

Trabalho de Graduação

Curso de Graduação em Geografia

MAPEAMENTO GEOMORFOMÉTRICO DO MUNICÍPIO DE ANALÂNDIA - SP

Rodrigo Rodrigues Graneiro Silva

Prof (a). Dr (a). Cenira Maria Lupinacci

Msc. Claudia Vanessa dos Santos Corrêa

Rio Claro – SP

2016

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
Instituto de Geociências e Ciências Exatas
Campus de Rio Claro

RODRIGO RODRIGUES GRANEIRO SILVA

MAPEAMENTO GEOMORFOMÉTRICO DO MUNICÍPIO DE
ANALÂNDIA - SP.

Trabalho de Graduação apresentado ao Instituto de Geociências e Ciências Exatas - Campus de Rio Claro, da Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, para obtenção do grau de Bacharel em Geografia.

Rio Claro - SP

2016

RODRIGO RODRIGUES GRANEIRO SILVA

MAPEAMENTO GEOMORFOMÉTRICO DO MUNICÍPIO DE ANALÂNDIA (SP)

Trabalho de Graduação apresentado ao Instituto de Geociências e Ciências Exatas - Campus de Rio Claro, da Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, para obtenção do grau de Bacharel em Geografia.

Comissão Examinadora

Prof (a). Dr (a). Cenira Maria Lupinacci (orientador)

Prof (a). Dr (a). Maria Izabel Castreghini de Freitas

Prof. Dr. Sergio dos Anjos Ferreira Pinto

Rio Claro, 07 de dezembro de 2016.

Assinatura do (a) aluno (a)

assinatura do (a) orientador (a)

RESUMO

Esta pesquisa visou estudar características do relevo do município de Analândia (SP) considerando variáveis geomorfométricas, a partir da elaboração de mapas geomorfométricos da região. A Geomorfometria constitui-se como a ciência que se utiliza de parâmetros de enorme relevância para análises dos terrenos em meio digital. Assim, buscou-se avaliar especialmente as orientações de vertentes, declividade e curvaturas, tanto horizontais quanto verticais, utilizando duas e distintas bases altimétricas. Para expor as diferenças das bases altimétricas feitas na análise comparativa de mapeamentos, utilizaram-se modelos digitais de elevação do terreno (MDETs), por meio dos quais, junto ao sistema de informação geográfica (SIG), se obteve a modelagem digital, realçando as características do relevo em três dimensões, ambiente este necessário para uma análise em geomorfometria. Os dados altimétricos foram provenientes da base de cartas topográficas em escala 1:50.000 do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) e como segunda base, os dados altimétricos provenientes da base SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*) modificada pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) no projeto Topodata. A construção dos mapas geomorfométricos do município de Analândia (SP) levou a uma investigação quantitativa do relevo, por meio da qual obtêm-se resultados que esclareceram as vantagens e limitações de uso do procedimento de pesquisa na escala apresentada. As análises realizadas permitiram esclarecer qual base apresenta melhores resultados na apresentação de vertentes e qual base melhor representa os setores de topo.

PALAVRAS-CHAVE: Geomorfometria. Carta topográfica. Topodata.

ABSTRACT

This research aimed to study the relief characteristics of the city of Analândia (SP) considering geomorphometric variables, based on the elaboration of geomorphometric maps of the region. Geomorphometry is the science that uses parameters of enormous relevance for the analysis of terrain in a digital environment. thus, we sought especially as slope orientations, slope and curves, both horizontal and vertical, using two several altimetric bases. In order to show the differences of the altimetric bases made in the comparative analysis of mappings, digital terrain elevation models (MDETs) were used, through which, with the geographic information system (GIS), digital modeling was obtained, highlighting the characteristics of the relief in three dimensions, this environment is necessary for an analysis in geomorphometry. The altimetric data came from the base of topographic charts in scale 1: 50,000 of the Brazilian Institute of Geography and Statistics (IBGE) and as second base, the altimetric data from the SRTM (Shuttle Radar Topography Mission) base modified by the National Institute of Space Research (INPE) in the Topodata project. The construction of the geomorphometric maps of the municipality of Analândia (SP) led to a quantitative survey of the relief, through which results were obtained that clarified the advantages and limitations of using the research procedure in the presented scale. The analyzes made it possible to clarify which basis presents better results in the presentation of strands and which base best represents the top sectors.

KEYWORDS: Geomorphometric. Topographic Charter. Topodata.

ILUSTRAÇÕES

Figura 1: Topodata produzido ao longo do processamento dos dados SRTM.	14
Figura 2 - Estrutura geral de um SIG	15
Figura 3: Classificação da Curvatura Horizontal	22
Figura 4: Classificação da Curvatura Vertical.....	23
Figura 5: Esquema de Declividade.....	24
Figura 6: Esquema de Orientação de Vertentes.	24
Figura 7: Localização do município de Analândia no estado de São Paulo.	26
Figura 18: Pontos do trabalho de campo.	32
Figura 8: Hipsometria obtida por dados do IBGE.....	34
<i>Figura 9: Hipsometria obtida pelos dados SRTM Topodata.....</i>	<i>34</i>
Figura 10: Mapa de Curvatura Horizontal na base IBGE.	36
<i>Figura 11: Mapa de Curvatura Horizontal na base Topodata.</i>	<i>36</i>
Figura 12: Mapa de Curvatura Vertical na base IBGE.	38
Figura 13: Mapa de Curvatura Vertical na base Topodata.....	38
Figura 14: Mapa de Declividade na base IBGE.	40
<i>Figura 15: Mapa de Declividade na base Topodata.</i>	<i>40</i>
Figura 16: Mapa de Orientação de Vertentes na base IBGE.....	42
Figura 17: Mapa de Orientação de Vertentes na base Topodata.	42
Figura 19: Ponto 1 Curvatura horizontal (a) e (b).....	44
Figura 20: Ponto 1 Curvatura vertical (a) e (b).	45
Figura 21: Ponto 1 Declividade (a) e (b).	46
Figura 22: Ponto 1 Orientação de vertentes (IBGE a esquerda e TOPODATA a direita).	47
Figura 23: Fotos do trabalho de campo, ponto 1.	48
Figura 24: Ponto 2 Curvatura horizontal (a) e (b).....	49
Figura 25: Ponto 2 Curvatura vertical (a) (b).....	50
Figura 26: Ponto 2 Declividade (a) e (b).	51
Figura 27: Ponto 2 Orientação de vertentes (IBGE a esquerda e TOPODATA a direita).	52
Figura 28: Morros testemunho, Cuscuzeiro a esquerda e Camelo a direita.....	53
Figura 29: Ponto 3 e 4 Curvatura horizontal (IBGE a esquerda e TOPODATA a direita).	55
Figura 30: Ponto 3 e 4 Curvatura vertical (IBGE a esquerda e TOPODATA a direita).	56
Figura 31: Ponto 3 e 4 Declividade (IBGE a esquerda e TOPODATA a direita).	57
Figura 32: Ponto 3 e 4 Orientação de vertentes (IBGE a esquerda e TOPODATA a direita).	58

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	8
2	OBJETIVOS.....	9
3	PRINCÍPIOS TEÓRICOS-METODOLÓGICOS	9
3.1.	Mapeamento geomorfológico.....	9
3.2.	Sensoriamento remoto	12
3.3.	Sistemas de informação geográfica (SIG)	14
3.4.	Modelos digitais de elevação (MDE).....	17
3.5.	Geomorfometria.....	19
3.6.	Variáveis geomorfométricas.....	21
4	ÁREA DE ESTUDO.	25
5	MATERIAIS E MÉTODOS.....	26
5.1.	Técnicas.	30
6	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	33
7	CONCLUSÃO.....	59
8	REFERÊNCIAS.	61

1 INTRODUÇÃO

Ao se realizar um mapeamento geomorfométrico no qual o objetivo se constitui em caracterizar e analisar as vertentes, questões relacionadas à escolha da base de dados que melhor se adaptaria para o trabalho são levantadas. Nesse sentido, deve-se buscar pela base mais adequada aos objetivos e a área do estudo, procurando a escala compatível com o grau de detalhamento que se espera obter, além do uso das geotecnologias que vão auxiliar no manuseio das informações.

Valeriano (2005) relata a evolução do uso de dados topográficos em estudos do meio físico, o que incentiva a intensificação desses estudos à medida que as bases de dados se tornarem disponíveis e mais facilmente incorporadas no fluxo dos trabalhos de pesquisa ou da cadeia produtiva. Tais ganhos estão condicionados sobretudo às possibilidades de análise dos recursos existentes e das características dos dados SRTM¹ pelo projeto Topodata e das tradicionais cartas topográficas, nas diferentes situações que o relevo pode apresentar.

O mapeamento do relevo iniciou sua fase digital, a qual muito se inspirou nos trabalhos de Evans (1972), que descreve os aspectos e parâmetros ligados à geomorfometria. Recentemente com a modernização dos meios digitais, com a melhora no poder de processamento dos computadores e aplicativos, com os Sistemas de Informações Geográficas (SIG), ocorre uma melhora na precisão dos dados do relevo obtidos com a análise geomorfométrica.

Foram criados e se tornaram acessíveis novos procedimentos e programas para calcular atributos do terreno, como as variáveis geomorfométricas. Segundo Bettú (2012) esta pode ser observada como uma tendência viabilizada pela elevada disponibilidade de dados, muitas vezes gratuitos e com ampla cobertura espacial.

Participamos de um período no qual o geógrafo tem buscado realizar trabalhos com maior precisão de dados. No Brasil tem crescido o interesse em se mapear sistematicamente seu território em diferentes escalas de detalhamentos. Assim, esta pesquisa se sustenta pelo acesso, principalmente a dados topográficos,

¹ O Shuttle Radar Topographic Mission é um projeto que advém de cooperação entre a NASA e a National Imagery and Mapping Agency (Nima), do departamento de defesa dos Estados Unidos, objetivou realizar o mapeamento por sobrevoo e coletar dados para a formação de um Modelo Digital de Elevação mundial.

configurando-se em uma valiosa oportunidade para estudar as relações do relevo de forma sistemática, de uma parte do território brasileiro.

Há também um conjunto de novas tecnologias, de novas propostas de análise do relevo em meio digital. Segundo Klingseisen et.al (2008), o ambiente computacional se proliferou para superar a subjetividade relativa às interpretações realizadas manualmente, extraíndo informações de forma quantitativa.

2 OBJETIVOS

O objetivo desta pesquisa foi realizar a caracterização e análise do relevo do município de Analândia (SP) a partir de elementos geomorfométricos, utilizando duas distintas bases topográficas.

Para esse feito, se procurou uma comparação dos dados geomorfométricos produzidos a partir da base *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM) modificada pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) no projeto Topodata, com os dados provenientes da carta topográfica, em escala 1:50.000, do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE).

A análise para definição da melhor base de dados foi realizada pela caracterização geomorfométrica, sendo mapeadas as orientações de vertentes, declividade do terreno e curvaturas, tanto horizontais quanto verticais.

3 PRINCÍPIOS TEÓRICOS-METODOLÓGICOS

3.1. Mapeamento geomorfológico

Na Geomorfologia o mapeamento constitui-se em ferramenta de grande eficácia para a representação espacial dos fenômenos e objetos a serem pesquisados. Segundo Abreu (2003), a cartografia geomorfológica recebe maior destaque especialmente no segundo pós-guerra, adquirindo características particulares em cada país do leste europeu e surgindo como método fundamental para a análise do relevo.

Conforme expõe Florenzano (2008), a Polônia ganhou destaque por iniciar o uso do mapeamento geomorfológico. Klimaszewski, (1963); Basenina e Trescov, (1972) e Demek, (1976) confirmam a contribuição trazida pelos estudos desenvolvidos na Polônia, ex-Tchecoslováquia e ex-U.R.S.S., contribuições estas que aproximam significativamente o mapeamento geomorfológico ao planejamento regional. Este fato se reflete na própria classificação formal da disciplina que se torna nitidamente geográfica e voltada para a sociedade (ABREU, 2003).

A Cartografia Geomorfológica se constitui em importante instrumento na espacialização dos fatos geomorfológicos, permitindo representar a gênese das formas do relevo e suas relações com a estrutura e processos, bem como com a própria dinâmica dos processos, considerando suas particularidades. (CASSETI, 2005 p.168).

Florenzano (2008) alerta que atualmente não existe um método no qual se unifica internacionalmente o mapeamento geomorfológico como ocorre para o mapeamento na geológico. A autora afirma que não se tem um acordo internacional unificado pela ciência geomorfológica por essa apresentar grande complexidade e variedade dos objetos estudados. Christofolletti (1980), complementa dissertando sobre a amplitude dos objetos estudados na Geomorfologia, os quais podem ser estruturais, climáticos, têmporo-espaciais e genéricos, o que não supera os problemas de classificação na ciência geomorfológica.

Para a escola francesa de geomorfologia, preconizada por Tricart (1965), os elementos de descrição do relevo são indispensáveis para a construção de mapas geomorfológicos, os quais devem abordar quatro tipos principais de representação, sendo elas a morfometria, a morfologia, a gênese cronológica e o comportamento morfodinâmico, esses tipos nomeados por Tricart (1965) são o que outros autores nomeiam de objetos de estudo para a Geomorfologia. Se atentará, em especial nessa pesquisa, a Morfologia e Morfometria.

Segundo Florenzano (2008), a Morfologia representa as formas do relevo e engloba a Morfometria, que corresponde aos aspectos quantitativos do relevo, como as variáveis relacionadas a: medidas de altura, comprimento, largura, superfície, volume, inclinação e frequência de suas formas. Como exemplos da Morfometria se tem à altimetria e declividade.

Os outros objetos de estudo da Geomorfologia são: A Morfogênese que corresponde a origem e o desenvolvimento das formas do relevo, a Morfodinâmica, correspondendo aos processos atuais e ativos, endógenos e exógenos que atuam nas formas de relevo e a Morfocronologia, correspondendo a idade absoluta e relativa das formas de relevo, (FLORENZANO, 2008).

O mapeamento geomorfológico é relevante nas pesquisas em Geomorfologia, constituindo uma fonte de análises e elaborações de cenários futuros sobre a dinâmica evolutiva da superfície terrestre. Guerra e Marçal (2006) relatam áreas que utilizam mapeamentos geomorfológicos: Agricultura, revelando os diferentes tipos de vertente e as erosões nos solos, a Construção Civil, auxiliando na identificação de terrenos e suas fragilidades.

Tricart (1965) sintetiza que o mapeamento na geomorfologia, além de sua importância, é, ao longo da pesquisa geomorfológica, consequência para atribuições significantes dos eventos diagnosticados.

O mapeamento geomorfológico apresenta como sendo o que constitui a base da pesquisa e não a concretização gráfica de pesquisa já feita. (TRICART, 1965, apud ROSS, 2001, p. "52").

O mapeamento geomorfológico passou por modernizações por meios das quais os produtos gerados fazem uso de geotecnologias para melhor representação nas pesquisas. Segundo Florenzano (2008, p."33"), os avanços tecnológicos dos novos sensores remotos, que produzem imagens de resolução apurada, permitem que nas pesquisas ligadas a geomorfologia o uso do mapeamento sirva para medir e estudar uma variedade de fenômenos geomorfológicos, com eficácia e precisão dos dados.

As geotecnologias possibilitam a armazenagem de dados e o seu tratamento, propagando geoinformações, marcando a transição do mapeamento geomorfométrico tradicional, caracterizada pelo uso de um suporte analógico, para o mapeamento geomorfométrico digital cujo novo suporte, seguindo a tecnologia informatizada, é digital (CROMLEY, 1995, p."317").

3.2. Sensoriamento remoto

Sensoriamento remoto, segundo Novo (1992), é uma integração de equipamentos de transmissão de dados, através do registro e da análise das integrações entre radiação eletromagnética e o planeta Terra em suas mais diversas manifestações. O Sensoriamento remoto pode ser definido como a capacidade de aquisição de informações sobre um objeto sem que haja contato físico com ele (SILVA, 2010).

O Sensoriamento Remoto coleta automaticamente os dados terrestres contribuindo para o geoprocessamento e segundo Meneses e Sano (2012) o sensoriamento remoto tem como um dos seus principais objetivos a extração das informações contidas nas imagens e a sua codificação em documentos que possam ser lidos, como exemplo os mapas. No Brasil tais mapas são elaborados e disponibilizados pelo instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) principal órgão mapeador nacional, que elabora cartas topográficas em diferentes escalas.

Para extrair informações das imagens é necessário estabelecer métodos de análises, para que possam ser replicados por qualquer analista na interpretação do significado do dado, utilizando-se as propriedades: cor, tonalidade, textura, estrutura, sombras e homologia, que são específicas de cada classe de alvo. (MENESES E SANO, 2012).

Os sensores remotos produzem imagens com melhor resolução espacial [...], recentemente vem sendo obtidos pares estereoscópicos digitais por sensores ópticos, a bordo de satélites, bem como dados topográficos orbitais de radar interferométrico, como a missão Shuttle Radar Topographic Mission (SRTM), dados esses que permitem visualizar o espaço geográfico em três dimensões e, com o uso de (SIG) obter, de forma automática, variáveis morfométricas como altitude, declividade e orientação de vertentes (FLORENZANO, 2008, p. 34).

Em relação ao modo de funcionamento de um sensor remoto, Jensen (2009) disserta que o processamento digital de imagens consiste de inúmeros procedimentos realizados sobre as imagens orbitais via satélite e fotografias aéreas, como exemplo a modelagem de imagens nos Sistemas de Informação Geográfica (SIG).

Os dados topográficos são obtidos de diversas maneiras, segundo os autores Meneses e Almeida (2012), a interferometria é uma ótima escolha por sua precisão. Zebker et al. (1986), relata sobre um mapeamento altimétrico global com imagens orbitais produzidas por satélites, o qual viria a se tornar realidade nos anos 2000, através do ônibus espacial Endeavour na missão Shuttle Radar Topography Mission (SRTM).

Os dados da missão SRTM são uma fonte de informações topográficas que complementa o uso de fotografias aéreas. Segundo Valeriano (2005), os dados SRTM mostraram que são passíveis de derivação em variáveis geomorfométricas, para expressão das diferentes características do relevo, o que resulta num conjunto de dados em complemento à altimetria (Valeriano, 2005).

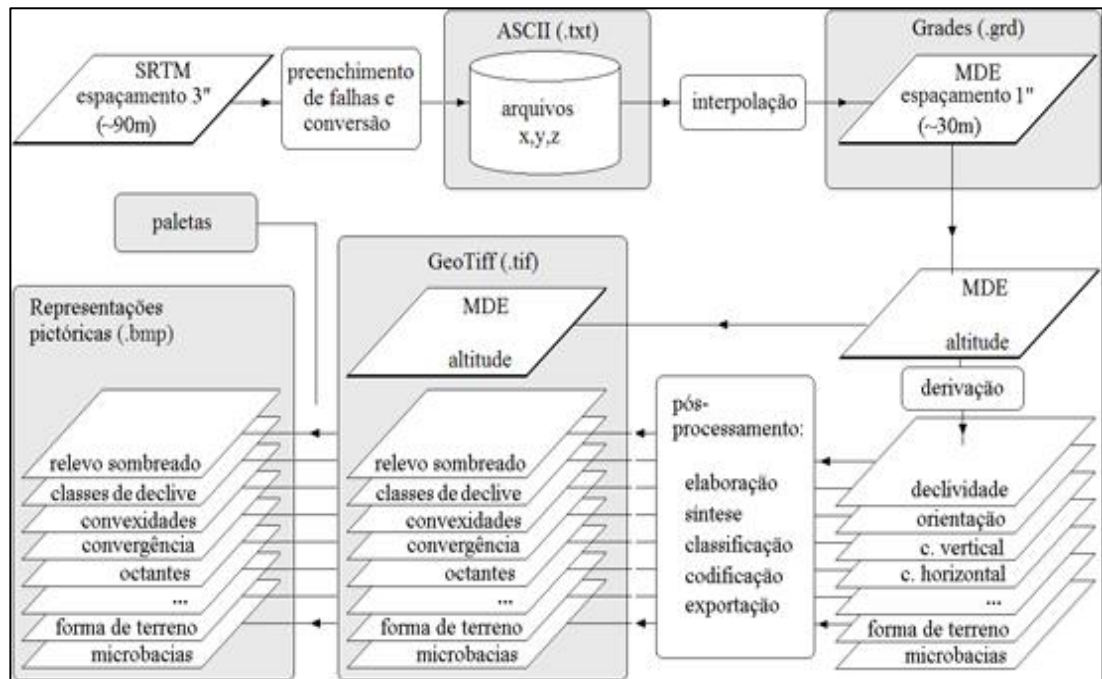
Segundo Muñoz (2009), o SRTM foi um projeto cooperativo entre a National Aeronautics and Space Administration (NASA) e a National Imagery and Mapping Agency (NIMA), do departamento de defesa dos Estados Unidos, junto às agências Deutschen Zentrum für Luft - und Raumfahrt (DLR) e Agenzia Spaziale Italiana (ASI).

Essa missão teve como objetivo mapear nas escalas entre 1:100.000 e 1:250.000. Visando a utilização do mapeamento SRTM no Brasil, Valeriano (2005) realizou testes em alguns locais do território através de comparações diretas entre os modelos SRTM e o MDE da cartografia do Instituto Geográfico e Cartográfico (IGC). Junto aos resultados de algoritmos desenvolvidos para extração de variáveis geomorfométricas.

O autor Valeriano (2005), modificou o SRTM original para um novo MDE com características desejáveis, entre as melhoras: resolução de 90m para 30m, remoção de falhas, redução de artefatos, distribuição da aleatoriedade. Segundo Muñoz (2009), este pré-processamento permitiu utilizar o SRTM em escalas relativamente detalhadas, conforme o relevo local e a finalidade da análise. Com as modificações, segundo Valeriano (2005), realiza-se um trabalho de modelagem de dados topográficos SRTM que resultou em um banco de dados nacional de variáveis geomorfométricas locais, denominado TOPODATA.

Na figura 1 tem-se um fluxograma, com o conjunto de arquivos Topodata produzidos ao longo do processamento dos dados SRTM.

Figura 1: Topodata produzido ao longo do processamento dos dados SRTM.



Fonte: VALERIANO, 2008).

3.3. Sistemas de informação geográfica (SIG)

Autores ao longo dos anos deram suas contribuições tentando definir os Sistemas de Informação Geográfica. Aronoff (1995), define SIG como um conjunto manual ou computacional com procedimentos para a utilização e armazenamentos manipuláveis de dados georreferenciados. O autor Burrough, (1994) define SIG como conjunto de ferramentas que armazenam, recuperam, transformam e apresentam dados espaciais do mundo real. O SIG Integra dados espacialmente referenciados para a solução de problemas ambientais, (COWEN, 1988).

Ainda, de acordo com Câmara e Queiroz (1999):

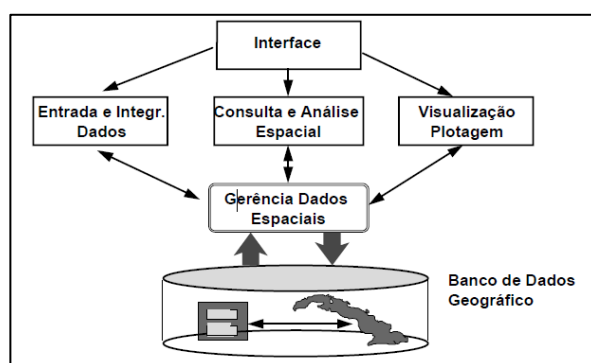
O termo Sistemas de Informação Geográfica (SIG) é aplicado para sistemas que realizam o tratamento computacional de dados Geográficos e recuperam informações não apenas com base em suas características alfanuméricas, mas também através de sua localização espacial; [...] em que todas as informações disponíveis, inter-relacionadas a localização geográfica. Para que isto seja possível, a geometria e os atributos dos dados num SIG devem estar georreferenciados, (CÂMARA e QUEIROZ, 1999 p. 46).

Os dados geográficos ou espaciais representam fenômenos do mundo real em termos de sua localização associada a um sistema de coordenadas conhecidas (BURROUGH; MCDONNELL, 2004). Com essa tecnologia, os SIG, possibilitam realizar diversas análises geográficas. Rosa (2011) pontua, como exemplo, a sobreposição de mapas de diferentes tipos de dados que pertencem à mesma área; com recursos como a pesquisa topológica, com suas relações de adjacência, coincidência e conectividade entre entidades espaciais; as operações de (*buffer*)²; as operações de geoprocessamento, a modelagem cartográfica, entre outras.

Os Sistemas de Informação Geográfica são técnicas que permitem estudar o espaço geográfico e que muitas vezes combinam dados de sensoriamento remoto, de Sistema de Navegação Global por Satélite (GNSS)³. Segundo Casseti (2001), o geoprocessamento permite descrever a complexidade dos processos geográficos em diversos planos de analogia, simplificação, generalização e abstração, ferramenta essa que permite integrar os diferentes elementos formadores da paisagem que contribuem para a modelagem do relevo como geologia, pedologia e clima.

Para Câmara e Queiroz (1999), um SIG possui os seguintes componentes: interface com usuário, entrada e integração de dados, funções de consulta e análise espacial, visualização e plotagem, armazenamento e recuperação de dados, componentes estes apresentados na figura 2.

Figura 2 - Estrutura geral de um SIG



Fonte: (CÂMARA E QUEIROZ, 1999)

² *Buffer* é uma ferramenta de geração ou ampliação de uma área de influência. Encontrada na extensão *Arc tool Box – ArcMap*

³ *Sistema de Navegação Global por Satélite (GNSS)* são sistemas que estabelecem o posicionamento geo-espacial autônomo através do uso de satélites artificiais.

Segundo o autor Goodchild (1988) apud Maguire (1991), a habilidade de um SIG para análise de dados espaciais é vista como elemento principal em sua definição e é utilizado com uma característica que distingue o SIG de sistemas cujo objetivo primário é a produção de mapas. Em um resumo histórico relatam os autores Câmara e Queiroz (1999), que na década de 1960, nos primórdios do SIG, os computadores eram de grande porte, a tecnologia era de alto custo e especializada, os softwares baseavam-se no conceito de sobreposição de planos de informação (*layers*)⁴.

Segundo Câmara e Queiroz (1999) entre 1980 e 1985, a produção e disponibilidade de dados georreferenciados cresceu. O autor Matias (2001), relata que nesse período, cresceu o uso de SIG no ambiente corporativo, levando ao aparecimento de gerenciadores de dados geográficos, que armazenam tanto a geometria como os atributos dos objetos dentro de um Sistema Gerenciador de Bancos de Dados (SGBD).

A partir de 1990 até os dias atuais segundo Câmara e Queiroz (1999), os SIG se tornam sistemas abertos, tanto em termos de hardware quanto software, e arquiteturas computacionais distribuem e interligam-se em redes.

O autor Matias (2001) classifica em três períodos a história dos SIG no Brasil:

De 1971 a 1982, pesquisadores do INPE utilizando hardware importado (IMAGE-100) e software desenvolvido na própria instituição. De 1983 a 1992, cria-se o MaxiDATA, o primeiro programa CAD nacional, voltado para as atividades de cartografia digital. De 1992 aos dias atuais, no qual o (INPE) desenvolve o programa Sistema para Processamento de Informações Geográficas (SPRING). Surge a primeira publicação brasileira especializada no assunto, a revista FATOR GIS (1993). Cria-se um mercado emergente de geotecnologias no país, (MATIAS, 2001)

Para Teixeira (1990) a importância do SIG reside em que esse sistema vem transformando as formas de abordagem e solução dos problemas de representação cartográfica, de quantificação dos dados e da representação da informação deles obtida.

⁴ Layer é uma camada de informações usadas no software *ArcGis*.

Em 1963 surge o *Environmental Systems Research Institute* (ESRI), como importante tecnologia vinculada a iniciativa privada para atuação específica na área de SIG, onde segundo Matias (2011) seu principal dirigente, o Sr. Jack Dangermond, oriundo do Laboratório de Computação Gráfica da Universidade Harvard, instituição acadêmica que fez importantes contribuições teóricas e práticas para o advento da tecnologia SIG.

Existem duas técnicas para representação em SIG, sendo essas, a vetorial e a matricial. Segundo Silva (2010), na representação vetorial temos os limites das características definidos por séries de pontos, que quando interligados com retas, formam uma representação gráfica. Na representação matricial o autor Silva (2010), relata que temos as características dos atributos que a representação gráfica possui, esses atributos são armazenados em arquivos de dados unificados, na representação matricial corriqueiramente utiliza-se o termo *raster*.

É crescente a disponibilidade de bases topográficas digitais as quais, junto ao uso de SIG, impulsionam o desenvolvimento de métodos automáticos que extraem variáveis topográficas, para posterior tratamento e integração em ambiente computacional, (VALERIANO, 2003). Vasconcelos et al. (2012) reforça essa ideia alegando que nos últimos anos o desenvolvimento de técnicas de análise dos parâmetros geomorfométricos em SIG, levou a avanços significativos para Ciência da Geomorfometria, para a classificação e análise numérica de formas de terreno.

3.4. Modelos digitais de elevação (MDE)

Perto do ano de 1955, segundo Miller e Laflamme (1958), Charles L. Miller, pesquisador do laboratório de fotogrametria do Massachusetts Institute of Technology (MIT), demonstrou um novo conceito cujo o nome atribuído foi Modelo Digital de Terreno (MDT), que integra um sistema fotogramétrico com a computação eletrônica, o processamento, a análise e a visualização do terreno por meio do computador.

Segundo Miller e Laflamme (1958) o MDT é um resultante da aplicação do Modelo Numérico de Terreno (MNT), que é uma ferramenta contida nos SIG. Segundo Teixeira e Christofolletti (1997) o MDT é a representação digital de um modelo numérico da superfície da Terra, obtido a partir de um conjunto de coordenadas (x, y,z) de pontos distribuídos no terreno.

Outras expressões são referenciadas nos trabalhos acadêmicos, sobre a terminologia correta, Petrie e Kennie (1990) nos ajudam a entender esses conceitos, sendo o Modelo Digital de Elevação (MDE), um termo que se refere a criação de matriz regular de elevação, normalmente em forma de malha, e o Modelo Digital de Terreno (MDT), é usado como forma de grade regular para armazenagem dos dados.

O relevo, como uma característica do terreno, é referenciado por suas cotas, pontos, altitudes, isolinhas; assim, obtendo a elevação se pode realizar diversas análises. Nessa pesquisa optou-se pelo uso do termo Modelo Digital de Elevação (MDE) para assim se referir aos modelos que consideram como característica a elevação do relevo.

Segundo Matos (2005), há nos MDE as representações de grade triangular ou regular para o relevo. No trabalho de Maune et al (2001), se descreve que a grade *Triangular Irregular Network* (TIN), é composta por pontos originais, ligados três a três levando a formação triangular, sendo um modelo de dados que representa um conjunto de localização na superfície. Segundo Felgueiras (2001), a grade Regular é composta num conjunto de pontos regularmente espaçados que num caso particular muito comum é quadrada.

O autor Valeriano (2003), reforça que embora existam MDE de várias origens, as curvas de nível constituem uma importante fonte de dados para sua construção, caracterizando-se em isolinhas de igual valor de cotas em uma determinada superfície. Os principais softwares atualmente geram as isolinhas. Para elaborar um MDE segundo Valeriano (2008), deve-se armazenar as cotas altimétricas em arquivo digital estruturado em linhas e colunas, em uma hipótese, as cotas (z), numa malha regular poderia ser digitalizada numa matriz (x,y, colunas e linhas).

Segundo Östman (1987), para se ter qualidade em um MDE, deve-se levar em consideração os atributos derivados, como a declividade e curvaturas. A qualidade de um MDE segundo Valeriano (2008), está ligada com as bases de visualização de transeptos, histogramas, altitude e declividade, a representação em relevo sombreado é interessante, pois expressa a aparência do relevo em função dos ângulos de exposição, como a orientação de vertentes.

3.5. Geomorfometria

A Geomorfometria tem como ciência de origem a Geomorfologia, e se constitui como uma ciência de análise quantitativa da superfície terrestre, a qual, segundo Grohmann, (2004) e Pike et al. (2009), tem nos Sistemas de Informação Geográfica (SIG) e nos Modelos Digitais de Elevação (MDE) as bases mais comuns para extração e análise dos seus parâmetros.

Com o avançar tecnológico brasileiro foi possível desenvolver técnicas para elaboração e pesquisa nos modelos de mapas geomorfométricos. Assim, segundo Pike et al., (2009) o campo de atuação dessa ciência passa pelos estudos quantitativos da superfície topográfica.

Para que haja mapeamentos topográficos digitais por meio da Geomorfometria, algumas variáveis devem ser consideradas, como ressalta Zevenbergen e Thorne, (1987) e Muños, (2009), chamando a atenção para o reconhecimento de certas feições no relevo terrestre, as chamadas variáveis geomorfométricas.

No conjunto das variáveis geomorfométricas primárias e de natureza local, estão a declividade, a orientação das vertentes, a curvatura vertical, a curvatura horizontal e a própria altitude. Segundo Muñoz (2009) estas podem ser determinadas localmente pela derivação da superfície topográfica a partir de um MDE; no contexto regional, as características topográficas podem ser descritas em termos da distribuição da frequência da altitude ou por seus momentos estatísticos.

Na literatura científica é sugerida a utilização da palavra Geomorfometria e não somente morfometria, isso porque segundo, Evans (1972), o prefixo (geo) é necessário para tornar o termo mais específico, fazendo a diferenciação da morfometria que por outras ciências também é utilizada.

Geomorfometria como ciência é propagada em disciplinas que perpassam pelos campos das ciências computacionais, matemática, engenharia civil e ciências da terra (PIKE, 2000), e ainda segundo Evans (1972), a Geomorfometria ainda pode ser dividida em:

A Geomorfometria específica, que se utiliza das geoformas como características, por exemplo dos córregos ou colinas, que podem ser separadas das geoformas adjacentes e estão estreitamente vinculadas a processos específicos e a A Geomorfometria geral, que faz a medição e análise das geoformas comuns a qualquer superfície rugosa contínua, em que todas suas variáveis podem ser definidas a partir da altitude, (EVANS, 1972).

Evans (1972) ainda complementa que a última divisão aborda proporcionalmente as bases para comparação quantitativa entre ambientes qualitativamente diferentes.

Segundo Evans (1972) e Mark (1975) as variáveis geomorfométricas ganham maior concretude quando as medidas das formas da superfície da Terra são representadas por sua rugosidade. Mark (1975) detalha a rugosidade do terreno, que em sua visão não está representada apenas por uma única característica geométrica, mas por um vetor de rugosidade ou conjunto de variáveis passíveis de medição ao longo de alguma direção do espaço.

A ciência geomorfométrica se disseminou na Geografia através do uso de Modelos Digitais de Elevação do Terreno, que segundo Muños (2009) mostram os atributos dos terrenos, que são usualmente processados em Sistemas de Informação Geográfica. Sobre essa questão, destacam-se os seguintes autores: Evans, (1984); Evans e Mcclean, (1995); Wood, (1996); Shimidt e Dikau, (1999); Valeriano e Carvalho Junior, (2003); Smith et al., (2006); Minár e Evans, (2008), Pike et al., (2009), os quais apontam para uma análise da paisagem do relevo terrestre, com uma descrição numérica da superfície.

Segundo Valeriano (2008), muitos estudos dão respaldo a utilização da Geomorfometria, como exemplo: na caracterização de solos Moore et al., (1993), no Clima Goovaerts (2000) e vegetação com Florinsky; Kuryakova (1996).

3.6. Variáveis geomorfométricas.

Segundo Evans (1972) e Mark (1975), considera-se que os parâmetros geomorfométricos ou variáveis geomorfométricas são de dois grupos:

O regional, quando sua medição depende dos valores extremos na distribuição das elevações dentro de uma subárea finita de uma superfície e o local, quando seu cálculo é definido em todos os pontos da superfície e os valores em cada ponto dependem das elevações da sua vizinhança, (EVANS, 1972).

Wilson e Gallant (2000) consideram dois tipos de atributos topográficos: Os primários ou aqueles que podem ser calculados diretamente da elevação e os secundários (índices), que são gerados pela combinação de dois ou mais atributos topográficos primários.

Na sequência descreve-se as variáveis geomorfométricas que se utilizam nesse trabalho:

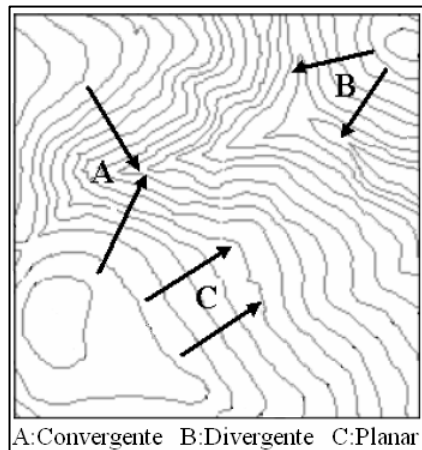
As Curvaturas são segundo Gallant; Wilson (2000), atributos topográficos baseados em segundas derivadas, correspondem à taxa de variação da primeira derivada, usualmente numa direção particular. Na literatura científica em inglês (*Plan Curvature*), segundo Valeriano (2003), refere-se ao caráter divergente e convergente das linhas de fluxo.

Evans (1972) complementa dissertando que a curvatura pode ser descrita como a variação da orientação de vertentes em uma determinada distância ao longo das isolinhas. Em projeção horizontal; é expressa normalmente em graus por metro ($^{\circ}/m$) (VALERIANO, 2008).

Nessa pesquisa, foram identificados os fluxos convergentes, divergentes e planares, adotando os critérios estipulados por Florenzano (2008), critérios esse em que o *software* ArcGIS assume os valores positivos da legenda como sendo as áreas divergentes, os valores negativos como sendo as áreas convergentes e os valores próximos de zero como sendo as curvaturas planas.

A Figura 3 representa a convergência, divergência e planura das curvas horizontais do relevo, analisa-se os segmentos das curvas de nível nos exemplos A, B e C.

Figura 3: Classificação da Curvatura Horizontal



Fonte: (VALERIANO, 2008).

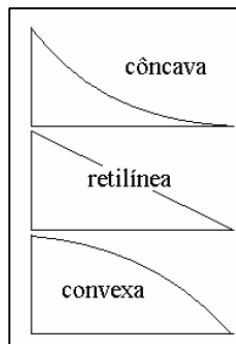
Para a legenda do mapa nessa pesquisa, utilizou-se a cor roxa na classe divergente, o verde claro na classe planar e o verde escuro na classe convergente.

A Curvatura Vertical usualmente adotada na literatura científica em inglês como *Profile Curvature*, refere-se, segundo Valeriano (2003), ao caráter convexo e côncavo do terreno quando analisado em perfil, representado na figura 6.

Esta variável relaciona-se aos processos de percolação e acúmulo de água, minerais e matéria orgânica no solo através da superfície, proporcionados pela gravidade; ressalta Machado (2014) que a curvatura vertical é definida como sendo a taxa de variação da declividade.

Nessa pesquisa foram adotados os critérios estipulados por Florenzano (2008), identificando a concavidade e convexidade do terreno, critérios esses em que o *software* ArcGIS assume os valores positivos da legenda como sendo as áreas divergentes, os valores negativos como sendo as áreas convergentes e os valores próximos de zero como sendo as curvaturas planas.

Figura 4: Classificação da Curvatura Vertical.



Fonte: (VALERIANO, 2008).

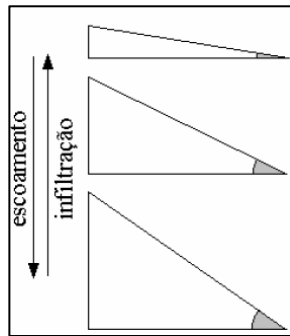
Para a legenda do mapa nessa pesquisa, utilizou-se a cor roxa na classe convexa, o verde claro na classe retilínea e o verde escuro na classe côncava.

A declividade, usualmente denominada na literatura científica em inglês como *Slope*, tem associação direta com processos de transporte gravitacional, como por exemplo os escoamentos, as erosões e os deslizamentos. Segundo Evans (1972), a declividade é definida como o ângulo de inclinação (zenital) da superfície do terreno em relação à horizontal.

Para a legenda do mapa nessa pesquisa, foram utilizadas as classes apresentadas por IPT (1981) e Florenzano (2008), a saber: Muito Baixa <2%, Baixa >2% <6%, Média >6% <20%, Alta >20% <50% e Muito Alta >50% <100%. Respeitou-se a coloração proposta pelo IBGE no mapeamento da declividade na escala de cores frias para as cores quentes, adotando-se verde escuro para a classe Muito Baixa, verde claro – Baixa, amarelo – Média, laranja – Alta e vermelho – Muito Alta.

A declividade é calculada como sendo uma taxa máxima de alteração em valores entre cada célula e seus vizinhos, podendo ser expressa tanto em graus como em porcentagem. No meio acadêmico geomorfológico, segundo Florenzano (2008), se utiliza mais a porcentagem, como exposto na figura 5.

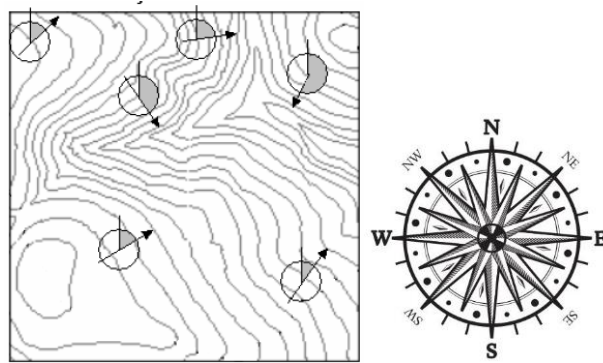
Figura 5: Esquema de Declividade.



Fonte: (VALERIANO, 2008).

A orientação de vertentes, usualmente denominada na literatura científica em inglês como (*Aspect*), define-se como o ângulo azimutal correspondente à maior inclinação do terreno, no sentido descendente, expressa em graus entre 0° e 360°. A orientação de vertentes é basicamente a direção angular para a qual uma seção da superfície terrestre está apontando, como apresenta a figura 6.

Figura 6: Esquema de Orientação de Vertentes.



Fonte: (VALERIANO, 2008).

Para a legenda do mapa nessa pesquisa, utilizou-se dos critérios estipulados por Florenzano (2008), onde a autora apresenta a orientação preferencial, classificada como Norte, Sul, Leste, Oeste, Nordeste, Noroeste, Sudeste e Sudoeste.

As orientações baseiam-se nos pontos cardeais e colaterais, como exposto na figura 8, sendo eles representados por cores. Na representação dos pontos cardeais e suas siglas em inglês, para o Norte (N) utilizou-se nessa pesquisa a cor vermelho, Leste (E) – amarelo claro, Sul (S) – verde Claro e Oeste (W) – roxo, para

os pontos colaterais e suas siglas em inglês, Nordeste (NE) – laranja, Sudeste (SE) – amarelo escuro, Sudoeste (SW) – verde escuro e Noroeste (NW) – rosa.

4 ÁREA DE ESTUDO.

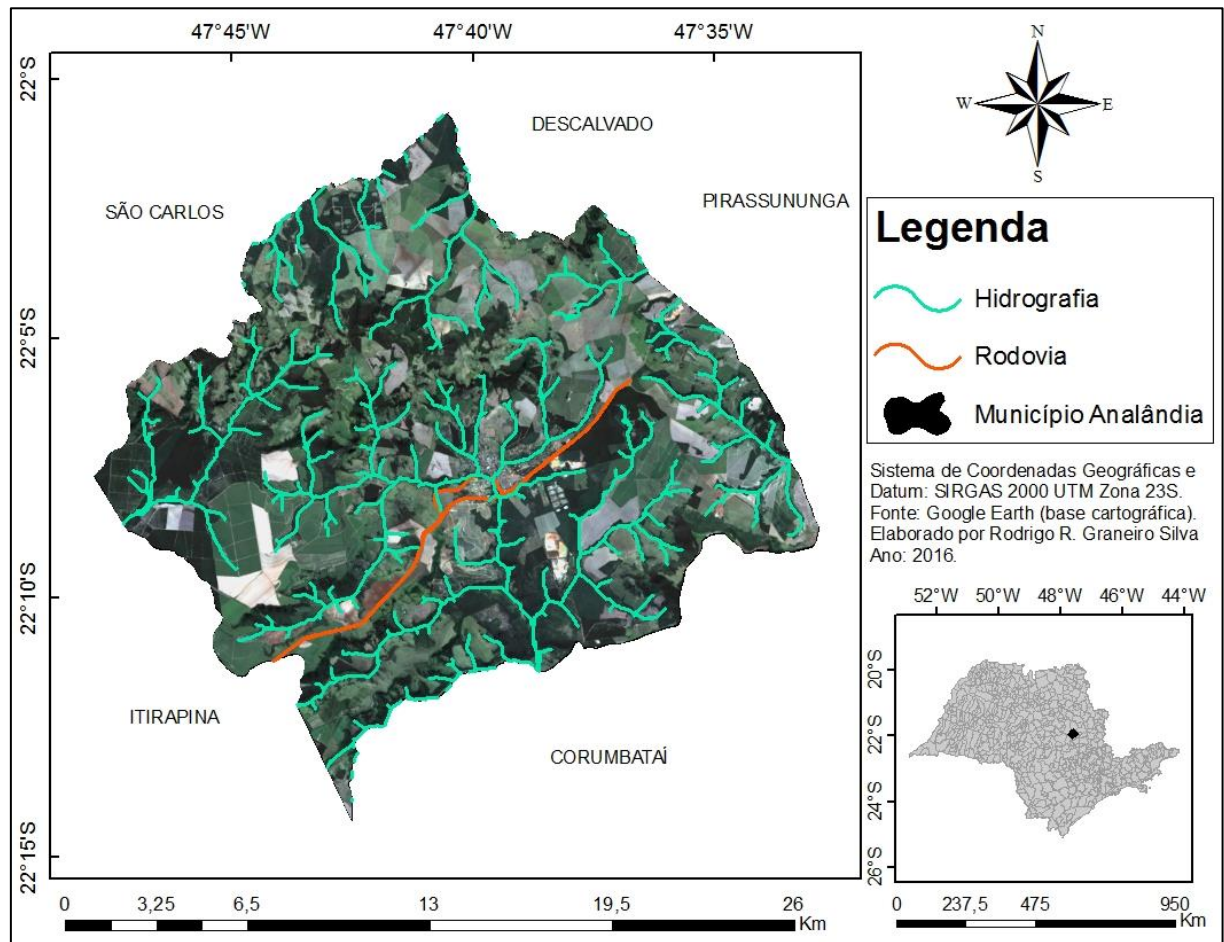
A área de estudo situa-se no setor centro-leste do território paulista, aproximadamente entre as coordenadas geográficas de latitudes 22° 15 S a 22° S e longitudes 47° 50' W a 47° 30' W, área essa correspondente ao município de Analândia (SP), apresentada na figura 7.

O relevo da área de estudo constitui-se do setor cuestiforme do Estado de São Paulo, além de conter uma parcela da depressão periférica paulista; segundo o IBGE (2015) conta com uma área aproximadamente de 325,9 Km². Apresenta-se na classificação de Koeppen como Cwa, clima tropical de altitude. A altitude média da área é de 680m, criando paisagem naturais atrativas ao turista como as serras e grutas.

Configura-se na área de estudo uma vegetação de resquícios de cerrado e o solo com baixo teor nutricional e de fertilidade, nas matas ciliares ao longo dos cursos d'água e nas florestas continuas o solo é mais fértil. Algumas regiões sofrem com o desmatamento para ceder lugar a agropecuária e expansão antrópica.

Segundo Torizan (1994, p. 45), as médias de temperaturas anuais ficam entre 18 °C e 23 °C, com verões quentes e chuvosos e invernos secos. A cidade é turística e preparada para receber quem gosta de atividade ao ar livre e contato com a natureza.

Figura 7: Localização do município de Analândia no estado de São Paulo.



Fonte: Elaborado pelo autor.

5 MATERIAIS E MÉTODOS.

A metodologia da pesquisa aqui apresentada decorre das bases conceituais referentes aos sistemas geomorfológicos. Amaral e Amaral (2010) nos relatam que com o tempo, tornou-se claro que somente uma análise descritiva quantitativa das formas não bastava para o reconhecimento das dinâmicas das paisagens. Assim, ocorre o início do estudo dos processos inerentes à natureza geomorfológica.

“Um sistema é um conjunto estruturado de objetos e/ou atributo. Estes objetos e atributos consistem de elementos e variáveis (isso é, fenômenos que são passíveis de assumir magnitudes variáveis) que exibem relações discerníveis um com os outros e opera conjuntamente como um todo complexo, de acordo com determinado padrão” (CHRISOFOLETTI, 1999, p. 5).

Bertalanffy (1973) descreve os fatores responsáveis pela gênese, evolução e desenvolvimento de um sistema natural, e também contempla a compreensão de mecanismos internos desses sistemas. Ludwig Von Bertalanffy, o preconizador da teoria geral de sistemas, mostra que essa teoria tem o objetivo de realizar uma análise da natureza e dos sistemas que se inter-relacionam em diferentes espaços, assim como a inter-relação de suas partes.

A abordagem sistêmica na geomorfologia se inicia com a criação da Teoria do Ciclo Geográfico de Willian Morris Davis (VICENTE; PEREZ FILHO, 2003). Concomitantemente ao paradigma davisiano, que pertence a linha epistemológica anglo-americana, a Escola Alemã desenvolvia uma linha de pensamento com ideias advindas de von Richtohofen, movida por uma maneira empírico-naturalista de raízes romancistas, referenciada em Humboldt e Goethe (ABREU, 2003). Já o sistema geomorfológico de Walther Penck concebe a ação concomitante de forças endógenas atuando na acentuação do relevo e de forças exógenas opostas empenhadas no rebaixamento do modelado. Dessa forma, a teoria geral de sistemas (TGS) foi influenciada tanto pela linhagem epistemológica alemã quanto pela anglo-americana, cada uma com desdobramentos particulares. (MARQUES NETO, 2008).

A partir do quadro epistemológico anglo-americano, Moraes (1987) relata que a teoria geral de sistemas (TGS) se articula com uma análise quantitativa e usa de modelos. No Brasil esse tipo de análise se desenvolveu com a denominação de Geografia Teorética, tendo na Escola de Rio Claro (SP) seu principal centro difusor, onde os trabalhos são ligados às análises morfométricas.

Na ciência da Geomorfologia, a Teoria Geral de Sistemas, segundo Gregory (1992), foi introduzida através de Chorley (1962), embora muitos autores deem crédito a Strahler (1952; p. 63 apud Gregory, 1992, p. 222), o qual afirma que a Geomorfologia realizará seu mais pleno desenvolvimento somente quando as formas e os processos forem relacionados em termos de sistemas dinâmicos, e as transformações de massa e energia forem consideradas como função do tempo.

Chorley e Kennedy (1971), apresentam onze classificações de sistemas com base na sua estrutura. Segundo Christofletti (1999), quatro dessas classificações são pertinentes a Geografia Física. Marques Neto (2008) apresenta os quatro sistemas pertinentes a Geografia Física e descreve as ideias de Christofletti sobre cada um:

Os sistemas morfológicos, compostos pela associação entre as propriedades físicas dos sistemas e seus atributos constituintes. Os sistemas em sequência, formados por subsistemas em cadeia que estabelecem uma relação de cascata de matéria e energia. Os sistemas de processos-respostas, formados através da conjugação dos dois sistemas anteriores. Os sistemas controlados, são formados mediante intervenção antrópica nos sistemas ambientais físicos, que podem alterar as formas e os fluxos de matéria e energia em diferentes intensidades, (MARQUES NETO, 2008).

A proposição acima é cotidianamente aplicada principalmente nos estudos de bacias hidrográficas, comprovando a excelência de tal unidade de análise como unidade processo-resposta, apoiando sua conveniência em ser tomada como unidade espacial para os programas de planejamento e gestão. (MARQUES NETO, 2008).

A Teoria Geral do Sistema, ou o próprio “pensamento sistêmico”, elaborado por tantos cientistas ao longo do tempo, abriu caminho não apenas para mais uma “teoria”, mas para uma nova visão de mundo, cujos princípios são os da totalidade, da abrangência das partes, de uma visão holística. Uma visão que concebe a natureza de forma integrada, onde nada pode ser entendido separadamente, onde vários campos de estudos podem ser não unificados, mas complementados. (VALE, 2012 p.101)

Para esta pesquisa buscou-se utilizar os princípios sistêmicos, tendo como base de dados para a elaboração dos mapeamentos geomorfométricos do município de Analândia (SP), os seguintes materiais:

- Primeiramente os produtos resultantes da base de dados do *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM), modificada pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) no projeto Topodata por Valeriano (2016), a área correspondente a pesquisa é nominada de 22S48.

Segundo Valeriano (2008), atualmente a disponibilização da base norte-americana de dados SRTM para nosso continente, o sul americano, conta com uma resolução planejada a suprir mapeamentos em escalas entre 1:100.000 e 1:250.000, visto assim de fundamental importância utilizar o projeto Topodata, o qual supre a

escala de 1:50.000, tornando-a compatível com a carta topográfica que aqui selecionamos para a pesquisa.

- Utilizaram-se também as cartas topográficas de São Carlos e Corumbataí, respectivamente, SF.23-Y-AI-1, SF.23-Y-A-I-2, nas escalas 1:50.000, do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (1971), nas quais está representado o município de Analândia (SP).

As cartas topográficas necessitam de uma escolha de escala para a pesquisa que seja adequada para a análise das variáveis geomorfométricas. Segundo Goudie et al. (1981), mapeamentos topográficos variam de maneira ampla quanto ao nível de medidas, escala, tipo de informações apresentadas e tipo de uso do mapeamento.

Realiza-se um MDET a partir de uma carta topográfica com a vetorização dos dados altimétricos; essa medida é necessária para a obtenção dos valores através da altura, ou cota, a serem processados no SIG se digitaliza as informações. Segundo Muñoz (2009) as isolinhas podem ser interpretadas como a distância vertical entre os pontos da superfície topográfica (Z_n) e sua projeção numa superfície de referência arbitrária, formada pelos pontos de altitudes mínimas ($Z_{n.min}$) dentro de uma área de medição unitária.

- O ambiente em SIG, pelo Software ArcGIS versão 9.2 (ESRI, 2006), disponível no Laboratório de Geomorfologia do Departamento de Planejamento Territorial e Geoprocessamento do Instituto de Geociência e Ciência Exatas da Unesp campus Rio Claro.

5.1. Técnicas.

Antecedendo a análise geomorfométrica, necessitou-se preparar as bases de dados; essa preparação fez com que os arquivos de ambas as bases fossem equiparados pelo mesmo formato; de início fez-se o georreferenciamento das representações matriciais e vetoriais, das cartas topográficas do IBGE, e oficializar o datum em SIRGAS dos arquivos SRTM Topodata, por meio do *Software* ArcGIS 9.2.

Efetivaram-se as transformações geodésicas usando a formula de Molodensky, segundo Frau et. al (2012), a formula Molodensky transforma diretamente coordenadas geodésicas, dadas em latitude, longitude e altura elipsoidal, por meio do aumento da componente horizontal e vertical, sem necessidade de uma conversão intermediária das coordenadas geodésicas para o sistema geodésico cartesiano; a não adoção deste processo pode gerar erros e distorções nos produtos finais, esse procedimento foi realizado com a ferramenta *Project*⁵.

Na sequência, isolou-se o município de Analândia com a ferramenta *Export Data*⁶, a partir do *shapefile* nomeado: municípios do Brasil, obtidos do banco de dados em *shapefile* do IBGE (2016), desta forma o recorte do município em formato também de *shapefile* passou a ter o datum SIRGAS, de modo a vincular valores altimétricos ao *shapefile* de limite do município de Analândia, utilizando-se o comando *Interpolate Shape*⁷, permitindo que a área selecionada para corte não fique com distorções em sua borda.

No processamento dos dados do IBGE, foram vetorizados as curvas de nível e os pontos cotados; para esse processo, se criou um *buffer* de 800 metros do limite do município, pois desta forma cria-se uma área de segurança, a qual garante que o MDT seja construído sem erros.

Para se ter o *raster* com os dados altimétricos do IBGE, utilizou-se a ferramenta *Topo to Raster*⁸, que possibilitou a execução dos mapas realizados nesse trabalho.

⁵ Ferramenta encontrada na extensão *Data Management Tools* do *Arc tool Box* – ArcMap.

⁶ Ferramenta encontrada na extensão *Data Management Tools* do *Arc tool Box* – ArcMap.

⁷ Ferramenta encontrada na extensão *3d Analyst Tools* do *Arc tool Box* – ArcMap.

⁸ Ferramenta encontrada na extensão *3d Analyst Tools* do *Arc tool Box* – ArcMap.

Fez-se, através da ferramenta *Creat Tin*⁹, a triangulação dos dados altimétricos; a figura 3 exibe um modelo de triangulação, o qual contém a tridimensionalidade do relevo. Posterior a esse feito, realizou-se a transformação de TIN para *raster*, esse processo é necessário para a construção do mapa de sombreamento do relevo, realizado por meio da ferramenta *Hillshade*¹⁰, o sombreamento do relevo dará o efeito tridimensional aos mapas feitos pelo arquivo *raster* de altitude da base IBGE.

No processamento dos dados do SRTM Topodata, realizou-se o recorte da imagem a partir da imagem do limite do município expandido, utilizando a ferramenta *Extract by Mask*¹¹, posterior esse feito, foram extraídas as curvas de nível com a ferramenta *Contour*¹².

Também se fez a extração das curvas de nível com intervalo de vinte metros de equidistância, para se igualar ao intervalo adotado na carta topográfica IBGE. Também nesse caso realizou-se a obtenção da imagem SRTM do Topodata por Valeriano (2016), no qual se obteve o relevo sombreado da cena intitulada de 22S48.

Na sequência, construiu-se os mapas de variáveis geomorfométricas com os arquivos *rasters* tanto dos dados IBGE, quanto dos dados SRTM Topodata, o processo para a elaboração dos diversos mapas a partir de ambas as bases foi idêntico, assim como as legendas e seus valores apresentados, descrito no decorrer desse texto.

As curvaturas horizontais e verticais foram mapeadas através da ferramenta *Curvature*¹³. Para a criação do mapa de declividade, utilizou-se a ferramenta *Slope*¹⁴. Para elaborar o mapa de orientação de vertentes utilizou-se da ferramenta *Aspect*¹⁵.

Elaborados os mapas das variáveis geomorfométricas para cada base de dados, fez-se o recorte do *buffer* para o limite real do município Analândia, com a ferramenta *Extract by Mask*¹⁶.

⁹ Ferramenta encontrada na extensão *3d Analyst Tools* do *Arc tool Box* – *ArcMap*.

¹⁰ Ferramenta encontrada na extensão *3d Analyst Tools* do *Arc tool Box* – *ArcMap*.

¹¹ Ferramenta encontrada na extensão *Spatial Analyst Tools* do *Arc tool Box* – *ArcMap*.

¹² Ferramenta encontrada na extensão *3d Analyst Tools* do *Arc tool Box* – *ArcMap*.

¹³ Ferramenta encontrada na extensão *3d Analyst Tools* do *Arc tool Box* – *ArcMap*.

¹⁴ Ferramenta encontrada na extensão *3d Analyst Tools* do *Arc tool Box* – *ArcMap*.

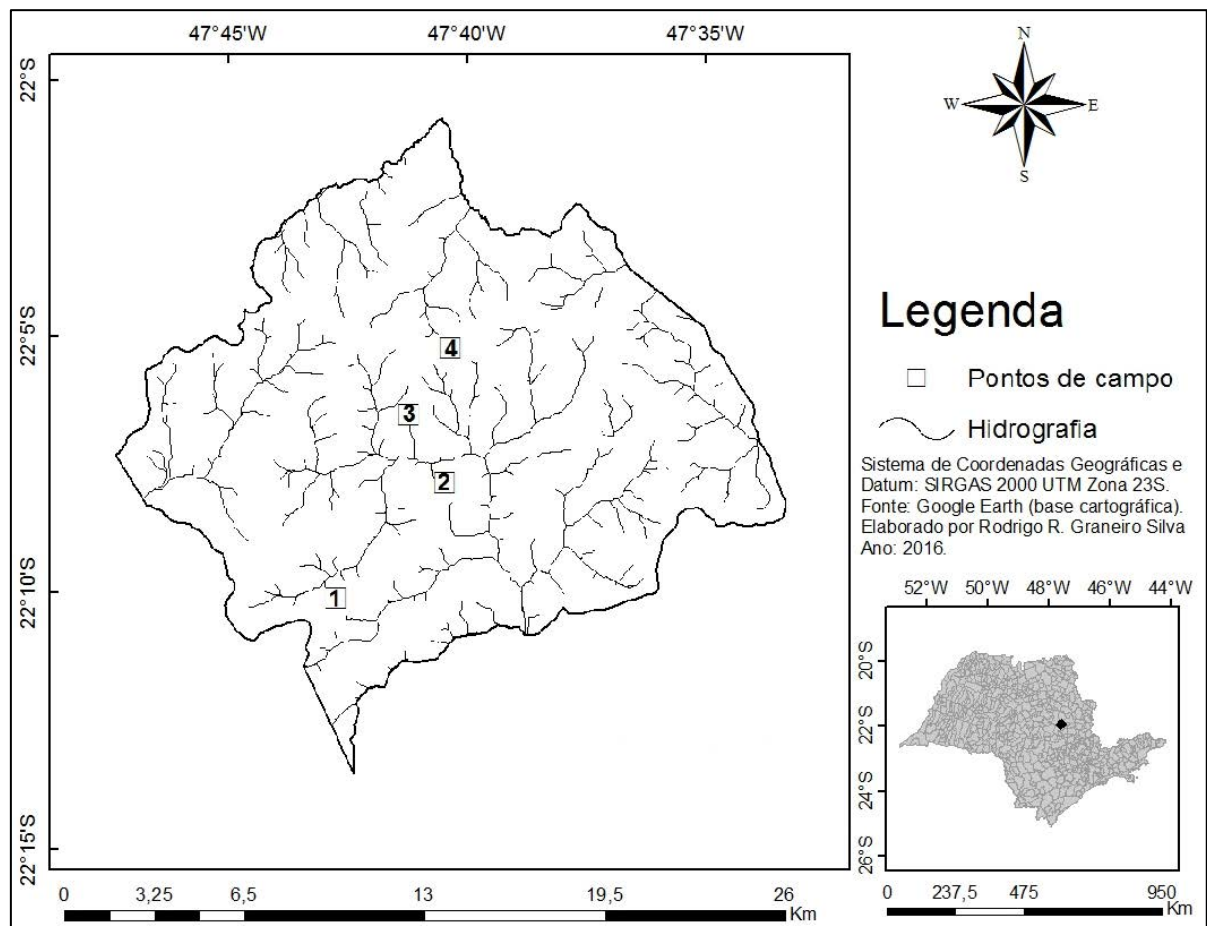
¹⁵ Ferramenta encontrada na extensão *3d Analyst Tools* do *Arc tool Box* – *ArcMap*.

¹⁶ Ferramenta encontrada na extensão *Spatial Analyst Tools* do *Arc tool Box* – *ArcMap*.

Finalizado o processo de equiparar os arquivos das bases, parte-se para os resultados e suas análises, além das avaliações feitas no trabalho de campo que integram aos dados informações.

Para melhor comparação entre os dados, foram escolhidos pontos no mapa no município de Analândia, pontos esses que permitiram uma comparação direta entre os produtos finais de ambas as bases de dados. Para fundamentar essa comparação, realizou-se um trabalho de campo, o qual serviu para a solução de dúvidas oriundas das diferenças entre as curvas de nível das duas bases aqui utilizadas, sendo que os pontos escolhidos para análise seguem em destaque na figura 18.

Figura 8: Pontos do trabalho de campo.



Fonte: Elaborado pelo autor.

6 RESULTADOS E DISCUSSÃO.

Com a elaboração do MDE dos dados de ambas as bases teve-se como resultados os mapas hipsométricos que representam a elevação do relevo dada em metros, sendo esses expostos nas figuras 8 e 9, que trazem consigo o aspecto tridimensional.

Os valores das variações de altimetria são iguais em ambas legendas. Observa-se que a base de dados SRTM Topodata, por apresentar maior quantidade de curvas de nível, resulta em um mapa com número superior de polígonos nas diferentes porções do terreno.

Os setores de depressões e fundos de vale são os que mais apresentam alterações nas distintas bases estudadas, enquanto o SRTM Topodata mostra no setor Nordeste do mapa uma elevação de 800 metros ao entorno de algumas nascentes de rio, o IBGE mostra uma elevação de 700 metros.

No setor Leste nota-se no fundo de vale, que a base IBGE apresenta dados altimétricos de 700m na maioria do entorno, enquanto na base SRTM Topodata os dados são de 800m na sua predominância. O setor que menos teve alterações nas distintas bases foi o Noroeste, nessa área o relevo contém de 900 a 1000 metros de altitude.

Figura 9: Hipsometria obtida por dados do IBGE.

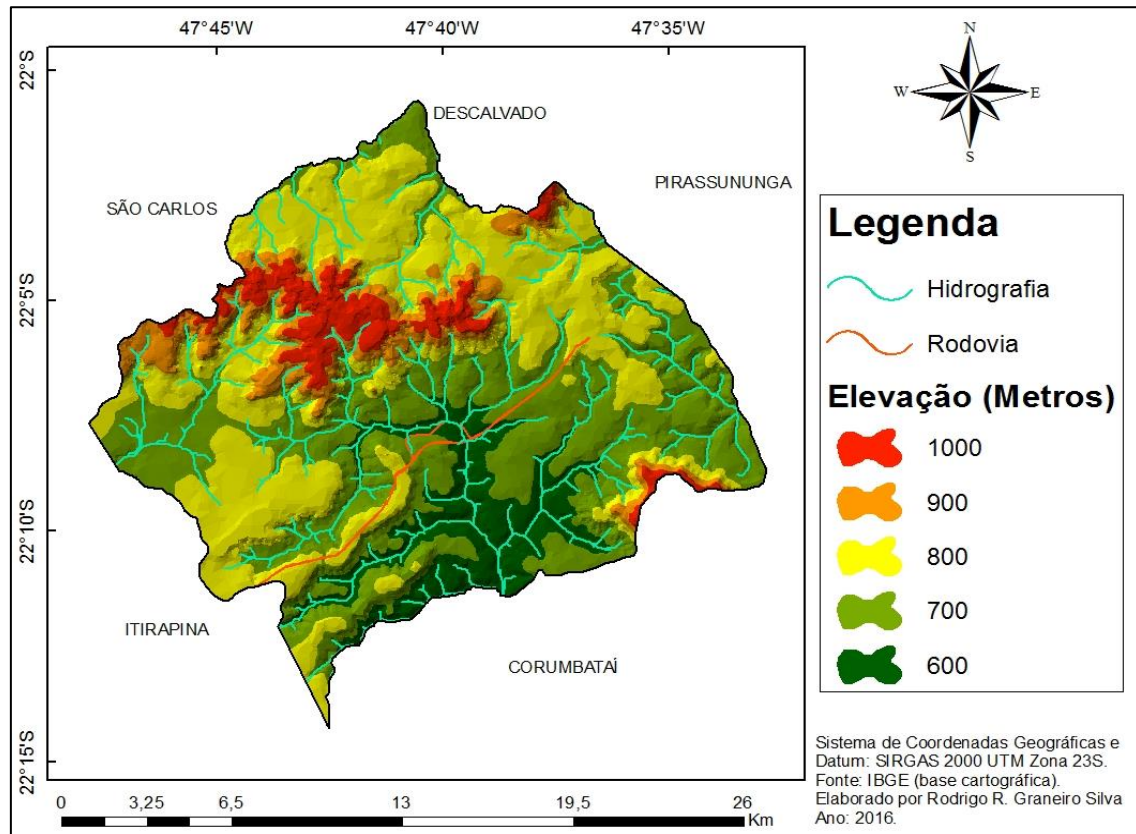
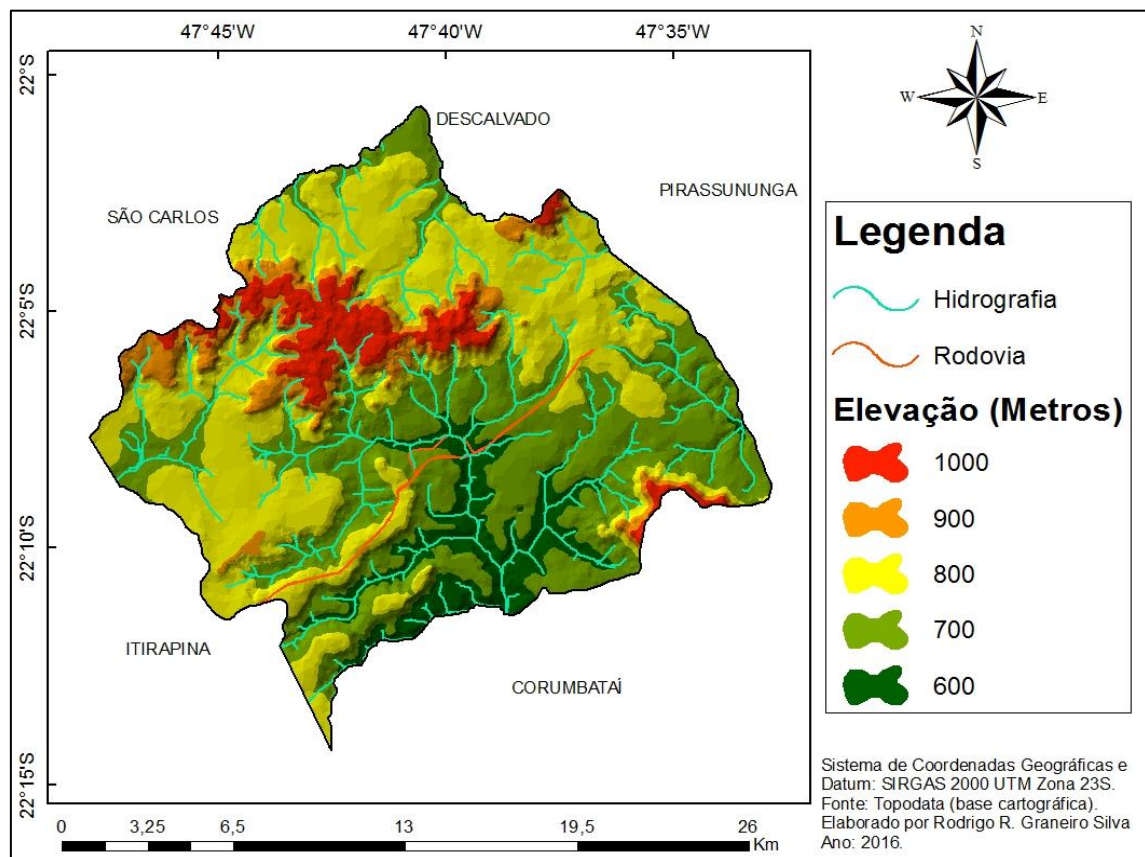


Figura 10: Hipsometria obtida pelos dados SRTM Topodata.



Apresenta-se a seguir os mapas geomorfométricos do município de Analândia (SP): curvatura horizontal pelo IBGE (figura 10), e Topodata (figura 11).

Inicia-se a análise pelas curvaturas, as quais podem ser usadas para descrever de forma objetiva as características físicas de uma bacia de drenagem, num esforço para compreender os processos de erosão e do escoamento.

Os mapas de curvatura horizontal, representados pelas figuras 10 e 11 destacaram as vertentes, realçando a maior rugosidade da porção Noroeste; o destaque também representado é o das encostas divergentes das porções elevadas, marcadas pela coloração roxa, indicando uma dissecação mais avançada do setor de front e reverso da cuesta.

Destaca-se nessa variável a imagem Topotada, essa apresenta maior contraste quanto comparado com a base IBGE. A base IBGE suaviza as áreas divergentes, não revelando as pequenas características do relevo.

Pela legenda, a coloração verde-escura realça áreas de convergência, em que o fluxo tende para uma acumulação de sedimentos, a maior densidade de áreas convergentes localiza-se nos setores Noroeste e Sul do município.

Nas grandes áreas em verde claro, o relevo tem maior planura, visíveis em todo o município. Já as áreas na coloração roxa, são divergentes, observa-se nas encostas dos planaltos fluxos onde a dissecação é acelerada.

Figura 11: Mapa de Curvatura Horizontal na base IBGE.

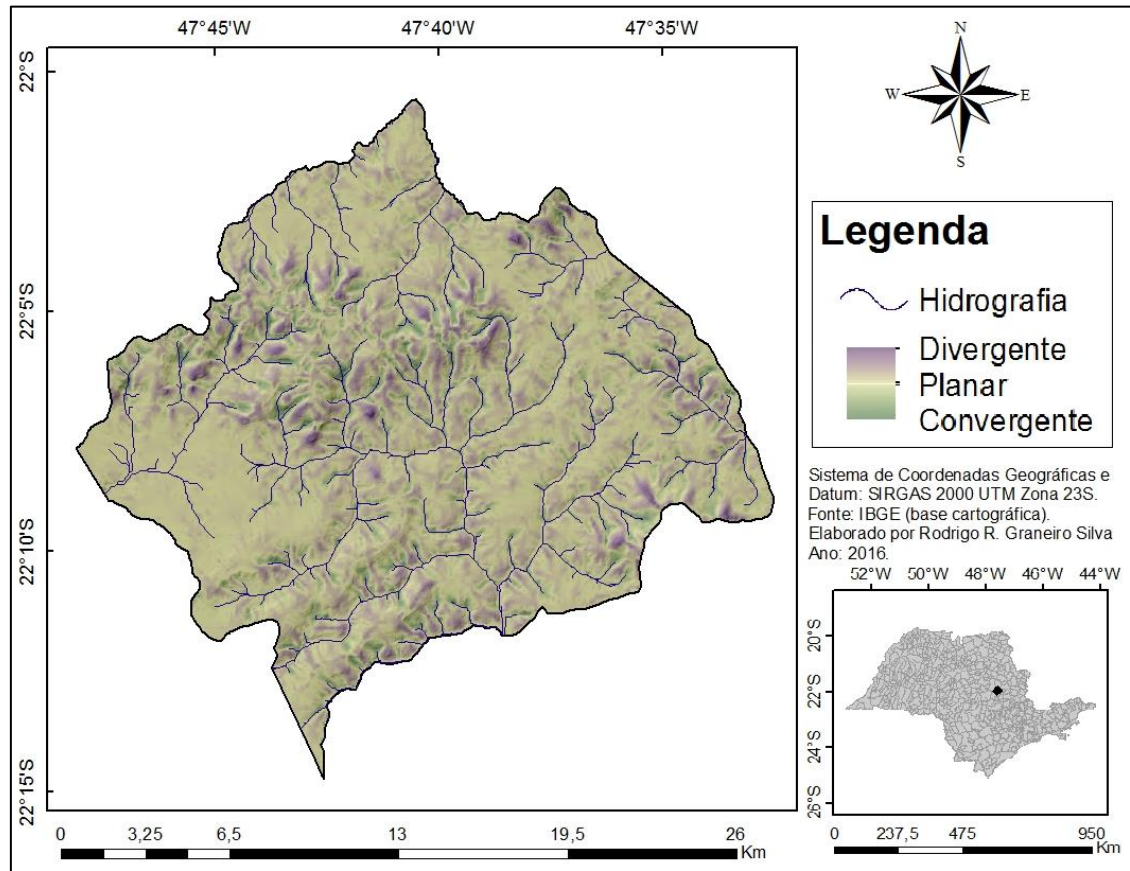
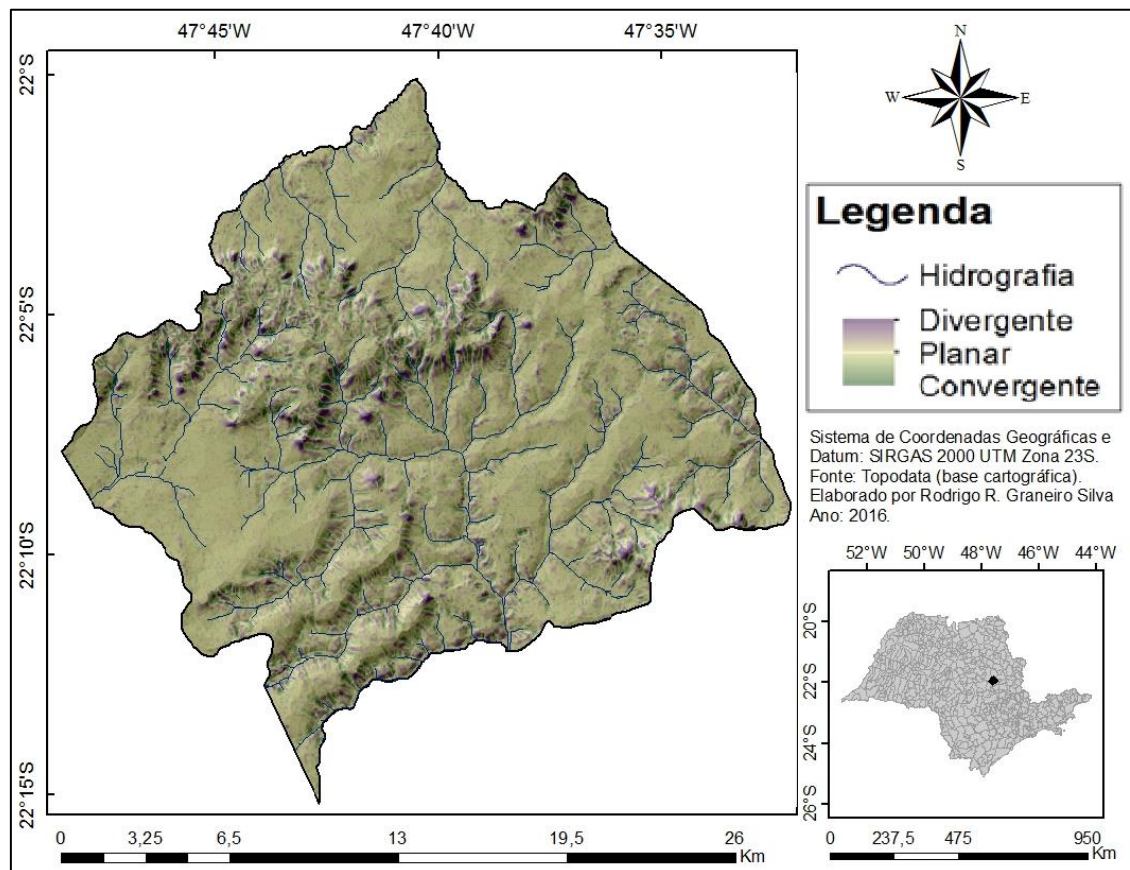


Figura 12: Mapa de Curvatura Horizontal na base Topodata.



Apresenta-se a seguir os mapas os mapas de curvatura vertical, representados pelas figuras 13 e 14, que trazem a curvatura como medida da concavidade e a convexidade da superfície, afetando a aceleração e desaceleração de fluxo e, portanto, influencia a erosão e deposição. No mapa da base IBGE pode-se observar as vertentes e a divisão que os rios ocasionam passando por essas.

Com a análise dessa variável, percebe-se que o relevo do município de Analândia tem em sua porção Noroeste uma maior movimentação e na porção Sudoeste se observam colinas mais suavizadas.

O destaque do mapa são as porções densas de áreas convexas, representadas pela coloração roxa, no Topodata nota-se mais contraste do convexo. Em seu oposto, na coloração verde escuro, tem-se porções côncavas, onde a erosão é intensificada pela rede de drenagem, e nas porções em verde claro vê-se um relevo suavizado. No IBGE a curvatura vertical é mais suavizada.

Figura 13: Mapa de Curvatura Vertical na base IBGE.

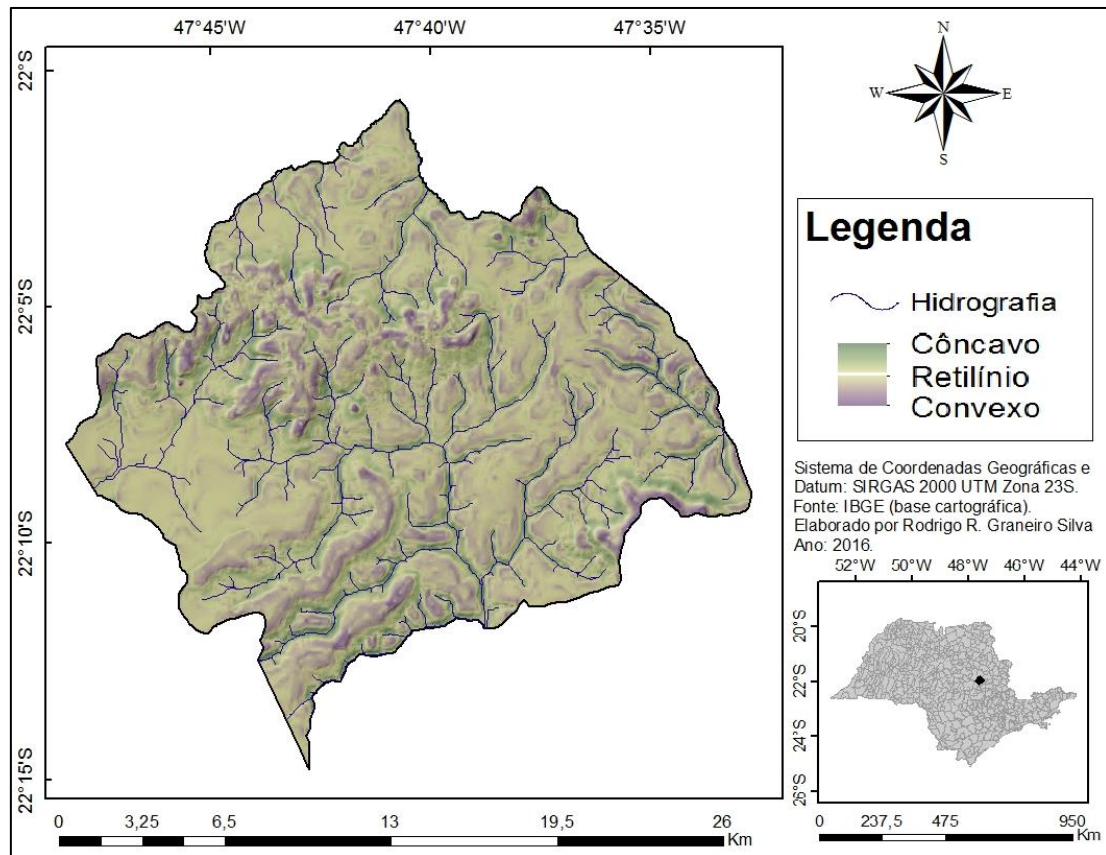
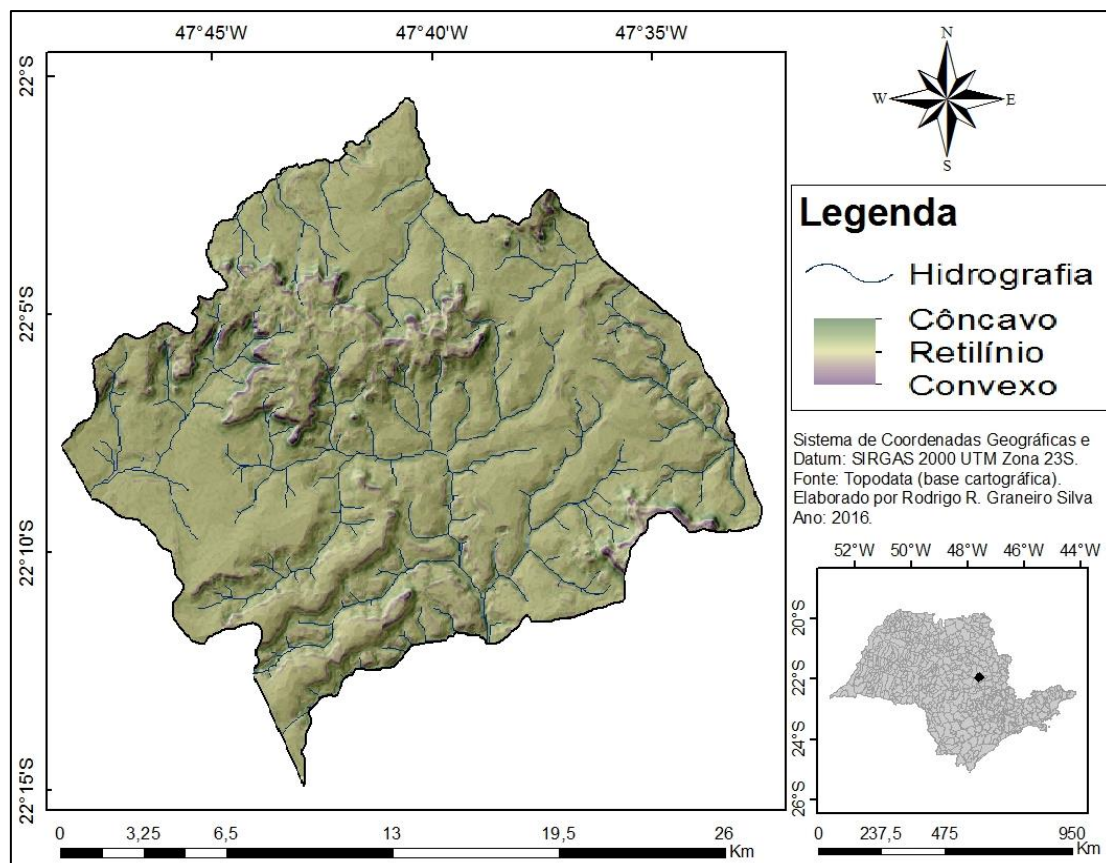


Figura 14: Mapa de Curvatura Vertical na base Topodata.



Apresenta-se a seguir os mapas os mapas de declividade, representados pelas figuras 15 e 16, revelam o relevo e sua diferença de inclinação. A declividade constitui-se em uma medida de inclinação de uma superfície e, nesse trabalho, como é predominante na área acadêmica da Geomorfologia, adotou-se como unidade de medida os percentuais.

A declividade afeta a taxa global de movimento encosta abaixo, indicando as porções de maior erosão, as quais se constituem naquelas de maior declive. Na área estudada, a região de maior declividade do terreno, nas colorações vermelho e laranja, é a Noroeste, em ambas as bases, região onde está localizado o Morro do Cuscuzeiro e o Morro do Camelo.

Nota-se maior contraste na base Topodata, a base IBGE suaviza as encostas, observasse tal fato no setor Sudeste. Esses foram os mapas com maiores diferenças apresentadas entre as bases.

Os setores de menores declividades, nas colorações verde claro e verde escuro, são percebidas no setor Norte, Sudoeste e no setor central do município, são nesses setores a maior ocorrência de áreas de drenagem.

Figura 15: Mapa de Declividade na base IBGE.

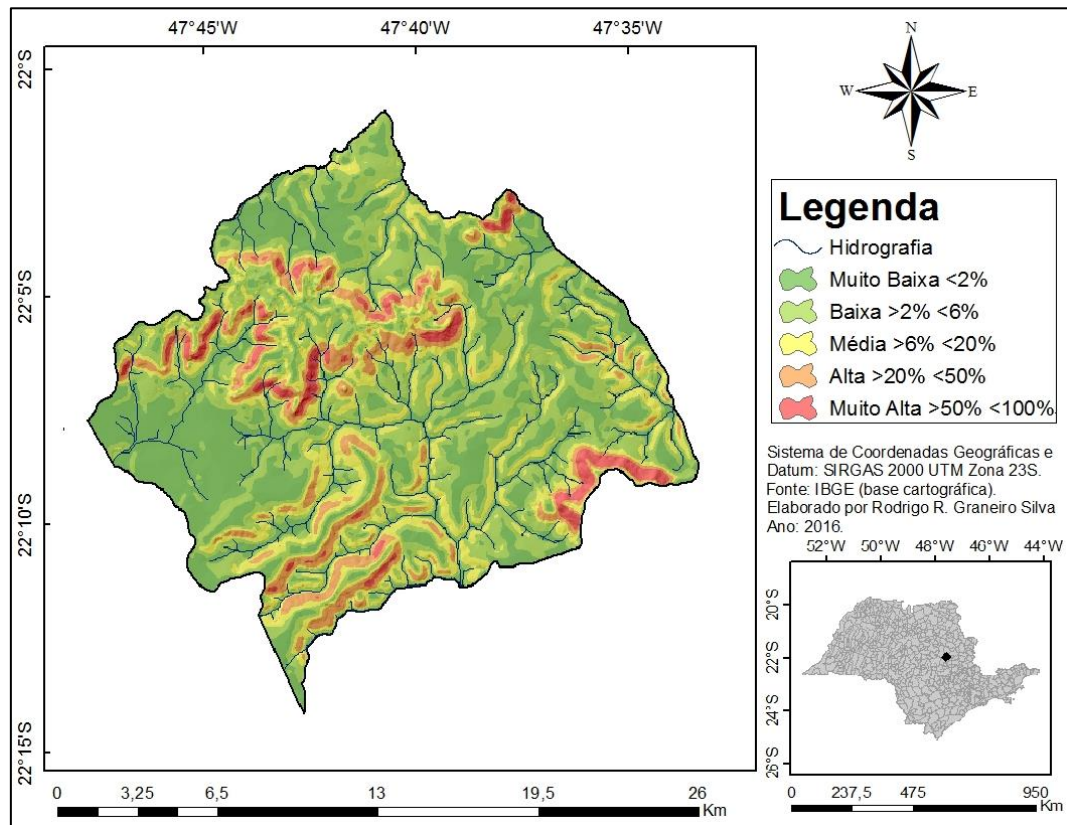
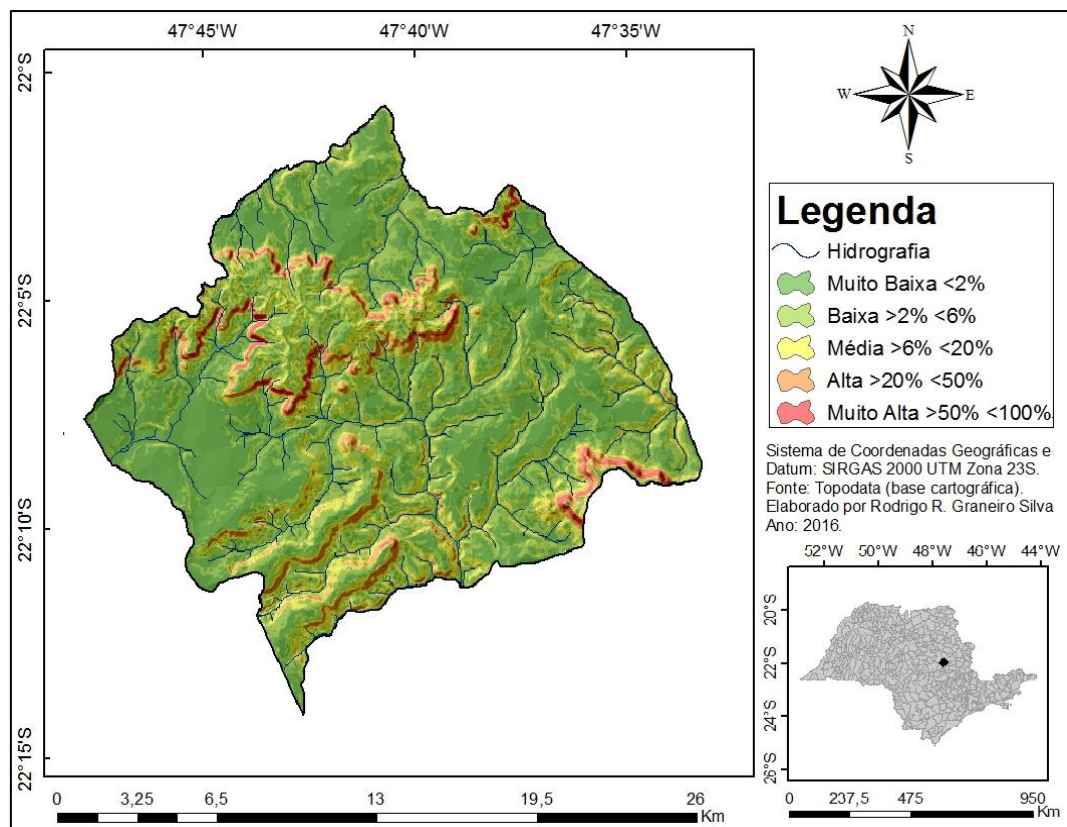


Figura 16: Mapa de Declividade na base Topodata.



Apresenta-se a seguir os mapas os mapas de orientação de vertentes, representados pelas figuras 16 e 17, que trazem a medida da orientação de uma superfície relativa ao Norte. Nota-se um paralelo entre a orientação da vertente com os divisores de água, também destacando as encostas e o relevo movimentado, onde a orientação se altera com a maior rugosidade local.

Na base Topodata tem-se as orientações minuciosamente detalhadas, gerando mais informações, que por sua vez capita orientações de pequenas porções da vertente, essa base apresenta-se com maior complexidade para análise. Na base IBGE constata-se uma generalização, o que leva a um mapa com polígonos maiores, o que causa um menor nível de informações, facilitando a sua análise.

O setor Sudoeste do município nota-se áreas contínuas de uma mesma orientação de vertentes, onde a diferenciação de orientação do Norte para o Nordeste é de fácil leitura, diferente da base Topodata, que no mesmo setor apresenta complexidade na passagem das vertentes do Norte para o Nordeste.

Ocorre no setor Sudeste algo parecido, nota-se uma homogeneização de uma porção de vertentes para o Leste, que na base Topodata subdivide essa porção em vertentes orientadas para o Leste, Sudeste e uma pequena áreas para Noroeste.

Figura 17: Mapa de Orientação de Vertentes na base IBGE.

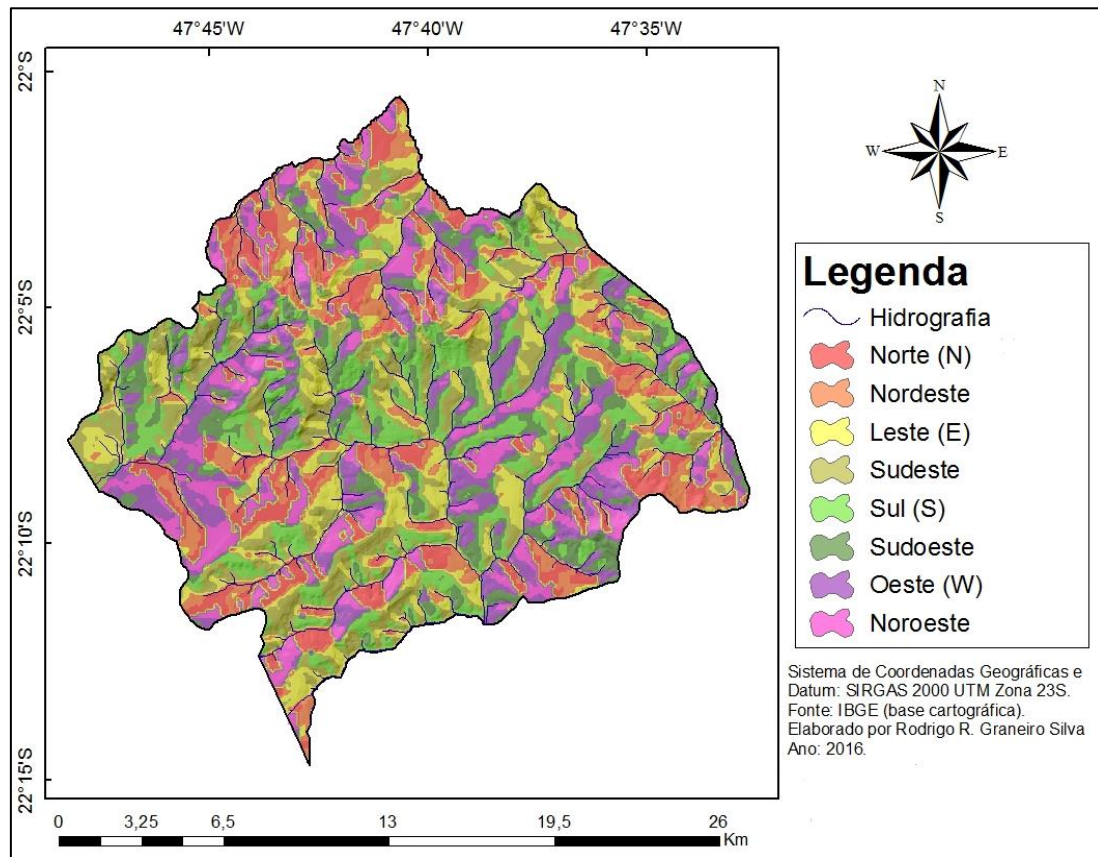
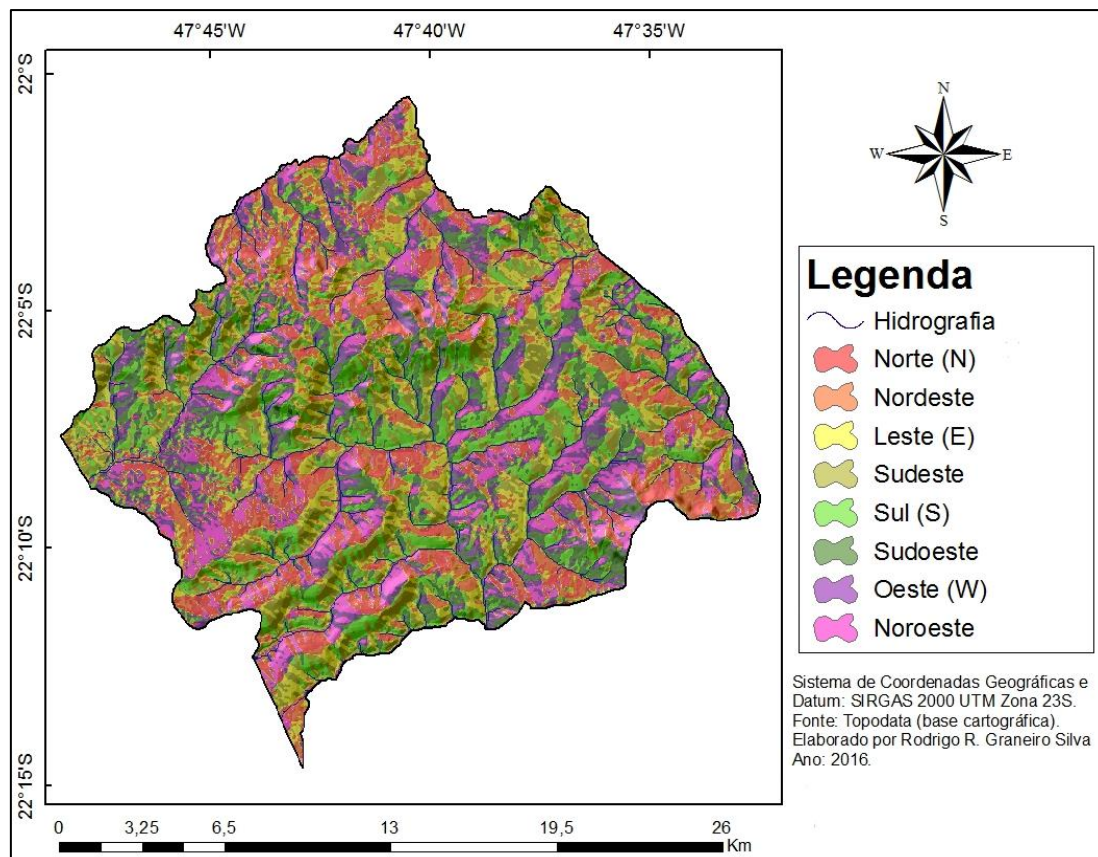


Figura 18: Mapa de Orientação de Vertentes na base Topodata.



Apresenta-se a seguir comparações entre as variáveis geomorfométricas no ponto 1 do trabalho de campo, analisou-se primeiramente as diferenças em relação as curvas de nível entre as bases, com o auxílio de um GNSS e análises na proximidade do ponto, lembra-se que o GNSS pode apresentar erro de 5 metros.

Esse ponto, a $22^{\circ} 10'S$ e $47^{\circ} 43'W$, apresenta 817 metros de altitude segundo o GNSS, trazendo questionamentos da sintonia entre as bases principalmente pelos formatos e pontos em que os valores se diferem, mas nesse ponto aqui apresentado, ambas as bases expõem uma altitude de 820 metros, se aproximando dos dados do GNSS.

Na sequência apresentam-se os fragmentos dos mapas do ponto 1, curvatura horizontal (figura 19), curvatura vertical (figura 20), declividade (figura 21) e orientação de vertentes (figura 22), Os mapas intitulados com a letra (a) representam a base IBGE sempre a esquerda, já os mapas na direita, intitulados de (b), representam a base TOPODATA.

No ponto 1, a convergência e a divergência das vertentes foram identificadas facilmente usando ambas as bases, nos arredores da rodovia o relevo é plano, observa-se nesse ponto para o Norte as convergências e divergências que o relevo proporciona nas vertentes quando o relevo ganha altitude.

Na base IBGE ocorre a distinção das três classes de curvatura horizontal com suavizações, ao ser analisado em campo observou-se que essas suavizações mascaram algumas mudanças de vertentes, principalmente nas áreas de maior movimentação do relevo, porem a leitura do mapa gerado por essa base é facilitada pelas generalizações.

Na base Topodata maiores são os contrastes e detalhes nas vertentes, nas áreas de relevo movimentado observa-se que o seu detalhamento dificulta a análise em campo.

Figura 19: Ponto 1 Curvatura horizontal (a) e (b).

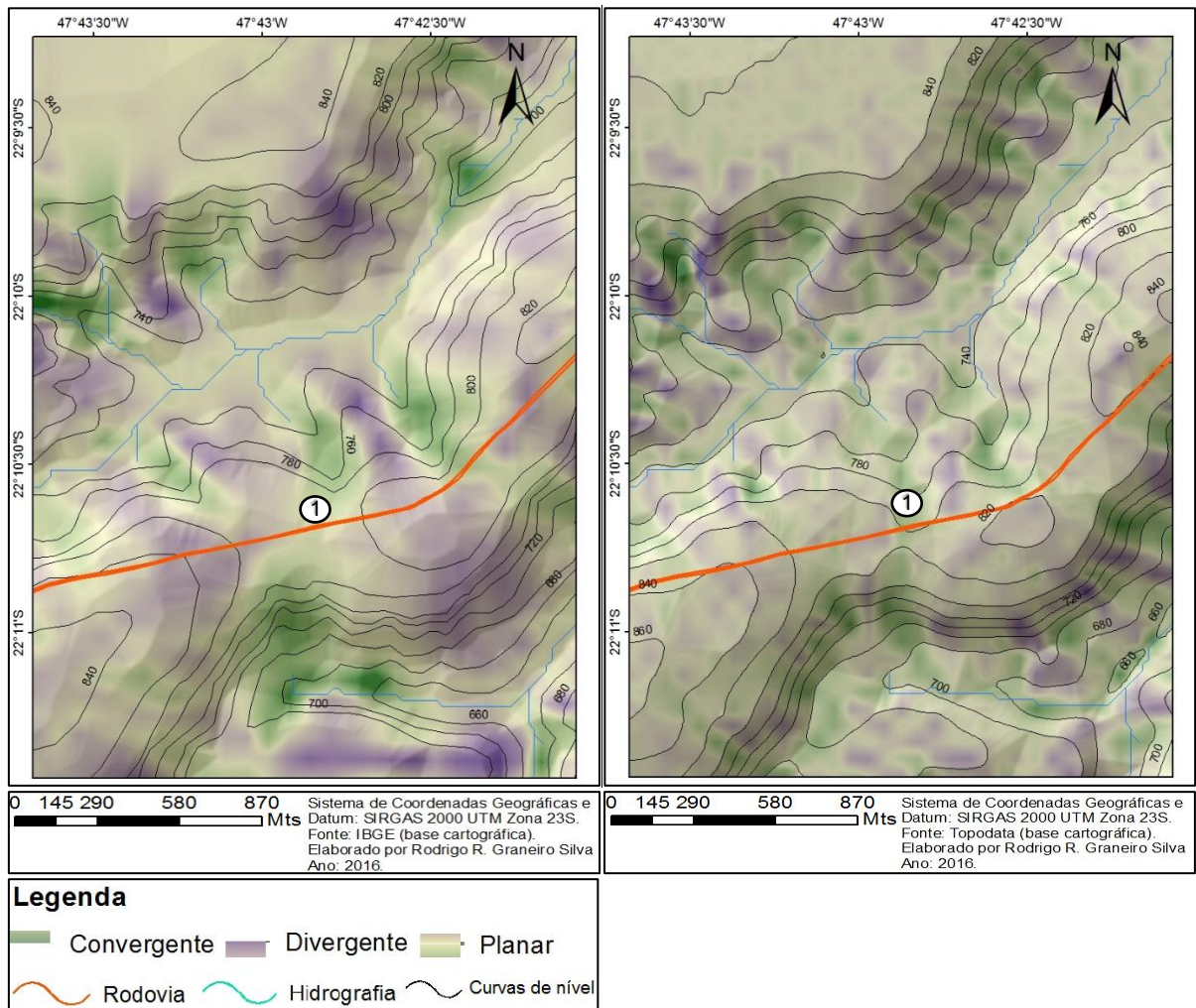
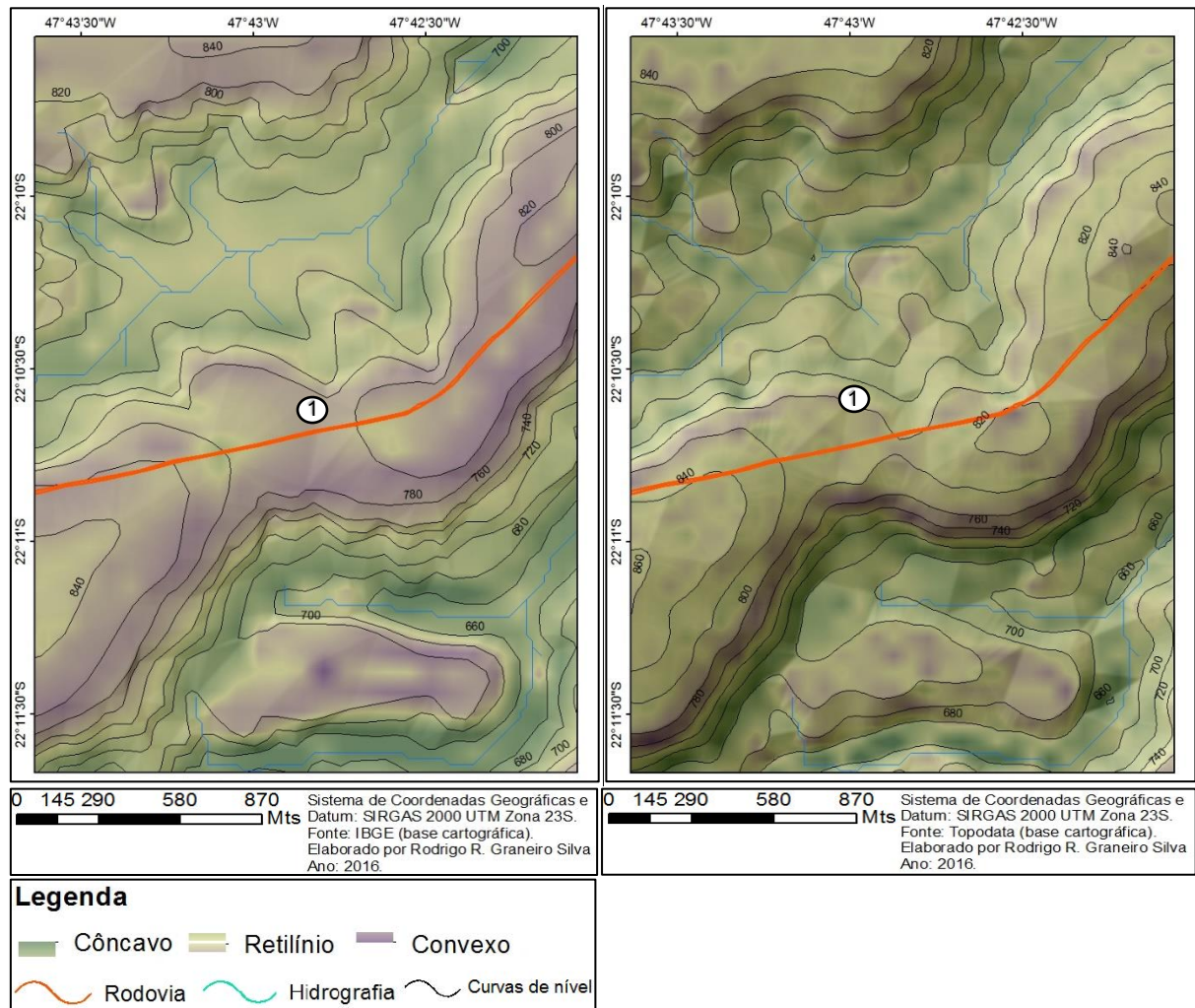
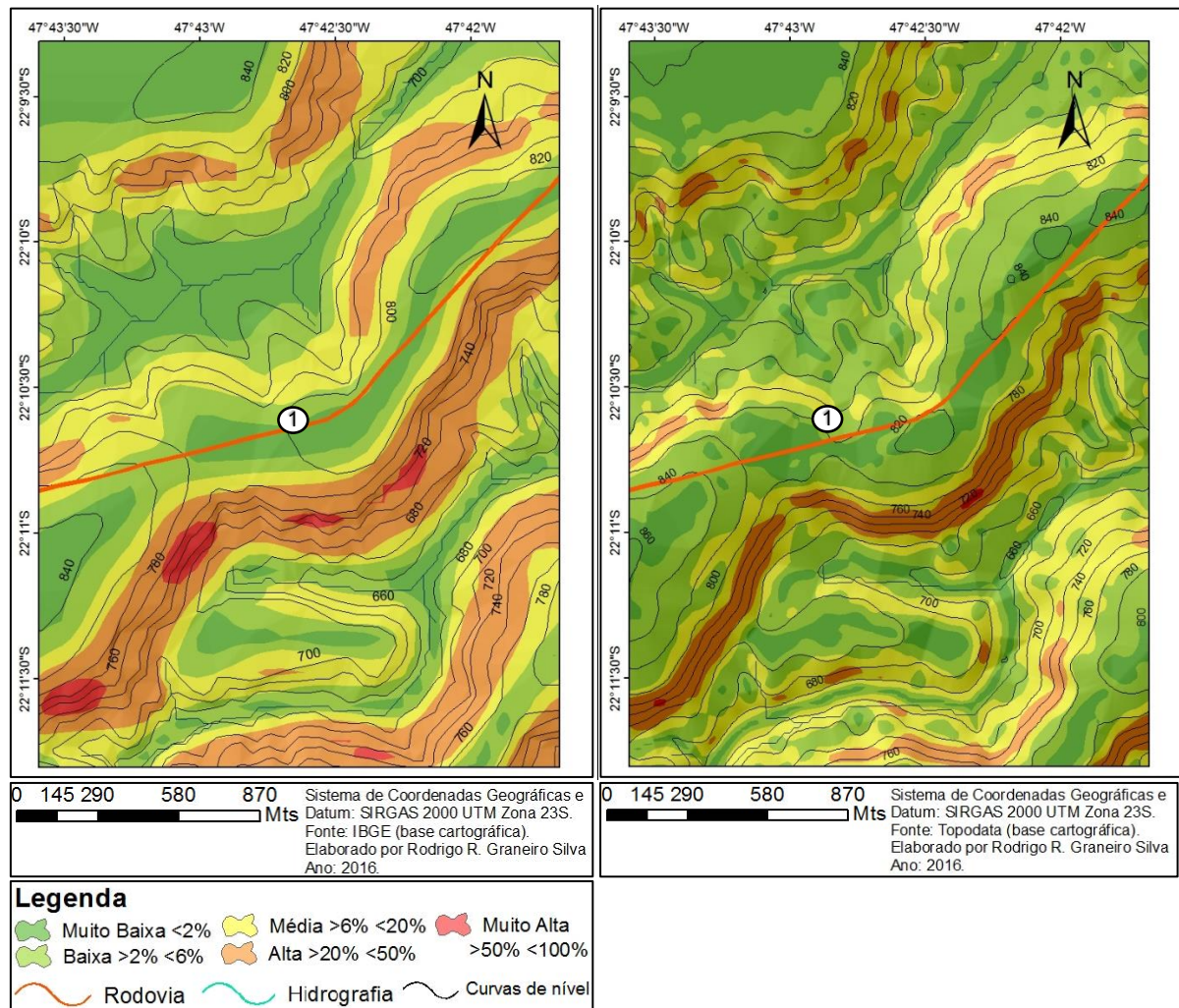


Figura 20: Ponto 1 Curvatura vertical (a) e (b).



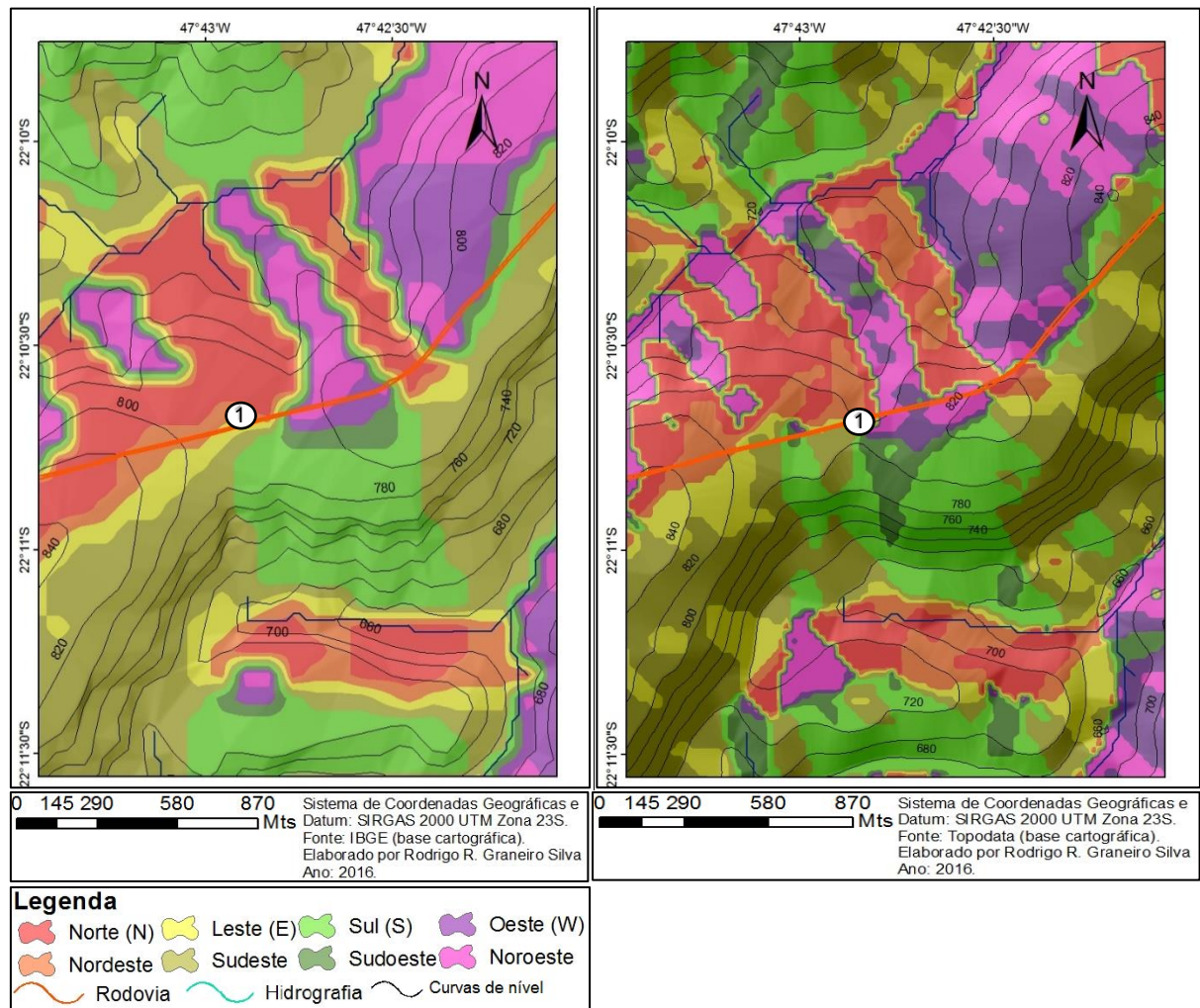
De maneira geral, nesse ponto as vertentes côncavas e convexas tiveram representação satisfatória em ambas as bases. Na base Topodata o relevo expõe-se mais plano, na base IBGE o maior destaque está na apresentação dos compartimentos côncavos.

Figura 21: Ponto 1 Declividade (a) e (b).



Para a declividade, compreende-se que essas características do relevo foram melhor representadas pelos mapeamentos realizados com a base do IBGE, suas suavizações proporcionaram melhores visualizações em campo. No Topodata a complexidade dos resultados levou a confusão de informações.

Figura 22: Ponto 1 Orientação de vertentes (IBGE a esquerda e TOPODATA a direita).



Nas orientações de vertentes, as características do relevo foram melhor representadas pelos mapeamentos realizados com a base do IBGE, aqui também apresentou suavizações que proporcionaram melhor compreensão em campo. No Topodata a complexidade dos resultados levou a confusão de informações.

Nas imagens expressas na figura 23 observa-se na esquerda que o relevo está em uma área pouco movimentada e perde altitude conforme se direciona ao horizonte; na direita observa-se que o relevo está mais íngreme com várias concavidades.

Figura 23: Fotos do trabalho de campo, ponto 1.



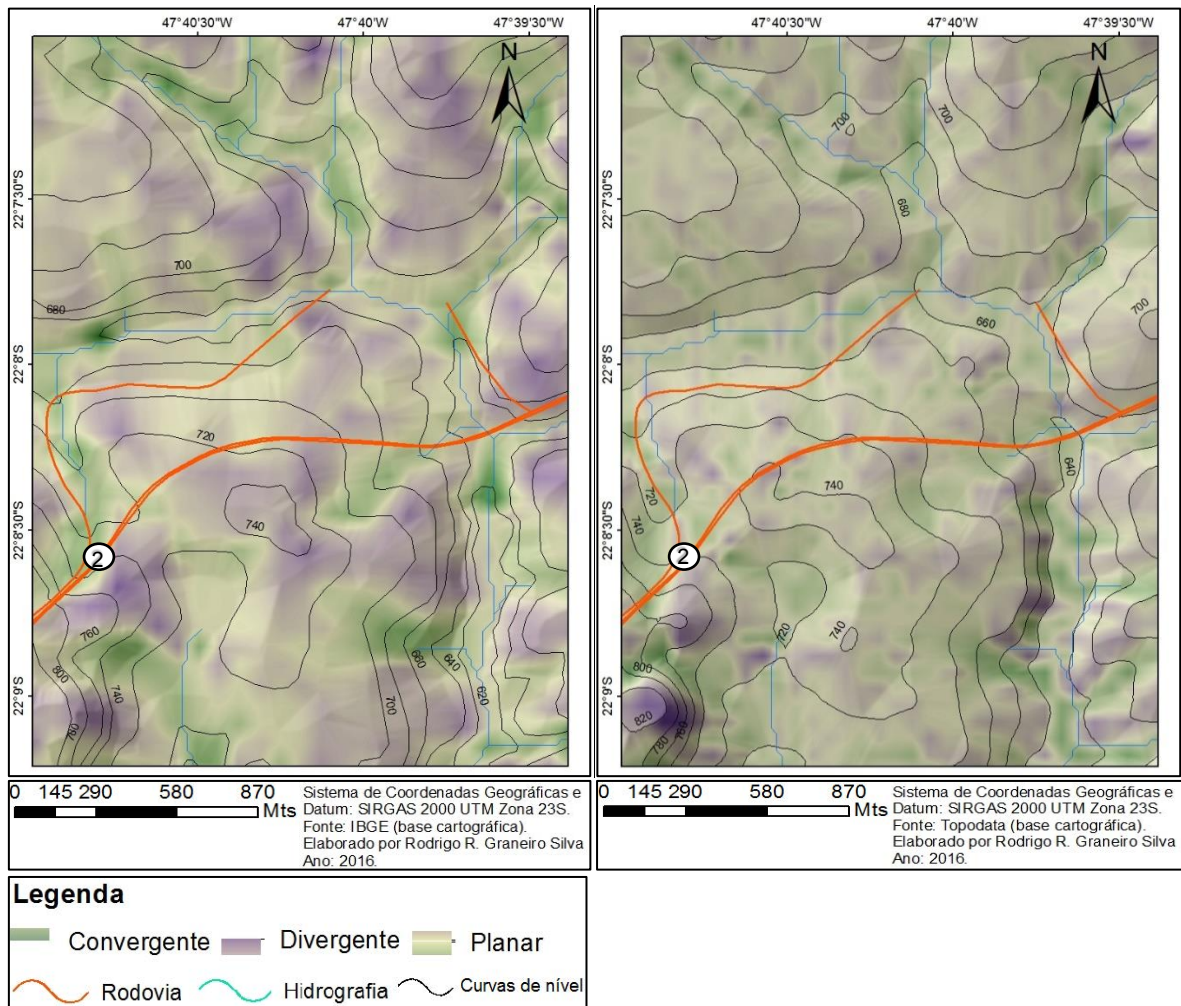
Fonte: Autor.

Apresenta-se a seguir comparações entre as variáveis geomorfométricas no ponto 2 do trabalho de campo. O ponto 2, próximo à entrada da cidade de Analândia, a $22^{\circ} 08'S$ e $47^{\circ} 40'W$, apresenta 742 metros de altitude segundo o GNSS.

Ambas as bases evidenciaram 740 m, porem houve diferença na configuração das curvas de nível e em seus valores nas proximidades desse ponto, conforme pode ser observado nas figuras 24 a 27.

Na sequência apresentam-se os fragmentos dos mapas do ponto 2, curvatura horizontal (figura 24), curvatura vertical (figura 25), declividade (figura 26) e orientação de vertentes (figura 27). Os mapas intitulados com a letra (a) representam a base IBGE sempre a esquerda, já os mapas a direita intitulados de (b) representam a base TOPODATA.

Figura 24: Ponto 2 Curvatura horizontal (a) e (b).

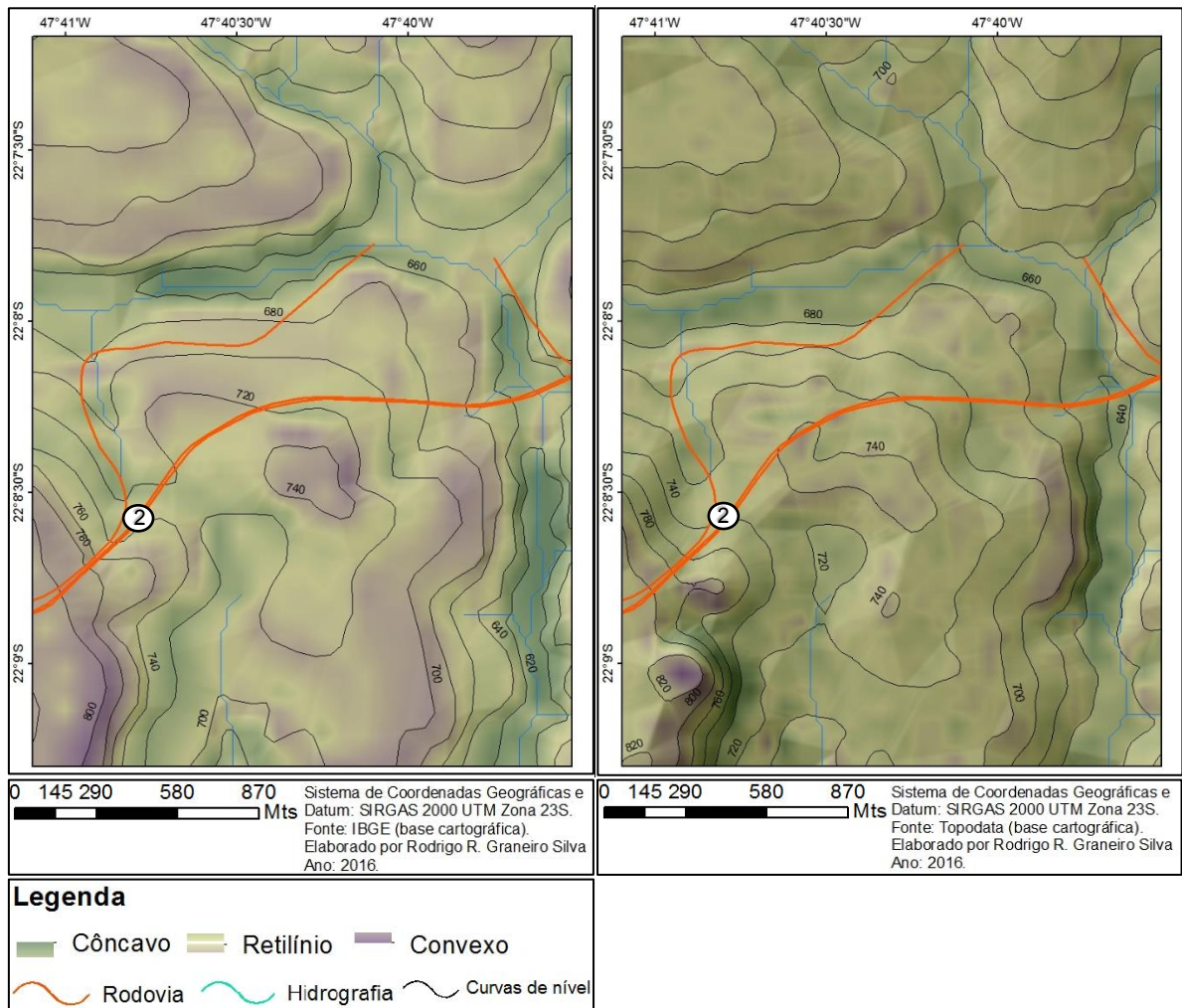


Ambas as bases representam de maneira geral as curvaturas, porem na curvatura horizontal da base IBGE, apresenta-se mais generalizações, ao Sul desse ponto observe-se uma elevação de uma porção da área, na base IBGE os dados de curva de nível são diferentes quando comparado aos do Topodata.

Na base IBGE a altimetria limita-se 780 metros, quando na base Topodata apresenta-se uma curva a mais no valor de 800, resultando em uma maior porção de área divergente na base Topodata

No setor Norte do ponto, a base IBGE ilustra uma porção de convergência no fundo de vale, na base Topodata essa evidencia não foi constatada.

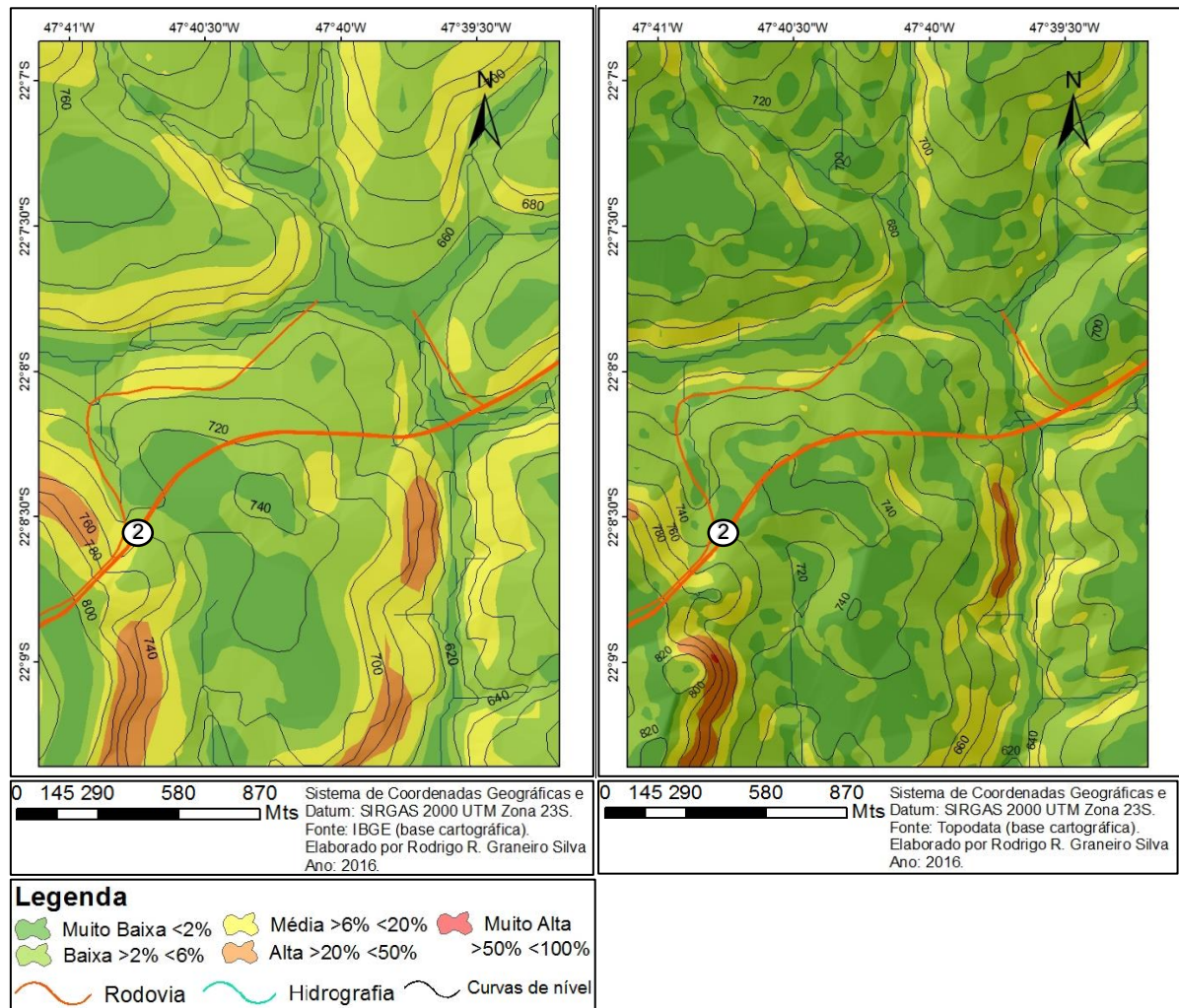
Figura 25: Ponto 2 Curvatura vertical (a) (b).



Nesse ponto, no setor Leste observa-se que a base IBGE apresenta dados de um curvatura convexa em uma área de maior elevação altimétrica, enquanto na base Topodata essa concavidade não é relatada, no local a base apresenta um relevo retilíneo.

No setor Sul ocorre uma grande diferenciação entre a base IBGE que apresenta curvas de nível em menor número, comparado a base Topodata. Na base IBGE expõe-se nessa área uma maior convexidade das vertentes conforme a altimetria avança, já na base Topodata o relevo expõe-se mais côncavo.

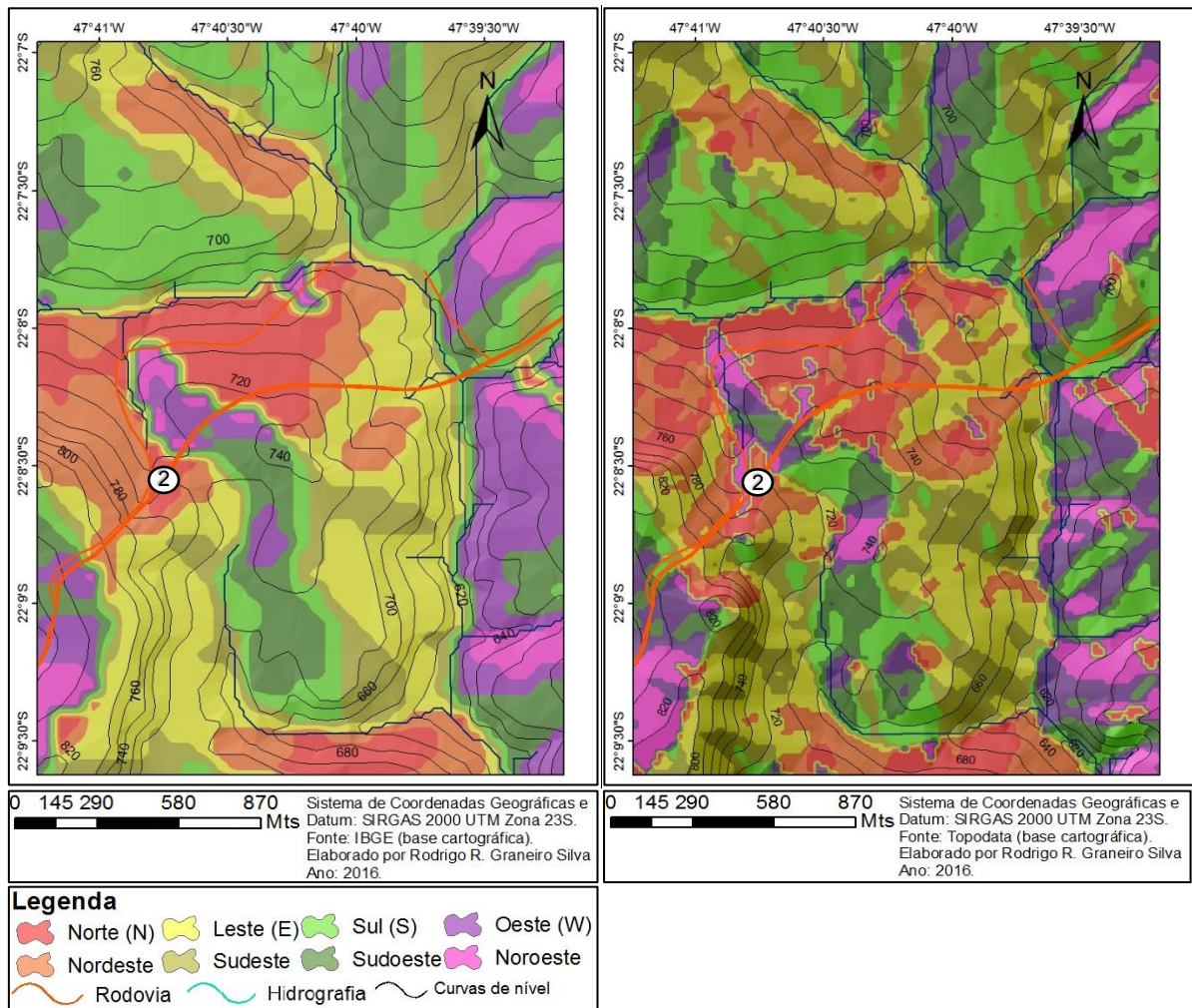
Figura 26: Ponto 2 Declividade (a) e (b).



De maneira geral, nesse ponto as classes de declividade tiveram representação satisfatória em ambas as bases. Nota-se que na base Topodata muito se detalha a angulação das vertentes, onde o Muito baixo representado pela coloração verde escuro aparece em pontos onde a base IBGE não representa.

No setor Sul do ponto é possível perceber pela base Topodata uma área com declividade muito alta representada pela cor vermelho, que na base IBGE é representa como Alta em laranja.

Figura 27: Ponto 2 Orientação de vertentes (IBGE a esquerda e TOPODATA a direita).



Nesse ponto as orientações de vertentes foram facilmente identificadas na base IBGE. No Topodata ocorre confusões de leitura nas orientações, confundem o leitor pelo grande detalhamento de informações.

Apresenta-se a seguir comparações entre as variáveis geomorfométricas nos pontos 3 e 4 do trabalho de campo.

No Ponto 3, a 22,06' S e W 47°41', com 818 metros de altitude segundo o GNSS, analisa-se o morro do Cuscuzeiro, ponto turístico e de contraste entre as bases de dados. Esse morro testemunho contém o topo aplainado e sem vegetação, a vegetação percorre seu entorno, formando uma base suave nas vertentes como pode ser observado na figura 28, a esquerda.

Figura 28: Morros testemunho, Cuscuzeiro a esquerda e Camelo a direita.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Para explicar a ausência de dados Topodata (Figuras 29 a 32) nesse ambiente, leva-se em consideração que o grau de declive das vertentes tem grande influência, dificultando o registro das altitudes nesse setor por essa base altimétrica. Assim, no morro testemunho do Cuscuzeiro, que se apresenta com uma escarpa íngreme, os dados foram capturados de forma parcial pela base Topodata, sendo melhor representados pela base IBGE.

Ainda, na área do mesmo ponto, tem-se o morro testemunho do Camelo, que pode ser observado também na figura 28 a direita, sendo seu detalhamento melhor representado nas curvas de nível a mais contidas na base do Topodata; nesse morro a presença de vegetação é abundante em sua encosta, mas na base essa já não se registra mais.

Apesar dessas variações, a base Topodata representou melhor o morro do Camelo, fato que se deve a menor inclinação de suas vertentes. Essa inclinação inferior faz com que a base IBGE não registre a individualidade dessa forma, não permitindo o mapeamento nítido dessa feição.

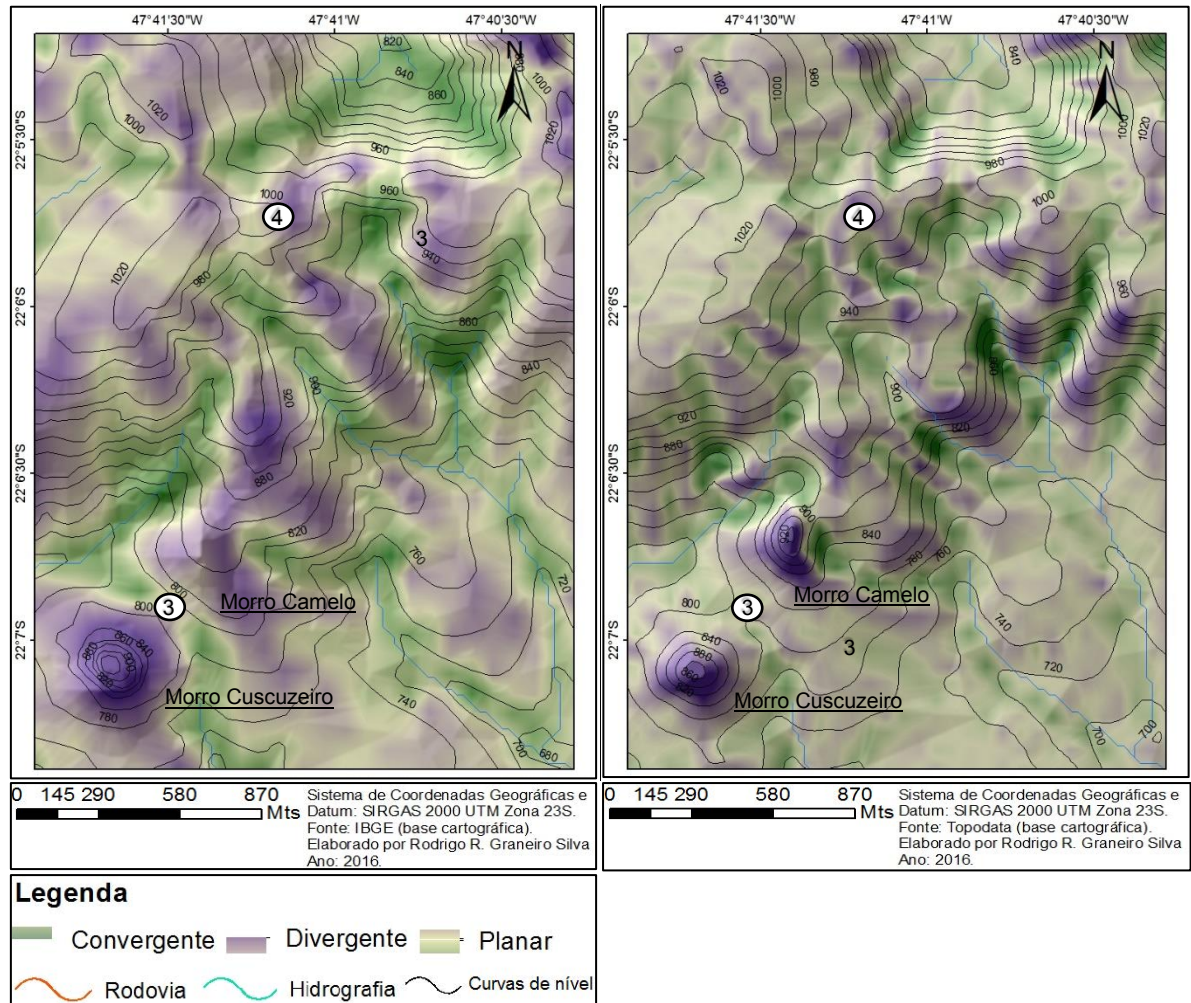
Como resultado da variação das curvas de nível em cada base para o ponto 3, o mapeamento das variáveis geomorfométricas teve diferenças consideráveis.

O ponto 4, área de maior altitude do relevo, localizado a 22° 05'S e 47°41'W, apresenta 1.000 metros de altitude segundo o GNSS; ambas as bases evidenciaram 1.000 metros, porém houve diferença na configuração das curvas de nível e seus valores nas bases de dados nas proximidades desse ponto (Figuras 29 a 32).

De maneira geral, nesse ponto as vertentes côncavas e convexas tiveram representação satisfatória em ambas as bases; a convergência e divergência das vertentes também foram identificadas facilmente usando ambas as bases; já para a orientação e declividade, compreende-se que essas características do relevo foram melhor representadas pelos mapeamentos realizados com a base do IBGE.

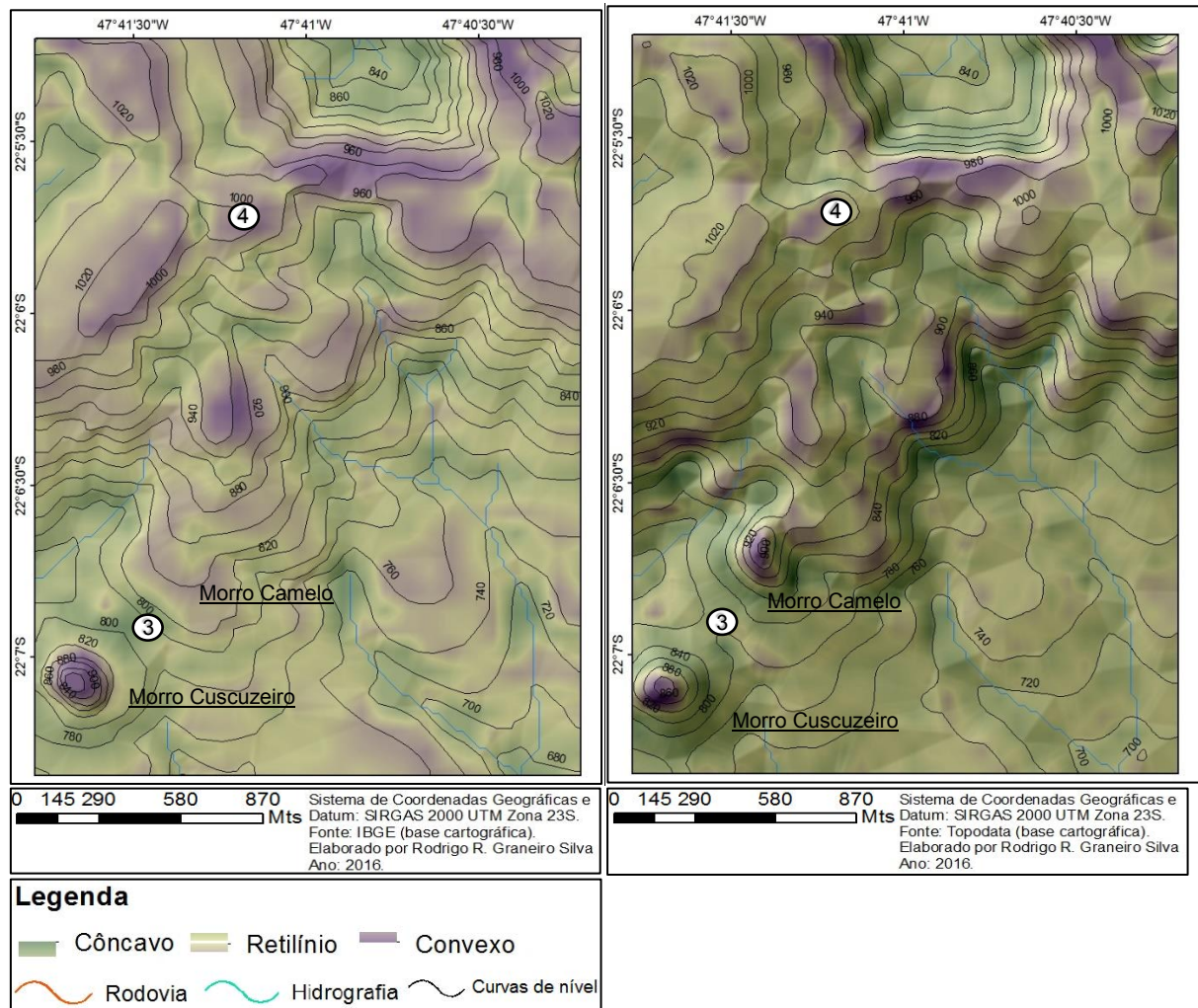
Na sequência apresentam-se os fragmentos dos mapas dos pontos 3 e 4, curvatura horizontal (figura 29), curvatura vertical (figura 30), declividade (figura 31) e orientação de vertentes (figura 32). Os mapas intitulados com a letra (a) representam a base IBGE sempre a esquerda, já os mapas a direita intitulados de (b) representam a base TOPODATA.

Figura 29: Ponto 3 e 4 Curvatura horizontal (IBGE a esquerda e TOPODATA a direita).



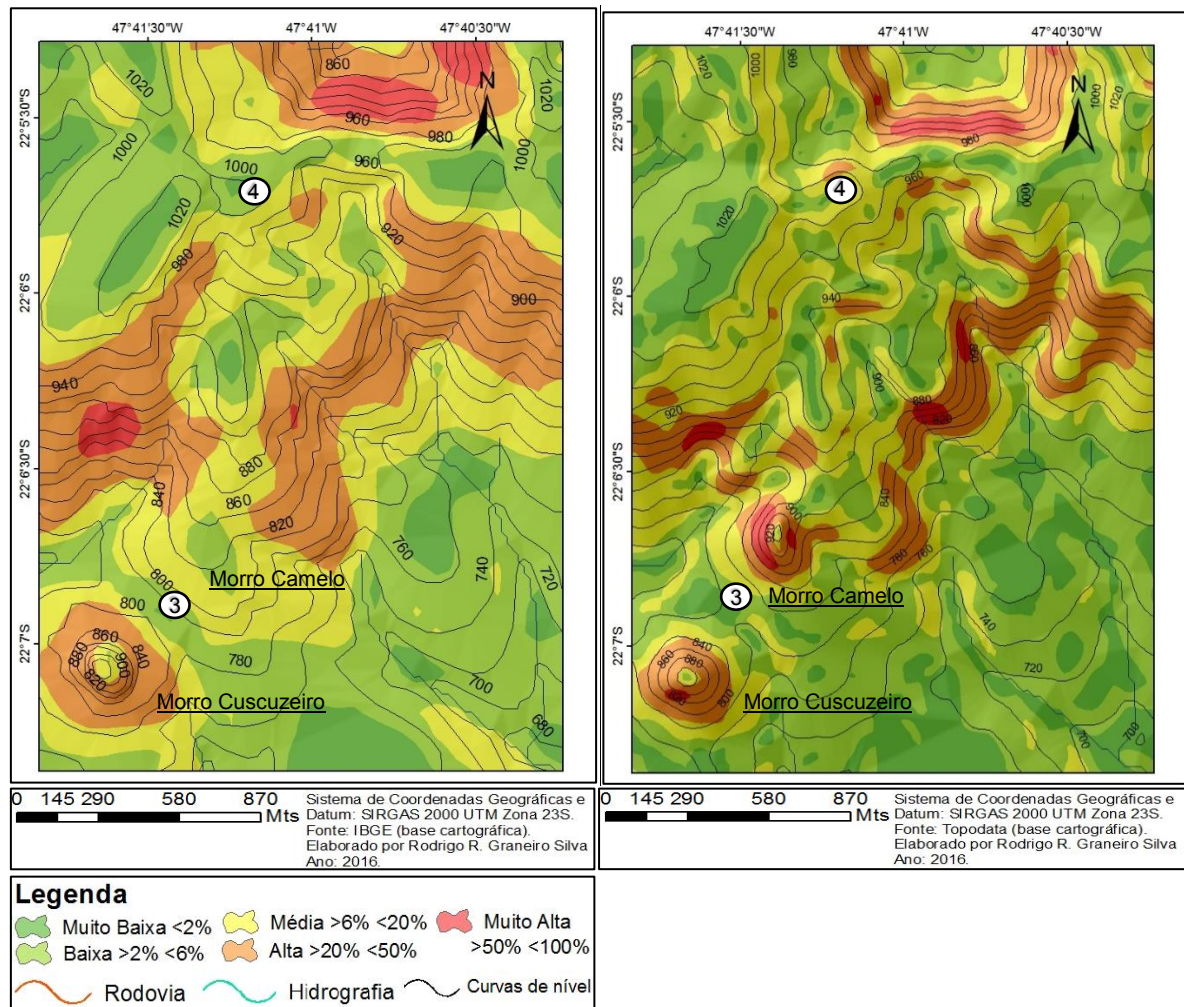
Nota-se no ponto 3 na base IBGE uma ausência da divergência ocasionada pelo Morro Camelo, a coloração roxa é mais evidente na base Topodata para esse Morro, por essa última base apresentar mais informações de curvas de nível. No mesmo ponto o Morro Cuzcuzeiro é melhor evidenciado pela base IBGE, por esse apresentar mais informações de curvas de nível, realçando a coloração roxa de divergência.

Figura 30: Ponto 3 e 4 Curvatura vertical (IBGE a esquerda e TOPODATA a direita).



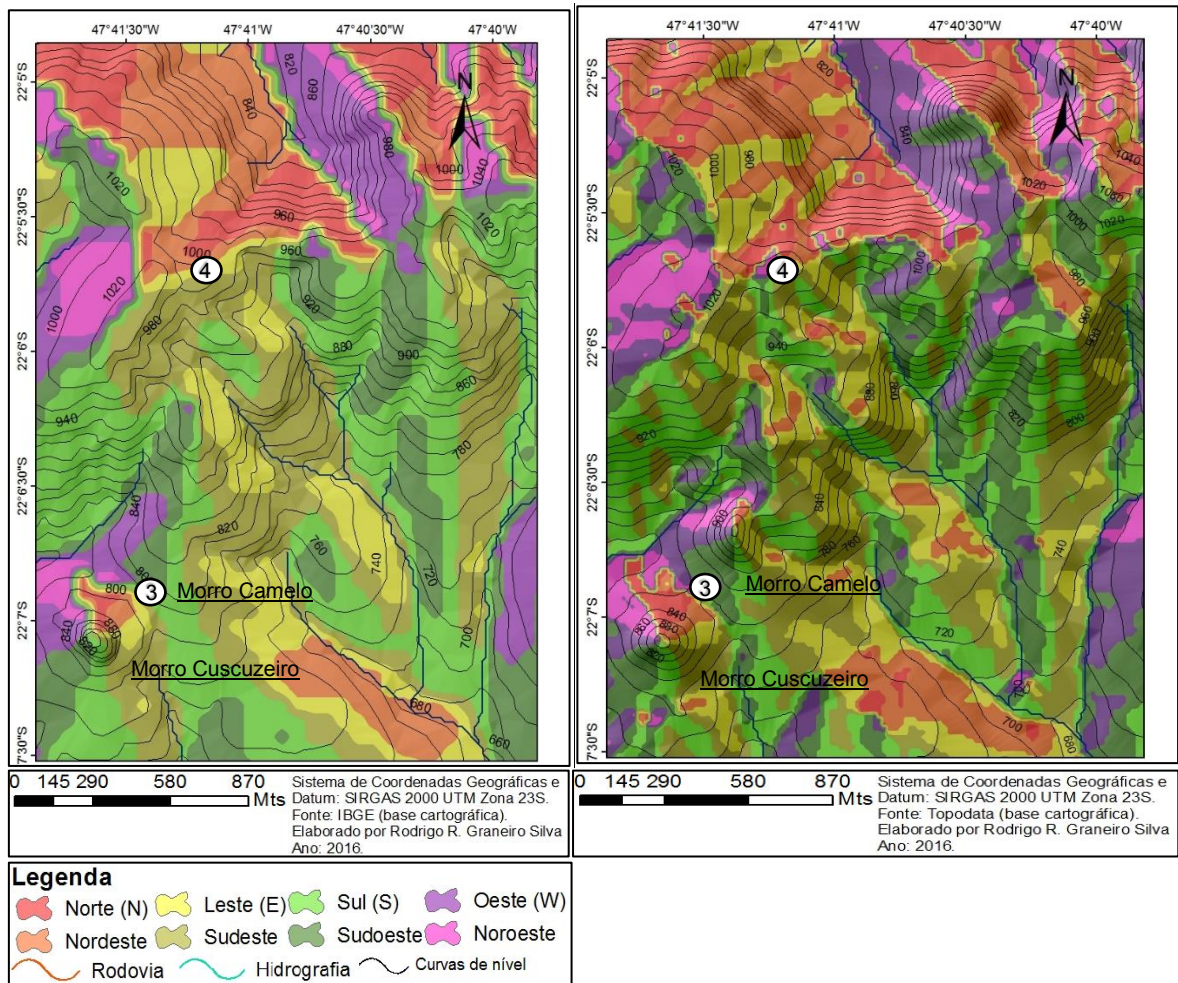
Ocorre no ponto 3 o mesmo efeito de diferenciação nos Morros pela ausência de curvas de nível. No ponto 4 a base IBGE suaviza o relevo, os setores convexas são predominantes nas altitudes elevadas. Na base Topodata ocorre maior contraste e as classes são mais detalhadas.

Figura 31: Ponto 3 e 4 Declividade (IBGE a esquerda e TOPODATA a direita).



De maneira geral, nesse ponto as classes de declividade tiveram representação satisfatória em ambas as bases. Entre o ponto 3 e 4 expõe-se na base Topodata declives altos na coloração laranja, já a base IBGE mostra essa área como muito baixa e baixa na coloração de tons de verde.

Figura 32: Ponto 3 e 4 Orientação de vertentes (IBGE a esquerda e TOPODATA a direita).



Nesse ponto as orientações de vertentes tiveram representação satisfatória na base IBGE, é possível ver a transição de uma orientação para outra. Já a leitura da base Topodata é dificultada pelo detalhamento, onde em uma área a vertente é subdividida em várias orientações, como exemplo ao Sul do ponto 3 e no Norte do ponto 4.

7 CONCLUSÃO.

Este trabalho visou a caracterização do relevo na área do município de Analândia (SP), a partir de análise das variáveis geomorfométricas. Ao utilizar as técnicas aqui propostas teve-se resultados interessantes para análise, respondendo de forma suficiente para comparação das duas bases de dados pesquisadas. Por meio digital foi fácil e acessível a execução dos processamentos dos mapas, o trabalho de campo foi de suma importância para a conferência desses dados, levando a questões e conclusões definidas a seguir.

Assim, as análises permitiram concluir que nas vertentes, de modo geral, nos mapeamentos obtidos de carta topográfica IBGE trazem melhores resultados; em contrapartida, os mapeamentos obtidos de imagens SRTM Topodata apresentam detalhamento superior na transição das vertentes com os topos, que raramente apresentam-se planos no cenário quente e úmido brasileiro.

A respeito das variáveis geomorfométricas, a curvatura horizontal que influencia a convergência e divergência dos fluxos de escoamento de superfície, teve nos mapeamentos obtidos de carta topográfica IBGE maiores generalizações, as generalizações evidenciaram, em sua maioria, coerência com a realidade. Nos mapeamentos obtidos de imagens SRTM Topodata também se analisou de forma coerente o relevo por essa variável, com exceção de algumas áreas.

Na curvatura vertical, os mapeamentos obtidos de carta topográfica IBGE apresentam melhores detalhes pois representou com maior realidade os topos convexados e a concavidade da superfície, nessa base ficou mais evidente a aceleração e desaceleração de fluxos e, dessa maneira, a erosão e deposição; os mapeamentos obtidos de imagens SRTM Topodata também mostraram resultados satisfatórios na transição vertentes com os topos.

A orientação de vertentes e a declividade, são melhores representadas pelos mapeamentos obtidos de carta topográfica IBGE, segundo as comparações desses mapas com os dados vistos em campo. Acredita-se que isso ocorre, pois, essa base apresenta melhor a morfologia da paisagem, principalmente o aspecto suavizado do relevo em virtude do clima quente e úmido.

Por fim, considera-se que, ao se realizar um mapeamento que necessite de maior detalhe da morfologia dos topos, os mapeamentos obtidos de imagens SRTM Topodata melhor atenderiam essa necessidade; contudo, se o trabalho está relacionado com as vertentes, a base que melhor se adequa são os mapeamentos obtidos de carta topográfica IBGE. Esse fato ocorre visto que a base do IBGE generaliza a informação de topo e os dados dos mapeamentos obtidos de imagens SRTM Topodata permitem verificar pequenas variações altitudinais nesses setores, o que possibilita avaliar melhor sua morfologia e transição para as altas vertentes.

8 REFERÊNCIAS.

ABREU, A. A. A Teoria geomorfológica e sua edificação: análise crítica. **Revista Brasileira de Geomorfologia**. São Paulo, n. 2, p.51-57. 2003.

ALLAM, M.M. **DTM application in topographic mapping**. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, v.44, n.12, p.1513-1520. 1978.

AMARAL, A.A. e AMARAL, J.A. **A TEORIA GERAL DOS SISTEMAS E OS ESTUDOS DE GEOMORFOLOGIA**. In: ENCONTRO NACIONAL DOS GEÓGRAFOS: Crise, práxis e autonomia: espaços de resistência e de esperanças.16. 2010. Porto Alegre. *Resumos...* Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 2010.

ARONOFF, Stan. **Geographic Information Systems: a management perspective**. Ottawa: WDL Publications. 294p, 1995.

BASENINA, N. V. & TRESCOV, A. A. **Geomorphologische Kartierung des Gebirgsreliefs im Masstab 1:200 000 auf Grund einer orphpstrukturanalyse**. Zeitschrift für Geomorphologie N.F., Berlin, 16(2): p.125-1380, Jun. 1972.

BURROUGH, P. A.; MCDONNELL, R. A. **Principles of geographical information systems**. Oxford: Oxford University Press. p. 333. 2004.

BERTALANFFY, L. von. **Teoria Geral dos Sistemas**. Petrópolis: Vozes. 1973.

CÂMARA, G; QUEIROZ, G. R. **Arquitetura de Sistemas de Informações Geográficas**. Disponível em: < <http://www.dpi.inpe.br/gilberto/livro/introd/cap3-arquitetura.pdf>>.1999, acesso em: fev. 2016.

CASSETI, V. **Geomorfologia**. Livro Digital. Disponível em: <http://www.funape.org.br/geomorfologia/>, 2005, acesso em: jan. 2016. 168p.

CHORLEY, R. J.; KENNEDY, B. A. **Physical Geography: a systems approach**. London: Prentice Hall, 1997.

CROMLEY, R. G. **Digital cartography**. New Jersey: Prentice Hall. p.317. 1992.

CHRISTOFOLETTI, A. **O Desenvolvimento Teórico Analítico em Geomorfologia: do ciclo da erosão aos sistemas dissipativos**. Geografia. Vol. 14, nº 18. Rio Claro, 1989.

CHRISTOFOLETTI, A. **Modelagem de Sistemas Ambientais**. São Paulo: São Paulo: Edgard Blücher. p.5. 1999.

D E M E K, J. **Handbuchder Geomorphologischen Detailkartierng**. Viena, Ferdinand Hirt. 1976.

ESRI – **Enviromental Systems Research Institute**. ArcGIS 9.2. Readlands – Califórnia. 2006.

EVANS, I. S. General geomorphometry, derivatives of altitude, and descriptive statistics. In: CHORLEY, R. J. (Ed.). **Spatial analysis in geomorphology**. London: Harper & Row, Publishers, 393p. ISBN: 06-041272-0. Part I, geral, p.17-90. 1972.

FLORENZANO, T. G. (Org). **Geomorfologia: Conceitos e tecnologias atuais**. São Paulo: Oficina de Textos, 2008.

FRAU, C. M.; PINO, L. M.; ROJAS, Y. O.; HERNÁNDEZ, Y. M. **Modelamiento geométrico del cambio de coordenadas UTM causadas por mudanza de referencial geodésico**. Caso SIRGAS – Chile. Boletim Ciências Geodésicas, Curitiba, v. 18, n. 4, p.583-604, out-dez, 2012.

GALLANT, J. C., WILSON, P. Primary topographic attributes. In: WILSON, J.P.; GALLANT, J.C. (Ed) **Terrain analysis: principles and applications**. 1. Ed. New York: John Wiley & Sons, Inc., p. 478 ISBN: 0-471-32188-5. Cap. 3, p.51-85. 2000.

GOUDIE A., ANDERSON M., BURT T., LEWIN J., RICHARDS K., WHALLEY B., WORSLEY P. **Geomorphological Techniques**. In: British Geomorphological Research Group (Eds.), George Allen & Unwin LTD, London. p. 395 1981.

GREGORY, K. J. **A Natureza da Geografia Física**. Rio de Janeiro: Bertrand do Brasil, p. 367p. 1992.

GROHMANN, C. H. **Morphometric analysis in geographic information systems: applications of free software GRASS and R**. Computers e Geosciences, 30, p.1055-1067. 2004.

GUERRA, A. J. T; MARÇAL, M. S. **Geomorfologia ambiental**. Rio de Janeiro: Bertand Brasil, 2006.

HAYDEN, R.S. **Geomorphological Mapping**. In: SHORT, N. M.; BLAAIR, R. W. Jr. (Eds.) *Geomorphology from space: A Global Overview of Regional Landforms*. Washington, DC: Nasa. 1986. p.637-656. 1986.

IBGE. **Cartas Topográficas de São Carlos e Corumbataí**: SF.23-Y-AI-1, SF.23-Y-A-I-2, 1:50.000. São Paulo: IBGE. 1971.

IBGE. **Banco Shapefile municípios do Brasil**. Brasília. Disponível em <http://dados.gov.br/dataset/malha-geometrica-dos-municipios-brasileiros>. Acesso em: 17 jun. 2016.

JENSEN, J.R. **Sensoriamento Remoto do Ambiente: Uma Perspectiva em Recursos Terrestres**. Tradução português 2 Ed. Parentese Editora. São José dos Campos SP, p. 598p. 2009.

KLIMASZEWSKI, M. **Problems of geomorphological mapping**. Varsóvia, Academia Polonesa de Ciências. (Estudo Geográfico. 46). 1963

MACHADO, A.S.V. **Geomorfometria da região de fartura (SP)**. 72 f. Dissertação - Instituto de Geociência e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista. 2014.

MARK, D. M. Geomorphometric parameters: a review and evaluation. **Geografiska Annaler. Series A, Physical Geography**, v. 57, n. 3-4. p.165-177. 1975.

MATIAS, L.F., **Sistema de informações geográficas (SIG): teoria e método para representação do espaço geográfico**, 325f. Tese (Doutorado em Geociências) Geografia, Universidade de São Paulo, São Paulo. 2001.

MATOS, A. C. O. C. de. **Implementação de modelos digitais de terreno para aplicações na área de geodésia e geofísica na América do Sul**. 2005. 130 f. Tese (Doutorado em Engenharia dos Transportes) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo. 2005.

MIKHAIL, E.M.; HELAVA, U.V.; JANCAITIS, J.R.; DOYLE, F.J.; HELMERING, R.J.; ACKERMANN, F.; TURNER, A.K. **Panel discussion: the future of DMT**. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*. v.44, n.12, p.1487- 1497, 1978.

MENESES, P. R. e ALMEIDA, T. (Org). **Introdução ao processamento de imagens de sensoriamento remoto**. Brasília: UNB, 2012.

MENESES, P. R. e SANO, E. E. Sensor Radar de Abertura Sintética. In: MENESES, P. R. e ALMEIDA, T. (Org). **Introdução ao processamento de imagens de sensoriamento remoto**. Brasília: UNB, cap 4. 2012.

MORAES, A. C. R. **Geografia: pequena história crítica**. São Paulo: Hucitec, p. 138p. 1987.

MUÑOZ, V. A. **Análise geomorfométrica de dados SRTM aplicada aos estudos das relações solo-relevo**. 2009. 112 f. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos. 2009.

MOREIRA, M. A. **Fundamentos do Sensoriamento Remoto e Métodos de Aplicação**. 3 eds. Viçosa: Ed. UFV, 2005.

NETO, R. M. **A ABORDAGEM SISTÊMICA E OS ESTUDOS GEOMORFOLÓGICOS: ALGUMAS INTERPRETAÇÕES E POSSIBILIDADES DE APLICAÇÃO**. Geografia, Londrina, PR, v. 17, n. 2, jul. /dez. 2008.

NOVO, E. M. L. de M. **Sensoriamento Remoto: Princípios e Aplicações**. 4 ed. São Paulo: Blucher, 2010.

PICKLES, J. **Representation in an electronic age**. In: PICKLES, J. (ed.). op. cit. p. 18. 146 Id. *ibid.* p. 3. 1995.

PIKE, R.J. **Geomorphometry** - diversity in quantitative surface analysis. Progress in Physical Geography, v. 24, n. 1, p. 1-20. 2000.

PIKE, R.J.; EVANS, I.S.; HENGL, T. **Geomorphometry: A Brief Guide**. In: Hengl, T.; Reuter, H. I. Geomorphometry: Concepts, Softwares, Applications. 1º Edição. ed. Amsterdam: Elsevier, v. 33, cap. 1, p. 3-30. 2009

RODRIGUES, M. **Geoprocessamento: um retrato atual**. Revista Fator GIS. Curitiba, 1993

ROSA, R. **Análise espacial em Geografia**. Revistada ANPEGE, Fortaleza, v. 7, n. 1, número especial, p. 275-289, out. 2011. Disponível em: <<http://anpege.org.br/revista/ojs-2.2.2/index.php/anpege08/article/viewFile/163/RAE23>>. Acesso em: maio. 2016.

ROSS, J.L.S. **Geomorfologia: Ambiente e Planejamento**. São Paulo: Editora Contexto, p.52 e 85. 2001,

SCHMIDT, J. and R. Dikau . **Extracting geomorphometric attributes and objects from digital elevation models: Semantics, methods, future needs**. Edited by R. Dikau and H.Saurer ,153-173. Schweizbart'sche Verlagsbuchhandlung, 1999.

SHARY, P. A.; SHARAYA, L. S.; MITUSOV, A. V. **Fundamental quantitative methods of land surface analysis**. Geoderma, v. 107, n.1-2, p.1-32, 2002.

SILVA, Reginaldo Macedônio da. **Introdução ao geoprocessamento: conceitos, técnicas e aplicações**. Reginaldo Macedônio da Silva – 2 ed. – Novo Hamburgo: Feevale, 2010

TAYLOR, D.R. F. **The art and science of cartography: the development of cartography and cartography for development**. The Canadian Surveyor, Ottawa: The Canadian Institute of Surveying and Mapping. v. 41 (3), p. 359. 1987.

TEIXEIRA, A. L. de A. GEO-INF+MAP **Um Sistema de Informação Geográfica**. Rio Claro: IGCE/UNESP, p. 2. (Tese de Livre Docência). 1990.

TRICART J. **Principes et méthodes de geomorphologie**. Paris: Masson.Ed. 201p. 1965.

TORIZAN, Fabio H., **Planejamento de uma trilha interpretativa para o Parque Municipal de Analândia**. UNESP, Rio Claro, 1994

VALE, C.C. **Teoria Geral Do Sistema: HISTÓRICO E Correlações com a Geografia E com o estudo da paisagem**. *Entre-Lugar*, Dourados,MS, ano 3, n.6, p 85-108, 2º semestre de 2012.

VALERIANO, M. M, **Geoprocessamento de modelos digitais de elevação para mapeamento da curvatura horizontal em micro bacias**. Revista Brasileira de Geomorfologia, ano 4, n.1. p.17-29. 2003.

VALERIANO, M. M. **Modelo digital de variáveis morfométricas com dados SRTM para o território nacional: o projeto Topodata**. Anais do XII SBSR, Goiânia. p.3595-3602. 2005.

VALERIANO, M. M. **TOPODATA: guia para utilização de dados geomorfológicos locais**. São José dos Campos: INPE, 2008.44p. (CNPq, processo n. 306021/2004-8, NV). Disponível em <<http://www.dpi.inpe.br/topodata/documentos.php>>. Acesso em: 17 jan. 2016.

VASCONCELOS, V.; et al. **Sistema de classificação geomorfológica baseado em uma arquitetura sequencial em duas etapas: Árvore de Decisão e Classificador Espectral**, no Parque Nacional Serra da Canastra. Revista Brasileira de Geomorfologia, v.13, n.2, (abr-jun) p.171-186. 2012.

VICENTE, L. E.; PEREZ FILHO, A. – **Abordagem sistêmica e Geografia**. Geografia. Rio Claro, vol. 28, n. 3. p. 323-344. 2003.

ZEBKER, H.A. & GOLDSTEIN, R.M. **Topographic mapping from interferometric synthetic aperture radar observations**. Journal of Geophysical Research, v.91, p.4993-4999. 1986.

ZEVENBERGEN, L. W.; THORNE. **Quantitative analysis of land surface topography**. Earth Surfaces Process and Landforms. v12, p.47-56. 1987