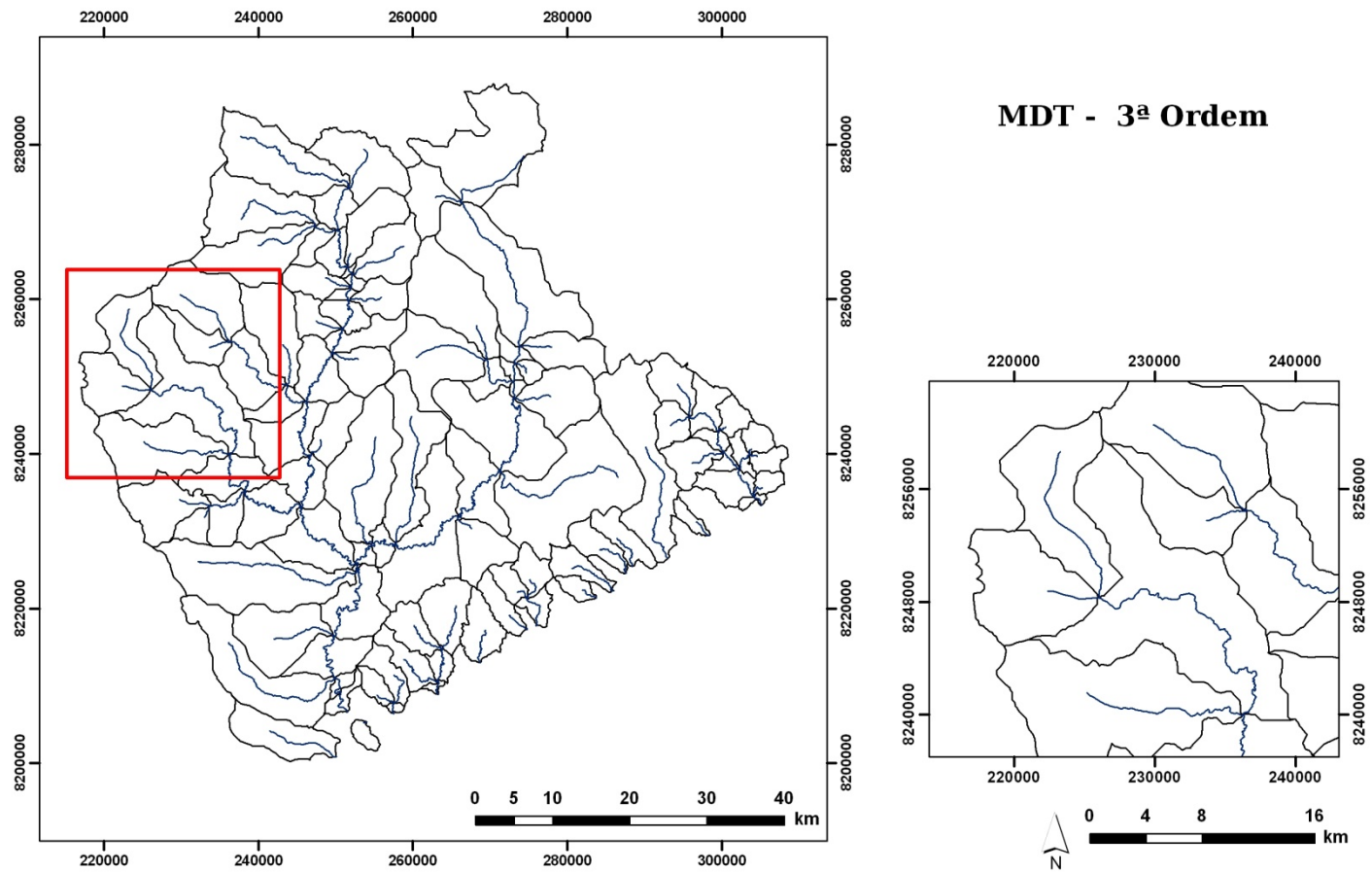


Figura 21 – Mapa das sub-bacias de terceira ordem – MDT original.

#### **4.2.2 – Delimitação com utilização do MDTHC e *outlet*.**

Neste teste foram realizados os mesmos procedimentos do teste anterior, sendo apenas trocado o arquivo de entrada pelo Modelo Digital do Terreno Hidrologicamente Consistente (MDTHC), ou seja, o MDT com um *canyon* de 100 metros.

Os resultados são apresentados nos mapas a seguir (figuras 22, 23 e 24).

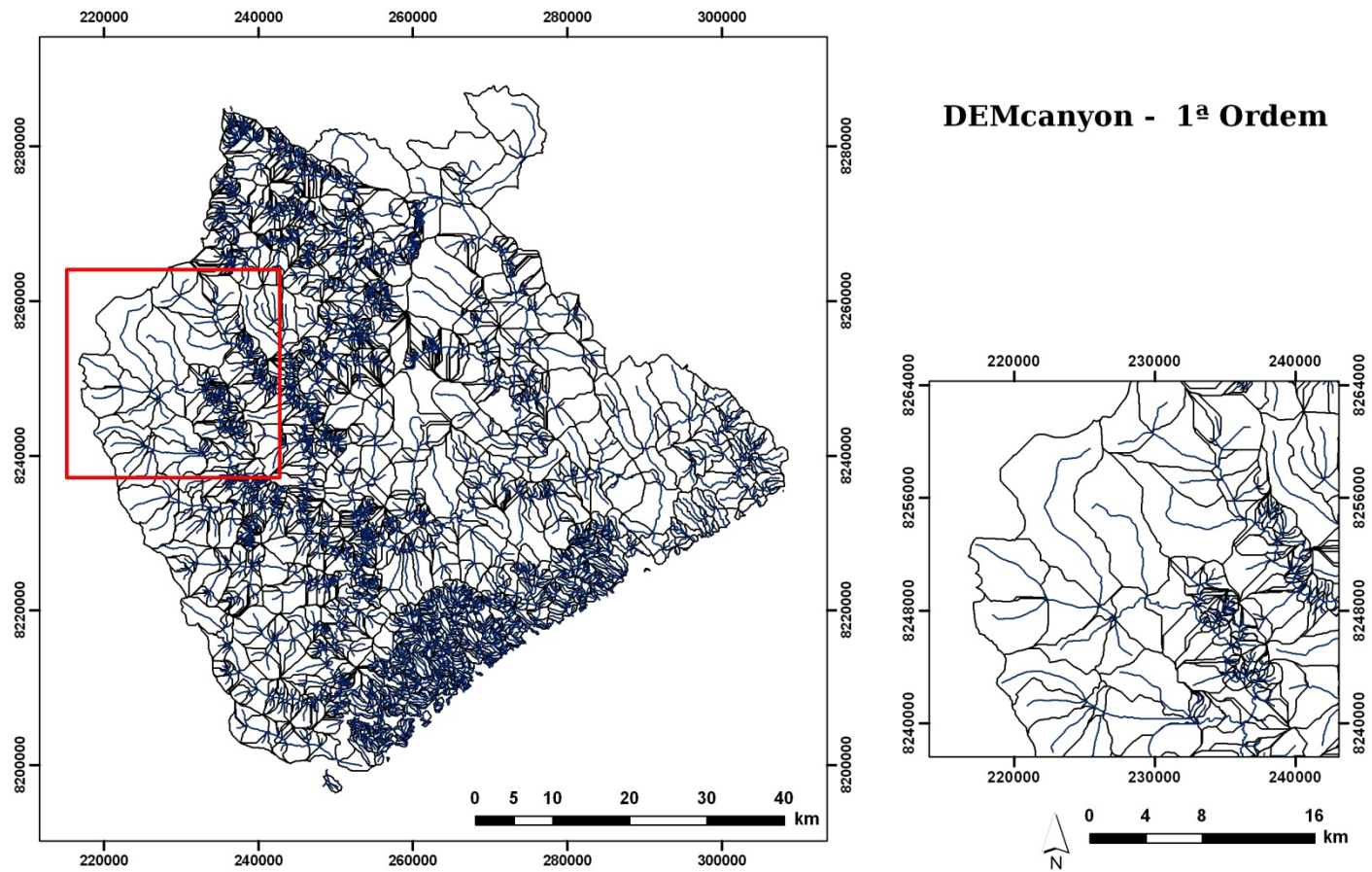


Figura 22 – Mapa das sub-bacias de primeira ordem – MDTHC.

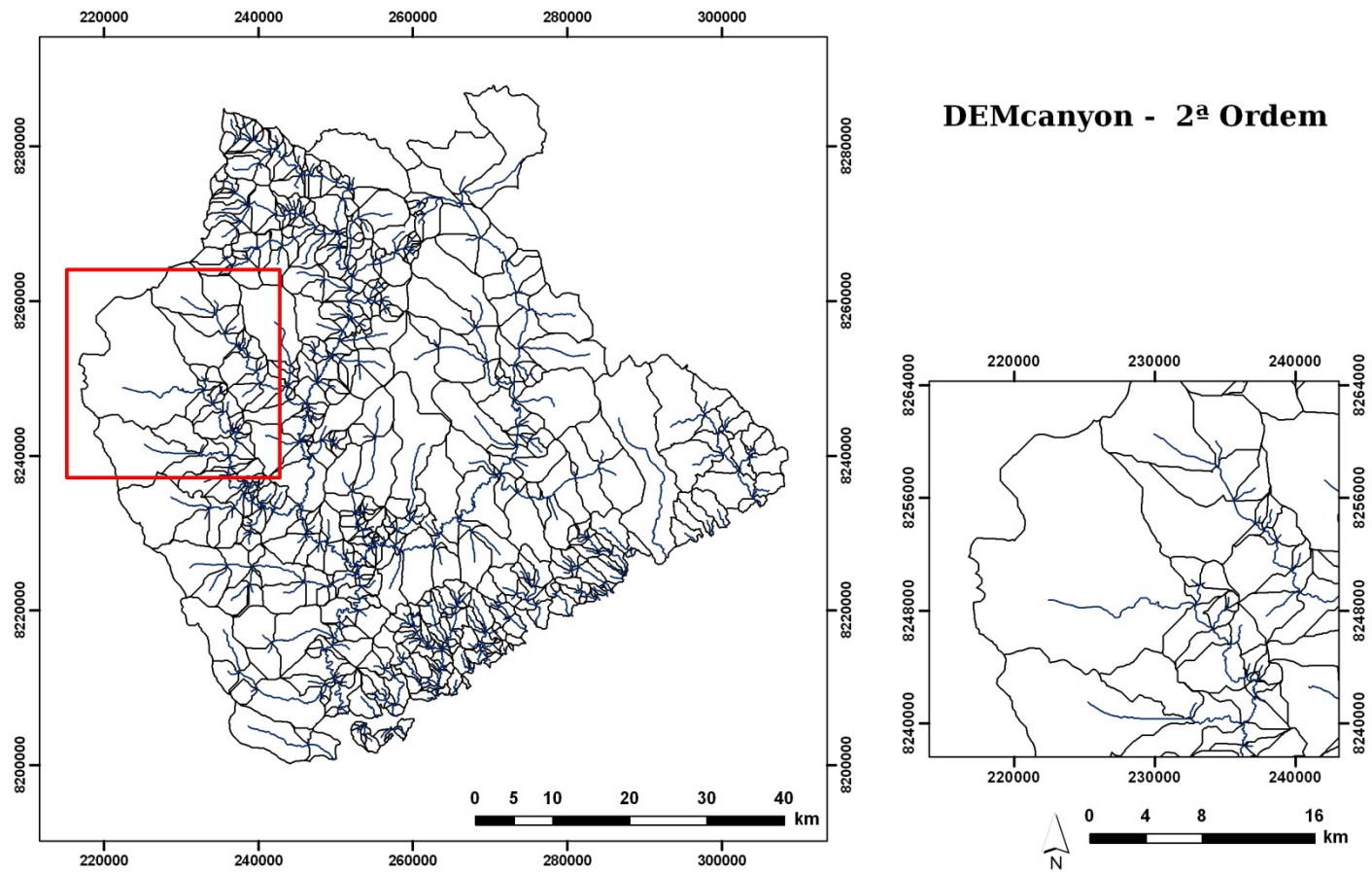


Figura 23 – Mapa das sub-bacias de segunda ordem – MDTHC.

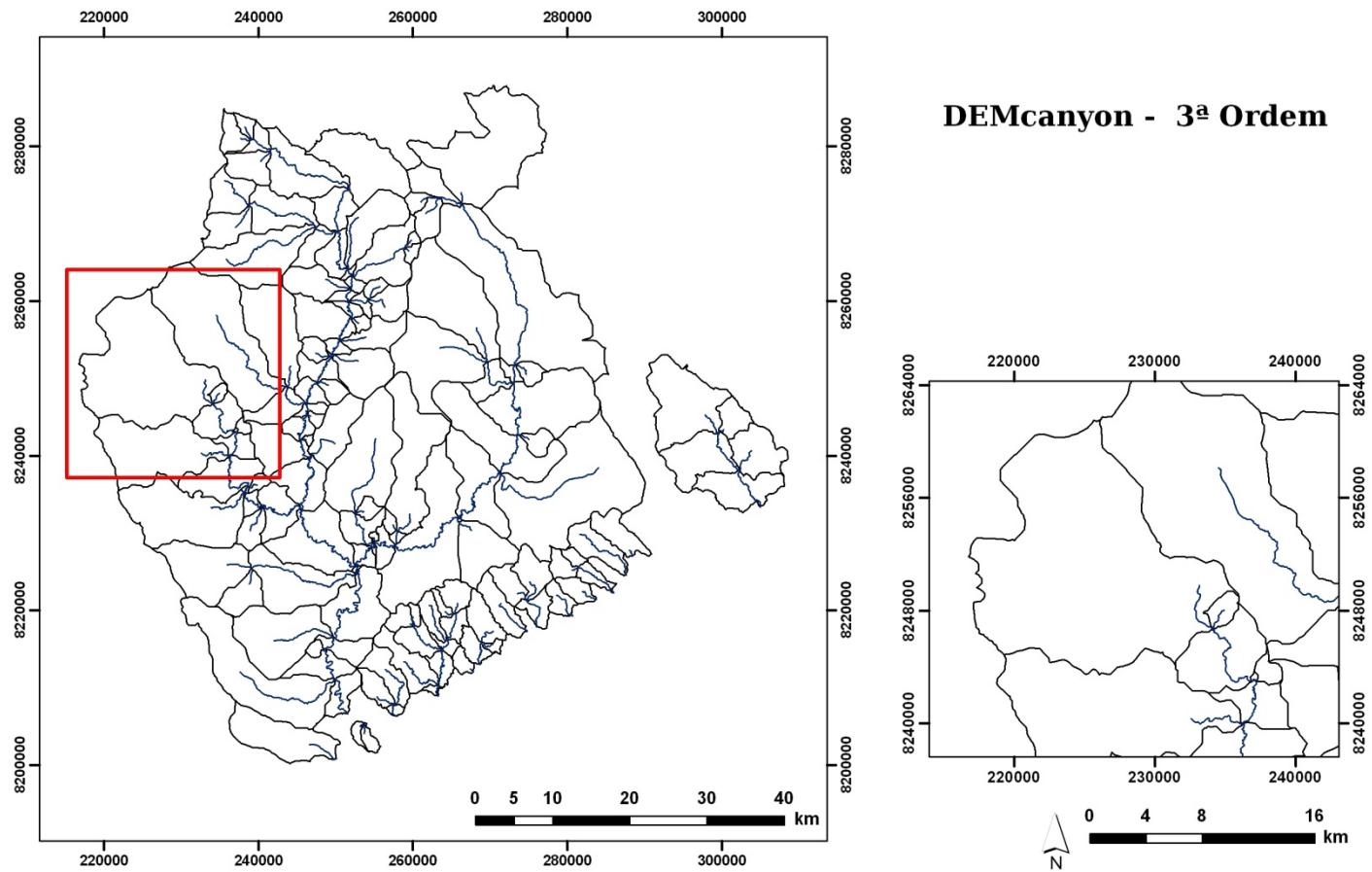


Figura 24 – Mapa das sub-bacias de terceira ordem – MDTHC.

#### **4.2.3 – Delimitação com utilização do MDT original, *flow path* e *outlet***

Neste último teste, utilizando o *TauDEM*, foram utilizados o MDT original, o *outlet* e o arquivo *flow path*, este último foi inserido no comando “*do all*”. Neste procedimento o método utilizado para delimitação das sub-bacias se apóia no *flow path* e não na curvatura do MDT, como ocorrido nos dois primeiros testes.

Os mapas resultantes estão apresentados nas figuras 25, 26 e 27.



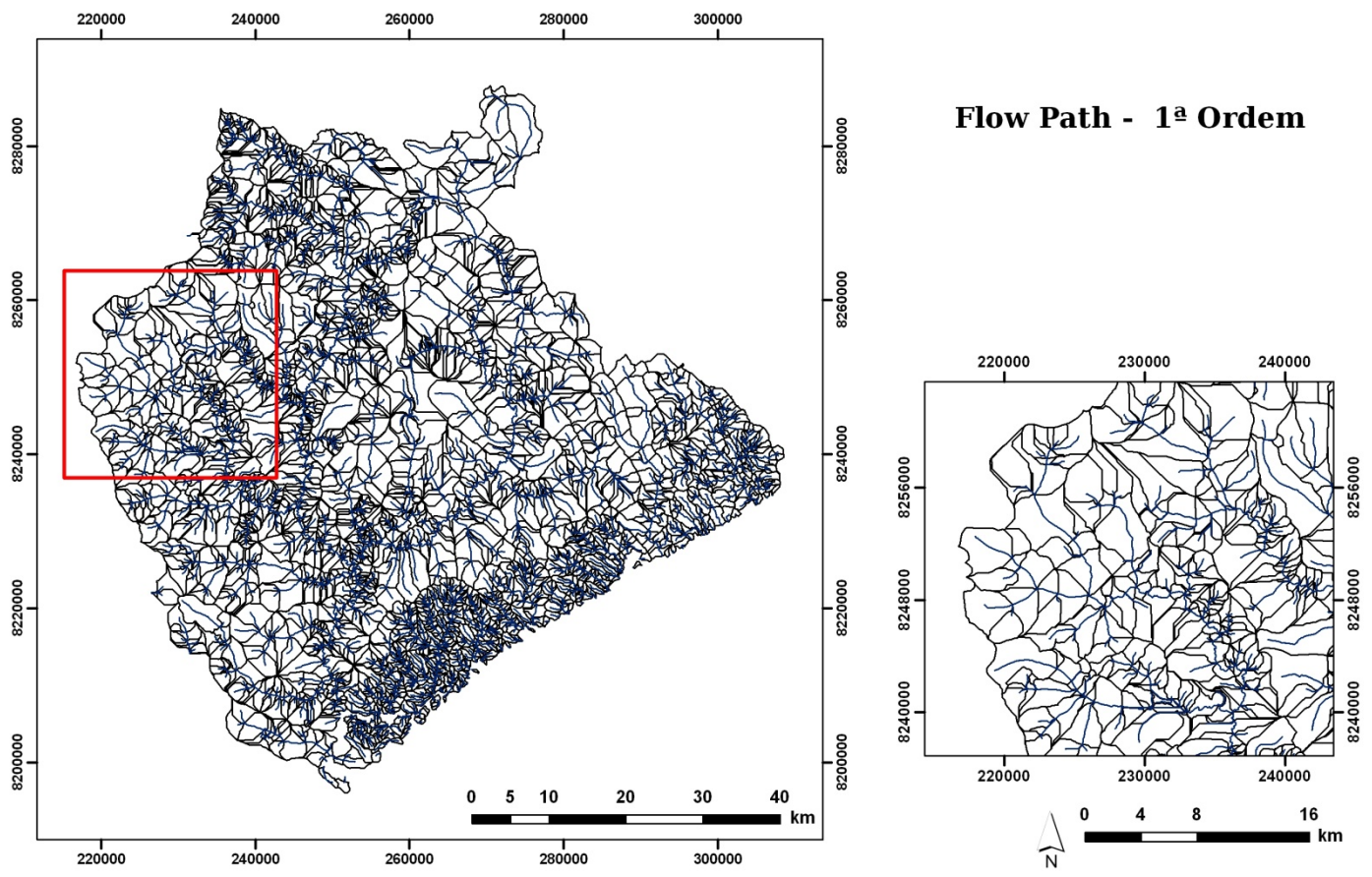


Figura 25 – Mapa das sub-bacias de primeira ordem – *Flow path*.

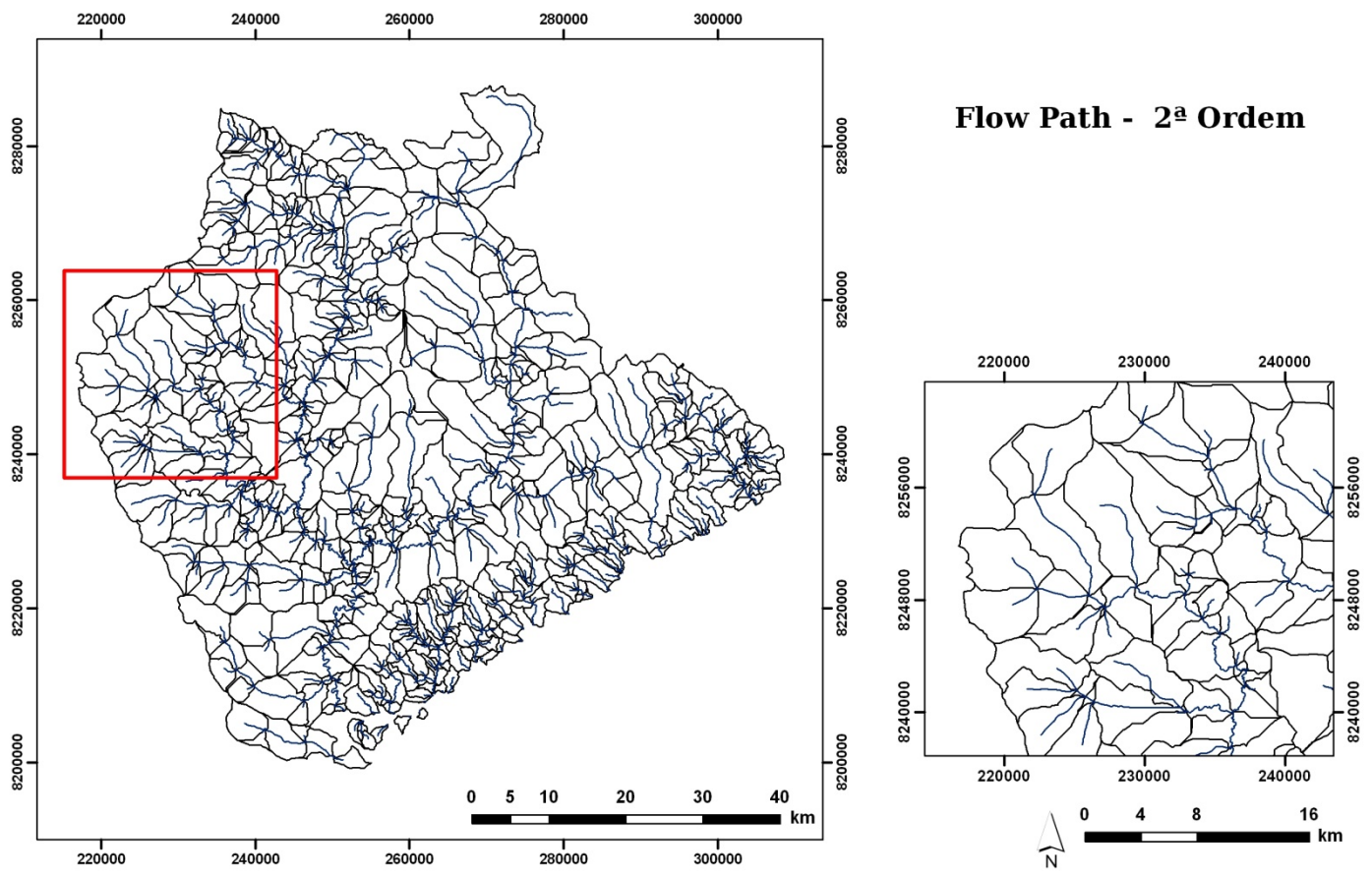


Figura 26 – Mapa das sub-bacias de segunda ordem – *Flow path*

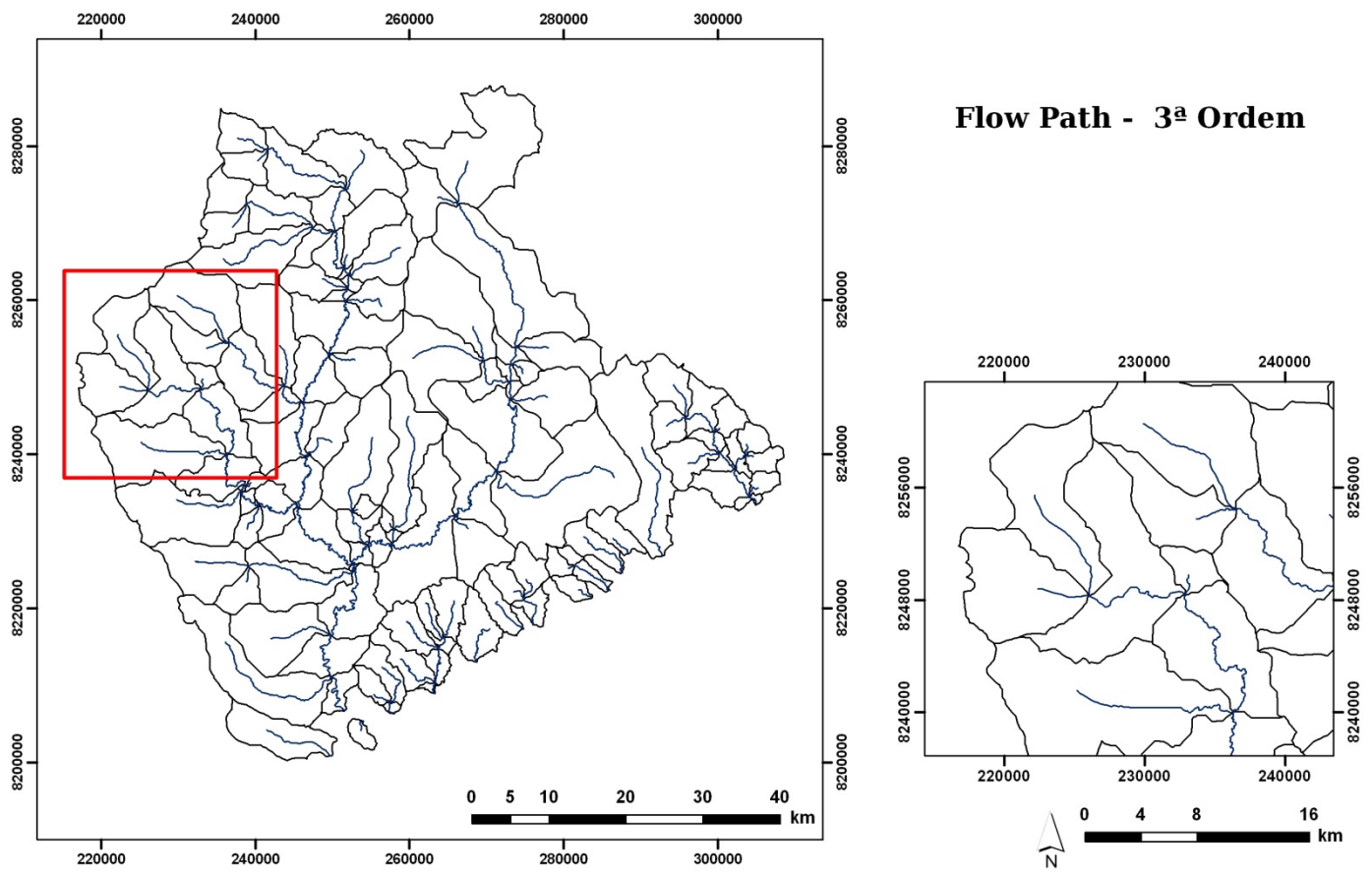


Figura 27 – Mapa das sub-bacias de terceira ordem – *Flow path*.

## 5 – CONSIDERAÇÕES

Através da classificação dos tributários do alto rio Preto, realizada através do programa *TauDEM*, foi determinado que o curso principal, em sua foz, apresenta uma grandeza de 6ª ordem, segundo Strahler.

Os valores calculados a partir da base cartográfica para a área da bacia do alto rio Preto (4.603,27 km<sup>2</sup>) e comprimento total dos cursos de rios (3.428 km), comparados aos valores dos produtos gerados, apontam que o *Archydro* é capaz de preencher uma maior parcela da área da bacia (4.556,77 km<sup>2</sup> – 5.000 células) em comparação ao *TauDEM* (4.512 km<sup>2</sup> – MDT *flow path*), porém, quanto ao comprimento total dos cursos, o *TauDEM* se aproxima mais da base com 3.256,42 km (1ª ordem – MDT *canyon*) contra 1.923,04 do produto do *Archydro* (5.000 células) (Tabela 2).

Tabela 2 – Comprimentos totais dos cursos de rios e áreas das sub-bacias.

		Comprimento Total dos Cursos (km)			Área (km <sup>2</sup> )		
		MDT	MDT canyon	MDT Flowpath	MDT	MDT canyon	MDT Flowpath
<b>TauDEM</b>	1ª Ordem	2529,15	<b>3256,42</b>	2830,36	4481,16	4477,49	4512,01
	2ª Ordem	1325,57	1241,13	1426,45	4428,56	4417,81	4430,28
	3ª Ordem	725,16	655,01	744,18	4344,83	4210,77	4328,67
<b>Archydro</b>	5.000	1923,04	-	-	<b>4556,77</b>	-	-
	10.000	1492,02	-	-	4547,56	-	-
	20.000	1182,53	-	-	4539,78	-	-

A utilização do programa *TauDEM* requer algumas etapas de pré-processamento que podem conferir o aumento do tempo disponível para obtenção das bacias, porém o resultado encontrado para a rede de drenagem se mostra mais condizente com a rede de drenagem da base cartográfica como verificado nos comprimentos totais dos cursos dos métodos MDT *canyon* e MDT *flow path*.

A delimitação de sub-bacias partindo apenas do MDT resulta em polígonos muito segmentados para drenagens de primeira e segunda ordem (figuras 16 e 17), ocorrendo a delimitação de sub-bacias não condizentes com a realidade. A utilização de um MDT com *canyon* (figuras 19 e 20) ameniza esse problema por

evidenciar a rede de drenagem durante o processamento de direções de fluxo, que é um dos parâmetros no qual o programa se apóia.

A utilização do programa *Archydro* representa uma boa ferramenta para delimitação de bacias, no entanto, seus resultados são melhores se aplicados a pequenas extensões. Em bacias com áreas grandes o resultado pode gerar sub-bacias homogêneas, mascarando as diferenças de feições dos cursos da rede de drenagem. As figuras 16, 17 e 18 demonstram essa tendência dos produtos gerados pelo *Archydro* em homogeneizar o tamanho dos polígonos finais das sub-bacias.

A tabela a seguir (tabela 3) compara a quantidade de sub-bacias geradas pela aplicação dos dois programas.

Tabela 3 – Número de sub-bacias geradas.

		Número de Sub-bacias		
		MDT	MDTcanyon	MDT Flowpath
<i>Taudem</i>	<b>1ª Ordem</b>	2332	3079	3175
	<b>2ª Ordem</b>	497	632	613
	<b>3ª Ordem</b>	100	135	114
<i>Archydro</i>	<b>5.000</b>	1.024	-	-
	<b>10.000</b>	525	-	-
	<b>20.000</b>	284	-	-

A ocorrência de uma rede de drenagem mais densa na porção oriental do Distrito Federal, em comparação à porção da bacia no Goiás, não é refletida nos produtos gerados no *Archydro*. Diferentemente, dos produtos obtidos pelo *TauDEM*, no qual podem ser escolhidas as ordens das drenagens. Nos mapas representados nas figuras 22 e 25 (1ª ordem – MDT canyon e 2ª ordem – MDT Flow path), que delimita as sub-bacias de primeira ordem, ficam evidenciadas essas características do território do DF.

A tabela a seguir (tabela 4) compara as densidades de drenagem de acordo com o método utilizado, apontando que o método MDT *canyon* apresenta uma maior proximidade (0,72 km<sup>2</sup>/km) com a densidade de drenagem calculada da base cartográfica (0,74 km<sup>2</sup>/km), seguido do método MDT *flow path* (0,62 km<sup>2</sup>/km), para a rede de drenagem obtida na delimitação de cursos de 1ª ordem. Porém, a utilização do método *flow path* apresenta ganhos nas delimitações para 2ª e 3ª ordem.

Tabela 4 – Densidades de drenagem de acordo com o método utilizado.

		Densidade de Drenagem		
		MDT	MDTcanyon	MDT Flowpath
<i>TauDEM</i>	<b>1ª Ordem</b>	0,56	<b>0,72</b>	<b>0,62</b>
	<b>2ª Ordem</b>	0,29	0,28	0,32
	<b>3ª Ordem</b>	0,16	0,15	0,17
<i>Archydro</i>	<b>5.000</b>	0,42	-	-
	<b>10.000</b>	0,32	-	-
	<b>20.000</b>	0,26	-	-

A análise combinada dos valores de comprimento total dos cursos, área da bacia e densidade de drenagem apontam que a utilização do método MDT *flow path* apresenta maiores ganhos na delimitação de bacias dentre os demais métodos, devido à menor redução da rede de drenagem extraída e conseqüentemente do aumento da área ocupada pela bacia.

## 6 – CONCLUSÃO

O emprego de técnicas de geoprocessamento para delimitação automática de bacias hidrográficas configura-se na forma mais viável, eficiente e menos subjetiva que os métodos utilizados através de cartas topográficas. A celeridade com a qual foram obtidas as sub-bacias do alto curso do rio Preto reforça a eficiência e importância do emprego dessas técnicas no processo de planejamento e gestão dos recursos hídricos.

A metodologia aplicada neste estudo resultou em produtos úteis para o desenvolvimento de análises mais aprofundadas da bacia, a exemplo de estudos morfométricos, que significam o aumento de parâmetros a serem utilizados na delimitação de planos e programas de monitoramento da bacia.

Na presente pesquisa foi utilizado um modelo digital do terreno com células de 20 x 20 metros, talvez a geração de um MDT com uma resolução maior (10 x 10m ou 15 x 15 m) possa trazer melhores resultados, principalmente para drenagens de primeira ordem, que possuem geralmente menores comprimentos.

Paralelamente ao aumento da resolução do MDT podemos inserir mais pontos de exutório nas confluências dos tributários, representando em um ganho na acurácia da delimitação automática.

## 7 – REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BARBOSA, Felipe L. R., et al. *Delimitação de ottobacias a partir de modelo digital de elevação hidrologicamente consistente para a bacia do Verde Grande*. Anais XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Florianópolis, Brasil, 2007.

BAUER, C.E. *Environmental Management of Water Basins*. Apud TUNDISI, J.G. *Limnologia e Manejo de Represas*. USP, ACIESP, FAPESP, UNEP, São Paulo. 1988.

BAENA, Luiz G. SILVA, Demetrius D. da. PRUSKI, Fernando F. CALIJURI, Maria L. *Regionalização de vazões com base em modelo digital de elevação para a bacia do rio Paraíba do Sul*. In: Revista Eng. Agríc., Jaboticabal, v.24, n.3, p.612-624, set./dez. 2004

BRASIL. Lei nº 9.433, de 08 de janeiro de 1997 (Política Nacional de Recursos Hídricos).

\_\_\_\_\_, Ministério do Meio Ambiente. *Plano Diretor de Recursos Hídricos da Bacia do Rio Paracatu*. Brasília: PLANPAR, 1996. v.1, t.1. CD-ROM.

\_\_\_\_\_, CPRM, Embrapa Cerrados e Embrapa Solos. *Zoneamento ecológico-econômico da região integrada de desenvolvimento do Distrito Federal e entorno: fase I - Rio de Janeiro*, 2003. CD-ROM.

CORDEIRO NETTO, O. M., BALTAR, A.M. PIMENTEL, C.E.B. *Crítérios para outorga de uso da água para irrigação: o caso da bacia do rio Preto no Distrito Federal*. Anais do I Simpósio de Recursos Hídricos do Centro Oeste, Brasília, Brasil.

CHRISTOFOLETTI, Antônio. *Geomorfologia*. 2ª Edição. São Paulo, Edgard Blücher, 1980.

GARBRECHT, J.; MARTZ, L. W. *Digital elevation model issues in water resources modeling*. In: *Annual Esri Users Conference*, 1999, California. Proceedings... California: ESRI, 1999.



GISWR– GIS WATER RESOURCES CONSORTIUM. *ArcGIS Hydro Data Model*. Austin, Center for Research in Water Resources, University of Texas, 2006.

IESA – Internacional de Engenharia S.A. & CEMIG – Companhia Energética de Minas Gerais. *UHE – Queimado – Estudo de viabilidade: Relatório Final*. Estudo de Impacto Ambiental, v.3. Belo Horizonte, Minas Gerais, 1993.

IPDF. Plano Diretor de Ordenamento Territorial e Urbano do Distrito Federal – PDOT. Instituto de Planejamento Territorial e Urbano do Distrito Federal, Brasília, Brasil, 1997.

MALDANER, Vandete Inês. *Análise dos conflitos do uso da água na bacia hidrográfica do rio Preto no DF*. Dissertação de Mestrado. Universidade Católica de Brasília, 2003.

MARTINS, Éder de S. REATTO, Adriana. CARVALHO Jr., Osmar A. de. GUIMARÃES, Renato F. *Ecologia de paisagem: conceitos e aplicações potenciais no Brasil*. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2004.

SADF. *Projeto de aproveitamento hidroagrícola da bacia do rio Preto no Distrito federal*. Secretaria de Agricultura do Distrito Federal, Brasília, Brasil, 2000.

SCHIER, Raul Alfredo. *Trajatórias do conceito de paisagem na Geografia*. In: Revista RA'E GA, Curitiba n.7, p.79-85. Editora UFPR, 2003.

SILVA, Alexandre M., HERPIN, Uwe, MARTINELLI, Luiz Antônio. *Morphometric characteristics of seven meso-scale river basins in state of São Paulo (southeastern Brazil)*. In: Revista Caminhos da Geografia 3 (17) 20-30, fev/2006.

SILVA, Paulo Afonso. *Classificação e codificação das bacias hidrográficas brasileiras segundo o método pfafstetter, com uso de geoprocessamento*. In: II encuentro de las águas. Montevideo, Uruguay, 1999. (Painel apresentado. Disponível em <http://www.iica.org.uy/16-6-pan1-pon10.htm>).

SILVEIRA, André L.L. *Ciclo Hidrológico e bacia hidrográfica*. In: TUCCI, Carlos E. M.(org). *Hidrologia: Ciência e Aplicação*. Editora UFRGS, 1997.

SETTI, Arnaldo A., LIMA, Jorge E. F. W., CHAVES, Adriana G. de M., PEREIRA, Isabella de C. *Introdução ao gerenciamento de recursos hídricos*. 2ª Edição. Brasília: Agência Nacional de Energia Elétrica, Superintendência de Estudos e Informações Hidrológicas, 2000.

SOUZA, Antônio F. E. *Sabesp ensina\Colegial e Técnico\Ecologia da paisagem*. [www.sabesp.com.br/CalandraWeb/CalandraRedirect/?temp=4&proj=sabesp&pub=T&db=&docid=61D9FB7D1499EFFC832572F000618912](http://www.sabesp.com.br/CalandraWeb/CalandraRedirect/?temp=4&proj=sabesp&pub=T&db=&docid=61D9FB7D1499EFFC832572F000618912). Acessado em Janeiro de 2007.

TARBOTON, D. G. *A New Method for the Determination of Flow Directions and Upslope Areas in Grid Digital Elevation Models*. *Water Resources Research*, v.33, p.309-319,1997.

\_\_\_\_\_, *Terrain analysis using digital elevation models (TauDEM)*. Disponível em: [www.engineering.usu.edu/dtarb](http://www.engineering.usu.edu/dtarb). Acessado em julho, 2002.