

O Uso do Geoprocessamento para o Mapeamento Geomorfológico da Serra do Espinhaço Meridional

Bráulio Magalhães Fonseca¹
Cristina Helena Ribeiro Rocha Augustin¹
Ana Clara Mourão Moura¹

¹Universidade Federal de Minas Gerais
Instituto de Geociências

Abstract

Geomorphological mapping in regional scale is an important instrument used for spacializing the morphostructural elements of landform. These mappings can also become an agile and straightforward help in understanding bio-physical elements involved in landscape evolution as well as an their characterization. Extensive orogenetic mountain ranges such as the Espinhaço constitute an ideal laboratory to test large scale mappings linked to the studies of morphostructural aspects of the landscape. This work aims to apply and evaluate new cartographical technologies used for measurements and representation of the Espinhaço Meridional (SdEM), a mountain range located at Minas Gerais State, Brazil. Taking as reference primary and secondary data it was possible to develop an interpretation Key for the geomorphological mapping.

Keywords: geomorphological mapping, digital terrain modeling, geomorphological analysis, geoprocessing

Resumo

O mapeamento geomorfológico em escala regional constitui um importante instrumento na espacialização dos elementos morfoestruturais do relevo. Tais mapeamentos auxiliam de maneira ágil e direta na compreensão dos elementos bio-físicos envolvidos tanto na evolução do relevo, quanto na sua caracterização. Grandes cadeias orogênicas como a Serra do Espinhaço representam um laboratório ideal para testar mapeamentos de escala regional voltados para o estudo dos aspectos morfoestruturais da paisagem. O presente trabalho buscou aplicar e avaliar novas tecnologias de mensuração e representação cartográfica das formas de relevo da Serra do Espinhaço Meridional (SdEM). Desenvolveu, a partir da análise de dados primários e secundários, chave interpretativa para o mapeamento morfoestrutural do Espinhaço Meridional.

Palavras-chave: mapeamento geomorfológico, modelagem digital de elevação, análise geomorfológica, geoprocessamento.

1. Introdução

A Geomorfologia utiliza-se de representações cartográficas para espacializar seu objeto de estudo e assim melhor visualizar formas e os processos, objetivando compreender a dinâmica evolutiva do relevo,

Não por acaso Tricart (1965) considera que o mapeamento geomorfológico representa a base da pesquisa e não sua concretização. Nesse sentido, Souza (2003) apud Rodrigues (1998), aponta que os trabalhos cartográficos envolvendo a Geomorfologia compreendem basicamente quatro aspectos imprescindíveis: a morfometria, correspondendo à altimetria, dimensões, desníveis, extensões entre outros itens associados a mensuração das unidades do relevo; a morfologia, agregada à forma das vertentes, vales, topos, etc.; a gênese ligada à denudação e/ou agradação; a cronologia (idade relativa e datação absoluta das formas) e o comportamento morfodinâmico, o qual será abordado com maior ênfase no presente trabalho.

As representações cartográficas dos fenômenos que ocorrem na superfície terrestre desempenharam e continuam desempenhando um importante papel na ocupação do homem na Terra. A sistematização cartográfica do relevo constitui um importante instrumento na espacialização dos fatos geomorfológicos, no que tange a expressão dos condicionantes estruturais e climáticos que comandam o seu modelado.

Cabe ressaltar ainda a importância da cartografia geomorfológica no âmbito da pesquisa em Geomorfologia, isto é, sua importância como instrumento de tomada de decisão para análise e criação de cenários futuros, na tentativa de solucionar questões de ordem dinâmico-evolutivas.

2. Localização e caracterização da área de estudo

A Serra do Espinhaço Meridional representa um cinturão orogênico que limita o sudeste do Cráton do São Francisco, e estende-se por cerca de 300 km na direção N-S, desde o Quadrilátero Ferrífero (Serra do Ouro Branco) até a região de Olhos d'Água (ALMEIDA ABREU, 1995). Para nordeste, uni-se com a Faixa Araçuaí com a qual forma o grande complexo denominado Serra do espinhaço. A porção mapeada encontra-se entre as coordenadas $-18^{\circ}43'23''S$, $-44^{\circ}14'42''W$ e $-17^{\circ}21'22''S$, $-43^{\circ}10'25''W$ (Figura 1).

A arquitetura geológica da SdEM é caracterizada predominantemente por quartzitos distintos que, juntamente com suas características estruturais, conferem um arranjo arqueado e topograficamente elevado ao orógeno. De acordo com Saadi (1995) a SdEM é geomorfologicamente caracterizada, no estado de Minas Gerais, por um conjunto de terras altas, com forma de bumerangue de direção geral norte-sul e convexidade orientada para oeste. Este autor defende que o termo “serra” esconde a realidade fisiográfica do Espinhaço, o qual seria melhor definido pelo termo “planalto”.

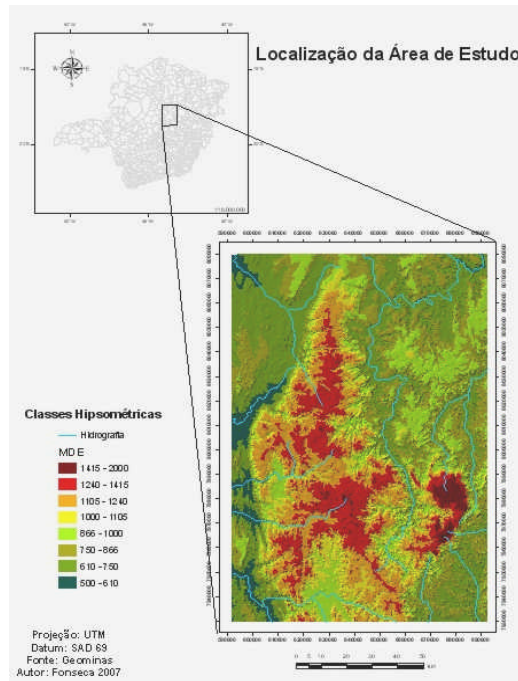


Fig. 1: Mapa de localização da área de estudo

Tal terminologia foi utilizada também por Abreu (1982), que identificou na área níveis altimétricos correspondentes às superfícies Gondwana, Pós-Gondwana, Sul Americana e Ciclo Velhas mapeadas em 1956 por Lester King. Níveis correspondentes foram estudados e caracterizados em Gouveia por Augustin (1995).

Segundo dados do IBGE (IBGE, 1978), o clima em macro escala da SdEM pode ser classificado como de ambiente transicional entre: Mesotérmico Brando Semi-Úmido do Brasil Central e Sub-Quente Sub-Úmido do Brasil Central. No clima Sub-quente semi-úmido, as medias térmicas anuais giram em torno de 27°C a 30°C, diferentemente do Mesotérmico Brando Semi-Úmido, que possui medias térmicas inferiores, próximas a 22°C. A pluviosidade média anual é de 1400 mm, concentrada nos meses mais quentes, de outubro a março.

A cobertura vegetal é caracterizada pelo predomínio nos domínios quartzíticos de espécies típicas de altitude e rupestre, enquanto nas porções mais baixas, predomina o cerrado e, ao longo dos cursos de água matas ciliares.

3. Metodologia

O presente trabalho buscou abordar o mapeamento geomorfológico considerando os condicionantes morfoestruturais. Para isto, utilizou-se escala regional em todas as etapas do trabalho, tendo como referência procedimentos propostos por Demeck (1976), apud Abreu (1982).

Nas etapas pré campo, realizou-se a análise de dados geológicos e tectônicos da área, tendo como base os mapas do Projeto Espinhaço (COMIG, 1996), na escala de 1:100.000.

Também procedeu-se à análise da base de dados topográficos, à definição das escalas e resoluções espaciais, objetivando a elaboração da modelagem digital de elevação (MDE) em malha TIN (triangular irregular network), com posterior avaliação das rupturas tectônicas e lineamentos do relevo.

Foram feitos, para isto, perfis morfológicos em várias porções da região, utilizando-se mapas na escala de 1:100.000, histograma das frequências altimétricas e sua relação com as superfícies de aplainamento, também na mesma escala. Realizou-se também interpretação de imagens do Sensor ETM+/Landsat 7, na qual buscou-se especificar a gênese dos elementos do relevo.

Após essa etapa, definiu-se a escala de 1:250.000, como aquela a ser utilizada para os mapeamentos de integração de dados e os finais.

A segunda etapa consistiu em um levantamento de campo com o objetivo de testar e corrigir as interpretações realizadas previamente no gabinete, valorizando-se itinerários previamente definidos.

Após o retorno do campo, foi consolidada a integração das informações de campo à carta das formas de relevo na escala de 1:250.000.

Os dados topográficos, cujas modelagens foram realizadas nos softwares ArcGIS 9.0 e ENVI 4.0, foram usados para a elaboração dos seguintes produtos: declividade, hipsometria, orientação das vertentes, modelo sombreado do relevo e criação de perfis topográficos. Para complementar a análise geomorfológica da área investigada, foi elaborado um mosaico de duas imagens do sensor ETM+/Landsat 7, referentes às órbitas/ponto 218/072 e 218/073 das datas 23/04/2000 e 06/10/2000 respectivamente. As imagens foram adquiridas previamente ortorretificadas em projeção UTM (Universal Transversa de Mercator) e datum WGS84 (*World Geodetic System 1984*). Foi realizada uma composição a falsa cor com as bandas 5, 4 e 3, (resolução espacial de 30 metros) no espaço de cores RGB. A banda pan cromática do sensor, com resolução espacial de 14,25 metros também foi utilizada para melhorar a resolução espacial da imagem final, através do processo de transformação para o espaço de cores IHS.

3.1.- Desenvolvimento da Chave de interpretação

A chave de interpretação e sua hierarquização foram pensadas de acordo com a representatividade espacial das unidades geomorfológicas e a escala final do mapeamento. Desta forma foi proposta, a princípio, uma divisão taxonômica de grandes unidades que representassem feições geomorfológicas com forte relação com a geologia, como os elementos tectônicos, os grandes arranjos estruturais e as variações litológicas. Tais fatores geram arranjos regionais do relevo com formas variadas, mas que guardam relações causais entre si. A chave de interpretação partiu da representação dos grandes elementos, que possuísem uma representatividade zonal, para aqueles que são melhor espacializados na forma linear e/ou pontual.

Para hierarquizar as feições geomorfológicas a serem interpretadas e mapeadas, foram categorizadas as grandes feições, capazes de agruparem as feições menores: Superfícies Retrabalhadas, Áreas Deprimidas do Domínio Fluvial, Formas Vinculadas à Rede de Drenagem e as Superfícies Erosivas Remanescentes.

4. Resultados e Discussão

Os primeiros resultados do trabalho realizado foram as interpretações, as análises e estudos preliminares, que possibilitaram a estruturação e organização final da chave de interpretação que serviu de base para o segundo conjunto de resultados: os mapeamentos propriamente ditos. Já na fase inicial, a chave de interpretação começou a ser esboçada, a partir da análise e interpretação do material cartográfico existente.

4.1 – Domínios morfoestruturais e a rede de drenagem

Através de uma primeira interpretação da geomorfologia regional através dos mapas, , foi possível distinguir quatro domínios morfoestruturais distintos (fig 2):

- I) Domínio das rochas carbonáticas do Grupo Bambuí (Depressão São Franciscana) ou Domínio Cratônico;
- II) Domínio formado pelos Planaltos Meridional e Setentrional, predominantemente caracterizado pelas rochas do Supergrupo Espinhaço e do Complexo Gouveia;
- III) O Domínio da Depressão do Rio Doce, marcado predominantemente pelas rochas do Complexo Guanhães e Borrachudos;
- IV) O Domínio das Chapadas e Chapadões do Jequitinhonha, caracterizado por superfícies aplainadas recobertas por material detritico-laterítico;

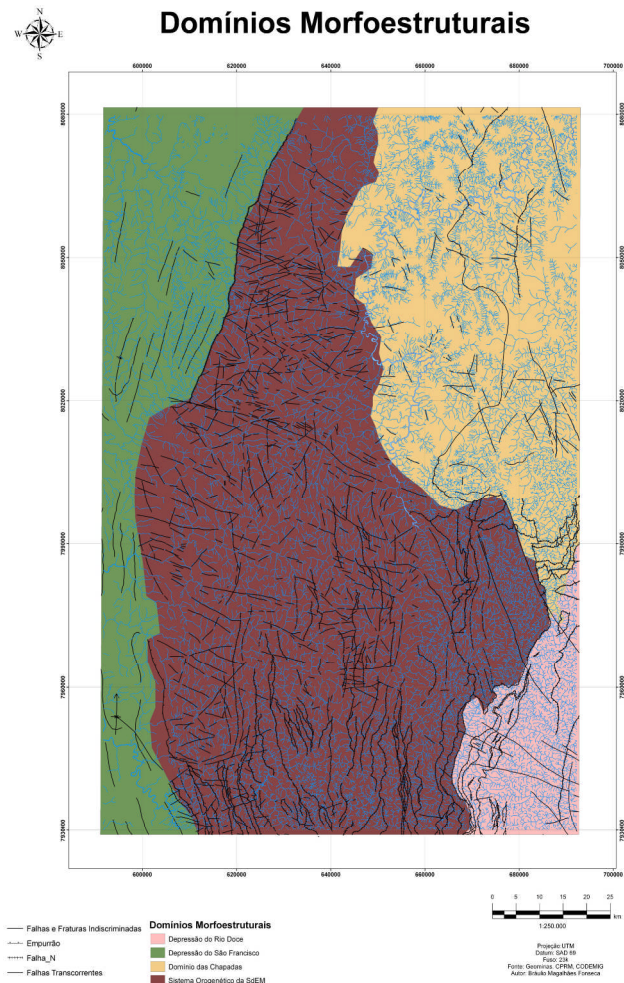


Fig. 2: Domínios morfoestruturais individualizados

Isto significa que no Espinhaço Meridional, que representa um grande divisor de águas brasileiro, a análise da rede de drenagem pôde evidenciar não somente tendências evolutivas do relevo local, mas também indicações de uma geomorfodinâmica continental. Observou-se no presente trabalho que os compartimentos morfoestruturais, delimitados *a priori*, também separam os principais padrões de drenagem. Dessa forma, foi possível espacializar as zonas de ocorrência dos diferentes padrões de drenagem. No domínio da Depressão do São Francisco, ou Domínio Cratônico, verificou-se o predomínio do padrão paralelo. Já no Domínio do Sistema Orogenético da SdEM prevalece o padrão retangular, secundado pelo de treliça, enquanto no Domínio da Depressão do Rio Doce observa-se o padrão dendrítico e no Domínio das Chapadas, o predomínio dos padrões dendrítico e anular.

4.2. A chave final de interpretação

A chave de interpretação, desenvolvida com base nas considerações apresentadas na metodologia é a seguinte:

A) Superfícies Erosivas Remanescentes

- a) *Alinhamentos Serranos*: são formas geradas pela dissecação de antigos anticlinais.
- b) *Platôs Quartzíticos e Relevos Residuais Quartzíticos*: constituem superfícies elevadas, mais ou menos planas, delimitadas por escarpas íngremes, nas quais os processos de degradação superam os processos de agradiação. Na SdEM são também produto da erosão diferencial (Augustin, 1995).
- c) *Relevo Residual da Depressão do São Francisco*: tem como substrato rochoso a Formação Serra de Santa Helena, constituem morrotes ou morros tubuliformes, com o topos relativamente planos formados pelo processo de erosão diferencial.
- d) *Relevo Residual Indiferenciado*: relevo desenvolvido sobre coberturas detrito-lateríticas datadas do Cenozóico.

B) Superfícies Retrabalhadas

- a) *Morros e vertentes Suaves*: correspondem a extensas áreas de superfície plana, com baixo gradiente de declividade, modeladas sobre as rochas carbonáticas do Grupo Bambuí;
- b) *Chapadas e Chapadões*: conjunto de áreas aplainadas no terciário, referentes aos remanescentes da superfície Sul-Americana identificada por King (1956). Apresentam-se ligeiramente inclinada ou ondulada entre altitudes de 750 a 1000 metros (Saadi et. al. 1991; Augustin, 1995). Apresentam regolitos intemperizados, com a presença, em geral, de solos bem desenvolvidos e laterizados, coberturas aluviais e depósitos clásticos, sobre rochas do embasamento cristalino, do Grupo Macaúbas e do supergrupo Bambuí.
- c) *Degraus Estruturais*: relevo caracterizado por grandes rupturas lito-estruturais, no formato de degraus, com vertentes íngremes e elevados gradientes de declividade (21 a 45% e acima de 45%). Compõe a porção denominada por Saadi (1995) como Planalto Setentrional, delimitado a sul por um alinhamento topograficamente deprimido de direção SE-NW, tal unidade esta individualizada na carta topográfica de Curimataí – MG (SE-23-X-C-VI) .
- d) *Colinas Convexas e Policonvexas do Complexo Guanhães e dos Granitóides tipo Borrachudo*: colinas modeladas em granitóides, gnaisses bandados, migmatitos, rochas máficas e metaultramáficas, as quais sofreram a ação da orogenia brasileira (UHLEIN, 1991).

- e) *Colinas Convexas, Policonxevas e Rampas do Complexo Gouveia*: colinas modeladas em granitóides: granitos, gnaíesses e migmatitos; possuem topos achatados e largos funcionando como divisores de água entre pequenas bacias de drenagem. Essas colinas encontram-se pouco dissecadas pela erosão fluvial, mas com voçorocamento acentuado (Augustin et. al. 2006).
- f) *Depressão de Gouveia*: superfície topograficamente rebaixada, zona de um anticlinório fraturado que foi dissecado pela ação fluvial, proporcionando o afloramento das rochas do embasamento cristalino de idade arqueana (Augustin, 1995; Saadi & Valadão, 1987b).
- g) *Planalto de Diamantina*: porção topograficamente elevada, predominantemente acima da cota de 1000 metros, na região central da SdEM. Apresenta unidades que contrastam entre alinhamentos serranos e extensas áreas aplainadas.
- h) *Vertentes Estruturais ou Sistemas de Vertentes em Rampas Estruturalmente Condicionadas*: são vertentes constituídas principalmente por afloramento rochoso, sem um substrato pedológico bem definido, ou as vezes cobertas por neossolo litólico e ou cambissolo. Apresentam também uma grande densidade de falhas ou fraturas.
- i) *Vertentes em Blocos Falhados ou Fraturados*: unidade nomeada por Abreu (1982), representa formas que expressam o controle tectônico que ocorrem na porção da SdEM que drena para a bacia do Rio São Francisco. Esta unidade está associada a um grande bloco nitidamente falhado na borda oeste da Serra do Espinhaço.
- j) *Rebordo de Chapada Escarpado*: correspondem aos escarpamentos que margeiam as chapadas. A presente unidade geomorfológica também foi mapeada por Saadi et all. (1991).
- l) *Escarpa de Falha (Borda Oeste)*: escarpa que possui a morfologia diretamente relacionada ao movimento ao longo de uma falha, e que apresenta sua superfície exposta, mesmo que esta não tenha sido trabalhada completamente pela erosão. No caso específico da borda W da SdEM, a escarpa apresenta uma altura média de 400 metros e encontra-se disposta de forma regular em toda a borda, sendo sustentado por quartzitos no topo. Possui também características marcantes de *front* de cavalgamento, no limiar da zona cratônica e da faixa orogênica (Oliveira & Alkimim, 1994).
- m) *Escarpa Leste*: relevo estruturado em zona de cavalgamentos e falhamentos de diversas origens, no contexto da zona colisional do orógeno do Espinhaço. Não possui continuidade espacial e encontra-se disposto em diferentes direções. Segundo Saadi (1995) tal configuração da escarpa leste se deve à sua posição no contexto geotectônico da SdEM, bem como da diferença de resistência das rochas.
- n) *Contato Escarpado*: contato entre uma escarpa e unidade geomorfológica subsequente.

C) Áreas Deprimidas do Domínio Fluvial

- a) *Sistemas de Vertentes e Vales Encaixados*: áreas modeladas pela incisão vertical da rede de drenagem em planos de falhas e fraturas, formando profundas gargantas em quartzitos e drenagens em forma de baioneta. Ocorrem na estrada para o Parque Nacional das sempre Vivas, nas adjacências do Ribeirão do Inverno e Córrego Rapadura, bem como na borda leste da SdEM em geral.
- b) *Alvéolos Flúvio-Colúviais*: zonas de soleiras locais, zonas de retenção de material detrítico, apoiadas muitas vezes em quartzitos, podendo ter origem tectônica. Um exemplo claro na área mapeada é o sinclinal do rio Pardo Grande.
- c) *Zonas de Sopés*: No caso específico das áreas de contato entre as baixas vertentes e as de deposição do material colúvial e aluvial.
- d) *Depósitos Aluviais*: sedimentos transportados e depositados pelos cursos de água; sua expressão espacial vai depender da competência erosiva do canal, sua vazão e dimensões. Na área mapeada, o Rio Jequitinhonha possui a maior área de sedimentos aluviais, na qual se desenvolve atividade do garimpo.
- e) *Fundos de Vales e Terraços Quaternários*: áreas geralmente hidromorfizadas, associadas à dinâmica dos rios e cursos d'água. Representam também as encostas que ligam o nível das chapadas e patamares às calhas fluviais

D) Formas Vinculadas à Rede de Drenagem

Captura de Drenagem:

- a) *em desenvolvimento*: neste caso os processos endógenos e exógenos ainda não conseguiram levar ao rompimento do divisor de águas. Observa-se nas áreas topograficamente elevadas da SdEM.

5 – O mapa geomorfológico e considerações finais

Foram alcançados importantes resultados ao longo do processo de elaboração deste trabalho, os quais estão diretamente relacionados com as etapas metodológicas realizadas. Cabe ressaltar que entre os procedimentos metodológicos empregados para o mapeamento geomorfológicos, as técnicas de Geoprocessamento proporcionaram resultados satisfatórios, sobretudo no que tangente à delimitação das unidades geomorfológicas relacionadas na chave de interpretação proposta. De um modo geral o presente trabalho buscou, através das técnicas de geoprocessamento, uma otimização do processo de produção do mapa geomorfológico da Serra do

Espinhaço Meridional (Fig.3). Não foram alvos deste trabalho as discussões referentes à padronização de uma simbologia adequada ao mapeamento geomorfológico, as quais representam por se só uma linha de pesquisa a parte dentro da temática aqui abordada.

No que tange as análises geomorfológicas, bem como a representação cartográfica das formas de relevo, verificou-se que a modelagem digital de elevação é um instrumento com grandes potencialidades.

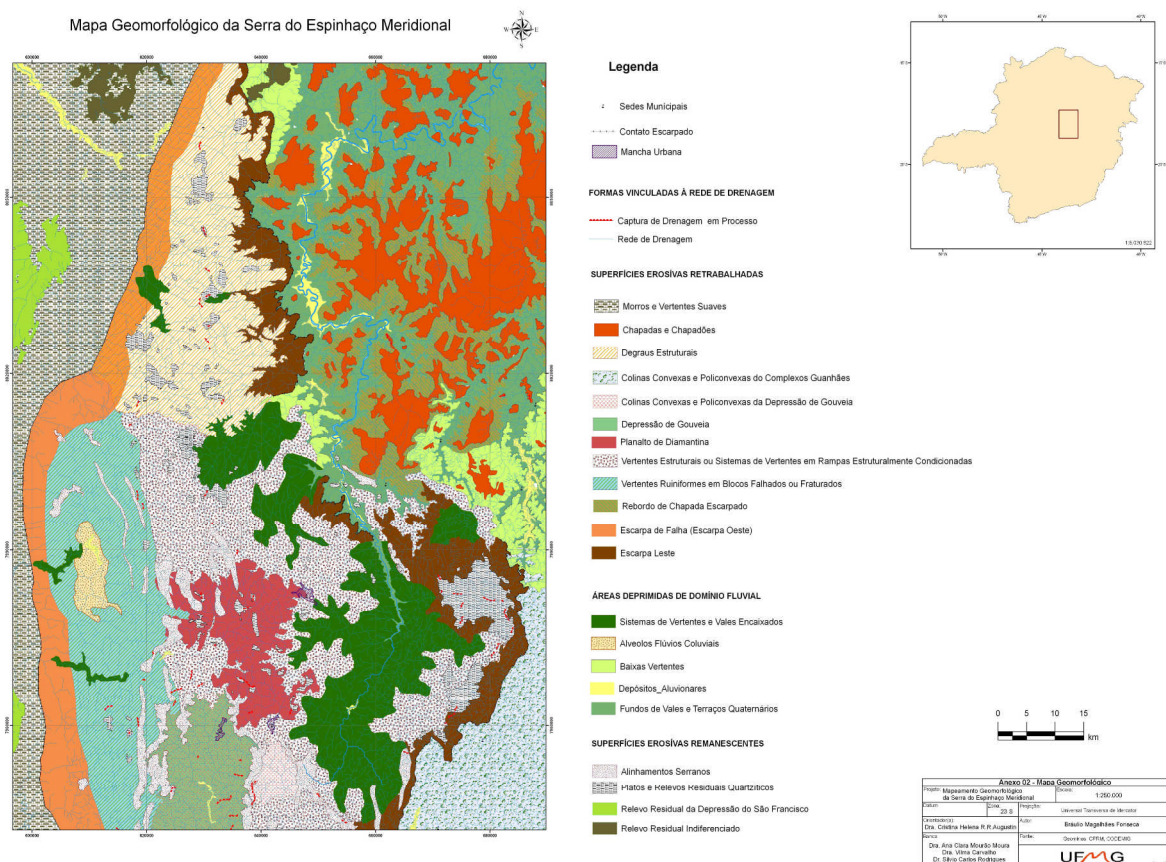


Fig.3: Mapa geomorfológico da SdEM

6 - Bibliografia

- ABREU, A. A. de. **Análise Geomorfológica: Reflexão e Aplicação – Uma contribuição ao conhecimento das formas de relevo do Planalto de Diamantina.** São Paulo 1982 (TESE).
- ALMEIDA-ABREU, P.A. (1995). **O Supergrupo Espinhaço da Serra do Espinhaço Meridional (Minas Gerais): o Rife, a Bacia e o Orógeno.** Geonomos, Revista de Geociências, 3 (1): 1-18

AUGUSTIN, C.H.R.R & ARANHA, P.R.A. (2006) **A Ocorrência de Voçorocas em Gouveia, MG: características e processos associados.** - Geonomos (2006) 14 1(1, 2):75-86.

_____ **Tropical landscape evolution: weathering and erosion processes in Gouveia, Minas Gerais, Brazil.** In: Regional Conference on Geomorphology - The Brazilian Geomorphological Union (UGB). Abstracts. Rio de Janeiro - RJ. p. 67.1999.

_____. **Geoökologische Studien im Südlichen Espinhaço Gebirge bei Gouveia, Minas Gerais, Brasilien Unter Besonderer Berücksichtigung der Landschaftsentwicklung.** Tese de Doutorado: 147 p. Universidade de Frankfurt, Frankfurt, Alemanha, 1995.

_____. **Aspectos Geomorfológicos da Região de Gouveia, Espinhaço Meridional, MG.** Anais do 8º. Simpósio de Geologia de Minas Gerais. Diamantina, MG. Vol. 1. p.3-4. 1995.

AUGUSTIN, C.H.R.R; VALADÃO, R.C. & SANCHES, H.M. 1994. **Processos evolutivos da borda da Serra do Cabral (MG): evidências geomorfológicas e pedológicas.** In: CONG. BRAS. GEOL., 38, Camboriu-SC, 1994. Anais... SBG, 1994. (3):202-204.

_____ & FOGAÇA, A.C.C.1994. **Gênese das coberturas superficiais vermelho-amarelas sobre o Grupo Macaúbas (Espinhaço Meridional /MG).** In: CONG. BRAS. GEOL., 38, Camboriu-SC, 1994. Anais ...SBG, 1994. (3):276-278.

GUERRA, Antonio Teixeira; GUERRA, Antonio Jose Teixeira. **Novo dicionário geológico-geomorfológico.** Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1997. 648p IBGE. **Mapa de Climas do Brasil.** Rio de Janeiro, 1978, Escala 1:5.000.000

INSTITUTO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Mapa de Climas do Brasil.** Rio de Janeiro, 1978, Escala 1:5.000.000

KING, L.C. 1956. **Geomorfologia do Brasil Oriental.** Rev. Bras.Geog., 18(2):1147.

COMIG. (1996). **Projeto Espinhaço.** Belo Horizonte, Cia. Mineradora de Minas Gerais. (inclui 23 mapas geológicos na escala de 1:100.000).

LANE, Stuart N; RICHARDS, K. S; CHANDLER, Jim H. **Landform monitoring, modelling, and analysis.** Chichester; New York: J. Wiley & Sons, c1998. 454 p. (British Geomorphological Research Group symposia series) ISBN 047196977X (alk. paper)

- OLIVEIRA, F.V.C. & ALKMIM, F.F. 1994. **Estilo estrutural e curvatura da porção sul do front do Espinhaço**. In: CONG. BRAS. GEOL.,38, Cambouriu-SC, 1994.
- SAADI, A. & VALADÃO, R.C. 1987b. **Evolução geomorfológica quaternária da região de Gouveia, Serra do Espinhaço**. In: SIMP. GEOL. MG, 4, Belo Horizonte-MG, 1987. Anais..., SBG/MG,1987. Bol. SBG-MG, (7):434-448.
- _____. 1991. **Ensaio sobre a morfotectônica de Minas Gerais**. Belo Horizonte-MG, IGC/UFGM, Tese para admissão a cargo de Professor Titular, maio de 1991, 300 p.
- _____. MAGALHÃES JR., A.P. & MARQUES, M.R.1991. **UHE IRAPÉ, Etapa 1-Estudos de viabilidade: Meio Ambiente-Geomorfologia-Relatório Final**. ENERCONSULT/CEMIG VIR-3473, Novembro de 1991.
- _____. **A Geomorfologia da Serra do Espinhaço em Minas Gerais e de suas margens**. Geonomos, Belo Horizonte-MG, 3(1):41-63, 1995.
- SOUZA, L.H. F., et al, 2003, **Aplicação e desenvolvimento de simbologia gráfica empregada em mapeamento geomorfológico: um estudo de caso da abordagem cartográfica comparativa de metodologias geomorfológicas**. In: Anais II SIMPÓSIO REGIONAL DE GEOGRAFIA “PERSPECTIVAS PARA O CERRADO NO SÉCULO XXI”, Uberlândia, Brasil.
- TRICART, J. **Principes et méthodes de geomorphologie**. Paris:Masson Ed., 1965, 201p.
- _____. & CAILLEUX, A. **Introduction a la géomorphologie climatique**. Paris: SEDES, 1965.
- UHLEIN, A. - 1991 - **Transição cráton-faixa dobrada: exemplo do Cráton do São Francisco e da Faixa Araçuaí (Ciclo Brasileiro) no Estado de Minas Gerais. Aspectos estratigráficos e estruturais**. Tese de Doutorado. USP, 295 pg.