



UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA – UnB  
INSTITUTO DE CIÊNCIAS HUMANAS – IH  
DEPARTAMENTO DE GEOGRAFIA – GEA  
MESTRADO EM GEOGRAFIA

**MAPEAMENTO GEOMORFOLÓGICO DA BACIA DO RIO PRETO E SUA  
RELAÇÃO COM O USO AGRÍCOLA**

**Maria Elisabete Silveira Borges**

**Orientador:** Osmar Abílio de Carvalho Júnior

Dissertação de Mestrado

Brasília, Março de 2008.

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA - UnB  
INSTITUTO DE CIÊNCIAS HUMANAS – IH  
DEPARTAMENTO DE GEOGRAFIA – GEA  
MESTRADO EM GEOGRAFIA

**MAPEAMENTO GEOMORFOLÓGICO DA BACIA DO RIO PRETO E SUA  
RELAÇÃO COM O USO AGRÍCOLA**

Maria Elisabete Silveira Borges

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

Aprovado por

---

Prof. Dr. Osmar Abílio de Carvalho Júnior – Universidade de Brasília  
Orientador

---

Prof. Dr. Éder Martins de Souza – EMBRAPA Cerrados  
Examinador Externo

---

Dr. Lineu Neiva Rodrigues - EMBRAPA Cerrados  
Examinador Externo

Brasília, Março de 2008.

[Ficha Catalográfica]

BORGES, Maria Elisabete Silveira.

Mapeamento geomorfológico da Bacia do Rio Preto e a sua relação com uso agrícola (UnB-IH-Dep. Geografia, mestre, Gestão Ambiental e Territorial, 2008).

Dissertação de Mestrado – Universidade de Brasília, Departamento de Geografia

- |                     |                             |
|---------------------|-----------------------------|
| 1. Paisagem         | 2. Morfometria              |
| 3. Geoprocessamento | 4. Unidades Geomorfológicas |
| 5. Pivô Central     |                             |

- |                  |                    |
|------------------|--------------------|
| I. UnB-Geografia | II. Título (série) |
|------------------|--------------------|

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 da autora.

*Maria Elisabete Silveira Borges*

Dedico a minha mãe, ao meu pai (*in memoriam*),  
aos meus irmãos e ao meu namorado.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço, primeiramente, a Deus. Depois a minha família, minha mãe Maria do Carmo, minha irmã Maria de Fátima e meu irmão João Paulo e ao meu namorado Carlos Eduardo que me ajudaram em mais essa etapa.

Aos colegas do LSIE/UnB, em especial a Verônica e ao Sandro pela paciência e ajuda na elaboração desta dissertação; a Miriam, ao Marcus Fábio, ao Frederico, ao Daniel, ao Vinícius, ao Felipe e aos demais colegas do laboratório.

Ao professor Orientador Osmar Abílio de Carvalho Júnior e ao professor Éder de Souza Martins que ajudaram bastante no desenvolvimento desta dissertação.

Aos professores Roberto Arnaldo Trancoso Gomes e Renato Fontes Guimarães que também contribuíram com esta dissertação.

E também aos demais colegas do mestrado e ao Departamento de Geografia que de alguma forma contribuíram para este trabalho.

## RESUMO

A geomorfologia ajuda a compreender a evolução dos processos que formaram as paisagens terrestres. Estudos sobre geomorfologia se tornam cada vez mais importantes por ser um fator essencial no estudo de paisagens. O estudo do relevo pode ser feito utilizando os Modelos Digitais de Terreno (MDT) e o Sistema de Informação Geográfica (SIG), os quais auxiliam na compreensão das relações geográficas na visualização, pesquisa e modelagem dos dados espaciais. Os atributos de terreno derivados do SIG possibilitam estabelecer variáveis, composições e critérios sobre os padrões espaciais de acordo com a organização da paisagem. Desta maneira, o mapeamento geomorfométrico permite representar as unidades geomorfológicas por atributos numéricos e pela sua distribuição espacial. O relevo é um fator importante a ser observado na implementação de pivôs centrais. Na bacia do Rio Preto existem vários pivôs, principalmente na área de planaltos. O presente trabalho tem como objetivo mapear as unidades geomorfológicas na bacia do Rio Preto, utilizando critérios de geomorfometria e relacioná-las com as áreas utilizadas para irrigação por meio de pivôs centrais. A metodologia consiste dos seguintes passos: (a) elaboração do MDT a partir dos mapas topográficos (escala de 1:100.000) em formato digital, (b) geração de mapas morfométricos (declividade, direção de fluxo e fluxo acumulado), (c) processamento de imagens digitais morfométricas como composição colorida e manipulação de contraste, (d) análise do histograma de frequência dos atributos de terreno, (e) definição das classes baseadas no critério da geomorfometria, fatiando o domínio de cada atributo em intervalos definidos, (f) transformação dos dados da imagem de número digital para reflectância (calibração); (g) validação das unidades e subunidades pela análise visual de imagem Landsat; (h) quantificação das áreas ocupadas pelos pivôs centrais na bacia; (i) cruzamento dos pivôs com as unidades e subunidades geomorfológicas; (j) classificação qualitativa das áreas dos pivôs. A paisagem foi dividida em cinco unidades geomorfológicas e suas respectivas subunidades: Planalto (Topos, Vales Intraplanálticos); Planalto Dissecado (Silicáticos, Cársticos); Cristas de Unai (Serras, Depressões); Terraços (Superior, Inferior); Planície Fluvial. Ao analisar a localização dos pivôs centrais com as unidades geomorfológicas e os solos percebe-se que os pivôs prevalecem nas unidades Planaltos e Terraços. Isto se justifica por serem áreas mais planas em relação às demais unidades. Em relação ao tamanho das áreas ocupadas, predominam os pivôs com áreas médias e grandes. Constata-se a maior ocorrência dos pivôs em relação aos Latossolos e Cambissolos em relevos planos.

Palavras Chave – paisagem, morfometria, geoprocessamento, unidades geomorfológicas, pivô central.

## ABSTRACT

Geomorphology helps to understand the evolution of process that formed the earth landscapes. Researches about geomorphology become increasingly important because it's an essential factor in landscape study. The relief study can be done using Digital Elevation Model (DEM) and Geographical Information System (GIS) which help in understanding of geographical relation, visualization, researching, and space data modeling. The GIS-derived terrain attributes allow to determinate variables, compositions and criteria about spatial patterns according to landscape organization. Thus, Geomorphometric mapping allow to represent the geomorphologic units by numerical attributes and by their spatial distribution. The relief is a important factor to be observed in implementation of center pivot. There are many central pivots in the Rio Preto basin, especially in plateau. This paper aims mapping geomorphologic units in the basin of the Preto River, using geomorphometric criteria and relates it with the areas used for irrigation by the central pivots method. The methodology consists of the following steps: (a) digital elevation model (DEM) elaboration from topographical maps (1:100.000 scale) in digital format; (b) morphometric maps generation (slope, flow direction and contributing area); (c) digital morphometric image processing like color composition and contrast manipulation; (d) histogram frequency analysis of terrain attributes; (e) class definition based on geomorphometric criteria, slicing the domain of each attribute in related intervals; (f) image data transformation to digital number to reflectance (calibration); (g) unit and subunit validation by visual analysis of Landsat image; (h) quantification of irrigated area occupied by central pivots in the basin; (i) overlap the irrigated area with the geomorphologic units and subunits; (j) qualitative classification of pivots irrigated area. The landscape was decomposed in five geomorphologic units and their respective subunits: Plateau (Tops, Intraplateau Valleys); Dissected Plateau (Silicatic, Karstic); Unai Crests (Mountain Ranges, Depressions); Terraces (Upper, Lower); Alluvial Plain. In parsing the location of central pivots with geomorphological units and the soils it's possible to realize that pivots prevail at Plateau and Terraces units. This is justified because they are more plane units in relation to the others. In relation to the occupied size areas, the medium and large pivot areas dominate. There is a higher occurrence of pivots in relation to Latossolos and Cambisolos in relief plans.

Keywords – landscape, morphometry, geoprocessing, geomorphologic units, central pivot.

## SUMÁRIO

RESUMO .....	vi
ABSTRACT .....	vii
LISTA DE FIGURAS .....	ix
LISTA DE TABELAS .....	xi
LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS .....	xii
CAPITULO I - INTRODUÇÃO .....	1
CAPITULO II - ÁREA DE ESTUDO .....	4
CAPITULO III - COMPARTIMENTAÇÃO GEOMORFOLÓGICA .....	8
3.1 Geomorfologia Cárstica.....	11
3.2 Compartimentação Geomorfológica da Bacia do Rio Preto .....	14
3.3 Metodologia.....	14
3.4 Confeção do Modelo Digital de Terreno e dos Atributos de Terreno .....	15
3.5 Processamento Digital das Imagens Morfométricas .....	20
3.6 Resultados.....	21
3.6.1 PLANALTO .....	28
3.6.2 PLANALTO DISSECADO.....	30
3.6.3 CRISTAS DE UNAÍ .....	32
3.6.4 TERRAÇOS .....	34
3.6.5 PLANÍCIE FLUVIAL.....	36
CAPITULO IV – RELAÇÃO DOS COMPARTIMENTOS GEOMORFOLÓGICOS COM O USO AGRÍCOLA NA BACIA DO RIO PRETO .....	38
4.1 Uso do solo na Bacia do Rio Preto.....	39
4.2 Metodologia.....	42
4.3 Resultados.....	44
4.4 Análise espacial dos pivôs na bacia do Rio Preto .....	53
CAPITULO V - CONCLUSÕES.....	62
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	64

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Localização da bacia do Rio Preto.....	6
Figura 2. Mapa geológico da bacia do Rio Preto (adaptado de Bizzi <i>et al.</i> , 2001).....	7
Figura 3. Modelo Digital de Terreno da bacia do Rio Preto.....	16
Figura 4. Direção de Fluxo da bacia do Rio Preto.....	17
Figura 5. Declividade da bacia do Rio Preto.....	18
Figura 6. Área de Contribuição da bacia do Rio Preto.....	19
Figura 7. Representação do cubo referente ao espaço das cores RGB.....	20
Figura 8. Composição colorida (RGB): MDT, declividade e área de contribuição.....	22
Figura 9. Imagem Landsat 2003, composição RGB 4,5,3.....	23
Figura 10. Análise da frequência de ocorrência das altitudes das unidades geomorfológicas.....	24
Figura 11. Compartimentação geomorfológica em primeiro nível hierárquico da bacia do Rio Preto.....	26
Figura 12. Compartimentação geomorfológica em segundo nível hierárquico da bacia do Rio Preto.....	27
Figura 13. MDT e perfil topográfico da unidade geomorfológica Planalto.....	29
Figura 14. MDT e perfil topográfico da unidade geomorfológica Planalto Dissecado.....	31
Figura 15. MDT e perfil topográfico da unidade geomorfológica Cristas de Unai.....	33
Figura 16. MDT e perfil topográfico da unidade geomorfológica Terraços.....	35
Figura 17. MDT e perfil topográfico da unidade geomorfológica Planície Fluvial.....	37
Figura 18. Municípios que pertencem à bacia do Rio Preto.....	40
Figura 19. Imagem Landsat 2003, na composição RGB 4,5,3 utilizada para a identificação dos pivôs centrais.....	41

Figura 20. Localização dos pivôs centrais na bacia do Rio Preto .....	43
Figura 21. Localização dos pivôs em relação às unidades geomorfológicas .....	45
Figura 22. Perfil Topográfico da unidade Planalto.....	46
Figura 23. Perfil topográfico da unidade Terraços .....	47
Figura 24. Localização dos pivôs em relação às subunidades geomorfológicas.....	49
Figura 25. Ocorrência dos pivôs em relação às classes de solos.....	50
Figura 26. Mapa de solos da bacia do Rio Preto .....	51
Figura 27. Porcentagem de classes qualitativas na bacia do Rio Preto.....	55
Figura 28. Porcentagem de classes qualitativas nas unidades geomorfológicas .....	57
Figura 29. Classificação qualitativa em relação ao tamanho da área do pivô predominante em cada compartimento do relevo.....	58
Figura 30. Porcentagem de classes qualitativas nas subunidades geomorfológicas.....	60
Figura 31. Classificação qualitativa em relação ao tamanho da área do pivô predominante em cada subunidade do relevo.....	61

## **LISTA DE TABELAS**

Tabela 1. Análise estatística das altitudes das unidades e subunidades geomorfológicas .....	24
Tabela 2. Valores de referência para a construção dos orçamentos (Ano Base: 2006).....	54
Tabela 3. Custo aproximado de implementação dos pivôs centrais a partir das diferentes classes de área e classificação qualitativa do tamanho das áreas dos pivôs centrais da bacia do Rio Preto.....	54
Tabela 4. Porcentagem das classes qualitativas nas unidades geomorfológicas .....	56
Tabela 5. Porcentagem das classes qualitativas nas subunidades geomorfológicas.....	59

## **LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS**

CODEVASF: Companhia de Desenvolvimento dos Vales do São Francisco e do Parnaíba

DSG: Diretoria do Serviço Geográfico do Exército

EMBRAPA: Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária

ENVI: *Environment for Visualizing Images*

IBGE: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

MODIS: *Imaging Spectroradiometer Resolution System*

MDT: Modelo Digital de Terreno

PLANPAR: Plano Diretor de Recursos Hídricos da Bacia do Rio Paracatu

# CAPITULO I

## INTRODUÇÃO

O estudo da geomorfologia por ajudar a compreender a evolução espaço-temporal dos processos que formaram o modelado terrestre permite a identificação das fragilidades e o conhecimento das potencialidades de um determinado sistema ambiental. A análise da geomorfologia constitui-se, portanto, em um aspecto fundamental no processo de ocupação do espaço, porque permite que o uso do solo seja feito com planejamento, no qual são avaliados os impactos ao meio ambiente, delineando os procedimentos a serem adotados preventivamente para minimizar ou evitar os impactos ao meio ambiente.

Desta maneira, o conhecimento geomorfológico insere-se no diagnóstico das condições ambientais, contribuindo para orientar a alocação e o assentamento das atividades humanas (Christofolletti, 2001). Dentro desse contexto, a compartimentação geomorfológica nos fornece uma visão integrada do meio físico, pois considera as variáveis responsáveis pela estrutura resultante da paisagem “visando à organização de um esboço geomorfológico e estabelecendo uma síntese da compartimentação e seus reflexos na ocupação do solo” (Casseti, 1981).

O estudo da geomorfologia pode ser feito utilizando a análise geográfica e estatística que permite estabelecer critérios para a identificação, comparação e classificação das unidades geomorfológicas. Essas análises são feitas a partir da utilização do Sistema de Informação Geográfica (SIG) e do emprego do processamento digital de imagens morfométricas.

O uso do Sistema de Informação Geográfica (SIG) facilita a tarefa de integração e espacialização dos dados e possibilita a redução da subjetividade na análise e nos resultados em alguns trabalhos, como por exemplo, o estudo do relevo por meio da compartimentação geomorfológica. Além disso, é possível fazer a interação das diferentes entidades do meio físico com objetivo de subsidiar as análises de padrões da paisagem em certos níveis de relação, simplificação, generalização e abstração.

O Sistema de Informações Geográficas auxilia no estabelecimento dos critérios e atributos que descrevem a complexidade das superfícies, é uma importante ferramenta

utilizada no planejamento do uso do solo. O SIG pode ser utilizado com outras ferramentas, como, por exemplo, o processamento digital de imagens, para a obtenção da compartimentação geomorfológica, uma vez que esse permite realçar e fazer a análise estatística das feições do relevo, o que conseqüentemente, possibilita a compartimentação. Portanto, o uso do SIG junto com o processamento digital de imagens morfométricas constitui um instrumento adequado para o estudo ambiental, pois fornece uma visão integrada da paisagem dentro de um ambiente computacional.

Alguns autores, como Leal *et al.* (2003); Hermuche *et al.* (2002, 2003ab), Panquestor *et al.* (2002), Oliveira *et al.* (2005), Borges *et al.* (2005) utilizaram o Sistema de Informações Geográficas junto com o processamento digital de imagens morfométricas como instrumento na obtenção da compartimentação geomorfológica e pedológica para áreas localizadas no Brasil Central.

Dessa maneira, a compartimentação geomorfológica, feita a partir da utilização da modelagem computacional, auxilia no diagnóstico ambiental e nos estudos de realocação das atividades humanas, além de reduzir à subjetividade nos procedimentos adotados e permitir à realização de um estudo qualitativo e quantitativo do uso dado a uma determinada área.

O auxílio no diagnóstico ambiental e nos estudos de realocação das atividades humanas é possível porque na compartimentação geomorfológica são usados o Modelo Digital de Terreno (MDT) e seus mapas derivados Declividade, Área de Contribuição e Direção de Fluxo que analisam a declividade, a área drenada a montante de cada *pixel* e a direção do fluxo, respectivamente.

Assim, o estudo do relevo é importante para o planejamento da ocupação do solo. Na bacia do rio Preto, o uso predominante é a agropecuária. Observa-se grande utilização de áreas com irrigação por pivô central. Este tipo de irrigação demanda quantidades grandes de água, que pode gerar conflitos com o uso da água.

O uso intensivo da irrigação na região está associado a incerteza em relação a oferta hídrica. Uma das tecnologias de irrigação mais utilizadas é o pivô central. Este sistema possibilita irrigar uma grande área com elevada eficiência. A sua instalação em campo, entretanto, requer elevados investimentos, sendo necessário, para reduzir os custos, identificar as características físicas da área.

Uma maneira de identificar os pivôs centrais é utilizar o sensoriamento remoto. O uso do sensoriamento remoto no estudo e monitoramento de bacias hidrográficas tem se mostrado uma ferramenta adequada, por permitir uma rápida identificação do uso desenvolvido na bacia. Por meio das imagens de satélite é possível fazer o planejamento do uso agrícola, identificando as áreas agrícolas e também ajudar na indicação de novas áreas pra agricultura.

Os pivôs centrais são facilmente identificados nas imagens de satélites, sendo possível também, identificar o crescimento da utilização dessa técnica ao longo dos anos usando a análise multitemporal. Os estudos sobre os pivôs são importantes para o planejamento e gestão sustentável dos recursos hídricos e gerir a bacia de forma sustentável.

Neste contexto, o presente trabalho tem como objetivo estabelecer as unidades geomorfológicas na Bacia do rio Preto, utilizando o processamento digital de dados morfométricos e relacionar as unidades geomorfológicas com o uso agrícola.

Os objetivos específicos são:

- Delimitar as unidades geomorfológicas na bacia;
- Estudar a espacialização dos pivôs centrais na bacia em relação as unidades geomorfológicas;
- Quantificação da área irrigada por pivô central;
- Relacionar os pivôs centrais com as características ambientais das unidades geomorfológicas;
- Análise espacial dos pivôs, de forma qualitativa, na bacia do rio Preto.

## CAPITULO II

### ÁREA DE ESTUDO

A bacia do rio Preto localiza-se a leste do Distrito Federal, na fronteira com os Estados do Goiás e de Minas Gerais. É uma das principais sub-bacias do rio São Francisco (**Figura 1**). O rio Preto nasce no município de Formosa (GO), é um dos principais rios afluentes da bacia do rio Paracatu. Na bacia do rio Preto predomina a atividade agropecuária, com uso intensivo dos recursos hídricos em sistemas de irrigação de grande porte, sendo hoje, uma das principais produtoras de grãos e hortaliças para o DF e entorno.

Quanto à geologia, a área é constituída pela Formação Vazante - composta por filitos, ardósias, quartzitos, metassiltitos, raros calcários e abundantes dolomitos (Schobbenhaus, 1984); Grupo Canastra - composto basicamente por sericita xisto, quartzo-sericita xisto, calcita-clorita-sericita xisto e quartzo-sericita-clorita xisto; Grupo Paranoá - a área em estudo abrange a unidade Rítmica Quartzítica Intermediária formada por quartzitos finos a muito finos, feldspáticos friáveis, que evoluem, para o topo, para uma alternância de laminações siltico-argilosas, metassiltito e metargilitos com intercalações de quartzitos finos a médios classificados como ritmitos; Sub-Grupo Paraopeba (pertencente ao Grupo Bambuí) - constituído por siltitos e argilitos de coloração cinza-esverdeada a avermelhado, às vezes calcíferos, lentes de calcário e intercalações de arenito arroxeadado; e os depósitos da era Cenozóica que é formado pela cobertura detrito-lateríticas dos períodos Terciário-Quaternário (Scislewski *et al.*, 2003). Na região de Formosa-Cabeceiras-Unaí ocorre fácies carbonatas na parte superior do Grupo Paranoá (Schobbenhaus, 1984) (**Figura 2**).

As classes de solos predominantes na área são os Latossolos, Argissolos, Neossolos e Cambissolos (EMBRAPA, 1999). A ocorrência das feições cársticas principais ocorrem nas áreas dissecadas, sobre a Formação Vazante, próximo ao Grupo Canastra e os solos que estão presentes nessas feições são principalmente os Cambissolos, os Neossolos Litólicos e Latossolos Vermelhos.

A geomorfologia presente na bacia do rio Preto apresenta as seguintes unidades (PLANPAR, 1998): Planalto do São Francisco, Cristas de Unaí e Depressão Sanfranciscana. Os planaltos são representados por superfícies tabalures ou chapadas. As cristas são alinhamentos orientados na direção NNW-SSE, entre as quais se intercalam zonas rebaixadas e aplainadas. Ao longo das cristas, existem formas cársticas típicas. A Depressão

Sanfranciscana é uma área rebaixada e aplainada com cotas variando entre 400m e 600m. A área de estudo engloba paisagens cársticas que possuem características próprias com relação aos fatores ambientais com um sistema hídrico predominantemente vertical e subterrâneo (criptorréica) com formação de cavernas (Bigarella, 1996).

A área apresenta clima tropical, onde as variações térmicas são pequenas, com o regime pluviométrico caracterizado por máximos no verão e mínimos no inverno. Apresentam totais anuais de precipitação decrescendo de 1600 mm a 1000 mm, no sentido oeste-leste e chuvas concentradas nos meses de outubro a abril (PLANPAR, 1998). A vegetação natural na área da bacia é o Cerrado, apresentando-se em feições típicas, como campos limpos, veredas, cerradões e matas ciliares.

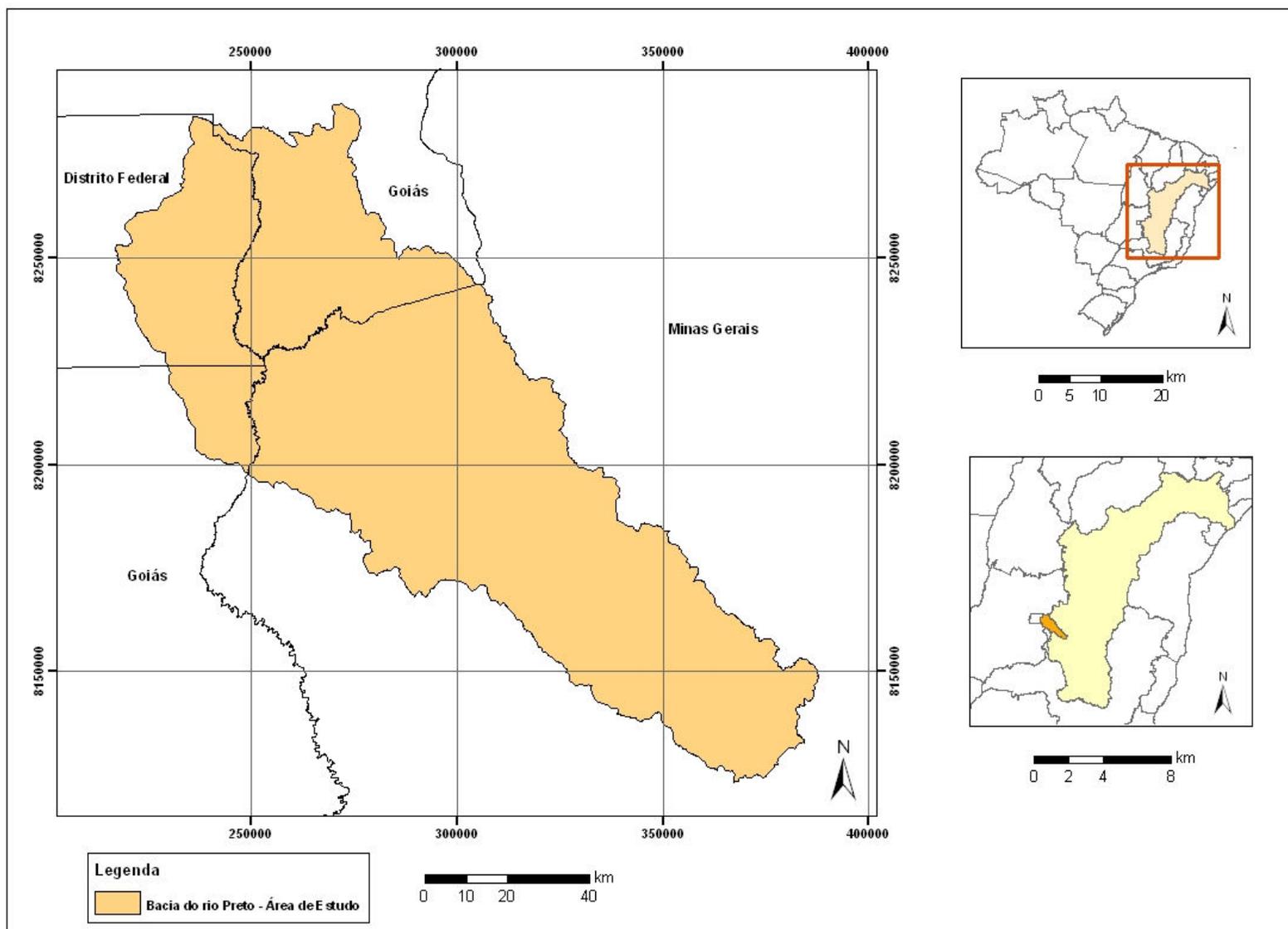


Figura 1. Localização da bacia do Rio Preto

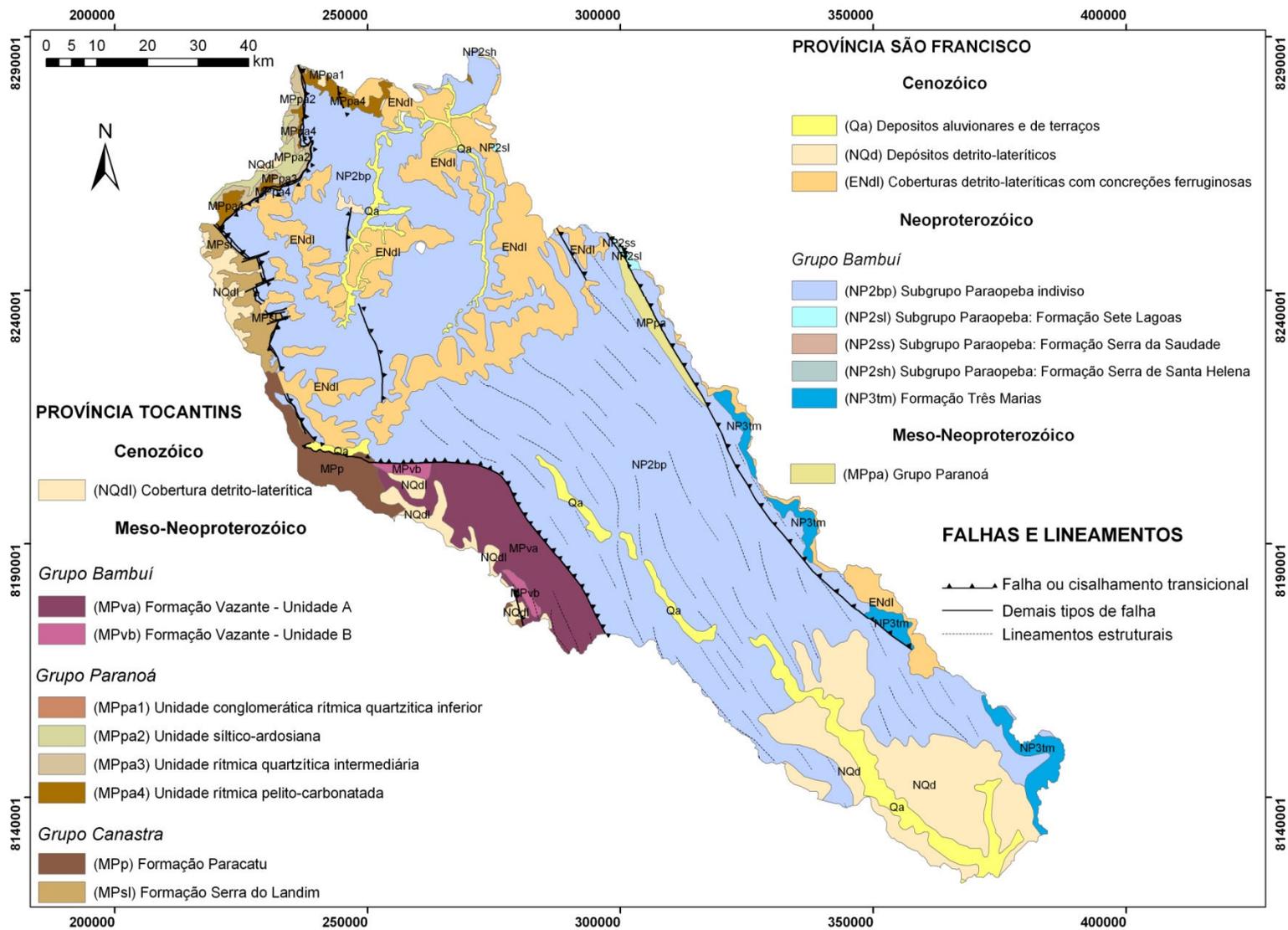


Figura 2. Mapa geológico da bacia do Rio Preto (adaptado de Bizzi *et al.*, 2001)

### **CAPITULO III**

## **COMPARTIMENTAÇÃO GEOMORFOLÓGICA**

O Homem durante sua evolução sempre manteve uma relação com o relevo, mas com atenção, importância e aplicabilidade diferenciadas (Marques, 2001). O conhecimento sobre o relevo aumentava à medida que suas necessidades cresciam, como por exemplo, a utilização cada vez maior do solo para moradias, agricultura, pecuária, dentre outras. Com a capacidade de raciocínio humano e suas observações tornou-se possível estabelecer relações entre as formas do relevo e seus processos geradores (Marques, 2001).

Entretanto, o conhecimento sobre o relevo não se restringiu, apenas, a procurar conhecer tipos de relevo e os processos a eles relacionados. Ao longo dos anos, a humanidade tem procurado buscar respostas para questões relacionadas aos processos formadores do relevo, evolução e o significado do mesmo no contexto ambiental (Marques, 2001).

Percebe-se que ao longo do tempo o estudo do relevo tornou-se fundamental no processo de ocupação do espaço. Para Ab'Saber (1969) o estudo integral do relevo deve ser realizado considerando-se três níveis de abordagens, individualizando, assim, o campo de estudo da geomorfologia em: compartimentação morfológica, estrutura superficial e fisiologia da paisagem.

A compartimentação morfológica compreende a individualização geográfica da área de estudo e o domínio de formas em cada compartimento identificado, presumindo-se assim, uma análise horizontal. São realizadas observações sobre os diferentes níveis topográficos e características morfológicas com a relação direta com a ocupação.

O levantamento e a análise da estrutura superficial pressupõem o entendimento da evolução do relevo considerando-se os diferentes níveis altimétricos e as respectivas posições dos depósitos correlativos. Já a fisiologia da paisagem compreende a ação dos processos morfodinâmicos por meio da dinâmica climática atual, momento em que o homem atua como modificador devido suas ações diretas e indiretas, como por exemplo, a retirada da vegetação. Assim, a fisiologia da paisagem considera o caráter social no estudo da geomorfologia (Steinke, 2003).

O estudo do relevo feito a partir da compartimentação geomorfológica permite analisar os aspectos mencionados que são a individualização geográfica da área de estudo e o domínio de formas em cada compartimento identificado; o entendimento da evolução do relevo e a compreensão da ação dos processos morfodinâmicos por meio da dinâmica climática atual, momento em que o homem atua como modificador da paisagem. Dessa maneira, segundo Novaes Pinto (1993) deve-se também buscar estabelecer relações dos fatores naturais e antrópicos ao longo do tempo que originam uma nova paisagem ou uma modificação daquela preexistente.

A compartimentação geomorfológica também pode ser feita usando técnicas de geoprocessamento aliada com técnicas de processamento digital de imagens morfométricas. As técnicas de análise do espaço, introduzidas com o geoprocessamento, foram desenvolvidas no sentido de facilitar a tarefa de integração e espacialização dos dados, especialmente quando eles têm diferentes fontes e tipos. Estas técnicas permitem reduzir a subjetividade nos procedimentos de análise, além de possibilidade de se obter um trabalho qualitativo e quantitativo da paisagem a partir de modelos distribuídos (Leal *et al.*, 2003).

Percebe-se o aumento de trabalhos que fazem à análise morfométrica em ambiente computacional utilizando o Sistema de Informação Geográfica (SIG). Esse método é amplamente utilizado na caracterização dos processos hidrológicos e geomorfológicos (Moore *et al.*, 1991; Schimidt and Dikau, 1998). No entanto, é difícil estabelecer um arranjo que descreva toda a complexidade das superfícies o que proporciona o desenvolvimento de inúmeros métodos para sua descrição e análise (Evans, 1984; Evans and McClean, 1995).

Alguns autores fizeram trabalhos sobre compartimentação geomorfológica usando técnicas de geoprocessamento aliada a técnicas de processamento digital de imagens morfométricas para várias regiões do Brasil. Os trabalhos desenvolvidos por Leal *et al.*, (2003); Hermuche *et al.*, (2002, 2003ab); Panquestor *et al.*, (2002); Oliveira *et al.*; (2005) e Borges *et al.* (2005), são exemplos da utilização destas metodologias.

O trabalho desenvolvido por Leal *et al.* (2003), teve como objetivo desenvolver uma metodologia para identificar as unidades geomorfológicas a partir da morfometria na bacia do Rio Grande (BA) para subsidiar a estruturação da paisagem. Foram definidas cinco unidades para a bacia do Rio Grande, cujos nomes são Chapadas, Patamares, Depressões, Serras e Tabuleiros. O mapa obtido foi comparado com o mapa geomorfológico feito pelo IBGE

(Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística) que é baseado em dados climáticos e de solos. De acordo com os autores (op. cit), a classificação do relevo obtida pela análise dos dados morfométricos e de suas estatísticas demonstrou ser mais eficiente quando comparado aos estudos feito pelo IBGE, uma vez que permitiu um estudo mais detalhado do relevo.

Os trabalhos desenvolvidos por Hermuche *et al.* (2002 e 2003b) utilizam à análise morfométrica para subsidiar o mapeamento pedológico na bacia do rio Jardim (DF), de forma a orientar o trabalho de campo tornando o levantamento mais rápido, preciso e com menores custos. O mapa obtido apresenta as seguintes classes pedológicas: Latossolo Vermelho-Amarelo, Cambissolo, Latossolo Vermelho-Escuro 1 e Latossolo Vermelho-Escuro 2. O mapa apresentou semelhanças em relação ao mapa feito pela EMBRAPA (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária). Mas na compartimentação pedológica não foi possível distinguir os solos hidromórficos e podzólicos. Também foi estudada a relação dos solos com a hipsometria, na qual pode constar que os tipos de solos estão diretamente ligados ao relevo.

Hermuche *et al.* (2003a) fizeram a compartimentação geomorfológica da bacia do rio Paranã (GO, TO), utilizando o SIG e o processamento digital de imagens morfométricas e compararam as quatro unidades (A, B, C e D) obtidas com o RADAMBRASIL e com a imagem de satélite do sensor MODIS (*Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer*). A comparação da compartimentação geomorfológica com o mapa do RADAMBRASIL apresentou duas vantagens e uma desvantagem. Uma vantagem foi em relação ao limite das unidades, que foram delimitadas com precisão, a outra foi à definição de uma nova unidade relativa ao processo de evolução de dissecação fluvial de aprofundamento. A desvantagem foi que o mapa da compartimentação geomorfológica não individualizou a unidade referente aos terrenos calcários. O mapa da compartimentação quando comparado com a imagem MODIS indicou a localização dos terrenos calcários a partir da diferença da vegetação, que coincidiu seus limites, em grande parte, com os limites da unidade cárstica. A compartimentação geomorfológica da bacia do rio Paranã, é um importante instrumento de análise da paisagem, identificando em escala regional, as unidades geomorfológicas que ocorrem na bacia.

Panquestor *et al.* (2002) fez a compartimentação geomorfológica da bacia do rio Corrente (BA), para posterior definição de critérios de utilização da área conforme a dinâmica natural. Nesse trabalho, foi utilizado o SIG e o processamento digital de imagens morfométricas e, a partir dessa metodologia, foram definidas três unidades geomorfológicas: Chapada, Patamares e Depressão. O resultado obtido foi comparado com o mapa

geomorfológico do RADAMBRASIL. Verificou-se que há concordância entre as áreas definidas pela compartimentação e mapa do RADAMBRASIL. De acordo com os autores a metodologia utilizada permitiu uma coerente compartimentação da paisagem segundo o relevo, o que torna possível a utilização do trabalho para a elaboração dos critérios de utilização da bacia do rio Corrente.

Oliveira *et al.* (2005) utilizou o SIG e o processamento digital de imagens morfométricas com o objetivo de confeccionar mapas pedológicos preliminares da bacia hidrográfica do Ribeirão Pedreira a partir de dados morfométricos e comparar com os resultados obtidos com mapeamentos pedológicos anteriores, produtos de metodologias tradicionais. A compartimentação pedológica obtida é composta por cinco classes de solo: Latossolo Vermelho, Latossolo Vermelho-Amarelo, Cambissolo, Argissolos e Nitossolos. O mapa pedológico produzido tem semelhanças com o mapa feito pela EMBRAPA com a exceção da classe Argissolos. Há também diferença entre as escalas dos mapas, o confeccionado está na escala de 1:10.000 e o da EMBRAPA na escala de 1:100.000. Foi constatado também que há relação com as classes de solo com a geomorfologia e que esta técnica pode ser usada para o mapeamento pedológico preliminar de bacias hidrográficas.

Borges *et al.* (2005), também utilizou o geoprocessamento junto com as técnicas de processamento digital de imagens para propor a compartimentação geomorfológica da bacia do Rio Paracatu, abrangendo o alto e médio Rio Paracatu. Neste trabalho foram definidas quatro unidades: Planaltos Retocados, Superfície de Dissolução Superior, Superfície de Dissolução Inferior, e Superfície de Acumulação. A metodologia utilizada possibilitou a análise da paisagem relacionando as formas do relevo, com a geologia, pedologia e as relações de fluxo, o que permitiu uma caracterização melhor da paisagem cárstica.

A compartimentação geomorfológica feita com técnicas de SIG e do processamento digital de imagens morfométricas permite descrever a complexidade dos processos que atuam na formação da paisagem em certos níveis de relação, simplificação, generalização e abstração, porque permite a integração dos diferentes elementos formadores da paisagem que contribuem para a modelagem do relevo como a geologia, os solos, entre outros.

### **3.1 Geomorfologia Cárstica**

O relevo da bacia do rio Preto apresenta várias feições cársticas. Compreende-se por Geomorfologia Cárstica o estudo da forma, gênese e dinâmica dos relevos elaborados sobre

rochas solúveis pela água, tais como as carbonáticas e os evaporitos, e, mesmo, rochas menos solúveis, como os quartzitos, granitos, basaltos, entre outras (Kohler, 2001).

A paisagem cárstica tem como uma de suas características principais a presença de uma drenagem de sentido predominantemente vertical e subterrânea (criptorréica), seguindo de fendas, condutos e cavernas, resultando na completa ausência de cursos de águas superficiais. Apresenta aspectos ruiformes e esburacados, preponderantemente desenvolvidos em formações calcárias (calcários e dolomitos) (Bigarella, 1996).

A gênese e a evolução do carste dependem de numerosos fatores, dentre os quais podem ser destacados a litologia, estratigrafia, tectônica, paleoclima e recobrimento florístico, que vão agir no processo da espeleogênese. Este conjunto de fatores condiciona a maior ou menor expressão das formas cársticas numa determinada região. As paisagens cársticas compreendem feições topográficas características, originadas pela dissolução de rochas calcárias (Bigarella, 1996).

A paisagem cárstica possui uma identidade própria. As regiões calcárias carstificadas ou não, possuem características morfológicas que diferem consideravelmente daquelas de qualquer outro relevo. Conforme destacado por Bigarella (1996) a paisagem cárstica apresenta características mais proeminentes, como:

- Ausência de circulação superficial das zonas altas. Às vezes a região calcária é atravessada por canhões profundos abertos por rios procedentes de áreas extracársticas;
- A presença de cumes e nas vertentes calcárias lapiás de profundidade variadas;
- Presença freqüente de formas “cegas”: dolinas, uvalas e poljés, bem como “vales cegos”;
- Presença de numerosos abismos e cavernas nas vertentes;
- Cobertura vegetal escassa ou nula em grande número de regiões cársticas.

Para Ford & Williams (1989 *apud* Kohler, 2001), na morfologia cárstica dominam todas as feições elaboradas pelos processos de dissolução, corrosão e abatimento, reservando o termo pseudocárstico para formas originadas por outros processos.

Distinguem-se ainda, as formas exocarste (como as dolinas, uvalas e poljés) e endocarste (cavernas decoradas por exuberantes espeleotemas). A primeira representa os relevos superficiais, e o segundo caracteriza as formas subterrâneas de domínio da espeleologia. A geomorfologia cárstica só poderá ser entendida conhecendo-se os processos responsáveis pela gênese do exocarste e endocarste. Um relevo exocárstico é resultado, na maioria das vezes, da evolução do endocarste (abatimento) (Boegli, 1980 *apud* Kohler, 2001).

A drenagem cárstica apresenta um sistema de drenagem característico, em parte superficial (epigéico) e em grande parte subterrâneo (hipogéico), dentro da grande massa calcária. Os vales são descontínuos, interrompidos por sumidouros e ressurgências.

Devido às condições meteorológicas pode haver um excesso de água acumulada nos cursos subterrâneos e em consequência do princípio dos vasos comunicantes todos os sumidouros com o mesmo nível topográfico pertencentes ao mesmo sistema hidrológico, transformam-se em lagoas e poços. Quando uma região não apresenta tais lagoas, pode-se concluir que os condutos da drenagem subterrânea são de dimensões adequadas para a água penetrar na rede subterrânea (Rolf, 1970 *apud* Bigarella, 1996).

A desagregação da rede fluvial pode demorar algum tempo, dependendo do volume dos rios, da natureza, do diaclasamento e dos lineamentos, bem como da taxa de dissolução e do levantamento tectônico. O abaixamento do lençol freático também contribui ao promover a entrada de maior quantidade de água na rocha, além de esvaziar as cavernas e outros condutos (Bigarella, 1996).

### **3.2 Compartimentação Geomorfológica da Bacia do Rio Preto**

A dificuldade de estabelecer um arranjo que descreva toda a complexidade das superfícies tem proporcionado o desenvolvimento de inúmeros métodos para sua descrição e análise (Evans, 1984a; Evans and McClean, 1995). Dentre os procedimentos destaca-se a análise da morfometria do relevo pelo uso de um Sistema de Informação Geográfica (SIG). Esta abordagem tem sido amplamente utilizada para a caracterização dos processos hidrológicos, geomorfológicos e ambientais (Moore *et al.*, 1991; Schimidt and Dikau, 1999).

O SIG permite descrever a complexidade dos processos ambientais em certos níveis de relação, simplificação, generalização e abstração. Desta forma, essa ferramenta possibilita integrar os diferentes elementos formadores da paisagem que contribuem para a modelagem do relevo como geologia, pedologia, clima entre outros. Além disso, o SIG permite estabelecer relações dos fatores geomorfológicos com os fatores antrópicos contribuindo para orientar a alocação e o assentamento das atividades humanas (Casseti, 1981; Christofolletti, 2001; Novaes Pinto, 1993). Desta forma, observa-se um aumento crescente do emprego do SIG nos estudos geomorfológicos devido às suas facilidades (Bulter & Walsh, 1998; Dikau & Saurer, 1999; Lane *et al.*, 1998; Wilson & Gallant, 2000).

No propósito de descrever espacialmente a paisagem destaca-se o emprego de dados provenientes de Modelos Digitais de Terreno (MDT) e de seus atributos morfométricos. Essa abordagem possibilita compreender a organização da paisagem e inferir sobre o comportamento de outros parâmetros como as características climáticas (Daly, 1994; Hutchinson *et al.*, 1983), os atributos dos solos (Bell *et al.*, 1994; Chaplot *et al.*, 2000, Gessler *et al.*, 1995; Lee *et al.*, 1988; Moore *et al.*, 1993) e as distribuições da vegetação e habitats (Gottfried *et al.*, 1988; Guisan *et al.*, 1998; Hill, 1991; Jelaska *et al.*, 2003).

O presente capítulo tem como objetivo estabelecer as unidades e subunidades geomorfológicas na bacia do rio Preto, utilizando o processamento digital de dados morfométricos.

### **3.3 Metodologia**

O emprego da morfometria sempre foi uma importante ferramenta de estudo de bacias hidrográficas e na análise de vertentes (Gyle, 1961; Horton 1945; Strahler, 1952; Schumm,

1956; Melton,1958). O advento do emprego de análises computacionais de dados geomorfológicos possibilitou um aprimoramento de métodos para a compreensão dos fenômenos ocorrentes na superfície terrestre (Chorley, 1972; Davis, 1973). Pelo emprego de dados morfométricos é gerado um conjunto de informações que possibilita determinar com melhor precisão as unidades geomorfológicas (Miliareisis, 2001; Yamada, 1999).

Na região do Brasil Central o emprego de processamento digital de imagens morfométricas tem sido amplamente utilizado para a compartimentação geomorfológica e pedológica (Leal *et al.*, 2003; Hermuche *et al.* 2002, 2003ab, Oliveira *et al.*, 2005; Panquestor *et al.*, 2002).

As técnicas de processamento digital empregadas nas imagens morfométricas foram: (a) confecção do MDT; (b) composição colorida e manipulação de contraste para realçar os padrões de relevo; (c) análise estatística dos atributos de terreno; (d) delimitação das unidades e subunidades do relevo e (e) comparação com as informações existentes sobre a geologia, pedologia e geomorfologia da área.

### **3.4 Confecção do Modelo Digital de Terreno e dos Atributos de Terreno**

A confecção do MDT utilizou a 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. Esses dados foram corrigidos e posteriormente interpolados pelo módulo TOPOGRID do programa *ArcInfo*. Esse procedimento emprega o algoritmo desenvolvido por Hutchinson (1989) que objetiva criar um MDT para estudos hidrológicos. O algoritmo foi elaborado para produzir um MDT acurado que contenha as propriedades das drenagens e os dados de direção de fluxo. O procedimento conjuga tanto o esforço de manter as características hidrográficas, a remoção de dados espúrios relativos a pontos de depressões ou de elevações e uma técnica de interpolação por diferenças finitas (Hutchinson, 1989). O MDT foi gerado com uma resolução espacial de 25 metros devido à escala da base cartográfica (**Figura 3**). A partir do MDT foram gerados os parâmetros morfométricos: declividade, direção de fluxo e área de contribuição com mesma resolução espacial (**Figuras 4, 5 e 6**).

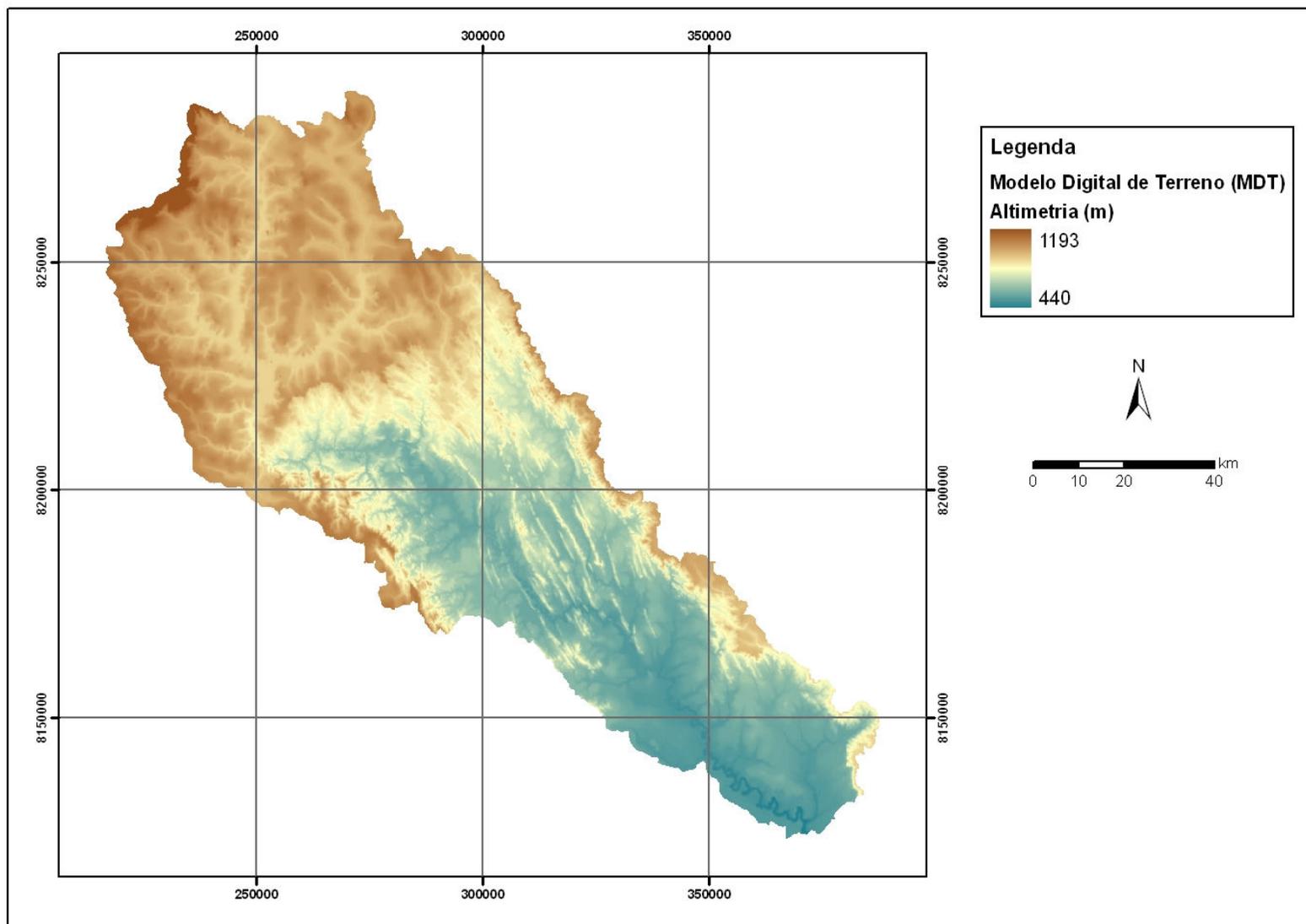


Figura 3. Modelo Digital de Terreno da bacia do Rio Preto

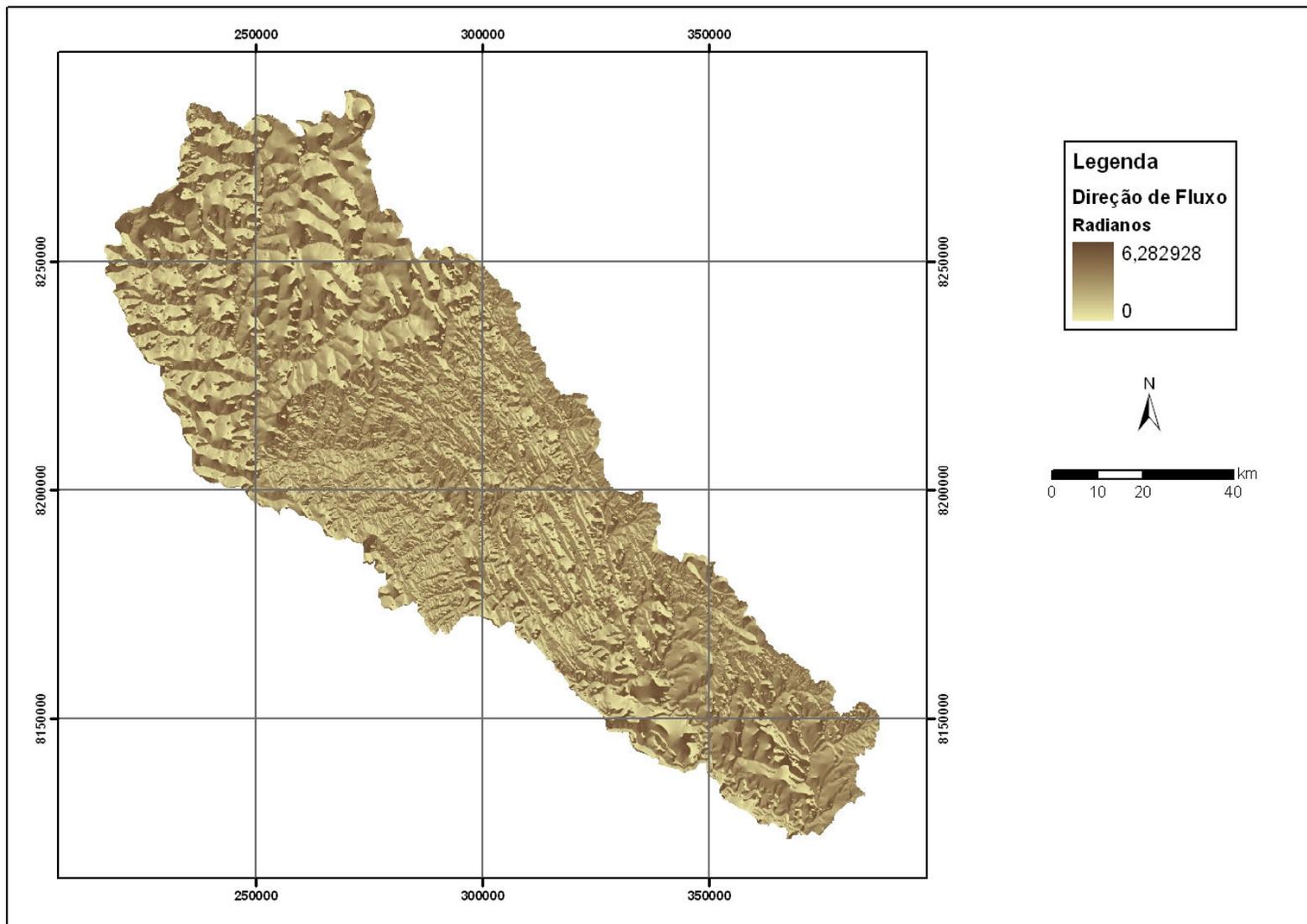


Figura 4. Direção de Fluxo da bacia do Rio Preto

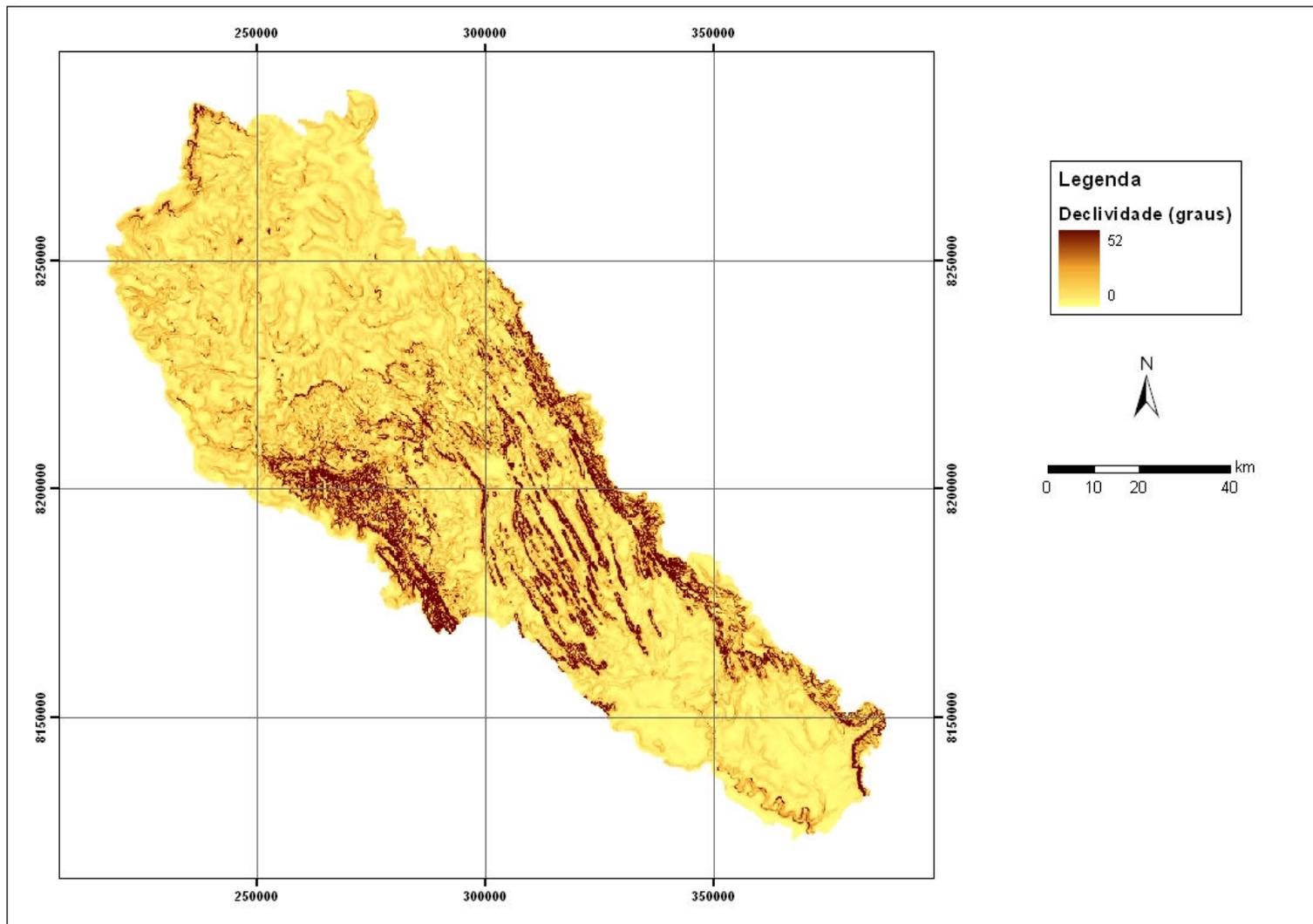


Figura 5. Declividade da bacia do Rio Preto

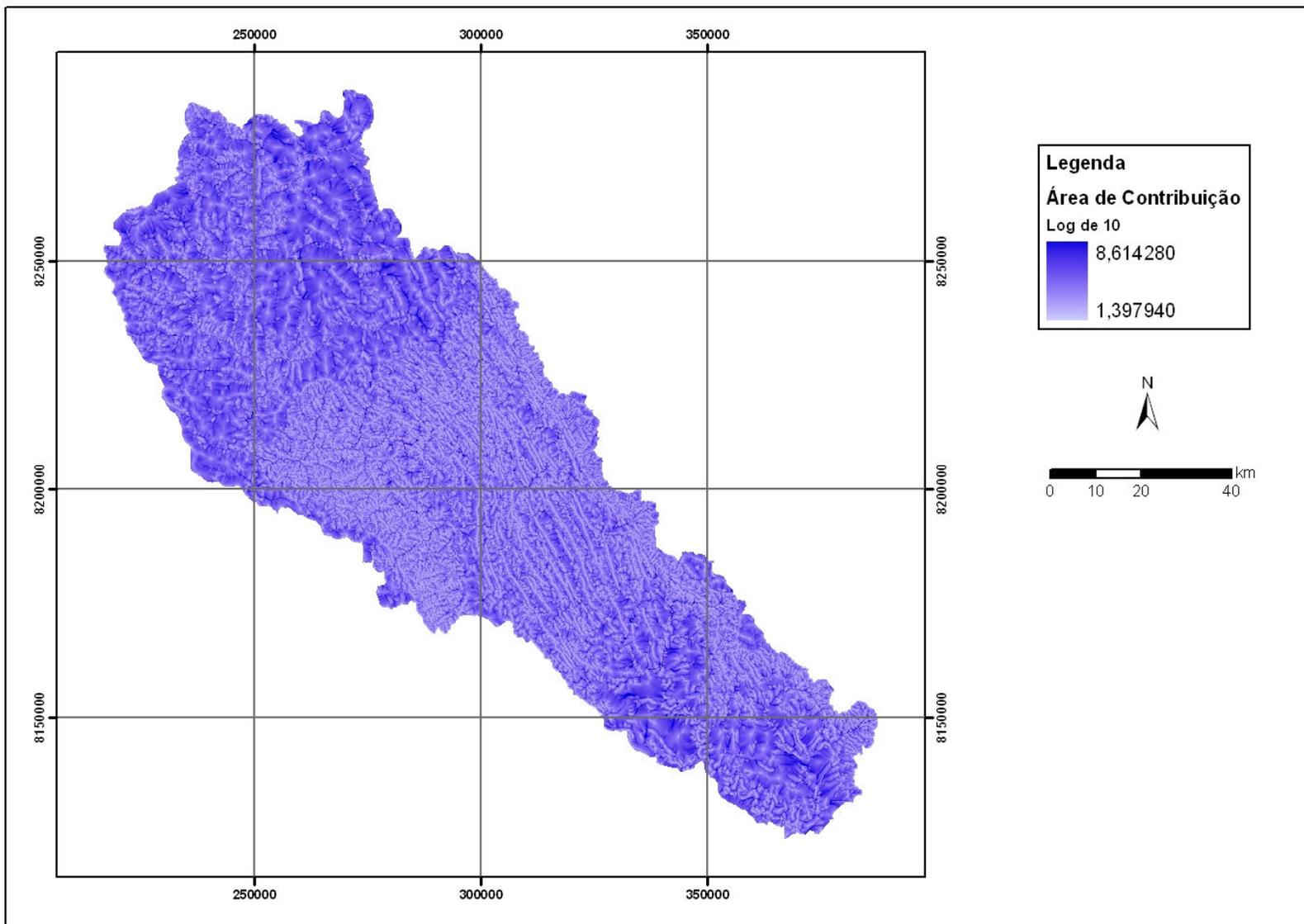


Figura 6. Área de Contribuição da bacia do Rio Preto

### 3.5 Processamento Digital das Imagens Morfométricas

Técnicas de processamento digital de imagens como composição colorida e manipulação de contrastes permitem realçar as feições e os distintos padrões do relevo, favorecendo uma posterior análise visual e uma melhor distinção das unidades.

A cor é um dos principais atributos do sistema visual humano, que consegue discernir algumas dezenas de milhares de cores diferentes. Os sistemas de monitores de computadores geram as cores a partir das três cores primárias (vermelho, verde e azul) que combinadas geram as demais cores do espectro visível. Desta forma, usando o princípio das cores primárias é possível representar quantitativamente qualquer cor como um grupo de três números ou coeficientes expressa pela seguinte formulação:

$$\text{Cor} = r \cdot R + g \cdot G + b \cdot B$$

Onde os valores R (vermelho), G (verde) e B (azul) consistem nas cores primárias, enquanto r, g, b são os coeficientes da mistura (entre 0 e 1). Esses coeficientes podem ser representados por eixos tridimensionais que configuram um cubo onde os três eixos correspondentes ao vermelho, verde e azul (Pratt, 1991). O programa livre RBGcube permite a visualização desse espaço de cores (<http://www.couleur.org/index.php?page=rgbcube>) (Figura 7).

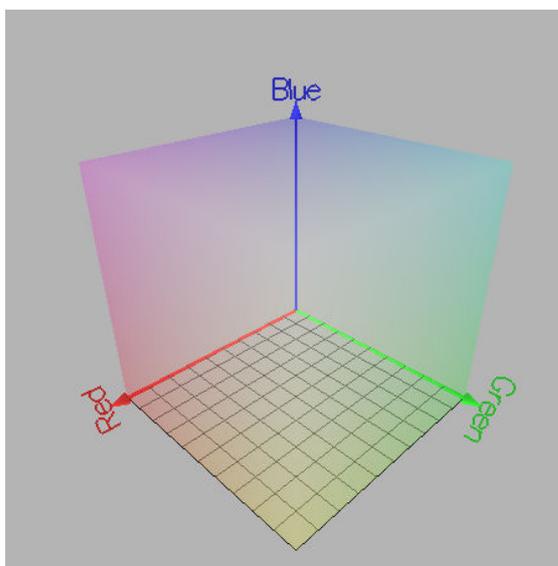


Figura 7. Representação do cubo referente ao espaço das cores RGB

Desta maneira, a composição colorida (constituída de três bandas) é uma poderosa forma de sintetizar, numa única imagem, uma grande quantidade de informação. A associação

para cada canal de cor de uma imagem morfométrica permite definir padrões tonais e texturais que caracterizam ambientes distintos. No presente trabalho, combinações coloridas foram utilizadas com os seguintes parâmetros do terreno: MDT, direção de fluxo, declividade e área de contribuição.

Uma análise dos histogramas de frequência referentes aos atributos de terreno complementou a interpretação visual e permitiu delimitar as unidades geomorfológicas realçadas pela técnica de composição colorida

### **3.6 Resultados**

A composição colorida que melhor destacou as unidades do relevo foi à composta pelos parâmetros: MDT, declividade e área de contribuição (**Figura 8**). Nesta observa-se um forte contraste visual das unidades de relevo que adquiriram padrões tonais e de texturas distintos favorecendo a identificação de unidades geomorfológicas pela interpretação visual.

A técnica de composição colorida demonstra padrões que correspondem aos atributos físicos da bacia. A altimetria é identificada como o principal critério na delimitação das unidades geomorfológicas. Por meio da análise do histograma de frequência do MDT é possível delimitar as unidades geomorfológicas a partir das frequências de ocorrências das altitudes. Inicialmente foram estabelecidas cinco unidades, com os seguintes intervalos: 440m a 505m, 505m a 600m, 600m a 650m, 650m a 845m e 845m a 1193m.

Após a delimitação dessas cinco unidades, realizou-se um estudo complementar por análise visual de imagem Landsat 7/ETM+ do ano de 2003 (**Figura 9**). A partir desse procedimento pode-se verificar os limites das feições morfométricas aprimorando a delimitação das unidades geomorfológicas do primeiro nível categórico. A delimitação do segundo nível categórico foi estabelecida a partir das singularidades do primeiro nível reconhecíveis pela análise do MDT e da imagem Landsat.

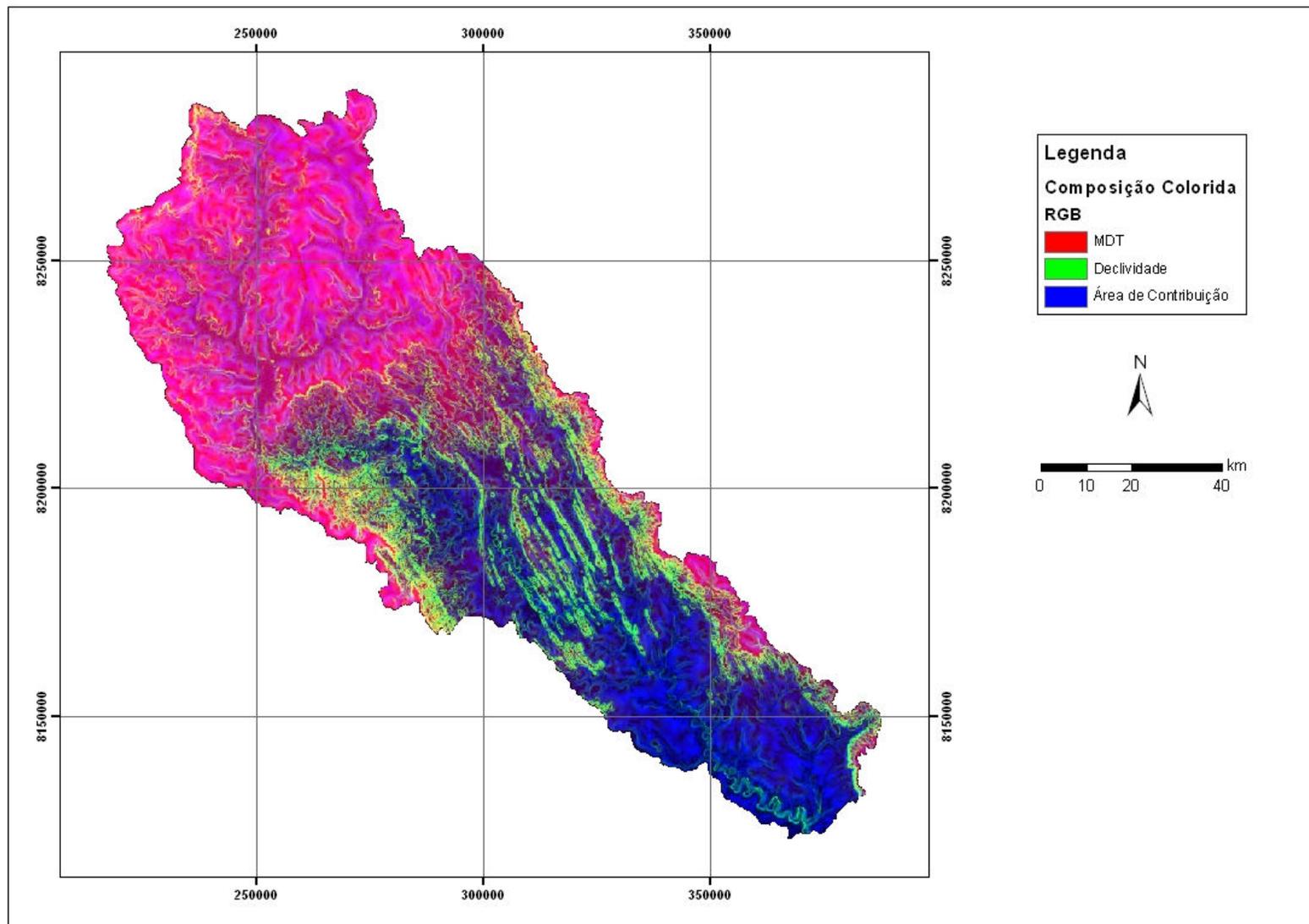


Figura 8. Composição colorida (RGB): MDT, declividade e área de contribuição

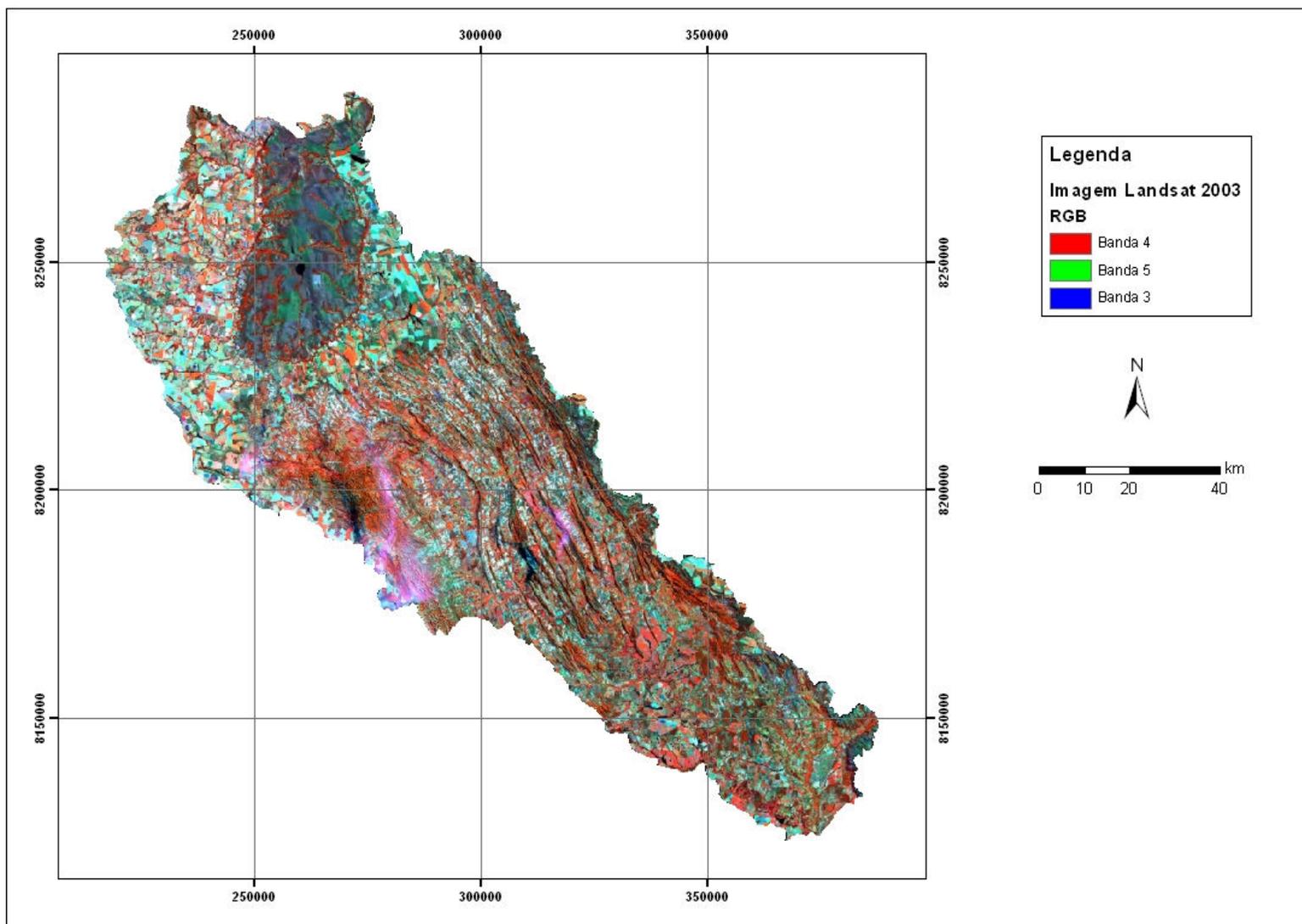
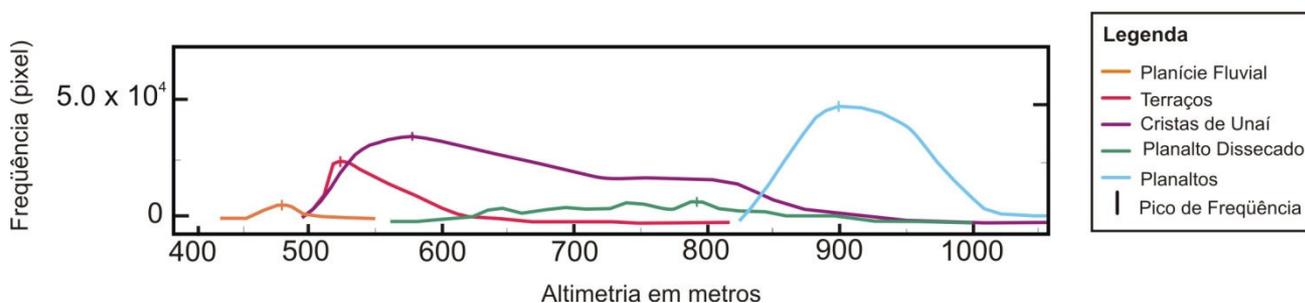


Figura 9. Imagem Landsat 2003, composição RGB 4,5,3

A interpretação visual da imagem permitiu contribuir para uma melhor definição das unidades geomorfológicas. Para cada unidade e subunidade foi realizada uma análise estatística da altimetria (**Tabela 1**). A **Figura 10** compara os histogramas de frequência dos dados altimétricos das unidades de relevo do primeiro nível hierárquico.



**Figura 10.** Análise da frequência de ocorrência das altitudes das unidades geomorfológicas

**Tabela 1.** Análise estatística das altitudes das unidades e subunidades geomorfológicas

Unidades Geomorfológicas	Altitude mínima (m)	Altitude máxima (m)	Média de frequência	Desvio Padrão
PLANALTOS	823,4	1185,9	924,0	52,8
Topos	827,9	1185,9	962,3	47,5
Vales Intraplanálticos	823,4	1057,4	887,8	24,2
PLANALTO DISSECADO	555,6	1002,3	772,5	79,8
Silicático	646,0	1002,3	829,5	53,3
Cárstico	555,6	804,8	700,8	39,3
CRISTAS DE UNAÍ	511,0	1005,0	693,1	98,6
Serras	532,0	1005,0	787,2	60,3
Depressões	511,0	764,1	616,9	41,0
TERRAÇOS	502,9	817,8	559,4	38,3
Superior	568,2	817,8	608,5	36,2
Inferior	502,9	589	541,6	18,1
PLANÍCIE FLUVIAL	440,0	559,4	494,2	21,8

Desta maneira, foram definidas as seguintes unidades geomorfológicas no primeiro e segundo níveis categóricos (**Figuras 11 e 12**): Planalto (Topos e Vales Intraplanálticos), Planalto Dissecado (Silicático e Cárstico), Cristas de Unai (Serras e Depressões), Terraços (Superiores e Inferiores) e Planície Fluvial.

As características dos padrões dessas unidades podem ser descritas considerando a natureza geológica e pedológica.

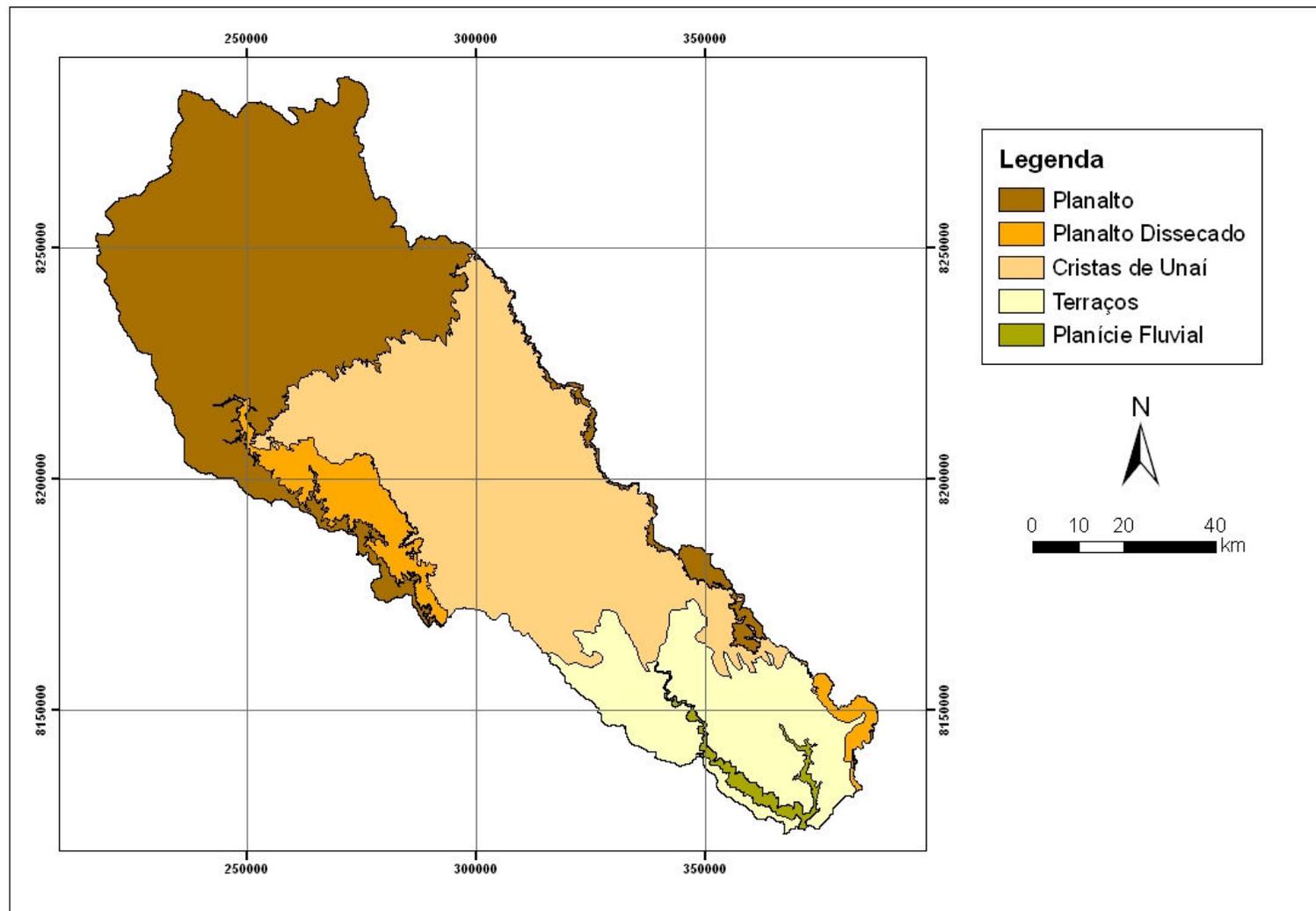


Figura 11. Compartimentação geomorfológica em primeiro nível hierárquico da bacia do Rio Preto

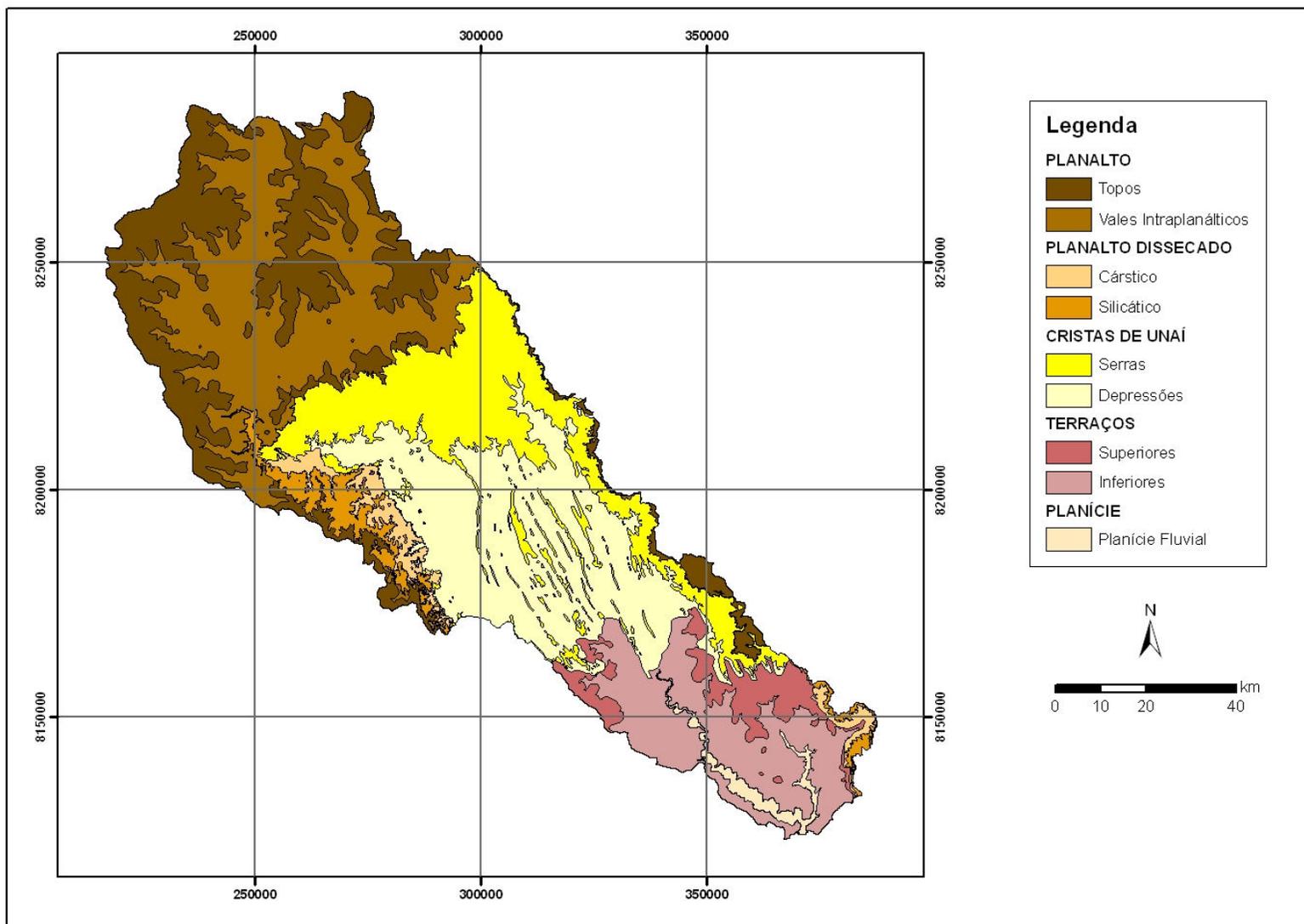


Figura 12. Compartimentação geomorfológica em segundo nível hierárquico da bacia do Rio Preto

### 3.6.1 PLANALTO

A unidade Planalto é definida por superfícies de aplainamento levemente sulcadas por uma rede de drenagem de baixa densidade (Dantas, 2003), e apresenta altitude média de 1004,5m. As formas do relevo foram exemplificadas por um perfil topográfico da unidade em sua porção mais representativa (**Figura 13**). No perfil topográfico constata-se uma amplitude de 150m em uma extensão de 60.000m, mostrando a principal característica da unidade Planalto, que é o relevo plano a suave ondulado, apresentando declividade variando de 0 a 16 graus.

Por ser uma unidade que possui uma extensa área plana, quase não apresenta acúmulo de fluxo. Os solos de maior ocorrência são Latossolos Vermelhos. Ocorrem também áreas com Latossolos Vermelho-Amarelos. Estes solos favorecem a drenagem subsuperficial e a infiltração. Os Cambissolos ocorrem nas vertentes associadas aos vales dos rios e, localmente, com ocorrências de Neossolos Litólicos. Esta unidade encontra-se sobre o Grupo Paranoá, Grupo Canastra e a cobertura detrito-laterítica. Observa-se que o histograma mostra altitudes mais frequentes no intervalo de 870 a 980m (**Figura 10**).

#### *Subunidade Topos*

Possui altitude média de 1006,9m. Esta subunidade constitui os interflúvios e caracteriza-se por substratos metassedimentares clásticos. Os solos que predominam nessa unidade são o Latossolo Vermelho-Amarelo e o Latossolo Vermelho.

#### *Subunidade Vales Intraplanálticos*

Possui altitude média de 940,4m. Esta subunidade é caracterizada por vales de pequeno grau de aprofundamento. Os solos que predominam nesta subunidade são os Cambissolos associados aos Neossolos Litólicos e Gleissolos. A organização dos vales é controlada principalmente por estruturas lineares das rochas, tais como fraturas e falhas. Esta subunidade mostra que as rochas metassedimentares clásticas apresentam pequena espessura e estão sobrepostas a lentes de calcário, que afloram em algumas porções dos vales.

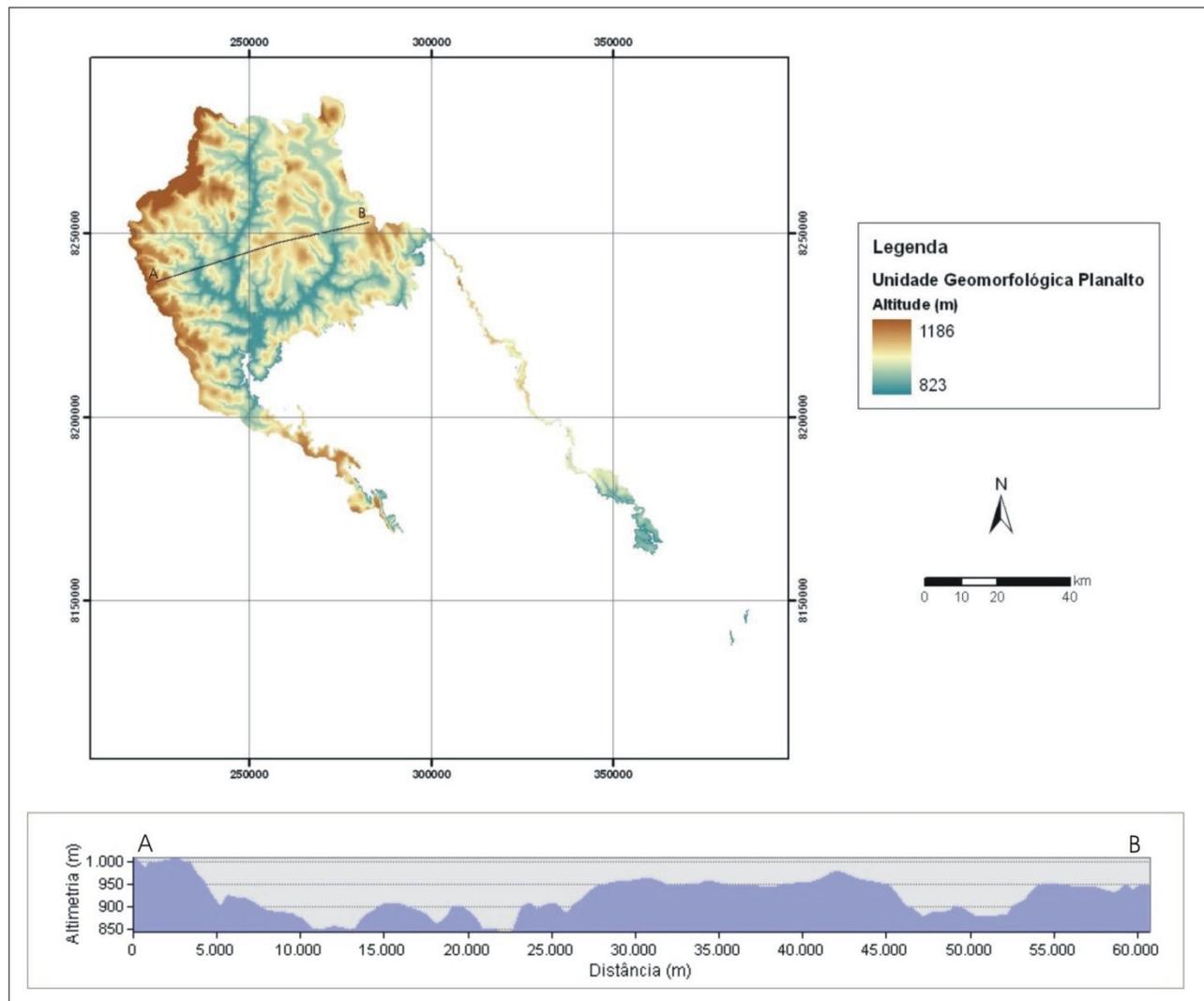


Figura 13. MDT e perfil topográfico da unidade geomorfológica Planalto

### **3.6.2 PLANALTO DISSECADO**

A unidade Planalto Dissecado é formada pela erosão lateral das chapadas e caracterizada pelo afloramento de saprólitos de rochas silicáticas e lentes de calcário. A rede de drenagem é do tipo dendrítica e definida pela dissecação de materiais isotrópicos e de baixa permeabilidade que formam os saprólitos argilosos. As feições cársticas ocorrem especialmente nas porções mais baixas, no contato entre os saprólitos e as lentes de calcário. A altitude média é de 778,5m e constata-se uma amplitude de 100m em perfil topográfico de 14.000m de extensão (**Figura 14**). Apresenta declividade variando de 12 a 50 graus. A partir da análise estatística observa-se que as maiores altitudes estão no intervalo de 643 a 837 metros (**Figura 10**).

Os solos mais importantes são Cambissolos e Neossolos Litólicos em função da alta declividade. Há uma pequena ocorrência de Argissolo Vermelho e Argissolo Vermelho-Amarelo associados aos calcários.

#### ***Subunidade Planalto Dissecado Silicático***

Representa as porções de Planalto sobre materiais silicático muito intemperizado e dissecado. Possui altitude média de 824,1m, nas porções mais elevadas da unidade Planalto Dissecado. Os solos que predominam nesta unidade são Cambissolo e Neossolo Litólico.

#### ***Subunidade Planalto Dissecado Cárstico***

Ocorre na base da Unidade Planalto Dissecado e caracterizado por feições cársticas associadas à concentração do fluxo de águas das chapadas que percolam e dissolvem os calcários da Formação Vazante. Possui altitude média de 680,2m. Os solos que ocorrem nesta subunidade são Argissolo Vermelho e Neossolo Litólico. O Argissolo Vermelho ocorre em uma pequena área, a noroeste da subunidade.

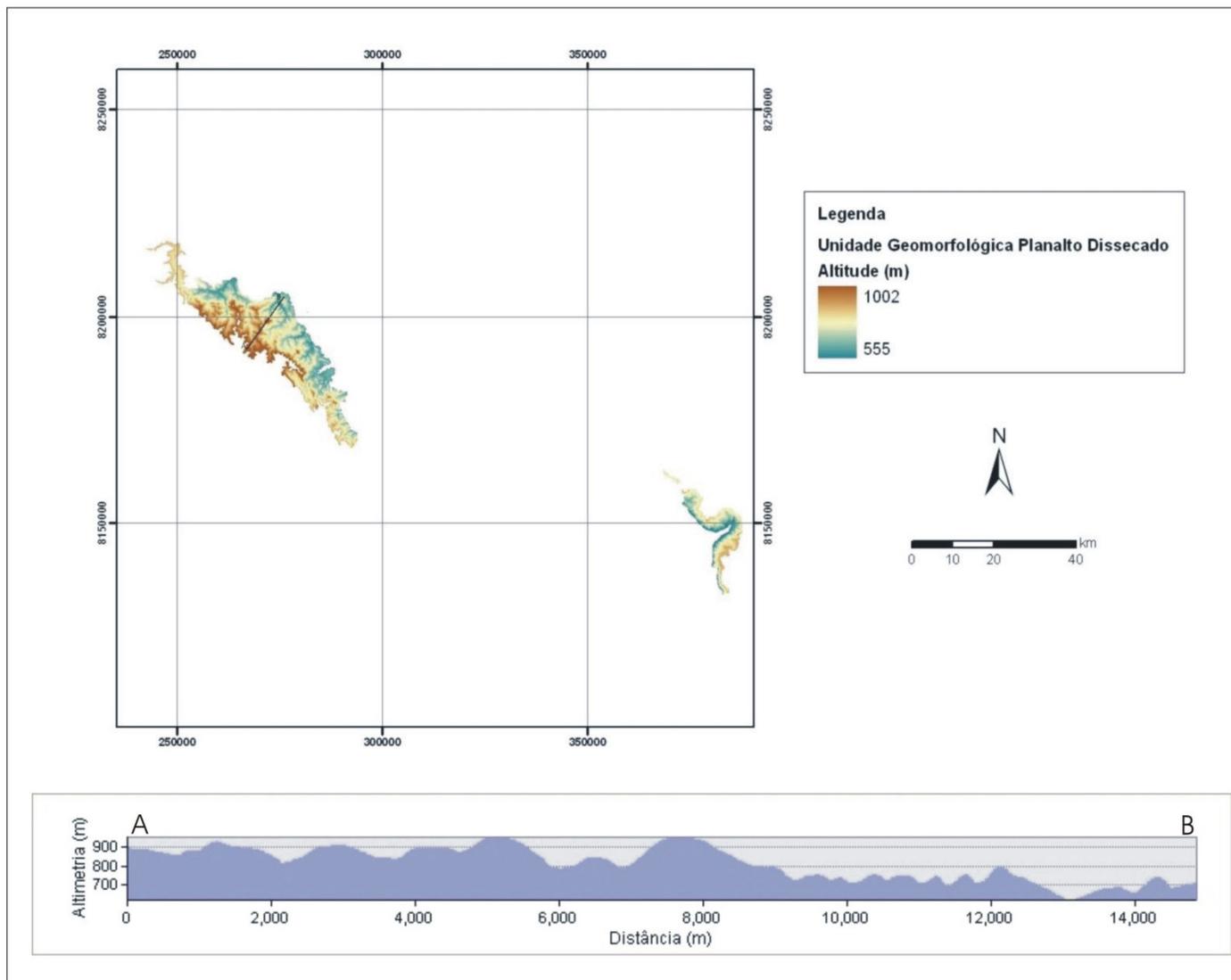


Figura 14. MDT e perfil topográfico da unidade geomorfológica Planalto Dissecado

### 3.6.3 CRISTAS DE UNAÍ

A unidade Cristas de Unaí é definida por uma série de serras de orientação NNW intercaladas com depressões. As camadas mostram mergulho forte para SSW. As serras são formadas principalmente por lentes de calcário, o que evidencia uma inversão de relevo, onde as rochas com mais facilidade ao intemperismo químico ocorrem nas porções mais elevadas. Apresenta com altitude média de 758m e, a partir da análise do perfil topográfico (**Figura 15**), constata-se que a unidade apresenta uma amplitude de 100m em uma extensão de 45.000m. Apresenta declividade predominante variando de 9 a 48 graus.

Os solos predominantes nas formações cársticas são os Cambissolos e Neossolos Litólicos, além de Argissolos e Nitossolos nas bases das encostas. O Latossolo Vermelho ocorre nessa unidade, mas nas depressões. Observa-se na análise estatística uma maior frequência de altitudes no intervalo de 525 a 850 metros (**Figura 10**).

#### *Subunidade Serras*

Representa os alinhamentos formados pelo contato entre lentes de calcário e rochas silicáticas. O relevo positivo das serras deve-se à acumulação de sílica no contato entre esses materiais, o que aumenta a resistência ao intemperismo químico e físico. Possui altitude média de 768,5m, nas porções mais elevadas da unidade Cristas de Unaí e conseqüente maior declividade nas vertentes das serras. Nas encostas das serras verifica-se a presença de feições cársticas sobre as rochas carbonáticas da Formação Vazante e Sub-Grupo Paraopeba. Os solos que predominam nesta unidade são Neossolos Litólicos e Cambissolos, além de Argissolos Vermelhos e Nitossolos nas encostas.

#### *Subunidade Depressões*

Caracterizada por porções relativamente planas e sobre materiais de origem silicáticos que ocorrem entre as serras. Esta subunidade constitui a porção mais plana da unidade Cristas de Unaí e mostra altitude média de 637,5m. Os solos que predominam são Neossolo Litólico, Cambissolos e Latossolos.

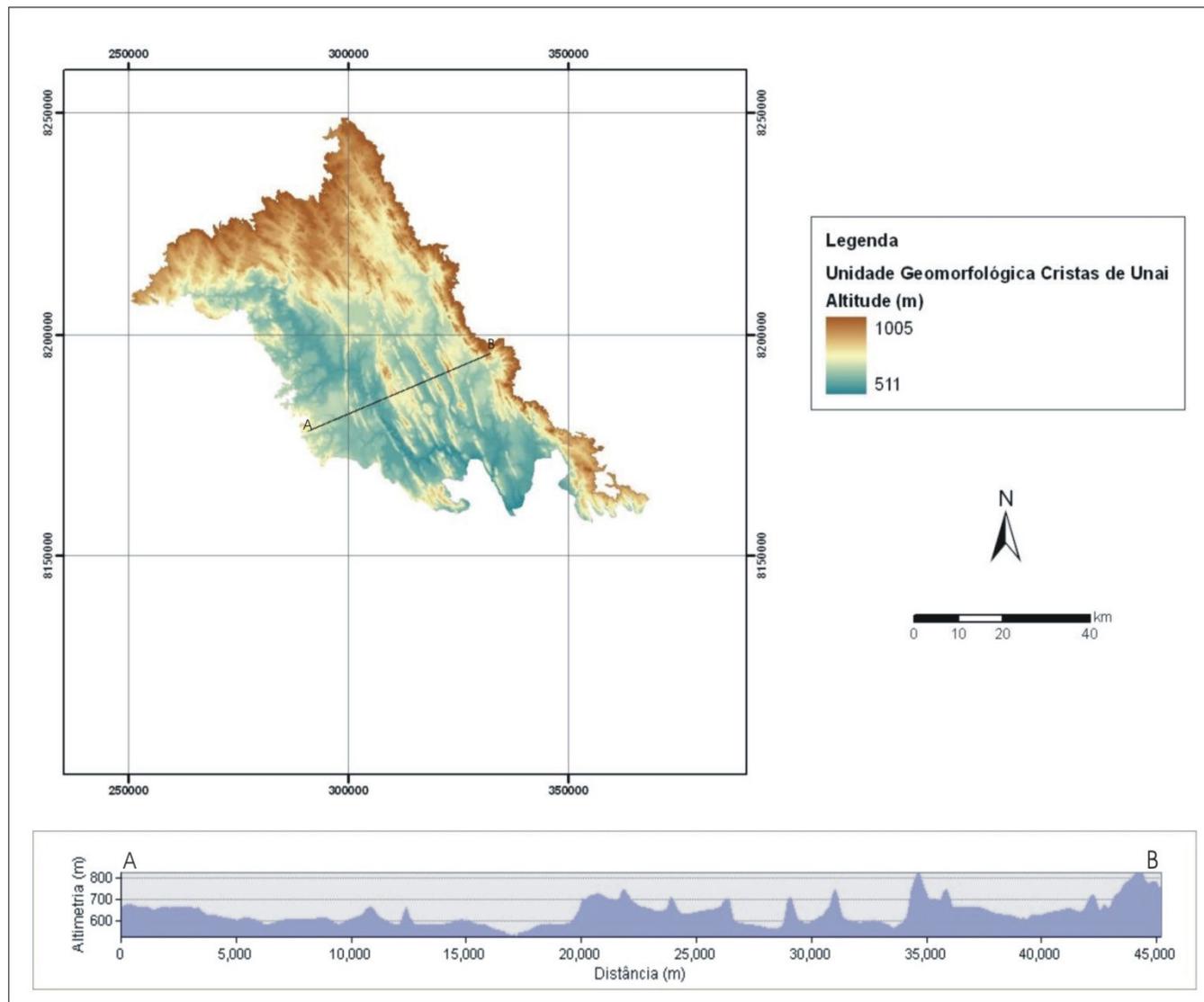


Figura 15. MDT e perfil topográfico da unidade geomorfológica Cristas de Unai

### **3.6.4 TERRAÇOS**

Os Terraços são associados ao que foi designado por Dantas (2003) como pertencente à Depressão Sanfranciscana. Esta unidade é caracterizada por depósitos fluviais formados durante o Quaternário. Mostra altitude média de 659,5m e, a partir do perfil topográfico, constata-se que a unidade apresenta uma amplitude de 100m em uma extensão de 25.000m (**Figura 16**). Verifica-se que o padrão de relevo suave ondulado ao longo da unidade. Apresenta declividade variando de 0 a 4 graus, ocorrendo em pequenas áreas declividade de 31 graus, no contato entre depósitos de diferentes idades. Esta uma unidade apresenta elevada acumulação de fluxo.

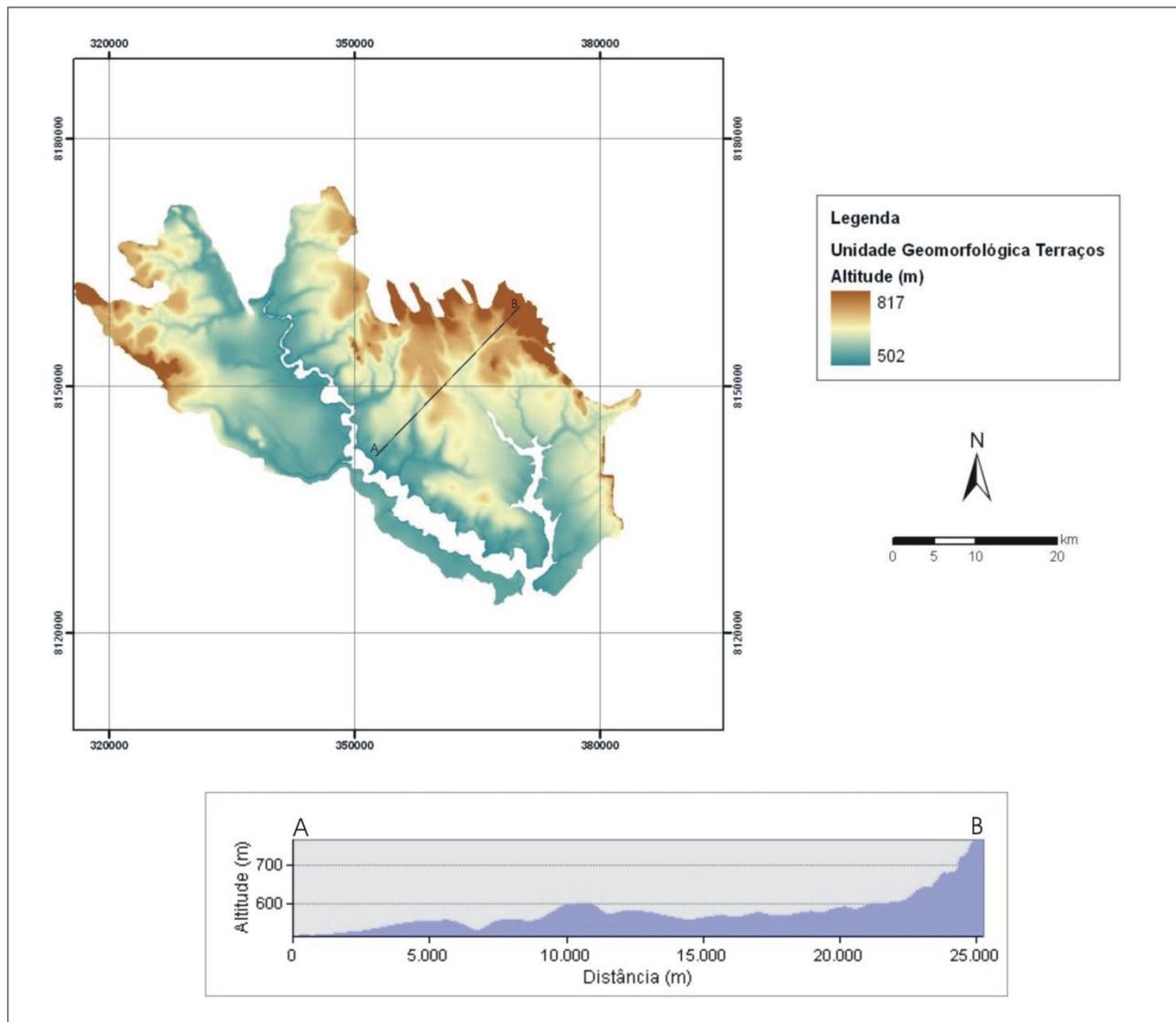
Os solos que ocorrem em maior quantidade são os Latossolos Vermelhos, Latossolos Vermelho-Amarelos e Neossolos Quartzarênicos. Observa-se na análise estatística que as freqüências de altitudes estão no intervalo de 525 a 600 metros (**Figura 10**).

#### ***Subunidade Terraços Superiores***

Esta subunidade representa as porções com depósitos fluviais mais antigos e mais elevados na unidade Terraços. Apresenta altitude média de 639m e relevo suave ondulado. Os solos que ocorrem nesta subunidade são Cambissolos, Latossolos Vermelhos, Latossolo Vermelho-Amarelo e Neossolos Litólicos.

#### ***Subunidade Terraços Inferiores***

Formado por depósitos mais jovens e com granulometria mais arenosa que a subunidade Terraços Superiores. Possui altitude média de 545,9m em relevo mais plano, onde ocorrem Latossolo Vermelho e Latossolo Vermelho- Amarelos.



**Figura 16. MDT e perfil topográfico da unidade geomorfológica Terraços**

### **3.6.5 PLANÍCIE FLUVIAL**

Representa o leito atual da planície do rio Preto. Esta unidade apresenta altitude média de 499,5m e, a partir do perfil topográfico, constata-se que a unidade apresenta uma amplitude de 20m em uma extensão de 3.000m (**Figura 17**). Verifica-se que o padrão de relevo suave ondulado ao longo da unidade. Apresenta declividade variando predominantemente de 0 a 6 graus. Nas porções mais planas pode-se observar o padrão meandrante do rio, onde a acumulação de fluxo é a maior encontrada na bacia.

O Neossolo Flúvico é a classe de solo predominante da unidade. Observa-se na análise estatística que a maior frequência de altitudes ocorrem na unidade no intervalo de 480 a 505 metros (**Figura 10**).

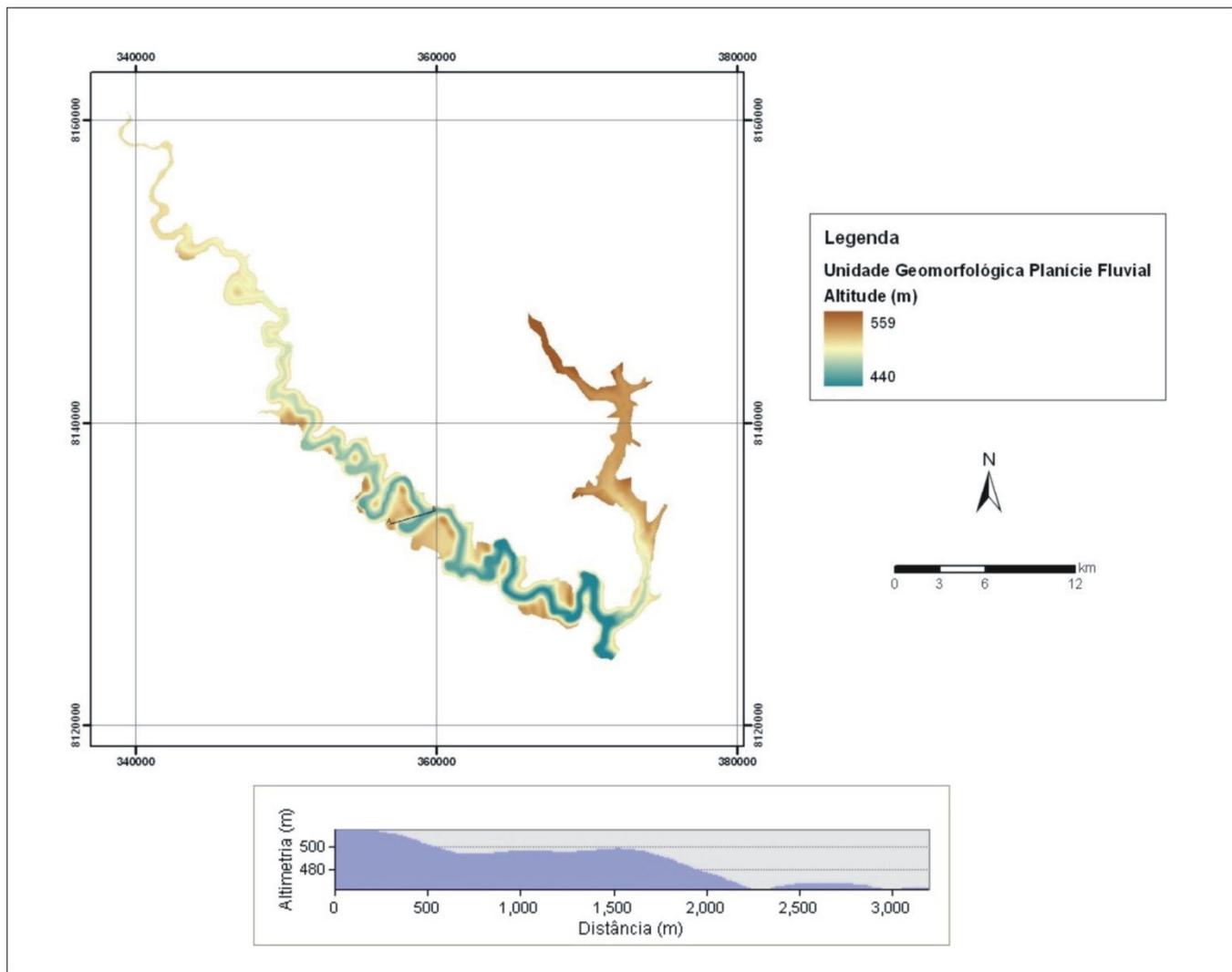


Figura 17. MDT e perfil topográfico da unidade geomorfológica Planície Fluvial

## CAPITULO IV

### RELAÇÃO DOS COMPATIMENTOS GEOMORFOLÓGICOS COM O USO AGRÍCOLA NA BACIA DO RIO PRETO

O aumento contínuo da população demanda o desenvolvimento de novas tecnologias de produção agropecuária de forma contínua e segura. Uma das tecnologias mais utilizadas é a irrigação por meio de pivô central, que exige um elevado investimento. Por isso, para diminuir os custos de implantação e manutenção dos pivôs centrais, além do conflito do uso da água, é necessário conhecer as características ambientais da região e planejar o uso eficiente desta tecnologia (Carneiro *et al.*, 2007; Folegatti, 1998; Maldaner, 2003; Rodrigues *et al.*, 2007).

O pivô central apresenta as vantagens de uma maior uniformidade de distribuição de água e o menor uso de energia em relação a outros sistemas de aspersão. Um sistema de pivô central bem projetado reduz o custo com mão-de-obra e tempo, aumentando a produtividade e os lucros, uma vez que também pode ser utilizado para a aplicação de defensivos e fertilizantes durante a irrigação (Germek, 2008).

As principais desvantagens estão relacionadas ao maior custo por unidade de área comparada com outros sistemas de aspersão e a maior dificuldade de manejo de irrigação de várias culturas sob o mesmo pivô (Marouelli *et al.*, 2001).

O sensoriamento remoto tem se mostrado uma ferramenta adequada no monitoramento e planejamento de uso agrícola de bacias hidrográficas. Os pivôs centrais são facilmente identificados nas imagens de satélites, sendo possível também, identificar a dinâmica da utilização dessa técnica empregando a análise multitemporal. Os estudos sobre o uso da água para a irrigação são fundamentais para o planejamento e gestão dos recursos hídricos e para gerir as bacias hidrográficas de forma sustentável (Soares *et al.*, 2007).

A bacia do rio Preto é um importante referencial no cenário nacional, no que diz respeito ao processo de ocupação e utilização dos recursos hídricos, tendo em conta a sua importância para a bacia hidrográfica do rio São Francisco (Carneiro *et al.*, 2007). As suas características são representativas das cabeceiras do Médio São Francisco e pode ser transformada em uma bacia de monitoramento de longo prazo devido à sua importância para a disponibilidade hídrica e os projetos em desenvolvimento na região (Embrapa, 2005).

A região apresenta limitações edáficas e climáticas para o desenvolvimento da agricultura. Os solos são ácidos e o clima apresenta uma estação seca bem definida entre os meses de abril e setembro (Reatto *et al.*, 2000). A intensificação da atividade agrícola ocorreu a partir da utilização de fertilizantes e corretivos de acidez do solo, além da irrigação por pivôs centrais. A irrigação se concentra principalmente nas áreas planas e com disponibilidade hídrica superficial (Rodrigues *et al.*, 2007).

Neste sentido, o presente capítulo tem como objetivo estudar a espacialização dos pivôs centrais na bacia do rio Preto e relacioná-los com as características ambientais presentes na bacia.

#### **4.1 Uso do solo na Bacia do Rio Preto**

A bacia do rio Preto abrange nove municípios, sendo três em Goiás e seis em Minas Gerais, além do Distrito Federal. Seis sedes municipais estão na bacia: Formosa, Cabeceira Grande, Cabeceiras, Unai, Natalândia e Dom Bosco. No Distrito Federal, a bacia compreende a Região Administrativa de Planaltina e Paranoá (**Figura 18**).

O uso do solo é caracterizado pela pecuária intensiva e a agricultura mecanizada de alta tecnologia, especialmente da utilização intensiva de pivôs centrais no processo de irrigação (**Figura 19**).

O uso da água na bacia se destina principalmente às atividades agropecuárias, destacando-se a irrigação, que representa mais de 90% do total utilizado, sendo os 10 % restantes representados por piscicultura, suinocultura, e a bovinocultura (Maldaner, 2003).

Os pivôs centrais se concentram principalmente nas áreas planas. A água para a irrigação é captada diretamente dos cursos d'água e de centenas de barragens. O processo de retenção e armazenamento na forma de barragens é a forma mais segura para garantir o fornecimento contínuo de demanda hídrica por irrigação na época seca (Rodrigues *et al.* 2007).

As principais atividades desenvolvidas na bacia do rio Preto são a produção de leite e de grãos, com destaques para as culturas do milho, soja, feijão, sorgo, trigo e hortaliças em geral (Carneiro *et al.*, 2007; Embrapa, 2005).

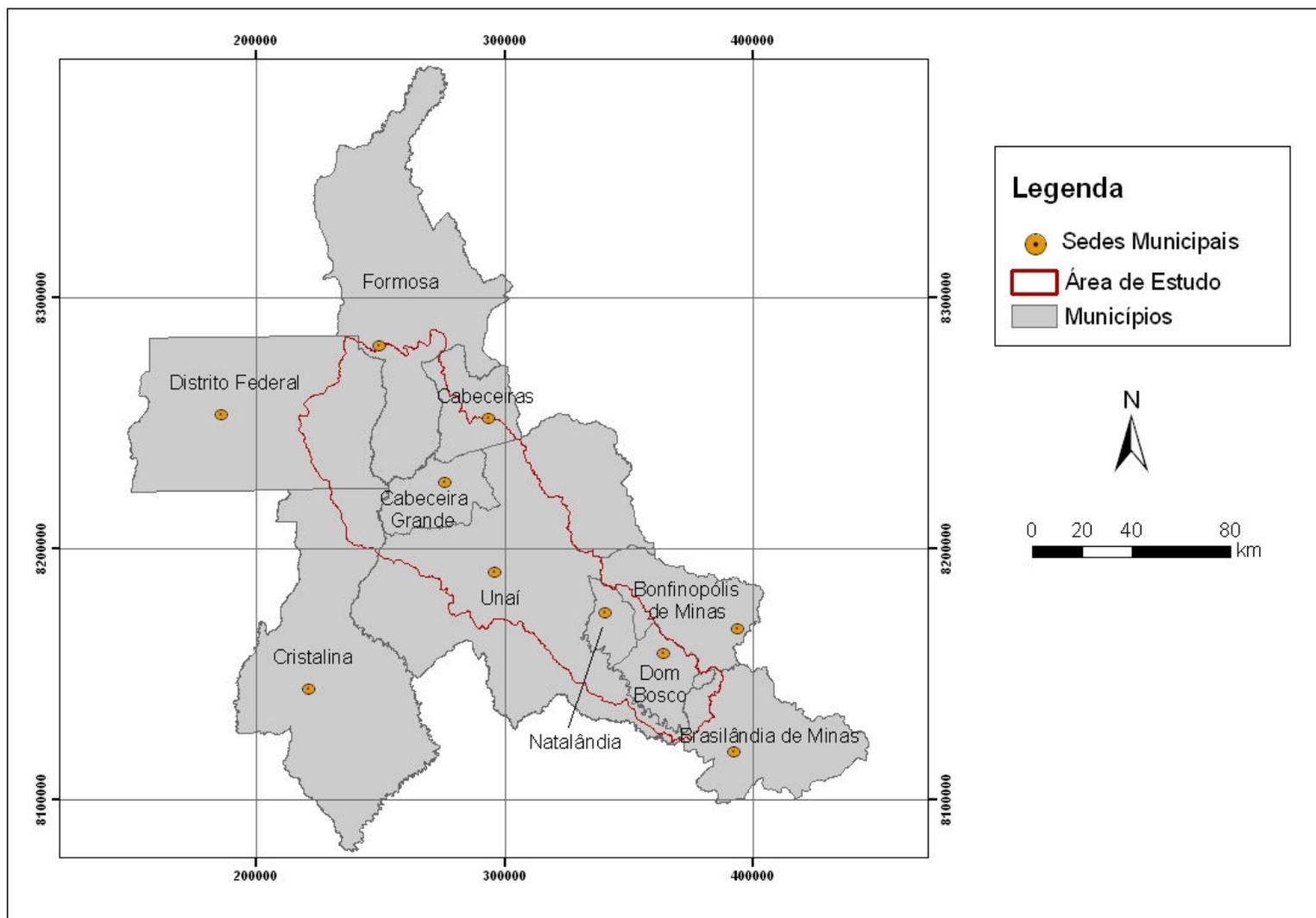


Figura 18. Municípios que pertencem à bacia do Rio Preto

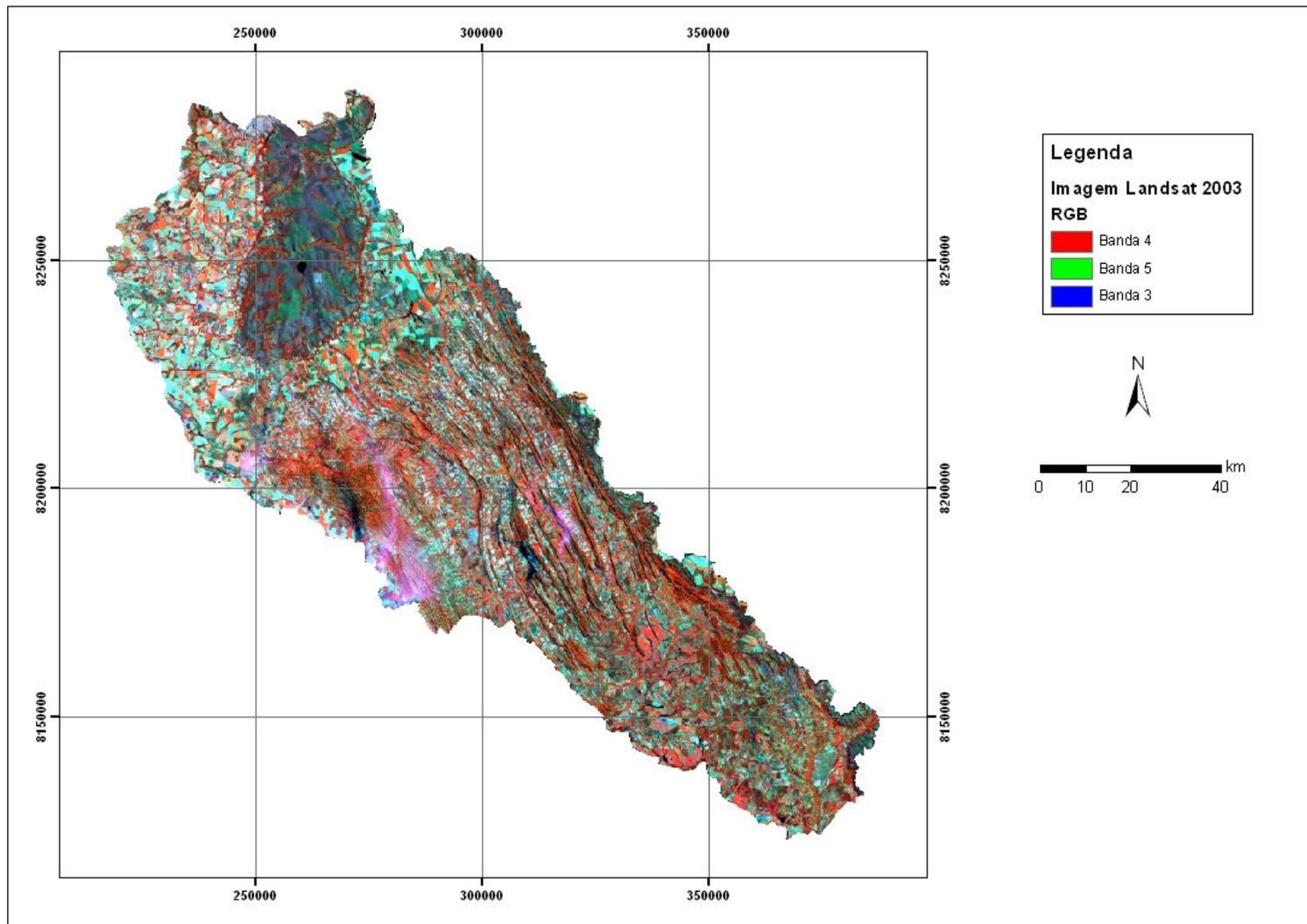


Figura 19. Imagem Landsat 2003, na composição RGB 4,5,3 utilizada para a identificação dos pivôs centrais

## 4.2 Metodologia

Neste trabalho são utilizadas as imagens dos sensores LANDSAT/ETM+, nas órbitas 220-71, 220-72 e 221-71. O ano escolhido para a realização do estudo é de 2003, a data foi escolhida conforme a disponibilidade de dados, as imagens foram coletadas entre os meses de abril e julho. Essas imagens foram mosaicadas e cortadas conforme o limite da bacia (**Figura 19**).

A metodologia desenvolvida pode ser subdividida nas seguintes etapas: (a) transformação dos dados da imagem de número digital para reflectância (calibração); (b) ajuste por interpretação visual; (c) quantificação da área irrigada na bacia; (d) cruzamento dos pivôs com as unidades e subunidades geomorfológicas e (e) classificação qualitativa das áreas dos pivôs.

A calibração é feita com a conversão dos números digitais para a reflectância aparente no topo da atmosfera usando um módulo específico de programa ENVI que utiliza informações de ganhos e *offset* relativos ao sensor antes do lançamento, a data da imagem e o ângulo de elevação solar. A conversão dos dados digitais, em valores de radiância e, posteriormente em valores de reflectância, visa reduzir a variabilidade da resposta espectral, o que possibilita a identificação dos alvos.

A partir das imagens convertidas para reflectância foi realizada uma classificação minuciosa por interpretação visual, onde foram reconhecidos 226 pivôs e digitalizados seus respectivos polígonos (Figura 4). Em relação às unidades federativas, ocorrem 87 no Distrito Federal, 81 em Minas Gerais e 58 em Goiás (**Figura 20**).

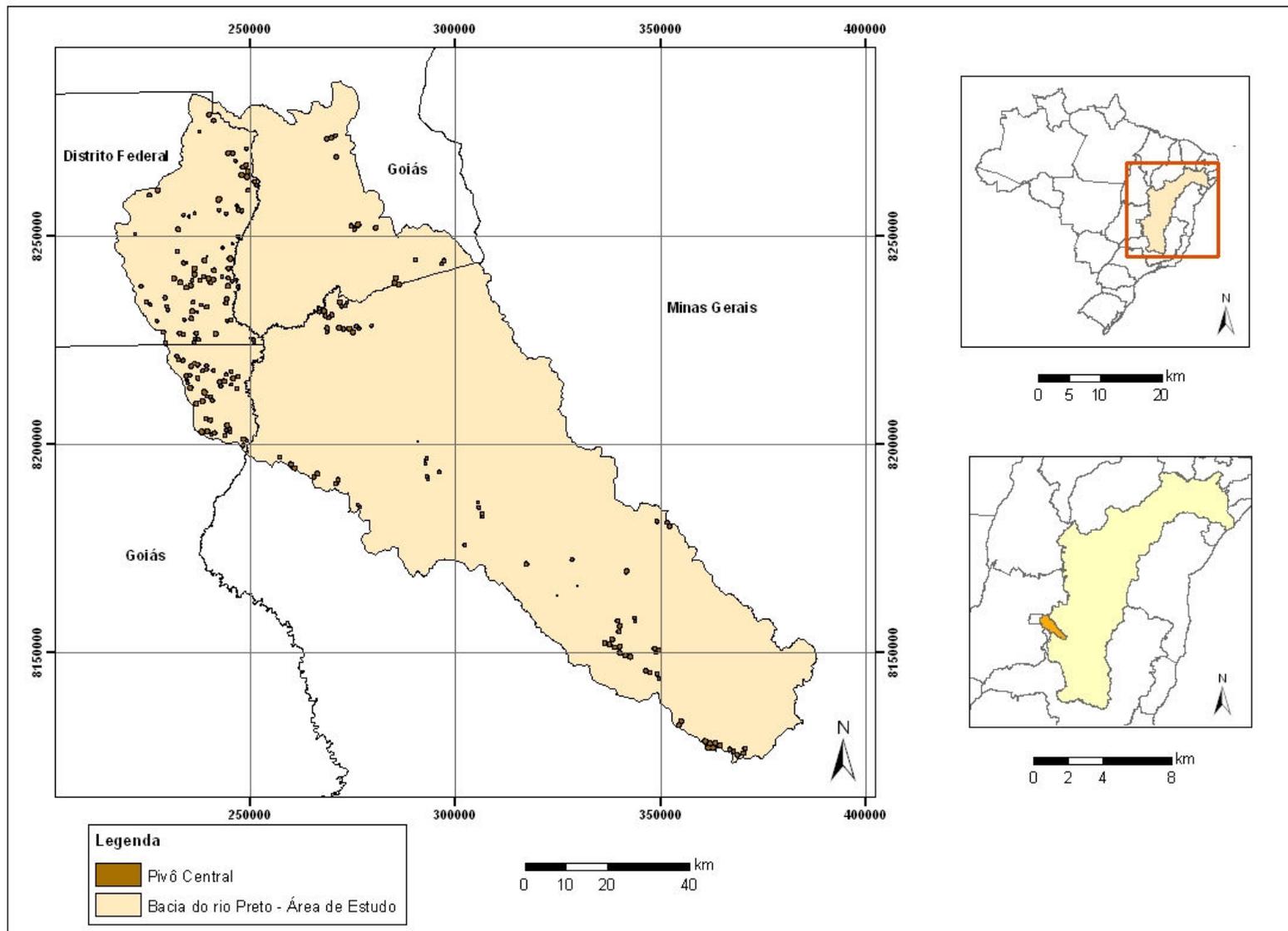


Figura 20. Localização dos pivôs centrais na bacia do Rio Preto

Ainda utilizando o programa *ArcMap* foi feito o cruzamento entre as unidades geomorfológicas com a distribuição dos pivôs, visando compreender os padrões físicos que influenciam na implementação da tecnologia.

### **4.3 Resultados**

A área total dos pivôs é de 17.988 ha, o que comparado com a área total da bacia, de 1.031.009 ha, representa aproximadamente 2% de sua superfície. Com o objetivo de entender a distribuição dos pivôs centrais ao longo da bacia foi feito o cruzamento destas áreas de irrigação com as unidades geomorfológicas no primeiro nível categórico (**Figura 21**).

Observa-se que os pivôs ocorrem com maior frequência nas unidades Planaltos e Terraços, devido ao relevo plano e a disponibilidade hídrica superficial caracterizada pela pequena distância vertical entre os corpos d'água e as áreas irrigadas (**Figuras 22 e 23**).

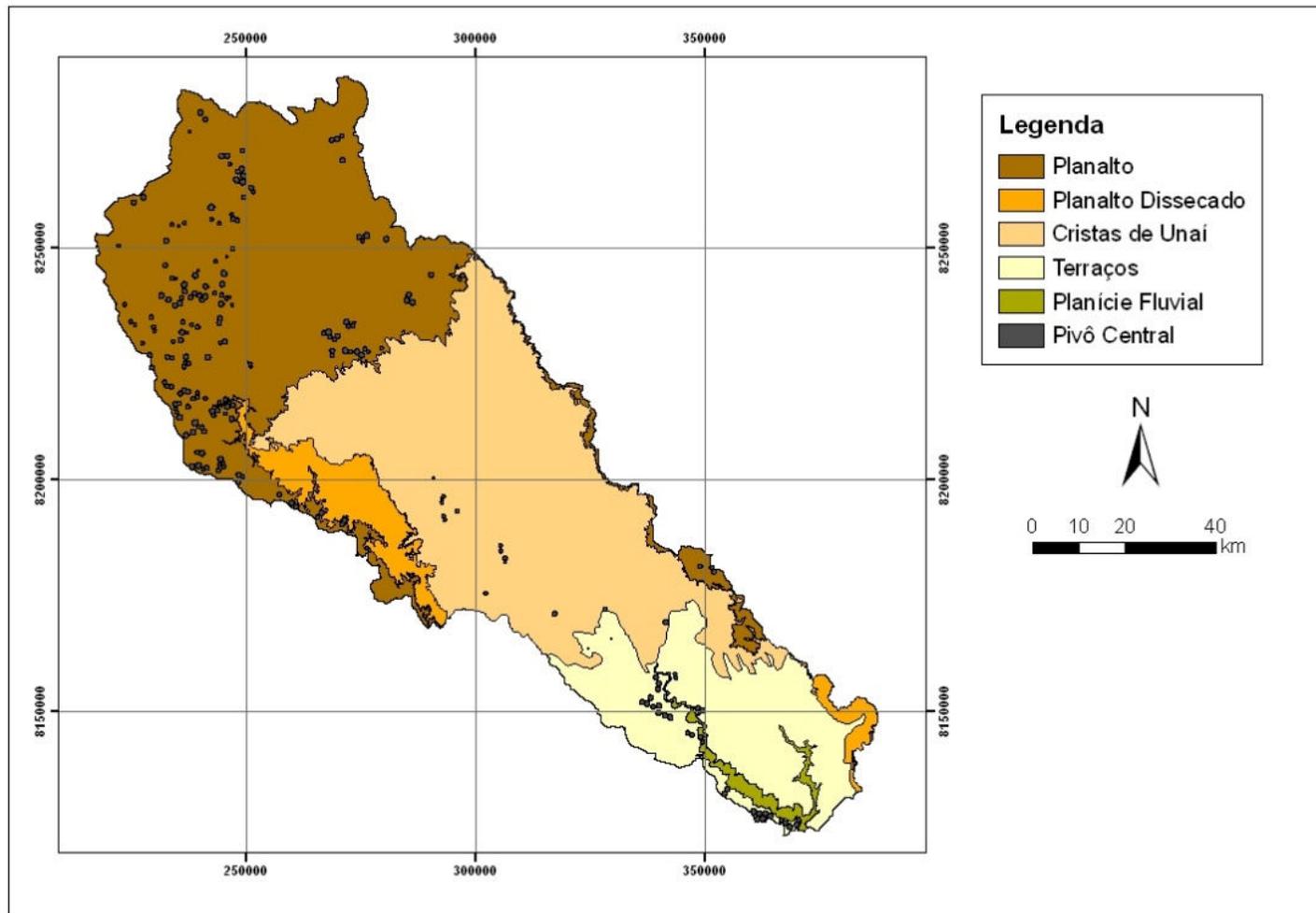
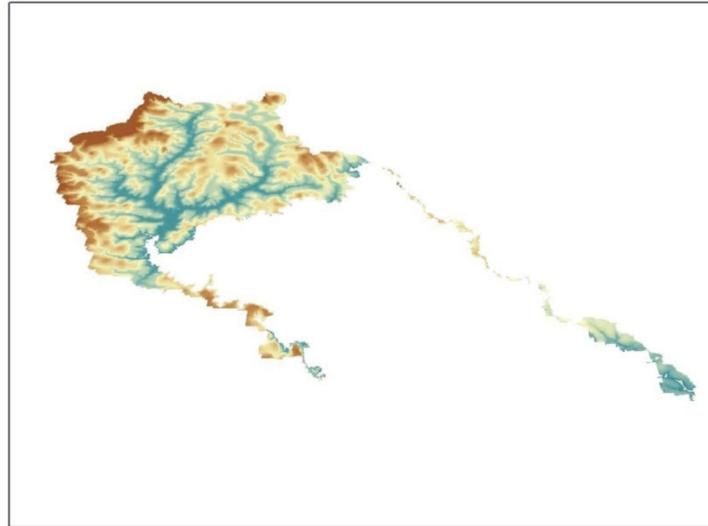
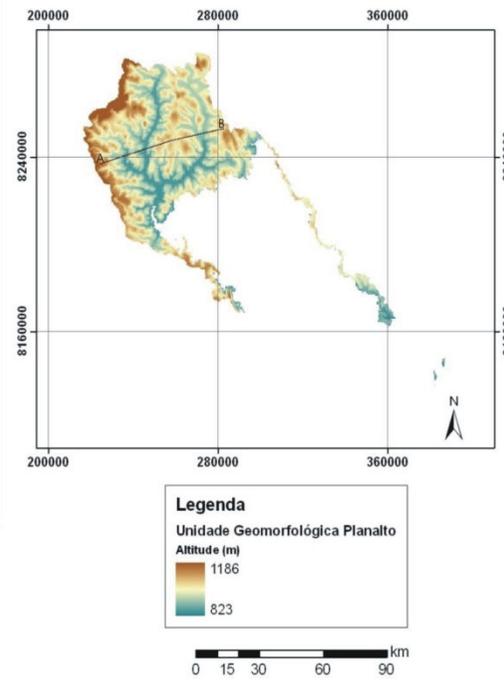


Figura 21. Localização dos pivôs em relação às unidades geomorfológicas

Visão 3D da Unidade Planalto



Perfil Topográfico na Unidade Planalto



Representação do Perfil Topográfico da Unidade Planalto

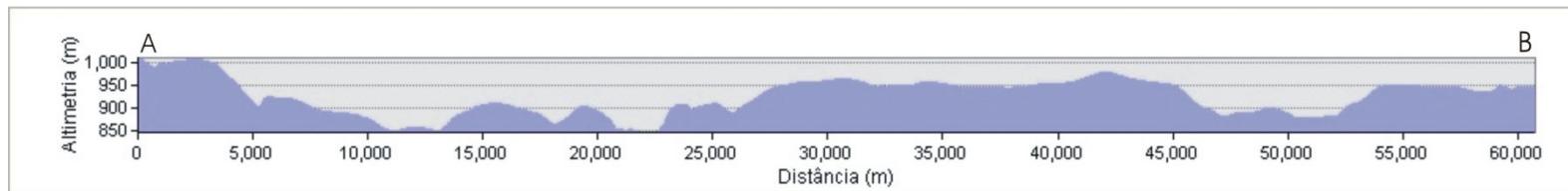
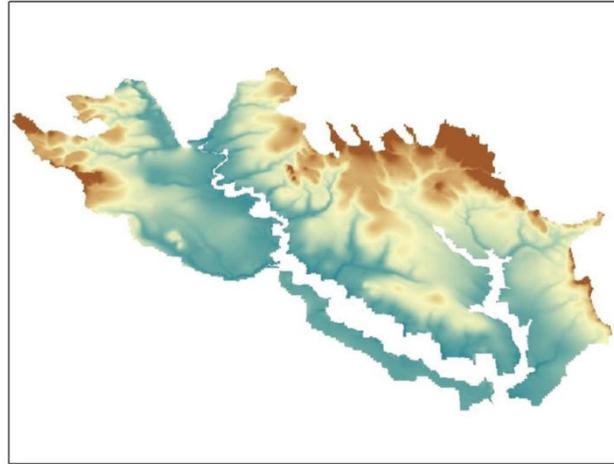
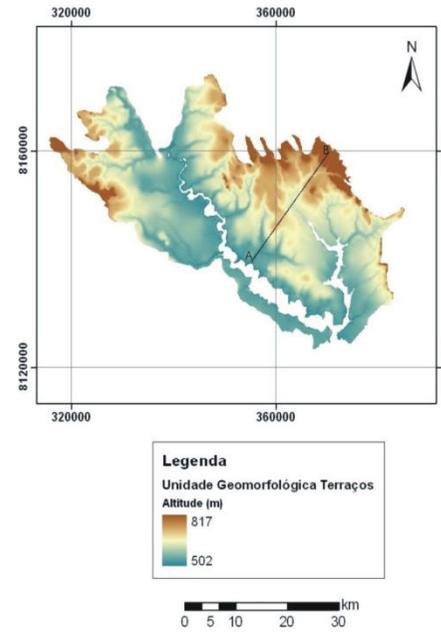


Figura 22. Perfil Topográfico da unidade Planalto

Visão 3D da Unidade Terraços



Perfil Topográfico na Unidade Terraços



Representação do Perfil Topográfico na Unidade Terraços

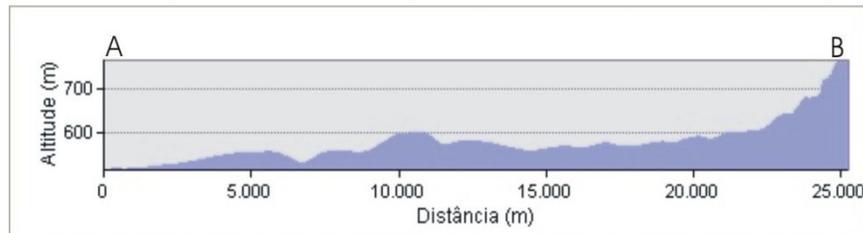


Figura 23. Perfil topográfico da unidade Terraços

Conforme o perfil topográfico a unidade Planalto apresenta um relevo plano a suave ondulado. A declividade nesta unidade varia de 0 a 16 graus. Na unidade Terraços verifica-se o padrão de relevo suave ondulado. A declividade neste compartimento varia de 0 a 4 graus. Estas diferenças de declividade podem ser observadas nos perfis topográficos apresentados.

Com o intuito de detalhar a localização dos pivôs centrais no segundo nível categórico de classificação do relevo foi feita a espacialização desses pivôs para as seguintes subunidades - Planaltos: Topos e Vales Intraplanálticos; Planalto Dissecado: Silicático e Cárstico; Cristas de Unaí: Serras e Depressões; Terraços: Superiores e Inferiores e Planície: Fluvial (**Figura 24**).

Observa-se que os pivôs continuam concentrados nas áreas planas, como as subunidades Topos e Vales Intraplanálticos e Terraços Inferiores.

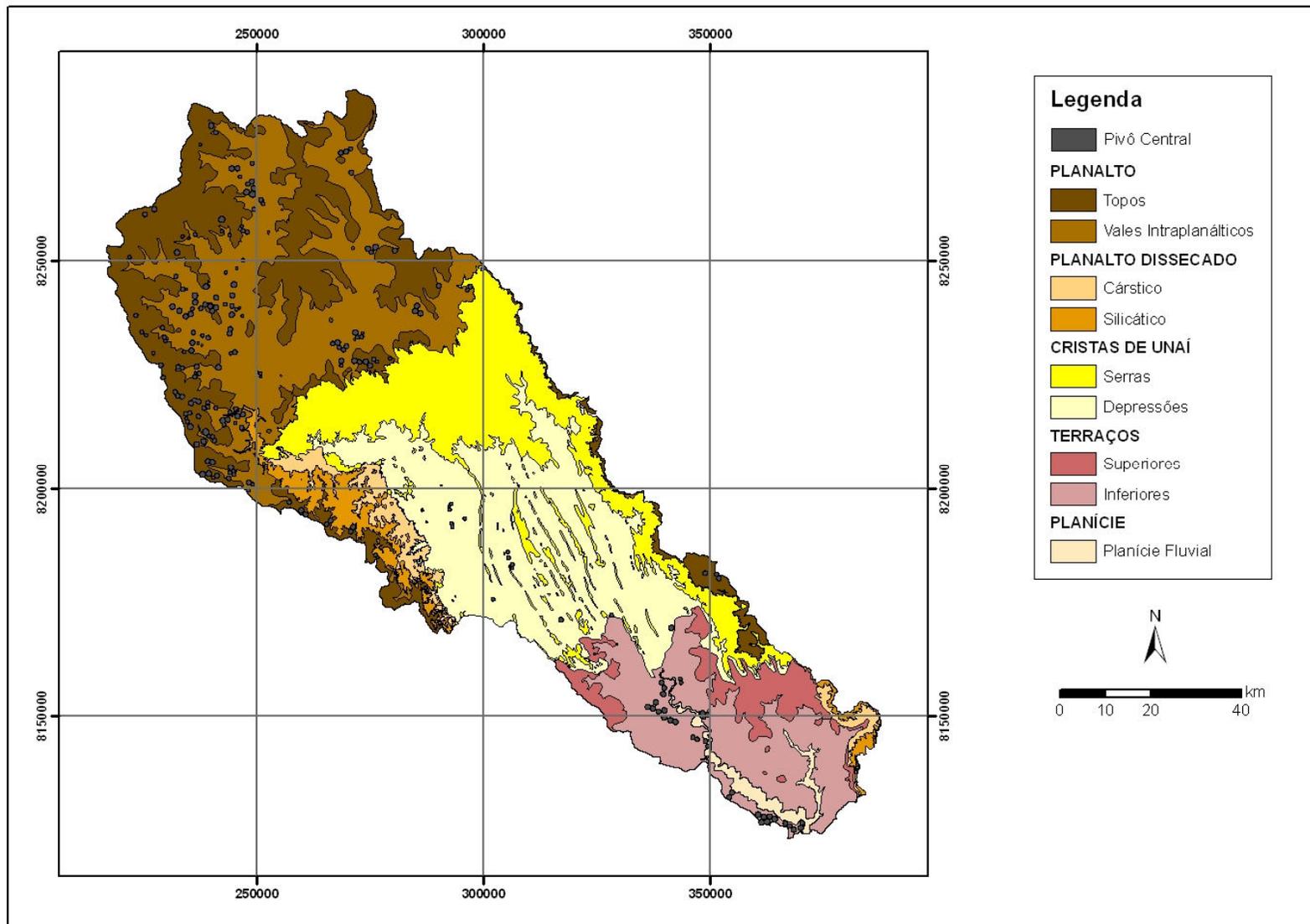
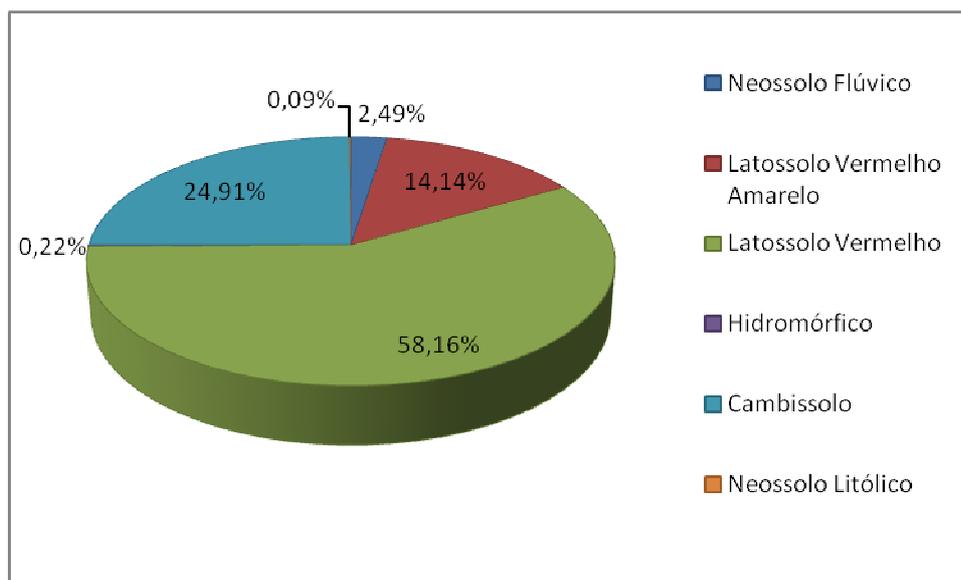


Figura 24. Localização dos pivôs em relação às subunidades geomorfológicas

Em relação aos solos que ocorrem na bacia do rio Preto, observa-se que os pivôs ocorrem sobre os seguintes solos: Latossolo Vermelho-Amarelo, Latossolo-Vermelho, Hidromórfico, Cambissolo, Neossolo Flúvico, Neossolo Litólico e Neossolo Flúvico (**Figura 26**). Sendo que os pivôs predominam nas classes Latossolo-Vermelho (58,16 %), Cambissolo (24,91%) e Latossolo Vermelho-Amarelo (14,14%) (**Figura 25**).



**Figura 25. Ocorrência dos pivôs em relação às classes de solos**

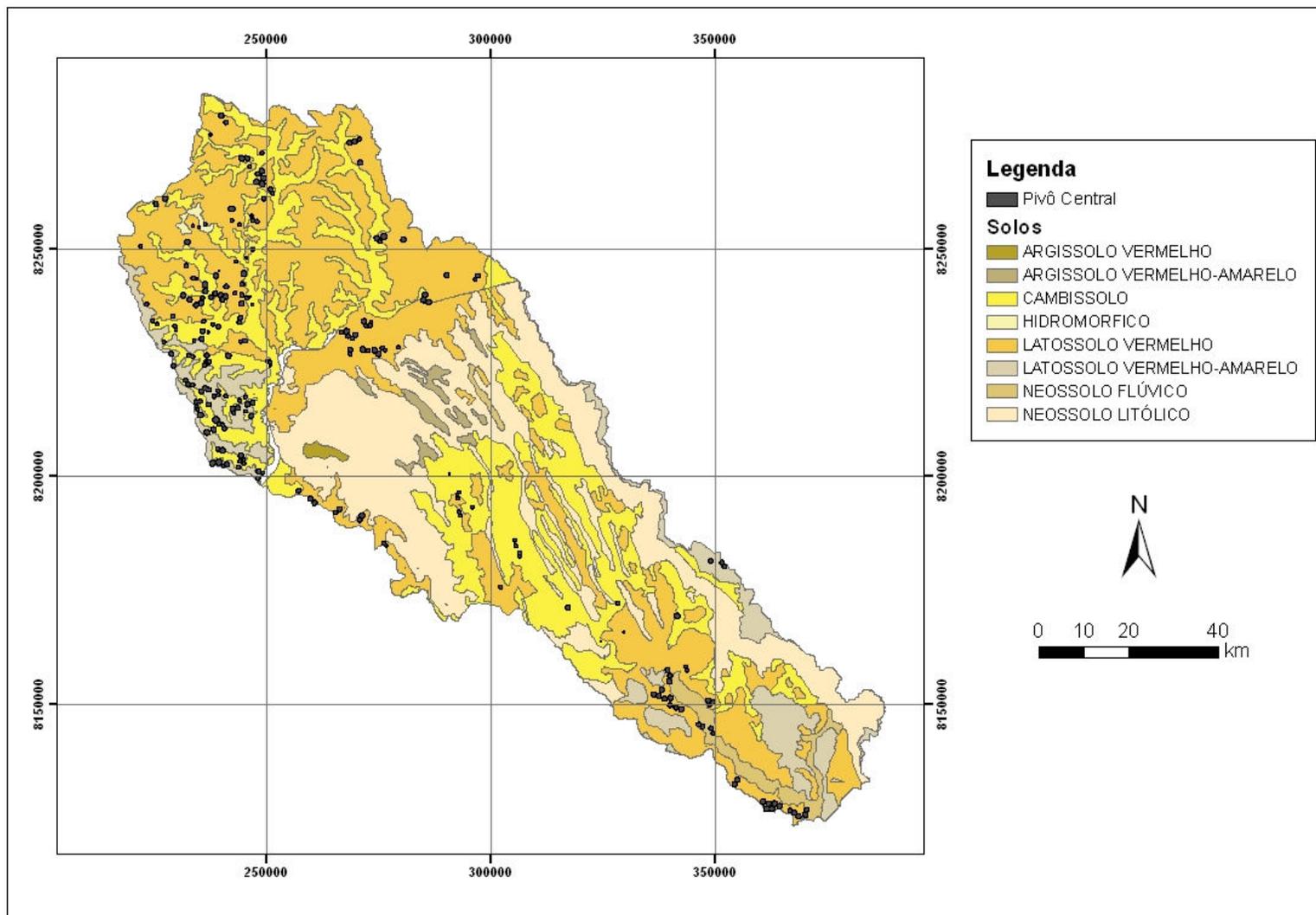


Figura 26. Mapa de solos da bacia do Rio Preto

Analisando o mapa geomorfológico com os pivôs centrais (**Figura 21**) e o mapa de solos (**Figura 26**) pode-se constatar:

**Unidade Planalto:** Por ser uma região que possui uma grande área plana, quase não apresenta acúmulo de fluxo. Os solos de maior ocorrência são Latossolos Vermelhos. Ocorrem também áreas com Latossolos Vermelho-Amarelos. Estes solos favorecem a drenagem subsuperficial e a infiltração. Os Cambissolos ocorrem nas vertentes associadas aos vales dos rios e, localmente, com ocorrências de Neossolos Litólicos.

**Unidade Planalto Dissecado:** Não há ocorrência de pivôs centrais nesta unidade. Verifica-se que o padrão de dissecação do relevo ao longo da unidade, principalmente entre as altitudes de 700m e 800m. Apresenta declividade variando de 12 a 50 graus. Nesta área há uma maior ação do intemperismo químico do que físico devido à acumulação de fluxo que atua na dissolução das rochas carbonáticas da Formação Vazante, dando origem a algumas formas cársticas. Os solos que ocorrem predominantemente são Cambissolos e Neossolos Litólicos devido à declividade que ocorre na área. Há uma pequena ocorrência de Argissolo Vermelho, Argissolos Vermelho-Amarelos e Neossolos Quartzarênicos nessa unidade.

**Cristas de Unaf:** Nesta unidade ocorrem alguns pivôs, mas são pouco e mais esparsos. O relevo da área é suave ondulado, ondulado devido às cristas, que são mais altas. Apresenta declividade predominante variando de 9 a 48 graus. Os solos predominantes nas formações cársticas são os Cambissolos e Neossolos Litólicos. Esses solos por terem um perfil pouco desenvolvido favorecem a percolação da água que irá formar essas feições. O Latossolo Vermelho ocorre nessa unidade, mas nas áreas mais altas e também nas áreas próximas a planície. Em pequenas áreas ocorrem Argissolo Vermelho e Argissolo Vermelho-Amarelo.

**Terraços:** Esta é a segunda unidade que apresenta mais pivôs centrais. Verifica-se que o padrão de relevo é suave ondulado ao longo da unidade. Apresenta declividade variando predominantemente de 0 a 4 graus, ocorrendo em pequenas áreas declividade de 31 graus. É uma unidade que a acumulação do fluxo é maior. Os solos que ocorrem em maior quantidade são os Latossolos Vermelhos e Latossolos Vermelho-Amarelos.

**Planície Fluvial:** É a menor unidade geomorfológica, a ocorrência de pivô central nesta unidade é pouca. Verifica-se que o padrão de relevo é suave ondulado ao longo da unidade. Apresenta declividade variando predominantemente de 0 a 6 graus, além disso ocorrem em pequenas áreas declividade de 8 a 30 graus. É uma unidade que a acumulação do fluxo é

maior já que abrange o leito do rio Preto. O solo que ocorre predominantemente na unidade é o Neossolo Flúvico.

#### **4.4 Análise espacial dos pivôs na bacia do Rio Preto**

A estrutura econômica e espacial está relacionada diretamente à utilização de novas tecnologias no meio agrícola. Deve-se analisar as condições de mercado para a produção, mas também, onde e como a produção é feita, abrangendo variáveis que vão desde a boa condição do solo em determinadas regiões até as relações de aquisição de mão-de-obra no processo de produção (Ferreira, 1989). A análise da economia espacial em áreas irrigadas é fundamental na estimativa da produção de safra, planejamento e formulação de estratégias para o desenvolvimento regional sustentável (Soares *et al.*, 2007). Uma das conclusões possíveis a partir desses levantamentos é entender como o espaço geográfico se organiza e interfere nos processos econômicos e sociais (Santos, 1979).

Pode-se estimar o valor de cada compartimento geomorfológico em relação aos pivôs centrais. A estimativa do valor agregado às unidades geomorfológicas acontece a partir do cálculo do custo da implementação da tecnologia. Este cálculo é feito a partir das seguintes variáveis (Soares *et al.*, 2007): área do pivô em hectares; distância entre o centro do pivô e a fonte de captação d'água; desnível em metros entre a captação e o centro; desnível entre o centro e o ponto mais alto (no raio de abrangência do pivô); desnível entre o centro e o ponto mais baixo (dentro do raio do pivô); fonte de energia utilizada para funcionar o pivô (energia elétrica ou diesel); e a altura dos aspersores.

O valor de cada unidade geomorfológica foi verificado a partir de orçamentos dos custos dos pivôs centrais. Os custos estimados foram cedidos pela empresa PIVOT EQUIPAMENTOS AGRICOLAS E IRRIGAÇÃO LTDA (**Tabela 2**).

Esta empresa foi escolhida conforme sugestão da Embrapa Cerrados, uma vez que a PIVOT é uma das principais fornecedoras deste equipamento na região. A aquisição dos valores dos orçamentos foi feita a partir da seleção dos maiores e menores valores das áreas dos pivôs dentro da bacia devido ao grande número destes. Eles foram relacionados com a distância em relação ao corpo d'água, com o desnível e os orçamentos sobre a construção dos pivôs cedidos pela empresa de pivôs. A empresa forneceu os orçamentos de acordo com os pivôs que são construídos por ela, desta forma, o valor máximo do custo fornecido pela empresa foi para o pivô de 148 ha.

**Tabela 2. Valores de referência para a construção dos orçamentos (Ano Base: 2006)**

Área (ha)	Distância (m) <sup>1</sup>	Desnível (m) <sup>2</sup>	Custo (R\$)
7	549	24	120.978,22
148	549	24	644.328,42
7	549	45	120.450,52
148	549	45	618.822,80
7	1179	24	144.049,96
148	1179	24	705.821,87
7	1179	45	144.786,01
148	1179	45	734.333,19 <sup>3</sup>

Verificou-se que os dados referentes aos desníveis entre os pontos de maior e menor elevação dentro do raio do pivô foram descartados para a construção dos orçamentos, já que os desníveis encontrados da bacia variam entre 2 e 3 metros, o que não faz diferença no preço final. O que faz diferença é o tamanho da área do pivô.

Tomando como base esta informação foi proposto o custo aproximado de implementação dos pivôs centrais a partir de diferentes classes de área existente na bacia. A partir desses valores foi proposta uma classificação qualitativa que será relacionada com as unidades geomorfológicas da bacia do rio Preto. (**Tabela 3**).

**Tabela 3. Custo aproximado de implementação dos pivôs centrais a partir das diferentes classes de área e classificação qualitativa do tamanho das áreas dos pivôs centrais da bacia do Rio Preto**

	Área (ha)	Custo (R\$)	Classe Qualitativa (Tamanho do pivô em relação à área)
1	7-29 <sup>4</sup>	180.000	Muito Pequeno
2	30-59	300.000	Pequeno
3	60- 89	420.000	Médio
4	90-119	540.000	Grande
5	120-160 <sup>5</sup>	660.000	Muito Grande

<sup>1</sup> Distância em metros entre o curso d'água e o centro do pivô.

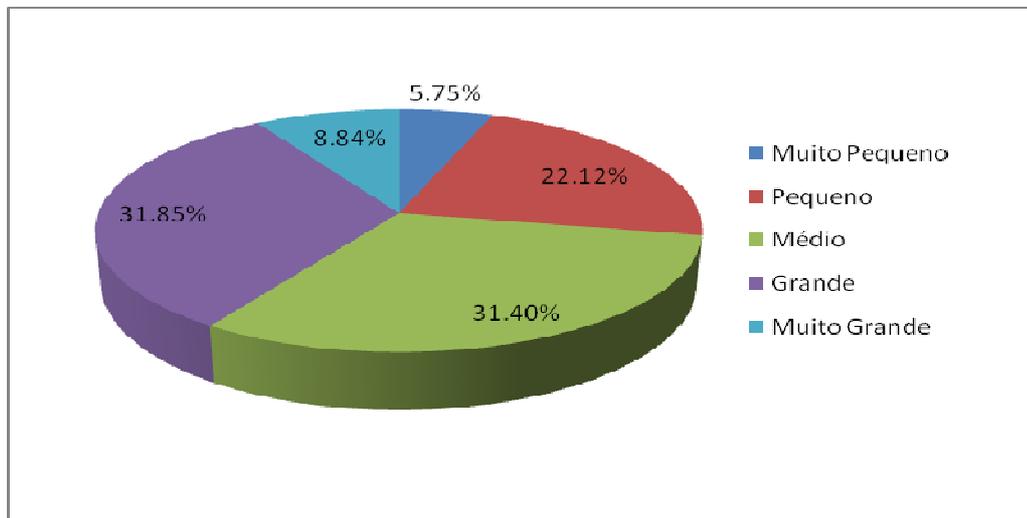
<sup>2</sup> Desnível em metros entre o curso d'água e o centro do pivô.

<sup>3</sup> O custo desta linha foi estimado com base na proporção entre os outros custos, para isto tomou-se como base mesma área e distância, mas considerando o desnível de 45 em relação ao desnível de 24. Assim, analisando o comportamento das razões das áreas de 7 e 148 ha na distância 549, foi estimado o custo para estas características de área, desnível e distância.

<sup>4</sup> Esta classe não está no intervalo de 30 em 30 ha porque a menor área do pivô encontrada na bacia é de 7 ha.

<sup>5</sup> A última classe não está no intervalo de 30 em 30 ha porque há um pivô com 160 ha.

A **Figura 27** mostra a freqüência dos tamanhos dos pivôs em toda a bacia do rio Preto em relação ao total de pivôs que ocorrem na bacia. Observa-se que na bacia os tamanhos que predominam são os pivôs com áreas médias e grandes.



**Figura 27. Porcentagem de classes qualitativas na bacia do Rio Preto**

Para fazer a classificação dos pivôs segundo a **Tabela 3**, foi calculada a quantidade de pivôs que cada compartimento geomorfológico possui no primeiro e segundo nível hierárquico de classificação do relevo.

No primeiro nível, a quantidade de pivôs que cada compartimento geomorfológico possui no primeiro nível categórico é a seguinte: Planalto (176); Planalto Dissecado (0); Cristas de Unaí (15); Terraços (34); Planície Fluvial (1).

Já no segundo nível hierárquico a quantidade de pivôs foi: Topos (76); Vales Intraplânálticos (100); Depressões (15); Terraços Superiores (1); Terraços Inferiores (33); e Planície Fluvial (1). Nas subunidades Serras, Planalto Dissecado Silicático e Planalto Dissecado Cárstico não ocorrem pivôs.

Essas quantidades de pivôs foram delimitadas a partir da área ocupada por cada um em cada unidade. Como ocorrem pivôs que possuem localização em mais de uma área, para fazer a contagem destes pivôs, optou-se por classificar o pivô em determinada unidade a partir da maior área que possui em uma determinada unidade. Por exemplo, existem dois pivôs que estão divididos pelas unidades Planície Fluvial e Terraços, áreas de 55,195ha e 90,159ha, respectivamente. O pivô de 55,195ha tem 29,169 ha na unidade Planície Fluvial e 26,026ha

na unidade Terraços. Já o pivô cuja área é de 90,159ha tem 68,104 ha na Terraços e 22,055 ha na unidade Planície Fluvial. Então, foi considerado que o pivô de 55,195ha está na unidade Planície Fluvial e o de 90,159ha está na unidade Terraços. Desta maneira, evita-se a dupla contagem do mesmo pivô.

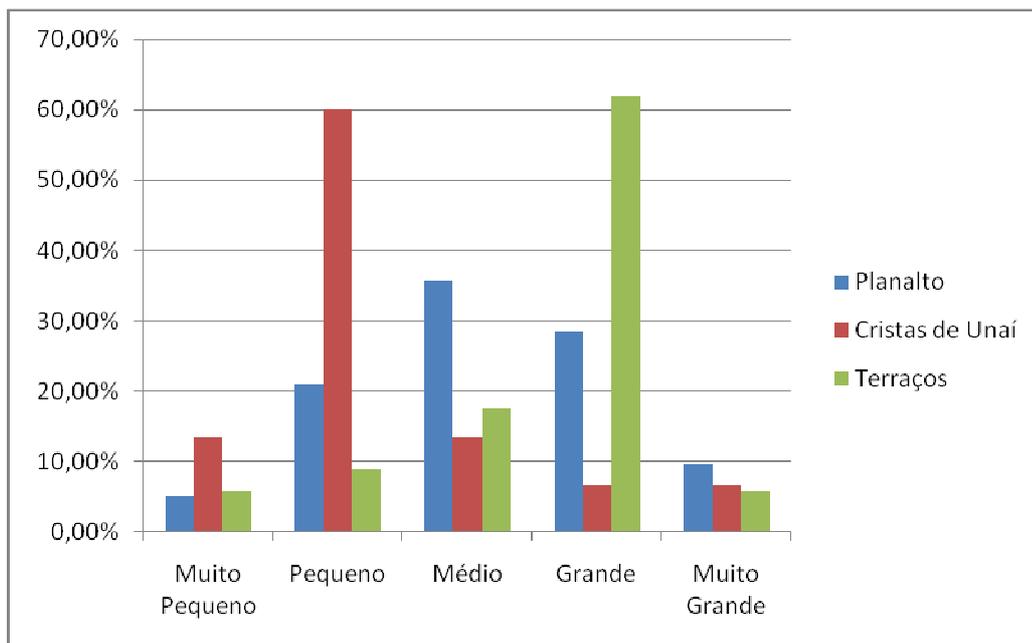
A partir da **Tabela 3**, tem-se a seguinte classificação: a unidade Planaltos ocorrem 176 pivôs, sendo 9 muito pequenos, 37 pequenos, 63 médios, 50 grandes e 17 muito grandes. Na unidade Cristas de Unai existem 15 pivôs, sendo 2 muito pequenos, 9 pequenos, 2 médios, 1 grande e 1 muito grande. Na unidade Terraços ocorrem 34 pivôs, sendo 2 muito pequenos, 3 pequenos, 6 médios, 21 grandes e 2 muito grandes. Para a unidade Planalto Dissecado e a unidade Planície Fluvial não foi feita esta análise estatística porque na primeira não há pivôs e na segunda só há 1 pivô de 55,195 ha, este foi classificado como pequeno.

A **Tabela 4** mostra a ocorrência destas classes qualitativas nas unidades geomorfológicas em primeiro nível categórico.

**Tabela 4. Porcentagem das classes qualitativas nas unidades geomorfológicas**

Classes Qualitativas	Unidades Geomorfológicas		
	Planalto	Cristas de Unai	Terraços
Muito Pequeno	5,11%	13,33%	5,88%
Pequeno	21,02%	60,00%	8,82%
Médio	35,80%	13,33%	17,65%
Grande	28,41%	6,67%	61,77%
Muito Grande	9,66%	6,67%	5,88%

A **Figura 28** mostra a comparação entre a quantidade de pivôs centrais pertencentes à estas classes qualitativas em cada unidade geomorfológica.



**Figura 28. Porcentagem de classes qualitativas nas unidades geomorfológicas**

A partir da Tabela 4 e do gráfico 2 conclui-se que na unidade Planalto são mais freqüentes os pivôs de área médias, na unidade Cristas de Unai prevalecem os pivôs de áreas pequenas e na unidade Terraços os pivôs de áreas grandes.

A partir dessas informações foi feito um mapa que associa as unidades geomorfológicas com a classe qualitativa predominante em cada compartimento do relevo (**Figura 29**).

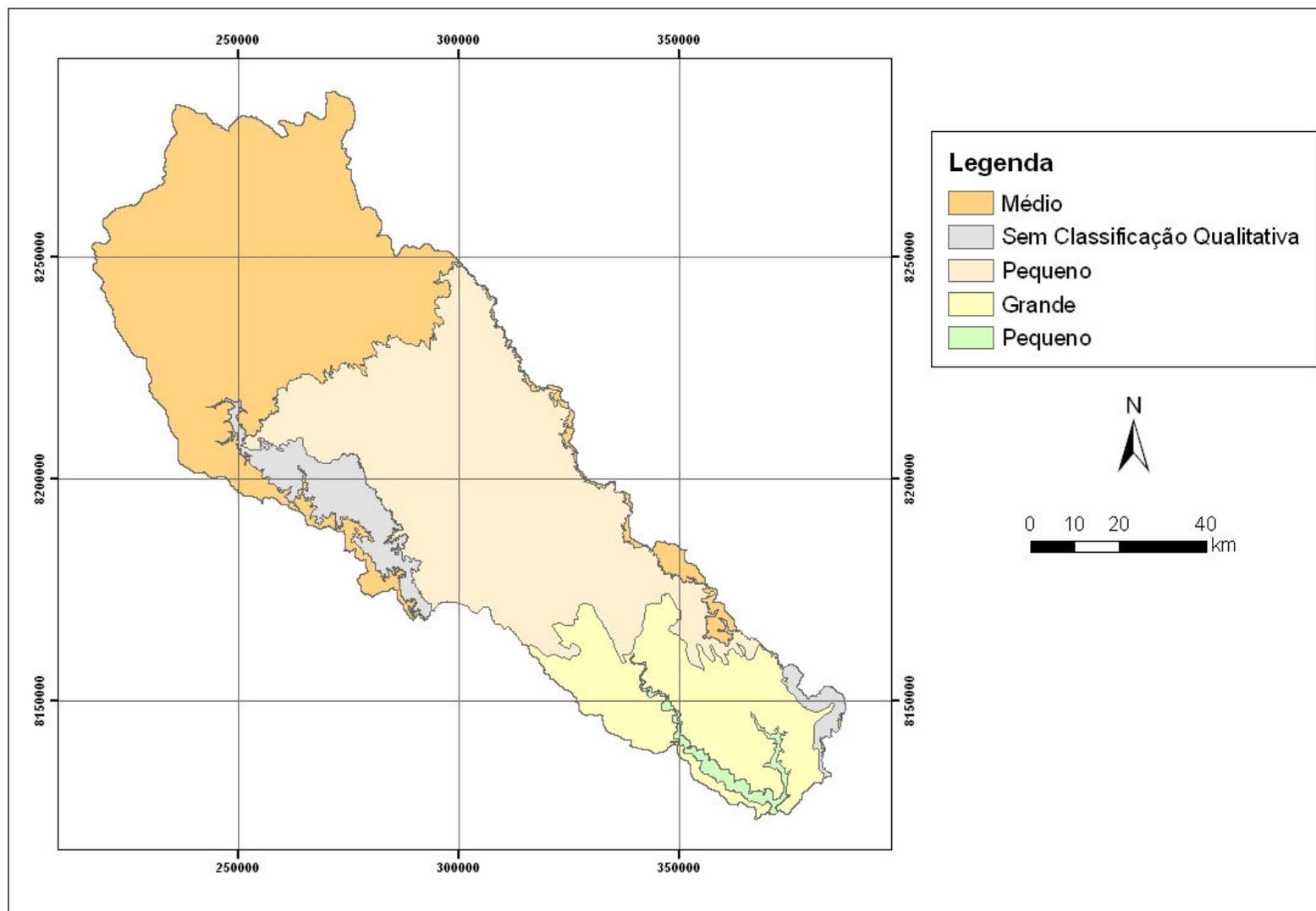


Figura 29. Classificação qualitativa em relação ao tamanho da área do pivô predominante em cada compartimento do relevo

Desta maneira, o mapa mostra que os pivôs estão distribuídos da seguinte maneira: predominam na unidade Planalto os médios; na unidade Planalto Dissecado não ocorrem; na unidade Cristas de Unaí predominam os pivôs pequenos; na unidade Terraços predominam os pivôs grandes e na unidade Planície Fluvial ocorre apenas um pivô pequeno.

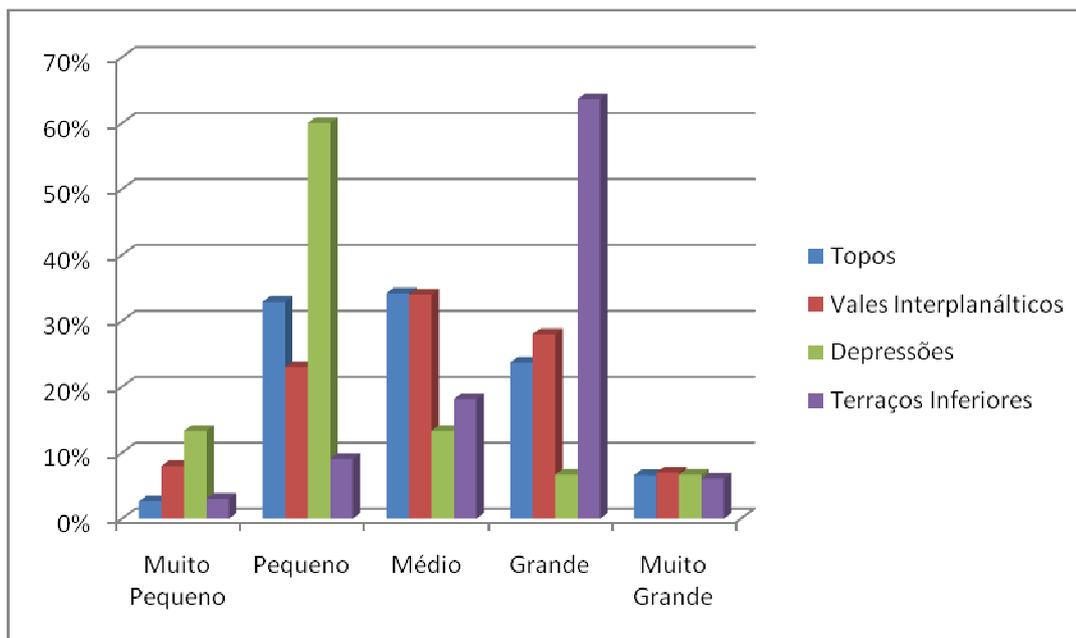
A partir da **Tabela 3** obteve-se a classificação em relação ao segundo nível categórico do relevo. Na subunidade Topos ocorrem 76 pivôs, sendo 2 muito pequenos, 25 pequenos, 26 médios, 18 grandes e 5 muito grandes. Na subunidade Vales Intraplanálticos ocorrem 100 pivôs, sendo 8 muito pequenos, 23 pequenos, 34 médios, 28 grandes e 7 muito grandes. Na subunidade Depressões ocorrem 15 pivôs, sendo 2 muito pequenos, 9 pequenos, 2 médios, 1 grande e 1 muito grande. Na subunidade Terraços Inferiores ocorrem 33 pivôs, sendo 1 muito pequeno, 3 pequenos, 6 médios, 21 grandes e 2 muito grandes.

A **Tabela 5** mostra a ocorrência destas classes qualitativas nas unidades geomorfológicas em segundo nível categórico.

**Tabela 5. Porcentagem das classes qualitativas nas subunidades geomorfológicas**

Classes Qualitativas	Subunidades Geomorfológicas			
	Topos	Vales Interplanálticos	Depressões	Terraços Inferiores
Muito Pequeno	3%	8%	13,33%	3,03%
Pequeno	33%	23%	60%	9,09%
Médio	34%	34%	13,33%	18,18%
Grande	24%	28%	6,67%	63,64%
Muito Grande	7%	7%	6,67%	6,06%

A partir dessas informações foi feita uma comparação entre a quantidade de pivôs centrais pertencentes à estas classes qualitativas em cada subunidade geomorfológica (**Figura 30**).



**Figura 30. Porcentagem de classes qualitativas nas subunidades geomorfológicas**

Na subunidade Terraço Superior ocorre um pivô de 7,9 ha, sendo classificado como muito pequeno, e na subunidade Planície Fluvial também só possui 1 pivô de 55,1 ha, classificado como pequeno.

A partir dos dados da Tabela 4 e da Figura 13, observa-se que na subunidade Topos e Vales Intraplanálticos prevalecem os pivôs médios, na subunidade Depressões são mais freqüentes os pivôs pequenos e na subunidade Terraços Inferiores os pivôs grandes.

A **Figura 31** mostra o mapa que associa as subunidades geomorfológicas com a classe qualitativa predominante em cada compartimento do relevo.

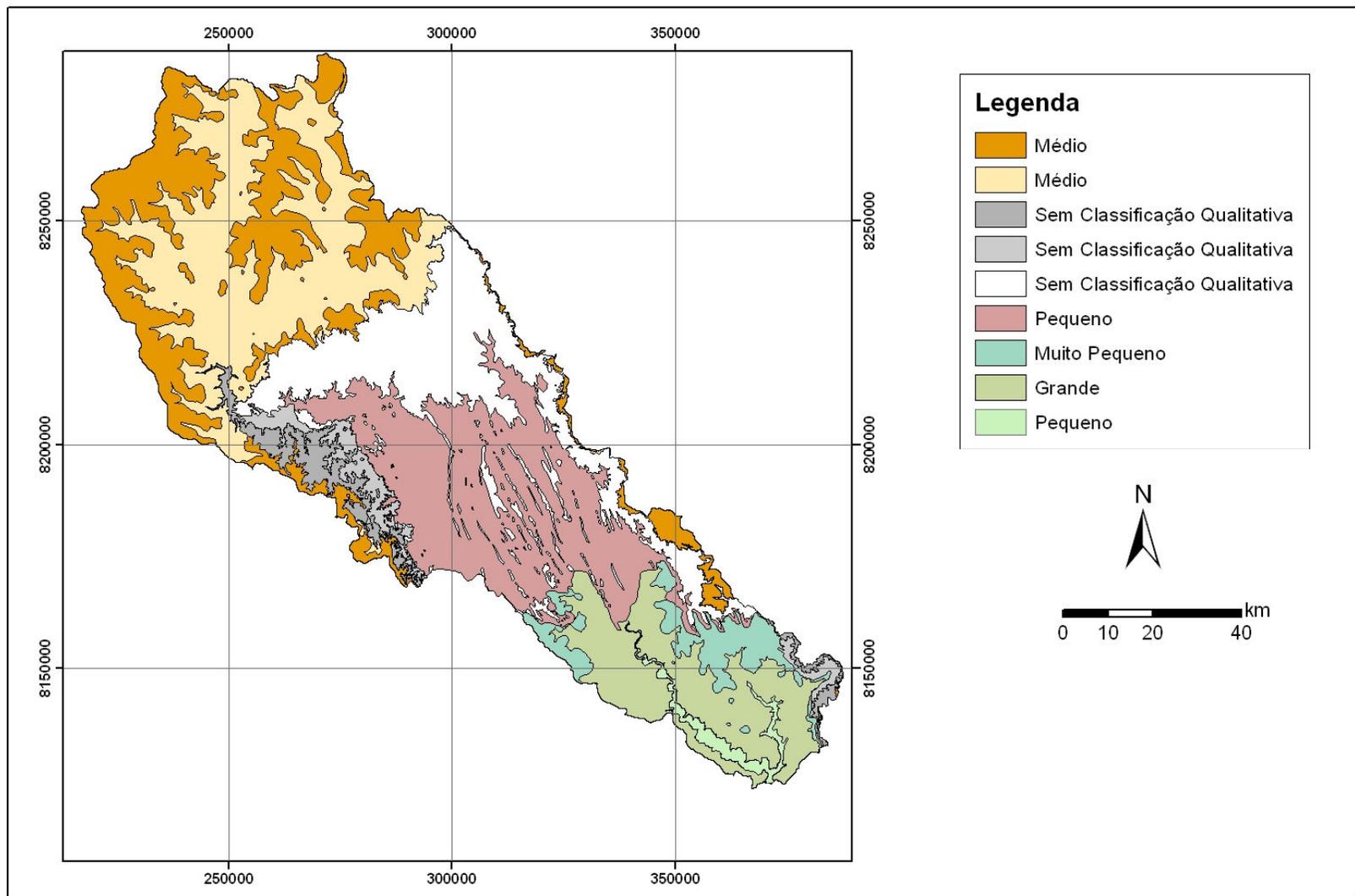


Figura 31. Classificação qualitativa em relação ao tamanho da área do pivô predominante em cada subunidade do relevo

## CAPITULO V

### CONCLUSÕES

Os padrões morfométricos na bacia do rio Preto são organizados de acordo com níveis altimétricos bem demarcados. Constatou-se a presença de cinco unidades geomorfológicas estabelecidas a partir da comparação do MDT e seus mapas derivados com a imagem Landsat 2003. A interpretação visual da imagem possibilitou definir melhor os limites das cinco unidades e suas respectivas subunidades geomorfológicas: Planalto (Topos e Vales Intraplanálticos); Planalto Dissecado (Silicático e Cárstico); Cristas de Unaí (Serras e Depressões); Terraços (Superiores e Inferiores); Planície Fluvial. Por ser uma área predominantemente composta por intercalações de rochas carbonáticas e silicáticas, a bacia apresenta formas típicas do relevo cárstico, especialmente nas unidades Cristas de Unaí e Planalto Dissecado. As porções mais elevadas das unidades Planalto e Planalto Dissecado o material de origem é formado por rochas metassedimentares clásticas. As unidades Terraços e Planície Fluvial são formadas por materiais depositados pela evolução fluvial do Rio Preto durante o Quaternário. A metodologia utilizada possibilitou descrever as formas do relevo e correlacionar com os aspectos geológicos e pedológicos.

Ao analisar a localização dos pivôs centrais com as unidades geomorfológicas e os solos percebe-se que os pivôs encontram-se nas áreas planas ou suave onduladas. Estas áreas planas facilitam o uso de tecnologias na agricultura.

Observou-se que os pivôs são mais frequentes nas unidades Planaltos e Terraços, no primeiro nível categórico de classificação geomorfológica. E em relação ao segundo nível categórico predominam nas subunidades Topos, Vales Intraplanálticos e Terraços Inferiores, onde ocorrem as áreas mais planas da bacia e ocorre uma elevada disponibilidade hídrica com pequenas distâncias verticais. Os solos nos quais predominam a ocorrência dos pivôs são o Latossolo-Vermelho, Cambissolo e Latossolo Vermelho-Amarelo.

A área total dos pivôs é 17.988 ha, o que equivale a 2% da superfície total da bacia.

A classificação qualitativa em relação ao tamanho da área foi escolhida por ser este o fator que mais interfere nos custos de implementação de pivôs centrais. Esta classificação qualitativa mostrou que os pivôs de áreas médias predominam na unidade Planalto, na unidade Planalto Dissecado não ocorrem pivôs, na unidade Cristas de Unaí predominam os

pivôs pequenos, na unidade Terraços predominam os pivôs grandes e na unidade Planície Fluvial ocorre apenas um pivô pequeno.

Nas subunidades Topos e Vales Intraplanálticos predominam pivôs médios. Nas subunidades Planalto Dissecado Silicático e Cárstico não ocorrem pivôs, assim como na subunidade Serra. Na subunidade Depressões predominam os pivôs pequenos. Na subunidade Terraços Superior ocorre apenas um pivô muito pequeno e na subunidade Terraços Inferiores predominam pivôs grandes. Na subunidade Planície Fluvial ocorre apenas pivô pequeno.

Deste modo, o conhecimento geomorfológico da bacia permite um planejamento do uso do solo. Como na bacia do Rio Preto predomina o uso de tecnologias de irrigação, este conhecimento torna-se importante. Com a utilização desses dados é possível indicar estratégias para diminuir os custos com a implementação e manutenção dos pivôs centrais, além do conflito com uso da água.

Novos trabalhos podem ser realizados usando essa metodologia, que associados a outros fatores, como uma análise multitemporal do processo de ocupação e também relacionar a localização dos pivôs com a aptidão agrícola dos solos.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AB'SABER, A. N. Um conceito de geomorfologia a serviço das pesquisas sobre o quaternário. **Geomorfologia**, São Paulo, Instituto de Geografia – USP, n.19, p.1-23, 1969.
- BELL, J.C., CUNNINGHAM, R.L., HAVENS, M.W. (1994). **Soil drainage class probability mapping using a soil-landscape model**. **Soil Science Society of America Journal**, 58, 464–470.
- BIGARELLA, J. J; BECKER, R.D. e PASSOS, E. Paisagem cárstica. In:\_\_\_\_. **Estrutura e origem das paisagens tropicais e subtropicais**. v.1. Florianópolis: UFSC, 1996. Cap. 5. p. 242-308.
- BIZZI, L. A.; SCHOBENHAUS, C.; GONÇALVES, J. H.; BAARS, F. J.; DELGADO, I. M.; ABRAM, M. B.; LEÃO NETO, R.; MATOS, G. M. M.; SANTOS, J. O. S. (2001), **Geologia, Tectônica e Recursos Minerais do Brasil: Sistema de Informações Geográficas - SIG e Mapas na escala 1:2.500.000**. Brasília: CPRM, 4 CD-ROM.
- BORGES, M. E. S.; CARVALHO JÚNIOR, O. A.; MARTINS, E. S.; GUIMARÃES, R.F.; ARCOVERDE, G. F. B. Emprego do Processamento Digital dos Parâmetros Morfométricos no Mapeamento Geomorfológico da Bacia do Rio Paracatu. **Anais do XI Simpósio de Geografia Física Aplicada – 5 a 9 de setembro de 2005**. Universidade de São Paulo. P. 2718 – 2727.
- BULTER D.R. & WALSH S.J. The application of remote sensing and geographic information systems in the study of geomorphology. **Geomorphology**,1998, 21: 179–349.
- CARNEIRO, P. J. R.; MALDANER, V. I.; ALVES, P. F.; QUEIRÓS, I. A. de; MAURIZ, T. V.; PACHECO, R. J. Evolução do uso da água na bacia do rio Preto no Distrito Federal. In: **Espaço & Geografia**, vol. 10, nº2, 2007. p.47-76.
- CASSETI, V. **Estrutura e Gênese da Compartimentação da Paisagem de Serra Negra (MG)**. Goiânia: Editora da UFG, 1981,124 p.
- CHAPLOT, V., WALTER, C., CURMI, P. Improving soil hydromorphy prediction according to DEM resolution and available pedological data. **Geoderma**, 2000, 97: 405– 422
- CHORLEY R.J. **Spatial Analysis in Geomorphology**. Upper Saddle River: Prentice Hall. 1972
- CHRISTOFOLETTI, A. **Aplicabilidade do Conhecimento Geomorfológico nos Projetos de Planejamento**. In: GUERRA, A J. T.; CUNHA, S. B. (Org.). **Geomorfologia: uma atualização de bases e conceitos**. 4ª ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2001. p 415-440.
- DALY, C., NEILSON, R.P., PHILLIPS, D.L. A statistical-topographic model for mapping climatological precipitation over mountainous terrain. **J. Appl. Meteorol.**, 1994, 33: 140–158.

DANTAS, M.E. Geomorfologia. In: CPRM; EMBRAPA; SCO-MI (Org.). **Zoneamento Ecológico-Econômico da Região Integrada de Desenvolvimento do Distrito Federal e Entorno - Fase I**. 1ª ed. Rio de Janeiro, 2003, v.2, p. 01-29.

DAVIS J.C. **Statistics and Data Analysis in Geology**. Chichester: John Wiley and Sons. 1973.

DIKAU R. & SAURER H. **GIS for Earth Surface Systems**. Berlin-Stuttgart: Gebrüder Borntraeger. 1999.

EMBRAPA - Centro Nacional de Pesquisa de Solos. (1999). **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. Brasília: Embrapa: Produção de Informação.

EMBRAPA – Bacia do Rio Preto Pesquisadores de diversas instituições se unem para avaliar e monitorar a Bacia. **Cerrados Informa**. Ano VI, agosto a outubro de 2005. Planaltina – DF. 2005. 8p.

EVANS, L. S. Correlation structures and factor analysis in the investigation of data dimensionality: statistical properties of the Wessex land surface. **Proceedings, International Symposium on Spatial Data Handling'84** v.1:98-116, Geogr. Inst., Universität Zürich, Switzerland, 1984.

EVANS and McCLEAN. The land surface is not unifractal: variograms, cirque scale and allometry. **Zeitschrift für Geomorphologie N. F. Suppl**, 1995 – Band 101: 127-147.

FERREIRA, C.M.C. Espaço, regiões e economia regional. In HADDAD, P.R. **Economia regional: teoria e métodos de análise**. Fortaleza: BNB, 1989. Cap.1, p.45-65.

FOLEGATTI, M.V., PESSOA, P.C.S. and PAZ, V.P.S. Avaliação do desempenho de um Pivô Central de Grande Porte e Baixa Pressão. **Sci. agric.** [online]. 1998, vol. 55, no. 1 pp. 119-127.

GERMAK. GERMAK equipamentos agrícolas. **Pivô Central**. Disponível em: [http://www.germek.com.br/irrigacao/pivo\\_central.aspx](http://www.germek.com.br/irrigacao/pivo_central.aspx). Acessado em: 25/01/2008.

GESSLER, P.E., MOORE, A.W., MCKENZIE, N.J., RYAN, P.J., (1995). Soil-landscape modelling and spatial prediction of soil attributes. **International Journal of Geographical Information Systems**, 9: 421–432.

GOTTFRIED, M., PAULI, H., GRABHERR, G. (1998). Prediction of vegetation patterns at the limits of plant life: a new view of the alpine-nival ecotone. **Arct. Alp. Res.**, 30(3): 207–221.

GUISAN, A., THEURILLAT, J.-P., KIENAST, F. Predicting the potential distribution of plant species in an alpine environment. **Journal of Vegetation Science**, 1998, 9: 65–74.  
GYLE, W.F. Morphometric analysis and the world-wide occurrence of stepped erosion surfaces. **Journal of Geology**, 1961, 69: 388–416.

HERMUCHE, P. M.; ANDRADE, A.C.; GUIMARÃES, R.F.; LEAL, L.R.; CARVALHO JUNIOR, O. A. ; MARTINS, E.S. Compartimentação geomorfológica em escala regional da

bacia do rio Paranã. **Anais X Simpósio de Geografia Física Aplicada**, Rio de Janeiro, v. 1, p. E2-2-2T288, 2003a. CD-ROM.

HERMUCHE, P. M.; CARVALHO, A. P. F.; MARTINS, E. S.; FUCKS, S.D.; CARVALHO JUNIOR, O. A. Processamento digital de imagens morfométricas para subsidiar o mapeamento pedológico. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 2003b, Belo Horizonte (MG). **Anais XI SBSR**. São José dos Campos: INPE, 2003. p. 123-130.

HERMUCHE, P. M.; GUIMARÃES, R.F.; CARVALHO, A.P.F.; MARTINS, E.S.; FUCKS, S.D.; CARVALHO JUNIOR, O. A.; SANTOS, N.B.F.; REATTO, A. Morfometria como Suporte para Elaboração de Mapas Pedológicos: I. Bacias Hidrográficas Assimétricas. **Documentos** - Embrapa Cerrados, Planaltina (DF), v. 68, p. 1-25, 2002.

HILL, M.O. Patterns of species distribution in Britain elucidated by canonical correspondence analysis. **Journal of Biogeography**, 1991, 18: 247–255.

HORTON R.E. Erosional development of streams and their drainage basins: hydrophysical approach to quantitative morphology. **The Geological Society of America Bulletin**, 1945, 50: 275–370.

HUTCHINSON, M.F. A new procedure for gridding elevation and stream line data with automatic removal of spurious pits. **Journal of Hydrology**, 1989, 106: 211-232.

HUTCHINSON, M.F., BISCHOF, R.J. A new method for estimating the spatial distribution of mean seasonal and annual rainfall applied to Hunter Valley, New South Wales. **Austral. Meteorol. Mag.**, 1983, 31: 179–184.

JELASKA, S.D., ANTONIÉ, O., NIKOLIÉ, T., HRSAK, V., MISKO P., KRIZAN, J. (2003). Estimating plant species occurrence in MTB/64 quadrants as a function of DEM-based variables—a case study for Medvednica Nature Park, Croatia. **Ecological Modelling**, 170: 333–343.

KOHLER, H. C. **Geomorfologia cárstica**. In: GUERRA, A J. T.; CUNHA, S. B. (Org.). Geomorfologia: uma atualização de bases e conceitos. 4ª ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2001. p. 309-334.

LANE S.N., CHANDLER J.H. & RICHARDS K.S. Landform Monitoring, **Modelling and Analysis**. Chichester: John Wiley and Sons, 1998.

LEAL, L. R. *et al.* **Definição de unidades geomorfológicas a partir de imagens de dados morfométricos na bacia do Rio Grande (BA)**. Anais XI SBSR, Belo Horizonte, Brasil, 05-10 abril de 2003, INPE. p. 2055-2062.

LEE, K.-S., LEE, G.B., TYLER, E.J. Thematic Mapper and digital elevation modeling of soil characteristics in hilly terrain. **Soil Science Society of America Journal**, 1988, 52: 1104–1107.

MALDANER, V. I. **Análise dos Conflitos do Uso da Água na Bacia Hidrográfica do Rio Preto no DF. Dissertação de Mestrado**. Universidade Católica de Brasília, Brasília, DF, 2003, 121p. :il.

MAROUELLI, W.A., SILVA, W. L. C., SILVA, H. R., **Irrigação por aspersão em Hortaliças – Qualidade da água, aspectos do sistema e método prático de manejo**. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, Embrapa Hortaliças, 2001. 111p.

MARQUES, J. S. Ciência Geomorfológica. In: GUERRA, A. J. T. e CUNHA, S. B. da (org). **Geomorfologia: uma atualização de bases e conceitos**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2001. p. 23 - 50.

MELTON, M.A. Correlation structure of morphometric properties of drainage systems and their controlling agents. **Journal of Geology**, 1958. 66: 442–460

MILIAREISIS, G.C. Geomorphometric mapping of Zagros Ranges at regional scale. **Computers & Geosciences**, 2001. 27: 775–786.

MOORE, I.D., GESSLER, P.E., NIELSEN, G.A., PETERSEN, G.A. (1993). Soil attribute prediction using terrain analysis. **Soil Science Society of America Journal**, 57: 443–452.

MORRE I. D., GRAYSON, R.B. and LADSON A. R. Digital terrain modelling: a review of hydrological geomorphological and biological applications. **Hydrological Processes**, 5: 3-30, 1991.

NOVAES PINTO, M. Caracterização Geomorfológica. In: \_\_\_\_\_ (org.). **Cerrado: Caracterização, ocupação e perspectivas**. 2ª ed. Brasília: Editora Universidade de Brasília, 1993. Cap. 17. p. 285-320.

OLIVEIRA, B.M.L. ; RAMOS, V.M.; CARVALHO JUNIOR, O. A. ; GUIMARÃES, R.F.; BETTIOL, G.M.; GOMES, R. A. T.; MARTINS, E.S.; REATTO, A. Avaliação do uso da morfometria como suporte para a elaboração de mapa pedológico na bacia do Ribeirão da Pedreira - DF. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 2005, Goiânia. **Anais XII SBSR**. São José dos Campos: INPE, 2005. p. 3167-3174.

PANQUESTOR, E. K. *et al.* Associação do processamento digital de imagens ao uso de parâmetros morfométricos na definição de unidades de paisagem da Bacia do Rio Corrente-BA. **Espaço e geografia: geoprocessamento**, Brasília, v. 5, n. 1, p. 87-99, 2002.

PLANPAR - **Plano Diretor de recursos hídricos da bacia do rio Paracatu - relatório de inventário dos recursos hídricos**. 1998. In: Sistema de Informação de recursos hídricos. Disponível em:  
[http://www.ana.gov.br/AcoesAdministrativas/CDOC/docs/planos\\_diretores/BaciaRioParacatu/plano\\_diretor2.asp](http://www.ana.gov.br/AcoesAdministrativas/CDOC/docs/planos_diretores/BaciaRioParacatu/plano_diretor2.asp)

PRATT, W K. 1991. **Digital image Processing John Wiley**, New York.

REATTO, A.; CORREIA, J. R.; CERA, S. T.; CHAGAS, C.S.; MARTINS, E. S.; ANDAHUR, J.P.; GODOY, M.J.S. & ASSAD, M.L.C.L. **Levantamento semidetalhado dos solos da Bacia do Rio Jardim, DF, escala 1:50.000**. Planaltina: Empraba Cerrados, 2000, 63p. CD-ROM (Boletim de Pesquisa. Embrapa Cerrados,18).

RODRIGUES, L. N.; SANO, E. E.; AZEVEDO, J. A. de; SILVA, E. M. da. Distribuição espacial e área máxima do espelho d'água de pequenas barragens de terra na bacia do rio Preto. In: **Espaço & Geografia**, vol. 10, nº2, 2007. p.101-122.

SANTOS, M. **Economia espacial: críticas e alternativas**. São Paulo: Hucitec, 1979. pp.155-157.

SCHIMIDT & DIKAU. **Extracting geomorphometric attributes and objects from digital elevation models – semantics, methods, future needs**. In DIKAU, R. and SAURER, H. (eds) GIS in physical geography. 1998.

SCHOBENHAUS, C. **As faixas de dobramentos Brasília, Uruaçu e Paraguai-Araguaia e o Maciço Mediano de Goiás**. In:\_\_\_\_(coord.). Geologia do Brasil- texto explicativo do mapa geológico do Brasil e da área oceânica adjacente incluindo depósitos minerais, escala 1:2500000. Cap. VI. Brasília. Departamento Nacional de Produção Mineral, 1984. p.251-299.

SCHUMM S.A., Evolution of drainage systems and slopes in badlands at Perth Amboy, New Jersey. **The Geological Society of America Bulletin**, 1956, 67: 597–646.

SCISLEWSKI, G.; FRASCA, A. A. S.; ARAÚJO, V. A.; RODRIGUES, J. B.; GONÇALVES, H. S. Geologia. In: CPRM; EMBRAPA; SCO-MI (org.). **Zoneamento Ecológico-Econômico da Região Integrada de Desenvolvimento do Distrito Federal e Entorno** - Fase I. 1ª ed. Rio de Janeiro, 2003, v.1, p. 09-15.

SOARES, F.S.; FREITAS, L.F.; GOMES-LOEBMANN, D.; GOMES, R.A.T.; CARVALHO JÚNIOR, O.A.; GUIMARÃES, R.F. Valorização das Unidades de Paisagem a Partir das Áreas Irrigadas por Pivô Central na Bacia do Rio Preto. **Anais XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, Florianópolis, 21-26 abril 2007, INPE, p. 415-422, 2007.

STEINKE, V. A. **Uso integrado de dados digitais morfométricos (altimetria e sistema de drenagem) na definição de unidades geomorfológicas no Distrito Federal**. Dissertação de Mestrado nº. 183. Brasília: IG/UnB, 2003. 104p.

STRAHLER A.N. Hypsometric (area-altitude) analysis of erosional topography. **The Geological Society of America Bulletin**, 1952, 63: 1117–1142.

WILSON J.P. & GALLANT J.C. **Terrain Analysis: Principles and Applications**. New York: John Wiley and Sons, 2000.

YAMADA, S. Mountain ordering, a method for classifying mountains based on their morphometry. **Earth Surfaces and Landforms**, 1999, 24: 653–660.