



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



## **TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO**

**ANÁLISE CINEMÁTICA DA DEFORMAÇÃO RÚPTIL  
PROTEROZOICA NA ANTICLINAL DE ITACAMBIRA,  
ITACAMBIRA – MINAS GERAIS**

**Beatriz Saralha Friguetto**

**MONOGRAFIA nº 385**

Ouro Preto, janeiro de 2021



**ANÁLISE CINEMÁTICA DA DEFORMAÇÃO RÚPTIL  
PROTEROZOICA NA ANTICLINAL DE ITACAMBIRA,  
ITACAMBIRA – MINAS GERAIS**

---





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

### **Reitora**

Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Cláudia Aparecida Marliére 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. José Geraldo Arantes de Azevedo Brito

### **DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA**

#### *Chefe*

Prof. Edison Tazava



# **MONOGRAFIA**

## **ANÁLISE CINEMÁTICA DA DEFORMAÇÃO RÚPTIL PROTEROZOICA NA ANTICLINAL DE ITACAMBIRA, ITACAMBIRA – MINAS GERAIS**

**Beatriz Saralha Friguetto**

*Orientadora*

**Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Maria Eugênia Silva de Souza**

*Co-Orientador*

**Prof. Dr. Marco Antônio Fonseca**

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 402, ano 2021/1.

**OURO PRETO**

**2021**

---

## SISBIN - SISTEMA DE BIBLIOTECAS E INFORMAÇÃO

F899a Friguetto, Beatriz Saralha .  
Análise cinemática da deformação rúptil proterozóica na Anticlinal de Itacambira,  
Itacambira - Minas Gerais. [manuscrito] / Beatriz Saralha Friguetto. - 2021.  
56 f.: il.: color., mapa. + Estereograma.

Orientadora: Profa. Dra. Maria Eugênia Silva de Souza. Coorientador: Prof. Dr. Marco  
Antônio Fonseca.

Monografia (Bacharelado). Universidade Federal de Ouro Preto. Escola de Minas.  
Graduação em Engenharia Geológica .

1. Geologia estrutural. 2. Orógeno Araçuaí (MG). 3. Rochas -Deformação. 4.  
Embasamento cristalino. I. Fonseca, Marco Antônio. II. Souza, Maria Eugênia Silva de. III.  
Universidade Federal de Ouro Preto. IV. Título.

CDU 551.3.051 Bibliotecário(a)

Responsável: Sione Galvão Rodrigues - CRB6 / 2526

## Ficha de Aprovação

---

### TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

**TÍTULO:**

**AUTORA:** BEATRIZ SARALHA FRIGUETTO

**ORIENTADOR:** Maria Eugênia Silva de Souza

**Aprovada em:** 15 de janeiro de 2021

**BANCA EXAMINADORA:**

Prof. Dra. Maria Eugênia Silva de Souza



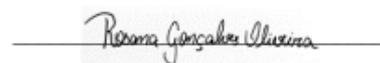
DEGEO/UFOP

Prof. Dr. Marco Paulo de Castro



DEGEO/UFOP

MSc Rosana Gonçalves de Oliveira



DEGEO/UFOP

**Ouro Preto, 15/01/2021**



## Agradecimentos

---

Esta monografia só foi possível ser realizada graças as turmas de Estágio de Mapeamento Geológico (GEO391) e Mapeamento Geológico (GEO493) realizados em 2018, cujos trabalhos de campo, coleta de dados e conversas pós expedientes, foram essenciais para estruturação dessa pesquisa.

Deixar a graduação, a universidade, o DEGEO e Ouro Preto não foi fácil, concluir esta etapa foi um grande desafio. Pela compreensão, suporte, aprendizado e entendimento agradeço minha orientadora Dra. Maria Eugênia Silva de Souza, sem ela nada disso seria possível. Aos meus pais, irmãs e amigos pelo incentivo e paciência, muito obrigado, vocês foram essenciais.

À UFOP, pelo ensino gratuito e de qualidade. Que ela se perpetue e leve educação a todos que por ela almejam, sem distinção.



# SUMÁRIO

---

<b>1 INTRODUÇÃO.....</b>	<b>1</b>
1.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS .....	1
1.2 LOCALIZAÇÃO.....	1
1.3 JUSTIFICATIVA .....	2
1.4 OBJETIVOS.....	4
1.5 MATERIAIS E MÉTODOS.....	4
1.5.1 Revisão bibliográfica.....	4
1.5.2 Sensoriamento Remoto.....	5
1.5.3 Levantamento de dados estruturais.....	5
1.5.4 Organização e tratamento de dados .....	6
1.5.5 Descrição e análise cinemática .....	6
1.5.6 Análise de Dados Geofísicos .....	6
<b>2 CONTEXTO GEOLÓGICO .....</b>	<b>9</b>
2.1 CONTEXTO GEOTECTÔNICO.....	9
2.2 QUADRO ESTRATIGRÁFICO .....	12
2.2.1 Unidades do embasamento .....	13
2.2.2 Supergrupo Espinhaço.....	14
2.2.3 Grupo Macaúbas.....	16
2.3 ARCABOUÇO ESTRUTURAL .....	19
2.3.1 Integração geológica-geofísica da região Itacambira (MG) .....	23
<b>3 ANÁLISE DESCRITIVA E CINEMÁTICA DA DEFORMAÇÃO RÚPTIL PROTEROZOICA NA ANTICLINAL DE ITACAMBIRA.....</b>	<b>27</b>
3.1 INTRODUÇÃO.....	27
3.2 ASPECTOS MORFOESTRUTURAIS .....	27
3.3 GEOLOGIA LOCAL .....	28
3.3.1 Geologia estrutural local.....	30
3.4 LINEAMENTOS.....	36
3.5 GEOLOGIA ESTRUTURAL REGIONAL .....	38
<b>4 INTEGRAÇÃO GEOFÍSICA-ESTRUTURAL .....</b>	<b>41</b>
4.1 INTRODUÇÃO.....	41
4.2 METODOLOGIA.....	41
4.3 APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS.....	43
<b>5 DISCUSSÕES.....</b>	<b>47</b>

<b>6 CONCLUSÃO.....</b>	<b>51</b>
<b>Referência Bibliográfica.....</b>	<b>53</b>



## ÍNDICE DE FIGURAS

---

Figura 1.1: Mapa de localização da área de estudo. ....	2
Figura 2.1: Mapa geológico simplificado do Cráton São Francisco. Retirado de Alkmim <i>et al.</i> (2006). .....	10
Figura 2.2: Modelo evolutivo do Orógeno Araçuaí-Congo Ocidental, segundo a tectônica “quebra nozes” (extraído de Alkmim <i>et al.</i> 2006). ....	12
Figura 2.3: Mapa geológico simplificado da região de Itacambira confeccionado a partir dos dados geológicos da CPRM e adaptado de Souza (2019) e Costa (2018). ....	13
Figura 2.4: Mapa geológico simplificado do Cráton São Francisco e as subdivisões da Serra do Espinhaço. Modificado de Alkmim e Marshak (1998). ....	15
Figura 2.5: Quadro evolutivo das propostas estratigráficas e de nomenclatura para o Embasamento cristalino, Supergrupo Espinhaço e Grupo Macaúbas no Espinhaço Central. Modificado de Souza (2019). ....	16
Figura 2.6: Mapa de distribuição do Grupo Macaúbas ao longo do Orógeno Araçuaí. Extraído de Souza (2019). ....	17
Figura 2.7: Coluna estratigráfica do Grupo Macaúbas. Extraído de Souza (2019). ....	18
Figura 2.8: Mapa tectônico do Orógeno Araçuaí, enfatizando as suas subdivisões. Em vermelho destaca- se a região de estudo. Modificado de Alkmim <i>et al.</i> (2007). ....	20
Figura 2.9: Modelo de Evolução tectonoestrutural do Bloco Itacambira – Morro Azul durante o Ciclo Brasiliano. ....	21
Figura 2.10: Perfil do flanco oeste Anticlinal de Itacambira. Extraído de Noce (1997). ....	22
Figura 2.11: Mapa geológico da região Oeste de Itacambira destacando as principais unidades e estruturas. Retirado de Souza (2019). ....	23
Figura 2.12: Sobreposição do sugerido mapa geológico para a região de Itacambira com o mapa da Amplitude do Sinal Analítico (ASA) e a correção entre eles. Figura retirada de Costa (2018). ....	25
Figura 3.1: Mapa de elevação da Anticlinal de Itacambira, confeccionado a partir do <i>software</i> Global Mapper. ....	28
Figura 3.2: A) Mapa geológico da região de Itacambira confeccionado no projeto de Mapeamento Geológico (GEO493) de 2018. B) Perfil A-A’ confeccionado a partir do mapa anterior. C) Perfil B-B’ confeccionado a partir do mapa anterior. D) Perfil C-C’ confeccionado a partir do mapa anterior. ....	30

Figura 3.3: Em (A) mapa de densidade da projeção polar do acamamento (S0) na região de Itacambira. Em (B) estereograma de projeção polar de S0 na região de Itacambira. ....	30
Figura 3.4: Em (A) mapa de densidade da projeção polar da foliação (Sn) na região de Itacambira. Em (B) estereograma de projeção polar de Sn na região de Itacambira. ....	31
Figura 3.5: (A) Filonito da Suíte Itacambirucu apresentando foliação milonítica marcada por filossilicatos. (B) Granitóide da Suíte Itacambirucu com textura milonítica apresentando grãos e agregados de quartzo rotacionados. ....	32
Figura 3.6: Imagem em planta ilustrando uma zona de cisalhamento presente no granitoide com cinemática dextral. ....	32
Figura 3.7: Em (A) mapa de densidade da projeção polar da foliação milonítica (Sm) na região de Itacambira. Em (B) estereograma de projeção polar de Sm na região de Itacambira. ....	33
Figura 3.8: A) Steps de falha reversa indicando a existência de uma falha reversa; B) Sinclinal no <i>front</i> da falha reversa da figura anterior. ....	33
Figura 3.9: Afloramento próximo ao Mirante de Itacambira (MG) onde foi mapeado o contato embasamento cristalino/supracrustal por falha normal. Em destaque tem-se as principais unidades e estruturas identificadas. ....	34
Figura 3.10: Em (A) mapa de densidade da projeção polar do plano de falha na região de Itacambira. Em (B) estereograma de projeção polar do plano de falha na região de Itacambira. ....	35
Figura 3.11: <b>A-C</b> : Pares conjugados de fraturas em escalas de afloramento destacados em amarelo. ...	35
Figura 3.12: A) Falha <i>strike-slip</i> dextral. <b>B</b> ) Falha <i>strike-slip</i> com movimento oblíquo indicado pelas estrias de falha no limite sul da lasca de quartzito mapeada. ....	36
Figura 3.13: Mapa de lineamentos gerado a partir de imagem de satélite obtida pelo <i>software</i> ArcGIS. No canto inferior esquerdo diagrama de roseta dos lineamentos. ....	37
Figura 3.14 Quadro estrutural observado a partir de imagens aéreas e de dados de pesquisa de campo. ....	38
Figura 3.15: Figura de quadro comparativo dos mapas de densidade das projeções polares dos planos de acamamento. ....	39
Figura 3.16: Quadro comparativo dos mapas de densidade das projeções polares dos planos de foliação. E ....	40
Figura 4.1: Mapa de Amplitude do Sinal Analítico (ASA) com sobreposição dos lineamentos magnéticos (em branco) e diagrama de rosas dos lineamentos, retirados de Costa (2018). ....	42

Figura 4.2: Mapa radiométrico de contagem total com sobreposição dos lineamentos radiométricos (em branco) e diagrama de rosas dos lineamentos, retirados de Costa (2018).....	43
Figura 4.3: Mapa magnetométrico de Amplitude do Sinal Analítico com sobreposição dos lineamentos magnetométricos (em branco) e dos lineamentos fotointerpretados e mapeados (em preto tracejado). Modificado de Costa (2018).....	44
Figura 4.4: Mapa radiométrico de contagem total com sobreposição dos lineamentos radiométricos (em branco) e dos lineamentos fotointerpretados e mapeados (em preto tracejado). Modificado de Costa (2018).....	45
Figura 4.5: Quadro comparativo de diagramas de rosetas dos lineamentos.....	46
Figura 5.1: Mapa gerado a partir do modelo digital de elevação SRTM, com destaque para os lineamentos do contato enbasamento/cobertura da Anticlinal de Itacambira. ....	48
Figura 5.2: Mapa ASA de interpretação dos lineamentos segundo a orientação das anomalias enfatizando a cinemática dextral. Modificado de Costa (2018).....	49

## RESUMO

---

A Anticlinal de Itacambira é uma feição morfo-estrutural localizada na região centro-norte do estado de Minas Gerais, e encontra-se inserida no domínio externo do Orógeno Araçuai, próxima ao limite leste do Cráton São Francisco. A estrutura está inserida no contexto tectono-estutural do cinturão de dobras e cavalgamentos da Serra do Espinhaço, e marca o início geográfico da Serra do Espinhaço Setentrional em Minas Gerais. Rochas granito-gnáissicas Arqueanas a Paleoproterozoicas do Complexo Porteirinha afloram no núcleo da anticlinal, constituindo o embasamento cristalino, e são recobertas por rochas do Supergrupo Espinhaço e do Grupo Macaúbas, que estruturam os flancos desta megadobra. O Grupo Macaúbas registra a abertura da bacia homônima que se nucleou no início do Toniano, num processo de rifteamento continental que resultou na formação de um amplo aulacógeno. Em um segundo estágio de rifteamento continental, durante o Criogeniano, a Bacia Macaúbas evoluiu para uma margem passiva com formação de crosta oceânica. O desenvolvimento deste sistema bacinal se estabeleceu de maneira descontínua e complexa devido a presença de estruturas pretéritas condicionantes, provenientes de ciclos extensionais anteriores (Bacia Espinhaço) e da nucleação do embasamento cristalino. Após estes ciclos extensionais iniciou-se um processo de inversão bacinal durante o Ciclo Brasileiro, no final do Neoproterozoico. Trabalhos recentes realizados na região demonstraram que a Bacia Macaúbas é localmente limitada espacialmente por um par de falhas conjugado com *trend* NW e NE. Procurando determinar se essas estruturas são heranças do embasamento cristalino reativadas ao longo da evolução geológica da região, este estudo realizou a análise de dados estruturais e geofísicos da área. A partir dos trabalhos de campo realizados foram coletados dados estruturais de estruturas planares e lineares, que posteriormente foram agrupados de acordo com sua natureza geológica para identificação dos principais estilos estruturais e para estudos de análise cinemática. Adicionalmente, realizou-se o processamento de imagens de radar e de satélite, afim de delimitar os principais lineamentos geomorfológicos, além da correlação com mapas geofísicos magnetométricos e radiométricos da área. Foram mapeadas zonas de contato tectônico entre o embasamento cristalino e as rochas supracrustais, materializadas por falhas normais, de empurrão ou reversas. Cortando o domínio do embasamento identificou-se falhas transcorrentes e zonas de cisalhamento caracterizadas por milonitos, que localmente se estendem até as rochas da cobertura supracrustal, indicando uma possível reativação destas estruturas. Também foram descritos pares conjugados de fraturas com *trend* NE e NW. Os planos de acamamento e foliação plano-axial descritos possuem direção predominante NS ou NE, com mergulhos para E, os primeiros apresentam valor médio 100/33, enquanto os segundos o valor médio encontrado foi 103/38. A foliação milonítica apresenta direção preferencial NS, com mergulho para E, mas apresentou ângulo significativamente maior que os elementos anteriores. O sensoriamento remoto permitiu a identificação de quatro grupos de lineamentos, NS, EW, NW e NE. Os dois últimos apresentam-se muitas vezes organizados como pares conjugados, se estendem do embasamento até as rochas supracrustais e estão associados a movimentação de blocos da cobertura sobre o substrato, além de frequentemente delimitarem o tipo de contato entre essas rochas. Os lineamentos NS também apresentam grande relevância na área, principalmente nas unidades do embasamento e no contato com a cobertura. À partir da comparação entre os mapas magnetométricos e radiométricos, é possível observar que os lineamentos magnetométricos possuem um *trend* NW ou NE, assim como observado para os lineamentos geomorfológicos mapeados, sugerindo portanto uma continuidade das estruturas em profundidade. Tomando-se os dados estruturais coletados e a análise cinemática realizada neste trabalho, conclui-se que as bacias Macaúbas e Espinhaço apresentam um possível padrão geométrico em zig-zague, resultante da herança tectônica regional, mais especificamente dos pares de fraturas conjugados com direção NE e NW que se nuclearam durante a formação do embasamento cristalino. Essas falhas controlaram geometricamente a deposição do Supergrupo Espinhaço e a sedimentação Toniana da Bacia Macaúbas, tanto na região de Itacambira como na extensão total desses domínios.

**Palavras chaves:** Anticlinal de Itacambira; Orógeno Araçuai; Bacia Macaúbas; Análise cinemática de estruturas rúpteis, Bloco Porteirinha.



## ABSTRACT

---

The Itacambira anticline is a morpho-structural feature located in the north-central region of the state of Minas Gerais, Brazil. In a geotectonic point of view located in the external domain of the Araçuaí Orogen, close to the eastern border of the São Francisco Craton. The structure is inserted in the tectono-structural context of Serra do Espinhaço fold and thrust belt and marks the geographical beginning of the Serra do Espinhaço in Minas Gerais. Granite-gneissic Archean to Paleoproterozoic rocks of the Porteirinha Complex appear in the core of the anticline structure, constituting the crystalline basement, and covered by rocks from the Espinhaço Supergroup and the Macaúbas Group, which structure the flanks of this mega folder. The Macaúbas Group registers the opening of the homonymous basin that was formed at the beginning of the Tonian, in a continental rifting process that resulted in the formation of a wide aulacogen. In a second stage of continental rifting, during the Cryogenian, the basin evolved to a passive margin with the formation of an oceanic crust. The development of this basin system evolved ancient structures, originating from previous extension cycles (Espinhaço Basin) and the nucleation of the crystalline basement. At the end of the Neoproterozoic an inversion basin process was started during the Brasiliano Cycle. Recent works have demonstrated that this basin is spatially limited by faults with NW and NE trends. On purpose to determine the inheritance of the crystalline basement in the geological evolution of the region, this study carried out the analysis of structural and geophysical data of the area. The structural data was grouped according to its geological nature aiming to disclose the structural patterns and the kinematics of the main structures. To complement the study, the processing of radar and satellite images was carried out, in order to delimit the geomorphological lineaments, in addition to the correlation with magnetometric and radiometric maps of the area. Normal and reverse fault zones between the crystalline basement and the supracrustal rocks were mapped. The basement is dominated by transcurrent faults materialized on the field by shear zones characterized by milonites. The shear zones extend up to the cover, indicating a possible reactivation of these structures. Conjugated pairs of fractures with NE and NW trends have also been described. The preferred horizontal bedding direction are NS to NE, as well as the plane-axial foliation plane, both with dip to E. The mylonitic foliation also showed preferential direction for NS, with dip also to E, but presented an angle significantly greater than the previous elements. Remote sensing allowed the identification of four groups of lineaments, NS, EW, NW and NE. These last two are often organized as conjugated pairs, extend from the basement to supracrustal rocks and are associated with the movement of blocks from the cover over the substrate, in addition to often delimiting the type of contact between these rocks. NS lineaments also have great relevance in the area, mainly in the basement units and in contact with the Proterozoic rocks. According to the comparison of the magnetometric and radiometric maps, it is possible to observe that, mainly the magnetometric lineaments, also demonstrate a large percentage of structures with a NW and NE direction, agreeing with the mapped geomorphological lineaments. It is inferred that these structures remain in depth. It is concluded, therefore, that both the Macaúbas Basin and the Espinhaço Basin present a possible zigzag geometric pattern, the result of the influence of the region's tectonic heritage, more specifically of the pairs of fractures conjugated with NE and NW direction that probably developed during the formation of the crystalline basement. These faults geometrically control the deposition of the Espinhaço Supergroup and the Tonian sedimentation of the Macaúbas Basin, both in the Itacambira region and probably in the total extent of these domains.

**Key words:** Itacambira Anticline; Araçuaí Orogen; Macaúbas Basin; Kinematic analysis of brittle structures, Bloco Porteirinha



# CAPÍTULO 1

## INTRODUÇÃO

---

### 1.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

Este trabalho é o resultado das atividades de campo realizadas pela autora desse trabalho de conclusão de curso durante as disciplinas de Estágio de Mapeamento Geológico (GEO391) e Mapeamento Geológico (GEO493), ambos realizados em 2018, respectivamente nas regiões de Planalto de Minas e Itacambira, no estado de Minas Gerais. O trabalho contou com a colaboração dos alunos, professores e dos motoristas Reinaldo Timóteo da Silva e André Luis Ribeiro de Souza, motoristas disponibilizados pela UFOP, presentes nas disciplinas referidas. Juntamente com estes trabalhos foram analisados dados de sensoriamento remoto e geofísica que somados aos dados estruturais obtidos em campo possibilitaram a análise das feições rúpteis da Anticlinal de Itacambira, mais precisamente na região do contato das rochas do embasamento com as rochas supracrustais.

O trabalho de campo realizado pela disciplina de Mapeamento Geológico (GEO493), feito no segundo semestre de 2018, com a orientação dos professores Maria Eugênia Silva de Souza e Marco Antônio Fonseca, foi a base para a realização deste Trabalho de Conclusão de Curso. Foi a atividade de campo que consolidou o objetivo deste TCC, e possibilitou a coleta de dados estruturais em conjunto com os alunos da disciplina.

### 1.2 LOCALIZAÇÃO

A área de estudo encontra-se inserida nas imediações do município de Itacambira (Folha Itacambira SE.23-X-D-I, escala 1:100.000 e Folha Botumirim SE.23-X-B-IV, escala 1:100.000), localizada na região Norte do estado de Minas Gerais (Figura 1.1), a 512km da capital Belo Horizonte.

O trajeto entre Ouro Preto e Itacambira se dá primeiramente através da BR-356 até Belo Horizonte, em seguida pela BR-040 até a cidade de Curvelo. Pega-se então a BR-135, com sentido a Diamantina, até a cidade de Bocaiuva. Em Bocaiuva deve-se acessar a MG-651 e em seguida a MG-308 até atingir o município de Itacambira.

A área do município Itacambira está completamente inserida na porção setentrional da Folha Itacambira (SE.23-X-D-I, escala 1:100.000) mapeada por Noce. *et al.* (1997). Porém as feições estruturais analisadas estendem-se também para porção sul da Folha Botumirim (SE.23-X-B-IV, escala

1:100.000) mapeada por Vidigal Guimarães. *et al.* (1997), ambos os mapas elaborados dentro do Projeto Espinhaço.

A região mapeada durante o trabalho de campo realizado pela disciplina de Mapeamento Geológico (GEO493), no segundo semestre de 2018, foi dividida em seis áreas de aproximadamente 25km<sup>2</sup> (Figura 1.1). As áreas compreendem o município de Itacambira e a região vizinha à cidade.

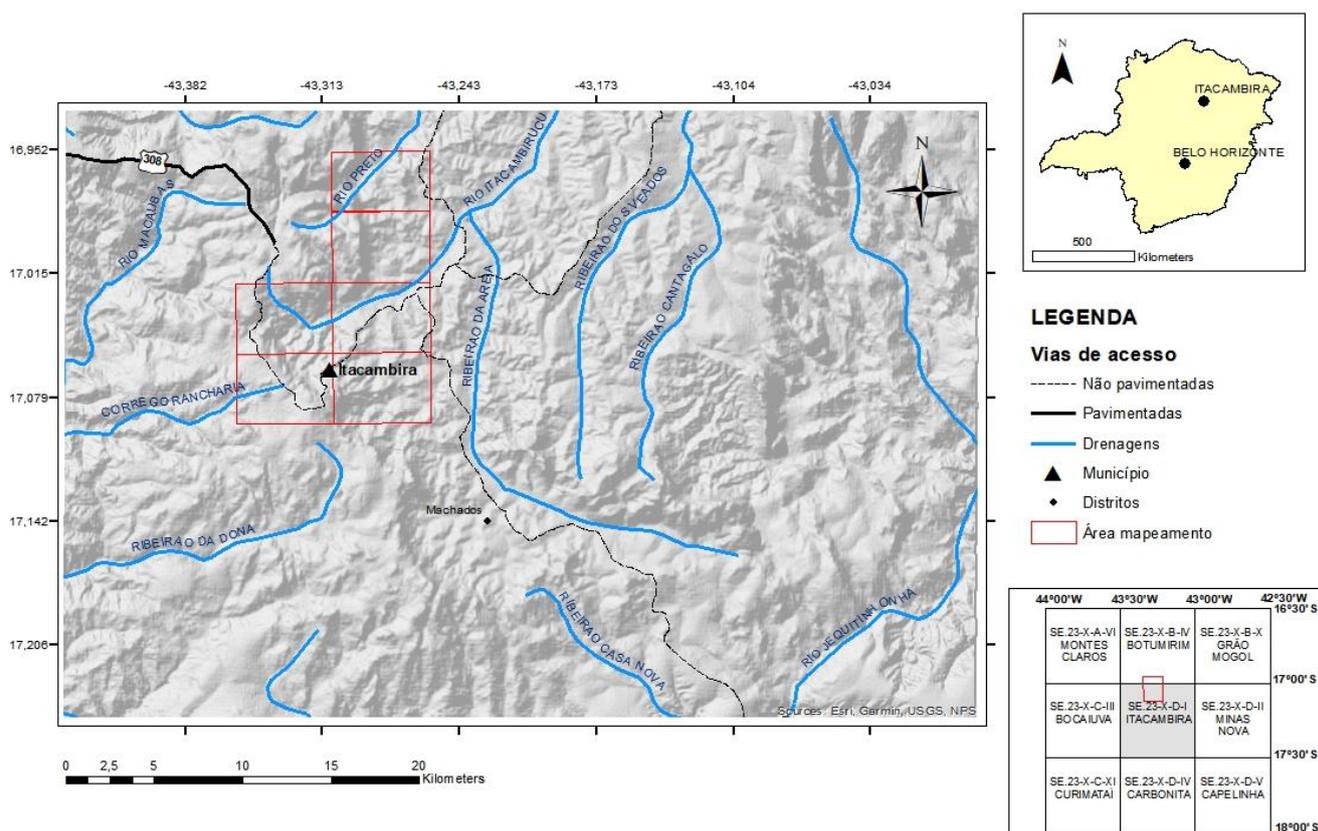


Figura 1.1: Mapa de localização da área de estudo. Em vermelho destaca-se a área onde foi realizado o Mapeamento pela turma da Universidade Federal de Ouro Preto 2018.

### 1.3 JUSTIFICATIVA

Sobrepostas no espaço e no tempo, as bacias Espinhaço e Macaúbas, constituem um longo registro de tentativas de quebra do Paleocôntinente São Francisco – Congo (amalgamado no limite Riáciano-Orosiriano – *eg.* Ledru *et al.*, 1994; Texeira *et al.*, 2000; Noce *et al.*, 2007; Heilbron *et al.*, 2010). Tais tentativas de quebra datam do Estateriano ao Criogeniano e são registradas pelas rochas do Supergrupo Espinhaço e do Grupo Macaúbas (*e.g.* Heilbron *et al.*, 2017).

O Supergrupo Espinhaço corresponde a uma bacia ensílica resultante da sobreposição policíclica de três bacias intracontinentais do tipo rifte e rifte-sag, com idades Paleoproterozoicas a

Mesoproterozoicas (e.g. Pflug & Renger, 1973; Schobbenhaus, 1996; Pedrosa-Soares & Alkmim, 2011; Chemale *et al.*, 2012; Alkmim & Martins-Neto, 2012; Danderfer *et al.*, 2009; 2015; Costa, 2017; Bitencourt *et al.*, 2019). O Grupo Macaúbas constitui o registro sedimentar Neoproterozoico da bacia homônima, cuja história evolutiva corresponde a sobreposição de dois riftes intracontinentais, o primeiro (Toniano) formou um aulacógeno e o segundo (Criogeniano) evoluiu para uma margem passiva com espalhamento oceânico em ca. 660 Ma. Posteriormente, no Ediacarano, esta bacia foi fechada, resultando na edificação do Orógeno Araçuaí – Congo Ocidental (e.g. Pedrosa-Soares *et al.*, 2000; 2011; Silva *et al.*, 2008; Martins *et al.*, 2008; Queiroga, 2012; Pedrosa-Soares & Alkmim, 2011; Babinski *et al.*, 2012; Kuchenbecker *et al.*, 2015; Castro *et al.*, 2019, 2020; Souza *et al.*, 2019; Amaral *et al.*, 2020;). Um grande evento de quebra continental no final do Paleoproterozoico formou um amplo sistema de aulacógenos (Espinhaço, Paramirim e Pirapora) que constituem o parte do embasamento do Grupo Macaúbas, desta forma o estilo estrutural da Bacia Macaúbas reflete uma herança tectônica antiga que conduziu o seu próprio desenvolvimento e evolução ( Uhlein *et al.*, 1991; Souza *et al.*, 2017; Reis *et al.*, 2017; Souza, 2019).

Martins *et al.* (2008) e Leite (2013) reconheceram em seus trabalhos importantes estruturas associadas ao preenchimento inicial de um meio-gráben do rifte Macaúbas no Toniano na região da Anticlinal de Itacambira. Tais estudos foram parcialmente refeitos e detalhados por Souza *et al.* (2019). A sul da Anticlinal de Itacambira, na região de Planalto de Minas, Minas Gerais, Souza *et al.* (2017) reconheceu e caracterizou a existência de um alto estrutural, onde a unidade homônima, Toniana e pertencente ao Grupo Macaúbas, se assenta diretamente sobre a unidade São João da Chapada, de idade Estateriana e pertencente à base do Supergrupo Espinhaço, configurando um *gap* estratigráfico de ca. 800 Ma. Como condicionante desta configuração estrutural-estratigráfica, Souza *et al.* (2017) atribuiu a herança estrutural do ciclo Espinhaço como um importante controlador no desenvolvimento do ciclo Macaúbas, através da interação tectônica entre bacias sobrepostas no espaço e no tempo. Na porção central da Bacia Macaúbas, Reis (2016) através de levantamentos geológico-geofísicos do Aulacógeno Pirapora caracterizou um sistema de estruturas de trend NW como controladoras da sedimentação da sequência Macaúbas nesta referida estrutura. Reis (2016) sugeriu ainda que tais estruturas NW ultrapassavam o limite Cráton São Francisco – Faixa Araçuaí, e que a reativação das mesmas possivelmente condicionou a arquitetura dos depocentros dos sistemas bacinais Espinhaço e Macaúbas naquela região. Oliveira (2020), sendo complementado pelo trabalho de Oliveira *et al.* (in press), reconheceu e caracterizou a reativação destas estruturas como importantes lineamentos estruturais que limitam espacialmente a ocorrência das unidades Tonianas e Criogenianas do Grupo Macaúbas no fechamento periclinal da Serra do Espinhaço, porção central do Grupo Macaúbas e adjacente a leste ao aulacógeno Pirapora.

A Anticlinal de Itacambira, região alvo do presente estudo, localizada no centro-norte de Minas Gerais, é a feição morfo-estrutural mais proeminente da região homônima. Tal região encontra-se inserida no contexto tectono-estrutural do domínio externo do Orógeno Araçuaí, mais precisamente no domínio de dobras e cavalgamentos da Serra do Espinhaço (Alkmim *et al.*, 2007). No núcleo da Anticlinal de Itacambira afloram rochas granito-gnáissicas Arqueanas a Paleoproterozoicas do Complexo Porteirinha, constituindo o embasamento cristalino do Cráton São Francisco na região (*e.g.* Noce *et al.*, 2007). Recobrando o embasamento e estruturando os flancos desta megadobra ocorrem as rochas do Supergrupo Espinhaço e do Grupo Macaúbas, cuja sequência estratigráfica não se apresenta invertida (*e.g.* Karfunkel & Karfunkel, 1976; Noce *et al.*, 1997; Martins *et al.*, 2008; Leite, 2013; Souza *et al.*, 2019).

Conforme Noce *et al.* (1997; 2007), Martins *et al.* (2008) e Souza *et al.* (2019), várias estruturas rúpteis e rúpteis-dúcteis ocorrem por toda a Anticlinal de Itacambira, em faixas milonitizadas, falhas reversas (falhas normais invertidas), de cavalgamento, retrocavalgamento e transcorrentes, além de uma enorme incidência de fraturas em pares conjugados (com orientações NW-SE e NE-SW) e que comumente limitam lateralmente as zonas de ocorrência das unidades do Grupo Macaúbas (*e.g.* Souza *et al.*, 2019). Estas evidências são importantes registros estruturais da formação da Bacia Macaúbas, ainda que multi-reativados ao longo da história do Cráton São Francisco, e compõem importante fator condicionante para a arquitetura (geometria) da bacia. Desta forma, a caracterização dessas estruturas pré-deposicionais da Bacia Macaúbas (herança tectônica de seu embasamento) é muito importante para compreender como se deu a evolução tectônica e estrutural da região.

## **1.4 OBJETIVOS**

O principal objetivo deste trabalho é realizar uma descrição e análise cinemática das estruturas rúpteis que compreendem ao arcabouço estrutural do rifte Macaúbas na região de Itacambira e, como consequência natural, auxiliar na compreensão da influência de tramas pretéritas (do embasamento) na nucleação deste rifte.

## **1.5 MATERIAIS E MÉTODOS**

### **1.5.1 Revisão bibliográfica**

As principais bases bibliográficas consultadas neste trabalho foram os trabalhos realizados por Souza *et al.* (2017) em sua dissertação de mestrado intitulada “*Caracterização Litoestrutural e Geocronológica dos Xistos Verdes e Metagabros do Grupo Macaúbas na Faixa Terra Branca - Planalto de Minas, Minas Gerais*”, e Souza (2019) em sua tese de doutorado, “*Evolução geodinâmica dos*

*estágios de rifteamento do grupo Macaúbas no período Toniano, meridiano 43°30'W, região centro-norte de Minas Gerais*”, por serem os trabalhos base que apontaram a necessidade do estudo realizado nesta monografia. Outro trabalho também amplamente consultado foi a “*Geologia da Folha Itacambira, Minas Gerais*”, confeccionado por Noce (1997) através do Projeto Espinhaço, por se tratar do principal trabalho de mapeamento regional da região.

Realizou-se também a leitura de livro texto e artigos sobre os métodos de descrição e análise cinemática empregados dentro do campo da geologia estrutural.

### **1.5.2 Sensoriamento Remoto**

A análise por Sensoriamento Remoto foi feita através da fotointerpretação da área de estudo a partir de imagem de satélite via *software* ArcGis 10.3, com escala 1:100.000, onde foram delimitadas as principais macroestruturas da região. Para o processamento destas imagens foi utilizado o mesmo *software*, onde foram analisados visualmente os lineamentos estruturais, contatos geológicos e traços de falhas.

Outra etapa importante da interpretação de imagens foi a confecção do mapa de elevação digital do terreno e a análise morfológica realizada a partir deste. Para geração desta imagem utilizou-se o *software* Global Mapper 21.1.

### **1.5.3 Levantamento de dados estruturais**

Para levantamento dos dados estruturais utilizados neste trabalho realizou-se duas etapas, a etapa de coleta de dados em campo e a de seleção de dados que seriam utilizados a partir da bibliografia.

Os campos realizados foram feitos nas imediações do município de Planalto de Minas e Itacambira. O primeiro campo teve duração de 10 dias sendo realizado em agosto de 2018 e foi dividido em 4 áreas com aproximadamente 30km<sup>2</sup> cada. Este trabalho teve caráter consultivo para a geologia regional. Já o segundo campo teve duração de 6 dias, tendo ocorrido em outubro de 2018 e foi separado em 6 áreas, como já mencionado. A escolha dos pontos levantados foi feita a partir do caminhamento semi controlado que consiste em percorrer uma rota predeterminada, pelos métodos de malha e perfil longitudinal, na escala de 1:25000. Em ambos os campos as vias que dão acesso aos locais de realização dos pontos foram encontradas com o auxílio de imagens de satélite e aerofotos. A cada dia foi realizado um novo planejamento de caminhamento, objetivos e como chegar aos pontos pretendidos.

Foi realizada a coleta sistemática de dados estruturais lineares e planares (estruturas geométricas) da região pelos diferentes grupos que participaram dos trabalhos de campo.

Os principais materiais utilizados em campo foram:

- i. Caderneta;

- ii. Mapa topográfico e foto aérea, ambos com escala 1:25.000;
- iii. Bússola do tipo Brunton;
- iv. Lupa mineralógica 10x;
- v. Martelo Petrográfico;
- vi. GPS utilizando o *datum* WGS 84

Já o levantamento de dados realizado a partir da bibliografia culminou na seleção dos dados disponíveis nos trabalhos de Souza (2017 e 2019), o Estágio de Mapeamento Geológico (GEO391) realizado em 2016, além de dados recolhidos em campo pelo professor Marco Antônio Fonseca, por estarem inclusos na área da região trabalhada.

#### **1.5.4 Organização e tratamento de dados**

Todos os dados obtidos, tanto pelo levantamento em campo como pelo realizado a partir da bibliografia, foram organizados com o uso do *software* Excel. Os dados foram padronizados e separados de acordo com sua localização e natureza geométrica (acamamento, foliação, plano de falha, lineação mineral e lineação de interseção).

Com os dados organizados foram elaborados e analisados diagramas estruturais de rosáceas, estereográficos e mapas de densidade obtidos a partir do *software* Stereo32 (versão 1.0.3).

#### **1.5.5 Descrição e análise cinemática**

A análise cinemática é um dos métodos de estudo da geologia estrutural baseada no movimento das partículas da rocha durante uma deformação (Fossen, 2012). É a relação geométrica e de simetria dessas partículas em relação a um plano de movimento e envolve os parâmetros de translação, distorção e rotação.

Baseado nos dados estruturais relacionados à acamamento, foliações, planos de falhas, lineações de interseção e estiramento mineral obtidos, foi realizado a caracterização geométrica e espacial. A análise cinemática foi feita através da obliquidade (rake) estrutural da lineação disposta sobre estruturas planares e da direção preferencial dessas lineações.

#### **1.5.6 Análise de Dados Geofísicos**

A análise estrutural pode utilizar diferentes fontes de dados para auxiliar em seu estudo, como por exemplo os dados geofísicos. Dados magnéticos, gravimétricos e radiométricos podem ser usados para mapeamentos de falhas e até datação relativa de eventos tectônicos (Fossen, 2012).

Os dados geofísicos utilizados foram compilados a partir do trabalho de conclusão de curso de Costa (2018), através da análise de mapas temáticos geofísicos, principalmente os magnetométricos e radiométricos. Esses dados foram correlacionados com os resultados da análise cinemática. Afim de entender se esses dados estão de acordo, dando suporte ou não a interpretação estrutural realizada.



## CAPÍTULO 2

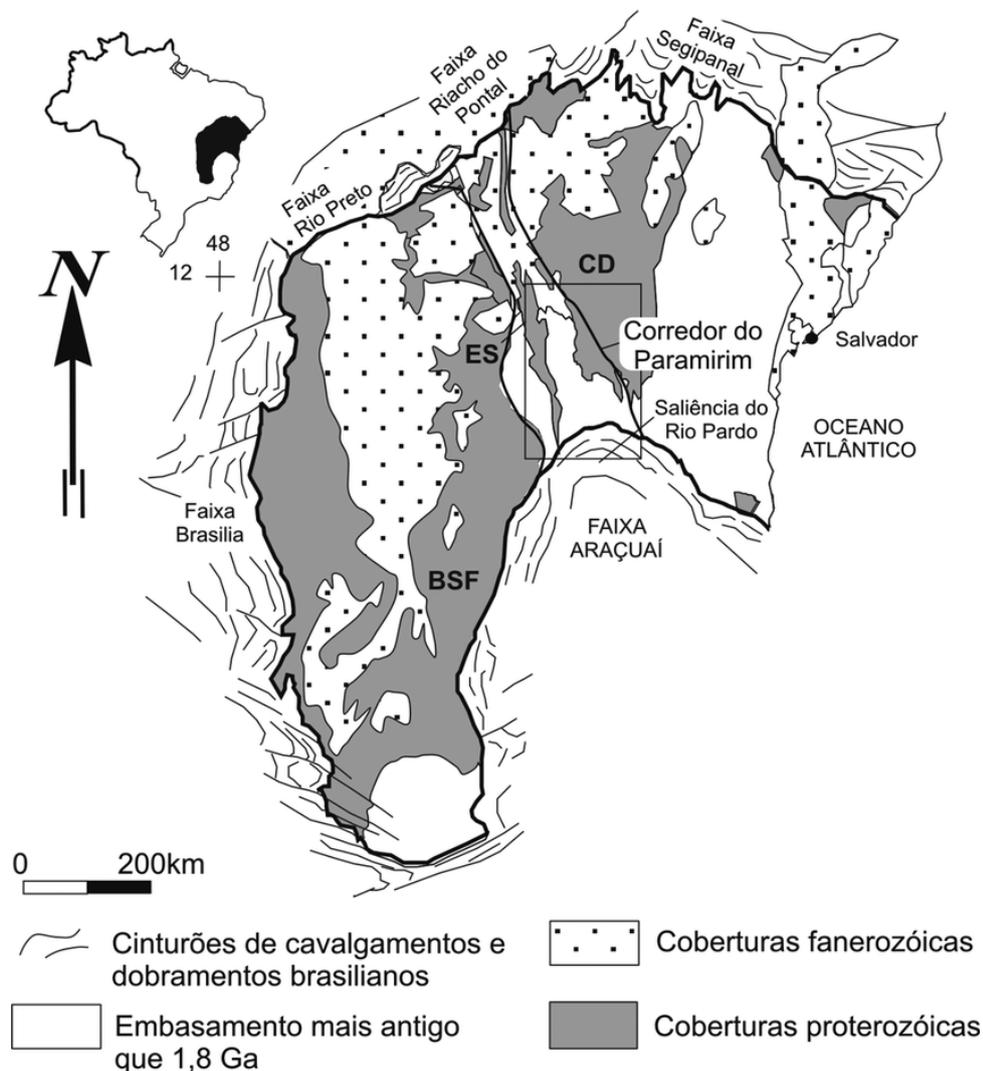
### CONTEXTO GEOLÓGICO

---

#### 2.1 CONTEXTO GEOTECTÔNICO

A Anticlinal de Itacambira marca o início da porção setentrional da Serra do Espinhaço em Minas Gerais (Schobbenhaus, 1993). Sua região de abrangência se situa próxima ao limite leste do Cráton São Francisco e integralmente na faixa de dobramento Neoproterozoica Araçuaí. Uma das características da Faixa Araçuaí é o envolvimento do embasamento na deformação da cobertura (Alkmim *et al.*, 1993), que na região de estudo materializa-se no bloco Porteirinha (Noce *et al.*, 1997).

O Cráton São Francisco (CSF), localizado na região centro-leste do Brasil, abrange principalmente os estados de Minas Gerais e da Bahia, e compõe parte do escudo Atlântico. Almeida (1997) delimitou o CSF e o definiu como um núcleo rochoso, cujo embasamento começou a ser formado no Arqueano e consolidou-se ao fim do “Ciclo Transamazônico”, na fronteira do Riáciano – Orosiriano. No Neoproterozoico, durante a amalgamação do Supercontinente Gondwana, os crátons São Francisco e Congo, juntamente com outros crátons, se aglutinaram numa série de colisões diacrônicas que deram origem aos sistemas orogênicos brasileiros, cujas faixas de dobramentos e cavalgamentos definem os limites do CSF. Conforme Alkmim *et al.*, (1993), tais limites corresponderiam a falhas reversas de grande rejeito e mergulhos variáveis, possivelmente associadas a sistemas transcorrentes. As faixas brasileiras limítrofes do CSF correspondem aos cinturões de dobras e falhas de cavalgamento Araçuaí, Brasília, Rio Preto, Riacho do Pontal e Sergipana (Almeida, 1977; Heilbron *et al.*, 2017).



CD- Chapada Diamantina, ES- Espinhaço Setentrional, BSF- Bacia do São Francisco.

Figura 2.1: Mapa geológico simplificado do Cráton São Francisco. Retirado de Alkmim *et al.* (2006).

A Faixa Araçuai borda todo o limite oriental do Cráton São Francisco e pode ser entendida como a porção mais externa do orógeno homônimo. O Orógeno Araçuai tem uma evolução *sui generis* em função de seu desenvolvimento confinado em um ambiente de golfo parcialmente oceanizado e articulado com aulacógenos (Pedrosa-Soares *et al.*, 2001; Alkmim *et al.*, 2006). A Faixa Araçuai é limitada a leste pelo núcleo metamórfico de alto grau (anatótico) do Orógeno Araçuai e envolve o embasamento Arqueano a Paleoproterozoico (> 1.8 Ga), as sucessões Paleo- a Mesoproterozoicas rifte e rifte-sag do Supergrupo Espinhaço, as sequências riftes e de margem passiva Tonianas a Ediacaranas do Grupo Macaúbas, bem como a Formação Salinas e intrusões graníticas sin-colisionais. O Grupo Macaúbas é a unidade tipo do Orógeno Araçuai, uma vez que é o registro de sua bacia precursora. Todas

as unidades expostas na Faixa Araçuaí se encontram sob condições metamórficas de fácies xisto verde a anfíbolito. (Alkmim *et al.*, 2017 e referências contidas).

A Bacia Macaúbas se nucleou no início do Toniano (ca. 1.0 Ga – 865 Ma), num processo de rifteamento continental que não evoluiu para uma margem passiva, configurando um amplo aulacógeno (Martins *et al.*, 2008; Pedrosa-Soares *et al.*, 2011; Pedrosa-Soares & Alkmim, 2011; Castro *et al.*, 2019, 2020; Souza *et al.*, 2019). Um segundo estágio de rifteamento continental ocorreu no Criogeniano (ca. 750 a 670 Ma) sob parcial influência glaciogênica (Babinski *et al.*, 2012; Kuchenbecker *et al.*, 2015; Castro *et al.*, 2020) e evoluiu para uma margem passiva com desenvolvimento de litosfera oceânica ca. 660 a 600 Ma; Pedrosa-Soares *et al.*, 2001; 2008; Queiroga *et al.*, 2007; Peixoto *et al.*, 2015; Amaral *et al.*, 2020). O desenvolvimento do sistema bacinal Macaúbas se deu na forma de um golfo, (*inland sea-basin*; Figura 2.1) (Pedrosa-Soares *et al.*, 2001; 2007) e se estabeleceu de maneira descontínua e complexa devido a presença de estruturas pretéritas condicionantes, provenientes de ciclos extensionais anteriores (bacia Espinhaço), que gerou importantes altos e baixos estruturais que condicionaram a compartimentação estrutural-estratigráfica do Grupo Macaúbas (Noce *et al.*, 1997; Souza *et al.*, 2017; 2019). O posterior fechamento da Bacia Macaúbas no Ediacarano culminou na edificação do Orógeno Araçuaí, cujo mecanismo envolvido seria similar ao fechamento de um quebra-nozes (*nutcracker tectonics model* – Alkmim *et al.*, 2006; 2007).

Alkmim, *et al.* (2006) propôs a divisão do Orógeno Araçuaí em dez compartimentos tectônicos (Figura 2.7), de acordo com a orientação de suas estruturas e história de formação sendo que nove destes compartimentos estão inserido na Faixa Araçuaí, são eles: i) o Cinturão de Cavalgamentos da Serra do Espinhaço Meridional; ii) a Zona de Cisalhamento da Chapada Acauã, iii) a zona de dobramentos de Salinas; iv) o Corredor Transpressivo de Minas Novas; v) a Saliência do Rio Pardo e sua zona de interação com o Aulacógeno do Paramirim; vi) o Bloco de Guanhões; vii) a Zona de Cisalhamento de Dom Silvério e estruturas associadas; viii) a Zona de Cisalhamento de Itapebi e estruturas associadas; ix) o núcleo cristalino; e x) o Cinturão Oeste-Congolês. A região de Itacambira está inserida no compartimento i, sendo o foco da área de estudo.

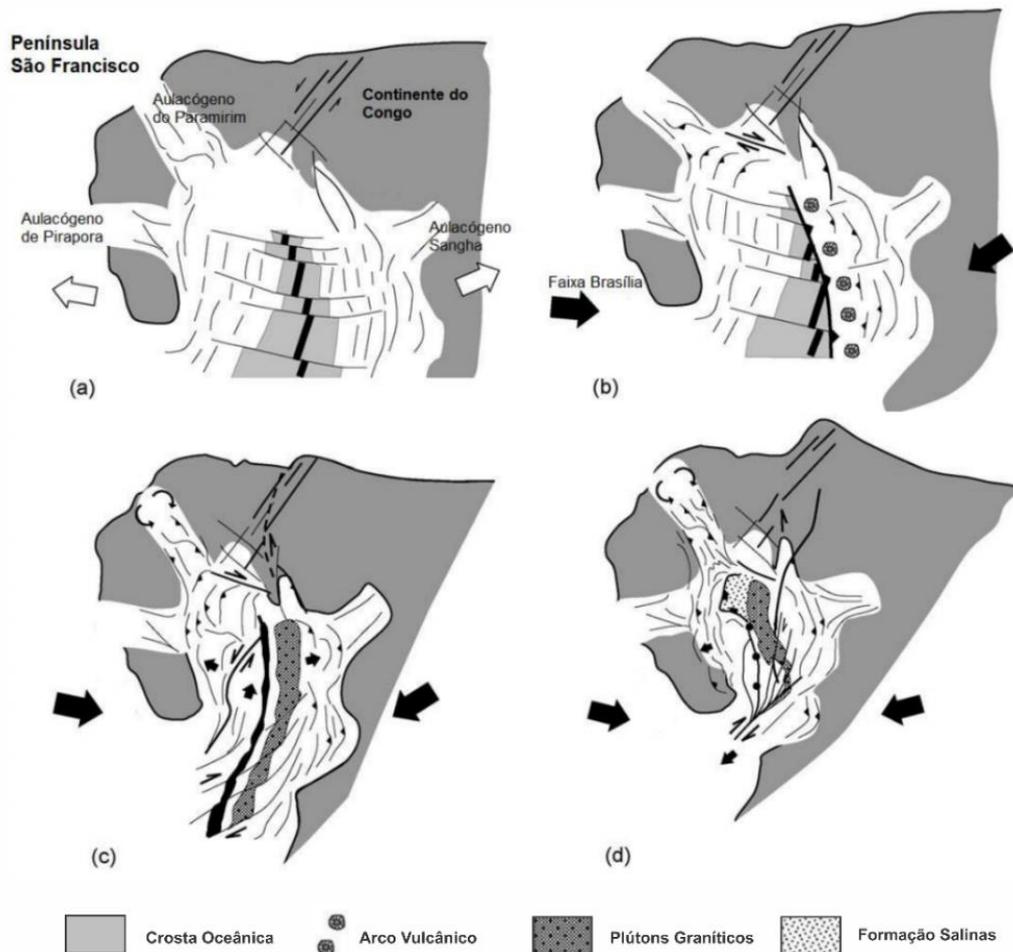


Figura 2.2: Modelo evolutivo do Orógeno Araçuaí-Congo Ocidental, segundo a tectônica “quebra nozes”; a) A Bacia Macaúbas, precursora do orógeno; b) Fase de convergência inicial das margens da Bacia Macaúbas; c) Figura esquemática dos estágios colisional e do, d) colapso gravitacional, após escape lateral da porção sul do orógeno, por volta de 500Ma (extraído de Alkmim *et al.* 2006).

## 2.2 QUADRO ESTRATIGRÁFICO

A área estudada situa-se na Anticlinal de Itacambira. As unidades supracrustais são constituídas por rochas do Supergrupo Espinhaço, de idade Mesoproterozoica, e do Supergrupo Macaúbas que apresentam idades Neoproterozoicas (Pedrosa-Soares *et al.*, 1992; 2008). Já o embasamento cristalino da região foi identificado por Noce *et al.* (1997) como pertencente ao Complexo Córrego do Cedro, datado do Arqueano, e pela Supersuíte Rio Itacambiruçu de idades Mesoarqueana e Neoarqueana.

A descrição estratigráfica desse trabalho de conclusão de curso teve como base os relatórios das folhas Itacambira (Noce *et al.*, 1997) e Botumirim (Guimarães *et al.*, 1997) e o trabalho de Costa (2018) (Figura 2.2). Focou-se nessa descrição estratigráfica na área de estudo, sendo a correlação das unidades presente no trabalho de Souza (2019). A região compreende as unidades do embasamento granito-

gnáissico, compostas pelo Complexo Córrego do Cedro e a Suíte Rio Itacambiruçu, seguida pelas supracrustais paleo/Mesoproterozoicas do Supergrupo Espinhaço e pelas rochas do Grupo Macaúbas.

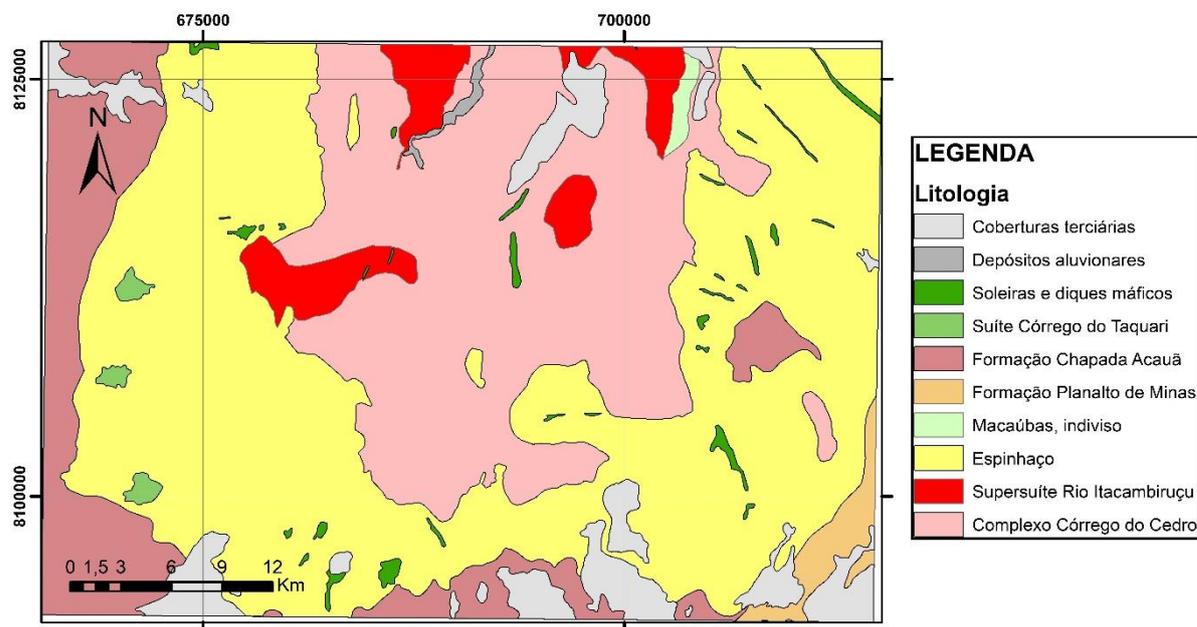


Figura 2.3: Mapa geológico simplificado da região de Itacambira confeccionado a partir dos dados geológicos da CPRM e adaptado de Souza (2019) e Costa (2018).

## 2.2.1 Unidades do embasamento

### 2.2.1.1 Complexo Córrego do Cedro

Segundo Noce (1997) o Complexo Córrego do Cedro é composto por gnaiesses bandados, de composição modal predominantemente granodiorítica, onde ocorre a intercalação de faixas quartzo-feldspáticas com faixas ricas em minerais máficos, principalmente biotita. As bandas possuem poucos centímetros sendo constituídas essencialmente por grãos de granulação média a fina, embora as bandas quartzo-feldspáticas possam, por vezes, exibir granulação grossa. Apresentam-se também anfíbolitos tabulares, ou lenticulares, concordantes com o bandamento e estão presentes também veios de pegmatito que se apresentam delgados e discordantes.

Frequentemente ocorre a presença de faixas xistosas, que atingem algumas centenas de metros, derivadas de zonas de cisalhamento que cortam o Complexo Córrego do Cedro com orientação N-S e possuem alto ângulo de mergulho. Noce. (1997) descreve essas rochas como milonitos, cuja foliação é marcante e definida principalmente pela sericita. Guimarães (1997) também descreve a presença de rochas com textura milonítica, com composição de quartzo, sericita/muscovita e biotita, cortando as rochas gnáissicas.

De acordo com Guimarães (1997) o bandamento gnáissico das rochas apresenta-se localmente dobrado, em dobras apertadas a isoclinais, além de paralelamente a este bandamento existir uma foliação, definida principalmente pela orientação dos minerais micáceos, mas, muitas vezes, por quartzo e feldspato.

### **2.2.1.2 Supersuíte Rio Itacambiruçu**

Grossi-Sad *et al.* (1997) propôs a suíte Rio Itacambiruçu como a classe que engloba os granitoides da região do Bloco Itacambira-Monte Azul compostos por quartzo, feldspato e biotita, com foliação demarcada pelos minerais máficos. Os corpos plutônicos apresentam tamanhos variados com alinhamento geralmente N-S. O autor também descreve esses granitoides com granulação média a grossa e a textura variando de equigranular a porfírica. Bersan (2018), no entanto, através de estudos de geoquímica e datação de rocha, encontrou duas idades distintas de cristalização do magma, além de diferentes composições geoquímicas para os corpos estudados.. O primeiro grupo é datado do Mesoarqueano e possui média concentração de potássio, enquanto o segundo grupo de rochas possui alta concentração de potássio e idades Neoarqueanas. Esse resultado demonstra a existência de duas classes distintas de granitoides, sendo então proposto por Bersan (2018) a utilização do termo supersuíte para estas rochas, devido ao fato da nomenclatura Rio Itacambiruçu já estar consolidado na literatura.

### **2.2.2 Supergrupo Espinhaço**

O termo Espinhaço possui três conotações diferentes dentro da literatura geológica (Schobbenhaus 1996 *in* Souza 2019): geográfica, estratigráfica e geodinâmica. No campo geográfico tem-se a Serra do Espinhaço que se estende desde o sul do Quadrilátero Ferrífero, em Minas Gerais, até o norte do estado da Bahia, sendo dividida em cinco segmentos: Espinhaço Meridional, Espinhaço Central, Espinhaço Setentrional, Serra do Cabral e Chapada Diamantina (Figura 2.3). A Folha Itacambira (SE.23-X-D-I, escala 1:100.000), região da área de estudo, marca o início do Espinhaço Central (Noce. 1997).

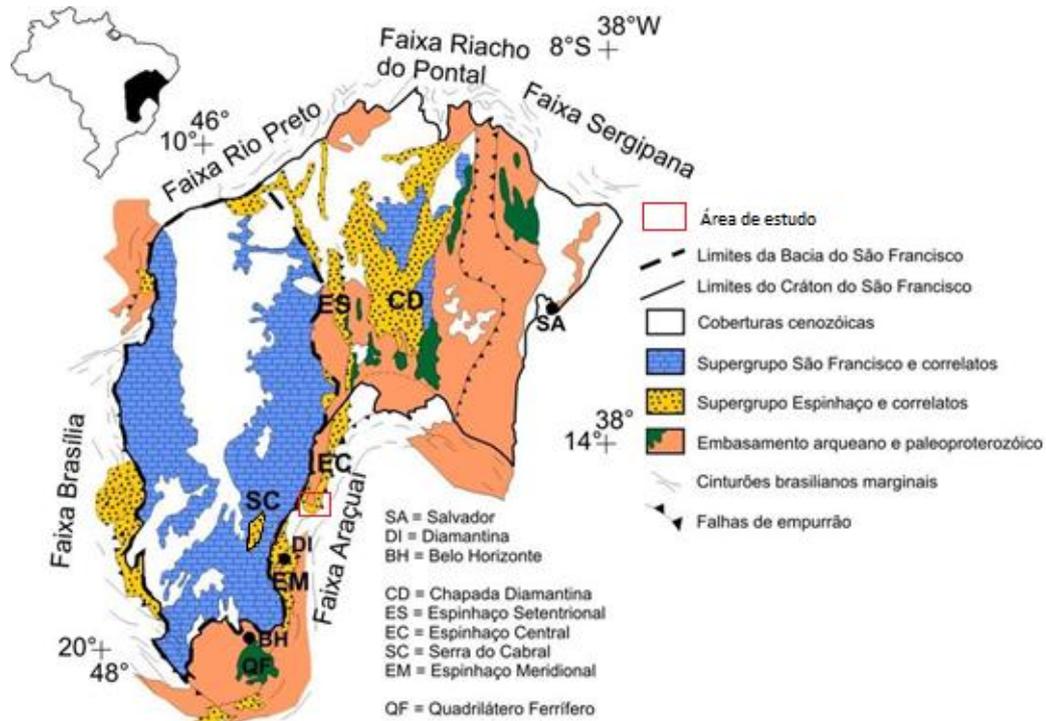


Figura 2.4: Mapa geológico simplificado do Cráton São Francisco e as subdivisões da Serra do Espinhaço. Modificado de Alkmin e Marshak (1998).

O sentido estratigráfico refere-se ao Supergrupo Espinhaço. Na região do Espinhaço Central Karfunkel & Karfunkel (1976) propõe pioneiramente a sequência estratigráfica para o Supergrupo Espinhaço descrita a seguir: Formação Itacambiruçu, que faz contato com o embasamento cristalino, e é composta por mica xistos, filito quartzosos e meta arcóseo; Formação Resplandecente formada por quartzitos e quartzitos micáceos; Formação Água Preta, constituída por quartzitos imaturos intercalados por conglomerados, quartzitos impuros, brechas e xistos cloríticos e a Formação Matão, formada por quartzitos micáceos com intercalação de lentes de conglomerado. Posteriormente, trabalhos realizados na área (e.g. Uhlein 1991; Noce *et al.*, 1997; Martins 2006; Martins *et al.*, 2008; Leite 2013 e Souza 2019) alteram a sequência proposta por Karfunkel & Karfunkel (1976). O presente trabalho adotará a proposta por Souza (2019) (Figura 2.4).

Ressalta-se que Noce *et al.* (1997) descreve de maneira precisa que a Formação Itacambiruçu, descrita por Karfunkel & Karfunkel (1976) como rochas xistosas contínuas no contato basal do Supergrupo Espinhaço, são na verdade os quartzitos e gnaisses milonitizados devido ao cisalhamento da superfície de descolamento basal na região, portanto pertence ao embasamento pré-Espinhaço.

Karkunfel & Karkunfel (1975; 1977)		Noce <i>et al.</i> (1997)		Martins (2006)		Martins <i>et al.</i> (2008)		Leite (2013)		Souza (2016; 2019)	
Supergrupo Espinhaço	Fm. Matão	Supergrupo Espinhaço	Unidade Inferior	Supergrupo Espinhaço	Fm. Matão	Grupo Macaúbas	Fm. Matão	Grupo Macaúbas	Fm. Duas Barras	Grupo Macaúbas	Fm. Planalto de Minas
	Fm. Água Preta				Fm. Água Preta		Fm. Água Preta				Fm. Matão - Duas Barras
	Fm. Resplandecente				Fm. Resplandecente	Supergrupo Espinhaço	Fm. Resplandecente	Supergrupo Espinhaço	Fm. Resplandecente	Fm. Resplandecente	
	Fm. Itacambiruçu				Embasamento Cristalino	Suíte Paciência	Embasamento Cristalino	Suíte Rio Itacambiruçu	Embasamento Cristalino	Suíte Rio Itacambiruçu	Embasamento Cristalino
Embasamento Cristalino	Embasamento Cristalino	Suíte Rio Itacambiruçu	Embasamento Cristalino	Complexo Córrego do Cedro	Embasamento Cristalino	Complexo Córrego do Cedro	Embasamento Cristalino	Complexo Córrego do Cedro	Embasamento Cristalino	Complexo Córrego do Cedro	

Figura 2.5: Quadro evolutivo das propostas estratigráficas e de nomenclatura para o Embasamento cristalino, Supergrupo Espinhaço e Grupo Macaúbas no Espinhaço Central. Modificado de Souza (2019).

### 2.2.3 Grupo Macaúbas

Assim como o Espinhaço, o termo Macaúbas, na geologia, possui significados distintos, podendo se referir ao campo estratigráfico ou geodinâmico. Em relação a estratigrafia, o Grupo Macaúbas é a unidade basal do Supergrupo São Francisco e é constituído por unidades sedimentares que são próprias de uma sequência tipo rifte, com evolução para margem passiva com influência glacial. A bacia a qual este grupo preenche tem nome homônimo, denominada Bacia Macaúbas (Karkunfel & Hoppe 1988; Noce *et al.*, 1997, Pedrosa-Soares *et al.*, 2001; 2011; Martins-Neto & Hercos 2002; Babinski *et al.*, 2012; Uhlein *et al.*, 1998; 2007).

O Grupo Macaúbas se estende por uma grande porção do Orógeno Araçuai (Figura 2.5). Na literatura o Grupo é normalmente dividido em grandes sucessões pré-glacial, sin-glacial e pós-glacial, devido aos horizontes guias serem compostos por camadas de metadiamicíticos. Enquanto as sequências pré e sin-glaciais estão relacionadas a abertura dos riftes Toniano e Criogeniano, a sequência pós-glacial é associada ao estágio de margem passiva, que inclui a formação de crosta oceânica (Pedrosa-Soares *et al.*, 1992; 1998; 2011; Queiroga *et al.*, 2007 *in* Souza, 2019).

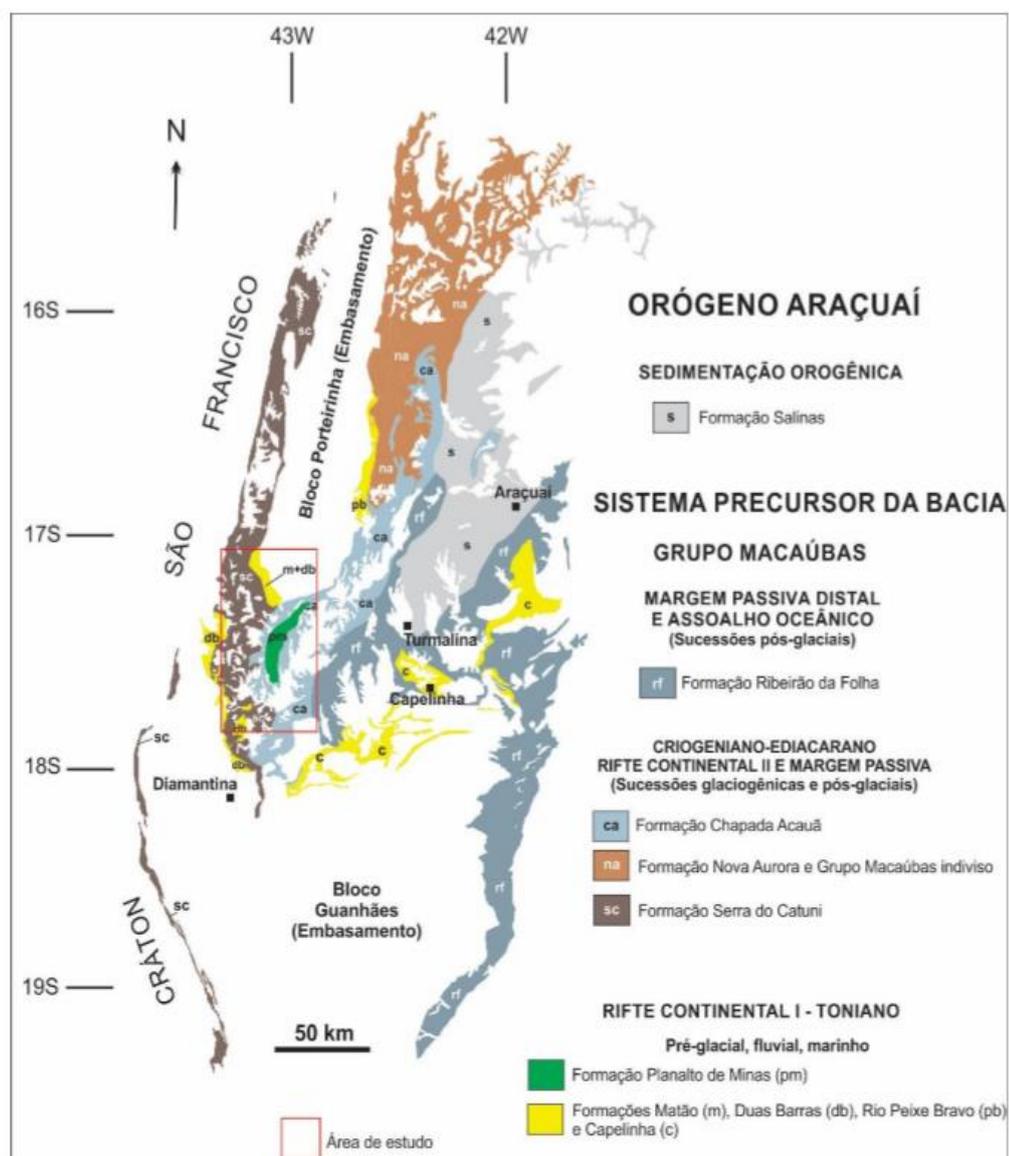


Figura 2.6: Mapa de distribuição do Grupo Macaúbas ao longo do Orógeno Araçuaí. Em vermelho destaca-se a região de estudo deste presente trabalho e também de Souza (2016, 2019). Extraído de Souza (2019).

Vários trabalhos foram realizados para determinar a sequência estratigráfica do grupo Macaúbas (e.g: Karfunkel & Karfunkel 1976b; Pedrosa-Soares *et al.*, 2001; Martins, 2006; Martins *et al.*, 2008; Leite, 2013; Souza *et al.*, 2016; 2019; Castro *et al.*, 2019) (Figura 2.5). Neste trabalho foi adotada a subdivisão atualizada por Souza (2019).

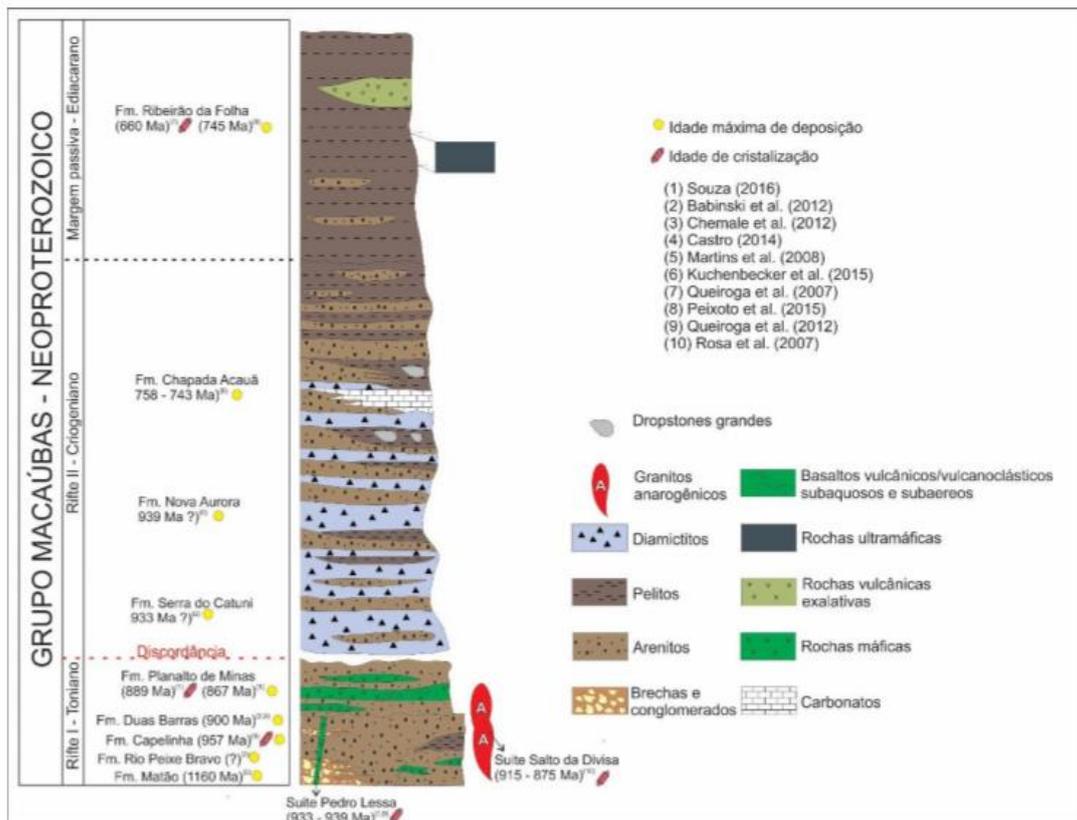


Figura 2.7: Coluna estratigráfica do Grupo Macaúbas. Extraído de Souza (2019).

Em contato com o Supergrupo Espinhaço tem-se os quartzitos que foram denominados por Karfunkel & Karfunkel (1976) como Formação Matão, já descrito anteriormente. Martins *et al.* (2008) redefiniu a Formação Matão como brechas monomíticas em contato discordante com os quartzitos da Formação Resplandecente, sobreposta pela Formação Duas Barras, caracterizada como quartzitos com níveis conglomeráticos e texturalmente maduros. No entanto, o trabalho de Souza *et al.* (2019) mostra que essas duas formações podem ser agrupadas e a autora propõe então a nomenclatura Formação Matão – Duas Barras para estas brechas e quartzitos (Figura 2.4), interpretada como sendo constituída por uma típica sequência rifte, formada por sedimentos de um sistema de leques aluviais que evoluem para um sistema fluvial entrelaçado (Martins *et al.* 2008, Leite 2013; Souza *et al.*, 2019). Esta Formação bordeja a Anticlinal de Itacambira em sua porção oeste (Leite, 2013).

A Formação Planalto de Minas é definida por Souza (2019) como uma sequência vulcanosedimentar constituída por intercalações de quartzito e xistos verdes. Os xistos verdes podem apresentar estruturas primárias preservadas e possuem como protólito basaltos toleíticos intracontinentais. A idade balizada para tal Formação é de 889 Ma (Souza, 2016).

A Formação Serra do Catuni e a Formação Chapada Acauã correspondem a unidades glaciogênicas. A primeira apresenta uma extensa camada de diamictito maciço, pobremente selecionado com uma matriz argilo-arenosa (Grossi-Sad *et al.*, 1997; Castro *et al.*, 2020). Já a segunda é entendida como uma sucessão sedimentar marinha com influência glacial, e possui camadas de diamictitos menores, tendo uma porção superior composta por arenitos, pelitos e lentes pontuais de carbonatos (Karfunkel & Karfunkel 1976; Grossi-Sad *et al.*, 1997; Castro *et al.*, 2020).

### 2.3 ARCABOUÇO ESTRUTURAL

A região de estudo está inserida no Domínio do Cinturão de Cavalgamentos da Serra do Espinhaço Meridional, uma das subdivisões tectônicas do Orógeno Araçuáí proposta por Alkmim *et al.* (2006) (Figura 2.7). Alkmim *et al.* (2007) descreve as feições estruturais deste domínio como “*falhas de empurrão e dobras de orientação preferencial NS, nucleadas em até duas fases de deformação coaxiais e progressivas, que refletem um encurtamento geral E-W.*” Descreve também que as lineações de estiramento, com direção preferencial E-W, e os indicadores cinemáticos, indicam transporte tectônico dirigido para oeste com vergência dirigida para o Cráton São Francisco. O grau de metamorfismo descrito está inserido nas fácies xisto verde a anfibolito (Alkmim *et al.*, 2007).

Inserido no Cinturão de cavalgamentos da Serra do Espinhaço Meridional encontra-se uma janela estrutural, nomeada por Crocco-Rodrigues *et al.* (1993) como Bloco Itacambira-Monte Azul (BIMA), ou Bloco Porteirinha, localizado em uma faixa que se estende desde a parte sul do município de Itacambira até a cidade de Porteirinha. A evolução estrutural do embasamento pré-Espinhaço no BIMA foi estudada por Crocco-Rodrigues *et al.* (1993), que defende a ocorrência de sucessivos eventos deformacionais na área. Estes eventos foram responsáveis pela geração de um quadro estrutural complexo composto por dobras de escalas quilométricas, com eixos orientados N-S, falhas de cavalgamento de alto ângulo, com orientação aproximada também N-S, e falhas transcorrentes, que hora estão presentes apenas no embasamento e hora se estendem até as supracrustais do Grupo Macaúbas.



Dn+2 e Dn+3 como partes do Ciclo Brasileiro, sendo o primeiro correspondente à extensão que acompanhou a deposição do Supergrupo São Francisco, e o último referindo-se a inversão da bacia e formação do Orógeno Araçuai.

Assim, Crocco-Rodrigues *et al.* (1993) fazem importantes conclusões sobre a deposição do Grupo Macaúbas a partir das estruturas pré-existentes. A abertura da bacia foi fortemente condicionada pelas estruturas N-S do embasamento e também pela superfície irregular marcada pelo desnivelamento de blocos, condicionantes que também podem ser aplicadas para a abertura da Bacia Espinhaço. Além disso o autor conclui que com a formação do cinturão da Faixa Araçuai, o BIMA tenha sido soerguido formando zonas de cisalhamento verticais, que cortam os deslocamentos do contato embasamento/cobertura. Estas falhas possuem a mesma orientação NS das estruturas geradas no evento Dn+1 e formaram grandes sinclinais e anticlinais com eixos paralelos a estas zonas. Crocco-Rodrigues *et al.* (1993) ainda observa que estas falhas verticais são cortadas por falhas reversas de alto ângulo, que de acordo com o autor, são as estruturas mais antigas de orientação NS que foram reativadas com o progresso da deformação.

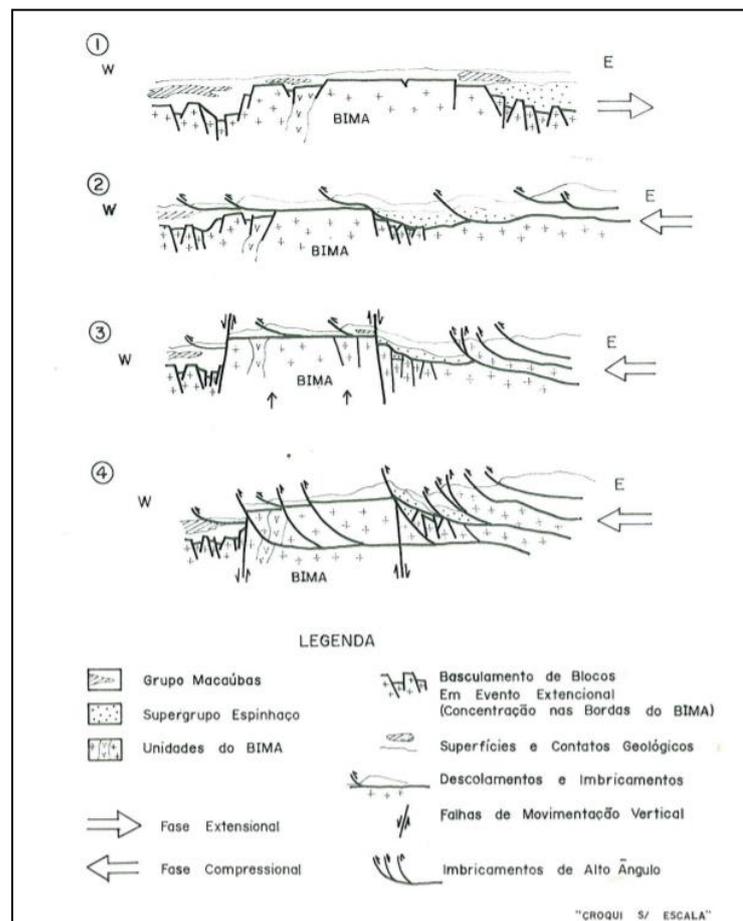


Figura 2.9: Modelo de Evolução tectonoestrutural do Bloco Itacambira – Morro Azul durante o Ciclo Brasileiro. Fase 1: Extensão e formação da Bacia Macaúbas; Fases 2, 3 e 4: Fases compressivas e inversão das Bacias Espinhaço e Macaúbas. Imagem retirada de Crocco-Rodrigues *at al.* (1993).

Em uma escala regional, na região próxima a Itacambira, Noce (1997) identifica que a principal feição estrutural presente na área pode ser descrita como uma faixa de alongamento N-S, com largura em torno de 30 km, e cujo embasamento pré-espinhaço está exposto (Figura 2.9). Esta feição é interpretada como sendo um anticlinal, nomeada Anticlinal de Itacambira e é flanqueada pelos quartzitos do Supergrupo Espinhaço, que apresentam mergulhos em torno de 30° em seu flanco Oeste e de 40-45° na porção leste.

O contato entre o embasamento granito-gnaissico e o Espinhaço apresenta faixas de rochas miloníticas, que caracterizam uma superfície de descolamento basal. Noce (1997), e Crocco-Rodrigues *et al.* (1993), também constatam que o bloco do embasamento do núcleo da estrutura constitui um alto estrutural, soerguido em relação as rochas supracrustais adjacentes, caracterizando um anteparo tectônico na região, e que provavelmente tenha sido coberto por completo pela sedimentação das bacias. Alguns maciços quartzíticos podem ser observados isolados em meio ao embasamento sendo classificados como *klippe*. O autor evidencia ainda a existência de zonas de cisalhamento milonitizadas, com orientação N-S e com alto ângulo de mergulho, presentes no embasamento, mas que ocasionalmente se perpetuam até o Supergrupo Espinhaço.

Em relação as estruturas planares e lineares, a Anticlinal de Itacambira apresenta uma relação bem característica nas rochas do embasamento, o bandamento gnáissico do Complexo Córrego do Cedro (CMCC) possui, via de regra, foliação com atitude semelhante à da foliação das faixas miloníticas que cortam o CMCC e a Suíte Rio Itacambiruçu, sendo esta atitude orientada N-S com alto mergulho.

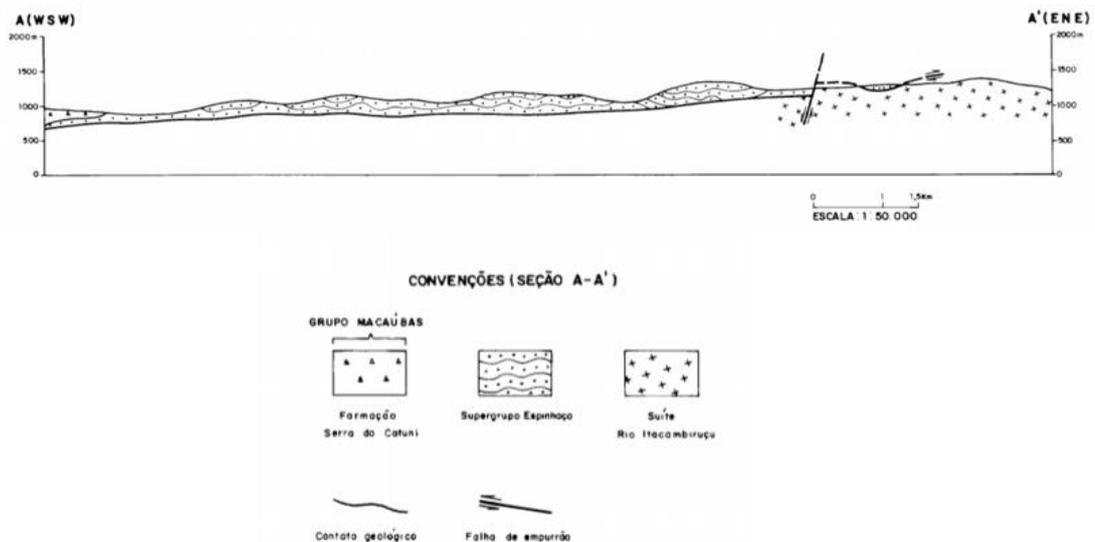


Figura 2.10: Perfil do flanco oeste Anticlinal de Itacambira. Extraído de Noce (1997).

Souza *et al.* (2019) relatam também que a sedimentação Toniana do grupo Macaúbas na região oeste da Anticlinal de Itacambira é limitada espacialmente por falhas reversas e transcorrentes de

orientação NW-SE e NE-SW (Figura 2.10). A autora também ressalta que esse tipo arquitetura é um fator típico na identificação de bacias sedimentares invertidas em regiões de faixas orogênicas.

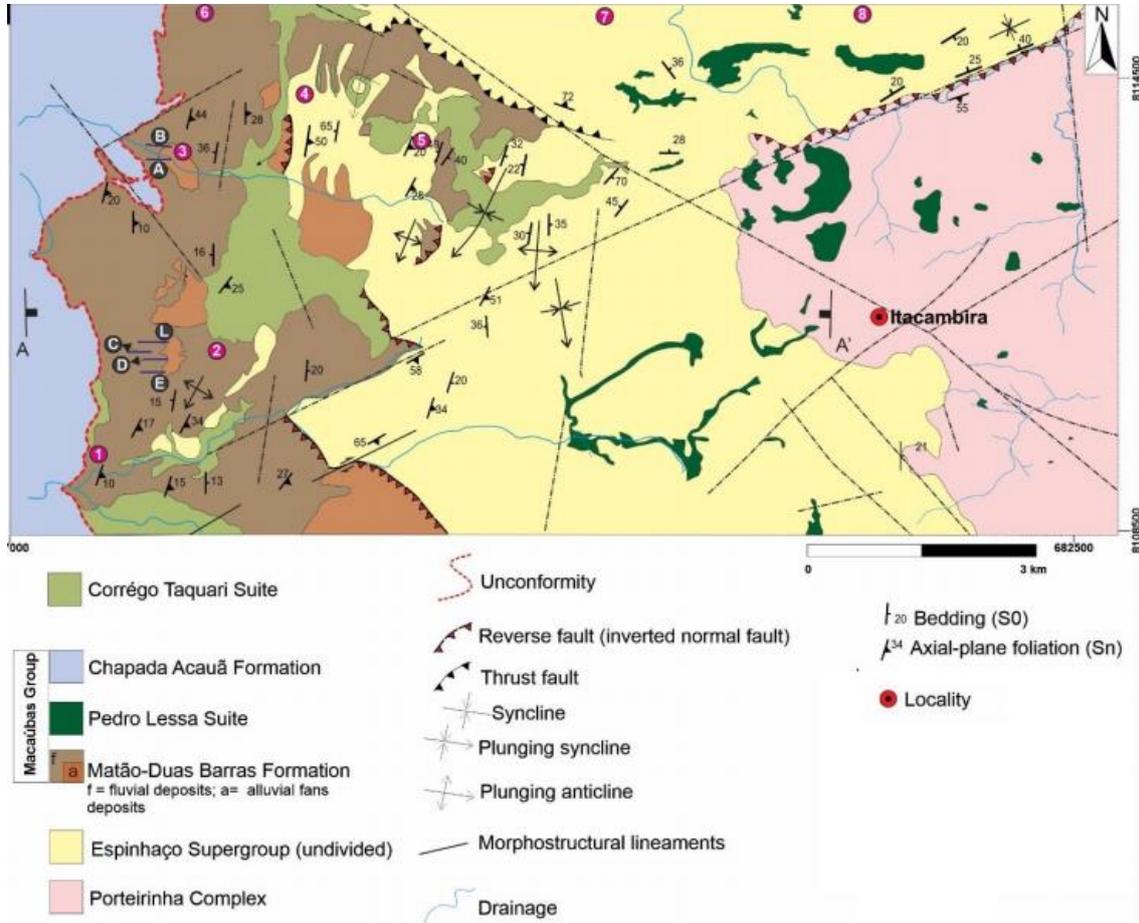


Figura 2.11: Mapa geológico da região Oeste de Itacambira destacando as principais unidades e estruturas. Retirado de Souza (2019).

### 2.3.1 Integração geológica-geofísica da região Itacambira (MG)

A geofísica é uma ciência que estuda o interior da Terra afim de compreender como a superfície é influenciada pela dinâmica interna do planeta. Para isto são avaliadas propriedades específicas dos materiais, afim de diferenciar meios com características diferentes. A análise dos dados geofísicos possibilita interpretar como essas características variam lateralmente e verticalmente no espaço, possibilitando traçar limites para estas variações.

Os métodos geofísicos atuam em conjunto com outras técnicas, como a sondagem, a análise química, mapeamento e levantamento de medidas estruturais e dados litológicos em campo e também o

sensoriamento remoto. Assim é um método complementar muito útil e que será utilizado neste trabalho afim de auxiliar na delimitação de lineamentos e estruturas em subsuperfície.

A região estudada já foi alvo de investigação geofísica e mapas magnetométricos e radiométricos da área estão disponíveis na bibliografia (Madeira, 2014; Souza, 2016; Costa, 2017; Souza, 2019).

Costa (2018) redefiniu os contatos regionais da região de Itacambira (Figura 2.11) através da análise de mapas geofísicos gerado em seu trabalho, como o de Amplitude do Sinal Analítico (ASA), Contagem Total Radiométrica e Imagem Ternaria Radiométrica. A autora corrobora com os autores Martins (2006), Martins *et al.* (2008) e Leite (2013) que descrevem na região a Formação Matão-Duas Barras como a formação basal do Grupo Macaúbas. Também reafirma os trabalhos anteriores de Souza *et al.* (2017), que identificam que a Formação Chapada Acauã é mais representativa e encontra-se onde foi descrito anteriormente por Noce (1997) como Formação Serra do Catuni, e também a inclusão da Formação Planalto de Minas, que aflora onde anteriormente tinha sido considerada como Formação Chapada Acauã.

Em relação as estruturas, Costa (2018) conclui que os principais lineamentos apresentam orientação NW-SE, sendo a nucleação destas anterior as demais, e também identifica a existência de algumas estruturas NE-SW, de origem posterior, já que que as anomalias magnéticas mostram que estas últimas causaram o deslocamento dextral das estruturas anteriores.

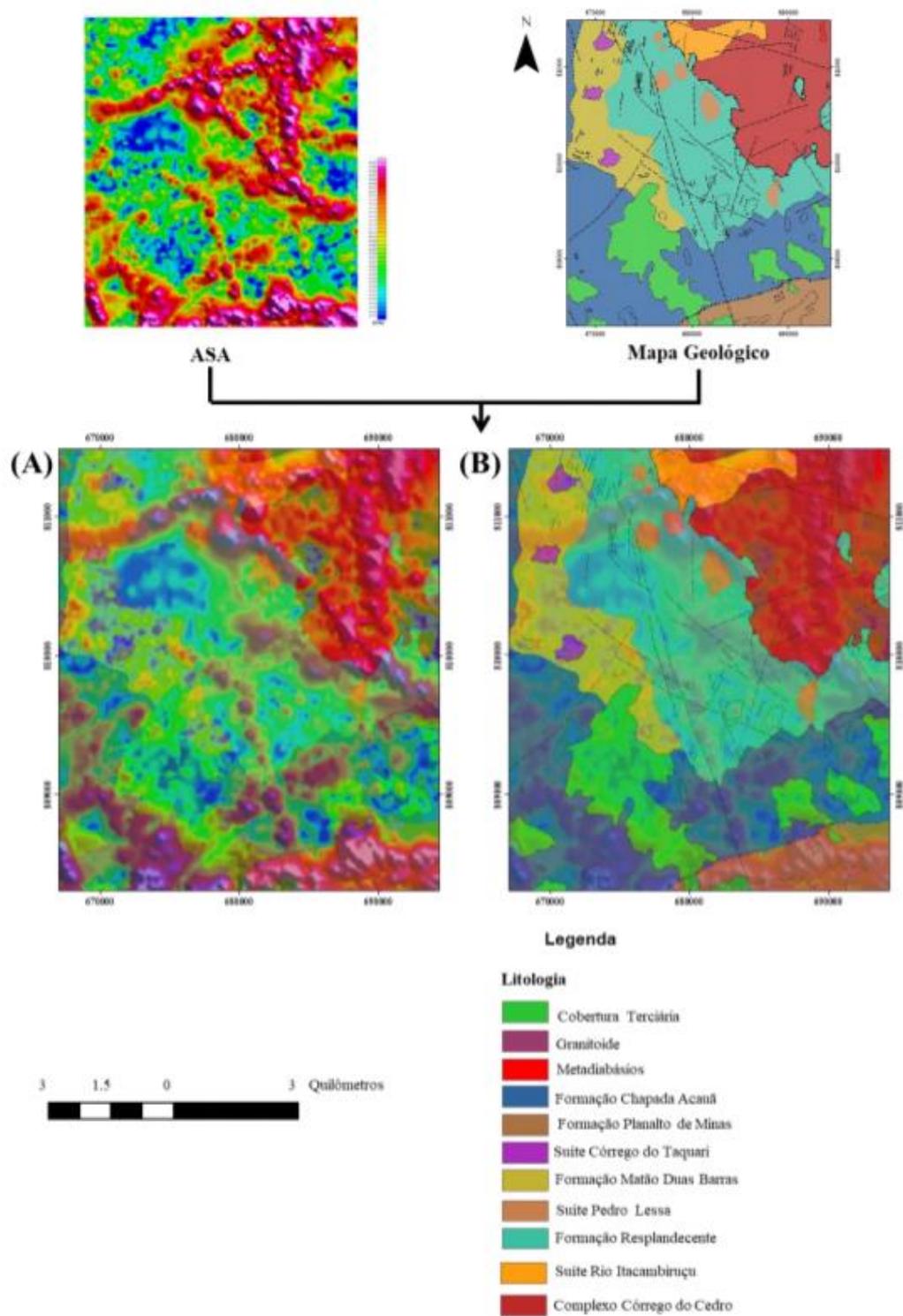


Figura 2.12: Sobreposição do sugerido mapa geológico para a região de Itacambira com o mapa da Amplitude do Sinal Analítico (ASA) e a correção entre eles. Em (A) tem-se a sobreposição do ASA com o mapa geológico e em (B) enfatizou-se os dados estruturais interpretados por Noce (1997). Figura retirada de Costa (2018).



## CAPÍTULO 3

# ANÁLISE DESCRITIVA E CINEMÁTICA DA DEFORMAÇÃO RÚPTIL PROTEROZOICA NA ANTICLINAL DE ITACAMBIRA

---

### 3.1 INTRODUÇÃO

Este capítulo apresenta os resultados obtidos através da integração e tratamento dos dados estruturais compilados. Os dados do Estágio de Mapeamento Geológico (GEO391), realizado em 2016, bem como os dados do Mapeamento Geológico (GEO493) de 2018, foram obtidos no flanco oeste da Anticlinal de Itacambira, porém na primeira campanha medidas referem-se as rochas do Supergrupo Espinhaço, enquanto a segunda foi focada no embasamento cristalino e no contato deste com as rochas supracrustais. Os dados utilizados do Estágio de Mapeamento Geológico (GEO391), realizado em 2017, assim como os dados da dissertação de mestrado de Souza *et al.* (2017), são oriundos da região periclinal da Anticlinal de Itacambira, região de Terra Branca e Planalto de Minas a sudoeste de Itacambira, inserida no mesmo contexto geotectônico.

### 3.2 ASPECTOS MORFOESTRUTURAIS

A morfologia da região de Itacambira pode ser dividida em dois grandes domínios. O primeiro é caracterizado por estar associado a relevos altos (altitudes variando entre 850 a quase 2000m). Além disso apresenta textura lisa, porém seus limites apresentam quebras de relevo bruscas, formando áreas de significativas diferenças de altitude, e sulcos bem profundos, sendo representado por cores mais quentes no mapa de elevação (Figura 3.1). Esta morfologia está associada normalmente a cobertura Proterozoica sedimentar. Já o segundo domínio se estende por altitudes mais baixas da região, variando de 825 a 1050m, apresentando textura mais rugosa e quebras de relevo mais suaves. Está associada normalmente as áreas de coloração mais amarelada do mapa de elevação (Figura 3.1). Possui vegetação abundante, mas também ocorre muito associado a plantações (áreas de ação antrópica) apresentando um possível solo de coloração avermelhada e terreno muito arrasado. As unidades litológicas dominantes são compostas por rochas ígneas e metaígneas, que constituem o embasamento da área.

A região a sul do Espinhaço Central configura uma morfoestrutura curva, em formato de “U”, com orientação NS e sua concavidade voltada para sul. Esta estrutura em “U” é muito bem marcada pela quebra de relevo brusca mostrada no mapa hipsométrico (Figura 3.1), o domínio com maiores altitudes e cores mais quentes, circunda o outro, que está no meio e apresenta altitudes menores e textura mais

rugosa. As regiões circundantes a esta megaestrutura apresentam altitudes mais baixas que os domínios que a compõe, apresentando colorações esverdeadas no mapa. É importante ressaltar também o lineamento bem marcado que delimita esta megaestrutura a oeste, que de acordo com a bibliografia (Pedrosa-Soares, 2001.) trata-se da materialização da falha reversa que limita o Cráton São Francisco da

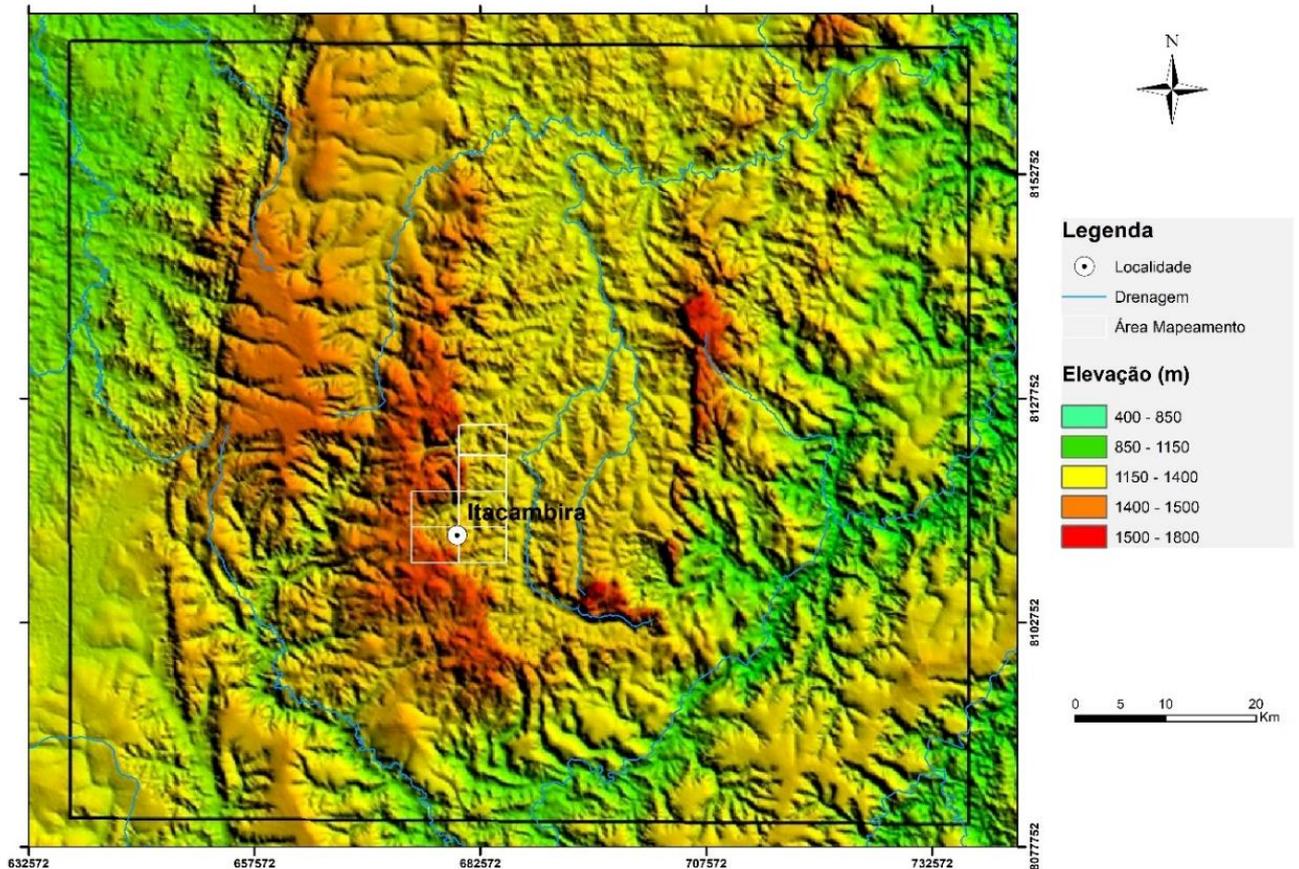
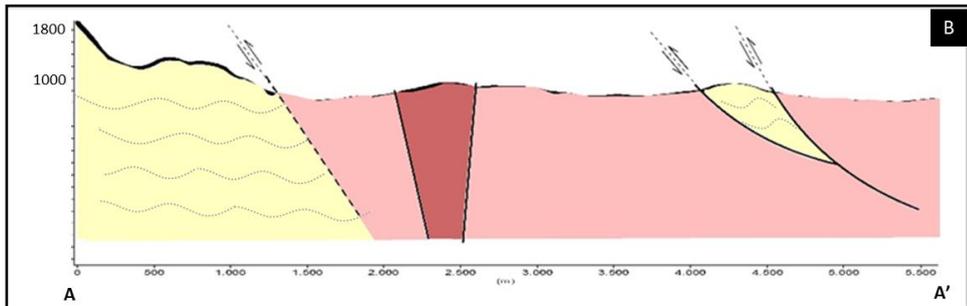
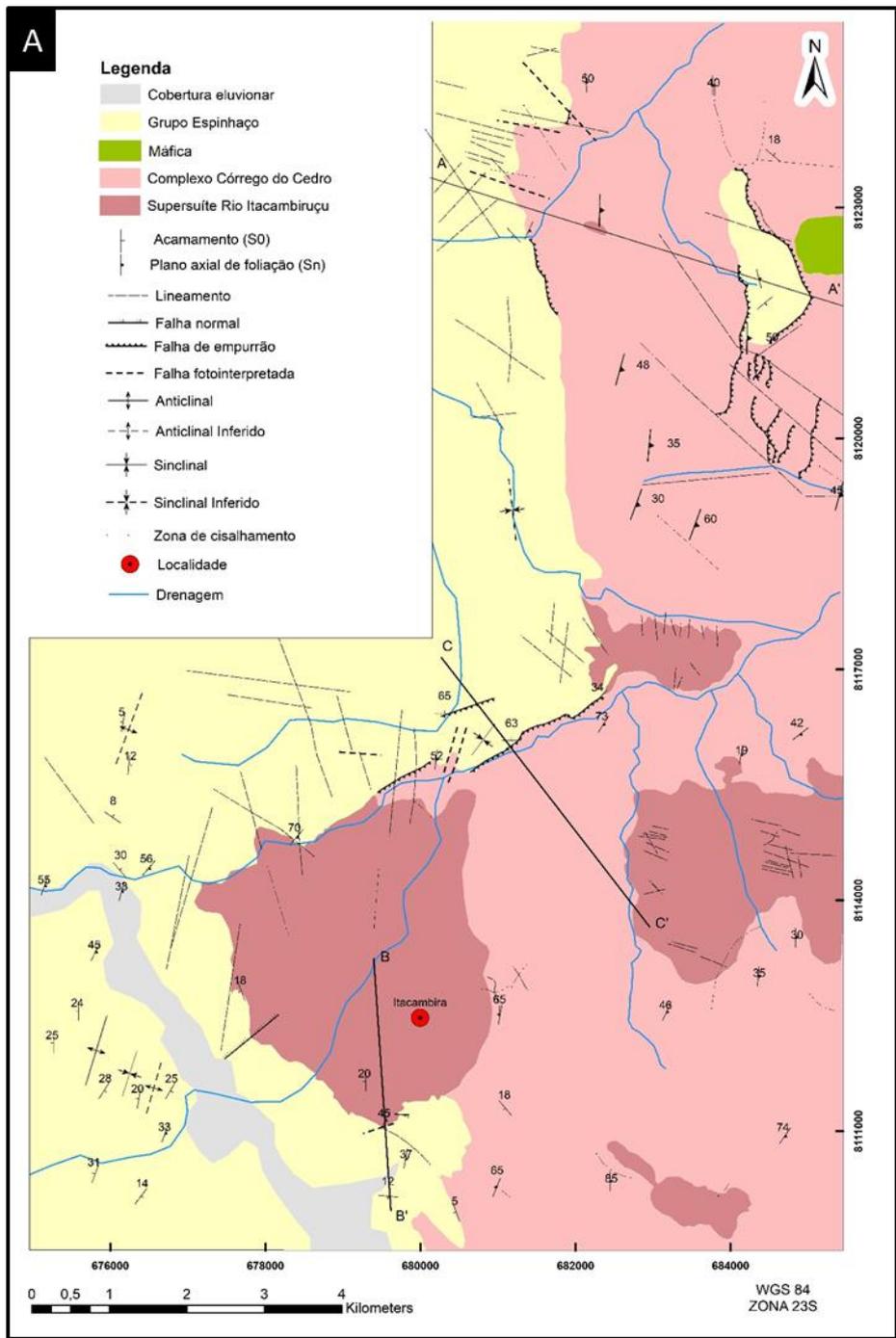


Figura 3.1: Mapa de elevação da Anticlinal de Itacambira, confeccionado a partir do *software* Global Mapper.

### 3.3 GEOLOGIA LOCAL

Como resultado do Mapeamento Geológico (GEO493) de 2018 gerou-se um mapa geológico da região localizada no flanco oeste da Anticlinal de Itacambira, com foco nas relações entre o embasamento cristalino e as supracrustais (Figura 3.2).

No mapeamento realizado foram identificadas as unidades anteriormente descritas por Noce (1997). Foram mapeados os gnaisses do Complexo Metamórfico Córrego do Cedro (CMCC), as intrusões graníticas da Suíte Rio Itacambiruçu e os quartzitos do Supergrupo Espinhaço, apresentados de forma indivisa no mapa. Também foi fotointerpretada a nordeste da área um corpo de rocha máfica.



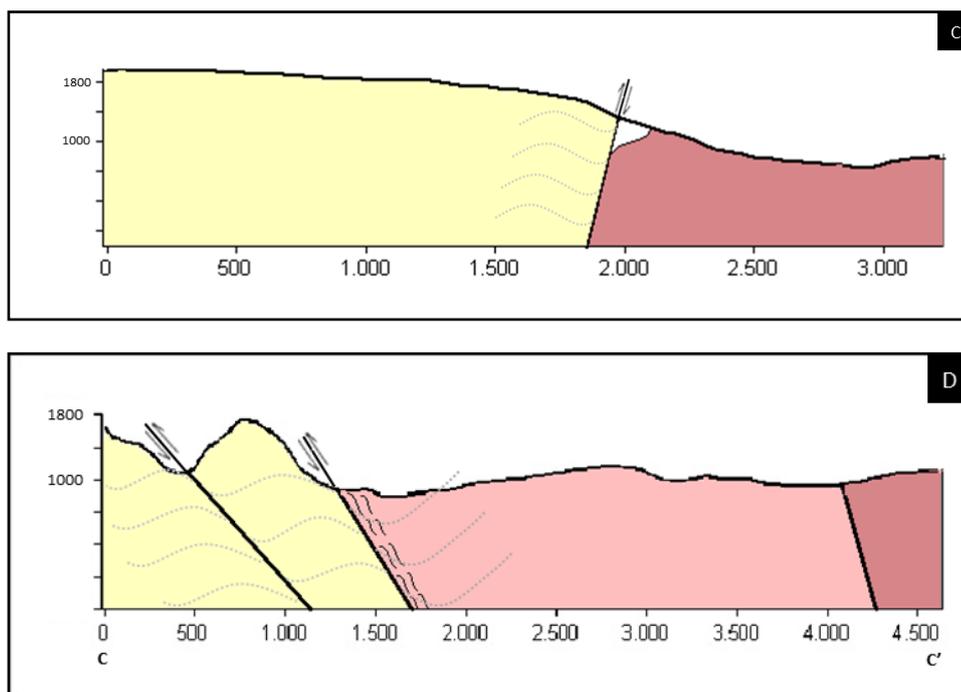


Figura 3.2: A) Mapa geológico da região de Itacambira confeccionado no projeto de Mapeamento Geológico (GEO493) de 2018. B) Perfil A-A' confeccionado a partir do mapa anterior. C) Perfil B-B' confeccionado a partir do mapa anterior. D) Perfil C-C' confeccionado a partir do mapa anterior.

### 3.3.1 Geologia estrutural local

O acamamento ( $S_0$ ) da área mapeada foi medido principalmente no quartzito do Supergrupo Espinhaço e apresenta mergulho sub-horizontal com direção preferencial N-S, mergulhando para E (média do plano: 100/33) (Figura 3.3). Mas essa medida varia devido a existência de anticlinais e sinclinais de pequeno porte subordinados ao dobramento maior da região.

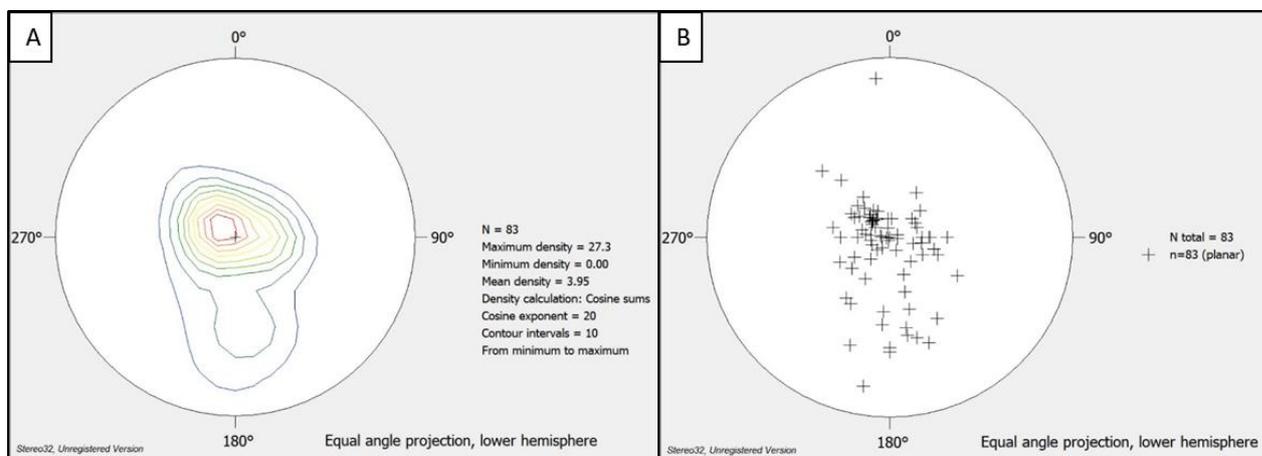


Figura 3.3: Em (A) mapa de densidade da projeção polar do acamamento ( $S_0$ ) na região de Itacambira. Em (B) estereograma de projeção polar de  $S_0$  na região de Itacambira.

A foliação plano-axial ( $S_n$ ) em relação ao plano de acamamento pode ser observada tanto nos granitoides foliados do CMCC, sendo marcada por filossilicatos, quanto nos quartzitos do Supergrupo Espinhaço, marcada principalmente por planos de minerais micáceos bem definidos, encontrados especialmente próximos ao contato. Sua orientação varia entre N-S e NE-SW, possuindo mergulho principal sub-horizontal, mas podendo alcançar medidas até verticais, e direção de mergulho preferencial para E (média: 103/38) (Figura 3.4).

A variação nos azimutes da foliação plano-axial pode estar associada a fatores como a nucleação de falhas associadas a zonas de cisalhamento em eventos posteriores ao de formação do plano de foliação, que podem rotacionar este plano estrutural já existente, ou até mesmo em evento de deformação progressiva, onde o mesmo evento mas em fase tardia poderia ter acarretado essa rotação. Além disso deve-se levar em consideração partições da deformação, que podem gerar estilos estruturais diferenciados, ocorridos durante o Evento Brasileiro (devido a existência de anteparos estruturais) e em eventos de reativação neotectônicos. A partir da análise dos valores de  $S_0$  e  $S_n$  (foliação plano-axial) coletados em campo, tem-se que  $S_n$  mergulha mais que  $S_0$  e, portanto, infere-se que a região observada está no flanco normal de uma dobra.

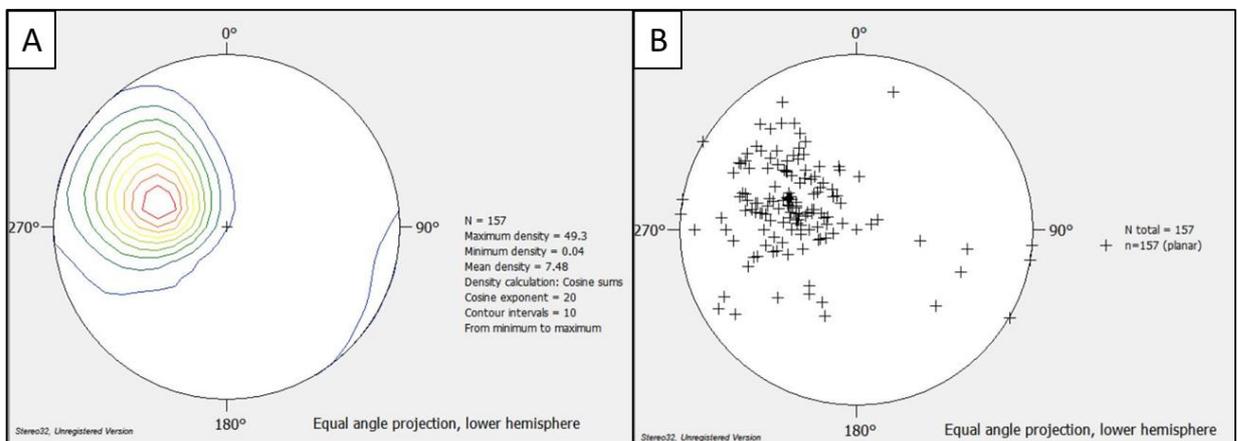


Figura 3.4: Em (A) mapa de densidade da projeção polar da foliação ( $S_n$ ) na região de Itacambira. Em (B) estereograma de projeção polar de  $S_n$  na região de Itacambira.

Em relação as mesoestruturas foram identificadas diversas zonas de cisalhamento, ora presentes apenas nas rochas do embasamento cristalino, ora se estendendo até as rochas supracrustais. Estas zonas de cisalhamento estão associadas a rochas com foliação milonítica marcada pela orientação de filossilicatos, que contornam porfiroclastos de quartzo e feldspato rotacionados, sendo em sua maioria do tipo sigma (Figura 3.5). O sentido do deslocamento é geralmente dextral, definido a partir da rotação dos veios e assimetria dos grãos (Figura 3.6). A foliação milonítica por sua vez apresenta orientação preferencial N-S, com mergulho para E (média: 107/50) (Figura 3.7).



Figura 3.5: (A) Filonito da Suíte Itacambiruçu apresentando foliação milonítica marcada por filossilicatos. (B) Granitóide da Suíte Itacambiruçu com textura milonítica apresentando grãos e agregados de quartzo rotacionados.



Figura 3.6: Imagem em planta ilustrando uma zona de cisalhamento presente no granitoide com cinemática dextral.

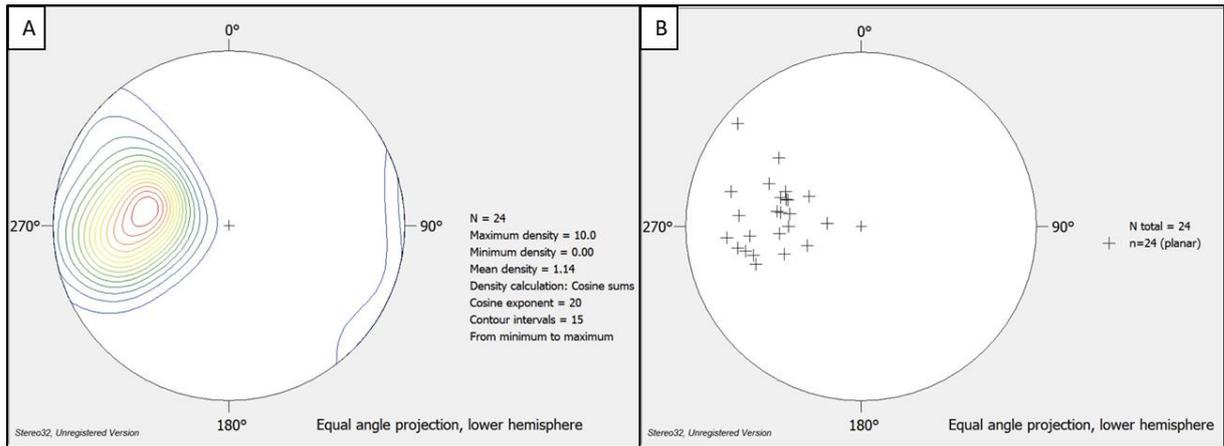


Figura 3.7: Em (A) mapa de densidade da projeção polar da foliação milonítica (Sm) na região de Itacambira. Em (B) estereograma de projeção polar de Sm na região de Itacambira.

Na região de contato entre o embasamento e as rochas supracrustais foram descritas filoníticas associadas a falhas, que indicam o deslocamento da cobertura Proterozoica em relação ao embasamento pré-Espinhaço. Estas falhas ora ocorrem como falhas de empurrão ou reversa, caso onde o embasamento cristalino cavalga sobre o Supergrupo Espinhaço, ora como falha normal, sendo que estas últimas ocorrem de maneira mais restrita, e a mais representativa foi mapeada a sul da área próxima ao mirante da cidade de Itacambira (Figura 3.9). As falhas de empurrão ou reversas tiveram suas cinemáticas identificadas a partir da ocorrência de indicadores cinemáticos nos planos de falha, sendo eles uma lineação de estiramento mineral com atitude de 96/43 e degraus de falha (Figura 3.8).

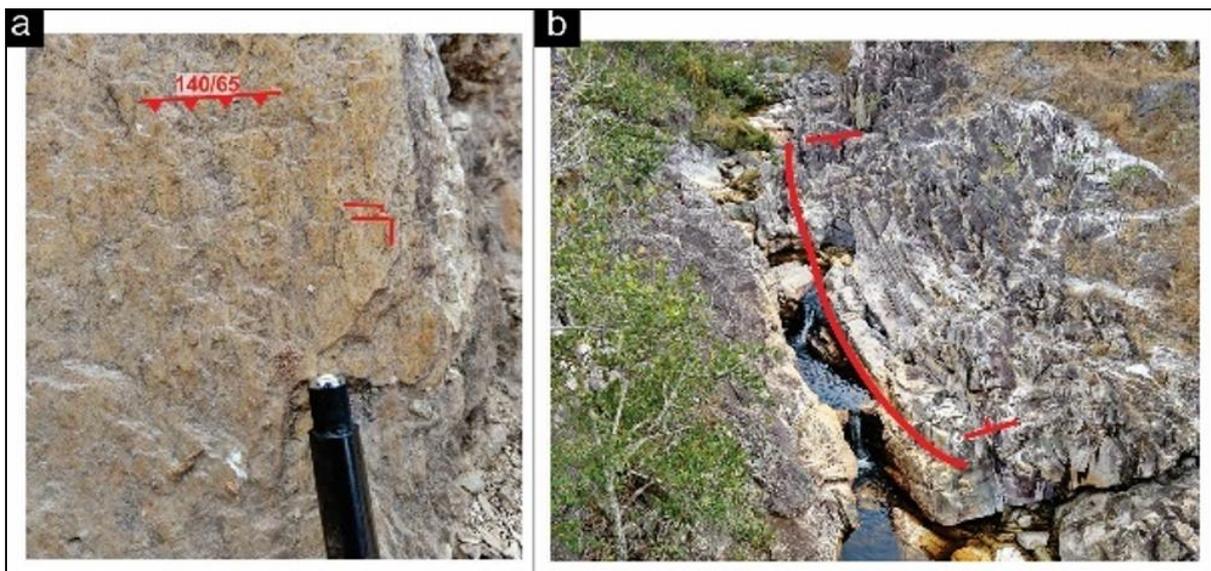


Figura 3.8: A) Steps de falha reversa indicando a existência de uma falha reversa; B) Sinclinal no *front* da falha reversa da figura anterior.

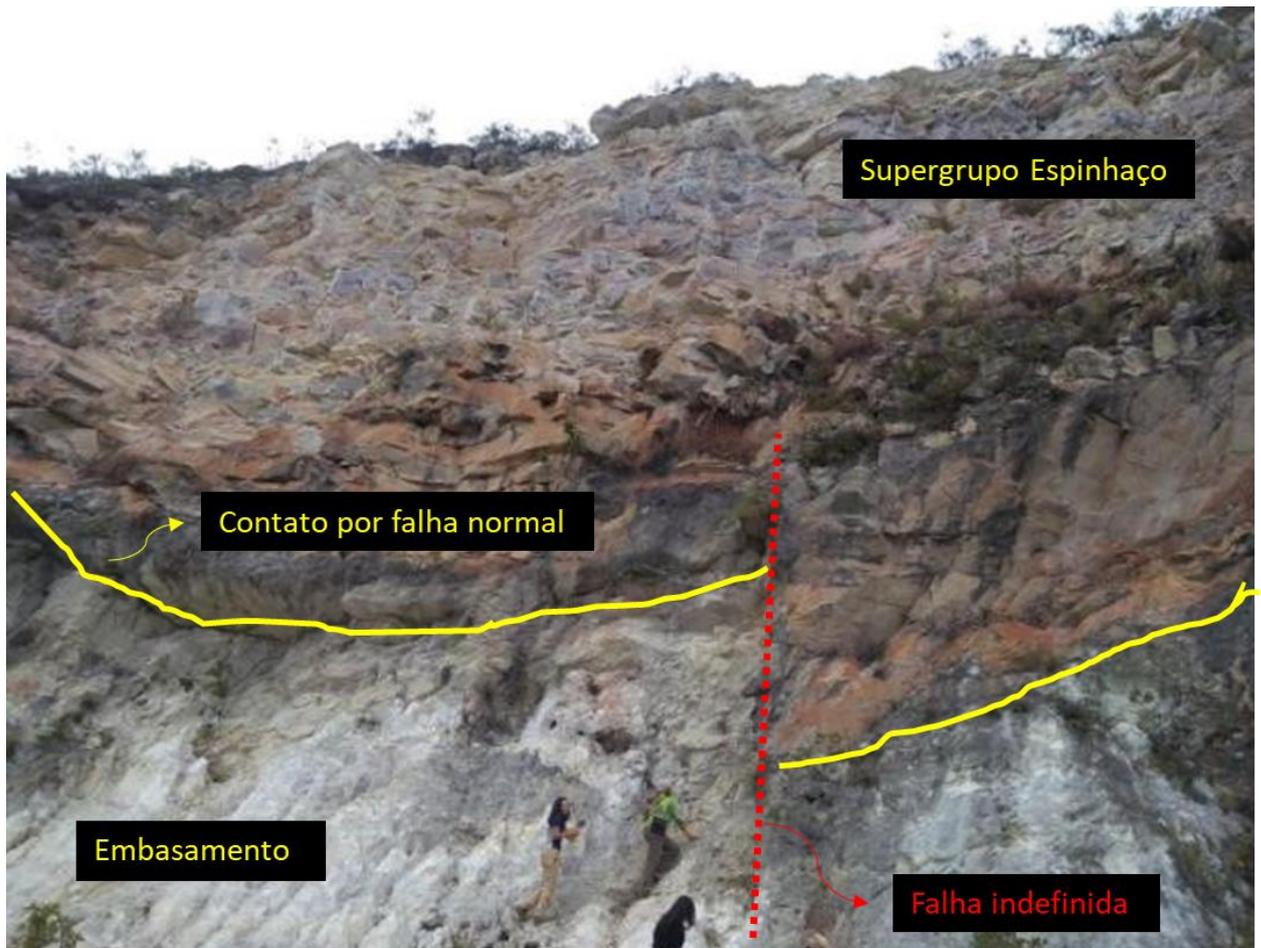


Figura 3.9: Afloramento próximo ao Mirante de Itacambira (MG) onde foi mapeado o contato embasamento cristalino/supracrustal por falha normal. Em destaque tem-se as principais unidades e estruturas identificadas.

As falhas medidas em sua maioria apresentam atitude N-S e mergulho subvertical (média: 306/66), porém os azimutes das falhas são muito variados, tendo sido medidos planos de falhas em todas as direções (Figura 3.10). As medidas aqui analisadas são das falhas em geral, não sendo separadas os tipos de falhamentos. É importante também destacar as falhas NE-SW que no mapa de densidade apresentam uma relativa porcentagem. Falhas transcorrentes também foram mapeadas na região sendo suas direções descritas a partir de indicadores cinemáticos como estrias de falha, lineação mineral e deslocamento de estruturas primárias (Figura 3.12).

Em escala de afloramento foi mapeado também pares conjugados de fraturas com orientação preferencial NE e NW, como mostrado na Figura 3.11.

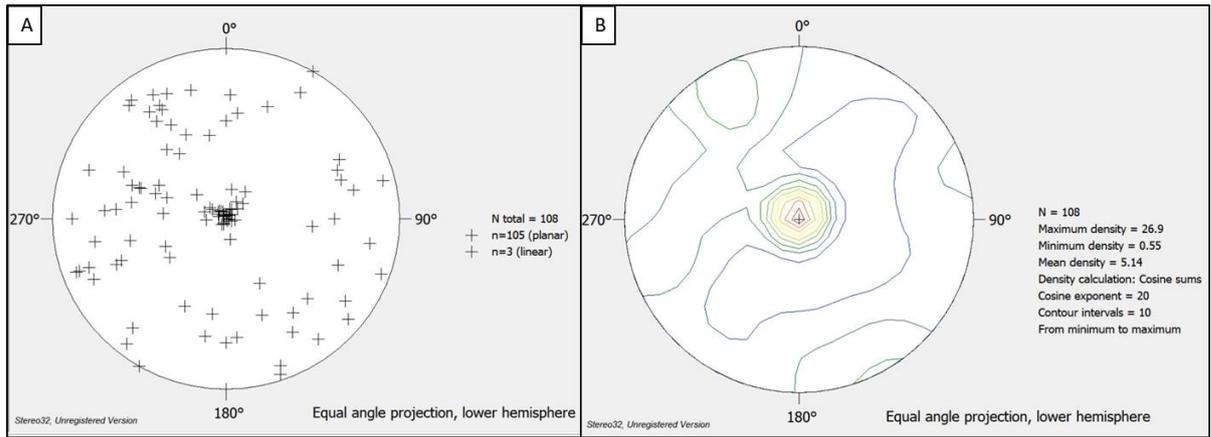


Figura 3.10: Em (A) estereograma de projeção polar do plano de falha na região de Itacambira. Em (B) mapa de densidade da projeção polar do plano de falha na região de Itacambira.

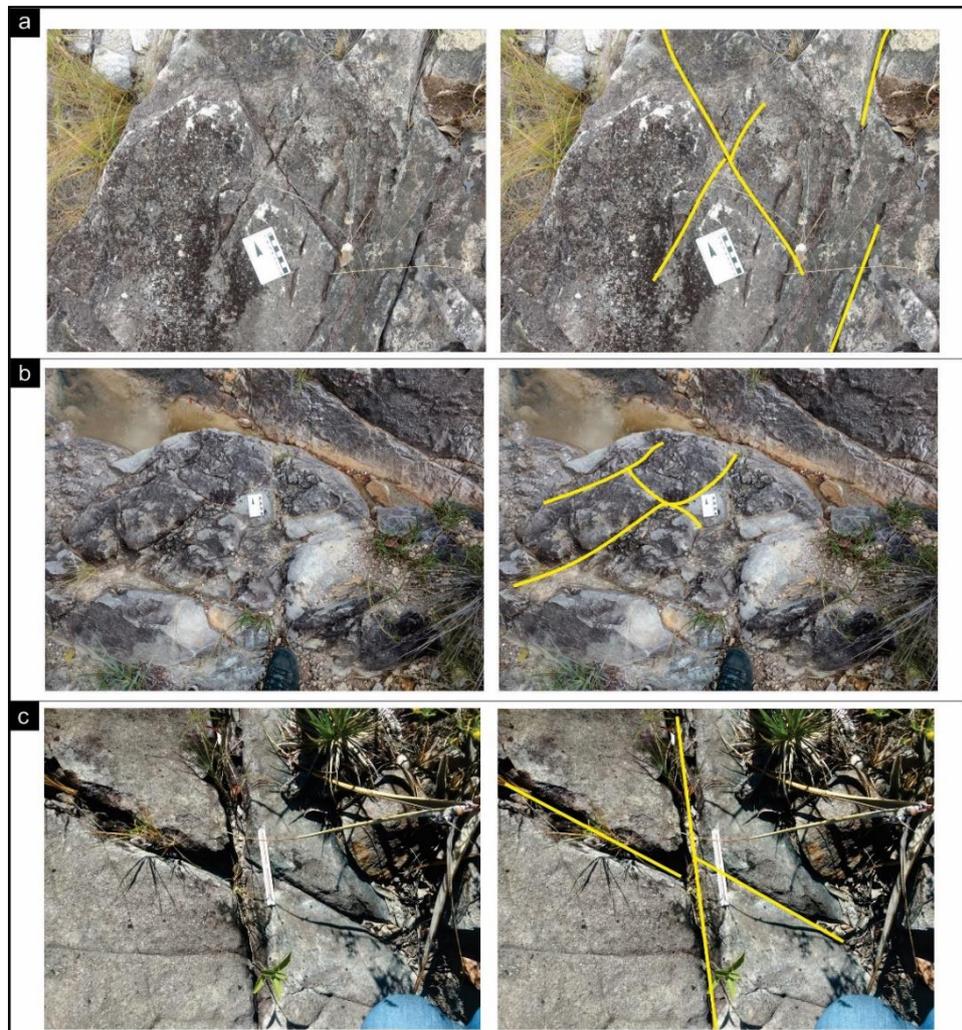


Figura 3.11: A-C: Pares conjugados de fraturas em escalas de afloramento destacados em amarelo.

Destaca-se também na área de estudo a presença de uma lasca, composta por quartzitos do Supergrupo Espinhaço, em meio a um terreno dominado por embasamento. Essa lasca está delimitada por uma falha reversa em sua borda leste, que faz com que o embasamento cavalgue sobre ela, uma falha de empurrão em sua borda oeste, e uma falha transcorrente em seu limite a sul (Figura 3.12), que caracteriza um descolamento do pacote de quartzitos sobre o embasamento (Figura 3.2).

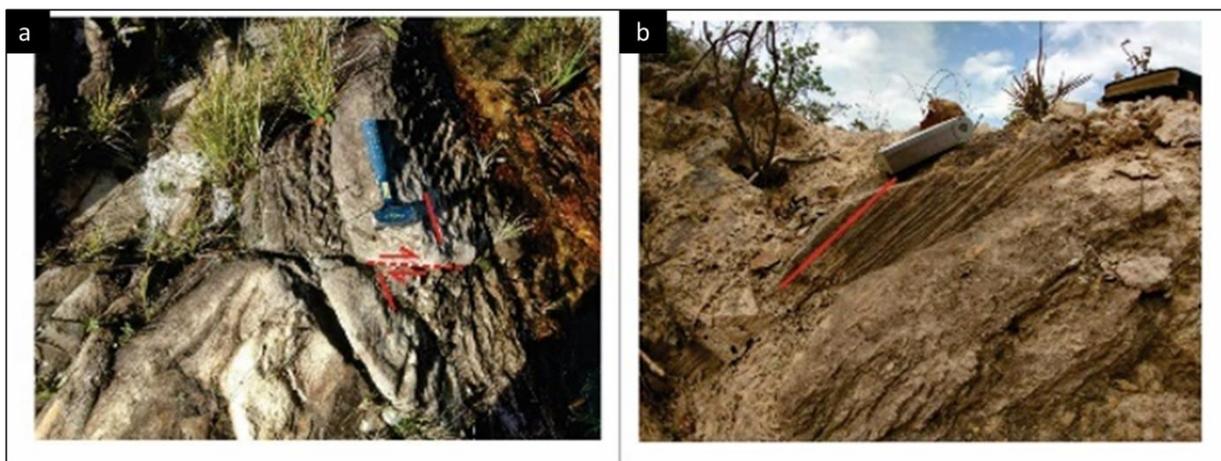


Figura 3.12: A) Falha *strike-slip* dextral. B) Falha *strike-slip* com direção indicada pelas estrias de falha no limite sul da lasca de quartzito mapeada.

### 3.4 LINEAMENTOS

Para a confecção dos mapas de lineamentos utilizou-se imagens de satélite e mapas digitais de elevação a partir do *software* Global Mapper, e a partir de uma shape criada no ArcGIS delimitou-se os principais lineamentos identificados na área

Primeiramente realizou-se a marcação dos lineamentos por fotointerpretação a partir da imagem de satélite de toda Anticlinal de Itacambira (Figura 3.13). Em seguida foi feito uma roseta a partir das medidas dos lineamentos retirados do ArcGIS onde encontrou-se a direção média de  $322^{\circ}$  (Figura 3.13). Agrupou-se assim os lineamentos que apresentam a mesma orientação e foi possível distinguir as seguintes orientações preferenciais: 1<sup>a</sup> – Lineamentos com orientação aproximada NS, variando de N20W a N10E, sendo composta por um uma grande porcentagem dos lineamentos traçados, estando presentes principalmente nas unidades do embasamento e no contato, mas também em algumas porções da supracrustal. 2<sup>a</sup> - Lineamentos com orientação EW, lineamentos maiores, que se encontram nas supracrustais, mas se estendem até o embasamento. 3<sup>a</sup> – Lineamentos NW-SE, variando de N50W a N70E e 4<sup>a</sup> – Lineamentos com orientação aproximada de NE-SW. Estes dois últimos grupos de lineamentos apresentam-se muitas vezes organizados como pares conjugados.

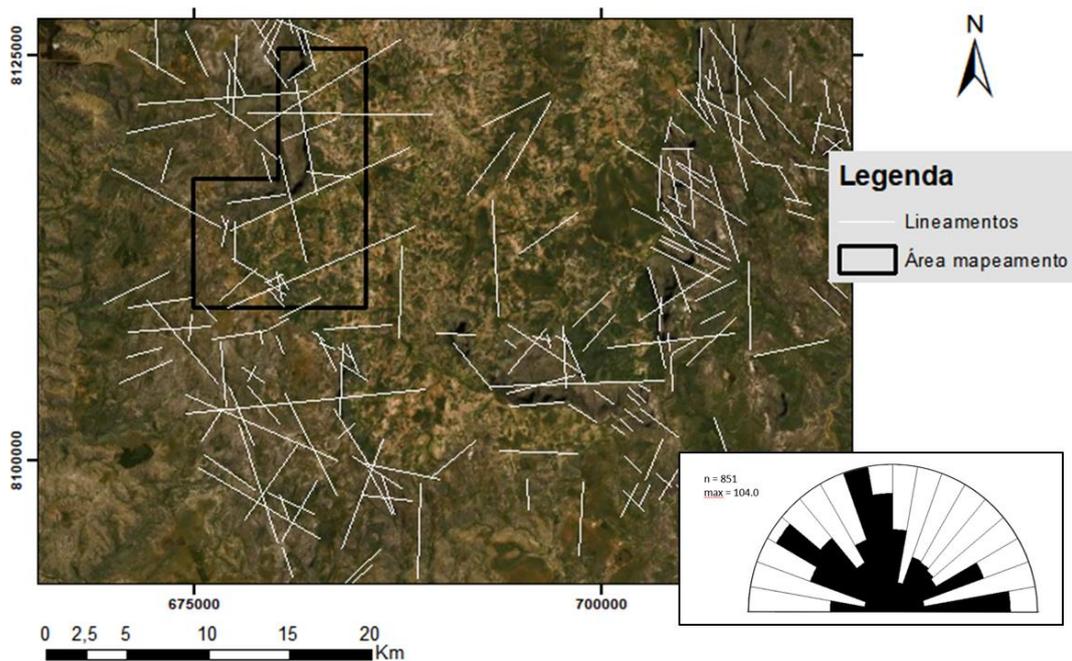


Figura 3.13: Mapa de lineamentos gerado a partir de imagem de satélite obtida pelo software ArcGIS. No canto inferior esquerdo diagrama de roseta dos lineamentos.

Em seguida foi realizado o mapa *hillshade* (Figura 3.14) apenas da área próxima à cidade de Itacambira, com o intuito de entender melhor como estes lineamentos interferem nas rochas presentes. Esta área está inserida no flanco Oeste da Anticlinal e foram identificadas também quatro direções preferencias das estruturas presentes.

O primeiro grupo de lineamentos, com orientação NE-SW, se estende desde o embasamento até as rochas supracrustais. São lineamentos bem marcados, associados a movimentação de blocos do Supergrupo Espinhaço e alguns destes lineamentos foram mapeados na área como sendo falhas reversas ou de empurrão. Estes lineamentos foram identificados também na imagem de satélite (Figura 3.14) como o 4º grupo, onde foi observado que eles ocorrem principalmente no flanco oeste da Anticlinal.

O segundo grupo de lineamentos observado são os com orientação NS. Estes estão presentes principalmente nas rochas cristalinas, e foram mapeados como zonas de cisalhamento associados a falhas. Os lineamentos com esta direção também definem muitas vezes o contato entre o embasamento e as sequências sedimentares.

O terceiro grupo de lineamentos apresenta orientação E-W, são lineamentos de grandes extensões que cortam as rochas cristalinas e as sequências sedimentares. Estes lineamentos também estão associados a movimentação de blocos e foram interpretados como falhas indiscriminadas. Este grupo também foi observado na imagem de satélite, estando presente em ambos os flancos da Anticlinal e também no fechamento da megaestrutura.

Por fim os lineamentos NW-SE presentes na região ocorrem majoritariamente no embasamento e na região de contato deste com as rochas supracrustais. Não são lineamentos muito extensos e estão associados a zonas de cisalhamento mapeadas e também falhas fotointerpretadas.

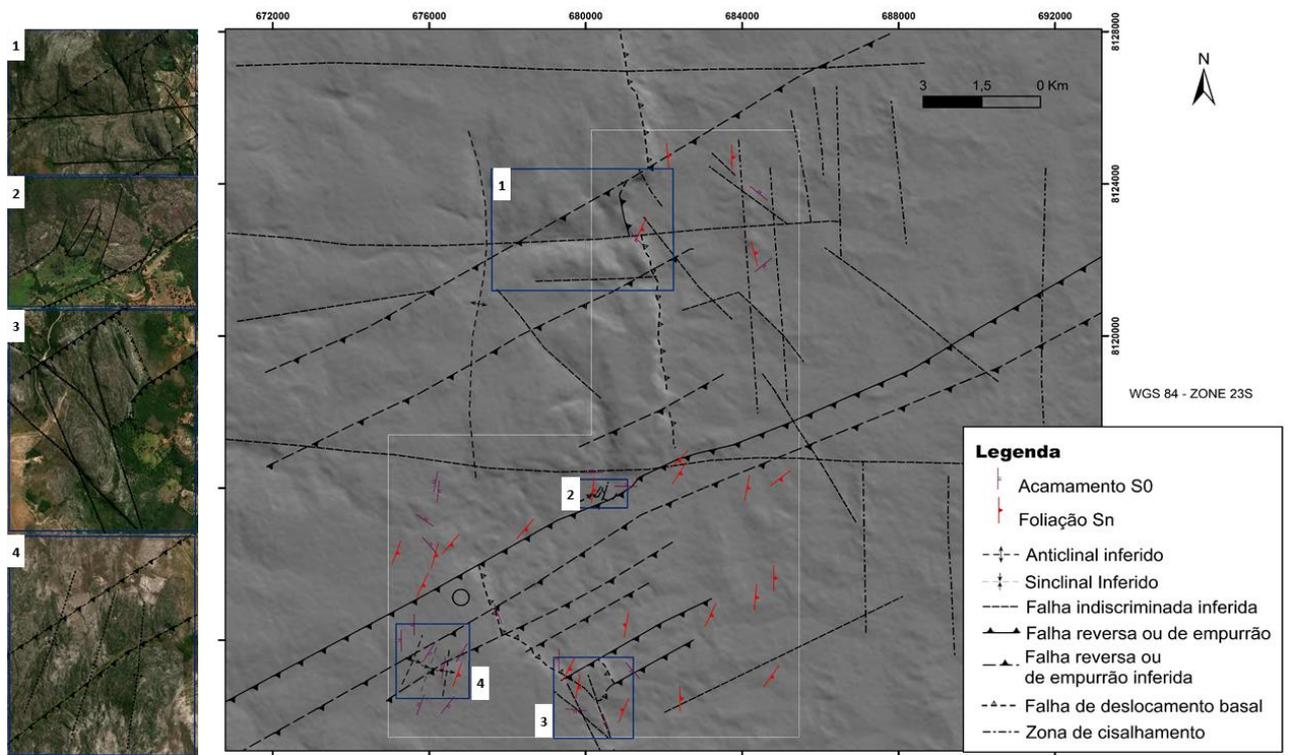


Figura 3.14 Quadro estrutural observado a partir de imagens aéreas e de dados de pesquisa de campo. As figuras à esquerda (1-4) ilustram as principais megaestruturas observadas a partir da análise de imagens de satélite (imagens retiradas do *software* ArcGIS). 1) Falhas que marcam deslocamento de blocos da cobertura sedimentar sobre o embasamento; 2) Contato limitado por falha de empurrão, embasamento cavalgando sobre supracrustal; 3) Contato variando entre falhas normais e de empurrão; 4) Eixo de dobras anticlinais e sinclinais na supracrustal.

### 3.5 GEOLOGIA ESTRUTURAL REGIONAL

Os dados tratados gerados no Mapeamento Geológico (GEO493) de 2018 são provenientes principalmente das rochas cristalinas do embasamento e da região de contato destas com as sequências sedimentares. Para realizar uma comparação destes dados com as medidas encontradas nas rochas supracrustais do Supergrupo Espinhaço utilizou-se os dados do relatório de mapeamento do Estágio de Mapeamento Geológico (GEO391), realizado em 2016, nos quartzitos da Formação Resplandecente próximos a Itacambira. Para complementar essa comparação com as rochas do Grupo Macaúbas, utilizou-se os estereogramas confeccionados por confeccionados por Souza et al. (2017) e Souza (2019) feitos na região feitos na região de Terra Branca – Planalto de Minas - MG.

Na Figura 3.15 os estereogramas de projeção polar e mapas de densidade dos planos de acamamento (S0) mostram que o acamamento das rochas analisadas possui direção preferencial NS, com mergulho para E. Porém, enquanto no Supergrupo Espinhaço o mergulho apresenta-se sub-horizontal, nas rochas do Grupo Macaúbas e do embasamento cristalino elas encontram-se com maior ângulo de mergulho.

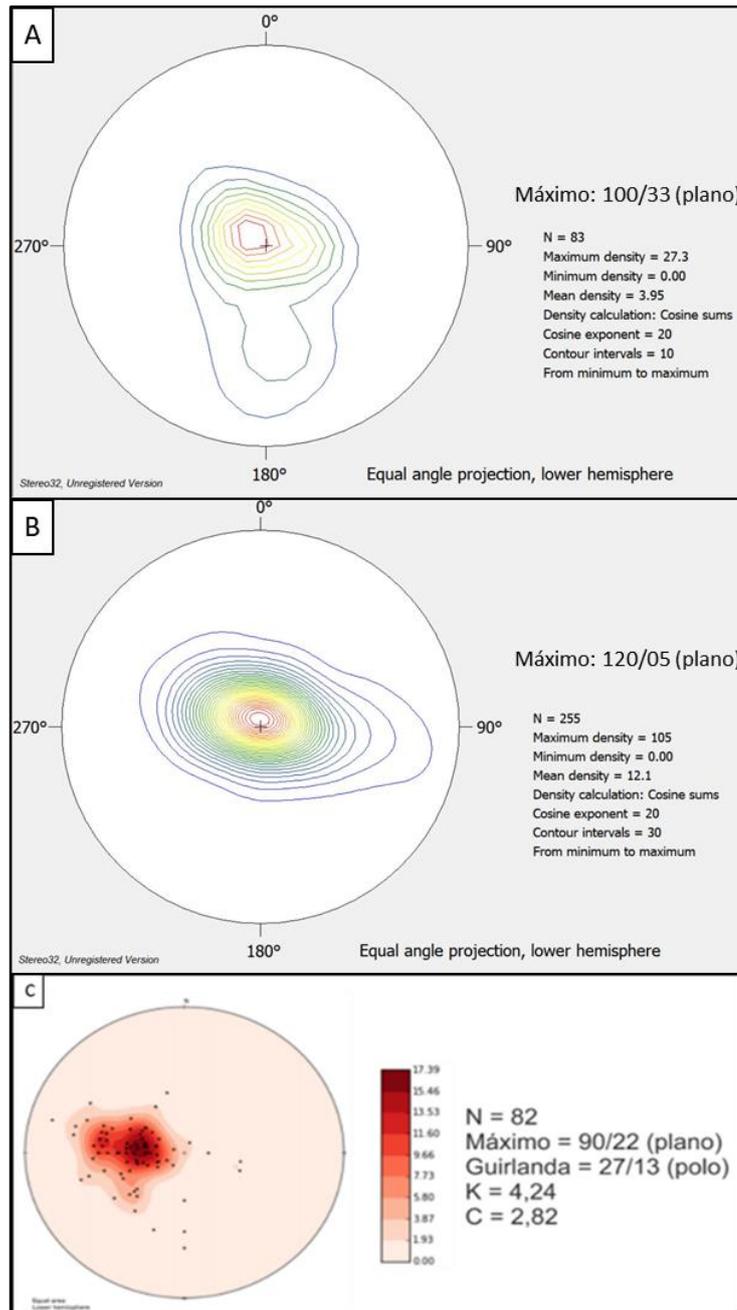


Figura 3.15: Figura de quadro comparativo dos mapas de densidade das projeções polares dos planos de acamamento. Em A) Mapa de densidade referente as rochas do embasamento e do contato, próximo a Itacambira; B) Mapa de densidade referente as rochas do Supergrupo Espinhaço, próximo a Itacambira; C) Estereograma referente as rochas do Grupo Macaúbas, próximo a Planalto de Minas, retirado de Souza *et al.* (2017).

Assim como S0, a foliação plano-axial (Sn) também apresentou a mesma direção preferencial nas rochas comparadas. Nos diagramas de projeção polar (Figura 3.16) é possível determinar que o plano de foliação adota direção preferencial NS, com mergulho para E.

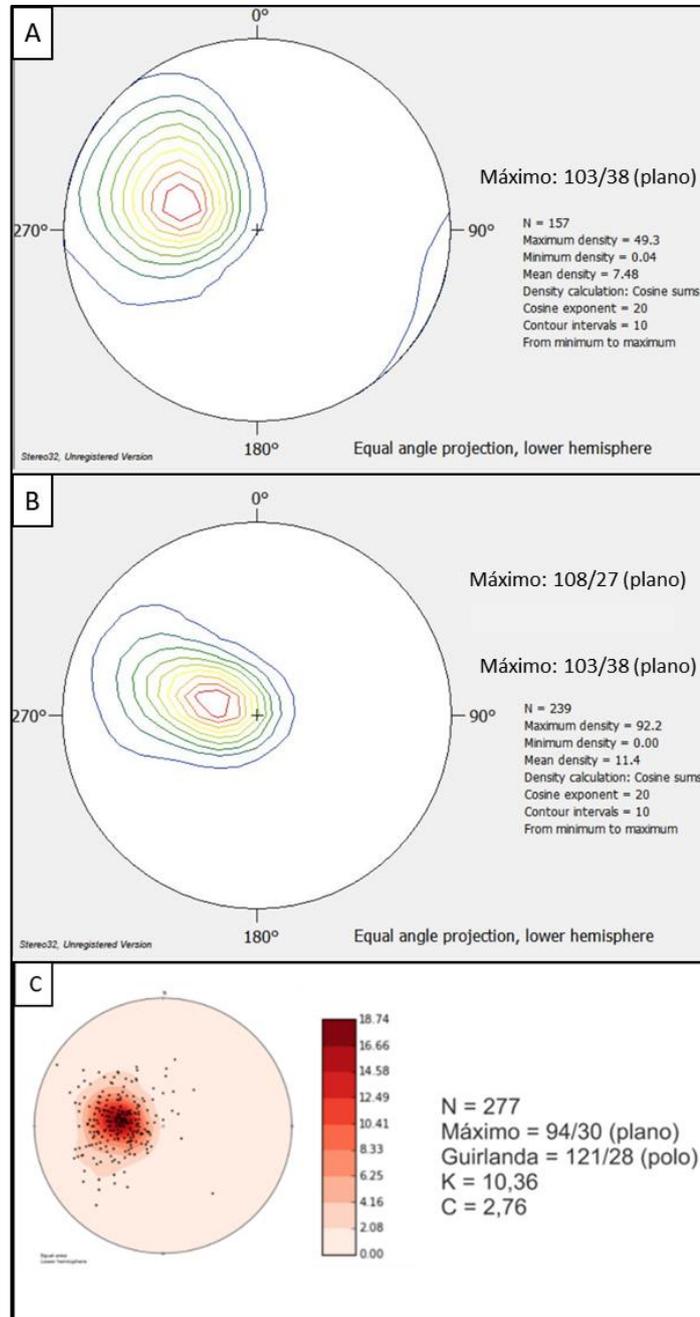


Figura 3.16: Quadro comparativo dos mapas de densidade das projeções polares dos planos de foliação. Em A) Mapa de densidade referente as rochas do embasamento e do contato, próximo a Itacambira; B) Mapa de densidade referente as rochas do Supergrupo Espinhaço, próximo a Itacambira; C) Estereograma referente as rochas do Grupo Macaúbas, próximo a Planalto de Minas, retirado de Souza *et al.* (2017).

### INTEGRAÇÃO GEOFÍSICA-ESTRUTURAL

---

#### 4.1 INTRODUÇÃO

Este Capítulo tem como finalidade complementar a análise descritiva das estruturas rúpteis da Anticlinal de Itacambira através da análise geofísica qualitativa da área estudada, que se embasa na interpretação dos mapas temáticos magnetométricos e radiométricos. Os mapas utilizados foram confeccionados por Costa (2018) em sua tese de graduação.

#### 4.2 METODOLOGIA

A análise de dados magnetométricos é uma ferramenta que possibilita determinar características geométricas de corpos geológicos, como seus limites (geológicos e estruturais) e profundidade (Thompson, 1982). Por serem dados dipolares os mapas gerados auxiliam na interpretação de anomalias e agrupamento de porções que apresentam informações semelhantes.

Os mapas temáticos de dados magnetométricos foram gerados por Costa (2018) a partir do banco de dados do levantamento aerogeofísico de Minas Gerais, realizado pela Companhia de Desenvolvimento Econômico de Minas Gerais e pelo Serviço Geológico do Brasil em 2005/2006. Para a aquisição de dados foram realizadas dez leituras de aeromagnetômetro e uma do aerespectrômetro por segundo, ao longo de cada perfil, que foram posicionados através do sistema de observação via satélite GPS, de precisão melhor do que 10m. Além disso foram instaladas duas estações fixas para controle de variação diurna do campo magnético terrestre.

Os mapas temáticos magnetométricos e radiométricos são compilados de maneira similar. Eles foram confeccionados a partir da aplicação de filtros específicos executados no *software Geosoft* (Costa, 2018). Os filtros tem como finalidade realçar e/ou atenuar feições lineares e planares específicas, de acordo com o objetivo do mapa que será originado. A diferença entre a geração dos mapas magnetométricos e radiométricos é que este último os dados adquiridos são processados de maneira individual.

Para realizar a integração estrutural foram utilizados os mapas magnetométrico de amplitude do sinal analítico (ASA) (Figura 4.1) e radiométrico de contagem total (Figura 4.2), onde Costa (2018) traçou os lineamentos magnéticos e radiométricos respectivamente. O ASA é um mapa temático que exhibe as anomalias geofísicas de uma maneira mais precisa e nítida, já que utiliza dados monopolares.

Este mapa apresenta a projeção em superfície de estruturas que se encontram em profundidade. Já o mapa radiométrico de contagem total é o produto da contagem total da radiação, feita através da medida dos raios gamas emitidos pelos elementos Urânio, Tório e Potássio dentro de uma janela energética específica.

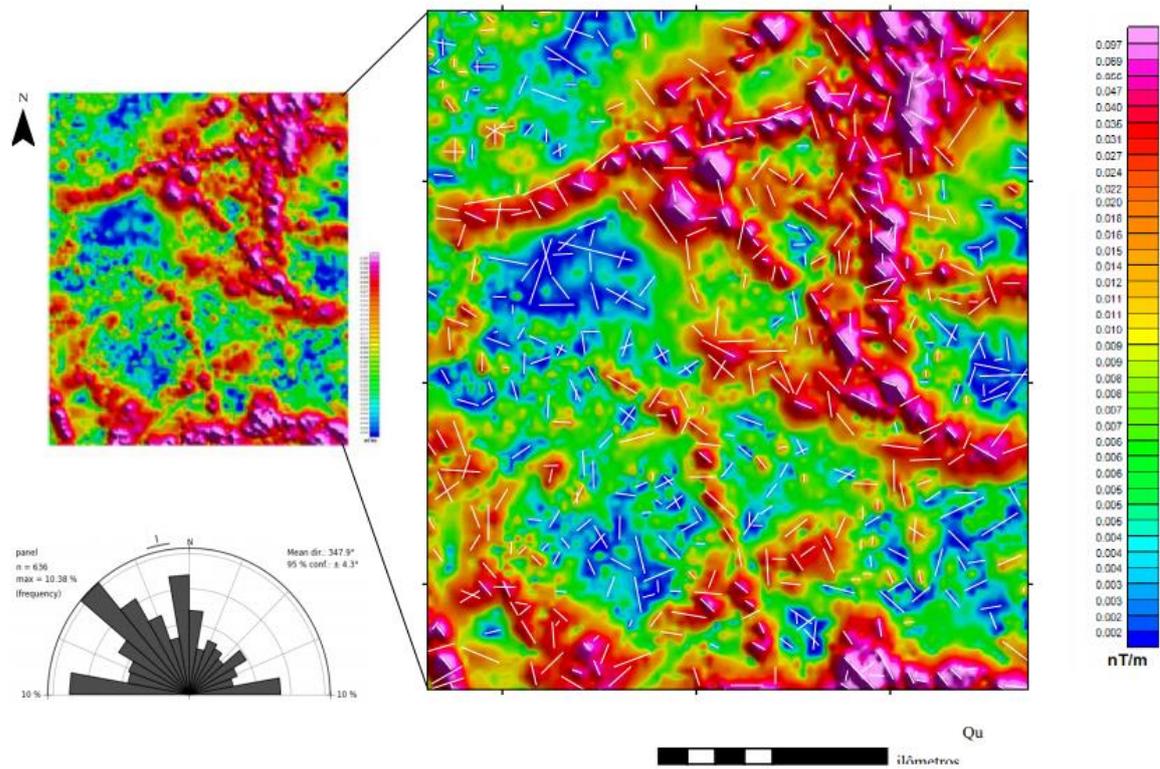


Figura 4.1: Mapa de Amplitude do Sinal Analítico (ASA) com sobreposição dos lineamentos magnéticos (em branco) e diagrama de rosas dos lineamentos, retirados de Costa (2018).

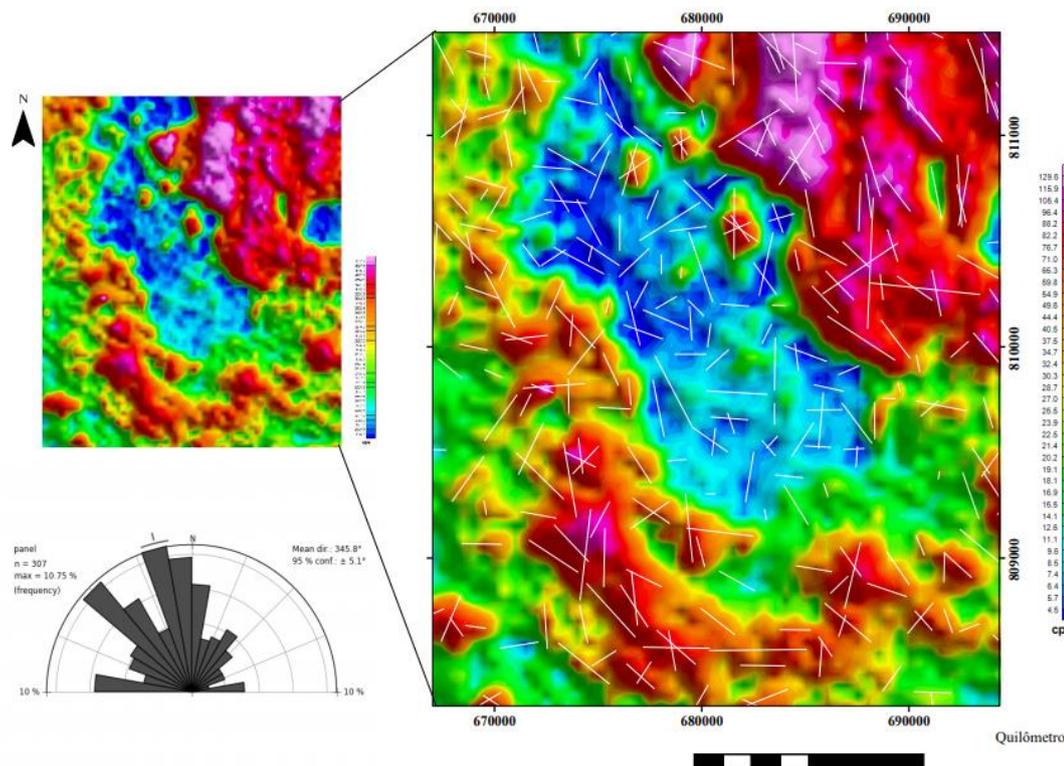


Figura 4.2: Mapa radiométrico de contagem total com sobreposição dos lineamentos radiométricos (em branco) e diagrama de rosas dos lineamentos, retirados de Costa (2018).

### 4.3 APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS

Os mapas geofísicos ASA (Figura 4.3) e de contagem total (Figura 4.4) gerado por Costa (2018) foram sobrepostos com os lineamentos mapeados e fotointerpretados da Anticlinal de Itacambira afim de comparar os resultados obtidos.

Na área de estudo, próximo a cidade de Itacambira, são observadas anomalias magnéticas de alta amplitude, indicando alta susceptibilidade magnética. Em relação ao domínio radiométrico, a área de estudo possui concentrações muito variáveis dos radioelementos K (%), Th (ppm) e U (ppm). Os lineamentos estruturais mapeados coincidem muitas vezes com a geometria das anomalias magnéticas (Figura 4.3), mas não apresentam uma relação muito evidente com o mapa radiométrico (Figura 4.4). Em contrapartida, os limites litológicos superficiais mapeados muitas vezes se sobrepõe aos limites das anomalias radiométricas, enquanto o embasamento apresenta alta contagem de potássio, tório e urânio, apresentado cores vermelho a rosa no mapa, as rochas do Supergrupo Espinhaço possuem valores baixos de tório, baixo a intermediário de potássio e de urânio (Costa, 2018), representadas pelas cores azuis a verdes (Figura 4.4).

Na Figura 4.5 podemos observar um quadro comparando os diagramas de roseta obtidos com os de Costa (2018). Estes diagramas apresentam direções preferencias para essas estruturas semelhantes.

Em ambas a direção NS apresenta grande relevância, com uma grande porcentagem de lineamentos, seguido pelos lineamentos NW-SE e os lineamentos EW.

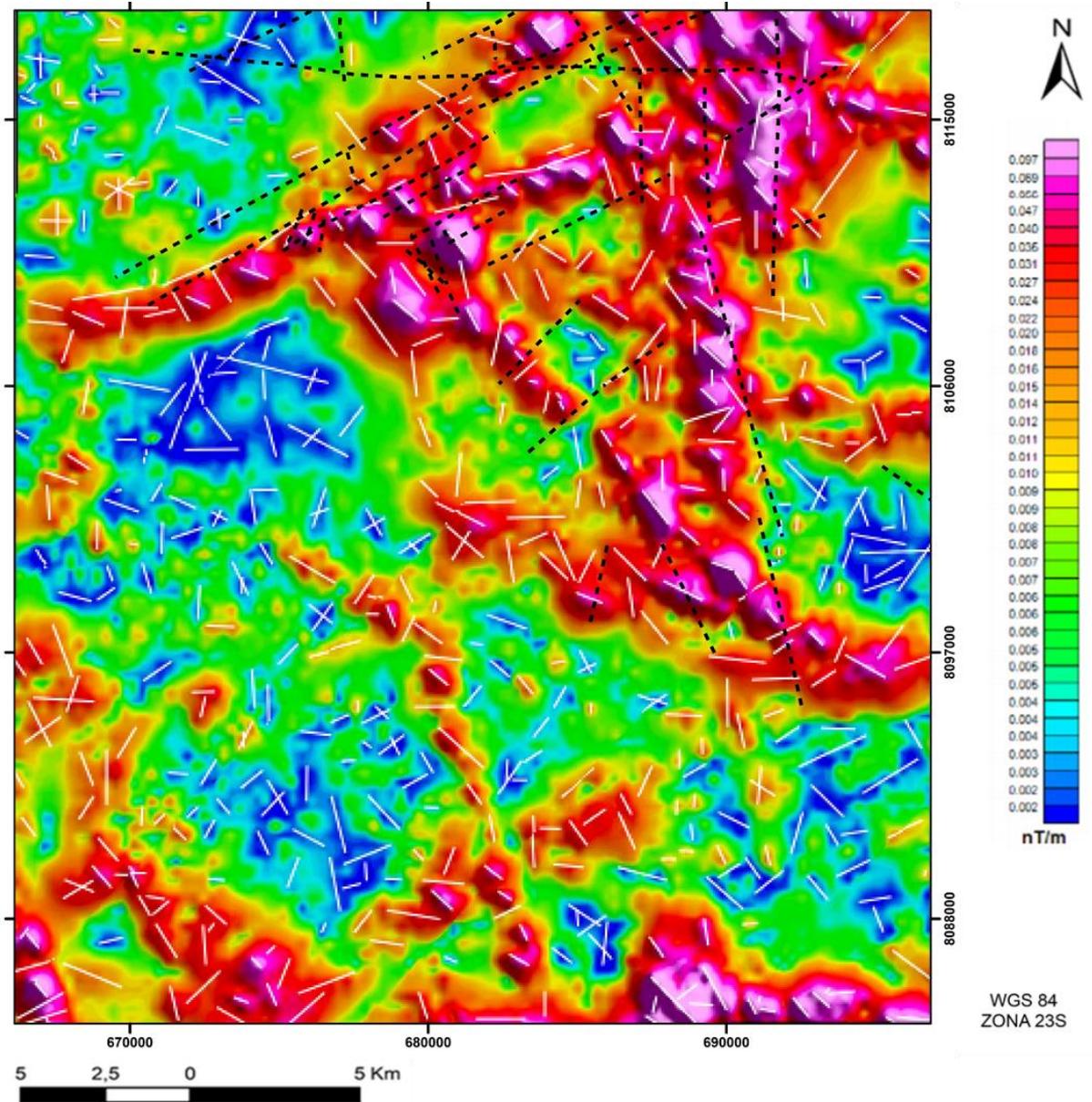


Figura 4.3: Mapa magnetométrico de Amplitude do Sinal Analítico com sobreposição dos lineamentos magnetométricos (em branco) e dos lineamentos fotointerpretados e mapeados (em preto tracejado). Modificado de Costa (2018).

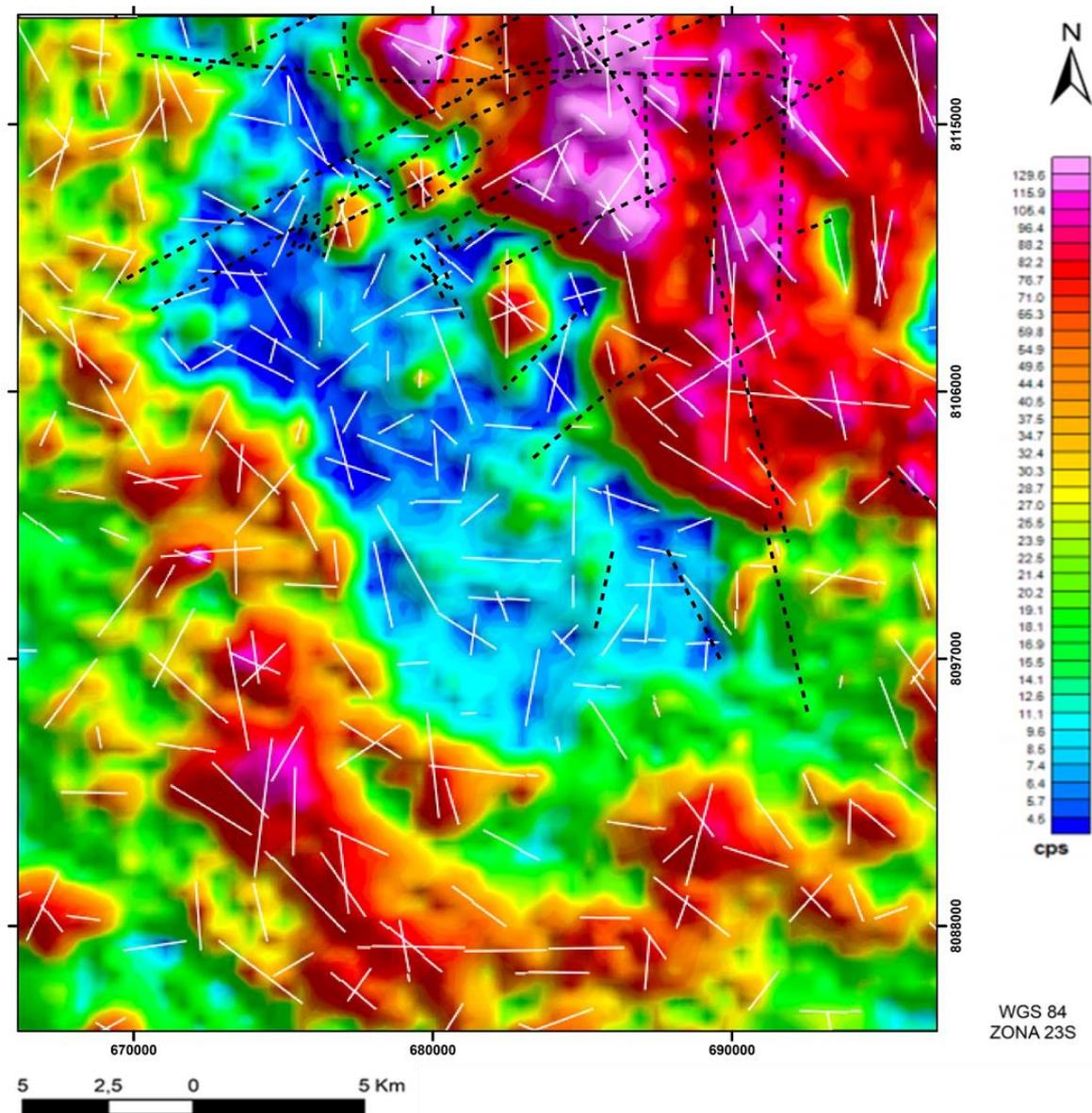


Figura 4.4: Mapa radiométrico de contagem total com sobreposição dos lineamentos radiométricos (em branco) e dos lineamentos fotointerpretados e mapeados (em preto tracejado). Modificado de Costa (2018).

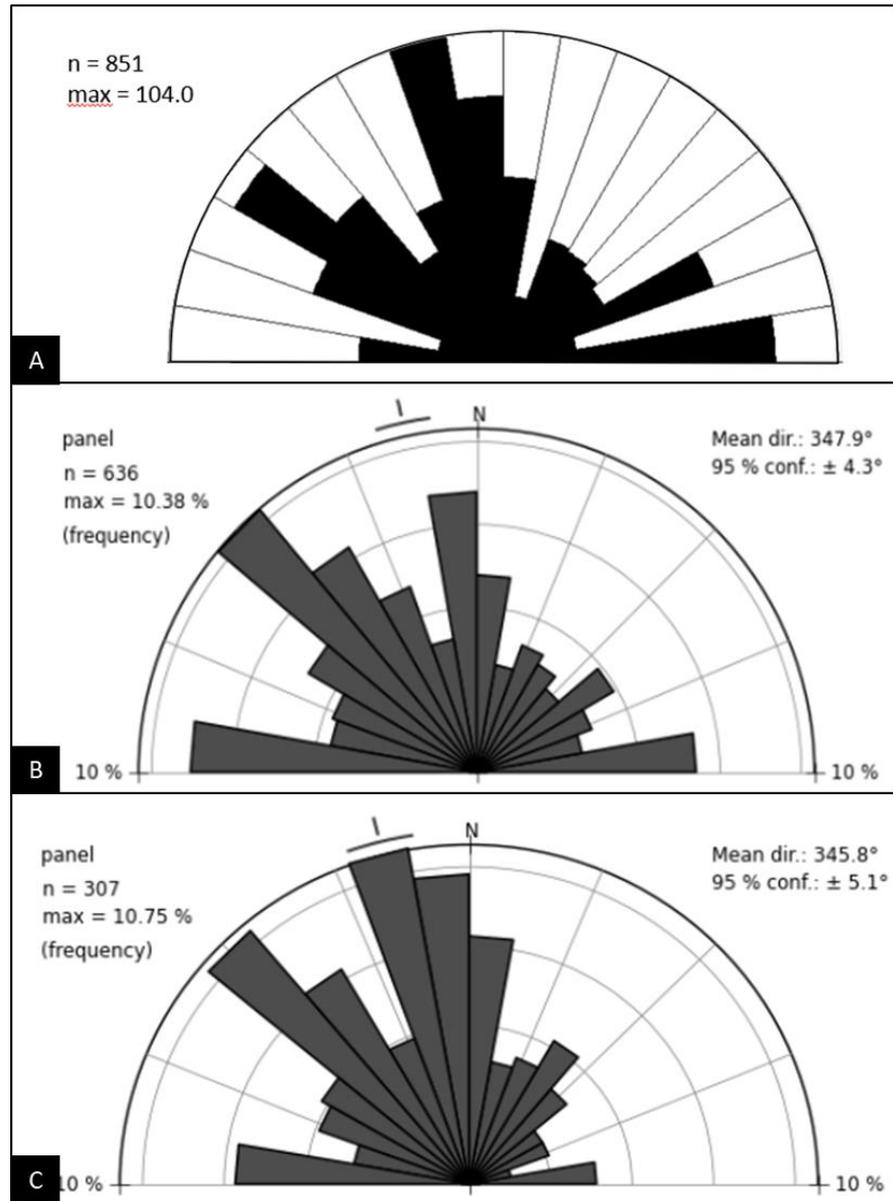


Figura 4.5: Quadro comparativo de diagramas de rosetas dos lineamentos. Em A) Diagrama de roseta dos lineamentos mapeados e fotointerpretados; B) Diagrama de roseta dos lineamentos magnetométricos, retirado de Costa (2018); C) Diagrama de roseta dos lineamentos radiométricos, retirado de Costa (2018).

## CAPÍTULO 5

### DISCUSSÕES

---

Cruz *et al* (2017) escreve em seu trabalho que, a partir da observação das estruturas geométricas presentes é possível determinar uma possível cronologia dos eventos tectônicos em um processo de inversão de bacia, podendo ser possível também prever como ocorre a orientação e geometria das estruturas da cobertura a partir do estudo das estruturas do substrato, e vice-versa.

A análise descritiva e cinemática da deformação rúptil da Anticlinal de Itacambira demonstra, no flanco oeste da Anticlinal, lineamentos que se propagam do embasamento até as rochas supracrustais interferem diretamente na geometria da distribuição das sequências sedimentares do Espinhaço. Estes lineamentos delimitam muitas vezes o tipo de contato que ocorre entre o embasamento cristalino e o Supergrupo Espinhaço, alterando-o ora entre contato delimitado por falha normal, apesar de bem restrita, ora por falha de empurrão ou reversa. Mas estas estruturas interferem na formação da Bacia Macaúbas? E se caso interferiram, como essa influência se deu em relação a geometria da Bacia?

Na região do flanco oeste da Anticlinal de Itacambira percebe-se que os principais lineamentos que condicionam a geometria das estruturas presentes são os que possuem direção NW-SE e também os NE-SW, que se concentram basicamente no contato embasamento cristalino/supracrustal e formam pares conjugados de fraturas. Mas assim como já descrito, quando se analisa uma escala mais ampla da Anticlinal, percebe-se que os lineamentos NE-SW estão mais concentrados no flanco oeste da anticlinal enquanto os de direção NW-SE estão mais presentes no flanco leste (Figura 5.1). Para entender a evolução tectônica destes lineamentos é necessário levar em consideração a ordem temporal da formação destas estruturas. Esta ocorrência pode estar associada ao fato destes lineamentos terem sido formados durante os eventos de nucleação do embasamento cristalino sendo reativados durante os ciclos Espinhaço, Macaúbas e por fim na inversão dessas bacias e formação do Orógeno Araçuaí. Neste último evento, com a formação desta faixa orogênica, o BIMA foi soerguido delimitando a atual configuração estrutural da área. Apesar de provavelmente essa estruturas serem pré-Espinhaço, Costa (2018) defende em seu trabalho que a nucleação dos lineamentos NW-SE foi anterior ao dos lineamentos NE-SW, já que observa que anomalias magnéticas deste primeiro grupo são deslocadas para NE-SW (Figura 5.2).

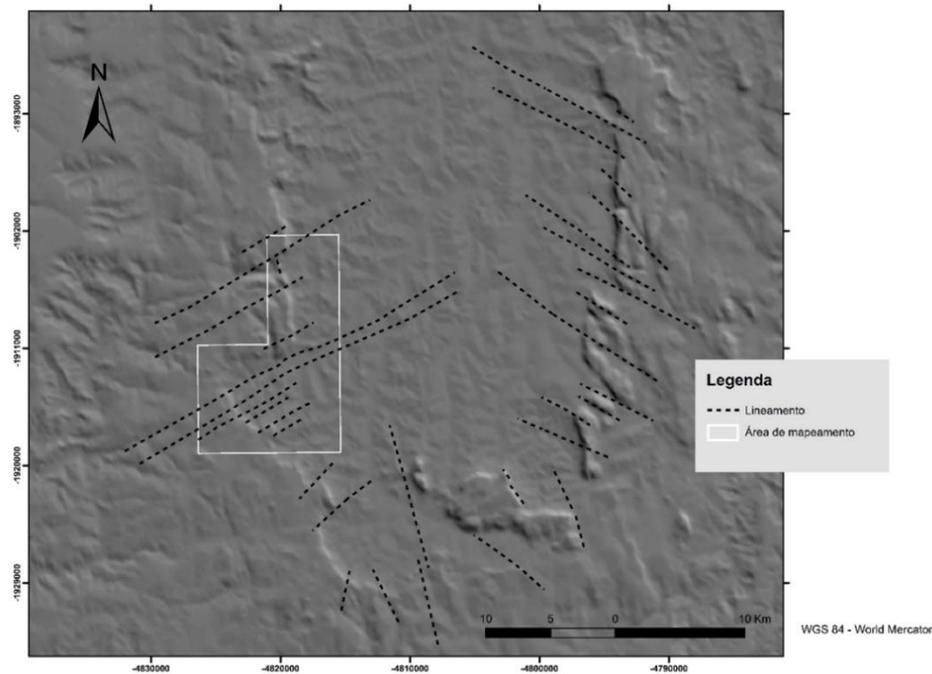


Figura 5.1: Mapa gerado a partir do modelo digital de elevação SRTM, com destaque para os lineamentos do contato embasamento/coertura da Anticlinal de Itacambira.

Em relação aos dados geofísicos, ao se comparar as anomalias do mapa ASA de Costa (2018) com os lineamentos e falhas traçados e mapeados neste trabalho, percebe-se que há uma concordância nítida na localização e *trends* dos lineamentos estruturais traçados com a geometria das anomalias magnetométricas. Os mapas ASA projetam as anomalias magnetométricas em superfície, fornecendo informações das estruturas que se encontram em profundidade, portanto é de se esperar que estas falhas e lineamentos traçados continuem em profundidade, sendo estruturas condicionantes de grande relevância nos eventos deformacionais que ocorreram na área. Já os mapas radiométricos estão mais associados as composições das diferentes litologias que ocorrem na região, portanto é de se esperar que os limites das anomalias radiométricas estejam mais associadas aos contatos litológicos e não sejam tão eficazes na delimitação de estruturas planares como as falhas mapeadas.

A área estudada por Costa (2018) compreende principalmente o flanco oeste e o fechamento da Anticlinal de Itacambira. Como já colocado anteriormente neste trabalho os lineamentos NW-SE e NE-SW que ocorrem principalmente nesta região da anticlinal, apresentam uma porcentagem relevante dos lineamentos presentes, sendo confirmado pelos estereogramas de roseta confeccionados por Costa (2018), principalmente o diagrama dos lineamentos magnetométricos (figura 4.5). Portanto acredita-se que essas estruturas com *trend* NW e NE também continuam em profundidade.

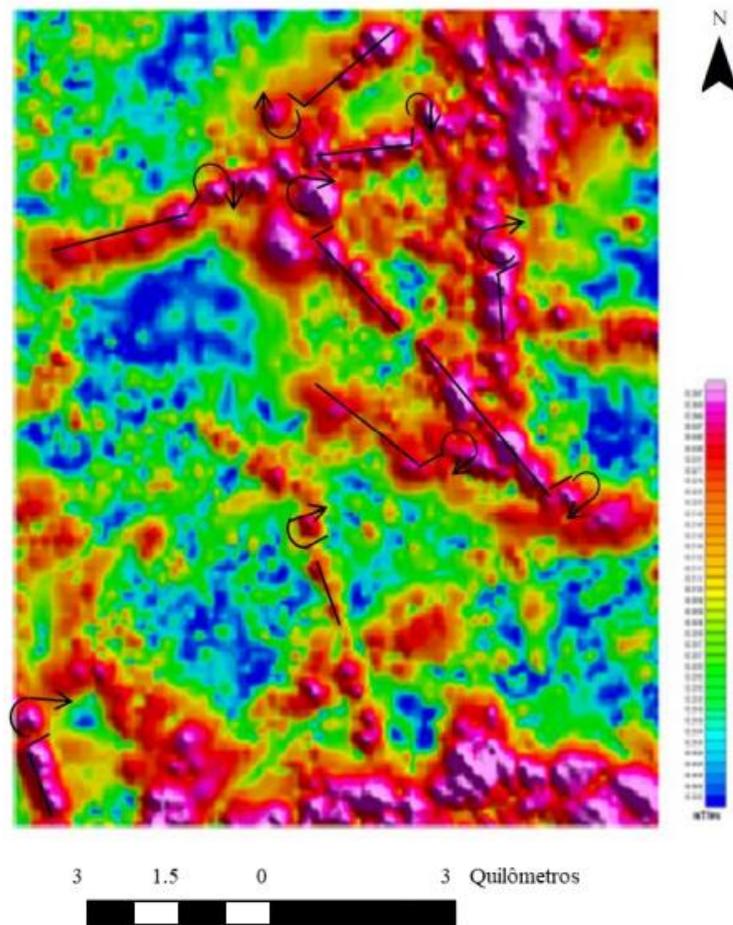


Figura 5.2: Mapa ASA de interpretação dos lineamentos segundo a orientação das anomalias enfatizando a cinemática dextral. Modificado de Costa (2018).

O resultado dos dados geofísicos demonstra um padrão estrutural fractal. Onde o par conjugado NW-SE e NE-SW se repete desde a escala de afloramento (Figura 3.11), sendo percebida na geomorfologia da região (Figura 3.13) e até em profundidade (Figura 4.3), demonstrando que estas estruturas tem uma grande influência em todas as sequências rochosas da área.

Souza *et al.* (2019) descreve em seu trabalho que a formação Matão-Duas Barras, unidade formada pela sedimentação continental no Toniano durante o rifitamento Macaúbas, apresenta inconformidades no topo e base, sendo estas últimas os registros de separação da Bacia Macaúbas e Espinhaço no espaço tempo. A autora defende que a integração da relação estrutural, com os dados geofísicos, e a associação de facies revelam que a sedimentação Toniana no meio-graben de Itacambira é fortemente controlado por duas famílias de lineamentos estruturais (N50E e N50W), que são pares de fraturas conjugados. Essas fraturas demarcam os limites da sedimentação Toniana. Souza *et al.* (2019) ainda descreve que normalmente essas falhas tem movimentos transcorrente e reverso, o que promove uma inversão tectônica entre o grupo Macaúbas e o Supergrupo Espinhaço, e também a inversão deste

último com o embasamento cristalino (bloco Porteirinha). O trabalho de Souza *et al* (2019) reforça, portanto, os dados encontrados neste trabalho, que demonstra que as falhas de empurrão e reversas no contato Espinhaço/Bloco Porteirinha alçam as rochas cristalinas sobre as sequências sedimentares. Este trabalho também corrobora para a proposta de Souza *et al* (2019) de que os pares de fraturas conjugados com *trend* NE e NW são estruturas fortemente condicionantes para a deposição da Bacia Espinhaço e da sedimentação Toniana da Bacia Macaúbas na região.

Além disso este *trend* (NW-SE) é encontrado em áreas próximas a área estudada. Reis (2016) descreve estruturas de orientação NW como controladoras da sedimentação da sequência Macaúbas no aulácogeno Pirapora, região a sul de Itacambira, e sugere que elas ultrapassam o limite do Cráton São Francisco. Oliveira *et al.* (in press) também descreveu recentemente lineamentos estruturais com esse mesmo *trend* que limitam espacialmente a ocorrência das unidades Tonianas e Criogenianas do Grupo Macaúbas na região a leste ao aulácogeno Pirapora, no fechamento periclinal da Serra do Espinhaço, porção central do Grupo Macaúbas.

Assim propõe-se a partir deste estudo que as estruturas presentes no embasamento cristalino, principalmente as de orientação NW-SE e NE-SW, tenham sido importantes condicionantes estruturais na formação das bacias Espinhaço e sedimentação Toniana da Bacia Macaúbas, limitando espacialmente a deposição dos sedimentos destas bacias, não só na região da área de estudo, mas na extensão total destes domínios. Além disso essas estruturas pretéritas à deposição da Bacia Macaúbas determinaram o padrão de abertura da Bacia. Durante os estágios iniciais do riftiamento, os segmentos do rifte tendem a seguir zonas de fraquezas preexistentes, como falhas (Morley *et al.*, 1999; Nelson *et al.*, 1992; Corti, 2012). Normalmente esses segmentos são interruptos, se apresentando por exemplo como falhas em echelon, e tendem a se conectar para formar sistemas de riftes contínuo. Na região de Itacambira as falhas NW e NE se conectam formando um padrão zigzague, típico de bacias que se formam em regiões com influência de herança tectônica, e delimitando a região de sedimentação da Bacia Macaúbas. Henstra *at al.* (2015) demonstra que a localização e orientação de falhas normais preexistentes possuem um papel importante na evolução subsequente de sistemas de falhas em sistemas multi-riftes, podendo ser reativadas e funcionando como planos para falhas reversas, como é possivelmente o caso da região aqui estudada.

Mas para entender de forma mais clara e com maior grau detalhe como ocorreu a propagação destas estruturas ao longo da história tectônica e como elas se comportam em relação aos diferentes ciclos extensionais que ocorreram na região, é necessário a realização de mais estudos geoestruturais. Propõe-se o estudo com dados de reflexão sísmica 2D e 3D, além da análise dinâmica das estruturas aqui descritas. Além disso uma análise geofísica por dados de aeromagnetometria e aeroradiometria na região a norte da área estudada por Costa (2018), que englobasse o BIMA, além de um estudo como o realizado neste trabalho, porém no flanco leste da Anticlinal de Itacambira, seriam de grande utilidade.

## CAPÍTULO 6

### CONCLUSÃO

---

A análise cinemática estrutural da Anticlinal de Itacambira, mais detalhadamente do flanco oeste dessa megaestrutura, levou as seguintes conclusões:

- 1) O grupo de lineamentos com *trend* NS foi muito expressiva e amplamente registrada na região, tanto neste trabalho quanto por trabalhos anteriores. Na bibliografia estes lineamentos são normalmente relacionados a eixos de grandes dobras formados na nucleação do embasamento e reativados em eventos posteriores. Como neste trabalho os lineamentos NS observados estão presentes majoritariamente no embasamento assume-se que essa reativação não tenha sido tão evidente na Anticlinal de Itacambira.
- 2) Os pares conjugados de fraturas com *trend* NW-SE e NE-SW apresentam grande relevância na região mapeada, controlando geometricamente a deposição do Supergrupo Espinhaço e da sedimentação Toniana da Bacia Macaúbas. Esses lineamentos muitas vezes constituem as discordâncias que demarcam o contato entre o Bloco Porteirinha e o Supergrupo Espinhaço, e também do Grupo Macaúbas com o Supergrupo Espinhaço, reforçando o caráter condicionante dessa estruturas na disposição geométrica desses domínios.
- 3) Tanto a Bacia Macaúbas como a Bacia Espinhaço apresentam um possível padrão geométrico em ziguezague, resultado da influência da herança tectônica da região, mais especificamente dos pares de fraturas conjugados (NE e NW). Essas falhas em echelon provavelmente se conectaram formando o limite contínuo das bacias Macaúbas e Espinhaço tanto na região de Itacambira como provavelmente na extensão total desses domínios.
- 4) A direção preferencial da foliação milonítica apresenta orientação N-S a NE-SW, com mergulho para E. Esta foliação foi encontrada em regiões de zonas de cisalhamento associadas a falha, onde ocorre a presença de rochas filoníticas, e estavam distribuídas em sua maioria em regiões próximas ao contato. Este tipo de foliação se orienta paralelamente ao plano máximo de cisalhamento, portanto infere-se que a partir destas medidas a direção do evento deformacional que gerou o cisalhamento é NS a NE-SW.
- 5) A “lasca” de quartzito mapeada em meio ao domínio do embasamento, delimitada por uma falha reversa e outra de empurrão, pode ser caracterizada como um *klippe* tectônico, o que não seria incomum em uma região de cinturão de cavalgamento, sendo registrada também em outras áreas deste domínio.



## Referência Bibliográfica

- Alkmim, F. F., Brito-Neves, B. B., Castro-Alves, J. A. (1993). Arcabouço tectônico do craton do São Francisco - Uma revisão (In "O Craton do São Francisco", Reunião Preparatória do II Simpósio sobre o Craton do São Francisco, 1992, ed. J. M. L. Dominguez e A. Misi), Soc. Bras. Geologia, SGM, Cons. Nac. Pesquisas, Salvador, p. 45-62.
- Alkmim, F. F., Marshak, S., Pedrosa-Soares, A. C., Peres, G. G., Cruz, S. C. P., & Whittington, A. (2006). Kinematic evolution of the Araçuaí-West Congo orogen in Brazil and Africa: Nutcracker tectonics during the Neoproterozoic assembly of Gondwana. *Precambrian research*, 149(1-2), 43-64.
- Alkmim F.F.; Pedrosa-Soares, A.C.; Noce, C.M. & Cruz, S.C.P. (2007). Sobre a Evolução Tectônica do Orógeno Araçuaí-Congo Ocidental. *Geonomos*, 15(1): 25-43.
- Alkmim, F.F. & Martins-Neto, M.A. (2012). Proterozoic first-order sedimentary sequences of the São Francisco craton, eastern Brazil. *Marine and Petroleum Geology*, 33:127-139.
- Almeida F. F. M. (1977). O Cráton do São Francisco. *Revista Brasileira de Geociências*, 7: 349- 364.
- Almeida F.F.M. (1981). O Cráton do Paramirim e sua relação com o do São Francisco. In: Simpósio do Cráton São Francisco e suas faixas marginais. Salvador. Anais..., Salvador, p. 1-10.
- Amaral, L., de Andrade Caxito, F., Pedrosa-Soares, A. C., Queiroga, G., Babinski, M., Trindade, R., ... & Chemale, F. (2020). The Ribeirão da Folha ophiolite-bearing accretionary wedge (Araçuaí orogen, SE Brazil): new data for Cryogenian plagiogranite and metasedimentary rocks. *Precambrian Research*, 336, 105522.
- Babinski M., Trindade R., Pedrosa-Soares A.C., Martins M.S., Noce C.M., Liu D. 2012. Neoproterozoic glacial deposits from the Araçuaí orogen, Brazil: Age, provenance and correlations with the São Francisco craton and West Congo belt. *Gondwana Research*, 21:451-465
- Bitencourt, C. N., Cruz, S. C. P., dos Anjos Cruz, V., Pedrosa-Soares, A. C., Paquette, J. L., Alkmim, A. R., & Barbosa, J. S. F. (2019). Rifting events in the southern sector of the Paramirim Aulacogen, NE Brazil: New geochronological data and correlations for the São Francisco–Congo paleocontinent. *Precambrian Research*, 326, 417-446.
- Bersan S.M. 2015. Análise estrutural do embasamento e da cobertura no extremo norte do Cinturão de Cavalgamentos da Serra do Espinhaço. Master Dissertation, Departamento de Geologia, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 107 p.
- Bersan, M.S., Danderfer, A., Abreu, F.R., Lana, C., 2018. Petrography, geochemistry and geochronology of the potassic granitoids of the Rio Itacambiruçu Supersuite: implications for the Meso- to Neoproterozoic evolution of the Itacambira-Monte Azul block. *Brazilian Journal of Geology* 48-1, 1-24. DOI: 10.1590/2317-488920182017013
- Castro, M. P. D. (2019). Evolução do Grupo Macaúbas e Formação Salinas no Orógeno Araçuaí Central, MG. Tese (Doutorado) - Universidade Federal de Ouro Preto. Escola de Minas. Departamento de Geologia. Programa de Pós-graduação em Evolução Crustal e Recursos Naturais. 204 p.
- Chemale F., Dussin I.A., Alkmim F.F., Martins M.S., Queiroga G.N., Armstrong R., Santos M.N. 2012. Unravelling a Proterozoic basin history through detrital zircon geochronology: The case of the Espinhaço Supergroup, Minas Gerais, Brazil. *Gondwana Research*, 22(1):200-206.
- Crocco-Rodrigues, f. A., Guimarães, M. L. V., Abreu, F. R., Oliveira, o. A. B., Greco, F. M. (1993). Evolução Tectônica do Bloco Itacambira - Monte Azul entre Barroco e Porteirinha (MG). Anais, 8o Simpósio de Geologia de Minas Gerais, Soc. Bras. Geologia, Núcleo MG, Bol. 12, Belo Horizonte, p. 212-216.

- Corti, G. 2012. Evolution and characteristics of continental rifting: Analog modeling-inspired view and comparison with examples from the East African Rift System. *Tectonophysics*, 522–523.
- Costa, A.F., Danderfer, A., 2017. Tectonics and sedimentation of the central sector of the Santo Onofre rift, north Minas Gerais, Brazil. *Brazilian Journal of Geology* 47-3, 491-519.
- Costa, J. M. D. L. 2018. Análise geofísica do arcabouço geológico do flanco oeste da Anticlinal de Itacambira, no segmento Terra Branca–Itacambira, Minas Gerais. Monografia. Universidade Federal de Ouro Preto. 83 p.
- Danderfer A., de Waele B., Pedreira A.J., Nalini H.A. 2009. New geochronological constraints on the geological evolution of Espinhaço basin within the São Francisco Craton-Brazil. *Precambrian Research.*, 170: 116-128.
- De Moraes, L. J. (1937). Geologia economica do norte de Minas Geraes (No. 19). Directoria de estatistica da produçãõ, Secçãõ de publicidade.
- Fossen H. 2012. Geologia Estrutural. São Paulo, São Paulo. 551p.
- Guimarães., M. L. V. (1997) Mapa geológico da Folha Botumirim 1:100.000. Belo Horizonte, Projeto Espinhaço, convênio COMIG-IGC/UFMG.
- Guimarães., M. L. V. (1997). *Texto explicativo da Folha Botumirim*. In: J.H. Grossi-Sad, L.M. Lobato, A.C. Pedrosa-Soares, B.S. Soares Filho (eds.) - Projeto Espinhaço em CD-Rom. COMIG-UFMG.
- Heilbron M., Duarte B. P., Valeriano C. M., Simonetti A., Machado N., Nogueira J. R. 2010. Evolution of reworked Paleoproterozoic basement rocks within the Ribeira belt (Neoproterozoic), SE-Brazil, based on U Pb geochronology: Implications for paleogeographic reconstructions of the São Francisco-Congo paleocontinent. *Precambrian Research*, 178: 136-148.
- Heilbron, M., Cordani, U.G., Alkmim, F.F. 2017. *São Francisco Craton, Easter Brazil: Tectonic Genealogy of a Miniature Continent*. Springer, Cham, Switzerland. 326 p.
- Henstra, G. A., Rotevatn, A., Gawthorpe, R. L., Ravnås, R. 2015. Evolution of a major segmented normal fault during multiphase rifting: The origin of plan-view zigzag geometry. *Journal of Structural Geology*, 74: 45-63.
- Karfunkel, B. & Karfunkel, J. 1976. Geologia da Serra do Espinhaço no norte de Minas Gerais (Itacambira-Botumirim). Anais, 29o Cong. Bras. Geologia, Vol. 2, Ouro Preto, p. 169-177.
- Karfunkel, J. & Hoppe, A. 1988. Late Proterozoic glaciation in central-eastern Brazil: synthesis and model. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 65: 1-21.
- Kuchenbecker M., Pedrosa-Soares A. C., Babinski M., Fanning M. 2015. Detrital zircon age patterns and provenance assessment for pre-glacial to post-glacial successions of the Neoproterozoic Macaúbas Group, Araçuaí orogen, Brazil. *Precambrian Research* 266: 12-26.
- Ledru P. J., Johan V., Milési J.P., Tegycy M. 1994. Markers of the last stage of the Paleoproterozoic collision: Evidence for a 2 Ga continent involving circum-South Atlantic provinces. *Precambrian Res.*, 69: 169-191
- Leite, M. M. (2013). Sistema deposicionais e estudos de proveniência sedimentar do Supergrupo Espinhaço e do Grupo Macaúbas na porção ocidental do Anticlinal de Itacambira (MG). Universidade Federal de Minas Gerais. MSc. Thesis.
- Lopes, T. C. (2012). O Supergrupo Espinhaço na Serra do Cabral, Minas Gerais: contribuição ao estudo de proveniência sedimentar.
- Martins-Neto M. A. & Hercos C.M. 2002. Sedimentation and tectonic setting of Early Neoproterozoic glacial deposits in southeastern Brazil. In: Altermann, W. & Corcoran, P. L. (eds) *Precambrian Sedimentary Environments: A Modern Approach to Ancient Depositional Systems*. International Association of Sedimentologists, Special Publications., 33: 383–403.

- Martins, M.S. 2006. *Geologia dos diamantes e carbonados aluvionares da bacia do Rio Macaúbas (MG)*. Tese de doutoramento, Universidade Federal de Minas Gerais, IGC/Colegiado Pós-graduação, 248p
- Martins M., Karfunkel J., Noce C.M., Babinski M., Pedrosa-Soares A.C., Sial A.N., Liu D. 2008. A sequência préglacial do Grupo Macaúbas na área-tipo e o registro da abertura do Rifte Araçuaí. *Revista Brasileira de Geociências*, 38(4) 761-772. Noce C. M.; Grossi-Sad J. H.; Pedrosa-Soares A. C.; Guimarães M. L. V., Mourão M. A. A. & Oliveira M. J. R. (1993). Litoestratigrafia do Grupo Macaúbas na Faixa Araçuaí, Minas Gerais. Belo Horizonte, 23p.
- Morley, C. K., R. A. Nelson, T. L. Patton, and S. G. Munn. 1990. Transfer zones in the East African Rift system and their relevance to hydrocarbon exploration in rifts. *AAPG Bulletin*, 74, 1234–1253.
- Nelson, R. A., T. L. Patton, and C. K. Morley. 1992. Rift-segment interaction and its relation to hydrocarbon exploration in continental rift systems: *AAPG Bulletin*, 76, 1153–1169
- Noce, C.M. 1997. Mapa geológico da Folha Itacambira 1:100.000. Belo Horizonte, Projeto Espinhaço, convênio COMIG-IGC/UFMG.
- Noce C.M. 1997. *Texto explicativo da Folha Itacambira*. In: J.H. Grossi-Sad, L.M. Lobato, A.C. Pedrosa-Soares, B.S. Soares Filho (eds.) - Projeto Espinhaço em CD-Rom. COMIG-UFMG.
- Noce C.M.; Pedrosa-Soares A.C.; Silva L.C; Alkmim F.F. 2007. O Embasamento Arqueano e Paleoproterozoico do Orógeno Araçuaí. *Geonomos* 15(1): 17-23.
- Oliveira, R. G. (2020). Comportamento estratigráfico e proveniência sedimentar do Grupo Macaúbas na terminação periclinal da Serra do Espinhaço Meridional em Minas Gerais. 81 p. Dissertação de Mestrado.
- Pedrosa-Soares A.C. & Wiedemann-Leonardos C.M. 2000. Evolution of the Araçuaí Belt and its connection to the Ribeira Belt, eastern Brazil. In: Cordani U.G., Milani E.J., Thomaz Filho A., Campos D.A. (eds.) *Tectonic Evolution of South America*. Rio de Janeiro/IGC 2000, p.: 265-285.
- Pedrosa-Soares, A. C., Noce, C. M., Wiedemann, C. M., & Pinto, C. P. (2001). The Araçuaí-West-Congo Orogen in Brazil: an overview of a confined orogen formed during Gondwanaland assembly. *Precambrian research*, 110(1-4), 307-323.
- Pedrosa-Soares A.C. & Alkmim F.F. 2011. How many rifting events preceded the development of the Araçuaí-West Congo orogen? *Geonomos* 19(2): 244-251.
- Pedrosa-Soares, A.C., Babinski, M., Noce, C., Martins, M., Queiroga, G., Vilela, F., 2011a. The Neoproterozoic Macaúbas Group (Araçuaí orogen, SE Brazil) with emphasis on the diamictite formations. In: Arnaud, E., Halverson, G. P. & Shields-Zhou, G. (eds), *The Geological Record of Neoproterozoic Glaciations*. *Geological Society, London, Memoirs*, 36: 523–534.
- Pflug, R. & Renger, F. 1973. Estratigrafia e evolução geológica da margem sudeste do Cráton Sanfranciscano. In: SBG, *Congresso Brasileiro de Geologia*, 27, Aracaju, Anais, 2: 5-19.
- Porada H. 1989. Pan-African rifting and orogenesis in southern to equatorial Africa and Eastern Brazil. *Precambrian Res.*, 44: 103-136.
- Queiroga G. N., Dussin I.A., Martins M., Machado M.C., Kawashita K., Chemale F. 2012. Roteiro de Campo – Rochas Ígneas. In: Dussin I.A. & Chemale F. (ed). *Geologia Estrutural e Estratigrafia do Sistema Espinhaço – Chapada Diamantina e sua Aplicação nas Bacias Mesocenozóicas da Margem Passiva Brasileira*. Belo Horizonte, FUNDEP/PETROBRÁS, 170-195.
- Reis, H. L., & Suss, J. F. (2016). Mixed carbonate–siliciclastic sedimentation in forebulge grabens: An example from the Ediacaran Bambuí Group, São Francisco Basin, Brazil. *Sedimentary Geology*, 339, 83-103.

- Reis, H. L., Suss, J. F., Fonseca, R. C., & Alkmim, F. F. (2017). Ediacaran forebulge grabens of the southern São Francisco basin, SE Brazil: Craton interior dynamics during West Gondwana assembly. *Precambrian Research*, 302, 150-170.
- Schobbenhaus C. 1996. As tafrogeneses superpostas Espinhaço e Santo Onofre, Estado da Bahia: Revisão e novas propostas. *Rev. Bras. Geociên.*, 26: 265-276.
- Souza, M. E. S. de. 2017. Caracterização litoestrutural e geocronológica dos metagabros e xistos verdes do Grupo Macaúbas na faixa terra branca - Planalto de Minas, Minas Gerais. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Ouro Preto. Escola de Minas. Departamento de Geologia. Programa de Pós-graduação em Evolução Crustal e Recursos Naturais. 245 p.
- Souza M.E.S.S, Martins M., Madeira M.R., Queiroga G. 2019. Evolução geodinâmica dos estágios de rifteamento do grupo Macaúbas no período Toniano, meridiano 43°30'w, região centro-norte de Minas Gerais. Tese (Doutorado) - Universidade Federal de Ouro Preto. Escola de Minas. Departamento de Geologia. Programa de Pós-graduação em Evolução Crustal e Recursos Naturais. 204 p.
- Teixeira W., Sabaté P., Barbosa J.S.F., Noce C.M., Carneiro M.A., 2000. Archean and Paleoproterozoic tectonic evolution of the São Francisco Craton. In: Cordani, U.G., Milani, E.J., Thomaz-Filho, A, Campos, D.A. (Eds.), *Tectonic Evolution of South America*. 31st Intern. Geol. Congr., pp. 101–138.
- Thompson D. T. 1982. EULDPH. A new technique for making computer-assisted depth estimates from magnetic data. *Geophysics*, 47: 31-37.
- Uhlein A. 1991. Transição Cráton – Faixa Dobrada: Exemplo do Cráton do São Francisco e da Faixa Araçuaí (Ciclo Brasileiro) no estado de Minas Gerais. Aspectos estratigráficos e estruturais. Tese de Doutorado, Universidade de São Paulo, 245p.
- Zwaan, F., Schreurs, G. 2017. How oblique extension and structural inheritance influence rift segment interaction: Insights from 4D analog models. SD119-SD138.