



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO**  
**ESCOLA DE MINAS**  
**DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA**



**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO**

**CARACTERIZAÇÃO MORFOTECTÔNICA DA BACIA DO RIBEIRÃO  
SARDINHA, ALTO RIO DAS VELHAS – OURO PRETO, MINAS GERAIS**

Larissa Pinheiro Sant'Ana

**MONOGRAFIA nº 267**

Ouro Preto, fevereiro de 2018



**CARACTERIZAÇÃO MORFOTECTÔNICA DA BACIA DO  
RIBEIRÃO SARDINHA, ALTO RIO DAS VELHAS – OURO  
PRETO, MINAS GERAIS**

---



## **FUNDAÇÃO UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO**

### **Reitora**

Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Cláudia Aparecida Marlière de Lima

### **Vice-Reitor**

Prof. Dr. Hermínio Arias Nalini Júnior

### **Pró-Reitora de Graduação**

Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Tânia Rossi Garbin

### **ESCOLA DE MINAS**

#### *Diretor*

Prof. Dr. Issamu Endo

#### *Vice-Diretor*

Prof. Dr. Hernani Mota de Lima

### **DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA**

#### *Chefe*

Prof. Dr. Luís Antônio Rosa Seixas

# **MONOGRAFIA**

**Nº 267**

## **CARACTERIZAÇÃO MORFOTECTÔNICA DA BACIA DO RIBEIRÃO SARDINHA, ALTO RIO DAS VELHAS – OURO PRETO, MINAS GERAIS**

**Larissa Pinheiro Sant'Ana**

*Orientador*

Prof. Dr. Cláudio Eduardo Lana

Monografia do Trabalho de Conclusão de curso apresentado ao Departamento de Geologia da Escola de Minas da Universidade Federal de Ouro Preto como requisito parcial para avaliação da disciplina Trabalho de Conclusão de Curso – TCC 267, ano 2017/2.

**OURO PRETO**

**2018**

---

Universidade Federal de Ouro Preto – <http://www.ufop.br>  
Escola de Minas - <http://www.em.ufop.br>  
Departamento de Geologia - <http://www.degeo.ufop.br/>  
Campus Morro do Cruzeiro s/n - Bauxita  
35.400-000 Ouro Preto, Minas Gerais  
Tel. (31) 3559-1600, Fax: (31) 3559-1606

Direitos de tradução e reprodução reservados.

Nenhuma parte desta publicação poderá ser gravada, armazenada em sistemas eletrônicos, fotocopiada ou reproduzida por meios mecânicos ou eletrônicos ou utilizada sem a observância das normas de direito autoral.

Revisão geral: Larissa Pinheiro Sant'Ana  
Cláudio Eduardo Lana

Catálogo elaborado pela Biblioteca Prof. Luciano Jacques de Moraes do  
Sistema de Bibliotecas e Informação - SISBIN - Universidade Federal de Ouro Preto

<http://www.sisbin.ufop.br>

|       |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
|-------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| S231c | <p>Sant'Ana, Larissa Pinheiro<br/>Caracterização morfotectônica da Bacia do Ribeirão Sardinha, Alto Rio das Velhas, Ouro Preto - MG [manuscrito] / Larissa Pinheiro Sant'Ana - 2018.</p> <p>103 f.; il. color.; grafs.; tabs.; mapas</p> <p>Orientador: Prof Dr Cláudio Eduardo Lana.</p> <p>Monografia (Graduação) - Universidade Federal de Ouro Preto. Escola de Minas. Departamento de Geologia.</p> <p>1. Geomorfologia. 2. Tectônica de placas. I. Lana, Cláudio Eduardo. II. Universidade Federal de Ouro Preto. Escola de Minas. Departamento de Geologia. III. Título.</p> <p>CDU: 551.4</p> |
|-------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

Catálogo: [ficha@sisbin.ufop.br](mailto:ficha@sisbin.ufop.br)

## Ficha de Aprovação

---

### TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

**TÍTULO:** Caracterização Morfotectônica da Bacia do Ribeirão Sardinha, Alto Rio das Velhas - Ouro Preto - MG

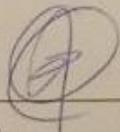
**AUTORA:** LARISSA PINHEIRO SANT'ANA

**ORIENTADORA:** Prof. Dr. Cláudio Eduardo Lana

**Aprovada em:** 08 de fevereiro de 2018

#### BANCA EXAMINADORA:

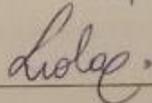
Prof. Dr. Cláudio Eduardo Lana



---

DEGEO/UFOP

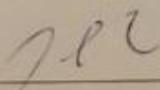
MSc. Iraydes Tálita de Sena Nola



---

DEGEO/UFOP

Prof. Dr. Paulo de Tarso Amorim Castro



---

DEGEO/UFOP

Ouro Preto, 08/02/2018

Aos meus pais, Helena e Lúcio

## Agradecimentos

---

Agradeço primeiramente aos meus amados pais, que me deram todo suporte, em todos os momentos e tornaram possível a realização deste trabalho. Ao meu irmão, por toda a cumplicidade e por ser sempre a minha pessoa favorita. Ao meu filho, por me ensinar todos os dias a ser uma pessoa melhor. Ao meu querido companheiro Victor, por toda ajuda, apoio e paciência. À Mara e ao Afonso, por todo apoio e incentivo.

Ao professor Cláudio Lana, pela oportunidade, orientação e ensinamentos valiosos. Aos meus maravilhosos geoamigos, em especial a Carol por toda atenção, carinho e cuidado, e a Pagagá, por acompanhar e viver junto comigo todas as aflições e conquistas. À Vanessa, que foi imprescindível na realização deste estudo, por toda a paciência, tempo e pelo coração enorme. Aos funcionários do Degeo, em especial à Laura e aos funcionários da Biblioteca, sempre muito atenciosos. Agradeço também à UFOP e aos demais professores do Degeo, essenciais em minha formação.

# SUMÁRIO

---

|                                                                       |             |
|-----------------------------------------------------------------------|-------------|
| <b>AGRADECIMENTOS</b> .....                                           | <b>viii</b> |
| <b>SUMÁRIO</b> .....                                                  | <b>ix</b>   |
| <b>LISTA DE FIGURAS</b> .....                                         | <b>xi</b>   |
| <b>LISTA DE QUADROS</b> .....                                         | <b>xiv</b>  |
| <b>RESUMO</b> .....                                                   | <b>xvi</b>  |
| 1                                                                     |             |
| <b>INTRODUÇÃO</b> .....                                               | <b>1</b>    |
| 1.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS .....                                      | 1           |
| 1.2 OBJETIVOS .....                                                   | 2           |
| 1.3 NATUREZA E RELEVÂNCIA .....                                       | 2           |
| 1.4 LOCALIZAÇÃO E VIAS DE ACESSO.....                                 | 3           |
| 1.5 ASPECTOS FISIOGRÁFICOS .....                                      | 4           |
| 1.5.1 Clima .....                                                     | 4           |
| 1.5.2 Vegetação .....                                                 | 5           |
| 1.5.3 Hidrografia.....                                                | 6           |
| 1.6 GEOMORFOLOGIA.....                                                | 7           |
| 1.7 PEDOLOGIA.....                                                    | 8           |
| <b>2 CONTEXTO GEOLÓGICO</b> .....                                     | <b>11</b>   |
| 2.1 GEOLOGIA REGIONAL .....                                           | 11          |
| 2.1.1 O Quadrilátero Ferrífero (QF) .....                             | 11          |
| 2.1.2 Estratigrafia regional do QF .....                              | 12          |
| 2.1.3 Compartimentação geotectônica e evolução estrutural do QF ..... | 14          |
| 2.2 EVOLUÇÃO CENOZÓICA DO QF.....                                     | 15          |
| 2.3 GEOLOGIA LOCAL.....                                               | 16          |
| 2.4 USO E OCUPAÇÃO .....                                              | 19          |
| <b>3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....                                  | <b>22</b>   |
| 3.1 NEOTECTÔNICA.....                                                 | 22          |
| 3.2 ÍNDICES GEOMORFOMÉTRICOS INDICADORES DE NEOTECTÔNICA.....         | 25          |
| 3.2.1 Índice RDE (Relação Declividade–Extensão) ou Índice Hack .....  | 25          |
| 3.2.2 Índice Razão Fundo/Altura do Vale (RFAV).....                   | 27          |
| 3.2.3 Fator de Simetria Topográfica Transversal (FSTT) .....          | 29          |
| 3.2.4 Fator de Assimetria da Bacia (FAB) .....                        | 30          |
| 3.3 PERFIL LONGITUDINAL DOS RIOS .....                                | 31          |
| 3.4 ANÁLISE DE LINEAMENTOS DE DRENAGEM E MORFOESTRUTURAIS.....        | 32          |

|       |                                                            |    |
|-------|------------------------------------------------------------|----|
| 4     | METODOLOGIA .....                                          | 34 |
| 4.1   | OBTENÇÃO DA BASE CARTÓGRAFICA .....                        | 34 |
| 4.2   | CÁLCULO DOS PARÂMETROS E ANÁLISE MORFOMÉTRICA .....        | 35 |
| 4.2.1 | Perfil Longitudinal .....                                  | 36 |
| 4.2.2 | Índices Morfométricos Indicadores de Neotectônica.....     | 36 |
| 4.2.3 | Lineamentos de drenagem e morfoestruturais .....           | 37 |
| 4.3   | VALIDAÇÃO DOS DADOS EM CAMPO .....                         | 38 |
| 5     | APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS DADOS.....                      | 39 |
| 5.1   | CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DA BACIA .....                     | 39 |
| 5.2   | PERFIS LONGITUDINAIS.....                                  | 43 |
| 5.2.1 | Bacia da drenagem principal.....                           | 43 |
| 5.2.2 | Sub-bacia do Ribeirão Sardinha.....                        | 44 |
| 5.2.3 | Sub-bacia do Ribeirão Mango.....                           | 45 |
| 5.3   | ÍNDICES GEOMORFOMÉTRICOS INDICADORES DE NEOTECTÔNICA ..... | 46 |
| 5.3.1 | Bacia da drenagem principal.....                           | 46 |
| 5.3.2 | Sub-bacia do Ribeirão Sardinha.....                        | 47 |
| 5.3.3 | Sub-bacia do Ribeirão Mango.....                           | 52 |
| 5.4   | ANÁLISE DE LINEAMENTOS .....                               | 57 |
| 5.4.1 | Bacia da drenagem principal.....                           | 59 |
| 5.4.2 | Sub-bacia do Ribeirão Sardinha.....                        | 60 |
| 5.4.3 | Sub-bacia do Ribeirão Mango.....                           | 61 |
| 5.5   | VALIDAÇÃO DOS DADOS EM CAMPO .....                         | 62 |
| 5.5.1 | Trecho A .....                                             | 62 |
| 5.5.2 | Trecho B.....                                              | 67 |
| 5.5.3 | Ponto 6 .....                                              | 71 |
| 5.5.4 | Ponto 7 .....                                              | 72 |
| 6     | DISCUSSÕES .....                                           | 74 |
| 6.1   | RESULTADOS .....                                           | 74 |
| 7     | CONCLUSÃO .....                                            | 77 |
|       | REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....                           | 78 |

## INDÍCE DE FIGURAS

---

|                                                                                                                                                                                                   |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 1.1 - Localização da bacia do Ribeirão Sardinha ( <i>OpenStreetMap</i> ).....                                                                                                              | 4  |
| Figura 1.2 - Precipitação total mensal e temperatura média da região de Ouro Branco (Gerdau, 2010) .....                                                                                          | 5  |
| Figura 1.3 - Bacia do Ribeirão Sardinha .....                                                                                                                                                     | 6  |
| Figura 1.4 - Mapa pedológico da bacia do ribeirão Sardinha (Raposo 2014).....                                                                                                                     | 9  |
| Figura 2.1 - Mapa geológico do QF (Baars e Rosière 1994) .....                                                                                                                                    | 11 |
| Figura 2.2 - Coluna estratigráfica da região do Quadrilátero Ferrífero, com indicação das idades de cristalização e dos zircões detríticos mais jovens. (Modificada de Alkmim & Noce, 2006) ..... | 13 |
| Figura 2.3 - Mapa geológico da bacia do Ribeirão Sardinha (Romano & Rezende 2017) .....                                                                                                           | 18 |
| Figura 2.4 - Pressões, impactos e cobertura do solo da Bacia do Ribeirão Sardinha (Raposo 2014) .....                                                                                             | 20 |
| Figura 3.1 - Unidades do relevo da bacia do ribeirão Sardinha (Raposo 2014) .....                                                                                                                 | 24 |
| Figura 3.2 - Representação dos parâmetros necessários para o cálculo do índice em questão (Cremon 2013).....                                                                                      | 26 |
| Figura 3.3 - Procedimento de medida para encontrar os valores do RFAV (Adaptado de Silva 2014) .....                                                                                              | 28 |
| Figura 3.4 - Predominância do entalhamento do talvegue em relação a denudação por influência de soerguimento tectônico (Adaptado de Silva 2014) .....                                             | 28 |
| Figura 3.5 - Bloco esquemático do FSTT, como fator de quantificação de deslocamento de um rio (Coelho & Lana 2017) .....                                                                          | 30 |
| Figura 3.6 - Bloco esquemático do fator assimétrico de bacia (Coelho & Lana 2017) .....                                                                                                           | 31 |
| Figura 5.1- Mapa de Declividade (%) da bacia da drenagem principal.....                                                                                                                           | 41 |
| Figura 5.2 - Mapa Hipsométrico da bacia da drenagem principal .....                                                                                                                               | 42 |
| Figura 5.3- Perfil longitudinal da bacia da drenagem principal .....                                                                                                                              | 44 |

|                                                                                                                                                                                               |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 5.4 - Perfil Longitudinal do Ribeirão Sardinha .....                                                                                                                                   | 45 |
| Figura 5.5 - Perfil longitudinal do Ribeirão Mango .....                                                                                                                                      | 46 |
| Figura 5.6 - Valores obtidos no cálculo do RDE trecho.....                                                                                                                                    | 48 |
| Figura 5.7 - Anomalias de primeira e segunda ordem no Ribeirão Sardinha.....                                                                                                                  | 49 |
| Figura 5.8- Perfis para o cálculo de RFAV da sub-bacia do Ribeirão Sardinha .....                                                                                                             | 51 |
| Figura 5.9 - Valores obtidos no cálculo do RDE trecho.....                                                                                                                                    | 53 |
| Figura 5.10 – Anomalias de primeira e segunda ordem no Ribeirão Mango .....                                                                                                                   | 54 |
| Figura 5.11 - Perfis para o cálculo de RFAV da Sub-bacia do Ribeirão Mango .....                                                                                                              | 56 |
| Figura 5.12 - Lineamentos morfoestruturais da Bacia da drenagem principal.....                                                                                                                | 58 |
| Figura 5.13 - Lineamentos de drenagem da Bacia da drenagem principal.....                                                                                                                     | 59 |
| Figura 5.14 - Rosetas dos lineamentos da bacia da drenagem principal. A roseta da esquerda são referentes a lineamentos morfoestruturais e a da direita a lineamentos de drenagem .....       | 60 |
| Figura 5.15 - Representação dos lineamentos de drenagem de 1 <sup>a</sup> (à esquerda) e 2 <sup>a</sup> ordem (à direita) na bacia da drenagem principal. ....                                | 60 |
| Figura 5.16 - Rosetas dos lineamentos da Sub-bacia do Ribeirão Sardinha. As rosetas da esquerda são referentes a lineamentos morfoestruturais e os da direita a lineamentos de drenagem ..... | 61 |
| Figura 5.17 - Representação dos lineamentos de drenagem de 1 <sup>a</sup> (à esquerda) e 2 <sup>a</sup> ordem (à direita) na sub-bacia do Ribeirão Sardinha. ....                             | 61 |
| Figura 5.18 - Rosetas dos lineamentos da Sub-bacia do Ribeirão Mango. As rosetas da esquerda são referentes a lineamentos morfoestruturais e os da direita a lineamentos de drenagem .....    | 62 |
| Figura 5.19 - Representação dos lineamentos de drenagem de 1 <sup>a</sup> (à esquerda) e 2 <sup>a</sup> ordem (à direita) na sub-bacia do Ribeirão Mango .....                                | 62 |
| Figura 5.20 - Na foto, em laranja tem-se a indicação do bandamento gnáissico.....                                                                                                             | 63 |
| Figura 5.21 - É possível observar sedimentos de granulometria grossa, do tipo cascalho no leito do ribeirão, como indicado pela seta amarela.....                                             | 64 |

|                                                                                                                                                                                                     |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 5.22 - O traço marrom destaca o incisão do vale, e a seta em azul indica onde está localizado o Ribeirão Sardinha .....                                                                      | 65 |
| Figura 5.23 - As linhas horizontais na vertente sugerem o rastejo de solo, um fenômeno comum em vertentes muito inclinadas .....                                                                    | 65 |
| Figura 5.24 - A linha marrom indica o entalhamento do talvegue e a seta azul mostra a drenagem, e é possível ver parcialmente a lâmina d'água, que ilustra o encaixamento da rede de drenagem. .... | 66 |
| Figura 5.25- A diferença de cota entre o topo dos morros e da vertente está indicada em vermelho e em amarelo destaca-se o terraço.....                                                             | 67 |
| Figura 5.26 - A linha azul ilustra o canal do ribeirão e a seta amarela indica o topo do morro, indicando a diferença na elevação.....                                                              | 68 |
| Figura 5.27 - A linha azul indica o ribeirão, que não pode ser observado devido a alta declividade da vertente. A seta amarela indica o topo do morro. ....                                         | 68 |
| Figura 5.28 – Foto a montante do Ribeirão Mango. A linha amarela indica o terraço e a seta amarela o topo do morro. ....                                                                            | 69 |
| Figura 5.29 - Foto a jusante do Ribeirão Mango. A linha amarela indica o terraço ....                                                                                                               | 70 |
| Figura 5.30 - Em vermelho observa-se a altura do terraço, onde a linha azul indica onde passa o Ribeirão. A seta amarela aponta para o topo do morro. ....                                          | 70 |
| Figura 5.31 - O ponto vermelho representa a interseção da linha do perfil com a drenagem.....                                                                                                       | 71 |
| Figura 5.32 - A seta amarela indica o topo do morro e a linha amarela o terraço .....                                                                                                               | 72 |
| Figura 5.33 - A linha azul indica a drenagem e a seta amarela o topo do morro.....                                                                                                                  | 73 |
| Figura 6.1 - Modelo esquemático do desenvolvimento de <i>hemigrabens</i> .....                                                                                                                      | 74 |

## ÍNDICE DE QUADROS

---

|                                                                                                          |    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Quadro 5.1- Hierarquia dos canais .....                                                                  | 39 |
| Quadro 5.2- Distribuição do relevo da sub-bacia do Ribeirão Mango nas classificação altimétrica .....    | 40 |
| Quadro 5.3 - Distribuição do relevo da sub-bacia do Ribeirão Sardinha nas classificação altimétrica..... | 40 |
| Quadro 5.4 - Distribuição do relevo da bacia da drenagem principal nas classificação altimétrica .....   | 40 |
| Quadro 5.5 - Resultados do FSTT na drenagem principal .....                                              | 47 |
| Quadro 5.6 - Valores obtidos para o RDE total.....                                                       | 47 |
| Quadro 5.7- Resultados de RFAV para os perfis da sub-bacia do Ribeirão Sardinha .                        | 50 |
| Quadro 5.8 - Resultados do FSTT na sub-bacia do Ribeirão Sardinha .....                                  | 52 |
| Quadro 5.9- Resultados de RFAV para os perfis traçados na sub-bacia do Ribeirão Mango.....               | 55 |
| Quadro 5.10 - Resultados do FSTT para a sub-bacia do Ribeirão Mango .....                                | 57 |

## Resumo

---

A bacia do Ribeirão Sardinha compõe a bacia do Rio Itabirito, sendo este um afluente do Rio das Velhas. Localizada na porção noroeste do município de Ouro Preto, Minas Gerais, ela está inserida em um contexto geológico heterogêneo e sua rede de drenagem mostra anomalias que sugerem atividade tectônica recente na região. A partir destes pressupostos, utilizou-se de análise morfométrica para detectar feições que indicam fenômenos neotectônicos, fazendo uso de quatro parâmetros para tanto: O RDE (Índice de Hack); o RFAV (Índice Razão Fundo/Altura do Vale); o FSTT (Fator de Simetria Topográfica Transversal); e o FAB (Fator de Assimetria da Bacia). O cruzamento dos resultados obtidos levaram à escolha de alguns pontos para observação em campo, no intuito de se confirmarem as grandes anomalias morfossedimentares apontadas teoricamente. Os resultados da validação em campo permitem concluir que os índices morfométricos aqui adotados são uma importante ferramenta para a detecção indireta de zonas marcadas pela tectônica ressurgente.

**Palavras chave:** morfometria neotectônica

# CAPITULO 1

## INTRODUÇÃO

---

### 1.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

Drenagem pode ser definida como uma feição linear negativa relacionada às zonas de fraqueza dos terrenos geológicos, onde tais zonas podem representar fraturas (juntas ou falhas), estruturas primárias ou secundárias e interfaces litológicas de comportamento reológico distinto (Guerra 1993 *in* Lima 2006). A utilização da drenagem e seus padrões auxilia na interpretação de imagens de produtos de sensores remotos em geologia, geomorfologia e pedologia, buscando o conhecimento de como se desenvolveram as formas de relevo e sua atuação nas estruturas geológicas e litológicas (Lima 2006)

Os fatores que influenciam diretamente nos padrões de drenagem são divididos em interno, externo e composto. Os fatores internos derivam do comportamento da rocha, controlado pela litologia e estrutura. A litologia tem influência através das propriedades físicas e químicas, enquanto os aspectos estruturais estão ligados aos fatores intrínsecos das camadas, movimentos tectônicos e deformações recentes. Dentre os fatores externos o clima desempenha importante papel no intemperismo e ciclo de erosão. A vegetação pode ter influência local e fatores antropogênicos também são levados em consideração. Os fatores compostos correspondem à combinação desses efeitos onde se tem a topografia, variação dos níveis eustáticos, fatores hidrológicos e feições palimpsésticas (Lima 2006).

Eventos paleosísmicos podem gerar deformações que se localizam distantes da zona de falha, expandindo a resposta geomórfica para outras áreas e afetando a paisagem de forma mais extensiva. A identificação de evidências de atividade neotectônica em terrenos do interior continental é feita a partir de indícios bem marcados na morfologia do relevo e das drenagens. Os cursos d'água são avaliados como os elementos mais sensíveis às modificações tectônicas crustais, respondendo de imediato a processos deformacionais, por menores que sejam as escalas ou magnitudes (Etchebehere 2004). Sendo assim, eles se tornam elementos adequados para análises neotectônicas, neste sentido a confecção e interpretação de mapas morfométricos pode revelar anomalias na rede de drenagem, e a presença dessas anomalias e de descontinuidades no padrão de relevo podem ser reflexo de movimentações recentes do terreno (Marques Neto 2009).

A análise morfométrica é determinante no estudo de bacias e sub-bacias de drenagem, uma vez que trata de dados quantitativos, onde parâmetros e índices morfométricos podem indicar sinais que se associam ao processo de dissecação da área e que indicam respostas à movimentação do

terreno. Esses parâmetros também serviram de base para avaliação das condições físicas da bacia em questão e para detecção de deformações relacionadas à tectônica recente.

A bacia do Ribeirão Sardinha, localizada na porção noroeste do município de Ouro Preto em Minas Gerais, apresenta evidências morfológicas que podem ser interpretadas como reflexo de atividade neotectônica, como trechos retilíneos excessivamente longos em canais fluviais, drenagens em arco, meandros isolados e cotovelos de captura, mostrando-se um objeto de estudo interessante no âmbito da tectônica recente.

## 1.2 OBJETIVOS

- Estudar feições geomorfológicas indicativas de possíveis eventos neotectônicos na região da bacia do ribeirão Sardinha a partir dos índices morfométricos;
- Realizar a análise de lineamentos de drenagem e morfoestruturais presentes na área de trabalho com o intuito de definir direções estruturais preferenciais e, posteriormente, determinar a relação entre os *trends* estruturais e as anomalias encontradas na análise morfométrica;
- Buscar a validação em campo dos dados morfométricos obtidos, no intuito de se identificarem feições geomorfológicas que sugiram tectônica recente nos locais indicados e para auxiliar na interpretação do controle neotectônico da região.

## 1.3 NATUREZA E RELEVÂNCIA

Trifonov (1989 *in* Saadi 1993) cita três justificativas para o estudo da Neotectônica. São elas i) a possibilidade de observar, medir e datar os movimentos cenozoicos; ii) a sismicidade e os campos geofísicos estabelecendo a relação da tectônica superficial com a estrutura profunda e suas transformações; e iii) a comparação da tectônica ativa com as manifestações cenozoicas anteriores, permite correlacionar as implicações dos eventos em escalas de tempo geológico, bem como identificar a complexidade de seus desenvolvimentos.

O conhecimento das estruturas e da neotectônica atuante na região é relevante e possui implicações diretas na forma de ocupação da terra e tipo de atividade a ser desenvolvida, bem como no entendimento dos movimentos intraplaca e suas estruturas associadas, padrões e processos de reativação. Estudos anteriores realizados na região usando os índices morfométricos indicaram que há influência de atividades tectônicas recentes sobre a área, sendo assim este projeto dá continuidade a esses trabalhos com o intuito de inferir a instalação de zonas de retenção de sedimentos ou zonas de erosão. Tendo isso em vista, o presente trabalho se justifica pela importância econômica e social da região onde está contida a bacia hidrográfica em questão.

A área de estudo faz parte de uma expressiva entidade geotectônica, a Plataforma Sul Americana, na qual há registro de atividades tectônicas recentes que resultaram em abalos sísmicos.

No dia 5 novembro de 2015, ocorreu o desastre industrial que causou o maior impacto ambiental da história brasileira envolvendo barragens de rejeitos, onde a barragem de Fundão se rompeu. O acidente ocorreu no distrito de Bento Rodrigues, no município de Mariana, que dista cerca de 80 quilômetros da área de estudo, onde foram identificados pelo Centro de Sismologia da Universidade de São Paulo seis sismos que variaram de 2,0 a 2,6 °, na escala logarítmica de Richter. O Relatório produzido indicou que não era possível relacionar, a princípio, o tremor com o rompimento da barragem. Porém o mesmo relatório adverte que na região leste do estado de Minas é comum o registro de sismos (Centro de Sismologia da USP 2015).

A partir desse panorama, tem-se necessidade do aumento de estudos a respeito desses fenômenos, uma vez que a infraestrutura local pode eventualmente não estar preparada para resistir a tais abalos, pois estes muitas vezes não são sequer levados em consideração em grande parte dos projetos civis, bem como não existem estudos sistemáticos suficientes para delimitar as áreas de maior risco, onde a ocupação deve ser feita com as devidas precauções. Além disso, esses fenômenos podem influenciar os padrões das formas erosivas, a determinação de zonas de retenção sedimentar (assoreamento), zonas inundáveis (níveis de base), ou seja, compreender o fenômeno de reativação neotectônica pode ter aplicações variadas, desde as ambientais, até as econômicas (recursos minerais de placer) e também geotécnicas.

#### **1.4 LOCALIZAÇÃO E VIAS DE ACESSO**

A bacia do Ribeirão Sardinha se localiza na porção noroeste do município de Ouro Preto em Minas Gerais, abrangendo porções dos distritos de Engenheiro Correia, Santo Antônio do Leite e Miguel Burnier. O acesso a partir da cidade de Ouro Preto se dá através da BR-356, sentido Belo Horizonte, até o distrito de Cachoeira do Campo, segue-se então pela MG-440 em sentido ao distrito de Engenheiro Correia. A cabeceira do ribeirão Sardinha pode ser alcançada pela MG-030 no sentido sul. A Figura 1.1 indica as estradas de acesso e localização da bacia.

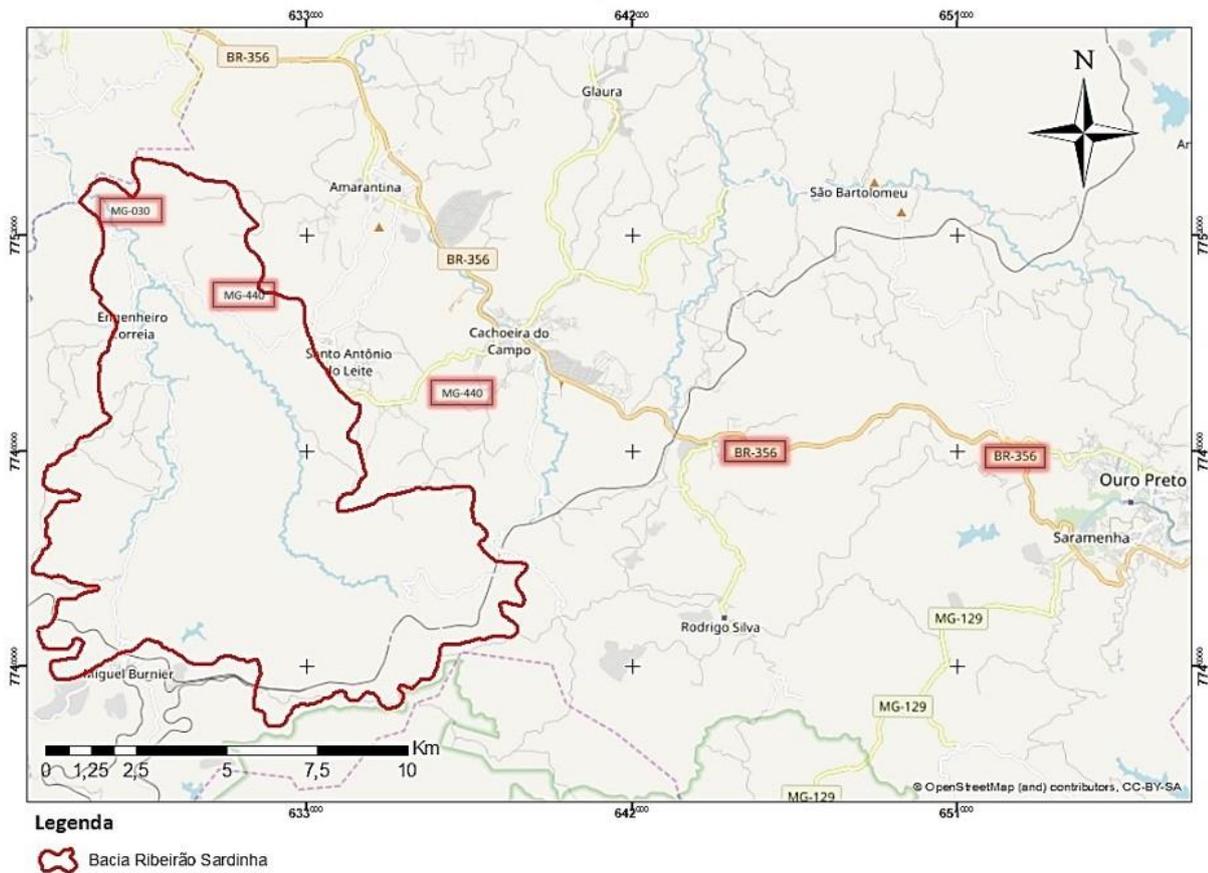


Figura 1.1 - Localização da bacia do Ribeirão Sardinha (*OpenStreetMap*)

## 1.5 ASPECTOS FISIOGRÁFICOS

### 1.5.1 Clima

Segundo Gerdaui (2010) o clima da região é caracterizado por ser temperado úmido com inverno seco e verão temperado, classificado por Köppen como mesotérmico, do tipo Cwb. A temperatura anual média é de 20,7°C e a precipitação média anual é de 1.188,2 mm. Entre dezembro e janeiro contatam-se as temperaturas mais elevadas assim como os maiores índices pluviométricos. Durante o período que vai de abril até agosto, a precipitação média mensal permanece inferior a 40mm, sendo comum a ocorrência de queimadas. Na Figura 1.2 pode-se observar a variação da temperatura e os índices pluviométricos durante o ano.

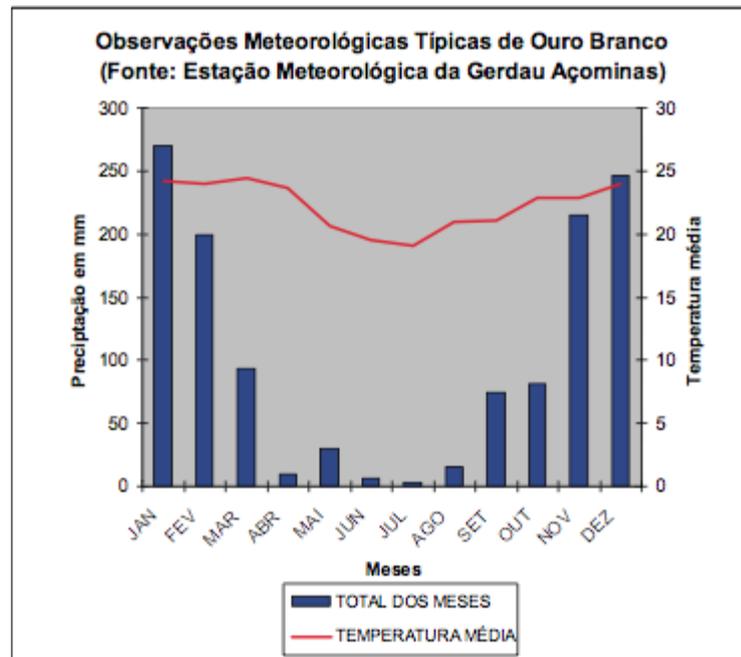


Figura 1.2 - Precipitação total mensal e temperatura média da região de Ouro Branco (Gerdau, 2010)

### 1.5.2 Vegetação

O Subcomitê da Bacia Hidrográfica do Rio Itabirito (2013) caracteriza a vegetação que compõe a bacia do Rio Itabirito como constituída em sua maior parte por fisionomias do cerrado e da mata atlântica, incluindo campos rupestres e floresta estacional semidecidual. Ainda segundo tal fonte, a região exibe uma alta diversidade de ambientes com diferentes tipos de canga ferruginosa, áreas alagadas, capões, lajeados, fendas e depressões com presença de vegetação herbácea, arbustos e pequenas árvores. Os campos rupestres sobre canga ocorrem em altitudes elevadas. Raposo *et al* (2009) indicam que a maior parte da bacia do Ribeirão Sardinha é recoberta pela vegetação de porte arbóreo e herbáceo-arbustivo (36% e 43,40% da área da bacia, respectivamente). Geralmente associadas aos cursos d'água, as vegetações de porte arbóreo predominam na região do Complexo do Bação. Enquanto a vegetação de porte herbáceo-arbustivo se sobressai em áreas mais elevadas, situadas nos domínios das rochas do Supergrupo Minas e Supergrupo Rio das Velhas, compondo os campos de altitude.

### 1.5.3 Hidrografia

A bacia do Ribeirão da Sardinha (Figura 1.3) está localizada na porção sudeste da bacia do Rio Itabirito que é uma sub-bacia da bacia do Rio das Velhas que, por sua vez, é o mais importante afluente da bacia do Rio São Francisco. A região de estudo possui uma área de 113 Km<sup>2</sup> e as altitudes variam ente 880 e 1400 metros. Realizou-se uma subdivisão da bacia em duas sub-bacias sendo elas a Sub-bacia do Ribeirão Sardinha e a Sub-bacia do Ribeirão Mango. As elevações na primeira sub-bacia

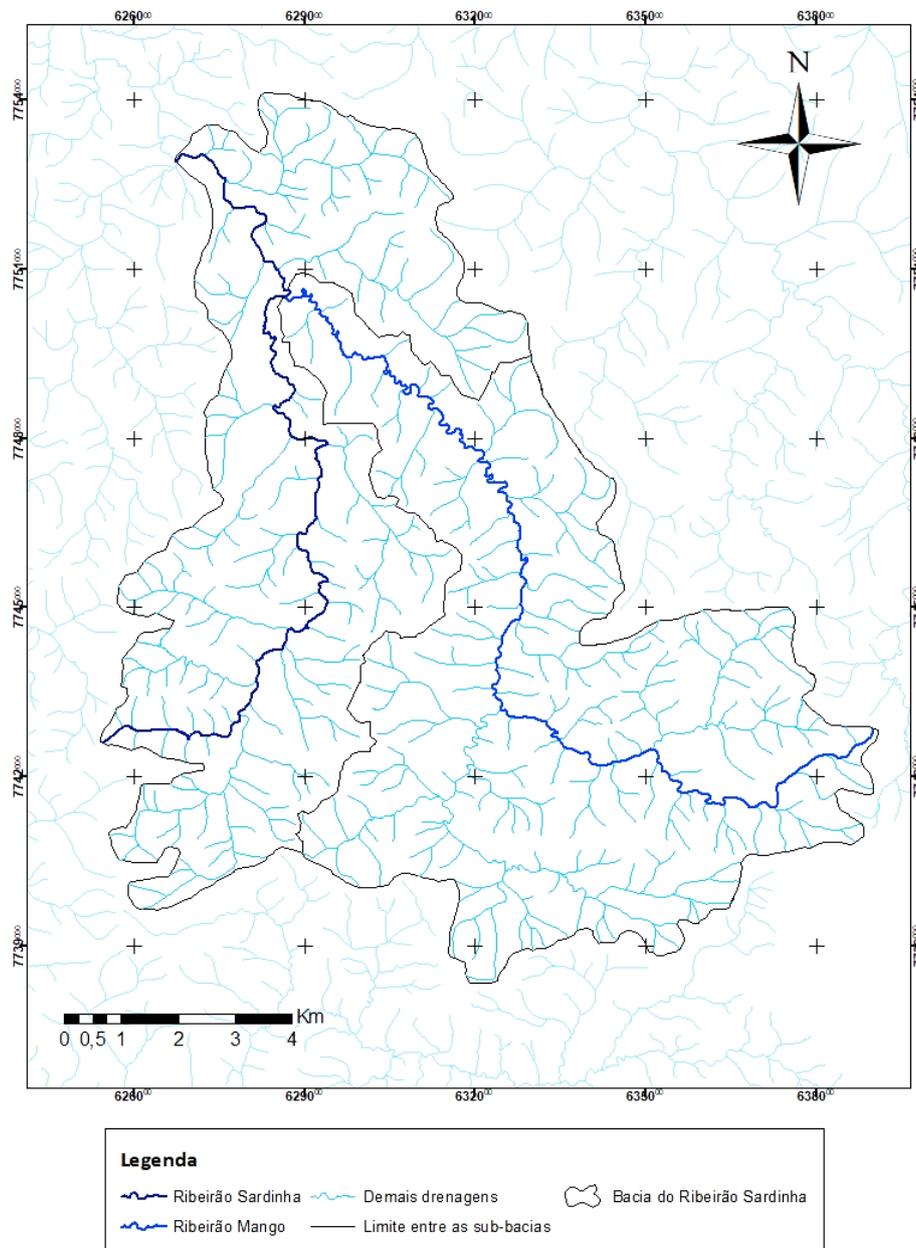


Figura 1.3 - Bacia do Ribeirão Sardinha

variam entre 880 e 1380 metros, enquanto que na outra a variação está entre 930 e 1400 metros.

O ribeirão que dá nome a bacia tem 18,58 km de extensão, está situado na porção oeste e sua nascente encontra-se a 1187,85 metros de altitude. O Ribeirão Mango, situado na porção leste e medindo 23,22 Km, é um afluente do Ribeirão Sardinha e a confluência dos dois se dá a 929 metros de altitude. A drenagem principal, sendo este o curso d'água de maior extensão da bacia, mede 27,56 Km e inicia seu curso na nascente do Ribeirão Mango e percorre todo o curso desse ribeirão, e na confluência com o Ribeirão Sardinha acompanha este último ribeirão até sua foz. O Ribeirão Sardinha deságua no Ribeirão Mata Porcos, que, por sua vez, tem sua foz no Rio Itabirito, e seu fluxo segue aproximadamente de SSW para NNE.

Segundo Santos (2017) o padrão de drenagem característico é do tipo treliça, o qual está relacionado com ambientes onde ocorre a intercalação de rochas com resistências diferentes se posicionando de forma inclinada ou dobrada (Summerfield 1991), havendo também influência das direções de falhas. É possível observar que a rede de drenagem é mais densa nas porções central e sul da bacia do que na porção norte, refletindo o contraste litológico da região. Além disso, desde as cabeceiras ocorrem níveis de base que favorecem o desenvolvimento de trechos meandantes (Santos 2017).

## 1.6 GEOMORFOLOGIA

A configuração geomorfológica do Quadrilátero Ferrífero representa um prolongamento fisiográfico da Serra do Espinhaço e apresenta forte condicionamento litoestrutural, com uma sucessão de sinclinais suspensos e anticlinais escavados. As principais províncias geomorfológicas são Serra do Caraça, Serra do Curral, Sinclinal Moeda, Serra de Ouro Branco, Complexo do Bação e Sinclinal Gandarela. As bordas sul do domínio são representadas pelo complexo serrano do Sinclinal Dom Bosco, contendo as maiores altitudes e declividades, que vão decaindo em direção ao centro. Na porção norte da unidade tem-se a presença de vertentes suavemente onduladas a onduladas, com vales planos que se estendem até o extremo norte da bacia, e corresponde ao Complexo do Bação; a oeste da área de estudo nota-se a presença de colinas alongadas, correspondente ao Sinclinal Moeda e a leste observa-se os topos de morros da Anticlinal de Mariana. (Bezerra 2014).

Varajão (1991) refere-se ao Quadrilátero Ferrífero como um mosaico formado por “províncias geomorfológicas”. Essas províncias são formadas por quartzitos e itabiritos, que por serem mais resistentes, permaneceram como cristas, enquanto gnaisses migmatíticos, devido a sua menor resistência ao intemperismo e erosão, tornaram-se terras baixas (Harder & Chamberlin 1915 *apud* Varajão, 1991). Elas são também constituídas por xistos e filitos que ocupam uma posição intermediária, e ocorrem, normalmente, preenchendo sinclinais e anticlinais topograficamente

invertidos (Barbosa & Rodrigues 1967 *apud* Varajão 1991). Estas estruturas estão relacionadas ao controle estrutural, a declividade das vertentes e variações litológicas (Bezerra 2014).

De modo geral, Varajão (1991) atesta que a evolução morfogenética do Quadrilátero Ferrífero revela um traço marcante de erosão diferencial que, ao longo do tempo, gerou pequenas superfícies de erosão, cuja articulação apresenta um nítido controle litoestrutural. Os soerguimentos epirogenéticos pós-cretácicos, experimentados especialmente pela porção oriental da Plataforma Sulamericana, acarretaram, no Quadrilátero Ferrífero, o reentalhamento da drenagem e o rejuvenescimento do relevo, com fenômenos de captura associados. O realce das estruturas, através dos relevos invertidos, constitui um importante registro da evolução da paisagem.

Nas proximidades do Rio das Velhas é possível observar cristas e espigões com vertentes íngremes, geralmente incisadas na rocha sã ou cobertas por manto coluvial pouco espesso. Os vales são estreitos e fortemente encaixados, com baixo grau de sinuosidade. O rio das Velhas apresenta bruscas mudanças de direção que evidenciam o forte controle estrutural. (Magalhães Jr. & Saadi 1994). A faixa leste do Vale do Rio das Velhas é caracterizada pela alternância de alinhamentos rochosos, intercalados por patamares escalonados de topografia relativamente suave. Esta região está condicionada à grande resistência ao intemperismo e à estrutura dobrada com acentuado ângulo de mergulho dos metassedimentos do Grupo Maquiné. Na porção oriental do Vale do Rio das Velhas predominam afloramentos de rocha, que se sobressaem em cristas alinhadas na direção sudeste-noroeste, intercaladas por vales de profundidade variável e trechos relativamente extensos de relevo suave (ondulado e suave ondulado), dispostos em patamares que se elevam progressivamente em direção à borda ocidental da Serra da Água Limpa (Carvalho Filho *et al.* 2010).

A porção leste do Vale do Rio das velhas também é marcada por um relevo movimentado, dentro de um contexto favorável a condições hidrodinâmicas de alta energia que é sustentado por rochas resistentes dos supergrupos Minas e Rio das Velhas. Em seu domínio interior, no entanto, a fragilidade das rochas do embasamento cristalino proporciona um alargamento dos vales e amplo desenvolvimento das feições sedimentares. (Raposo *et al.* 2010)

## 1.7 PEDOLOGIA

A história da paisagem regional é resultante de fenômenos tectônicos e climáticos que individualizaram o Quadrilátero Ferrífero, com diversos compartimentos erosivos e estruturais, em níveis altimétricos diversos que interferem na pedogênese local (Santos 2008). Esta região apresenta encostas íngremes, com solos bastante rasos apresentando basicamente três tipos de solo: Latossolo Vermelho, Neossolos Litólicos e Cambissolo Háplico. Na baixa-média bacia, correspondente ao domínio do Complexo Bação, é possível observar solos com horizonte B latossólico caracterizados por Latossolos Vermelho Amarelo Distróficos A moderado com textura argilosa. Na região, os Latossolos

apresentam aptidão agrícola restrita para lavouras. Na alta bacia, na região das rochas do Supergrupo Minas se destacam solos poucos desenvolvidos caracterizados como Neossolos Litólicos Distróficos A moderado com textura indiscriminada e Cambissolos Distróficos A moderado. Essa região apresenta terras pertencentes à classe de aptidão restrita para pastagem natural (Raposo 2014). A vegetação florestal restringe-se aos fundos de vale e pequenas grotas, sobre solos, em geral, também de pequena profundidade em que se sobressai a maior concentração de matéria orgânica (Carvalho Filho *et al.* 2010). A Figura 1.4 ilustra a distribuição de tais tipos de solo.

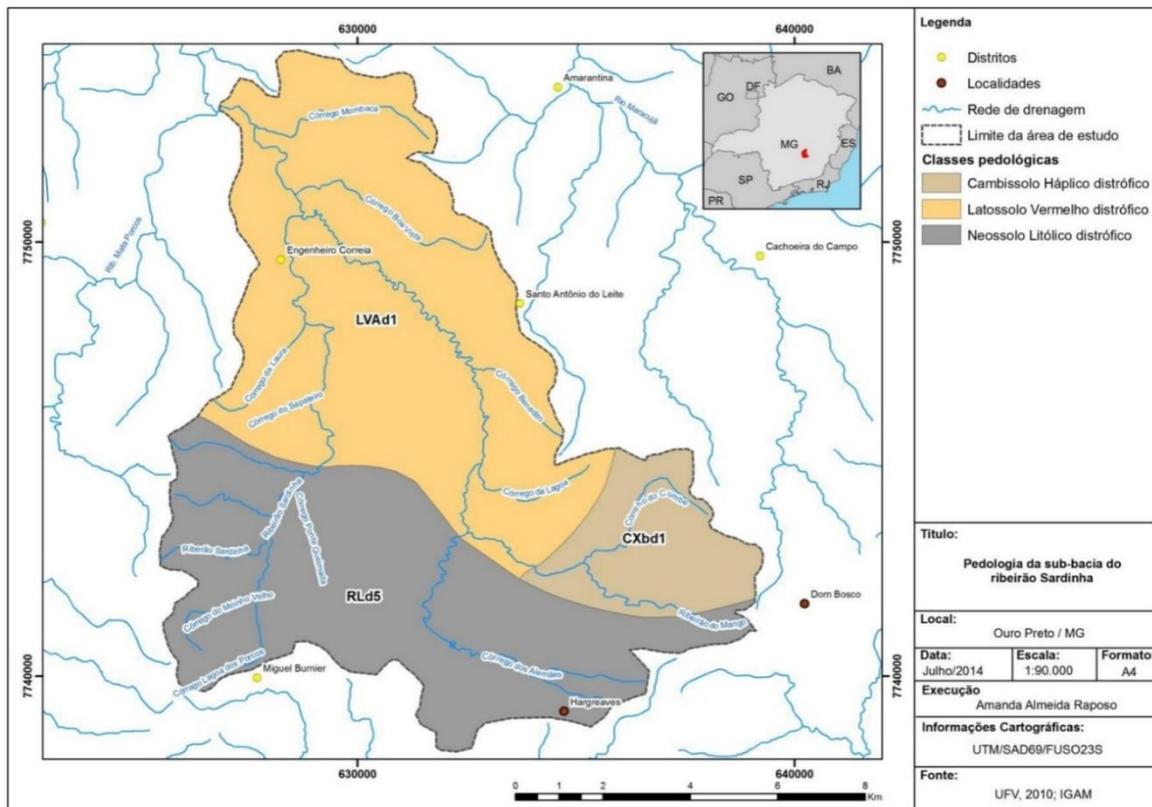


Figura 1.4 - Mapa pedológico da bacia do ribeirão Sardinha (Raposo 2014)



# CAPÍTULO 2

## CONTEXTO GEOLÓGICO

### 2.1 GEOLOGIA REGIONAL

O Quadrilátero Ferrífero (Dorr 1969) localiza-se entre as coordenadas longitude 43°22'30" a 44°07'30" Oeste, latitude 19°45' a 20°30' Sul, correspondendo a uma área de aproximadamente 7000 Km<sup>2</sup> (Figura 2.1). A região está inserida na borda sudeste do Cráton São Francisco, este por sua vez é constituído de embasamento estabilizado ao fim do ciclo Transamazônico, e é bordejado pelos cinturões orogênicos neoproterozóicos brasileiros: Faixa Brasília, Ribeira, Riacho do Pontal, Rio Preto, Araçuai e Sergipana, (Almeida 1967).

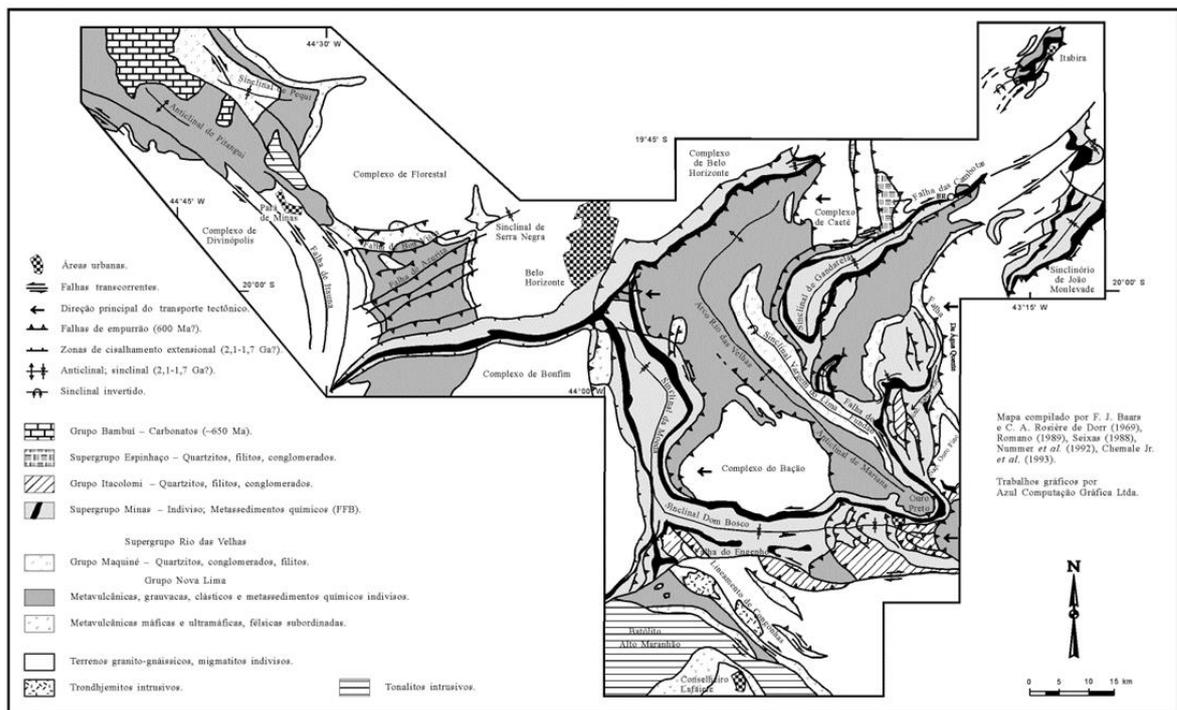


Figura 2.1 - Mapa geológico do QF (Baars e Rosière 1994)

#### 2.1.1 O Quadrilátero Ferrífero (QF)

O Quadrilátero Ferrífero encontra-se na região centro-sul do Estado de Minas Gerais, com uma importância econômica principalmente no que diz respeito a mineração de ferro. (Dorr 1969).

Dorr (1969) explana que os primeiros estudos da região foram feitos no século XIX por Von Eschwege; em 1906 Derby propôs a criação da “Série Minas” e em 1915 Harder e Chamberlin apresentam a primeira coluna estratigráfica da área. Em 1931, Guimarães propôs a criação da “Série Itacolomi”, discordante da “Série Minas”. Nas décadas de 1970 e 80 foram feitos diversos trabalhos de mapeamento litoestratigráfico-estrutural e geotectônicos na região, como os estudos de Dorr (1969), Ladeira e Viveiros (1984) e Alkmin e Marshak (1989).

### **2.1.2 Estratigrafia regional do QF**

No Quadrilátero Ferrífero são encontradas uma gama de unidades litológicas, compreendendo três grandes conjuntos litológicos, são eles os domínios granito-gnáissicos, o Supergrupo Rio Das Velhas e o Supergrupo Minas, como pode ser observado na Figura 2.2. Sobreposto a estes, ocorre ainda os Grupos Sabará e Itacolomi. Dorr (1969) define a composição do embasamento cristalino como gnaissica-migmatítica, representado pelos complexos Caeté, Belo Horizonte, Bonfim, Santa Bárbara e Bação, com idades de cristalização arqueanas variando entre 3,2 a 2,7 Ga (Lana *et al.* 2013).

O Supergrupo Rio das Velhas, que aparece sobreposto ao embasamento, é constituído pelos grupos Nova Lima e Maquiné, da base para o topo. O Nova Lima é constituído basicamente por xistos e filitos e rochas metassedimentares e metavulcânicas constituídas por quartzo de granulação fina, sericita, clorita e carbonato, geralmente de cor esverdeada, podendo aparecer também em tonalidades roseas ou cor de canela (Dorr 1969). Cinco unidades constituem esse grupo, da base para o topo, unidade metavulcânica ultramáfica, máfica e ácida e metassedimentar química, unidade metassedimentar vulcanoclástica e metassedimentar clasto-química, unidade metavulcanossedimentar, metassedimentar e metassedimentar química, unidade quartzítica, e unidade metassedimentar turbidítica (Baltazar *et al.* 2005).

O Grupo Maquiné, por sua vez, é composto por duas formações, a Palmital e a Casa Forte. A Palmital, mais antiga, é constituída por quartzo-sericita-xisto, ou filito com lentes intercaladas de quartzito sericítico. A Casa forte, mais recente, é composta por conglomerado e quartzito sericítico e clorítico maciço, com algumas intercalações de xisto ou filito. (Dorr 1969)

O Supergrupo Minas, de idade proterozóica, é constituído pelos Grupos Caraça, Itabira e Piracicaba, da base para o topo. O Grupo Caraça é constituído predominantemente por rochas cláticas. A formação Moeda é composta por conglomerados, metarenitos e quartzo-sericíticos, enquanto a formação Batatal é constituída de filitos e metapelitos quartzo-sericítico. O Grupo Itabira, na sequência estratigráfica, é composto pelas formações Cauê e Gandarela. A formação de base Cauê, é caracterizada por ser predominantemente constituída por formação ferrífera constituída por hematita laminada com quartzo, onde o quartzo pode ser substituído por dolomita ou anfibólio, podendo conter muita argila. Essa formação também é composta por filito. Próximo a superfície, na maioria das vezes

se observa um saprólito linomítico e magnesífero. A formação de topo Gandarela é composta por rochas carbonáticas, em sua maioria mármore dolomítico, mas aparecem também margas, filito dolomítico, dolomito ferruginoso e filito. (Dorr 1969)

A porção superior do Supergrupo Minas é caracterizada pelo Grupo Piracicaba, composta pelas formações Cercadinho, constituída de quartzitos, quartzitos ferruginosos, filitos ferruginosos, filitos prateados, filitos dolomíticos e dolomitos; Fecho do Funil, composta de filitos dolomíticos ou não, e dolomitos impuros; Tabões, constituída de ortoquartzitos; e Barreiro, que representa uma

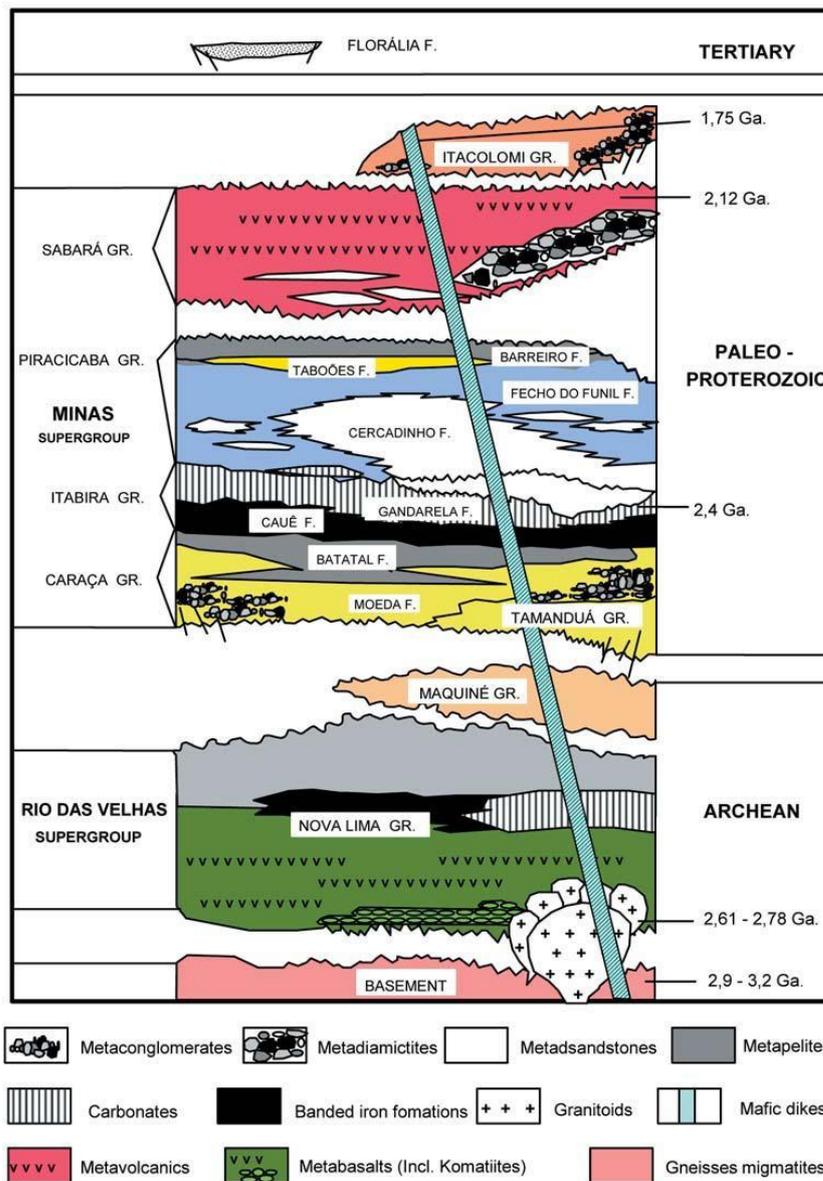


Figura 2.2 - Coluna estratigráfica da região do Quadrilátero Ferrífero, com indicação das idades de cristalização e dos zircões detríticos mais jovens. (Modificada de Alkmim & Noce, 2006)

sequência de xistos e filitos grafitosos ou não (Dorr 1969). Na Figura 2.2 tem-se a coluna estratigráfica do Quadrilátero Ferrífero.

Mais próximo ao topo da sequência estratigráfica, encontra-se os filitos e quartzo-mica-xistos do Grupo Sabará, representando os depósitos de uma bacia do tipo antepaís relacionada com o Evento Transamazônico. Barbosa (1968 *apud* Almeida *et al.* 2005) e Almeida *et al.* (2005) propõem a subdivisão do Grupo Sabará em Formação Saramenha, inferior, e Formação Estrada Real, superior. Por fim, no topo da sequência encontram-se rochas sedimentares clásticas, divididas em duas fácies, uma formada por quartzitos e outra por filitos pertencentes ao Grupo Itacolomi (Dorr 1969)

### 2.1.3 Compartimentação geotectônica e evolução estrutural do QF

Há mega estruturas orientadas em todo o Quadrilátero Ferrífero, com sinformes, antiformes e *nappes*, além de outras estruturas em dobras associadas a falhas. As principais estruturas são: o “*uplift*” Rio das Velhas, sendo esta uma estrutura arqueada de grande extensão; anticlinal de Mariana apresentando caimento suave para SE, que se localiza na região sudeste do Quadrilátero Ferrífero; sinclinais Dom Bosco (E-W) e Moeda (N-S) também localizados na porção sudeste; sinclinal Santa Rita (N-S), que se encontra na porção oeste; sinclinais Gandarela (NE-SW) e Ouro Fino na porção noroeste e a homoclinal da Serra do Curral (NE-SW), na porção norte. Os grandes falhamentos são Fundão, Engenho e Água Quente (Dorr 1969).

O arcabouço estrutural, pré-nucleação do sinclinal Dom Bosco, presente na área de estudo, é marcado por duas fases sucessivas de dobramento coaxiais, ambas vergentes para SSW. A primeira fase (D1) é caracterizada pela *nappe* Ouro Preto. Esta *nappe* se localiza a porção centro-meridional do sinclinal Dom Bosco, e é caracterizada pela seção invertida dos grupos Itabira, Piracicaba e Sabará. A *nappe* em questão cavalgou as unidades inferiores do Quadrilátero Ferrífero sobre uma superfície de descolamento basal, que posteriormente foi reativada, sendo este segmento a Falha do Engenho. A segunda fase de deformação representa o redobramento da *nappe* Ouro Preto. (Almeida *et al.* 2005)

O Cráton São Francisco foi afetado pelos ciclos Transamazônico no proterozóico, criando estruturas leste-oeste, e pelo Brasiliano, com maior intensidade na porção leste, criando estruturas norte-sul, que vieram a originar as faixas de dobramentos que definem e limitam o contorno atual do cráton como um todo, e do Quadrilátero Ferrífero (Dorr 1969). Chauvet *et al.* (1992) sugeriram que o Quadrilátero Ferrífero sofreu dois eventos termo-tectônicos principais (D1 e D2), ocorrendo um terceiro evento (D3), localmente. O evento D1, caracterizado por extensão crustal, está relacionado à orogenia Transamazônica e se desenvolveu sob condições de fácies anfíbolito. Por sua vez, o evento D2 é caracterizado pela compressão, e está relacionado à orogenia Brasileira, de fácies xisto verde a anfíbolito inferior. O evento D3 é relacionado ao relaxamento crustal e apresenta-se muito restrito localmente, sendo de fácies xisto verde.

## 2.2 EVOLUÇÃO CENOZÓICA DO QF

A tensões originadas pelos tipos de contatos que interligam as placas litosféricas e as consequentes tensões intraplaca são essenciais na compreensão do controle do comportamento neotectônico da Plataforma Sul Americana (Saadi 1993). Para Saadi *et al.* (2005 *in* Varajão *et al.* 2009) como resposta aos movimentos tectônicos epirogenéticos, o soerguimento do Brasil Oriental teria ocorrido em pulsos, provocando a reativação de lineamentos e geossuturas nos períodos Eoceno, Oligoceno, Mioceno, Plioceno e Pleistoceno. O período Eoceno, na região Sudeste, foi marcado por um soerguimento epirogenético concomitante a uma fase tectônica distensiva, com formação de estruturas “*horst/graben*” e consequente formação de bacias. Têm-se como exemplo as bacias de Taubaté, Resende e, particularmente no Quadrilátero Ferrífero, as bacias de Gandarela e Fonseca (Varajão *et al.* 2009). As duas últimas bacias são compostas por depósitos de sedimentos de corrida de detritos e/ou aluviais aprisionados em armadilhas estruturais e/ou litológicas, relacionadas a superfícies erosivas. (Lipski 2002)

Evidências de tectônica Cenozoica no Quadrilátero Ferrífero têm sido observadas por vários autores. O modelo de erosão diferencial e inversão do relevo, que é o modelo explicativo atual do relevo do QF, prescreve que a evolução geomorfológica do QF foi controlada a partir de particularidades geológicas passivas e estabilizadas da área. Já a ideia da tectônica ativa implica necessariamente no desequilíbrio das propriedades passivas determinantes da geomorfologia de um terreno. A maior parte dos trabalhos geomorfológicos apesar de aceitarem o modelo atual, não renegam e, na maioria das vezes, afirmam e reforçam a perspectiva de reativações cenozoicas de estruturas herdadas de eventos tectônicos anteriores. (Bezerra 2014)

Lipski (2002) assinalou que a deformação cenozoica no QF foi caracterizada por quatro eventos tectônicos sucessivos no tempo (D1, D2, D3, D4). O primeiro evento ocorreu no Oligoceno, predominantemente sobre regime de tensão trativo com eixo de tensão máximo orientado na direção NNE-SSW, sendo associado a geração de *grabens* e *horsts*. O evento D2 é essencialmente compressivo e ocorreu entre o Oligoceno Superior e no Mioceno Superior, com geração de falhas reversas e transcorrentes e feições transpressivas, onde os campos de tensão indicaram uma orientação preferencial NW-SE. No terceiro evento de deformação tem-se um regime de tensão com tendência a tração radial na porção ocidental do QF, e uma tendência do campo trativo se orientar na direção WNW-SSE, com influência compressiva nas direções NNE-SSW e NE-SW, representando assim um relaxamento tectônico das estruturas formadas no evento anterior. O D4 foi caracterizado como um evento de caráter trativo, caracterizado por falhamentos em coberturas lateríticas, e feições tectônicas

extensionais, predominantemente com direção E-W e N-S, onde este último evento estaria ativo pelo menos desde o final do Plioceno.

Varajão (2009) indica em um estudo sobre a evolução da paisagem do QF, com base na análise integrada de dados quantitativos das taxas de erosão e dos tipos de perfis de solos desenvolvidos a partir dos principais litotipos da área, que esta região foi submetida a pulsos neotectônicos de soerguimento e aos consequentes processos erosivos. Segundo este autor a apresentação simultânea de perfis autóctones pouco desenvolvidos e perfis alóctones bem desenvolvidos, relacionados ao mesmo tempo no substrato rochoso, são indícios fortes de neotectônica, que teria levado ao desencadeamento de um intenso processo erosivo na região.

Em estudo geomorfológico mais recente sobre o Quadrilátero Ferrífero, Bezerra (2014) defende a hipótese de que o relevo do QF foi controlado sobretudo por deformação crustal recente, posterior à orogenia Brasileira – através da reativação tectônica diferencial de estruturas antigas com vergência oeste, de idade Brasileira. Essas reativações ocorreram sobretudo na porção leste do QF, a partir de diferentes "*fronts*" de soerguimento que foram reativados com intensidades diferentes sendo responsáveis pela diferenciação geomorfológica regional do QF. O autor também indica que sistema fluvial da porção leste do QF é mais dinâmico e energético que o sistema fluvial do restante do QF.

Bacellar *et al.* (2005) mencionam que os sedimentos aluviais e coluviais mais antigos próximos da área de estudo, ocorrem em feições topográficas arredondadas, totalmente remodeladas por processos erosivos e por deposição coluvial ou aluvial. Eles ocorrem localmente nas encostas laterais dos principais vales, vários metros acima da planície de inundação atual. O autor constata que estes sedimentos são mais rígidos e mais quartzosos do que os sedimentos mais jovens, e juntas e falhas neotectônicas são muito comuns em alguns afloramentos.

Bezerra (2014) afirma que o possível soerguimento do QF ocorreu ao longo de eixos preferenciais relacionados com atividade recente de estruturas pretéritas. Estudos anteriores (Lipski *et al.* 2001; Baltazar *et al.* 2005) afirmam que sedimentos cenozóicos são comuns na região do QF preenchendo pequenas bacias tectonicamente controladas, onde estes sedimentos não são distribuídos regionalmente, mas sim localmente, em pequenas áreas específicas. Estes mesmos estudos indicaram que foram encontrados localmente também falhamentos em terraços fluviais, sem expressão regional (Bezerra 2014).

## **2.3 GEOLOGIA LOCAL**

No arcabouço geológico da bacia do Ribeirão Sardinha encontra-se uma grande variedade de litotipos, onde predominam os gnaisses e migmatitos do Complexo Bação, além dos metaconglomerados e quartzitos da formação Cercadinho que integra o Grupo Piracicaba. A bacia em questão também engloba grande parte do Sinclinal Dom Bosco.

O Complexo Bação é composto por três principais litotipos, são eles as rochas do tipo TTG, compostas por tonalitos e trondhjemitos, circundadas por terrenos gnáissicos e intrudidas por batólitos de granitoides potássicos; tais terrenos são compostos por gnaisses diversos e migmatitos, ocupando a maior parte do complexo na área de estudo. As rochas do tipo TTG e os gnaisses e migmatitos foram originados no mesoarqueano; pode-se observar também granitoides potássicos na foz do ribeirão Sardinha, datados do neoarqueano. Este litotipo é constituído por batólitos que intrudem tanto as rochas TTG quanto os gnaisses do Complexo Bação. Além disso, é possível observar faixas miloníticas e pequenos diques de pegmatitos portadores de turmalina (variedade schorlita) em cristais até centimétricos (Romano & Rezende 2017). O embasamento ocupa cerca de 40% da área, e compõe toda a porção norte da bacia.

O Grupo Nova Lima é representado na área pela Unidade metavulcanossedimentar, metassedimentar terrígena e metassedimentar química definida por Baltazar *et al.* (2005), tendo natureza vulcanossedimentar associada com rochas clásticas e químicas, e aparece em afloramentos como uma sequência homogênea de filitos bastante foliados de cores variadas em tons de vermelho, róseo, marrom, verde de difícil distinção. Esta unidade ocupa uma faixa na porção central da bacia em contato direto com o Complexo do Bação e está em contato também com a base do Supergrupo Minas (Romano & Rezende 2017).

O Grupo Caraça é representado em uma porção muito pequena da área em questão, mas é composto por suas duas formações, Moeda e Batatal. A Formação Moeda tem uma expressão topográfica pouco pronunciada, que é mais dependente de sua espessura; ela é mascarada pela grande expressividade da Formação Cauê que se localiza nas adjacências. A litologia mais característica da formação são os ortoconglomerados, geralmente polimíticos, e contendo seixos das unidades mais antigas, principalmente das rochas do Grupo Nova Lima e do Complexo Bação. A Formação Batatal é constituída predominantemente de filito muscovítico prateado que pode conter, localmente, quantidades importantes de clorita, além de material carbonoso. (Romano & Rezende 2017)

O Grupo Itabira ocupa cerca de 10% da área de estudo e é composta por suas duas formações Cauê e Gandarela. A primeira é composta majoritariamente por itabirito, com variações composicionais, dentre elas o itabirito dolomítico e o itabirito anfíbolítico, e algumas lentes de filito. A formação tem expressão topográfica notável, e nas pequenas porções onde é possível observar a presença da canga laterítica, que se forma no topo das serras pela resistência intempérica do itabirito, nota-se que ela é responsável pela sustentação do relevo. A Formação Gandarela é aflorante em lentes muito deformadas e de aspecto sigmoidal, imposto pelo cisalhamento na região do Sinclinal Dom Bosco. Ela é geralmente interdigitada lateral e verticalmente com itabirito, onde é comum as variações entre os polos ferruginoso e dolomítico. Na porção sudoeste da bacia as duas formações se

transicionam lateral e verticalmente, o que torna muito difícil a separação das duas. (Romano & Rezende 2017)

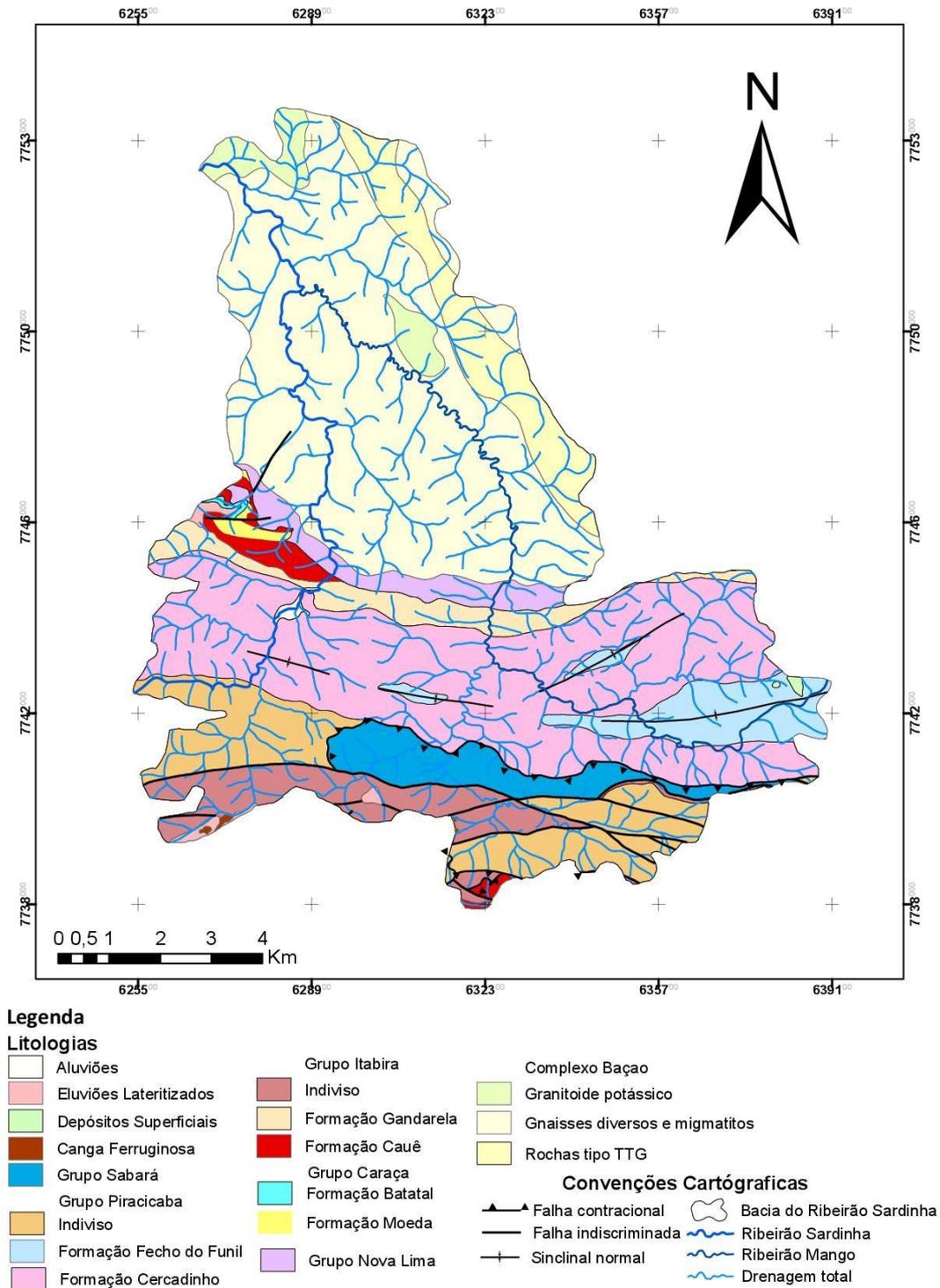


Figura 2.3 - Mapa geológico da bacia do Ribeirão Sardinha (Romano & Rezende 2017)

O Grupo Piracicaba é representado pela Formação Cercadinho que ocupa cerca de  $\frac{1}{4}$  da bacia e é composta por afloramentos sempre reconhecíveis pela alternância de leitos quartzíticos e filíticos. As formações rochosas da Formação Fecho do Funil são diferenciadas daquelas da formação supracitada pela predominância de filitos e presença marcante de dolomito. A Formação Cercadinho ocorre interdigitada lateralmente com a Formação Fecho do Funil, o que torna difícil sua distinção, tendo uma boa parte das porções sudeste e sudoeste da bacia caracterizadas como indiviso. (Romano & Rezende 2017)

As rochas antes atribuíveis ao Grupo Nova Lima, que teria soerguido tectonicamente por um descolamento do embasamento na porção central do sinclinal Dom Bosco, são caracterizadas majoritariamente como filitos e quartzitos, e foram atribuídas ao Grupo Sabará, por sugestão de Almeida *et al.* (2001 in Romano & Rezende 2017). Essa associação foi recomendada para explicar uma possível *nappe de charriage* que transporta rochas desde a região de Ouro Preto. A partir do paleógeno houve a formação de cangas ferruginosas, depósitos de superfície do tipo *mudstone*, depósitos eluvionares superficiais laterizados e na porção sudoeste da bacia um depósito aluvionar de pequena expressão envolve o Ribeirão Sardinha. A ausência de depósitos de aluvião pode estar ligada ao rejuvenescimento do relevo e ao encaixamento pronunciado da drenagem. (Romano & Rezende 2017).

O flanco sul do Sinclinal Dom Bosco, megaestrutura que compõe a área de estudo, apresenta alta complexidade estrutural, devido aos efeitos da segmentação tectônica processadas por falhas de empurrão na porção oriental da estrutura. Essas falhas possuem traços curvos que se tangencial lateralmente com a Falha do Engenho, a sul, e com a Zona de Cisalhamentos Fundão-Cambotas, a norte, onde os imbricamentos são moldados pela geometria da calha do sinclinal. Na porção oeste, próximo a conexão com o Sinclinal Moeda, têm-se diversas escamas de empurrões paralelos à Serra da Moeda (Endo 1997).

## 2.4 USO E OCUPAÇÃO

O Subcomitê da Bacia Hidrográfica do Rio Itabirito (2013) averiguou o grau de intervenção na região em questão, e constatou que mais de 60% do território desta sub-bacia apresenta alterações antrópicas. O uso agropecuário representa a maior intervenção territorial, seguido de urbanização e processos erosivos em estágio avançado. A Figura 2.4 ilustra as práticas econômicas na bacia do Ribeirão Sardinha.

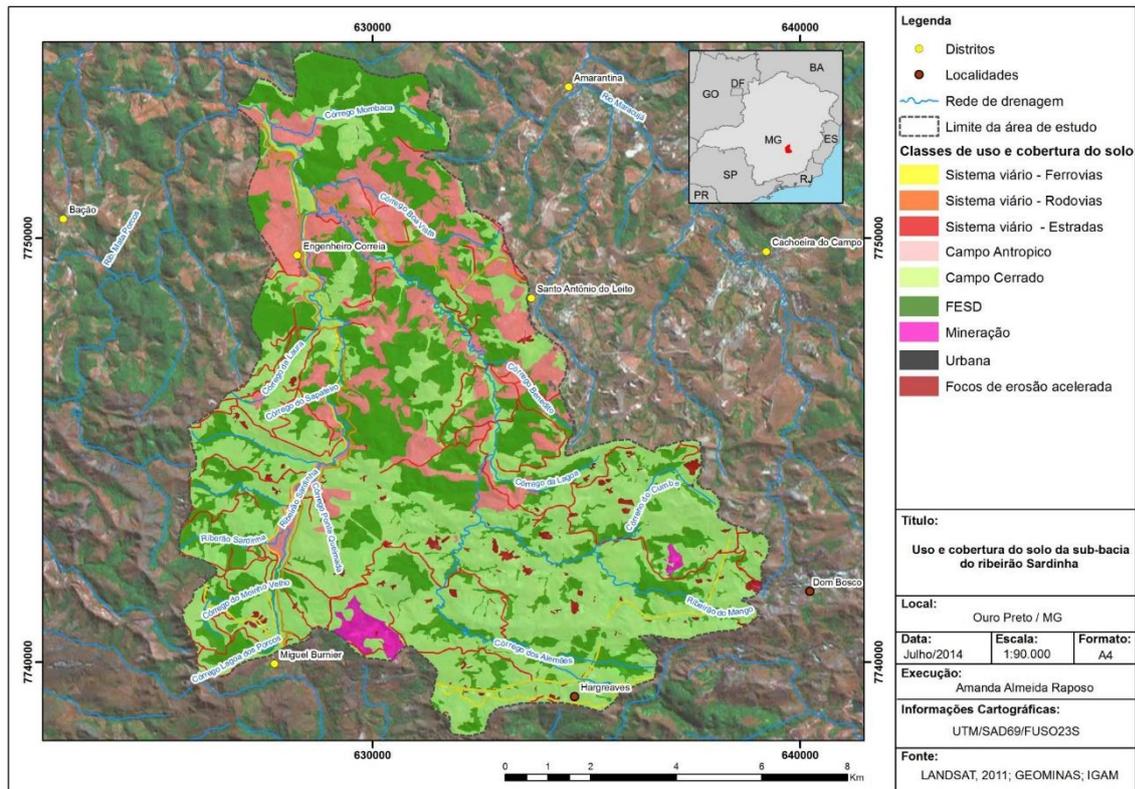


Figura 2.4 - Pressões, impactos e cobertura do solo da Bacia do Ribeirão Sardinha (Raposo 2014)

Observa-se um predomínio de usos agropastoris na região em questão. Estes estão, em maior parte, situados na área correspondente principalmente ao Complexo do Bação, e representam 14,95% da área da bacia (Raposo 2014). Grande parte dessas atividades se destina à pastagem, e à pequenas culturas agrícolas, tais como as de milho e cana de açúcar (Raposo *et al*, 2009).

A mineração também é uma atividade comum nesta região, principalmente em áreas do Supergrupo Minas, ricas em itabiritos. O próprio comitê supracitado identificou um local, a montante da confluência com o ribeirão do Mango, com vestígios de atividade mineraria. A mineração realizada pela GERDAU AÇOMINAS S/A, localizada na porção sudoeste da bacia, possui atividade licenciada para lavra a céu aberto com tratamento a úmido de minério de ferro, e é um empreendimento de grande porte que possui raio de interferência que engloba os municípios de Itabirito, Ouro Preto, Congonhas, Ouro Branco e Conselheiro Lafaeite, afetando áreas como a bacia do Rio Itabirito e o Parque Estadual Serra do Ouro Branco. (Amarante & Costa 2016). Na porção sudeste da bacia, próximo ao eixo do Sinclinal Dom Bosco tem-se a ocorrência de dois depósitos minerais, um de mármore e outro de topázio (Romano & Rezende 2017).

Amarante & Costa (2016) verificaram que as causas da maioria dos processos erosivos estão relacionadas com atividades minerárias desativadas e sem descomissionamento; implantações de vias sem pavimentação que não apresentam dispositivos de controle dos fluxos de águas superficiais e outras intervenções relacionadas com uso agropecuário, principalmente a substituição de vegetação nativa por pastagens, em vertentes com declividade acentuada. As atividades minerárias correspondem a 5,44% da bacia. Apenas 0,06% da área bacia é utilizada para reflorestamentos de eucalipto (Amarante & Costa 2016).

## CAPÍTULO 3

### REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

---

#### 3.1 NEOTECTÔNICA

O geólogo soviético E.V. Jain em 1973, afirmava que os estudos neotectônicos representam um importante fator de avanço para as pesquisas em geotectônica pois permitem a aplicação do atualismo, através da observação real das feições tectônicas que eram, até então, inferidas. Em 1978 a Comissão de Neotectônica da Associação Internacional de Estudos do Quaternário (INQUA) adotou a definição a qual considera os movimentos neotectônicos como “quaisquer movimento ou deformação do nível geodésico de referência, seus mecanismos, sua origem geológica, independentemente de sua idade”, suas implicações para vários propósitos práticos e suas futuras explorações. Desta forma, considera-se todo acervo de deformações de caráter rúptil e/ou dúctil que venha a ocorrer no período neotectônico (Saadi 1993).

A delimitação do período neotectônico é discutível, uma vez que as várias partes do globo estão submetidas a tensões relacionadas com estágios diferentes de evolução tectônica. Pavlides (1989) considera o início do período neotectônico depende das características individuais de cada ambiente geológico. O INQUA (1978) determinou a ausência de limites temporais, passando a considerar como movimentos neotectônicos desde os sísmicos até aqueles de idade superior a  $10^7$  anos, se isso for necessário ao entendimento da origem dos movimentos registrados (Saadi 1993).

Efeitos tectônicos de baixa magnitude, vinculados à abertura do Rift Atlântico Sul, se instalaram na Plataforma Brasileira a partir do Mioceno Médio e adentraram ao Quaternário (Hasui 1990 *apud* Marques Neto 2009), impondo um regime dúctil-rúptil e uma dinâmica ascensional. Esta porção da Plataforma Sul Americana apresenta uma considerável heterogeneidade tectônica-estrutural resultante da sobreposição de fases deformacionais pré-cambrianas afetadas pela reativação mesozoica e por eventos tectônicos recentes (Marques Neto 2011).

De acordo com Saadi (1993), o Estado de Minas Gerais foi compartimentado durante o cenozoico em domínios morfotectônicos individuais específicos, onde a reativação de descontinuidades crustais antigas é responsável pelas feições neotectônicas regionais. Claude-Henri Gorceix (1884*apud* Saadi 1993) foi quem identificou pela primeira vez indicativos de tectônica cenozoica no Quadrilátero Ferrífero, através da análise das bacias do Gandarela e Fonseca de idade Eocênica-Miocênica. Estudos posteriores sugeriram que as feições de superfície de erosão nessa região apresentam relações com os domínios litoestruturais. Além disso, a altimetria atual é resultado

de deslocamentos verticais, por reativações de falhamentos antigos, podendo ocorrer reativação de falhas de empurrão como falhas normais. (Saadi 1993).

Souza (2008) caracterizou os níveis e sequências deposicionais aluviais da bacia do alto Rio das Velhas com o auxílio de técnicas de estratigrafia, com o intuito de reconstituir a dinâmica fluvial pretérita desta região. Foram identificados quatro níveis deposicionais aluviais na área, sendo um Nível de Várzea e três níveis de terraços, sendo eles denominados Terraço Superior, Intermediário e Inferior. Os níveis de Terraços Superior e Intermediário apresentam-se escalonados e o nível de Terraço Inferior apresentou variação tipológica, exibindo-se escalonado, recoberto pela várzea e com várzea embutida em relação ao Nível de Várzea. O escalonamento dos níveis de terraços corrobora com a ocorrência de um soerguimento crustal de nível regional associado ao Escudo Brasileiro, enquanto que a variação no Terraço Inferior refletem a dinâmica de movimentos diferenciais de blocos ao longo do vale.

Lana (2010) a partir da identificação dos principais níveis de base na bacia do Rio das Velhas, indicou que a origem da maior parte destes níveis de base está relacionada à reativação cenozóica de estruturas frágeis. A partir da análise de um segmento do Rio Maracujá, que pertence a bacia do alto curso do Rio das Velhas, o autor atribui a assimetria do vale, com formas escalonadas se desenvolvendo na margem esquerda e o curso do rio em questão sendo confinado na margem direita, a um basculamento regional que poderia estar acontecendo ao longo de uma reativação da falha de empurrão do Fundão, que possui direção NE-SW e vergência NW, com deslizamento do muro em relação ao teto.

Barros & Magalhães Júnior (2012) a partir de levantamentos de campo, identificação e caracterização dos níveis deposicionais no vale do Ribeirão Sardinha indicam uma concordância com as principais tendências apontadas em trabalhos anteriores sobre a dinâmica fluvial quaternária de rios no Quadrilátero Ferrífero. Neste trabalho foram identificados dois níveis aluviais bem preservados, um nível de planície de inundação e um nível de terraço. Também foram identificados depósitos de antigos níveis aluviais que foram retrabalhados por processos de coluvionamento. Os autores destacam neste estudo o escalonamento dos níveis aluviais, o embutimento do nível deposicional mais recente e a dominância de sequências arenosas no nível de planície, contrastando com as sequências argilo-siltosas dos níveis deposicionais mais antigos, sendo este último dado interpretado como reflexo de atividades antrópicas, como o garimpo e a mineração. O quadro encontrado também reforça as ideias sobre o condicionamento da dinâmica fluvial por atividade neotectônica marcada por pulsos de soerguimento.

De Paula Barros *et al.* (2008) correlacionaram eventos deposicionais fluviais cenozóicos dos vales do rio Maracujá e Ribeirão do Mango, a partir do levantamento e análise de níveis e sequências

sedimentares. Os resultados mostram que é possível correlacionar a origem de vários depósitos dos dois rios e apontam para uma morfodinâmica mais acelerada na bacia do Ribeirão do Mango, o que pode ser resposta a uma carga sedimentar mais elevada e ao encouraçamento do leito do rio. Os autores também apontam que a rede de drenagem do Ribeirão do Mango, de direção preferencial SE-NW, se instalou ao longo das principais discontinuidades tectônicas do embasamento cristalino, e é comum encontrar soleiras rochosas que estabelecem importantes níveis de base locais que aparecem muitas vezes escalonados.

Raposo (2014) a partir da análise morfométrica da bacia do Ribeirão Sardinha observou um número maior de canais de primeira ordem na alta bacia do ribeirão do Mango em relação a alta bacia do canal principal do ribeirão Sardinha. Tal fato aponta para uma maior dissecação dos canais na alta porção da bacia do ribeirão do Mango e maior energia para formação dos canais de primeira ordem conferindo a esta porção maior potencial erosivo. A autora também estabeleceu os níveis de suscetibilidade de erosão na bacia em questão e atestou um nível muito alto nas vertentes ravinadas com declividade e encaixamento da rede de drenagem acentuados (Figura 3.1), e alto nas localidades onde ocorrem as rochas do Complexo Bação, do Grupo Piracicaba (Formação Cercadinho e a porção indivisa) e dos depósitos aluviais, o que pode indicar soerguimento tectônico da região. Os focos de erosão acelerada podem ser observados na Figura 2.4.

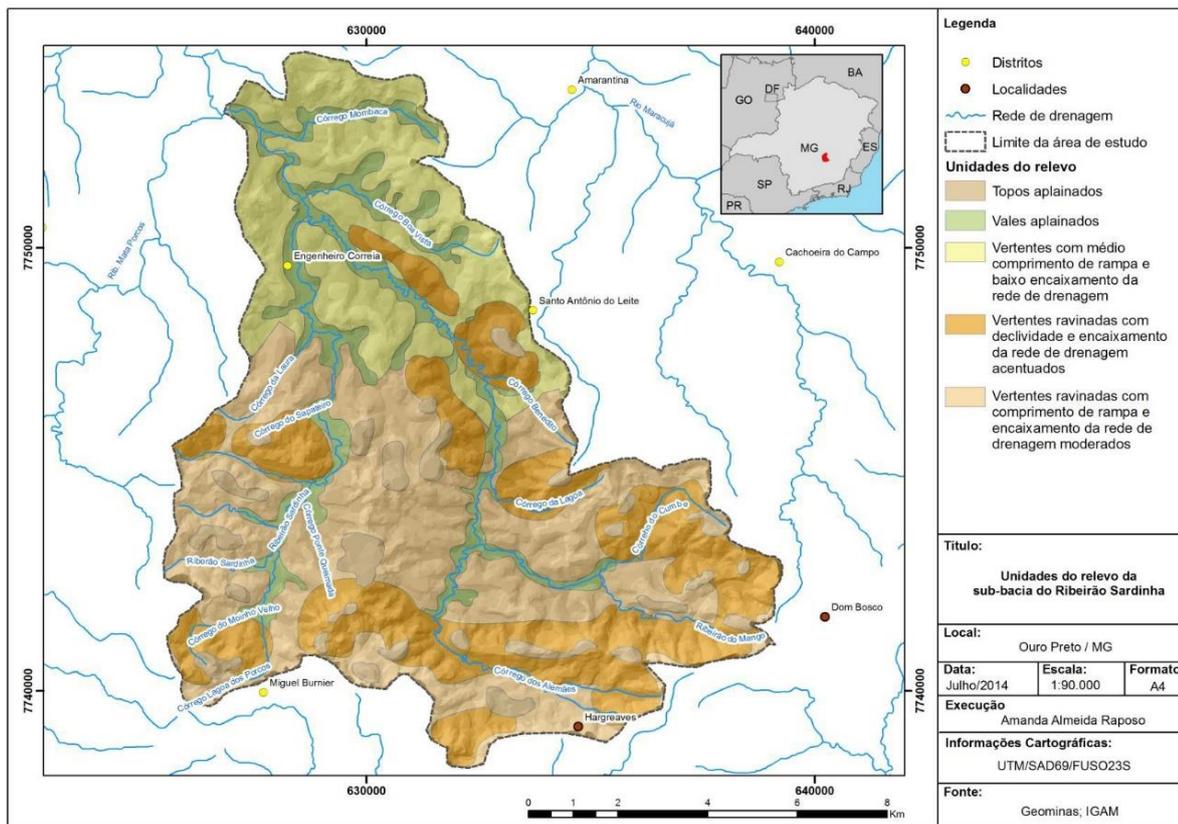


Figura 3.1 - Unidades do relevo da bacia do ribeirão Sardinha (Raposo 2014)

Santos (2017) sugere, a partir da caracterização estratigráfica dos perfis de terraços e barrancos na bacia em questão, que as diferentes fácies incluídas em um dado depósito representam as variações da dinâmica do rio na deposição. A autora ressaltou que nem sempre se observou a ocorrência de ambos depósitos em um mesmo ponto de estudo, relacionando a ausência de barrancos aos processos de migração lateral do rio que promovem a remoção do próprio depósito anteriormente formado pelo fluxo fluvial. Os perfis descritos em sua maioria indicam processos agradacionais, porém pode-se sugerir processos denudacionais a partir da análise de um dos perfis

### 3.2 ÍNDICES GEOMORFOMÉTRICOS INDICADORES DE NEOTECTÔNICA

O emprego de parâmetros morfométricos em sistemas ambientais é uma das principais maneiras de se avaliar quantitativamente o comportamento das bacias hidrográficas frente aos condicionantes geomorfológicos que atuam nestas. A partir deste tipo de análise é feita a caracterização dos aspectos geométricos e de configuração das bacias hidrográficas e da rede de drenagem, onde determinam-se indicadores relacionados à forma, ao arranjo estrutural e à composição integrativa entre esses elementos (Cherem 2008). A leitura de alguns índices pode revelar anomalias na rede de drenagem, que podem ser reflexos de fatores tectônicos, estruturais, climáticos e/ou antrópicos (de Paula Barroset *al.* 2010).

Os índices geomorfométricos representam uma abordagem quantitativa da análise geomórfica diferencial relacionados à erosão e aos processos de deposição que incluem o canal do rio, perfil longitudinal e morfologia do vale, bem como características que são reflexos de tectonismo. Os índices de tectônica ativa podem detectar anomalias no sistema fluvial ou ao longo das frentes de montanha. Essas anomalias podem ser produzidas por soerguimento ou subsidência resultantes da atividade tectônica. (El Hamdouni *et al.* 2008)

#### 3.2.1 Índice RDE (Relação Declividade–Extensão) ou Índice Hack

O RDE foi estabelecido por Hack (1973), relacionando a declividade e extensão dos cursos fluviais, e se refere à declividade de um determinado trecho às cabeceiras (Etchebere 2004) mantendo assim forte relação com a energia da corrente, e essa energia está condicionada à declividade do canal fluvial em seu perfil longitudinal (Marques Neto 2009). O índice pode ser calculado para todo o canal (Equação 1), para comparações de diferentes cursos fluviais ou por trechos (Equação 2). A Figura 3.2 ilustra algumas características necessárias para tal operação

$$\text{Índice de Hack}_{total} = \frac{H_1 - H_2}{\ln L_2 - \ln L_1} \quad (\text{Equação 1})$$

$$\text{Índice de Hack}_{trecho} = \left(\frac{\Delta H}{\Delta L}\right) \times L \quad (\text{Equação 2})$$

Sendo:

$\Delta H$ : diferença de altitude entre os dois pontos extremos de um segmento;

$\Delta L$ : projeção horizontal da extensão do referido segmento;

$L$ : comprimento total do curso d'água

$H_1$  : altitude da nascente

$H_2$ : altitude da foz

$L_1$ : medida do comprimento da drenagem na nascente

$L_2$ : medida do comprimento da drenagem na foz

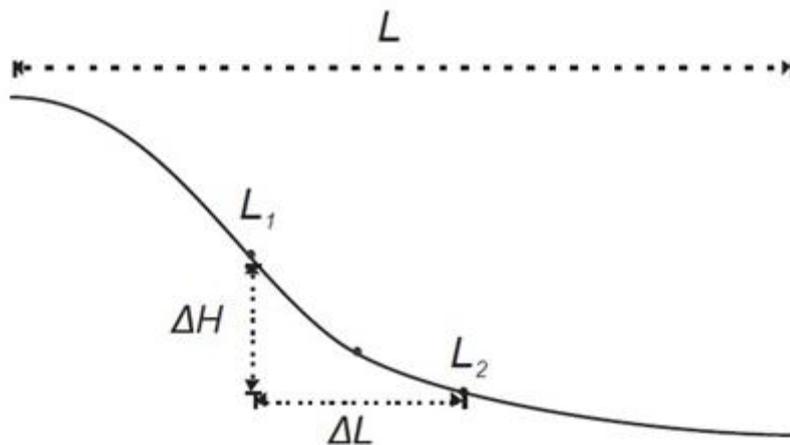


Figura 3.2 - Representação dos parâmetros necessários para o cálculo do índice em questão (Cremon 2013)

Com o intuito de obter parâmetros morfoestruturais foi definida uma equação que relaciona o índice de trecho com o índice total (Seeber & Gornitz 1988 *apud* Cremon 2013)

$$\text{Anomalia} = \frac{\text{Índice de Hack}_{trecho}}{\text{Índice de Hack}_{total}} \quad (\text{Equação 3})$$

Os resultados obtidos a partir da Equação 3, com valores entre 2 e 10, correspondem a anomalias de segunda ordem que contariam com declividades um pouco acima do ajuste ideal para o padrão de drenagem; os resultados com valores superiores a 10 correspondem a anomalias de primeira ordem, que por sua vez estariam presentes em áreas com declividade acentuada, e valores inferiores a

2 indicam trechos sem anomalias (Listo *et al.* 2016). Os valores maiores do Índice de Hack estão relacionados a passagem do rio por uma litologia ou estrutura mais ou menos resistente, ou tectônica recente. No caso da ocorrência de um mesmo tipo litológico a anomalia geralmente recai sobre uma zona de movimentação tectônica que ocorreu após a implantação da drenagem contemporânea, onde o entendimento das principais discontinuidades morfológicas da bacia pode ser correlacionado com controle estrutural, como falhas (Monteiro *et al.* 2010). Pode estar relacionada também a atitude dos estratos da rocha por qual a drenagem passa.

### 3.2.2 Índice Razão Fundo/Altura do Vale (RFAV)

Este índice foi desenvolvido por Bull & McFadden (1977 *apud* Barbosa & Furrier 2012), sendo empregado para a avaliação das intensidades das atividades tectônicas através de feições individuais. Ele foi formulado com o intuito de distinguir vales que possuem superfície ampla no fundo de vales estreitos. Vales em formato de “V” indicam que o rio está escavando ativamente o substrato rochoso, particularidade comum de regiões tectonicamente ativas e soergidas recentemente, onde há processos de incisão, como explanado na Figura 3.4. Enquanto vales suaves em formato de “U”, indicam que o curso d’água está em fase de erosão fluvial das vertentes, geralmente em terras baixas, onde o soergimento tectônico cessou há muito tempo (Barbosa & Furrier 2013). A Figura 3.3 ilustra as características do canal para o cálculo.

$$RFAV = \frac{2 L_{fv}}{[(E_{de} - E_{fv}) - (E_{dd} - E_{fv})]} \quad (\text{Equação 4})$$

Onde:

RFAV: razão entre a largura do fundo e a elevação do vale;

Lfv: valor da largura do fundo de vale;

Ede: elevação do divisor do setor esquerdo do vale;

Edd: elevação do divisor do setor direito do vale;

Efv: valor da média de elevação do fundo do vale.

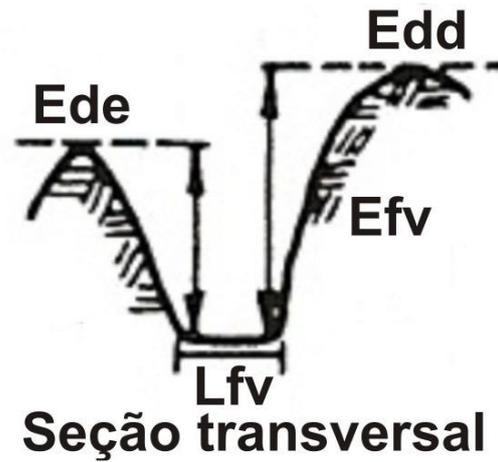


Figura 3.3 - Procedimento de medida para encontrar os valores do RFAV (Adaptado de Silva 2014).

Silva *et al.* (2003) afirmam que, em geral, os valores de RFAV considerados como indicadores de atividade tectônica ativa são baixos, menores do que 1, enquanto que valores que indicam estabilidade tectônica e com predominância de erosão lateral, são maiores do que 1. El Hamdouni *et al.* (2008) sugerem que como os valores do parâmetro variam de acordo com o tamanho da bacia, a descarga de fluxo e o tipo de rocha, eles devem ser obtidos em locais com condições geológicas semelhantes.

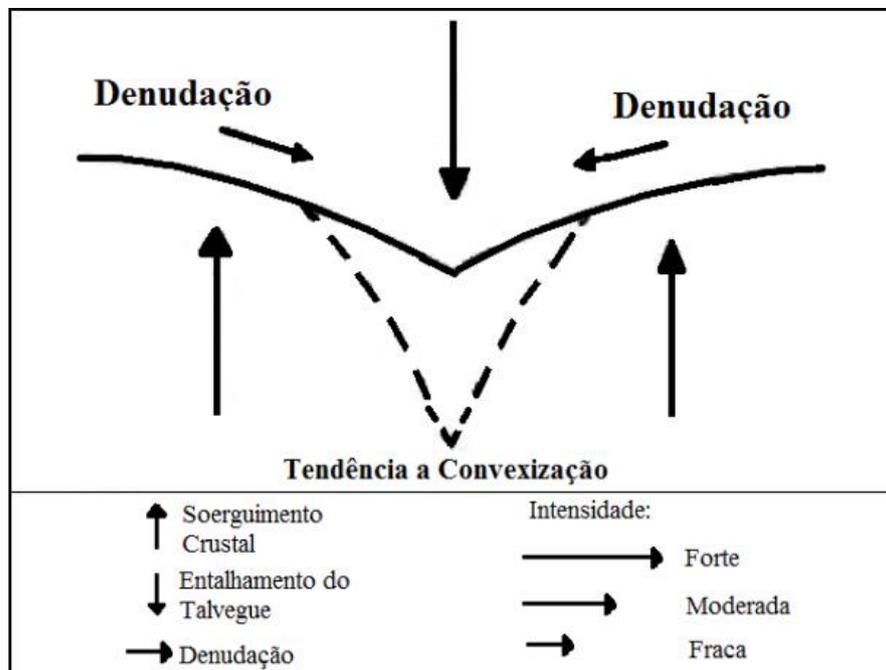


Figura 3.4 - Predominância do entalhamento do talvegue em relação a denudação por influência de soerguimento tectônico (Adaptado de Silva 2014)

### 3.2.3 Fator de Simetria Topográfica Transversal (FSTT)

Este fator está relacionado aos processos de migração lateral de cursos d'água que podem estar conectados com atividades neotectônicas. Este parâmetro avalia a quantidade de assimetria de um rio dentro de uma bacia e como esta assimetria varia de acordo com o comprimento do curso d'água, quantificando a direção da migração média para todos os canais de maiores ordens, permitindo, assim, uma discriminação entre migração de canais como uma consequência de processos internos fluviais ou de forças tectônicas (Ibanez & Riccomini 2011)

Este método foi desenvolvido por Cox (1994 *in* Marques Neto 2009), e demanda o estabelecimento da linha média da bacia e a confecção de perfis perpendiculares à drenagem principal. Esta técnica estabelece uma relação entre a distância mantida entre a linha média da bacia e o curso d'água mais expressivo da bacia; e a distância entre a mesma linha e o divisor, que representa o limite topográfico da bacia (Neres & Morais 2014). A Equação 5 ilustra o método.

$$FSTT = \frac{D_a}{D_d} \text{(Equação 5)}$$

Onde:

FSTT: Fator de Simetria Topográfica Transversal;

Da: distância do eixo principal da bacia ao percurso do canal principal;

Dd: distância do eixo principal da bacia ao divisor da bacia naquele mesmo alinhamento.

Os valores obtidos podem variar entre 0 e 1, sendo que em 0 tem-se uma bacia simétrica, com a linha média da bacia coincidindo com o talvegue, e em valores iguais a 1 tem-se uma drenagem extremamente assimétrica, com canal próximo à linha divisória da bacia. A Figura 3.5 ilustra como são obtidos os parâmetros necessários para o cálculo do índice.

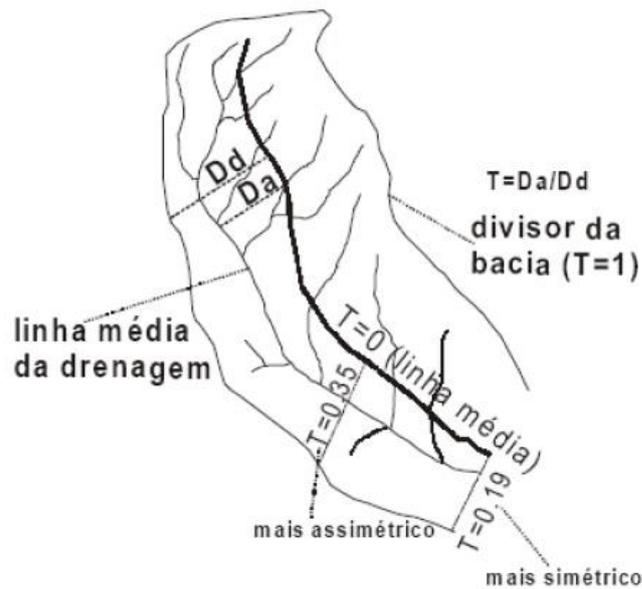


Figura 3.5 - Bloco esquemático do FSTT, como fator de quantificação de deslocamento de um rio (Coelho & Lana 2017)

### 3.2.4 Fator de Assimetria da Bacia (FAB)

Este índice morfométrico também foi elaborado com o intuito de mensurar a assimetria de bacias hidrográficas com base na migração lateral dos canais (Marques Neto 2009). Uma bacia assimétrica reflete o componente de deslocamento lateral de sua drenagem principal, perpendicularmente à direção de seu eixo, como ilustra Figura 3.6. Esta migração dos canais é determinada por processos fluviais internos e/ou forças tectônicas (Salamuni 2004). O cálculo do índice é feito a partir da Equação 6.

$$Af = 100 \times \frac{A_d}{A_t} \text{ (Equação 6)}$$

Sendo:

Af: fator de assimetria,

Ad: área da margem direita do curso d'água principal,

At: área total da bacia.

Os valores inferiores a 50 correspondem a uma assimetria da margem esquerda da bacia, e os valores superiores a 50 correspondem à assimetria da margem direita. A partir do resultado obtido através dos cálculos, subtraí-se o valor 50. O resultado desta subtração é computado em módulo ( $|FAB-50|$ ) e baseando-se nestes valores, as bacias hidrográficas são classificadas em três graus de intensidade de assimetria: baixo, quando o valor obtido for menor ou igual a 7; médio, se o resultado

computado for maior que 7 e menor ou igual a 15; e alto se os valores forem maiores que 15 (Andrades Filho, 2010).

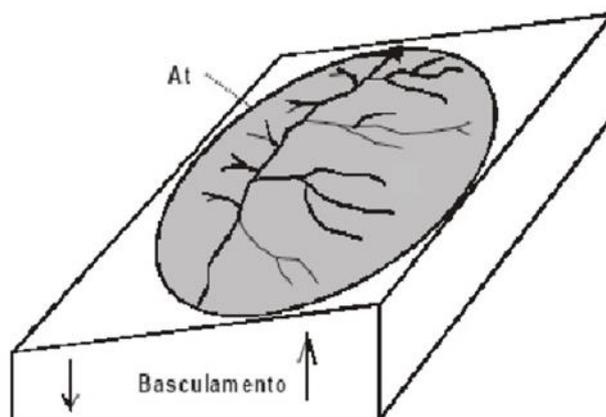


Figura 3.6 - Bloco esquemático do fator assimétrico de bacia (Coelho & Lana 2017)

### 3.3 PERFIL LONGITUDINAL DOS RIOS

O perfil longitudinal de um rio é uma das representações mais frequentes dos cursos d'água e diz respeito a uma curva plotada em um gráfico de coordenadas cartesianas, onde a altitude é lançada no eixo das ordenadas e a extensão da drenagem ocupa o eixo das abscissas, formando a variável independente (Bezerra 2014). O formato do perfil longitudinal do rio que está em equilíbrio exibe forma côncava, podendo ser descrita por uma equação exponencial. Alterações no perfil induzem a corrente a se ajustar na busca de um novo equilíbrio, a partir da erosão do seu próprio leito ou propiciando agradação. Curvas com baixa concavidade sugerem condições de desequilíbrio e o tempo necessário para que a drenagem readquira o equilíbrio não pode ser precisado, porém há autores que admitem como pequeno em termos geológicos (Hack 1960; Leopold & Langbein 1962 *apud* Etchebehere 2004).

Segundo Bezerra (2014) ocorrem desníveis nos perfis longitudinais identificados pelas extensões convexas, usualmente aludidas como *knickzones*, e que alguns desses perfis são convexas em sua totalidade. Extensões locais de anomalias dentro de perfis longitudinais são geralmente interpretadas como uma correlação entre: (1) áreas com litologia mais competente do que sua vizinhança (Brush 1961; Hack 1957; Lewis 1945; Wolman 1955); (2) locais onde uma carga sedimentar grossa é introduzida por tributários (Hack 1973; Woodford 1951); (3) locais de atividade tectônica (McKeown *et al.* 1988; Reed 1981); (4) e segundo Fugita *et al.* (2011), erosão remontante por mudança brusca em nível de base à jusante (Bezerra 2014).

O perfil longitudinal do canal principal tem no eixo horizontal a distância de um certo ponto até a nascente e no eixo vertical os valores logarítmicos das elevações. Geralmente este gráfico mostra

curvas de conformação logarítmica, concavidade para cima, e assíntotas longas. Assim, através do estudo deste preceito é possível determinar de forma eficiente o controle desempenhado por fatores geológicos sobre o perfil longitudinal de um canal de drenagem e por ser uma derivação do perfil semilogarítmico, evita o efeito da diminuição da declividade pelos fatores hidráulicos e sedimentológicos (Etchebehere 2004).

### **3.4 ANÁLISE DE LINEAMENTOS DE DRENAGEM E MORFOESTRUTURAIS**

Técnicas de cartografia digital, em especial aquelas voltadas à modelagem numérica do terreno, contribuíram de forma expressiva para as pesquisas no âmbito da geomorfologia aplicada (Vitek, *et al.* 1996; Fernandes *et al.* 2001). Nesta perspectiva, por meio da extração de lineamentos, de drenagem e de relevo (negativos e positivos, respectivamente), com suporte dos produtos de sensoriamento remoto, é possível que se desenvolva uma caracterização morfoestrutural mais apurada da área estudada, dando suporte no que tange à observação de eventos tectônicos antigos e recentes (de Barros Corrêa & Fonseca 2010).

O termo “lineamento” foi originalmente definido por Hobbs (1912 *apud* Veneziani 1987), no intuito de caracterizar as relações espaciais de feições, tais como cristas, borda de áreas elevadas, alinhamentos de contatos geológicos ou tipos petrográficos, ravinas ou vales, e fraturas ou zonas de falhas visíveis como tais. Veneziani (1987) afirma que o termo pode ser empregado para designar feições definidas por alinhamentos de relevo e drenagem, associando aos lineamentos um significado tectônico-estrutural relacionado a discordâncias e feições estruturais que podem apresentar mais de um tipo de falhamento.

Bricalli & Mello (2014) sugerem que em termos geomorfológicos, lineamentos representam usualmente variações na elevação dos terrenos, alinhamento de cristas, segmentos de escarpas, trechos de drenagem e vales (Jordan & Schott 2005), que, por refletirem as principais linhas de fraqueza regionais, podem indicar locais de ocorrência de estruturas geológicas importantes para comprovar a influência estrutural e/ou tectônica na evolução do relevo. A análise de setores do terreno identificáveis por conjuntos de lineamentos com padrões específicos, aparece como uma ferramenta útil para investigar a relação entre a Geomorfologia e a Neotectônica, numa escala regional. (Bricalli & Mello 2014)

As estruturas tectônicas rúpteis, tais como juntas e falhas, e dúcteis-rúpteis, como foliações e xistosidades, são as estruturas tectônicas melhor identificadas nas imagens sombreadas e se apresentam como feições lineares e alinhamentos de relevo e drenagem. As juntas estão relacionadas, principalmente, às feições lineares de drenagem, e em geral, não paralelas a foliação. As falhas são representadas por descontinuidades de zonas formadas pela repetição dos elementos texturais e

estruturais ao longo de alinhamentos, sendo essas zonas denominadas homólogas. O movimento dos blocos pode ser observado através do deslocamento lateral de zonas homólogas, ruptura e arrastos das feições lineares ao longo destes alinhamentos. As foliações podem ser representadas nas imagens por feições lineares de relevo e drenagem, paralelas ao traço do plano de assimetria de regiões com “*trends*” estruturais fortemente orientados (Sant’Anna & Santos 1996)

Segundo Veneziani (1987) a distinção entre lineamentos estruturais e falhamentos na interpretação dos produtos de sensoriamento remoto, é necessária pois os lineamentos não se restringem a um tipo de movimento tectônico, ou durante as diferentes fases tectônicas que afetaram uma determinada área. Além disso, uma zona de falha pode dar origem a diversos lineamentos paralelos e subparalelos, onde muitas fraturas associadas a uma zona de falha podem dar origem a um lineamento.

...

# CAPÍTULO 4

## METODOLOGIA

---

A metodologia deste trabalho pode ser dividida basicamente nas seguintes etapas: a) Revisão bibliográfica e obtenção da base cartográfica e mapas de apoio; b) cálculo dos parâmetros e análise morfométrica e c) validação dos dados em campo. Na primeira etapa teve-se o intuito de buscar informações sobre os atributos fisiográficos e geológicos da área em questão, além de obter os dados cartográficos em formato digital, para que na etapa seguinte fosse possível uma análise adequada no processamento dos parâmetros morfométricos.

No início do século XX, com o surgimento de novos conceitos e metodologias na Geomorfologia ocorreram algumas mudanças de teorias de evolução do relevo. Essas perspectivas são consequências da interdisciplinaridade entre ciências de diferentes áreas de conhecimento, como ocorre com a aplicação de modelos digitais de elevação (MDE) do terreno como base para realização de análises de sistemas geomorfológicos de escala regional e local. (Cherem 2008)

A análise morfométrica da bacia é definida a partir de parâmetros extraídos que devem ser estruturados na base de dados. Esses parâmetros serviram de base para avaliação das condições físicas da bacia e também para detecção de deformações relacionadas à tectônica recente. Para a geração desses parâmetros, é necessária a extração de atributos da bacia hidrográfica e da rede de drenagem. Esses atributos são extraídos do Modelo Digital do Terreno (MDT) e da rede hidrográfica sendo armazenados e processados em ambientes digitais (Coelho & Lana 2017).

### 4.1 OBTENÇÃO DA BASE CARTÓGRAFICA

Para análise fisiográfica e geológica da área de estudo, foram utilizados os dados disponíveis em diferentes referências bibliográficas. Para gerar os índices morfométricos é necessário configurar uma base cartográfica. Neste sentido utilizou-se do *software* ArcGis®, da empresa ESRI 10.3, responsável pela confecção dos produtos cartográficos necessários.

A bacia hidrográfica em estudo foi demarcada a partir do exutório (ponto de um curso d'água onde se dá todo o escoamento superficial gerando no interior uma bacia hidrográfica banhada por este curso) que dá origem ao Ribeirão Sardinha. Esta etapa foi feita manualmente conectando os pontos mais elevados, tendo por base as curvas de nível e os pontos cotados, e verificando se a água da chuva escoará sobre o terreno rumo às partes baixas, ou seja, cruzando perpendicularmente as curvas de nível, na direção do Ribeirão Sardinha.

As drenagens foram obtidas no endereço eletrônico da Agência Nacional de Águas (ANA), onde obteve-se a *shapefile* das drenagens da bacia do Rio São Francisco na escala 1:100000, no datum SIRGAS 2000, e a partir dessa *shape*, utilizou-se as ferramentas *Arctoolbox > Analysis Tools > Extract > Clip* para extrair as drenagens da área de estudo. O arquivo disponibilizado pela ANA continha informações a respeito da delimitação e nome dos cursos d'água e ordenação dos canais, disponíveis na suíte *Attribute Table*. Além disso, determinou-se a drenagem principal, sendo esta delimitada pelo Ribeirão Mango, tendo este canal maior vazão e extensão que aquele que dá nome a bacia, acrescido do trecho do Ribeirão Sardinha após a confluência destes dois ribeirões.

O mapa geológico foi elaborado a partir de uma compilação de dados, também em formato *shapefile*, do mapa geológico da carta de Ouro Preto, em escala 1:100000, do Projeto Triângulo Mineiro, disponibilizado pela Companhia de Desenvolvimento de Minas Gerais (CODEMIG) na página "Portal da Geologia". Os dados topográficos foram obtidos através da imagem SRTM SF-23-X-A disponível no site da EMBRAPA, no formato GEOTIFF (16 bits), com resolução espacial: 90 metros, com reamostragem de pixels para 30m, no *datum* WGS-84 de coordenadas projetadas.

Optou-se por utilizar o sistema de projeção SIRGAS 2000 durante o estudo, e para converter o *datum* utilizou-se das ferramentas *Arctoolbox > Data Management Tools > Projections and Transformations > Define Projection*.

## 4.2 CÁLCULO DOS PARÂMETROS E ANÁLISE MORFOMÉTRICA

O MDT é uma representação da superfície terrestre em formato *raster*, sendo os modelos *raster* os mais adequados para variáveis com distribuições mais suaves, no caso de superfície topográfica. Este modelo pode ser construído a partir da interpolação de pontos cotados ou de curvas de nível. Utilizando as ferramentas *Arctoolbox > Spatial Analyst > Superfície > Curva de Nível* as curvas de nível foram extraídas, e convertidas para a extensão *shapefile*. Utilizou-se deste último arquivo para gerar o arquivo TIN na extensão *3D Analyst > Data Management > TIN*. A partir da confecção do TIN, foi possível elaborar o mapa de declividade em porcentagem através das ferramentas *Spatial Analyst Tools > Surface > Slope*. As elevações também foram obtidas do arquivo TIN.

A área e o perímetro da bacia foram calculados através da ferramenta *Calculate Geometry* dentro da tabela de atributos da *shapefile* do contorno da bacia hidrográfica. Através da ferramenta *Calculate Geometry > Estatistic*, dentro da tabela de atributos da *shapefile* das drenagens e curvas de nível foram obtidas as informações: comprimento de cada curso d'água, comprimento total dos canais fluviais, comprimento médio dos canais, número de canais fluviais.

#### 4.2.1 Perfil Longitudinal

O perfil longitudinal foi obtido com a interpolação da *shapefile* da linha desejada do perfil com o arquivo TIN. Utilizou-se a extensão *3D Analyst Tools > Functional Surface > Interpolation shape*. Em seguida utilizou-se novamente a suíte *Functional Surface > Stack Profile* para gerar uma tabela, a partir do mesmo TIN, com os dados da rede de drenagens. A partir *dashapefile* gerada pelas operações anteriores, obteve-se o perfil longitudinal através da ferramenta *Profile Graph*. A extração de *knickpoints* e *knickzonas* de perfis longitudinais foi feita de modo visual e subjetivo.

#### 4.2.2 Índices Morfométricos Indicadores de Neotectônica

##### - Índice RDE (Relação Declividade–Extensão) ou Índice Hack

Os mecanismos adotados para se calcular o índice RDEtotal na bacia iniciam-se selecionando os principais cursos d'água da bacia, sendo estes cursos o Ribeirão Sardinha, o Ribeirão Mango. As cotas altimétricas e o comprimento das drenagens principais já foram obtidos quando estimou-se os aspectos físicos da bacia. Para a obtenção do índice RDEtrecho foram analisados diferentes trechos ao longo dos dois cursos principais. Foram escolhidos pontos, sobretudo, onde a drenagem apresenta cotovelos e/ou fortes inflexões e nos intervalos de anomalia do perfil longitudinal, e por fim, mediu-se a extensão horizontal de cada segmento de drenagem. Essas informações foram lançadas no *Excel* e assim foram calculados os índices RDEtotal. Os resultados obtidos serviram de base para a confecção dos outros parâmetros.

##### - Índice Razão Fundo/Altura de Vale (RFAV)

Para a aplicação deste índice teve-se como ponto de partida o traçado de perfis perpendiculares que cortem o canal de maior expressão dentro da bacia efetuando cortes transversais, abarcando os dois divisores de água em lados opostos com pontos altimétricos cotados. A localização desses perfis foi determinada por trechos onde há indicação de anomalias apontadas pelo Índice de Hack e de modo a abranger a bacia como um todo. Foram escolhidos, cinco perfis em cada sub-bacia, representando o início, meio e fim da drenagem principal. O perfil foi traçado utilizando as mesmas ferramentas, no Arcgis 10.3, usadas para a determinação dos perfis longitudinais das bacias. Após a confecção do perfil, selecionou-se a ferramenta *Advanced Properties > Data* para determinar os elementos da equação matemática. Dando sequência, foram escolhidos dois divisores de água com os pontos cotados definidos que se encontram em lados opostos na bacia, e para determinar a largura do fundo de vale mediu-se a distância entre as duas últimas curvas de nível de cada lado do canal fluvial. Em seguida, através dos valores encontrados e dos arquivos gerados foi possível determinar tais parâmetros.

#### - Fator de Simetria Transversal Topográfica (FSTT)

A aplicação deste índice exige o estabelecimento da linha média do eixo da bacia e de perfis perpendiculares ao canal principal. Em seguida utilizou-se da ferramenta *Calculate Geometry* dentro da tabela de atributos das *shapefiles* originadas para calcular a distância que estes perfis estão da nascente e os outros parâmetros necessários, explanados na equação. Estes perfis foram traçados em meio digital de forma que abrangesse a bacia como um todo.

#### - Fator de Assimetria da Bacia (FAB)

Para determinar o Fator de Assimetria da Bacia são fundamentais os valores da área total e da área de toda porção direita da bacia. Para alcançar os valores dessas áreas foi utilizado a ferramenta *Calculate Geometry* dentro da tabela de atributos das *shapefiles* de tais contornos da bacia e sub-bacias.

### 4.2.3 Lineamentos de drenagem e morfoestruturais

Os lineamentos foram determinados a partir das feições de drenagem e alinhamentos do relevo. Utilizou-se a imagem SRTM citada no sub capítulo de Revisão Bibliográfica e Obtenção da Base Cartográfica e por meio do mapa de drenagens, onde os lineamentos foram obtidos a partir de extração manual. Após a extração e vetorização destes, explorou-se as relações de disposição espacial e direcional a partir da configuração de um diagramas de roseta. Foi utilizado o programa *OpenStereo* para gerar as rosetas com os dados que consideram diferentes pesos para os diferentes comprimentos e frequências destes segmentos.

A ferramenta *AzimuthFinder* possui interface com o Arcgis e disponibiliza dois métodos de cálculo do azimute dos lineamentos. O método convencional de medidas é denominado de “frequência”, no qual cada lineamento, quando se roda o programa, terão o mesmo peso, independentemente de seus tamanhos relativos. No outro método, denominado método do “comprimento”, os lineamentos de maior comprimento têm maior peso que os menores, Neste caso, o programa calcula o peso de cada lineamento que é definido pelo número de vezes aproximado em que o comprimento do lineamento é maior que o menor valor de comprimento de lineamento existente quando o peso de um lineamento for maior que 1(Coelho & Lana 2017). Desta forma, gera-se uma tabela, e está é exportada para os *softwares* específicos de análise estrutural.

### **4.3 VALIDAÇÃO DOS DADOS EM CAMPO**

Após a análise dos índices morfométricos realizou-se uma excursão de campo no intuito de validar os dados obtidos em busca de feições estruturais, morfoestruturais e/ou morfoesculturais. O roteiro da excursão foi elaborado afim de abranger os quatro pontos em que o RDE e o RFAV apresentaram valores anômalos, e dois segmentos onde o Índice de Hack apresentou resultados extremamente altos, porém o RFAV não apontou anomalia. Para tanto fez-se se a confecção de mapas na escala de 1:25.000 através do software ArcGis®, onde traçou-se as rotas a serem percorridas e utilizou-se materiais como bussola, GPS e caderneta, afim de auxiliar nas atividades de campo.

...

## CAPÍTULO 5

### APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS DADOS

---

#### 5.1 CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DA BACIA

O ordenamento dos canais foi obtido através da tabela de atributos da *shapefile* de drenagens disponibilizadas pela Agência Nacional de Águas, e hierarquização das bacias foi concebida a partir desse ordenamento de drenagem, realizado para a bacia hidrográfica do Ribeirão Sardinha como um todo, aqui denominada como “bacia da drenagem principal”. A hierarquia dos canais é importante na análise de estruturas geológicas, principalmente as fraturas, uma vez que os drenos de ordem inferior serão os principais responsáveis para a indicação da movimentação neotectônica, enquanto os de ordem mais elevada estão relacionados a estruturas regionais mais antigas (Lima 2006), sendo assim os canais de primeira, segunda e terceira ordem refletem condições tectônicas sin e pós sedimentação Quaternária (Luceda 1999). O Quadro 5.1 explana os resultados obtidos.

Quadro 5.1- Hierarquia dos canais

| Hierarquia   | Número de canais | Comprimento Total (km) | Comprimento médio (km) |
|--------------|------------------|------------------------|------------------------|
| 1ª Ordem     | 345              | 190,64                 | 0,55                   |
| 2ª Ordem     | 63               | 62,64                  | 0,36                   |
| 3ª Ordem     | 19               | 27,39                  | 0,39                   |
| 4ª Ordem     | 3                | 23,86                  | 0,42                   |
| 5ª Ordem     | 1                | 18,36                  | 0,57                   |
| 6ª Ordem     | 1                | 4,34                   | 0,54                   |
| <b>Total</b> | <b>430</b>       | <b>304,53</b>          | <b>-</b>               |

De acordo com Ramalho Filho & Beck (1995 *in* Santos, 2008), as declividades podem ser divididas em intervalos, e a partir destes, classificar o relevo em questão. A Embrapa (1979) classificou esses intervalos da seguinte maneira: de 0-3%, o relevo é classificado como plano; 3-8%, é considerado um relevo suavemente ondulado; 8-20%, têm-se um relevo ondulado; 20-45%, classifica-se como fortemente ondulado; 45-75%, o relevo é dito montanhoso; e declividades > 75%, o relevo é escarpado, ou fortemente montanhoso. Em consequente, tem-se os quadros com as classificações dos relevos da bacia da drenagem principal, e das sub-bacias do Ribeirão Sardinha e Mango e a Figura 5.1 ilustra as declividades da bacia da drenagem principal.

Quadro 5.4 - Distribuição do relevo da bacia da drenagem principal nas classificações altimétricas

| <b>Classe de Declividade (%)</b> | <b>Relevo (Embrapa - 1979)</b> | <b>Área (km<sup>2</sup>)</b> | <b>%</b> |
|----------------------------------|--------------------------------|------------------------------|----------|
| 0 a 3                            | Plano                          | 1,66                         | 2,69     |
| 3 a 8                            | Suave ondulado                 | 5,45                         | 8,84     |
| 8 a 20                           | Ondulado                       | 27,45                        | 44,53    |
| 20 a 45                          | Fortemente ondulado            | 26,45                        | 42,90    |
| 45 a 75                          | Montanhoso                     | 0,63                         | 1,02     |
| >75                              | Fortemente montanhoso          | -                            | -        |

Quadro 5.3 - Distribuição do relevo da sub-bacia do Ribeirão Sardinha nas classificações altimétricas

| <b>Classe de Declividade (%)</b> | <b>Relevo (Embrapa - 1979)</b> | <b>Área (km<sup>2</sup>)</b> | <b>%</b> |
|----------------------------------|--------------------------------|------------------------------|----------|
| 0 a 3                            | Plano                          | 3,14                         | 2,78     |
| 3 a 8                            | Suave ondulado                 | 10,78                        | 9,54     |
| 8 a 20                           | Ondulado                       | 53,46                        | 47,31    |
| 20 a 45                          | Fortemente ondulado            | 44,71                        | 39,57    |
| 45 a 75                          | Montanhoso                     | 0,94                         | 0,83     |
| >75                              | Fortemente montanhoso          | 0,00                         | -        |

Quadro 5.2- Distribuição do relevo da sub-bacia do Ribeirão Mango nas classificações altimétricas

| <b>Classe de Declividade (%)</b> | <b>Relevo (Embrapa - 1979)</b> | <b>Área (km<sup>2</sup>)</b> | <b>%</b> |
|----------------------------------|--------------------------------|------------------------------|----------|
| 0 a 3                            | Plano                          | 1,45                         | 2,84     |
| 3 a 8                            | Suave ondulado                 | 5,25                         | 10,29    |
| 8 a 20                           | Ondulado                       | 25,80                        | 50,56    |
| 20 a 45                          | Fortemente ondulado            | 18,24                        | 35,74    |
| 45 a 75                          | Montanhoso                     | 0,30                         | 0,59     |
| >75                              | Fortemente montanhoso          | -                            | -        |

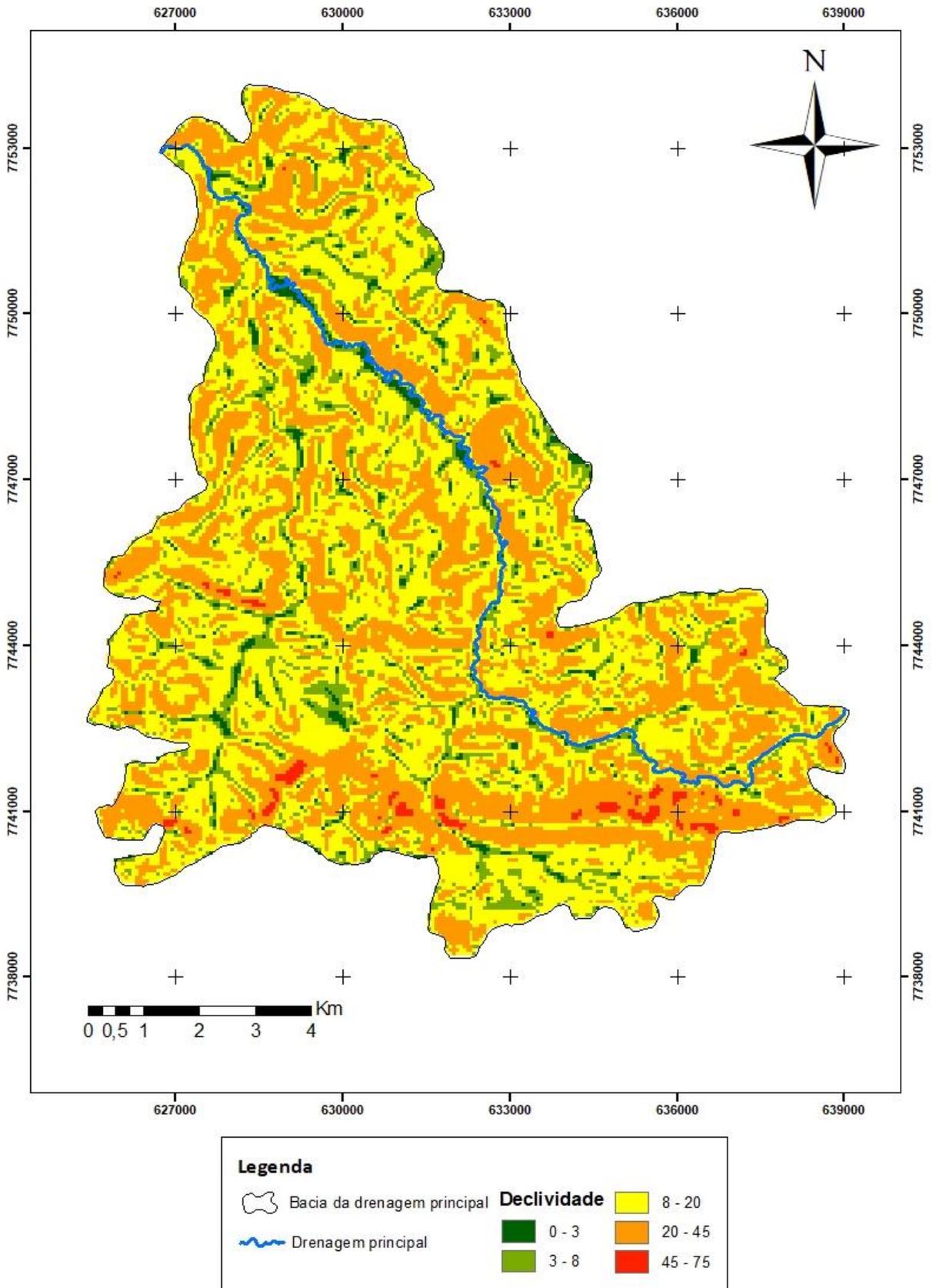


Figura 5.1- Mapa de Declividade (%) da bacia da bacia da drenagem principal.

As análises das declividades da bacia estão ligadas à energia disponível para os processos geomorfológicos nas vertentes e nos canais fluviais. A bacia da drenagem principal tem mais de 85% de seu relevo classificado como ondulado e fortemente ondulado (Figura 5.1). O relevo montanhoso aparece nas proximidades de uma falha de empurrão na porção sul da bacia, ao longo dos grupos

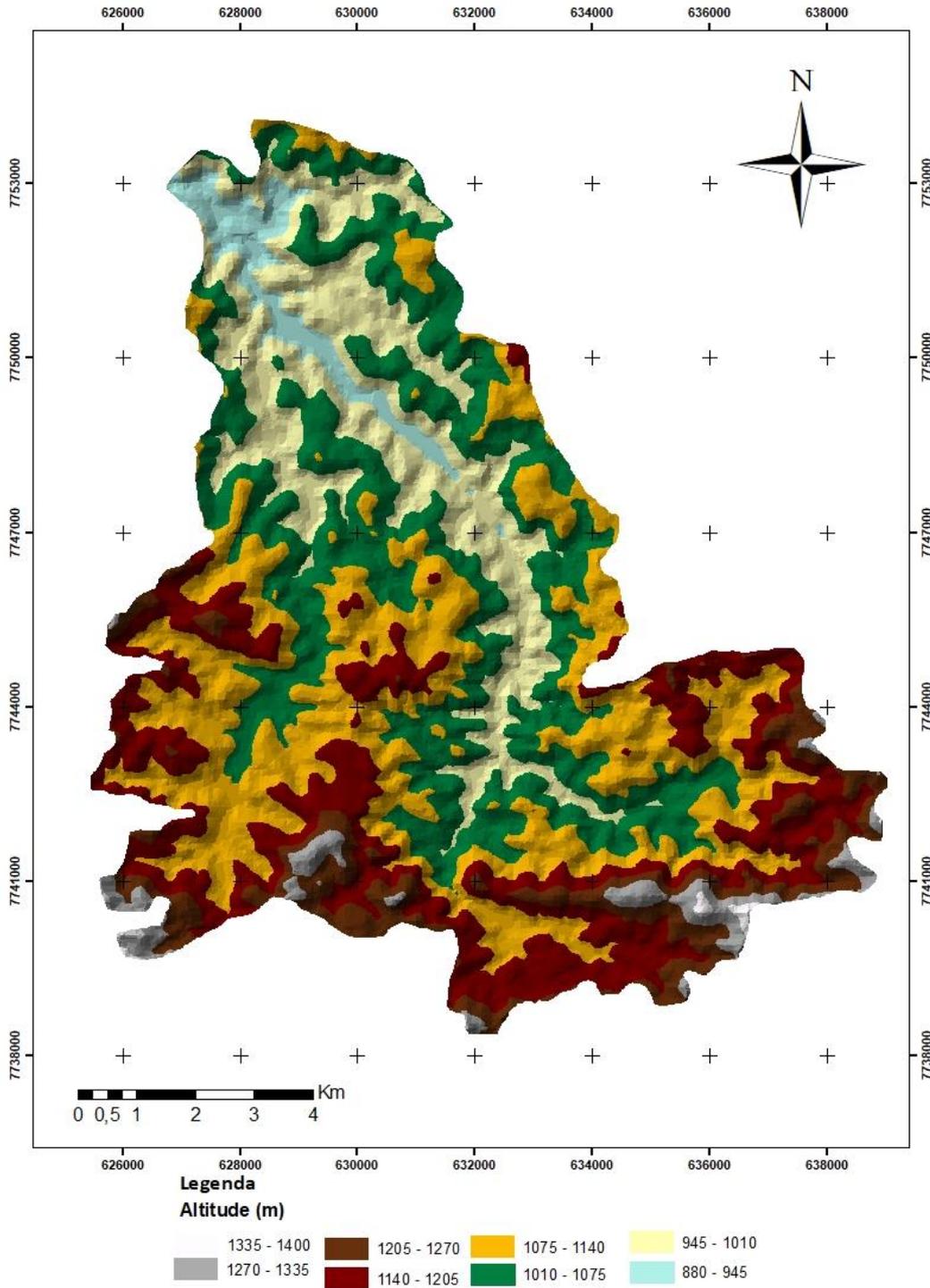


Figura 5.2 - Mapa Hipsométrico da bacia da drenagem principal.

## Sabará e Piracicaba

A Embrapa (1979) define o relevo fortemente ondulado como sendo uma superfície de topografia movimentada formada por outeiros e morros, com elevações de 100 a 200 metros de altitude relativa, enquanto o relevo ondulado é aquele que possui superfície pouco movimentada, constituída por um conjunto de colinas e outeiros. O relevo montanhoso por sua vez é definido como superfície de topografia vigorosa, com predominância de formas acidentadas, usualmente constituída por morros, montanhas, maciços montanhosos e alinhamentos montanhosos.

Os intervalos altimétricos da bacia situam-se entre de 880 a 1400 metros e a altitude média é de 1101,95 metros, como explanado na Figura 5.2. As cotas altimétricas de maior expressão, estão no alto curso, na porção sul da bacia, e ocupam menos de 1% da área. As cotas de menor expressão ocupam 3,33% da área e estão localizadas próximas a foz do Ribeirão Sardinha. Mais da metade da área da bacia está inserida no intervalo de 1010 a 1140, onde as altitudes aumentam no sentido norte-sul.

## 5.2 PERFIS LONGITUDINAIS

O perfil longitudinal é uma representação visual da relação entre as altitudes da bacia com o comprimento do rio principal. A seguir, explana-se uma análise dos perfis dos principais cursos d'água da bacia.

### 5.2.1 Bacia da drenagem principal

O perfil longitudinal da drenagem principal apresenta trechos em soerguimento e subsidência, apresentando 5 rupturas de gradiente (*knickzones*) representadas por porções convexas na linha do perfil. A conformação convexa dos perfis representam áreas com altas taxas de elevação, expressando a acumulação interna e externa do rio, que é decorrente de soerguimento com taxas mais elevadas do que as de denudação, como uma zona de falha ativarefletindo o movimento da estrutura (Chen *et al.* 2006). As linhas de perfil que são quase retas e ligeiramente côncavas sugerem áreas de taxas de elevação intermediária e baixa. A nascente da drenagem principal, que vem a ser também a nascente do Ribeirão Mango, encontra-se inserida litologicamente nos filitos da Formação Fecho do Funil.

Os primeiros desníveis observados ocorrem em torno de 1175 metros de altitude, próximo aos 2000 metros de distância da nascente, e a 8000 metros da nascente, numa altitude de aproximadamente 1000 metros, como pode ser observado na Figura 5.3. Nestas localidades, a drenagem principal se encontra na zona de charneira do Sinclinal Dom Bosco, e tais rupturas de gradiente podem indicar reativação das *nappes decharriage*/ou da falha de empurrão no sul da bacia. O primeiro *knickpoint*

pode também ser resultado de um contraste litológico do filito, rocha pouco permeável, para o dolomito, rocha porosa e abundante nessa região, onde aflora a formação Fecho do Funil. Além disso, onde observa-se a segunda ruptura de gradiente há uma mudança brusca da direção do canal de oeste-noroeste para norte. Entre 12000 e 20000 metros, nota-se um baixo desnível na curva plotada, sendo este o trecho do curso d'água que apresenta maior padrão de canal sinuoso, onde é possível observar meandros comprimidos. Este *knickpoint* pode sugerir que há introdução de uma carga sedimentar grossa por tributários ou diferença nos níveis de base, uma vez que a drenagem percorre os gnaisses e migmatitos do Complexo Bação, não havendo contraste litológico. As duas outras concavidades, observadas a 24000 metros da nascente e aproximadamente 940 metros de altitude; e a 27000 metros de distância da nascente e cerca de 900 metros de elevação, podem estar atribuídas a diferença entre o nível de base e o topo dos morros.

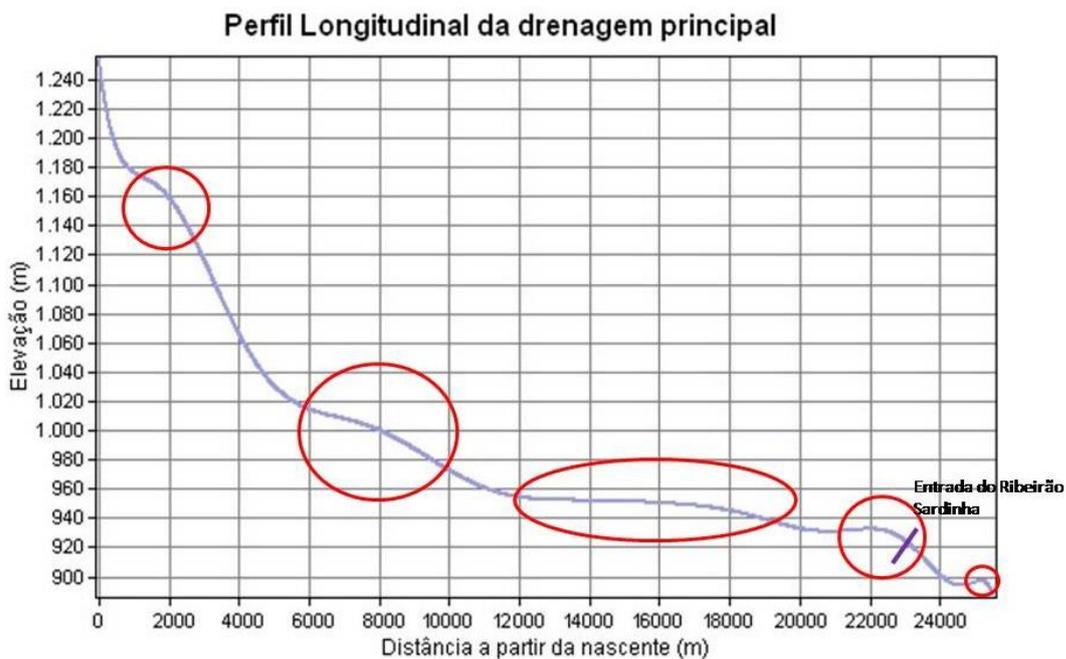


Figura 5.3- Perfil longitudinal da bacia da drenagem principal

### 5.2.2 Sub-bacia do Ribeirão Sardinha

O perfil longitudinal do Ribeirão Sardinha apresenta 4 conformações convexas indicando uma quebra de ruptura de gradiente. O primeiro *knickpoint* se encontra a 2000 metros da drenagem após as cabeceiras, que estão inseridas litologicamente no do Grupo Piracicaba, onde predominam quartzitos e filitos, a 1100 metros. Esse desnível pode estar associado a reativação das *nappes de charriagee*/ou da falha de empurrão no sul da bacia.

A aproximadamente 6000 metros de distância da nascente e com altitude variando entre 1040 e 1060 metros, encontra-se uma conformidade convexa que coincide com o trecho do curso d'água que está envolvido por uma cobertura aluvial originado no Quaternário, composta por cascalho e areia, podendo indicar soerguimento da região. Próximos aos 12000 metros de distância das cabeceiras, com elevações próximas a 985 metros nota-se outro *knickpoint*, onde é possível observar um tributário que faz um ângulo obtuso com o Ribeirão Sardinha, podendo indicar confluência com tributário de caudal expressivo ou forte controle estrutural por reativação das falhas indiscriminadas a oeste na porção central da bacia. Este desnível aparece incluso no Complexo Bação, onde predominam gnaisses e migmatitos. Outro *knickpoint* ocorre a aproximadamente 16000 metros, onde as elevações estão em torno de 920 metros. A última ruptura de gradiente é também representada no perfil longitudinal da bacia da drenagem principal, uma vez que o Ribeirão Sardinha compõe tal curso d'água. Estes desníveis podem estar associados a mudanças do nível de base. A Figura 5.4 ilustra tais *knickzones*.

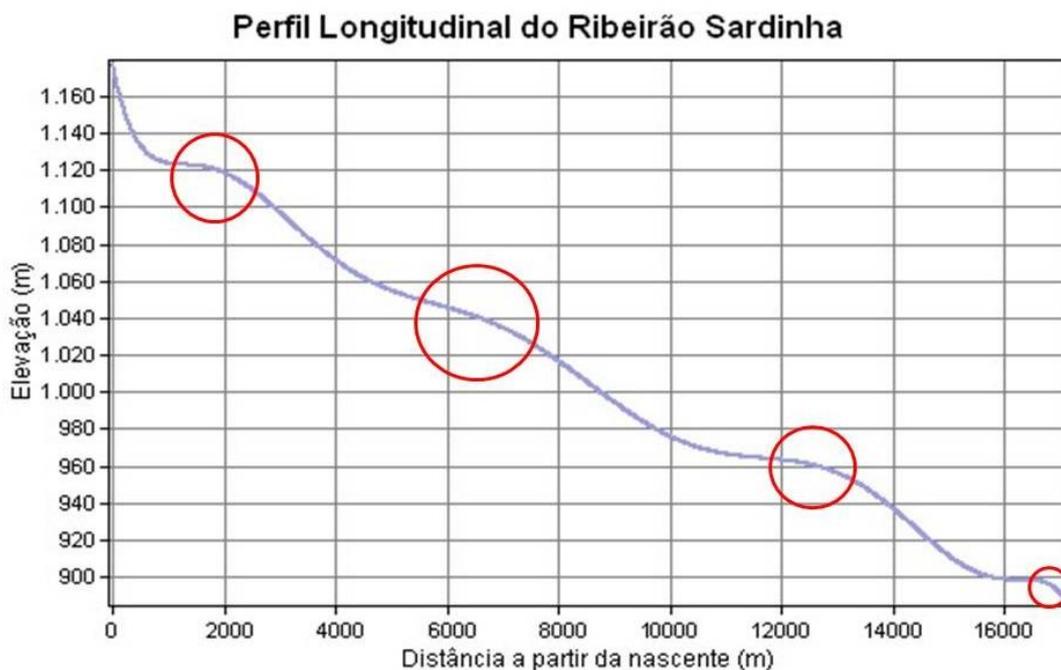


Figura 5.4 - Perfil Longitudinal do Ribeirão Sardinha

### 5.2.3 Sub-bacia do Ribeirão Mango

O Ribeirão Mango está contido na drenagem principal, sendo assim apresenta inflexões nos mesmos pontos que tal curso d'água. A Figura 5.5 mostra como os perfis longitudinais são equivalentes até 2322 metros de distância da nascente, na foz do ribeirão em questão.

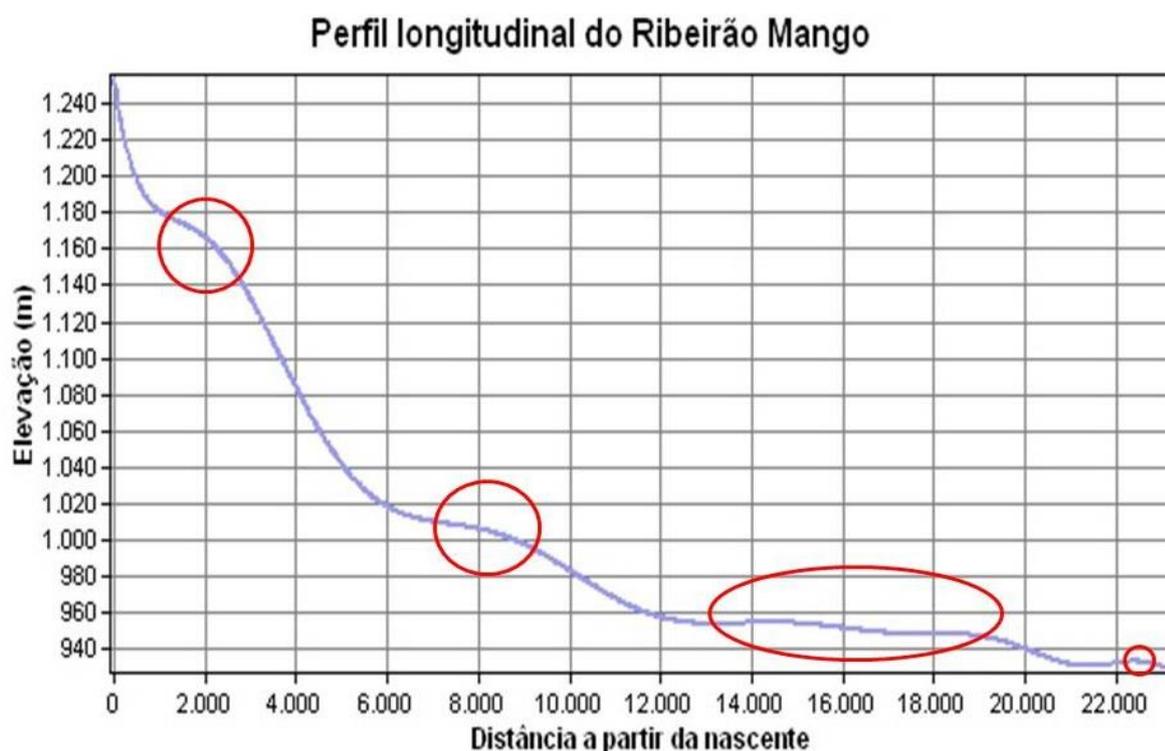


Figura 5.5 - Perfil longitudinal do Ribeirão Mango

### 5.3 ÍNDICES GEOMORFOMÉTRICOS INDICADORES DE NEOTECTÔNICA

Os resultados obtidos através dos índices morfométricos apresentam-se a seguir.

#### 5.3.1 Bacia da drenagem principal

- Fator de Simetria Transversal Topográfica (FSTT) e Fator de Assimetria da Bacia (FAB)

Na bacia da drenagem principal optou-se por não realizar as operações do Índice de Hack e do Índice Razão Fundo/Altura de Vale uma vez que os parâmetros obtidos nos cálculos para os ribeirões Sardinha e Mango abrangem a drenagem principal como um todo. Além disso, houve o receio de obter resultados conflitantes.

Os dois índices em questão se propõem a mensurar a assimetria da bacia. O valor encontrado para o FAB foi de 33,60, o que indica um basculamento da margem esquerda da bacia, que se traduz no soerguimento do bloco a oeste da drenagem principal, onde é possível observar uma menor densidade de drenagens. O valor em módulo do resultado do FAB subtraído de 50 foi 16,39, indicando assim um alto grau de intensidade de assimetria. Os valores mais altos encontrados para o FSTT foram verificados nas seções 2, 6 e 7, como pode ser observado no Quadro 5.5. Porém a maioria dos valores foi baixa, chegando a 0,06 na seção 5, onde a drenagem principal aparece extremamente próxima a

linha média do eixo da bacia. Nas proximidades da nascente, o curso d'água apresenta certo distanciamento da linha média, e volta a se distanciar consideravelmente desta linha na porção central da bacia. A média dos valores obtidos é de 0,33, que é considerado um grau baixo de anomalia, destoando do resultado de FAB.

Quadro 5.5 - Resultados do FSTT na drenagem principal

| <b>Bacia da drenagem principal</b> |                                                            |                                                             |             |                                   |                                  |
|------------------------------------|------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------|-------------|-----------------------------------|----------------------------------|
| <b>Seção</b>                       | <b>Distância entre a linha média da bacia e o talvegue</b> | <b>Distância entre a linha média da bacia e seu divisor</b> | <b>FSTT</b> | <b>Distância da nascente (km)</b> | <b>Direção do Distanciamento</b> |
| <b>1</b>                           | 1,07                                                       | 2,30                                                        | 0,46        | 2,12                              | Margem esquerda                  |
| <b>2</b>                           | 1,07                                                       | 2,14                                                        | 0,50        | 3,72                              | Margem esquerda                  |
| <b>3</b>                           | 0,41                                                       | 2,52                                                        | 0,16        | 6,59                              | Margem direita                   |
| <b>4</b>                           | 0,88                                                       | 4,67                                                        | 0,19        | 7,72                              | Margem direita                   |
| <b>5</b>                           | 0,28                                                       | 4,42                                                        | 0,06        | 9,44                              | Margem esquerda                  |
| <b>6</b>                           | 2,77                                                       | 4,92                                                        | 0,56        | 12,26                             | Margem direita                   |
| <b>7</b>                           | 1,92                                                       | 3,37                                                        | 0,57        | 15,83                             | Margem direita                   |
| <b>8</b>                           | 0,54                                                       | 2,41                                                        | 0,22        | 18,97                             | Margem direita                   |
| <b>9</b>                           | 0,42                                                       | 3,24                                                        | 0,13        | 21,29                             | Margem esquerda                  |
| <b>10</b>                          | 1,20                                                       | 2,57                                                        | 0,47        | 24,16                             | Margem esquerda                  |

### 5.3.2 Sub-bacia do Ribeirão Sardinha

- Índice RDE (Relação Declividade–Extensão) ou Índice Hack

Para que o cálculo das anomalias fosse realizado calculou-se primeiro o RDE total das drenagens principais da bacia. Ambos cursos d'água submetidos a análise morfométrica apresentam mais trechos com anomalias do que sem elas. Isso pode ser também resultado da grande variedade litológica que a região apresenta. O Quadro 5.6 explana os valores obtidos para os três cursos d'água.

Quadro 5.6 - Valores obtidos para o RDE total

| <b>RDE (Total)</b>        |              |                       |                  |                                  |             |            |
|---------------------------|--------------|-----------------------|------------------|----------------------------------|-------------|------------|
| <b>Nome</b>               | <b>L (m)</b> | <b>H nascente (m)</b> | <b>H foz (m)</b> | <b><math>\Delta H</math> (m)</b> | <b>In L</b> | <b>RDE</b> |
| <b>Drenagem principal</b> | 2755,78      | 1257,34               | 880,00           | 377,34                           | 7,92        | 47,64      |
| <b>Ribeirão Sardinha</b>  | 1858,42      | 1187,85               | 882,96           | 304,89                           | 7,53        | 40,50      |
| <b>Ribeirão Mango</b>     | 2322,15      | 1267,35               | 930,00           | 337,35                           | 7,75        | 43,53      |

Após estes cálculos, calculou-se o índice para 34 trechos no ribeirão em questão, sendo que 12 destes trechos apresentam anomalias de primeira ordem, num total de 6,04 quilômetros de trechos anômalos, e 16 trechos apresentam anomalias de segunda ordem, totalizando 8,71 quilômetros. Os maiores valores encontrados foram de 31,41, 26,86 e 25,58 localizados a, respectivamente 13,14,

18,56e 14,40 quilômetros de distância da nascente. O ribeirão em questão possui apenas 3,84 quilômetros de trechos sem anomalias, onde aproximadamente 80% da extensão do curso d'água apresenta anomalias. Os resultados podem ser observados na Figura 5.6a seguir.

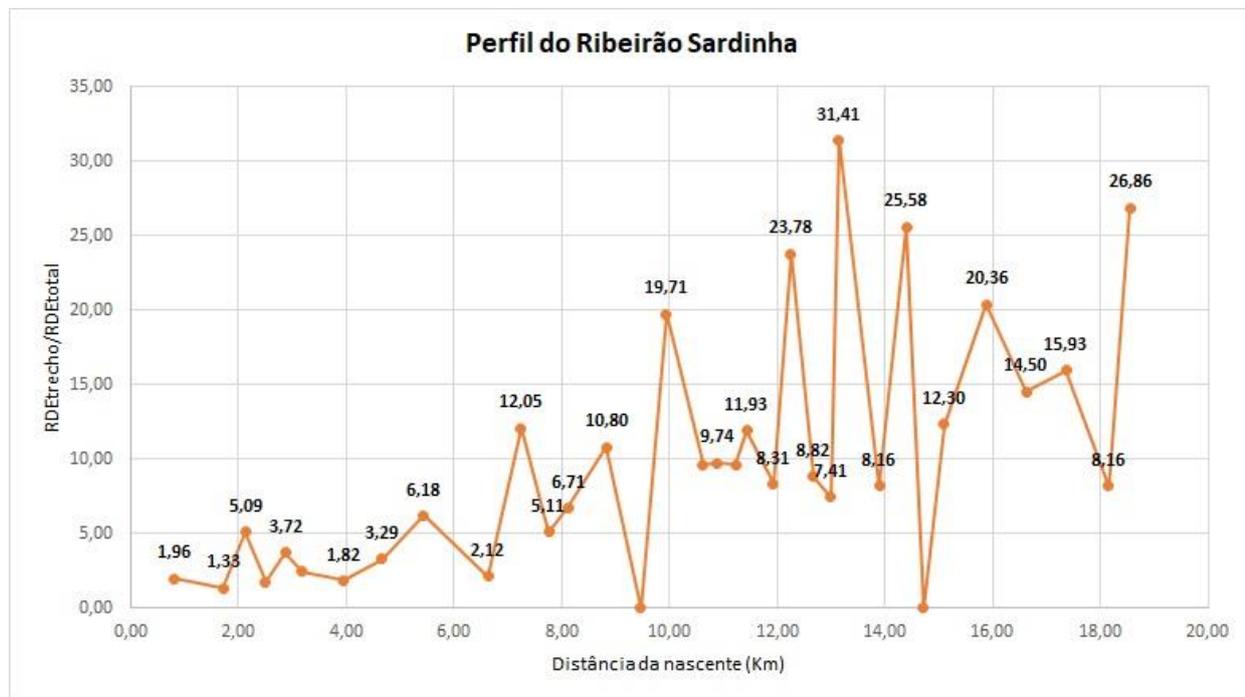


Figura 5.6 - Valores obtidos no cálculo do RDE trecho

Ao se comparar os valores do RDE trecho com o perfil longitudinal do Ribeirão Sardinha, nota-se que as *knickzones* encontradas em tal perfil coincidem com os valores calculados nos trechos do ribeirão em estudo, com exceção do primeiro *knickpoint*. A Figura 5.7 mostra a distribuição das anomalias no Ribeirão Sardinha.

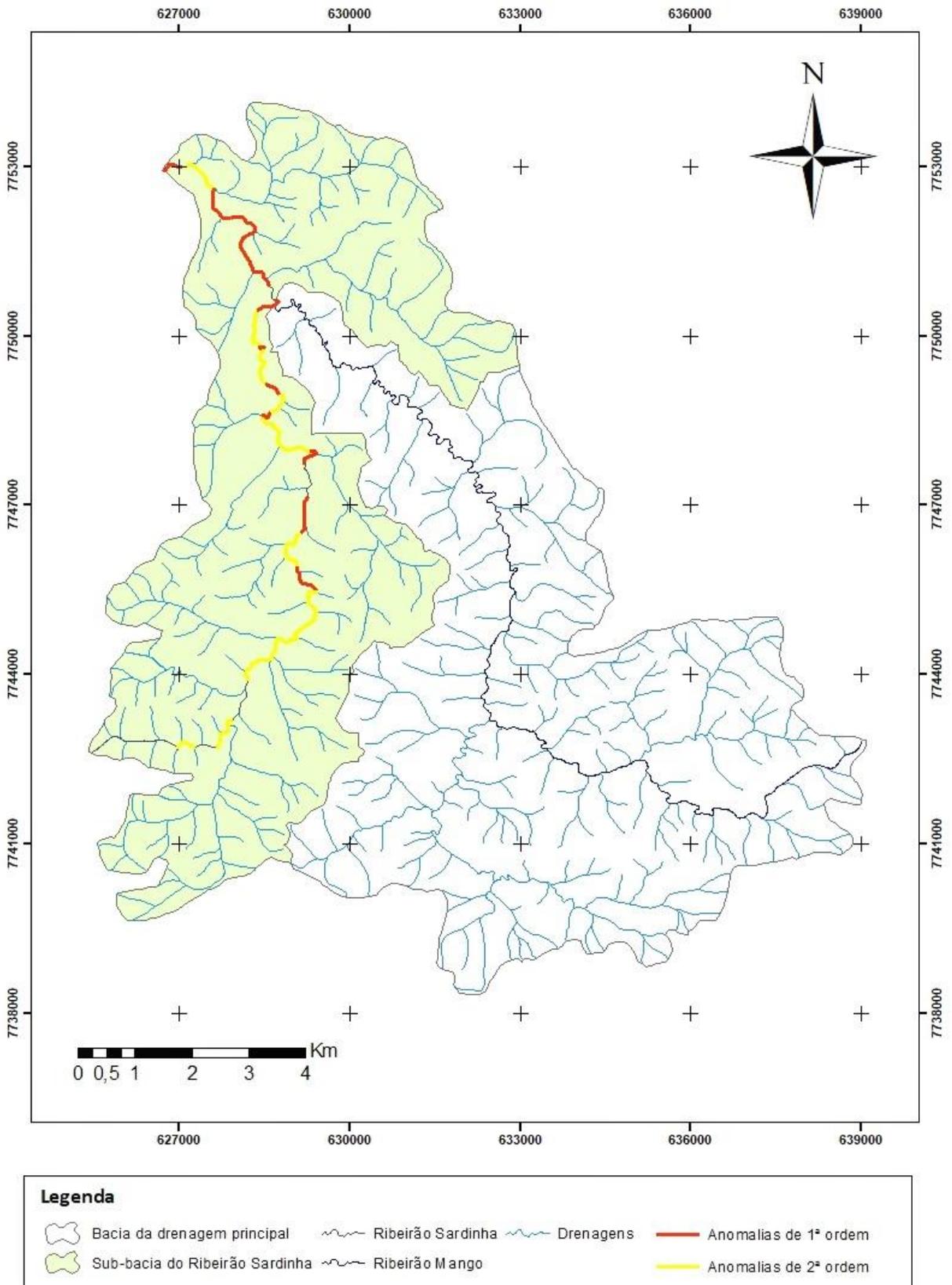


Figura 5.7 - Anomalias de primeira e segunda ordem no Ribeirão Sardinha

### - Índice Razão Fundo/Altura de Vale (RFAV)

Segundo El Hamdouni *et al.* (2008), os vales com um formato de U geralmente possuem altos valores de RFAV, enquanto valores em V apresentam valores relativamente baixos, sendo estes valores estão associados a maiores taxas de soerguimento e incisão. Os valores obtidos no cálculo deste parâmetro foram anômalos nos perfis 4 e 5, onde o primeiro perfil está inserido num trecho com anomalia de primeiro grau de valor 20,36, e o segundo está inserido num trecho com anomalia de segundo grau, porém há uma grande proximidade com uma anomalia de valor 26,86 no final da drenagem. Os valores para o RFAV destes perfis são respectivamente, 0,81 e 0,39 e indicam vertentes íngremes e convexas podendo apresentar anomalias como erosão acelerada, que segundo Casseti (1994) podem ser influenciadas por soerguimento tectônico, com os mecanismos epirogenéticos positivos, responsáveis pela reativação da erosão remontante. O Quadro 5.7 exibe os valores obtidos do parâmetro em questão e a Figura 5.8 mostra a localização dos perfis na sub-bacia.

Quadro 5.7- Resultados de RFAV para os perfis da sub-bacia do Ribeirão Sardinha

| Perfil | RFAV |
|--------|------|
| 1      | 8,96 |
| 2      | 4,80 |
| 3      | 8,57 |
| 4      | 0,81 |
| 5      | 0,39 |

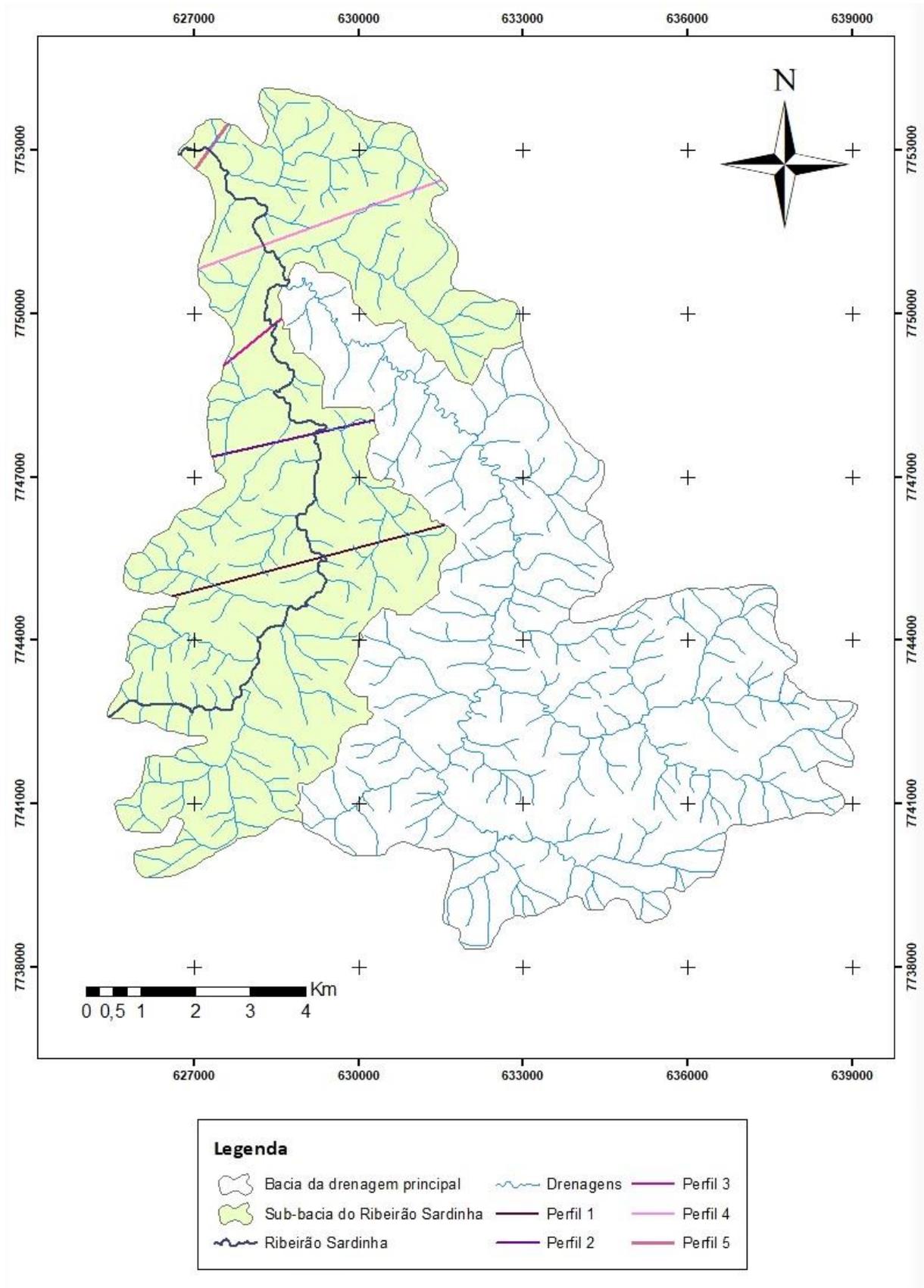


Figura 5.8- Perfis para o cálculo de RFAV da sub-bacia do Ribeirão Sardinha

- Fator de Simetria Transversal Topográfica (FSTT) e Fator de Assimetria da Bacia (FAB)

Os maiores resultados para o FSTT na sub-bacia do Ribeirão Sardinha foram verificados nas seções 9 e 7, sendo eles, respectivamente, 0,76 e 0,61, onde nas proximidades da seção 9 há um deslocamento acentuado do curso d'água principal para a margem esquerda, e próximo a seção 7 o Ribeirão Sardinha se encontra muito perto da margem direita. As seções 4, 3 e 1 possuem os menores valores do parâmetro calculado, sendo eles respectivamente, 0,04, 0,07 e 0,08 ilustrando uma grande proximidade da drenagem principal e a linha média da bacia. Sendo assim, a assimetria da bacia aumenta de sul para norte, à medida que se aproxima da foz do Ribeirão em questão. Estes valores estão em sintonia com os valores encontrados em RFAV. O valor médio das anomalias foi de 0,32 indicando uma baixo grau de assimetria. O Quadro 5.8 mostra os valores obtidos para este fator.

Quadro 5.8 - Resultados do FSTT na sub-bacia do Ribeirão Sardinha

| <b>Sub-bacia Ribeirão Sardinha</b> |                                                            |                                                             |             |                                   |                                  |
|------------------------------------|------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------|-------------|-----------------------------------|----------------------------------|
| <b>Seção</b>                       | <b>Distância entre a linha média da bacia e o talvegue</b> | <b>Distância entre a linha média da bacia e seu divisor</b> | <b>FSTT</b> | <b>Distância da nascente (km)</b> | <b>Direção do Distanciamento</b> |
| <b>1</b>                           | 0,26                                                       | 2,87                                                        | 0,09        | 2,17                              | Margem esquerda                  |
| <b>2</b>                           | 0,70                                                       | 2,62                                                        | 0,27        | 4,86                              | Margem direita                   |
| <b>3</b>                           | 0,17                                                       | 2,24                                                        | 0,07        | 7,10                              | Margem esquerda                  |
| <b>4</b>                           | 0,08                                                       | 1,97                                                        | 0,04        | 8,60                              | Margem direita                   |
| <b>5</b>                           | 0,51                                                       | 1,51                                                        | 0,34        | 9,73                              | Margem direita                   |
| <b>6</b>                           | 0,34                                                       | 0,87                                                        | 0,39        | 12,42                             | Margem direita                   |
| <b>7</b>                           | 0,35                                                       | 0,58                                                        | 0,61        | 13,66                             | Margem direita                   |
| <b>8</b>                           | 0,52                                                       | 1,73                                                        | 0,30        | 15,29                             | Margem esquerda                  |
| <b>9</b>                           | 1,11                                                       | 1,46                                                        | 0,76        | 17,33                             | Margem esquerda                  |

Por sua vez, o FAB indicou um alto grau de assimetria da bacia, onde o valor em módulo do resultado subtraído de 50 foi 15,53. O valor obtido do fator em si foi 65,53, que sugere um basculamento da margem direita da bacia, sendo este o bloco a leste da drenagem principal dessa sub-bacia.

### 5.3.3 Sub-bacia do Ribeirão Mango

- Índice RDE (Relação Declividade–Extensão) ou Índice Hack

Os valores obtidos no cálculo do índice mostram que dos 41 trechos, há 37 que apresentam anomalias, sendo que 17 desses trechos apresentam anomalias de primeira ordem e 20 apresentam anomalias de segunda ordem. Os trechos com anomalia de primeira ordem compõem 8,12 quilômetros

de extensão do Ribeirão Mango, e os de segunda ordem por sua vez, compõem 12,24 quilômetros. Em apenas 2,86 quilômetros não foram detectadas anomalias, o que corresponde a 12,32% do comprimento da drenagem. A Figura 5.9 elucida tais valores.



Figura 5.9 - Valores obtidos no cálculo do RDE trecho

Os maiores valores encontrados foram de 66,37, 59,56 e 45,58 a uma distância de, respectivamente, 18,96, 17,02 e 19,27 quilômetros da nascente. Quando comparado ao perfil longitudinal do Ribeirão Mango, o perfil acima corresponde com a maioria das *knickzones* observadas. Na primeira *knickzone* os valores calculados foram baixos, porém é possível notar que aparecem algumas anomalias de segunda ordem nessa região. A segunda ruptura de gradiente também está indicada por anomalias de segunda ordem. A terceira *knickzone*, que se encontra entre 12000 e 20000 metros, é onde se encontram os maiores valores das anomalias, apresentando uma disparidade com o perfil longitudinal onde a anomalia é discreta, predominando anomalias de primeiro grau. O último desnível, que no perfil da drenagem principal indica a região de confluência dos Ribeirões Sardinha e Mango, corresponde a uma anomalia de primeira ordem. A Figura 5.10 exibe as anomalias detectadas no Ribeirão Mango.

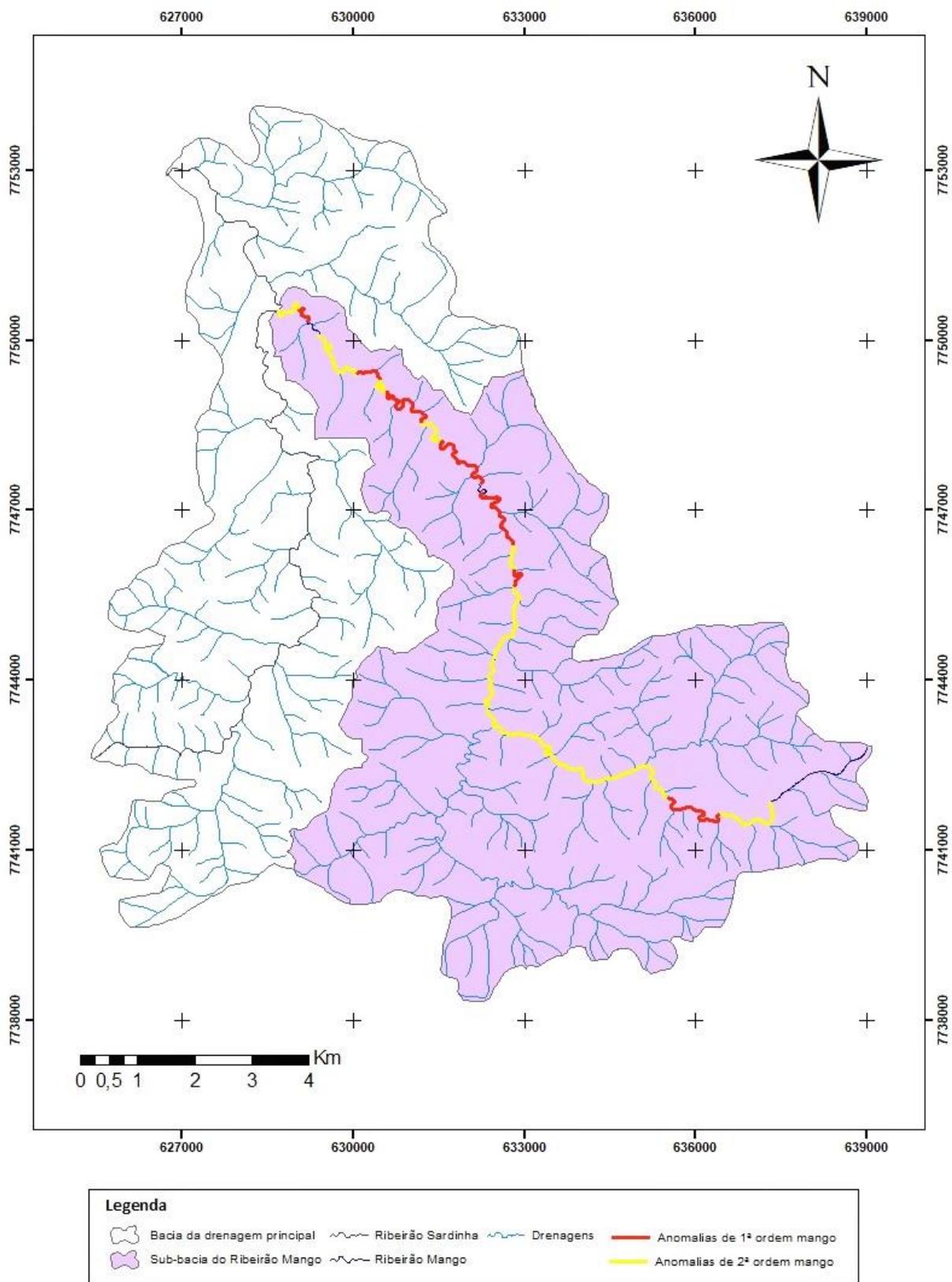


Figura 5.10 – Anomalias de primeira e segunda ordem no Ribeirão Mango

- Índice Razão Fundo/Altura de Vale (RFAV)

Os valores obtidos nos cálculos deste parâmetro também apresentaram anomalias em 2 dos 5 perfis traçados na sub-bacia do Ribeirão Mango, onde os três perfis traçados mais próximos a confluência com o Ribeirão Sardinha apresentaram valor superior a 1, como mostra o Quadro 5.1. Os menores valores foram 0,07 e 0,80, sendo o primeiro extremamente baixo para uma adjacência de uma margem continental do tipo passiva. Os perfis 1,3,4 e 5 foram traçados em trechos com anomalias de primeira ordem nos valores de, respectivamente, 13,93, 59,56,66,37e 38,68. O perfil 2 foi projetado em um trecho que apresenta anomalia de segunda ordem calculada em 7,53. El Hamdouni *et al.* (2008) sugerem que em estudos complementares os valores menores que 0,5 indicam leques íngremes recebendo sedimentos no Holoceno Superior, desencadeada por taxas de elevação variando de 1 a 5 m / ka. Rockwell *et al.* (1984) *apud* El Hamdouni *et al.* (2008) aludem que taxas de elevação em torno de 0,4-0,5 m / ka são atribuídas a valores mais próximos de 1, onde o soerguimento é menos acentuado. A Figura 5.11 explica os locais onde foram traçados os perfis.

Quadro 5.9- Resultados de RFAV para os perfis traçados na sub-bacia do Ribeirão Mango

| Perfil | RFAV |
|--------|------|
| 1      | 0,07 |
| 2      | 0,80 |
| 3      | 1,66 |
| 4      | 1,36 |
| 5      | 4,90 |

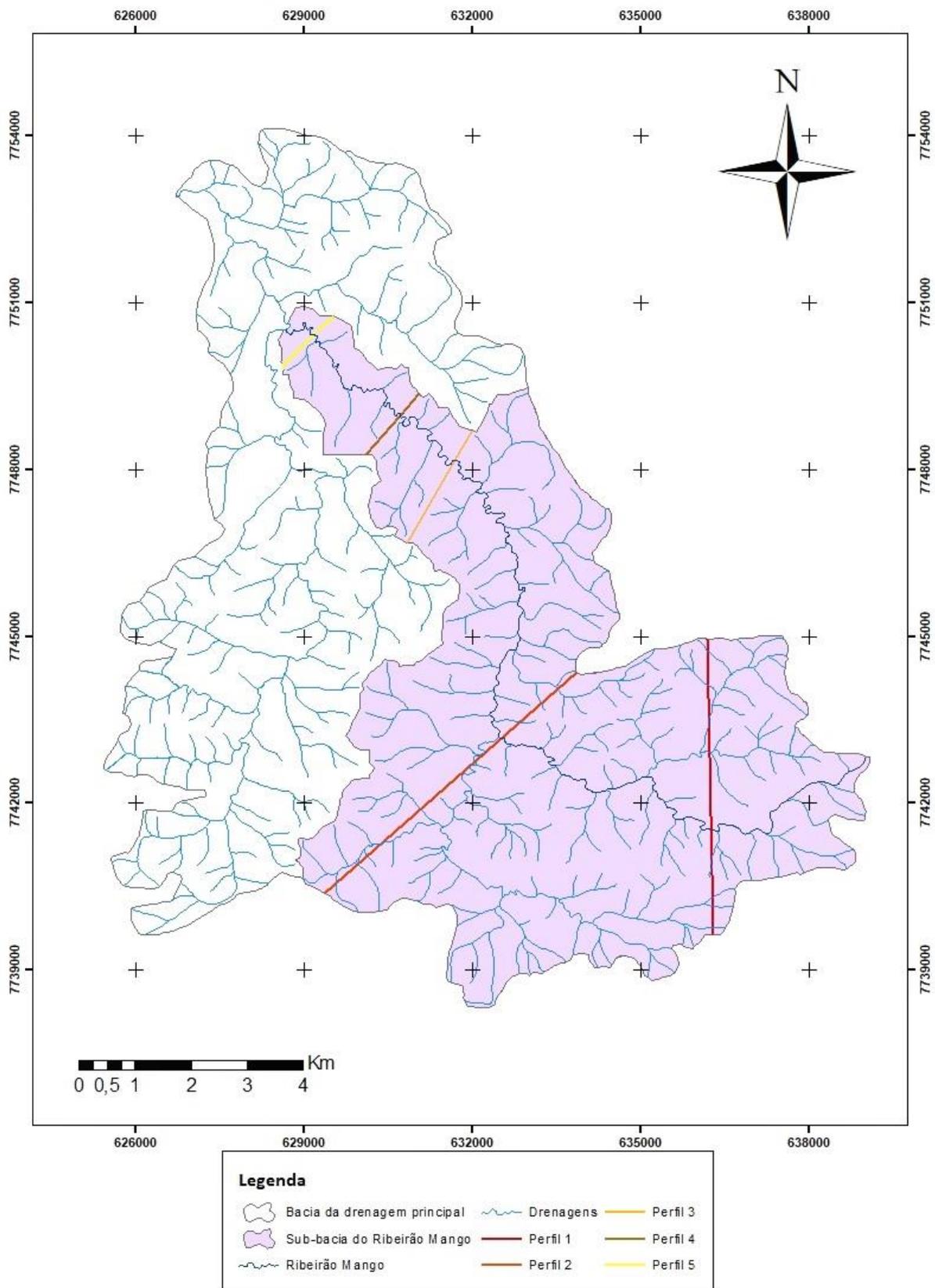


Figura 5.11 - Perfis para o cálculo de RFAV da Sub-bacia do Ribeirão Mango

- Fator de Simetria Transversal Topográfica (FSTT) e Fator de Assimetria da Bacia (FAB)

Os valores obtidos para estes parâmetros indicaram um grau de intensidade de assimetria de baixo a médio. O valor do FAB obtido foi 38,33 e indicou um basculamento de grau intermediário da margem esquerda da bacia, que se trata do bloco a SW do canal em questão. O valor em módulo do resultado do FAB subtraído de 50 foi 11,67. O FSTT por sua vez exibiu seus maiores resultados nas seções 7 e 10, sendo estes valores respectivamente 0,45 e 0,42, considerados de intensidade média. Os menores valores estão nas seções 3 e 2, sendo eles respectivamente 0,13 e 0,22. O valor médio deste parâmetro foi de 0,29. Na porção nordeste da sub-bacia os maiores valores indicam um distanciamento da linha média da bacia, estando mais próximo da margem esquerda. O Quadro 5.10 explica os resultados obtidos.

Quadro 5.10 - Resultados do FSTT para a sub-bacia do Ribeirão Mango

| <b>Sub-bacia do Ribeirão Mango</b> |                                                            |                                                     |             |                                   |                                  |
|------------------------------------|------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------|-------------|-----------------------------------|----------------------------------|
| <b>Seção</b>                       | <b>Distância entre a linha média da bacia e o talvegue</b> | <b>Distância entre a linha média da bacia e seu</b> | <b>FSTT</b> | <b>Distância da nascente (km)</b> | <b>Direção do Distanciamento</b> |
| <b>1</b>                           | 0,21                                                       | 0,81                                                | 0,26        | 0,78                              | Margem direita                   |
| <b>2</b>                           | 0,23                                                       | 1,06                                                | 0,22        | 3,00                              | Margem esquerda                  |
| <b>3</b>                           | 0,83                                                       | 6,53                                                | 0,13        | 5,20                              | Margem direita                   |
| <b>4</b>                           | 1,03                                                       | 4,29                                                | 0,24        | 9,16                              | Margem direita                   |
| <b>5</b>                           | 0,31                                                       | 1,14                                                | 0,27        | 10,71                             | Margem direita                   |
| <b>6</b>                           | 0,54                                                       | 1,68                                                | 0,32        | 17,02                             | Margem direita                   |
| <b>7</b>                           | 0,46                                                       | 1,01                                                | 0,45        | 17,69                             | Margem direita                   |
| <b>8</b>                           | 0,34                                                       | 1,19                                                | 0,29        | 19,83                             | Margem direita                   |
| <b>9</b>                           | 0,23                                                       | 0,74                                                | 0,31        | 20,75                             | Margem direita                   |
| <b>10</b>                          | 0,25                                                       | 0,60                                                | 0,42        | 22,17                             | Margem esquerda                  |

#### 5.4 ANÁLISE DE LINEAMENTOS

Foram extraídos através das drenagens da bacia e do mapa de relevo sombreado, 30 lineamentos positivos e 141 lineamentos negativos, totalizando 171 lineamentos. Os lineamentos apresentam diversas direções e tamanhos, variando entre métricos e quilométricos. Utilizou-se o Método de Frequências para o cálculo dos azimutes destes. Os lineamentos estão representados na Figura 5.12 e na Figura 5.13.

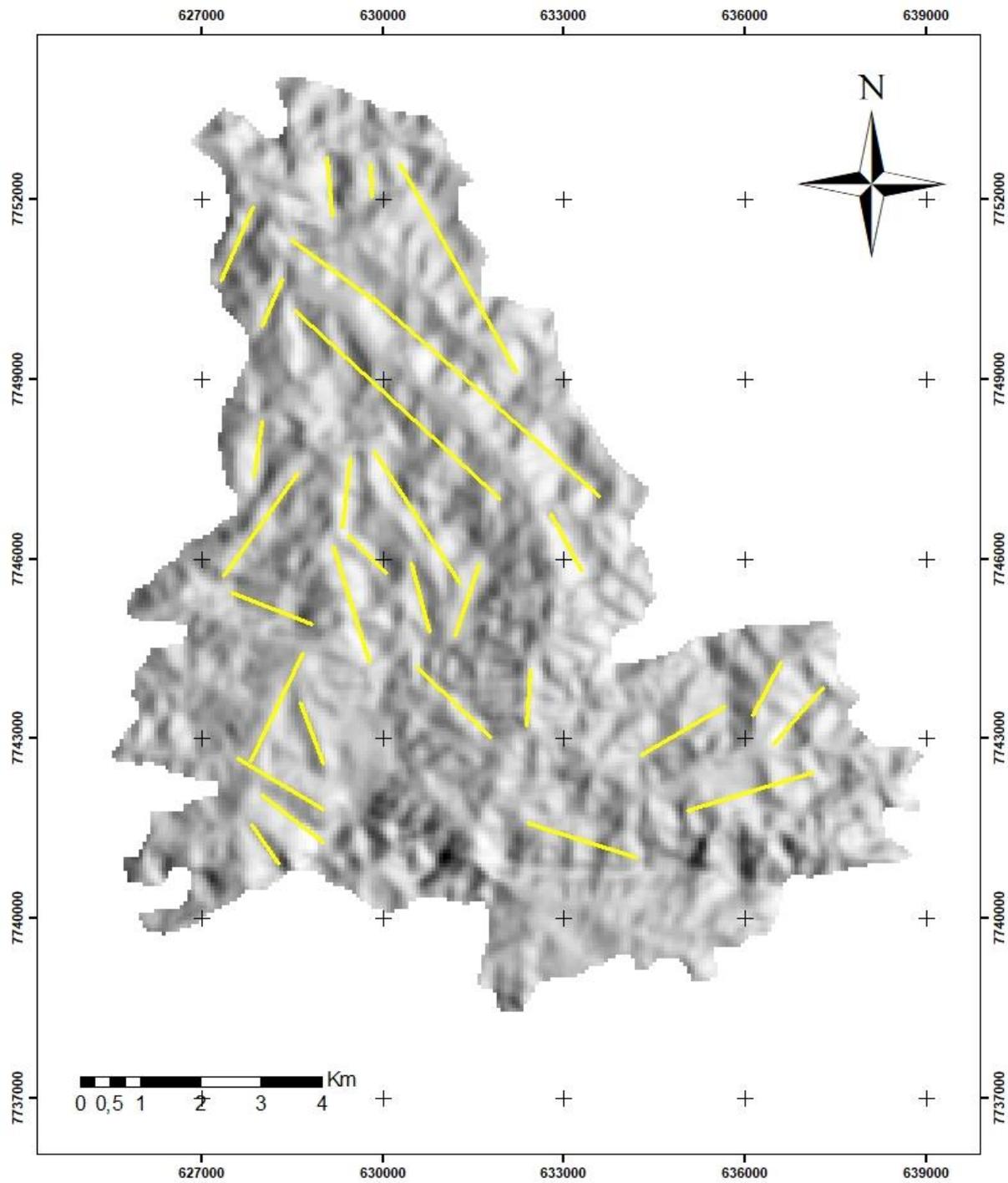


Figura 5.12 - Lineamentos morfoestruturais da Bacia da drenagem principal

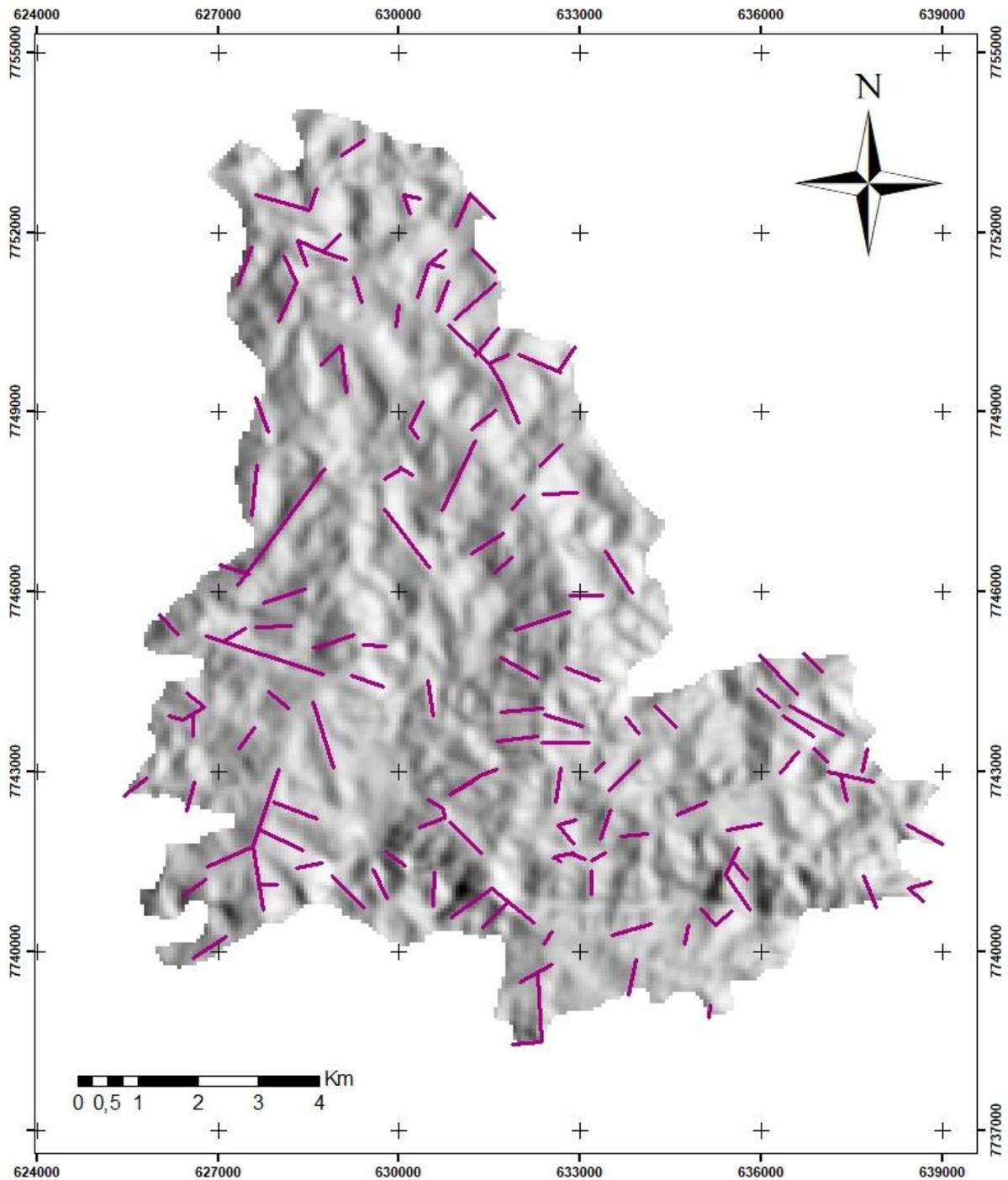


Figura 5.13 - Lineamentos de drenagem da Bacia da drenagem principal.

#### 5.4.1 Bacia da drenagem principal

Os lineamentos positivos apresentam vetor médio de direção NW-SE. Porém é possível observar uma preponderância nas direções NNE-SSW e N-S. Identifica-se também uma baixa frequência na direção E-W. Os lineamentos negativos por sua vez apresentam um padrão homogêneo

das direções, onde é possível determinar o vetor médio na direção N-S, porém é possível observar uma densidade proeminente de frequências nas direções NE-SW e NW-SE e, de modo secundário, na direção E-W. A Figura 5.14 ilustra tal situação.

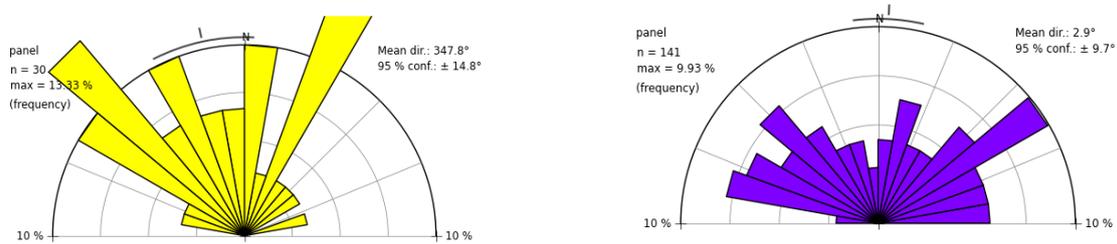


Figura 5.14 - Rosetas dos lineamentos da bacia da drenagem principal. A roseta da esquerda são referentes a lineamentos morfoestruturais e a da direita a lineamentos de drenagem

Para uma análise mais minuciosa das bacias e sub-bacias, analisou-se os lineamentos referentes as drenagens de primeira e segunda ordem. Como pode ser observado na Figura 5.15, os lineamentos dos canais de primeira ordem tem distribuição homogênea, apresentando vetor médio na direção N-S. Pode-se observar preponderâncias nas direções NE-SW, NW-SE, E-W e N-S. Já os lineamentos de canais de segunda ordem apresentam direção principal para NE-SW, apresentando preponderância também na direção WNW-ESE.

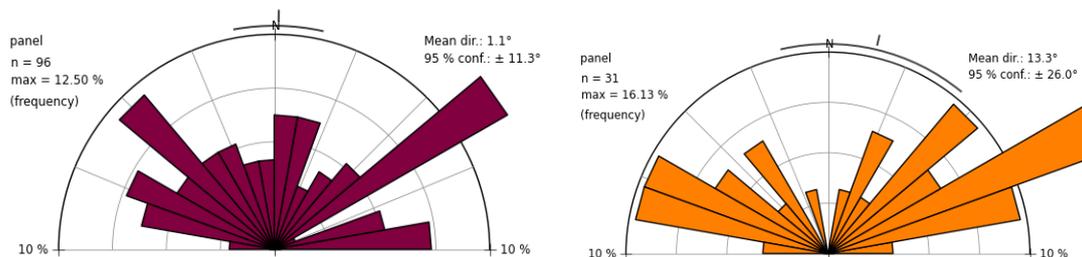


Figura 5.15 - Representação dos lineamentos de drenagem de 1ª (à esquerda) e 2ª ordem (à direita) na bacia da drenagem principal.

#### 5.4.2 Sub-bacia do Ribeirão Sardinha

Os lineamentos morfoestruturais da sub-bacia em questão apresentaram direção preferencial NW-SE, apresentando, assim como a bacia da drenagem principal, uma densidade proeminente de frequências na direção NE-SW, como pode ser observado na Figura 5.16. Os lineamentos de drenagem, por sua vez, exibiram direção preferencial NW-SE, apresentando secundariamente direção NE-SW.

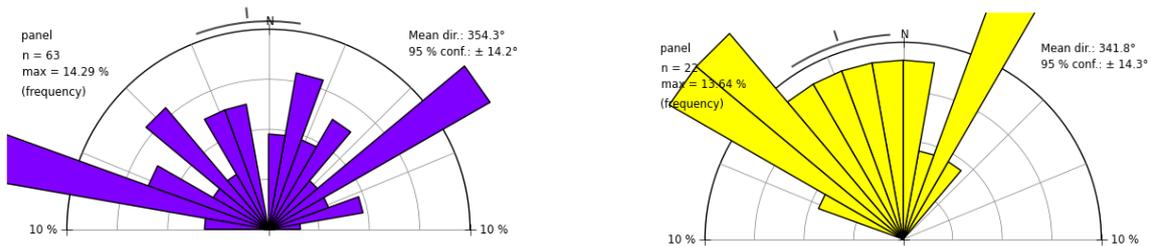


Figura 5.16 - Rosetas dos lineamentos da Sub-bacia do Ribeirão Sardinha. As rosetas da esquerda são referentes a lineamentos morfoestruturais e os da direita a lineamentos de drenagem

Os lineamentos de drenagens de primeira ordem, apresentaram distribuição homogênea das direções, apresentando proeminências nas direções NE-SW e WNW-SSE. Já os lineamentos de canal de segunda ordem apresentaram direção preferencial NW-SE, com uma proeminência na direção NE-SW.

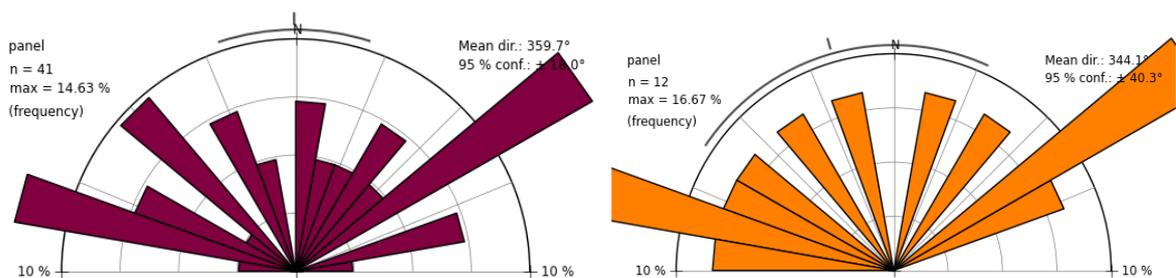


Figura 5.17 - Representação dos lineamentos de drenagem de 1ª (à esquerda) e 2ª ordem (à direita) na sub-bacia do Ribeirão Sardinha.

### 5.4.3 Sub-bacia do Ribeirão Mango

Os lineamentos positivos da sub-bacia do Ribeirão Mango apresentaram direção preferencial NW-SE. Os lineamentos negativos, também apresentaram grande semelhança com os da bacia da drenagem principal, tendo distribuição direcional homogênea, sendo possível detectar uma direção preferencial N-NE, porém apresentando grande densidade de frequência em outras direções. As rosetas podem ser observadas na Figura 5.18.

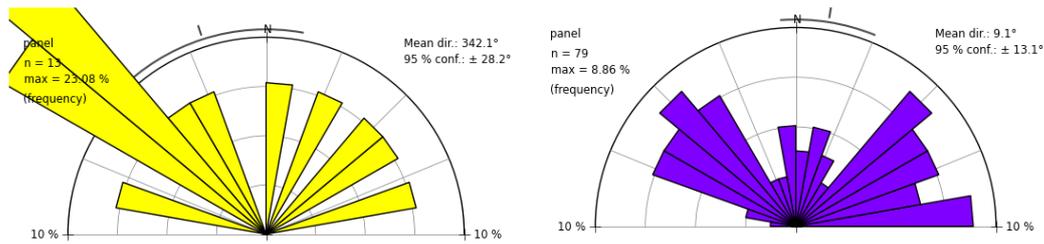


Figura 5.18 - Rosetas dos lineamentos da Sub-bacia do Ribeirão Mango. As rosetas da esquerda são referentes a lineamentos morfoestruturais e os da direita a lineamentos de drenagem

Os lineamentos das drenagens primeira ordem nesta sub-bacia apresentaram vetor médio de direção N-S, assim como as anteriores e apresenta preponderâncias nas direções NW-SE, NE-SW e E-W. Já os lineamentos referentes aos canais de segunda ordem apresentam direção preferencial NE-SW, apresentando proeminência na direção NW-SE.

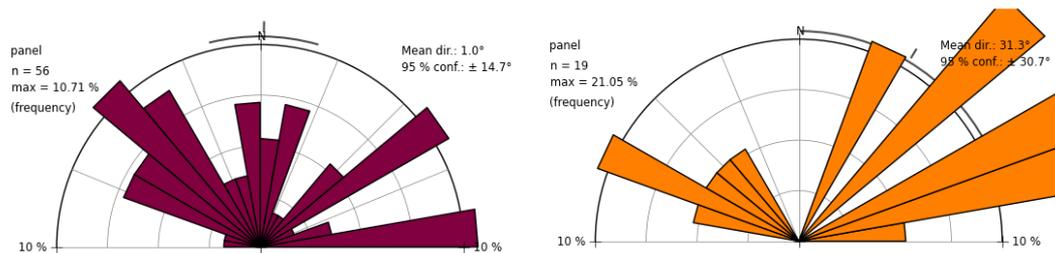


Figura 5.19 - Representação dos lineamentos de drenagem de 1ª (à esquerda) e 2ª ordem (à direita) na sub-bacia do Ribeirão Mango

## 5.5 VALIDAÇÃO DOS DADOS EM CAMPO

Para validar os dados obtidos através dos índices morfométricos realizou-se uma excursão de campo, com a finalidade de realizar observações sobre a calha do canal e feições do relevo regional. A apresentação destes dados será dividida, em alguns casos por trechos, no intuito de mostrar uma tendência regional, e em outros por pontos.

### 5.5.1 Trecho A

Este trecho está contido na porção noroeste da bacia, onde o objeto de estudo é o Ribeirão Sardinha. O objetivo foi visitar os pontos que representam a interseção da linha dos perfis 4 e 5 do RFAV da sub-bacia do Ribeirão Sardinha com o próprio canal. Os pontos podem ser verificados na Figura 5.8, sendo estes a interseção da linha do perfil RFAV com o Ribeirão Sardinha, exceto o Ponto 1. Durante o trajeto, observou-se o seguinte:

- Ponto 1

UTM: *Easting: 628582 Northing: 7750969*

Este ponto está localizado em uma ponte que passa sobre o Ribeirão em questão na MG-440. A montante da ponte, nota-se que a drenagem encontra-se paralela ao bandamento gnáissico, e a jusante da ponte, observa-se que a drenagem sofre uma inflexão para oeste, sendo provável o encaixamento desta em alguma junta ou falha. As juntas, relacionadas a feições de drenagem, em geral, são paralelas a foliação (Sant'Anna & Santos 1996), assim como pode-se observar no segmento a montante. A Figura 5.20e a Figura 5.21 ilustram tal situação.



Figura 5.20 - Na foto, em laranja tem-se a indicação do bandamento gnáissico

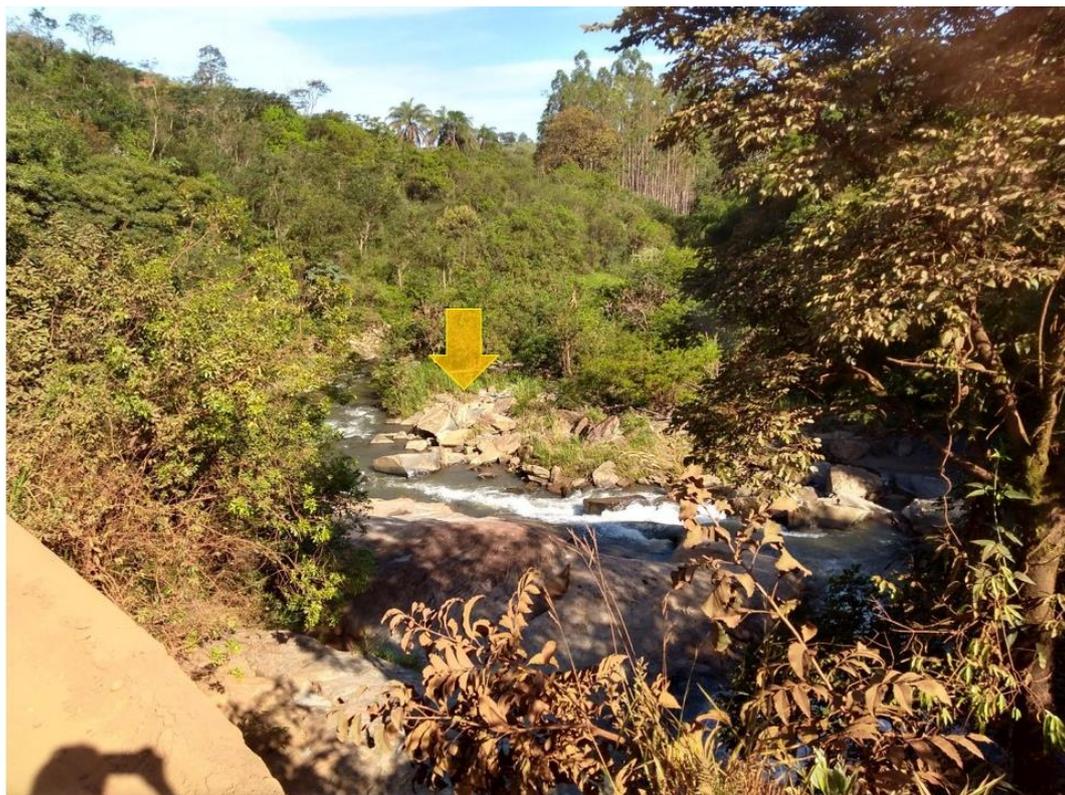


Figura 5.21 - É possível observar sedimentos de granulometria grossa, do tipo cascalho no leito do ribeirão, como indicado pela seta amarela

- Ponto 2

UTM: *Easting*: 628258 *Northing*: 7751241

Esta localidade, a jusante do ponto anterior, está muito próxima ao ponto que representa a interseção da linha do perfil 4 com o Ribeirão Sardinha, onde este segmento de drenagem obteve um valor de RFAV de 0,81 e uma anomalia de primeira ordem no valor de 20,36. Na região encontram-se gnaisses e migmatitos do Complexo Bação. Neste ponto foi possível observar uma grande diferença entre as cotas dos topos dos morros e as da calha do canal, além de vertentes inclinadas que indicam a incisão do vale, como é possível observar na Figura 5.22e na Figura 5.23.



Figura 5.22 - O traço marrom destaca o incisão do vale, e a seta em azul indica onde está localizado o Ribeirão Sardinha



Figura 5.23 - As linhas horizontais na vertente sugerem o rastejo de solo, um fenômeno comum em vertentes muito inclinadas

A caminho do próximo ponto, foi visitado um local mais próximo ao ribeirão, dentro do mesmo contexto regional, e as feições observadas confirmaram que tal canal está escavando ativamente o substrato rochoso, como ilustrado na Figura 5.24.



Figura 5.24 - A linha marrom indica o entalhamento do talvegue e a seta azul mostra a drenagem, e é possível ver parcialmente a lâmina d'água, que ilustra o encaixamento da rede de drenagem.

- Ponto 3

UTM: *Easting: 627281**Northing: 7752986*

Este ponto, a jusante do anterior, se encontra muito próximo a interseção da linha do perfil 5 com o canal principal, onde este segmento apresentou um valor de RDE que é classificado como uma anomalia de segunda ordem, porém apresenta grande proximidade a uma anomalia de primeira ordem de valor 26,86 e RFAV igual a 0,39. Está inserido nos granitoides potássicos do Complexo Bação. Foi possível observar um terraço na margem direita do Ribeirão Sardinha, o que indica um processo erosivo. Além disso, a diferença entre as cotas dos topos dos morros e da drenagem é significativa, como explana a Figura 5.25.



Figura 5.25- A diferença de cota entre o topo dos morros e da vertente está indicada em vermelho e em amarelo destaca-se o terraço.

### 5.5.2 Trecho B

No segundo trecho, que está contido na porção nordeste da bacia, tem-se a finalidade de observar o Ribeirão Mango e o relevo a sua volta. O objetivo é alcançar dois segmentos de drenagem que apresentaram valores extremamente altos de RDE, os mais altos dentre as duas drenagens analisadas. Os pontos podem ser verificados na Figura 5.11, sendo estes a interseção da linha do perfil RFAV com o Ribeirão Mango.

- Ponto 4

UTM: *Easting: 630736**Northing: 7748984*

Esta localidade, a montante do ponto anterior, se encontra próximo ao segmento de drenagem que apresentou um valor muito alto de RDE, 66,37, classificado como uma anomalia de primeira ordem. Está inserido nos gnaisses e migmatitos do Complexo Bação. A drenagem apresenta-se encaixada, como pode ser observada pela grande diferença entre as cotas do topo dos morros e do canal, e apresenta um padrão sinuoso, como pode ser observado na Figura 5.26 e na Figura 5.27.



Figura 5.26 - A linha azul ilustra o canal do ribeirão e a seta amarela indica o topo do morro, indicando a diferença na elevação



Figura 5.27 - A linha azul indica o ribeirão, que não pode ser observado devido a alta declividade da vertente. A seta amarela indica o topo do morro.

- Ponto 5

UTM: *Easting*: 631682 *Northing*: 7748210

O resultado do RDE neste ponto, a montante do anterior, também foi classificado como uma anomalia de primeira ordem com valor muito alto, 59,56. Está inserido nos gnaisses e migmatitos do Complexo Bação, assim como pontos anteriores. Este ponto apresentou um terraço na margem direita (nordeste) e o canal está confinado na margem esquerda (sudoeste), indicando uma fase erosiva na área. Outros indícios do processo erosivo foram a grande diferença de altitude entre o topo dos morros e a calha do canal, e no leito do ribeirão observou-se sedimentos de granulometria muito grossa. Nota-se que o ribeirão é sinuoso neste trecho, onde o termo sinuosidade é assinalado por um segmento curvo, que vai indicar o grau de continuidade. A presença de uma sinuosidade abrupta pode mostrar uma anomalia no terreno, retratada por um controle estrutural ou litológico. Não seria possível afirmar que a drenagem segue um padrão meandrante pois canais meândricos estão ligados a elevados teores de silte e argila e a planícies de inundação (Lima, 2006). A Figura 5.28 e a Figura 5.29 ilustram tal conjuntura.



Figura 5.28 – Foto a montante do Ribeirão Mango. A linha amarela indica o terraço e a seta amarela o topo do morro.



Figura 5.29 - Foto a jusante do Ribeirão Mango. A linha amarela indica o terraço

Nas adjacências, na estrada que dá acesso a este ponto, foi possível observar o Ribeirão Mango apresentando um terraço na margem direita com elevada diferença de cota para o canal, e a drenagem apresenta-se confinada a margem esquerda. Isso sugere um basculamento regional pela margem esquerda, ou seja, do bloco a sudoeste. Este dado está de acordo com os resultados do FAB. A Figura 5.30 explana tal situação.



Figura 5.30 - Em vermelho observa-se a altura do terraço, onde a linha azul indica onde passa o Ribeirão. A seta amarela aponta para o topo do morro.

### 5.5.3 Ponto 6

UTM: *Easting*: 632561 *Northing*: 7743188

Não foi possível localizar estradas que dessem acesso à linha de interseção entre o perfil 2 da sub-bacia do Ribeirão Mango e o canal. O ponto, que está na porção central da bacia, a montante do anterior, apresentou valor de 0,80 para o RFAV e anomalia de segunda ordem no valor de 7,53 e encontra-se inserido nos metaconglomerados e quartizitos da Formação Cercadinho. O fluxo da drenagem segue no sentido NE. A Figura 5.31 nos permite inferir que o ribeirão neste local encontra-se encaixado, a partir da observação da diferença entre as elevações dos topos de morros e a drenagem.

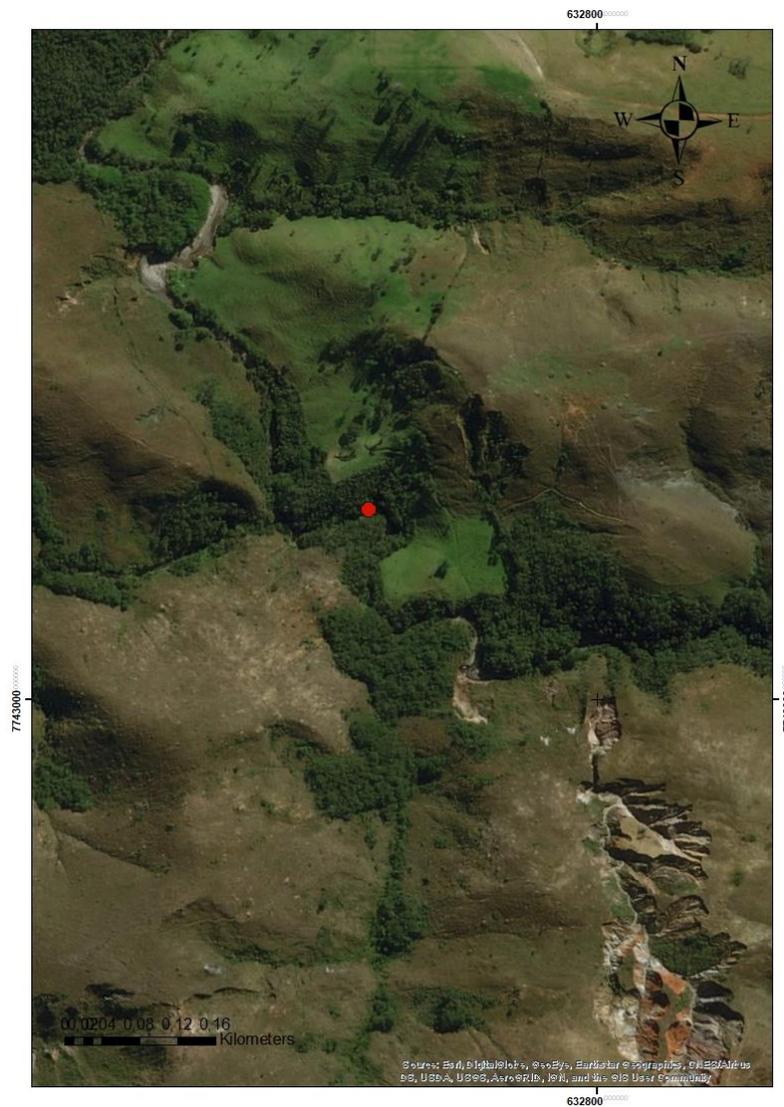


Figura 5.31 - O ponto vermelho representa a interseção da linha do perfil com a drenagem

#### 5.5.4 Ponto 7

UTM: *Easting*: 636991 *Northing*: 7741466

Este ponto está localizado próximo a interseção entre o perfil 1 da sub-bacia do Ribeirão Mango e a drenagem em questão, a montante do ponto anterior. O segmento de drenagem onde está inserido o ponto em questão, apresentou anomalia de primeira ordem de 13,93 e RFAV de 0,21. No local encontram-se filitos da Formação Fecho do Funil. Este ponto apresentou um terraço na margem esquerda (sudoeste) e o canal está confinado junto a margem direita (nordeste) (Figura 5.32), além da diferença de cota entre o topo dos morros e a calha do canal, e sedimentos de granulometria grossa no leito do ribeirão. Estas características são reflexo de uma fase erosiva.



Figura 5.32 - A seta amarela indica o topo do morro e a linha amarela o terraço.

Nos arredores, na estrada que deu acesso ao ponto, foi possível observar que a incisão da drenagem, a partir da grande diferença entre os topos dos morros e a calha do canal, indicando que o rio está escavando ativamente o substrato rochoso, sendo esta condição regional, como ilustra a Figura 5.33.



Figura 5.33 - A linha azul indica a drenagem e a seta amarela o topo do morro

### 6.1 RESULTADOS

A partir da apresentação e análise dos dados, faz-se uma discussão sobre os resultados obtidos. Saadi (1993) afirma que a reativações de discontinuidades crustais antigas é responsável pelas feições neotectônicas regionais. Tem-se o intuito de, a partir destas discussões, indicar o controle tectônico da região.

O índice de Hack apontou para três grandes anomalias nas proximidades da foz do Ribeirão Mango, onde as duas de maior valor foram validadas em campo, a partir das feições observadas no Trecho B (Figura 5.27 e Figura 5.28). O Ribeirão Mango segue neste trecho um vetor médio de SE para NW (Figura 5.11) e está confinado na margem esquerda (sudoeste) (Figura 5.30), o que significa que o bloco sobre o qual a linha de drenagem se encontra, bascula de NE para SW. Neste contexto, tem-se um soerguimento deste bloco a NE da linha de drenagem, além de que, o bloco da linha de drenagem para NW provavelmente também bascula na mesma direção, seguindo uma tendênciaregional. A Figura 6.1 ilustra a referida situação. Nestes dois pontos houve uma incompatibilidade com o RFAV que não apontou anomalias nos referidos segmentos. Os resultados do RFAV confirmaram a anomalia de primeira ordem registrada pelo RDE, no sudeste da bacia, dados que foram reafirmados no Ponto 7, onde foi possível identificar o confinamento do Ribeirão Mango junto a margem esquerda, como pode ser observado na Figura 5.32.

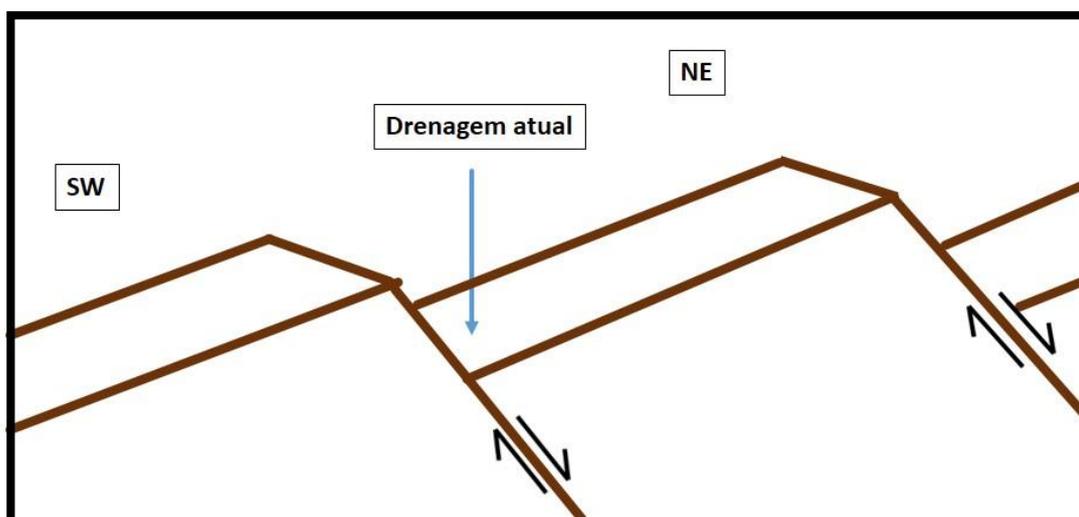


Figura 6.1 - Modelo esquemático do desenvolvimento de *hemigrabens*

Para o Ribeirão Sardinha, as duas grandes anomalias de segunda ordem mais próximas a foz identificadas pelo RDE, foram confirmadas pelos resultados do RFAV, e validadas em campo com base nas feições observadas no Trecho A (Figura 5.24). A Figura 5.25 indica também um confinamento junto a margem esquerda (sudoeste), que também se traduz num basculamento de NE para SW, indicando assim um evento regional. Tanto o Índice de Hack quanto o RFAV não apontaram grandes anomalias na alta bacia do Ribeirão Sardinha. A análise estratigráfica de perfis na bacia em questão realizada por Santos (2017) corrobora com estes dados, a partir de dois perfis na região que apresentam vastas planícies de inundação. O estudo de Raposo (2014) também corrobora para tanto uma vez que observou um maior número de drenagens de primeira ordem na alta bacia do Ribeirão Mango em relação a alta bacia do Ribeirão Sardinha, indicando uma menor dissecação dos canais da sub-bacia do Ribeirão Sardinha.

Santos (2017) definiu o padrão de drenagem da bacia como um todo como treliça. Porém, apesar de ser possível observar este padrão em algumas áreas da bacia, as drenagens se apresentam de maneira dentrítica na bacia da drenagem principal. Raposo (2014) também atestou alto nível de suscetibilidade de erosão nas rochas do Complexo Bação e do Grupo Piracicaba, o que corrobora com os dados encontrados em campo, onde os locais inseridos nessas unidades geológicas apresentavam processos erosionais. Os níveis aluviais escalonados no vale do Ribeirão Sardinha identificados por Barros & Magalhães Júnior (2012), assim como os terraços escalonados estudados por De Barros *et al.* (2008), corroboram com os resultados obtidos pelos índices morfométricos e atividades de campo. Todavia, o estudo de Santos (2017) apresenta ainda um perfil, nas proximidades das cabeceiras do Ribeirão Sardinha, onde o canal apresenta-se estreito e encaixado e não se desenvolveram depósitos de planícies de inundação. Este cenário pode ser reflexo de uma fase erosional na área.

No que diz respeito aos resultados do FSTT da bacia da drenagem principal, explanados no Quadro 5.5, os segmentos de drenagem referentes aos Ponto 2, 5 e 7 que correspondem às Seções 10, 7 e 2, respectivamente, apresentaram valor de 0,47, 0,56 e 0,50, o que indica um grau intermediário de anomalia. Na seções 2 e 10 a direção do descolamento da drenagem é para sudoeste, enquanto na seção 7 tem-se o deslocamento na direção nordeste em relação a linha média da bacia. A Seção 8, que exibiu o valor de 0,22, corresponde ao Ponto 4, indicando assim um baixo grau de anomalia, em desacordo com os dados apurados em campo, indicados pelo RDE. O segmento de drenagem referente ao Ponto 6 que corresponde a Seção 5, apresentou um valor muito baixo, 0,06, indicando baixo grau de anomalia, contrastando com os resultados obtidos no RDE e RFAV. No segmento referente ao Ponto 3 não foi possível realizar o cálculo para o FSTT, porém é possível observar um grande distanciamento da linha média da bacia.

O entalhamento do talvegue e a diferença entre as cotas dos topos do morro e da calha do canal indicaram um soerguimento regional, e a drenagem apresentou-se confinada a margemesquerda

em todos os trechos visitados. Como já foi dito, no Trecho B, nos arredores do Ponto 5, a drenagem aparece confinada a margem esquerda, sendo assim, os terraços se desenvolveram na margem oposta, à medida em que o rio ia migrando para o outro lado e abandonando as planícies de inundação, apontando para um soerguimento do bloco SW da bacia, o que sugere a reativação de falhas na direção NW-SE, como pode também ser observado na Figura 6.1. Os lineamentos de relevo apresentaram direção principal NNW-SSE tanto para a bacia da drenagem principal, como para as duas sub-bacias, indicando uma conformidade com os lineamentos morfoestruturais referentes a porção leste da bacia do Rio das Velhas estudados por Carvalho *et al.* (2010) que possuem direção principal NW-SE. Além disso, o FAB calculado tanto para a bacia da drenagem principal, quanto para a sub-bacia do Ribeirão Mango indicaram um basculamento do bloco a oeste. De Barros *et al.* (2008) apontam que a rede de drenagem do Ribeirão Mango, se instalou ao longo das principais descontinuidades tectônicas do embasamento.

A análise dos lineamentos de drenagem de primeira ordem da bacia e das duas sub-bacias apresentaram distribuição homogênea das direções, com vetor médio com direção N-S sendo possível observar 4 direções preferencias, NE-SW, NW-SE, e secundariamente N-S e E-W. Já os lineamentos de canais de segunda ordem para a bacia da drenagem principal e sub-bacia do Ribeirão Mango apresentaram direção preferencial NE-SW, sendo possível identificar de maneira secundária uma proeminência na direção WNW-SSE. A sub-bacia do Ribeirão Sardinha por sua vez apresentou direção preferencial NW-SE, observando-se de maneira secundária direção NE-SW.

Lipski (2002) definiu os campos de tensões dos eventos neotectônicos que ocorreram no Quadrilátero Ferrífero, onde o D1, tem eixo de tensão máxima orientado segundo NNE-SSW, sendo esta uma das direções principais em todos os contextos analisados, condicionando a geração de estruturas como *grabens*, *horsts* e falhas na direção WNW-SSE, direção preferencial dos lineamentos de relevo. O evento D3 apresentou movimento trativo também na direção WNW-SSE, o que coincide mais uma vez com uma das direções preferencias encontradas nos lineamentos de relevo e nos canais de segunda ordem da bacia da drenagem principal e da sub-bacia do Ribeirão Sardinha. O D4, caracterizado por feições tectônicas extensionais sinsedimentares, apresenta caráter trativo N-S e E-W, direções que apareceram como principais de maneira secundaria nos lineamentos de relevo e para os lineamentos de drenagem de primeira ordem da bacia da drenagem principal e das duas sub-bacias.

Raposo (2014) delimitou os focos de erosão acelerada na bacia, e a partir da observação da Figura 2.4 é possível detectar focos de erosão acelerada próxima à falha de empurrão na porção sul da bacia, e da falha indiscriminada na porção oeste. A Figura 5.1 também aponta para uma maior declividade nas proximidades da falha de empurrão supracitada.

## CAPÍTULO 7

### CONCLUSÃO

---

A análise combinada dos índices morfométricos, dos lineamentos e de campo sugerem um basculamento do bloco a SW da drenagem principal, podendo indicar uma reativação da falha de empurrão na porção sul da bacia, na direção NW-SE, uma vez que as declividades nos arredores desta destoam das do restante da bacia. No segmento referente ao Ponto 7, a drenagem se comporta de forma erosiva devido provavelmente a um basculamento para o sentido NE, o que indica um desenvolvimento de *hemigrabens*, típicas estruturas regionais desenvolvidas em sistemas extensionais, que incluem também falhas normais rotacionais. Os lineamentos estão associados a fases de deformação de regime trativo, o que corrobora para tanto. As direções principais dos lineamentos de relevo e das drenagens de primeira ordem na bacia, indicam uma influência do evento D4, que está ocorrendo desde o Plioceno. Endo (1997) identificou falhas de empurrão com traços arqueados, de direção E-W, na região do sinclinal Dom Bosco, apresentando rampas e patamares, com falhas direcionais associadas (REM 1992), e os resultados deste trabalho sugerem que a referida falha passa por reajuste neotectônico, sendo balizada por uma possível reativação da falha de engenho a sul da bacia.

Pôde-se obter, através deste trabalho, um melhor conhecimento da geomorfologia da região que compreende a bacia do ribeirão Sardinha e através da geração de dados morfométricos é possível identificar áreas em subsidência e/ou soerguimento, sugerir o controle tectônico da área em questão, através de falhamentos ou processos de mergulho de blocos. Esse conjunto de informações permitiu constatar um quadro de evidências neotectônicas, sendo fundamental sua relevância na análise da evolução morfotectônica da área de estudo

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

---

Alkmin F.F.; Noce C.M. 2006. *Outline of the Geology of the Quadrilátero Ferrífero. In: The Paleoproterozoic record of the São Francisco craton*, Ouro Preto,1;92-92.

Almeida F. F. M. 1967. Origem e evolução da plataforma brasileira. DNPM

Almeida L. G.; Castro P.T. A., Endo I., Fonseca M. A. 2005. O Grupo Sabará no Sinclinal Dom Bosco: Uma Revisão Estratigráfica. *Revista Brasileira de Geociências*, 35 (2): 177-186.

Amarante R. T.; Costa; A. T. 2016. Caracterização mineralógica e geoquímica de sedimentos do Ribeirão Sardinha, Alto Rio das Velhas, MG. 100 f.; il. color.; tab.; ma Monografia (Graduação) - Universidade Federal de Ouro Preto. Escola de Minas. Departamento de Geologia

Andrades Filho, C. O. 2010 Análise morfoestrutural da porção central da bacia Paraíba (PB) a partir de dados MDE-SRTM e ALOS-PALSAR FBD. 2010. 150 f. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) – INPE, São José dos Campos.

Bacellar L.A.P.; Coelho Netto A.L. & Lacerda W.A. 2005. *Controlling factors of gulling in the Maracujá catchment, Southeastern Brazil. Earth Surf. Process. Landforms*,30:1369-1385.

Baltazar O.F., Baars F.J., Lobato L.M., Reis L.B., Achtschin A.B., Berni G.V., Silveira V.D. 2005. Mapa geológico Gandarela na escala 1:50.000 com nota explicativa. Lobato LM (ed) Projeto geologia do Quadrilátero Ferrífero–integração e correção cartográfica em SIG com nota explicativa. CODEMIG, Belo Horizonte

Barbosa M. E. F.; Furrier M. 2012. Técnicas de Geoprocessamento e Morfometria Aplicados na Detecção de Atividades Neotectônicas no Grupo Barreiras, Estudo da Bacia Hidrográfica Do Rio Guruji (Pb). *ACTA Geográfica*, Boa Vista, v.6, n.11, jan./abr. de 2012. pp.117-131.

Barbosa T. S.; Lima, V. F.; Furrie , M. 2013. Anomalias em padrões de redes de drenagem como fator de verificação de neotectônica - Um estudo de caso nas sub-bacias do Rio Mamuaba - PB. *Revista do Departamento de Geografia – USP*, (26): 195-213.

Barros L. & Magalhães Junior, A. 2012. Registros Depositionais do Quaternário Tardio no Vale do Ribeirão Sardinha, Quadrilátero Ferrífero/MG.IX SINAGEO - Simpósio Nacional de Geomorfologia 21 à 24 de Outubro de 2012. Rio De Janeiro / RJ

Barrs F.J.; Rosière C.A. 1994. *Geological map of the Quadrilátero Ferrífero. In: M. de Wit & L. D. Ashwal (eds.) Greenstone Belts. Oxford University Press. pp.: 529-557*

Bezerra D. P. 2014. Quadrilátero ferrífero MG: fatores condicionantes do relevo. Dissertação de mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geografia, da Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte.

Braga M. A.; Carlos D. U.; Li Y.; Nabighian M. 2010. Exploração de minério de ferro utilizando dados de aerogravimetria gravimétrica 3D-FTG e aeromagnetometria no Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais, Brasil. *Revista Brasileira de Geofísica*, 28(3), 495-514. Disponível em: <https://dx.doi.org/10.1590/S0102-261X2010000300013>

Bricalli, L. L. 2016. Procedimentos Metodológicos e Técnicas em Geomorfologia Tectônica. Espaço Aberto: PPGG - UFRJ, (6) 1: 75-110

Bricalli, L. L., & Mello, C. L. 2014. Padrões de Lineamentos Relacionados a Litoestrutura e Fraturamento Neotectônico (Estado Do Espírito Santo,-Se do Brasil). *Revista Brasileira de Geomorfologia*, 14(3).

Carvalho Filho A.; Curi N.; Shinzato E. 2010. Relações solo-paisagem no Quadrilátero Ferrífero em Minas Gerais. *Pesq. agropec. bras.*, Brasília, v.45, n.8, p.903-916

Centro de Sismologia da Universidade de São Paulo / USP 2015. Relatório-Mariana-20151107-2100. São Paulo – SP

Chauvet A.; Faure M.; Dossin I. & Charvet J. 1992. *A three-stage structural evolution of the Quadrilátero Ferrífero: consequences for the Late Proterozoic age and the formation of gold concentrations of the Ouro Preto area, Minas Gerais, Brazil. Precam. Res.* v. 68. p.139-167.

Chen, Y. C.; Sung, Q.; Chen, C. N.; Jean, J. S. 2006. *Variations in tectonic activities of the central and southwestern Foothills, Taiwan, inferred from river hack profiles. Terr. Atmos. Ocean. Sci.*, 17, p. 563-578

Chimpliganond C.; Assumpção M.; Von Huelsen M.; França G. S. 2010. *The intracratonic Caraibas–Itacarambi earthquake of December 09, 2007 (4.9 mb), Minas Gerais State, Brazil. Tectonophysics*, 480 48–56

Coelho V. S. C.; Lana, C. E. 2017. A morfometria fluvial como indicadora de atividades neotectônicas na bacia do Ribeirão da Cachoeira - Ouro Preto, MG. 2017. 113 f.; il. color.; graf.; Monografia (Graduação) - Universidade Federal de Ouro Preto. Escola de Minas. Departamento de Geologia

Cremon, E. H. 2013. Especialização da anomalia do índice de Hack como suporte a estudos morfoestruturais. Pós-graduação em Sensoriamento Remoto, Instituto Nacional de Pesquisa Espacial, São José dos Campos. Monografia, 26p.

de Barros Corrêa, A. C., & Fonseca, D. N. 2010. Lineamentos de Drenagem e de Relevo como Subsídio para a Caracterização Morfoestrutural e Reativações Neotectônicas da Área da Bacia do Rio Preto, Serra do Espinhaço Meridional–MG. *Revista de Geografia (Recife)*-ISSN: 2238-6211, 27(1), 72-86

de Paula Barros, L. F., de Araújo Barros, P. H. C., & Júnior, A. P. M. 2010. Condicionamento Litológico e Tectônico na Morfometria da Bacia do Rio Conceição–Quadrilátero Ferrífero/Mg. *Revista de Geografia (Recife)*-ISSN: 2238-6211, 27(1), 195-209.

de Paula Barros, L. F.; Raposo, A. A., Raposo, A. A.; de Oliveira, L. A. F., Cherem L. F. S & Magalhães Jr, A. P. 2008. Análise Comparativa entre os Eventos Depositionais Fluviais Cenozóicos nos Vales do Rio Maracujá e Ribeirão do Mango-Quadrilátero Ferrífero/MG. VII Simpósio Nacional de Geomorfologia, Belo Horizonte, MG

Dorr, J.V.N. 1969 – *Physiographic, stratigraphic and structural development of the Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais, Brazil.*(No. 641-A, pp. A1-A110). *US Government Printing Office.*

El Hamdouni, R.; Irigaray, C.; Fernández, T.; Chacón, J.; Keller, E. A. 2008. *Assessment of relative active tectonics, southwest border of the Sierra Nevada (Southern Spain). Geomorphology*, v. 96, n. 1-2, p. 150-173

Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - EMBRAPA. 1979. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos (Rio de Janeiro, RJ). Súmula da 10. Reunião Técnica de Levantamento de Solos. Rio de Janeiro 83p. (Embrapa-SNLCS. Micelânea, 1).

Endo, I. 1997. Regimes tectônicos do Arqueano e Proterozóico no interior da Placa Sanfranciscana: Quadrilátero Ferrífero e áreas adjacentes. Doctoral Thesis, Instituto de Geociências, University of São Paulo, São Paulo. doi:10.11606/T.44.1997.tde-12112015-111453. Retrieved 2017-12-18, from [www.teses.usp.br](http://www.teses.usp.br)

Sant'Ana L. P.; Lana C. E. 2018. Caracterização Morfotectônica da bacia do Ribeirão...

Etchebehere, M.L.; Saad, A. R.; Fulfaro, V.J.; Perinotto, J.A.J. 2004. Aplicação do Índice Relação Declividade-Extensão - RDE na Bacia do Rio do Peixe (SP) para Detecção de Deformações Neotectônicas. *Revista do Instituto de Geociências - USP*, (4) 2: 43-56.

Flores D. M.; Oliveira D. 2016. Aplicação do Índice de Concentração de Rugosidade (ICR) para análise de bacias hidrográficas e para traçado de lineamentos estruturais. *Geografia, Ensino & Pesquisa*, Vol. 20 (2016), n.3, p. 125-139

Gerdau. Proposta de Criação Monumento Natural da Serra da Moeda. Relatório Técnico Final, 2010

Hack, J.T. 1973. *Stream-profile analysis and stream-gradient index. U.S. Geological Survey Journal of Research*, (1) 4: 421-429.

Hasui, Y. 1998. Evolução Morfotectônica do Sudeste do Brasil. In: SBG/Núcleo Minas Gerais, Congresso Brasileiro de Geologia, 40, Belo Horizonte, Anais: 78.

Ibanez D. M., & Riccomini C. 2011. O uso da assimetria de bacias para o estudo neotectônico na Amazônia Central. Anais XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto-SBSR, Curitiba, PR, Brasil, INPE, 3467-3474.

Lana C.; Alkmim F. F.; Armstrong R.; Scholz R.; Romano R.; Nalini Jr H. A. 2013. The ancestry and magmatic evolution of Archaean TTG rocks of the Quadrilátero Ferrífero province, southeast Brazil. *Precambrian Research*, v. 230, p. 1-30

Lana, C. E. 2010. Influência de níveis de base nas características morfossedimentares das bacias dos rios das Velhas e Jequitaiá (MG). 227 f. Tese (Doutorado em Evolução Crustal e Recursos Naturais) - Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto.

Lana, C. E., & Castro, P. D. T. A. 2012. Evolução histórica e filosófica do conceito de nível de base fluvial. *Terrae Didática*, 8(1), 51-57.

Lima M. I. C. 2006. Apostila: Análise de Drenagem e seu Significado Geológico-Geomorfológico. 3ª edição. Belém, Pará, Brasil.

Listo F. L. R.; Mützenberg D. S.; Tavares B. A. C. (Orgs.) 2016. E-book do I Workshop de Geomorfologia e Gearqueologia do Nordeste. Volume I. Recife: GEQUA. 268 f.

Lucena, L. R. F. D. 1999. Implicações tectônicas na hidrologia do aquífero Barreiras e sistema lacustre do Bonfim, Nísia Floresta-RN (Master's thesis, Universidade Federal do Rio Grande do Norte).

Magalhães Júnior, A.P.; Saadi, A. 1994. Ritmos da dinâmica fluvial Neo-Cenozóica controlados por soerguimento regional e falhamento: o vale do rio das Velhas na Região de Belo Horizonte, Minas Gerais, Brasil. *Geonomos*, 2(1): 42-54

Marques Neto R. 2011. Utilização de parâmetros morfométricos para identificação de efeitos deformacionais neotectônicos na Serra da Mantiqueira: a bacia do Ribeirão Caetés, MG. XIII Congresso da Associação Brasileira de Estudos do Quaternário/ III. Encontro do Quaternário Sul Americano.

Marques Neto, R. 2009. Neotectônica no Planalto do Alto Rio Grande: aplicação de parâmetros morfométricos como subsídio ao estudo morfotectônico da bacia do Rio do Peixe. In: XIII Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada, 2009, Viçosa. XIII Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada, 2009

Monteiro K., Missura R., Da Silva H. A.; Correa, A. C. D. B. 2010. Aplicação do Índice de Hack—ou RDE—ao Rio Tracunhaém—PE. In *Congresso Argentino do Cuaternário y Geomorfologia* (Vol. 4, pp. 17-23).

- MYR Projetos Sustentáveis, 2013. Produto 5: Diagnóstico, Mapa de Fragilidades Ambientais e Plano de Ações Prioritárias para Recuperação Ambiental da Bacia do Rio Itabirito – Belo Horizonte.
- Neres, D.F.; Morais, F. 2014. Estudo das anomalias de drenagem como indicador de neotectônica na bacia do Rio Douradinho, município de Lagoa da Confusão - TO. In: Seminário de Iniciação Científica da UFT, 10, Palmas
- Raposo, A. A. 2014. Análise morfométrica e da suscetibilidade erosiva como base para o ordenamento territorial da bacia do ribeirão Sardinha (Quadrilátero Ferrífero MG). Monografia (especialização) – Instituto de Ciências Biológicas. Universidade Federal de Minas Gerais.
- Raposo A. A.; Carvalho A.; Oliveira L.; Righi R.; Magalhães J. 2009. Reflexos De Pressões Antrópicas e da Erosão Acelerada sobre a Dinâmica Fluvial da Bacia do Ribeirão Sardinha– Quadrilátero Ferrífero/Mg. Simpósio Brasileiro De Geografia Física Aplicada, 13, 230-245
- REM: Revista Escola de Minas, Ouro Preto, 45 (1 e 2): 1-69, jan. jun. 1992.
- Romano A. W.; Rezende L. F. S. 2017. Folha Ouro Preto SF.23-X-A-III. Escala 1:100.000. Projeto Triângulo Mineiro - Folha Ouro Preto
- Saadi A. 1993. Neotectônica da Plataforma Brasileira: esboço e interpretação preliminares. Geonomos, 1(1): 1-15.
- Sampaio T. V. M.; Augustin C. H. R. R. 2014. Índice de Concentração da Rugosidade: Uma Nova Proposta Metodológica para o Mapeamento e Quantificação da Dissecação do Relevo como Subsídio a Cartografia Geomorfológica. Revista Brasileira de Geomorfologia, São Paulo, v.15, n.1, (Jan-Mar) p.47-60
- Sant'anna, M. V., & Santos, A. 1996. Identificação e análise de estruturas tectônicas rúpteis e rúpteis-dúcteis em parte do Quadrilátero Ferrífero e Serra do Espinhaço Meridional, Minas Gerais, Brasil, utilizando técnicas de sensoriamento remoto. VIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Anais..., Salvador, 14-19.
- Santos G. B. 2008. Geomorfologia Fluvial no Alto Vale do Rio das Velhas, Quadrilátero Ferrífero - MG: Paleoníveis Depositionais e a Dinâmica Atual. Dissertação apresentada ao Programa de PósGraduação do Departamento de Geografia da Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte.
- Santos, R. L. 2017. Caracterização geoquímica das águas e sedimentos da Bacia do Ribeirão Sardinha, porção sul do Quadrilátero Ferrífero (MG). 173 f. Dissertação (Mestrado em Evolução Crustal e Recursos Naturais) – Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto.
- Silva, I. C. 2014. Geomorfologia, hidrografia e tectônica da folha Araçuaí 1:25.000, estado da Paraíba/João Pessoa, 139f. : il. Orientador: Max Furrier. Dissertação (Mestrado) - UFPB/CCEN
- Silva, P. G.; Goy, J. L.; Zazo, C.; Bardají, T. 2003. *Fault-generated mountain fronts in southeast Spain: geomorphologic assessment of tectonic and seismic activity. Geomorphology*, 50 (1): 203-225.
- Varajão C. A. C. A. 1991. Questão da Correlação das Superfícies de Erosão do Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais. Revista Brasileira de Geociências, 21(2):138-145
- Varajão C. A. C.; Salgado A. A. R.; Varajão A. F. D. C.; Braucher R.; Colin, F.; Nalini Júnior H. A. 2009. Estudo da evolução da paisagem do quadrilátero ferrífero (Minas Gerais, Brasil) por meio da mensuração das taxas de erosão (10be) e da pedogênese. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v.33, p.1409-1425

Sant'Ana L. P.; Lana C. E. 2018. Caracterização Morfotectônica da bacia do Ribeirão...

Veneziani, P. 1987. Análise de movimentos da tectônica rúptil e rúptil-dúctil através da interpretação de produtos de sensores remotos na região do Espinhaço meridional (MG): uma correlação com processos evolutivos. Tese de Doutorado, Universidade de São Paulo.