

Trabalho de Conclusão de Curso  
Curso de Graduação em Geologia

ANÁLISE ESTRATIGRÁFICA E PALEOMAGNÉTICA DA BACIA DE LAVRAS DA  
MANGABEIRA

João Carlos Cerqueira

Prof.Dr. Giancarlo Scardia

Rio Claro (SP)

2021

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

JOÃO CARLOS CERQUEIRA

ANÁLISE ESTRATIGRÁFICA E PALEOMAGNÉTICA DA  
BACIA DE LAVRAS DA MANGABEIRA

Trabalho de Conclusão de Curso  
apresentado ao Instituto de Geociências e  
Ciências Exatas - Câmpus de Rio Claro,  
da Universidade Estadual Paulista Júlio  
de Mesquita Filho, para obtenção do grau  
de Geólogo.

Orientador: Prof. Dr. Giancarlo Scardia

Rio Claro - SP  
2021

C416a Cerqueira, João Carlos  
Análise Estratigráfica e Paleomagnética da Bacia de Lavras da Mangabeira / João Carlos Cerqueira. -- Rio Claro, 2021  
107 p. : il., tabs., fotos, mapas

Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado - Geologia) - Universidade Estadual Paulista (Unesp), Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Rio Claro  
Orientador: Giancarlo Scardia

1. Estratigrafia. 2. Paleomagnetismo. 3. Mesozoico. 4. Bacia de Lavras da Mangabeira. I. Título.

Sistema de geração automática de fichas catalográficas da Unesp. Biblioteca do Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Rio Claro. Dados fornecidos pelo autor(a).

Essa ficha não pode ser modificada.

JOÃO CARLOS CERQUEIRA

ANÁLISE ESTRATIGRÁFICA E PALEOMAGNÉTICA DA  
BACIA DE LAVRAS DA MANGABEIRA

Trabalho de Conclusão de Curso  
apresentado ao Instituto de Geociências e  
Ciências Exatas - Câmpus de Rio Claro,  
da Universidade Estadual Paulista Júlio  
de Mesquita Filho, para obtenção do grau  
de Geólogo.

Comissão Examinadora


Giancarlo Scardia (orientador)

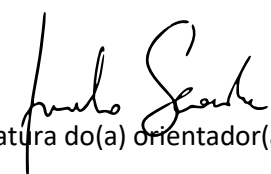
Norberto Morales

Alessandro Batezeli

APROVADO

Rio Claro, 06 de Março de 2021.

  
Assinatura do(a) aluno(a)

  
assinatura do(a) orientador(a)

Aos meus bons pais

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço ao meu bom Pai Celestial pela dádiva de estudar nessa faculdade maravilhosa, foram anos de alegria, crescimento e acima de tudo milagres. Tudo foi realizado e concluído por sua graça e longanimidade.

Creio que seria injusto dizer que sou capaz de mencionar cada funcionário, amigo, colega, membro da família ou até mesmo conhecidos que me sustentaram e apoiaram durante essa aventura, todos merecem um livro reconhecimentos. Cito, porém, esses: minha mãe, por me orientar a ter fé e determinação nessa faculdade; meu pai por investir em meus estudos durante a mocidade; meus irmãos por sempre alegrarem meus finais de semana; minha noiva por sempre me mostrar o lado positivo dos desafios na faculdade; e Vera e Walter que me alugaram um quarto desde o primeiro ano e sempre me auxiliaram com o melhor, verdadeiramente foram meus pais de Rio Claro.

Cito também: minha maravilhosa turma, que sempre respeitou meus padrões cristãos, nunca zombaram ou ridicularizaram; meus amigos Davi, Gabriel Spohr e Venciguerra, por sempre me ajudarem a ter alegria nas viagens, “rolês” e durante todos esses anos, espero ter suas amizades para sempre; todos que trabalharam comigo na Lito Jr e que me apoiaram como presidente; e meu amigo/irmão Victor Hugo Hoffmann, que foi quem desde o primeiro ano fez relatórios, trabalhos, monitoria e basicamente tudo da graduação comigo, sua amizade é um dom precioso que me trouxe conhecimento, persistência e ânimo.

Agradeço em especial os orientadores Fábio Reis e Giancarlo, ambos me ofereceram muito mais do que eu achava digno de receber, me elevaram a patamares intangíveis por meu mero esforço, foram fontes de prosperidade e abriram meus olhos para perspectivas excelsas.

À Fapesp: não tenho palavras para agradecer por suas bolsas, me proporcionaram viagens e trabalhos que nem em meus sonhos poderia conceber. Processo nº 2019/15818-5, Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP) - (Exigência cláusula 7ª Portaria CTA nº 03/2019 – FAPESP).

*“Trabalhe como se tudo dependesse de você,  
Ore como se tudo dependesse de Deus”.*

Autor desconhecido

## RESUMO

A Bacia de Lavras da Mangabeira, localizada no Estado do Ceará, é um conjunto de pequenas bacias sedimentares desenvolvidas durante a evolução mesozoica do Gondwana. Ela pertence ao grupo de Bacias Interiores do Nordeste, as quais possuem crescente detalhamento para a compreensão do evento de rifteamento no Cretáceo. Apesar disso, a Bacia de Lavras da Mangabeira possui sua estratigrafia e evolução tectonossedimentar pouco investigada, resultante da escassez de literaturas e publicações focadas nela. O presente trabalho de conclusão de curso tem como objetivo suprir a falta conhecimentos estratigráficos e da evolução tectonossedimentar da bacia, através da análise estratigráfica e paleomagnética, além de uma breve discussão sobre sua geologia estrutural. A análise estratigráfica se baseou em trabalhos de campo, descrição e correlação de fácies, levantamento de seções colunares, medidas de paleocorrente e mensuração da espessura dos pacotes sedimentares. Já a análise paleomagnética realizou a comparação dos paleopolos magnéticos e polos geomagnéticos virtuais das unidades da bacia com o caminho aparente do polo paleomagnético do Cráton Amazônico. Os levantamentos estratigráficos colaboraram na revisão da Formação Iborepi, Formação Serrote do Limoeiro, Diabásio Lavras da Mangabeira e estabelecimento de uma nova, nomeada de Formação Mescla. A Formação Iborepi é a unidade basal, se encontra sobre uma discordância litológica com o embasamento, possui caráter arenoconglomerático de rio entrelaçado e possui vetor médio de paleocorrente para NNW. A Formação Serrote do Limoeiro possui camadas de fácies finas lacustres na base, com intercalação entre estas e fácies arenosas de rio meandrante para o topo, além de alguns arenitos eólicos, apresentando paleocorrentes muito dispersas. A Formação Mescla está em contato erosivo na base e é composta por arenitos e arenitos conglomeráticos de rio entrelaçado, com paleocorrente indicando um fluxo para NW e intensa deformação no topo. O Diabásio Lavras da Mangabeira foi interpretado como de caráter intrusivo, devido sua colocação nos pacotes sedimentares. As formações são muito mais espessas do que a literatura propõe, chegando a ser até cinco vezes maiores. A bacia foi também compartimentada em setores, termo que indica que anteriormente eram uma única bacia, por apresentarem a mesma evolução e empilhamento vertical. O paleomagnetismo resultou em idades das formações Iborepi (Permiano-Triássico), Serrote do Limoeiro (Jurássico-Cretáceo) e Mescla (Jurássico-Cretáceo), além de



identificar, através do paleopolo magnético do diabásio, uma rotação horária de 20° da bacia, mais nova que 200 Ma (idade radiométrica do diabásio) e mais velha que o Cretáceo. A evolução tectonossedimentar da bacia teve uma primeira fase de sedimentação atrelada à Depressão Afro-Brasileira local e com a abertura do Atlântico Central neotriássica-eojurássica. A segunda fase sedimentação está atrelada às fases pré-rifte da quebra do Gondwana, com o basculamento das camadas e desmembramento da bacia no pós-rifte.

Palavras-Chave: estratigrafia; paleomagnetismo; mesozoico; Bacia de Lavras da Mangabeira

## ABSTRACT

The Lavras da Mangabeira Basin, located in the State of Ceará, is a set of small sedimentary basins developed during the Gondwana mesozoic evolution. It belongs to the group of Interior Basins in the Northeast, which have increased detailing to understand the rifting event in the Cretaceous. Despite this, the Lavras da Mangabeira Basin has its stratigraphy and tectonic-sedimentary evolution little investigated, resulting from the scarcity of literature and publications focused on it. The present work of completion of course aims to supply the lack of stratigraphic knowledge and of the tectonic-sedimentary evolution of the basin, through stratigraphic and paleomagnetic analysis, in addition to a brief discussion on its structural geology. The stratigraphic analysis was based on fieldwork, facies description and association, columnar surveys, paleocurrent measurements and measurement of the thickness of the sedimentary packages. The paleomagnetic analysis made a comparison between paleomagnetic poles and virtual geomagnetic poles of the basin units with the apparent path of the paleomagnetic pole of the Amazonian Craton. The stratigraphic surveys collaborated in the revision of the Iborepi Formation, Serrote do Limoeiro Formation, diabase Lavras da Mangabeira and the establishment of a new one, named Mescla Formation. The Iborepi Formation is the basal unit, it is found on a lithological discordance with the basement, it has an sand conglomeratic character of an interlaced river and it has an average paleocurrent vector for NNW. The Serrote do Limoeiro Formation has layers of fine lake facies at the base, with intercalation between these and sandy facies from meandering river to the top, in addition to some eolic sandstone, presenting very scattered paleocurrents. The Mescla Formation is in erosive contact at the base and is composed of conglomeratic sandstones and interglomerate river sandstones, with paleocurrent indicating a flow to the NW and intense deformation at the top. Diabase Lavras da Mangabeira was reinterpreted as intrusive, due to its placement in sedimentary packages. The formations are much thicker than the literature studies, reaching up to five times greater. The basin was also divided into sectors, term indicating that they were previously a single basin, as it presented the same evolution and vertical stacking. The paleomagnetism resulted in ages of the Iborepi (Permian-Triassic), Serrote do Limoeiro (Jurassic-Cretaceous) and Mescla (Jurassic-Cretaceous) formations, in addition, through the diabase's paleomagnetic pole, to identifying a clockwise rotation of 20° of the basin, younger than 200 Ma (diabase

radiometric age) and older than the Cretaceous. The tectonic-sedimentary evolution of the basin had a first phase of sedimentation linked to the local Afro-Brazilian Depression and with the opening of the neo-Triassic-Atlantic Jurassic Central Atlantic. A second phase of sedimentation is linked to the pre-rift phases of the Gondwana break up, with the tilting of the layers and dismemberment of the basin in the post-rift.

Key words: stratigraphy; paleomagnetism; mesozoic; Lavras da Mangabeira Basin

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1</b> – Localização da Bacia de Lavras de Mangabeira. ....	17
<b>Figura 2</b> – Bacias Fanerozoicas e do interior do Nordeste brasileiro. A: Araripe; PA: Parnaíba; I: Iguatu; RP: Rio do Peixe; LM: Lavras da Mangabeira; C: Cedro; SJB: São José do Belmonte; B: Betânia; Al: Afogados da Ingazeira ou Fátima; J: Jatobá; T: Tucano; P: Potiguar; PB: Paraíba; PE: Pernambuco; AL: Alagoas; SE: Sergipe. ....	20
<b>Figura 3</b> – História da tectônica do Nordeste do Brasil e Oeste da África. A) Sin-Rifte I – desenvolvimento da Depressão Afro-Brasileira; B) Sin-Rifte IIa – faturamento dos trends Recôncavo, Tucano e Jatobá e Gabão-Sergipe-Alagoas; C) Sin-Rifte IIb – desenvolvimento do trend Cariri-Potiguar; e D) Sin-Rifte III – deformação na Província Borborema e na Plataforma da Nigéria (África), com maior taxa de subsidência no eixo Sergipe e Alagoas. ....	23
<b>Figura 4</b> – Figura esquemática da Bacia de Lavras de Mangabeira e suas formações. ....	25
<b>Figura 5</b> – Resultados geofísicos dos estudos da CPRM na Bacia de Lavras da Mangabeira. Em A e B os resultados de sondagem elétrica vertical nas sub-bacias Riacho do Meio (SEV 01) e Riacho do Rosário (SEV 02). Em C a localização das SEV's 01 e 02 e o resultado da gravimetria. ....	27
<b>Figura 6</b> – Localização das formações Mosquito, Sardinha, Bacia Lavras da Mangabeira e da Província Magmática Rio Ceará-Mirim. ....	29
<b>Figura 7</b> – Localização dos afloramentos estudados. Imagem de satélite do Google Earth Pro 7.3. ....	33
<b>Figura 8</b> – Cortes da Nova Ferrovia Transnordestina na bacia de Lavras da Mangabeira. ....	33
<b>Figura 9</b> – Localização das estações de paleocorrentes. Imagem de satélite do Google Earth Pro 7.3. ....	38
<b>Figura 10</b> – Representação dos componentes dos vetores magnéticos. inclinação (I), declinação (D), intensidade (B), componente vertical da intensidade ( $B_v$ ) e componente horizontal da intensidade ( $B_h$ ). ....	40

<b>Figura 11</b> – Perspectiva paleomagnética da posição de uma placa ao longo do tempo, onde (a) demonstra o movimento da placa com o polo geomagnético como referência e (b) o movimento do polo geomagnético com a placa como referência, o que é efetivamente utilizado.....	41
<b>Figura 12</b> – Caminho aparente do polo paleomagnético (CMAP) da placa sul-americana (cráton da Amazônia) do Carbonífero até o atual (TORSVIK <i>et al.</i> , 2012). Cada ponto do CMAP representa 10 Ma. Também representados alguns polos das unidades estratigráficas da Bacia do Paraná (ERNESTO <i>et al.</i> , 1999; BRANDT <i>et al.</i> , 2009; FRANCO <i>et al.</i> , 2012) e Iguatu (SILVA, 2018). It = Grupo Itararé; T = Formação Teresina; SG = Formação Serra Geral; Ig = Grupo Iguatu.....	44
<b>Figura 13</b> – Mapa geológico com localização das seções colunares levantadas e foto mosaico do levantamento estratigráfico das colunas NT-I e NT-SL.....	47
<b>Figura 14</b> – Foto A do contato erosivo (tracejado azul) da Formação Iborepi sobre o embasamento do ponto 6167. Em B contato entre a camada de siltito acima da Formação Iborepi e o Diabásio Lavras da Mangabeira do ponto 6084. ....	49
<b>Figura 15</b> – Seção colunar da Formação Iborepi levantada ao sul da Ferrovia Nova Transnordestina no Setor Riacho do Rosário (NT-I). ....	50
<b>Figura 16</b> – Contato erosivo do topo da Formação Serrote do Limoeiro com arenito conglomerático observado no ponto 6149. ....	51
<b>Figura 17</b> – Seção colunar da Formação Serrote do Limoeiro levantada ao norte da Ferrovia Nova Transnordestina no Setor Riacho do Rosário (NT-SL). ....	53
<b>Figura 18</b> – Seção colunar da Formação Serrote do Limoeiro levantada no Setor Riacho do Meio (CSL), os arenitos laranjas são interpretados como eólicos.....	54
<b>Figura 19</b> – Fotos mostrando em A veios de quartzo preenchendo fraturas e clivagens ( $S_n$ ) representados pelo traçado vermelho e o bandamento original( $S_0$ ) representado pelo traçado verde, no ponto 6187. Em B veios de quartzo estruturados, também no ponto 6187. Em C dobras convolutas presentes num afloramento de 4 m de altura de arenitos St(c), no ponto 6188, ..	56
<b>Figura 20</b> – Seção colunar da Formação Mescla levantada no Setor Riacho do Meio (CM). ....	57

<b>Figura 21</b> – Mapa geológico da bacia com as estações de medidas de paleocorrentes e seus produtos.....	58
<b>Figura 22</b> – Modelo digital de terreno ( <i>Hillshade</i> ) sem sobrelevação sobreposto pelo mapa geológico da bacia com 50% de transparência. Os números em vermelho indicam a nomenclatura escolhida para as falhas principais.....	60
<b>Figura 23</b> – Foto mostrando camadas verticalizadas (traço em vermelho) próximas ao embasamento ao norte do Setor Riacho do Rosário no ponto 6203.....	61
<b>Figura 24</b> – Foto do ponto 6169 com fraturas de direção entre E-W a NE-SW indicados pelos tracejados. ....	63
<b>Figura 25</b> – Fotos dos afloramentos do Diabásio de Lavras da Mangabeira. Em A blocos e matacões de diabásio no ponto 6135. Em B afloramento no corte na estrada de terra onde é possível observar a concordância entre o mergulho da camada de diabásio (acima da linha tracejada) e da Formação Serrote do Limoeiro (abaixo da linha tracejada), no ponto 6110.....	65
<b>Figura 26</b> – Fotomicrografia da lâmina petrográfica da unidade Diabásio Lavras da Mangabeira do afloramento 6089. Em A têm-se a visão geral da rocha onde os polarizadores estão descruzados, círculos vermelhos indicam as vesículas com celadonita (verde escuro) e zeólitas (incolor de relevo baixo), e em B, com polarizadores cruzados, vê-se os plagioclásios que tem baixa cor de interferência (cinza) e os piroxênios de cor de interferência laranja, azul e verde de primeira a segunda ordem. Ambas fotografadas com lente de aumento 2,5x e zoom da câmera de 4x. Com polarizadores cruzados em C vê-se vesículas preenchidas por calcita (Cal) e celadonita (Cd) e em D preenchidas por zeólita (zeo) e celadonita. Ambas fotografadas com lente de aumento 5x e zoom da câmera de 4x. ....	66
<b>Figura 27</b> – Histogramas das granulações dos piroxênios e plagioclásios das lâminas petrográficas dos afloramentos, com a moda entre 0,4 e 0,6 mm (granulação fina). Em A 6089 e B 6110.....	66
<b>Figura 28</b> – Fotomicrografia da lâmina petrográfica da unidade Diabásio Lavras da Mangabeira do afloramento 6110. Em A com os polarizadores descruzados indica-se o vidro intersticial (vid), além da visualização da textura das vesículas (com relevo baixo) e em B com polarizadores cruzados vê-se, além do vidro, plagioclásios que tem baixa cor de interferência (cinza) e os piroxênios de cor de interferência laranja, azul	

e verde de primeira a segunda ordem. Ambas fotografadas com lente de aumento 2,5x e zoom da câmera de 4x. ....67

**Figura 29** – Produtos das análises paleomagnéticas no laboratório UNESPMag plotados com correção estrutural no diagrama de Zijderveld (esquerda), estereograma (centro) e momento magnético pelas etapas (direita), produzidos no Paleomac 6,5. Em A amostra 6139A que possui apenas o vetor primário. Em B amostra 6146G e seu vetor secundário das primeiras etapas e vetor primário subsequente, onde no estereograma se pode observar o círculo de remagnetização excluindo a etapa 80 mT. ....69

**Figura 30** – Produtos das análises paleomagnéticas no laboratório USPMag plotados com correção estrutural no diagrama de Zijderveld (esquerda), estereograma (centro) e momento magnético pelas etapas (direita). Em A amostra 6111AB que possui apenas o vetor primário. Em B a amostra 6083B e seu vetor secundário das primeiras etapas e vetor primário subsequente. Em C a amostra 6081B semelhante ao B, mas no estereograma se pode observar o círculo de remagnetização excluindo as etapas 675 e 650°C. ....70

**Figura 31** – Estereogramas com direções de magnetização e as médias de cada sítio. Em A temos a correção geográfica, em B a correção com o mergulho das camadas. ....71

**Figura 32** – Paleopolos magnéticos das unidades da bacia e polos geomagnético virtual (PGV) das amostras 6081 e 6083. O caminho aparente do polo paleomagnético (CMAP) do Cráton Amazônico é dividido de 10 em 10 milhões de anos para cada nó, que possuem idades que remontam de 320 Ma atrás ao recente (escala com os períodos geológicos). Em A sem rotação e em B com 20° de rotação. ....72

**Figura 33** – Evolução da Bacia de Lavras da Mangabeira. ....75

**Figura 34** – Rotação horária da Bacia de Lavras da Mangabeira dentre as zonas de cisalhamento da Província Borborema, com a indicação do esforço de maior intensidade ( $\sigma_1$ ). ....79

**Figura 35** – Esquema do padrão escalonado dos blocos em decorrência do movimento das falhas com componente normal de *trend* NE, formando blocos altos e baixos, basculando e alçando as camadas, o que proporcionou erosão nas porções mais elevadas até o embasamento, separando a bacia em setores. ....83

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1</b> – Pontos de amostragem paleomagnética resultantes do trabalho de campo. .....	34
--	----

## LISTA DE QUADROS

<b>Quadro 1</b> – Quadro estratigráfico da Bacia de Lavras de Mangabeira. ....	25
<b>Quadro 2</b> – Classificação de litofácies de sistemas fluviais. ....	36
<b>Quadro 3</b> – Quadro estratigráfico da Bacia de Lavras da Mangabeira atualizado e com novas possibilidades, realizado a partir Ponte e Ponte e Filho (1994). A linha tracejada indica a incerteza da idade da porção média da Formação Serrote do Limoeiro. As linhas sinuosas indicam discordâncias. ....	74



## SUMÁRIO

<b>CAPÍTULO I – CONSIDERAÇÕES INICIAIS</b> .....	17
1.1 Introdução .....	17
1.2 Objetivos .....	19
1.3 Justificativa .....	19
<b>CAPÍTULO II – CONTEXTO GEOLÓGICO</b> .....	20
2.1 Bacias Interiores do Nordeste .....	20
2.2 Geologia da Bacia de Lavras da Mangabeira .....	24
<b>CAPÍTULO III – LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDOS, MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	30
3.1 Localização da área de estudos .....	30
3.2 Material .....	30
3.3 Métodos .....	31
3.3.1 Levantamento Bibliográfico .....	31
3.3.2 Preparação das bases cartográficas .....	31
3.3.3 Trabalhos de campo .....	32
3.3.4 Análise estratigráfica .....	35
<u>3.3.4.1 Descrição e associação de fácies sedimentares</u> .....	35
<u>3.3.4.2 Levantamento de seções colunares</u> .....	37
<u>3.3.4.3 Mensuração da espessura das unidades</u> .....	37
<u>3.3.4.4 Petrografia magmática</u> .....	37
<u>3.3.4.5 Análise de paleocorrentes</u> .....	37
3.3.5 Análise paleomagnética .....	38
<u>3.3.5.1 Princípios do paleomagnetismo</u> .....	39
<u>3.3.5.2 Preparação e análise de amostras</u> .....	42
<u>3.3.5.3 Interpretação e análise dos dados paleomagnéticos</u> .....	43
<b>CAPÍTULO IV – ANÁLISE ESTRATIGRÁFICA</b> .....	45
4.1 Levantamento estratigráfico .....	45
4.1.1 Formação Iborepi .....	48
4.1.2 Formação Serrote do Limoeiro .....	50
4.1.3 Formação Mescla .....	55

<b>4.2 Paleocorrentes</b> .....	58
<b>4.3 Geologia Estrutural</b> .....	59
4.3.1 <i>Setor Riacho do Rosário</i> .....	60
4.3.2 <i>Setor Riacho do Meio</i> .....	62
4.3.3 <i>Setor Iborepi</i> .....	63
4.3.4 <i>Setor Sítio Palmeira</i> .....	63
<b>4.4 Diabásio Lavras da Mangabeira</b> .....	64
4.4.1 <i>Discussão de sua ocorrência</i> .....	67
<b>CAPÍTULO V – ANÁLISE PALEOMAGNÉTICA</b> .....	69
<b>5.1 – Resultados</b> .....	69
<b>5.2 – Discussão dos dados</b> .....	72
<b>CAPÍTULO VI – EVOLUÇÃO TECTONOSSEDIMENTAR DA BACIA</b> .....	74
<b>6.1 Permiano superior-Triássico</b> .....	76
<b>6.2 Jurássico Inferior-médio</b> .....	77
<b>6.3 Jurássico Superior-Cretáceo</b> .....	79
<b>CAPÍTULO VII – CONCLUSÕES</b> .....	84
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	88
<b>ANEXO I</b> .....	95
<b>ANEXO II</b> .....	97

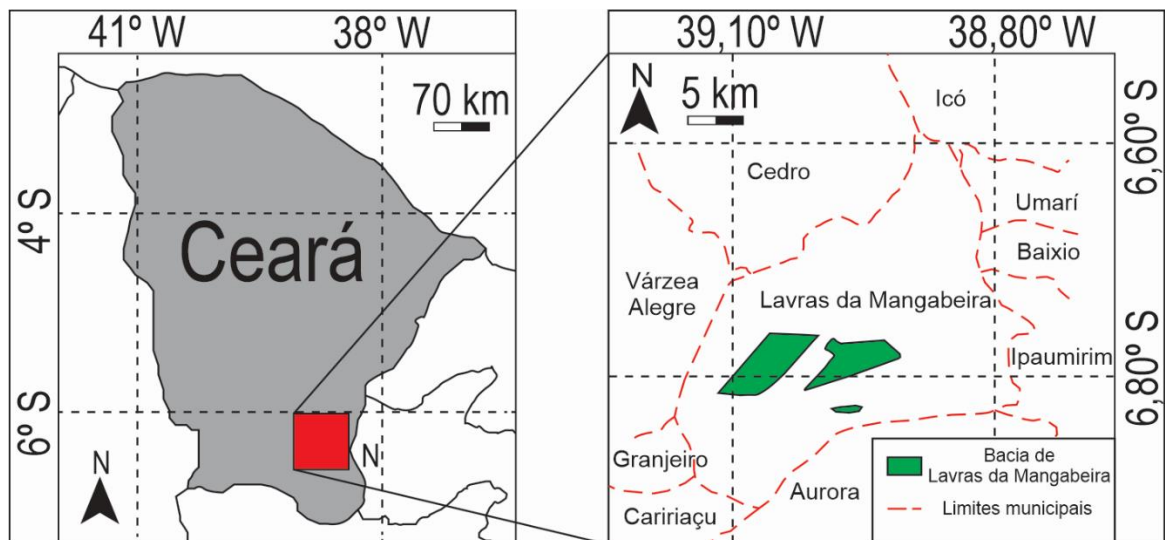
## CAPÍTULO I – CONSIDERAÇÕES INICIAIS

### 1.1 Introdução

O Mesozoico Brasileiro é caracterizado por possuir várias bacias no Nordeste, como as bacias de Araripe, Recôncavo/Tucano, Iguatu e Lavras de Mangabeira dentre outros. Esse conjunto de bacias é denominado como Bacias Interiores do Nordeste Brasileiro e sua evolução está tradicionalmente associada aos eventos tectônicos eocretácicos do rompimento do Gondwana.

A Bacia de Lavras da Mangabeira é um conjunto de sub-bacias separadas pelo embasamento neoproterozóico da Província Borborema, no sudoeste do Estado do Ceará (Figura 1). A unidade sedimentar basal é a Formação Iborepí, de caráter arenoconglomerático, e a superior a Formação Serrote do Limoeiro, constituído majoritariamente por sedimentos finos intercalados por arenitos. Esses dois pacotes sedimentares são separados por uma camada de basalto.

**Figura 1** – Localização da Bacia de Lavras de Mangabeira.



O corpo de rocha básica entre as duas formações terrígenas faz da bacia um destaque entre as Bacias Interiores do Nordeste Brasileiro, pois as datações pelos métodos K/Ar (PRIEM *et al.*, 1978; MIZUSAKI *et al.*, 2002) e  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  (MARZOLI *et al.*, 1999) do basalto apresentam idades que estão perto do limite Triássico–Jurássico, precedendo assim a separação entre a América do Sul e a África associada às bacias nordestinas.

Somado a isso, unidades das Bacias Interiores do Nordeste pertencentes ao Andar Dom João, que representa o começo de uma nova fase de sedimentação no Neojurássico por efeito da ruptura do Gondwana (VIANA *et al.*, 1971), obtiveram datações pelo método Rb/Sr em argilitos, siltitos e folhelhos indicaram idades do Triássico superior (SILVA *et al.*, 2006; SILVA *et al.*, 2012), revelando processos tectônico-sedimentares atuantes no Nordeste nesse período.

As idades triássicas das datações geram novas possibilidades da evolução tectônica regional para as bacias nordestinas, e, mais especificamente, para a Bacia Lavras da Mangabeira, que, além do mais, apresenta unidades cronologicamente precedentes e posteriores ao basalto Triássico-Jurássico, mas que não são posicionadas cronoestratigraficamente de modo claro.

Apesar desses dados intrigantes, não há muitos estudos detalhados de relevância científica para a bacia, se resumindo a relatórios internos da Petrobrás (MISUZAKI, 1987; PONTE *et al.*, 1990), alguns estudos geológicos regionais (PONTE e APPI, 1990; MARZOLI *et al.*, 1999; MISUZAKI *et al.*, 2002; ERNESTO *et al.*, 2003; BATISTA, 2015) e poucos trabalhos focados na bacia (PRIEM *et al.*, 1978; VERÍSSIMO e AGUIAR, 2005; BRANCO *et al.*, 2006; CASTRO *et al.*, 2006; GRANJEIRO *et al.*, 2007). Isso resulta numa baixa densidade de informações da descrição, estratigrafia, evolução e idades de suas unidades.

Essa escassa bibliografia caracteriza a unidade magmática como um basalto sem levar em consideração a sua ocorrência entre os pacotes sedimentares, o que esse trabalho contempla e conseqüentemente a qualifica como uma intrusão de diabásio.

O presente trabalho visa preencher essa lacuna de conhecimentos estratigráficos e da evolução das unidades sedimentares da Bacia de Lavras da Mangabeira, através do mapeamento, descrição de fácies, levantamento de seções colunares, petrografia e medição de paleocorrentes. Também foi utilizado o método de paleomagnetismo para a datação das formações e da camada de rocha básica, com o intuito de correlacionar os processos tectônicos regionais e os processos sedimentares, magmáticos e estruturais que moldaram a bacia.

## 1.2 Objetivos

O objetivo principal desse trabalho de conclusão de curso é realizar a análise estratigráfica das formações e do diabásio pertencentes à Bacia de Lavras da Mangabeira para o aprimoramento do entendimento dos processos geradores e revisar suas descrições. Além disso, através da aplicação do paleomagnetismo a pesquisa tem como finalidade aprimorar o posicionamento cronoestratigráfico das unidades e propor a evolução da bacia, levando em conta processos tectônicos regionais e locais.

## 1.3 Justificativa

O conhecimento de bacias sedimentares tem uma grande relevância tanto econômica quanto científica. Através de um melhor entendimento da tectônica e ambiente, responsáveis pelo desenvolvimento de suas unidades litoestratigráficas, é possível definir áreas com os processos formadores depósitos de hidrocarboneto, água, *placers*, caulim, areia e tantos outros. Ademais, as bacias, pequenas e grandes, contribuem com o esclarecimento da evolução geológica de todo um contexto regional.

A Bacia de Lavras da Mangabeira está inserida entre as Bacias Sedimentares do Interior Nordestino e possui poucos trabalhos focados em sua evolução e descrição, mesmo dispondo de uma camada de diabásio entre seus pacotes sedimentares com idades próximas ao limite Triássico-Jurássico. Essa rocha básica é um registro importante de atividades tectônico-sedimentar no interior nordestino, além de indicar que as formações acima e abaixo do magmatismo tem informações valiosas sobre a evolução mesozoica da região.

Para melhor entender o desenvolvimento da Bacia de Lavras de Mangabeira e sua correlação com os processos evolutivos do Gondwana no interior nordestino, propõe-se uma revisão estratigráfica das unidades pertencentes à bacia e a aplicação da datação paleomagnética.

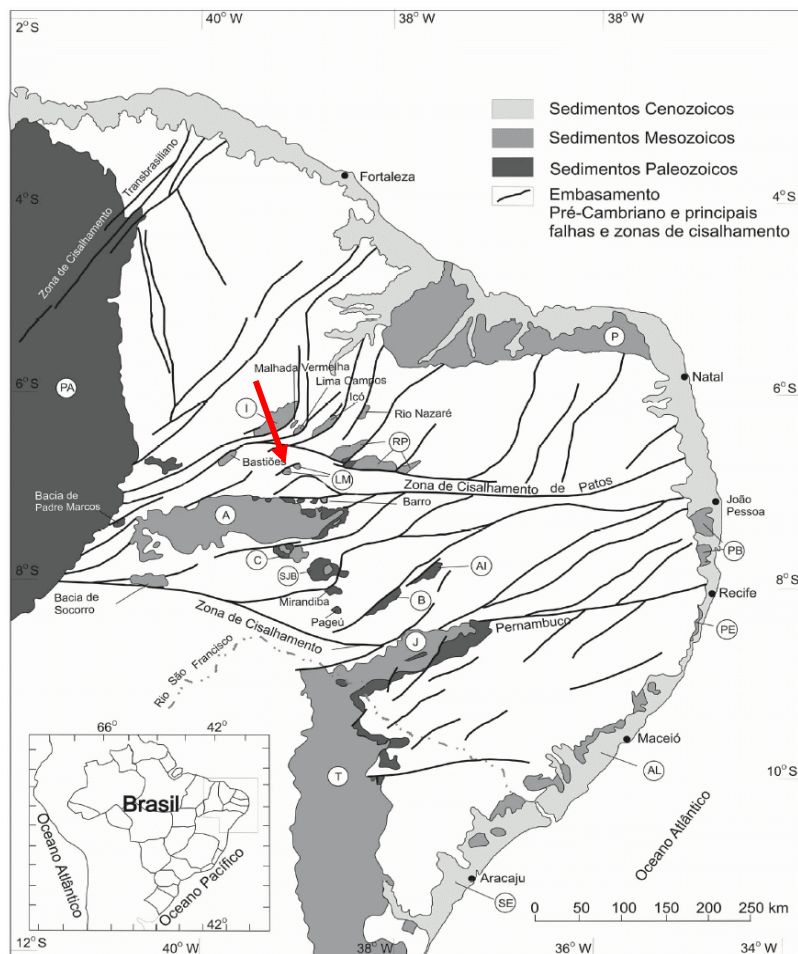
## CAPÍTULO II – CONTEXTO GEOLÓGICO

### 2.1 Bacias Interiores do Nordeste

As bacias interiores do Nordeste são áreas sedimentares formadas a partir da tectônica eocretácica responsável pela quebra do Supercontinente Gondwana e abertura do Oceano Atlântico (MATOS, 1992).

Esse conjunto de bacias é localizado entre as bacias Potiguar, do Parnaíba e do Tucano-Jatobá (Figura 2), do qual fazem parte as bacias de Cedro, Araripe, São José do Belmonte, Bom Nome, Mirandiba, Betânia, Pageú, Afogados da Ingazeira, Barro, Socorro/Santo Ignácio, Padre Marcos, Lavras da Mangabeira, Rio do Peixe (sub-bacias de Triunfo e Souza), Pombal, Rio Nazaré, Bastiões, Iguatu, Malhada Vermelha, Lima Campos e Icó.

**Figura 2** – Bacias Fanerozoicas e do interior do Nordeste brasileiro. A: Araripe; PA: Parnaíba; I: Iguatu; RP: Rio do Peixe; LM: Lavras da Mangabeira (indicado pela seta); C: Cedro; SJB: São José do Belmonte; B: Betânia; AI: Afogados da Ingazeira ou Fátima; J: Jatobá; T: Tucano; P: Potiguar; PB: Paraíba; PE: Pernambuco; AL: Alagoas; SE: Sergipe.



Fonte: Extraído de Fambrini *et al.* (2013).

Essas bacias possuem um forte controle das estruturas do embasamento précambriano da Província Borborema, as quais foram reativadas ao longo do Fanerozóico, principalmente durante os eventos de rifteamento do Eocretáceo relacionados à separação dos continentes Africano e Americano (CARDOSO, 2010). Consequentemente, as unidades que compõem as bacias são, por vezes, correlacionadas entre si por sua história de preenchimento sedimentar e semelhanças litológicas.

A atribuição cronológica do preenchimento sedimentar das Bacias Interiores do Nordeste foi primariamente feita pela bioestratigrafia de ostracode (SCHALLER, 1969; VIANA *et al.*, 1971), porém devido ao caráter endêmico desses fosseis foi necessário estabelecer uma cronoestratigrafia local (andares Dom João, Rio da Serra, Aratu, Buracica, Jiquiá e Alagoas, do mais antigo ao mais recente) e através da palinologia correlacioná-los aos andares internacionais padrão (ARAI *et al.*, 1989; REGALI e VIANA, 1989; ARAI, 2006). As fases tectônicas da abertura do Atlântico do Sul são cronologicamente ligadas a esses andares locais e, nesse contexto, o Andar Dom João (VIANA *et al.*, 1971) representa o começo de uma nova fase de sedimentação no Jurássico Superior por efeito da ruptura do Gondwana.

Trabalhos recentes em formações pertencentes ao Andar Dom João obtiveram, através da aplicação do método Rb/Sr, idades de  $227,1 \pm 2,2$  Ma na Formação Bananeiras da Bacia de Sergipe-Alagoas (ARAI, 2007) e  $224 \pm 32$  Ma a  $226 \pm 6$  Ma na Bacia do Recôncavo (SILVA *et al.*, 2012), sendo suficientes para levantar dúvidas quanto à idade jurássica do andar e indicar uma neotriássica. De acordo com Antunes *et al.* (2018) essa hipótese indica a possibilidade de uma fase de sedimentação triássica para as bacias interiores, além da existência de discordância erosiva no Jurássico, devido a idade cretácea dos demais andares.

Registros paleozoicos ocorrem nas bacias interiores, sendo os mais notáveis na Bacia do Araripe, que ocorrem em um estágio denominado de Sequência Beta (PONTE e APPI, 1990; PONTE e PONTE FILHO, 1996; ASSINE, 2007). Esse estágio é correspondente a uma fase de sinéclise em condições de estabilidade tectônica do Gondwana, responsável por formar suaves depressões, proporcionando sedimentações continentais da Formação Cariri, no Siluriano e Ordoviciano.

Da mesma forma, a Bacia do Parnaíba tem uma história tectônica relacionada a uma sinéclise paleozoica no Gondwana, marcada por tectônica extensional no Ordoviciano (COSTA *et al.*, 1991). A sedimentação correspondente a essa fase é

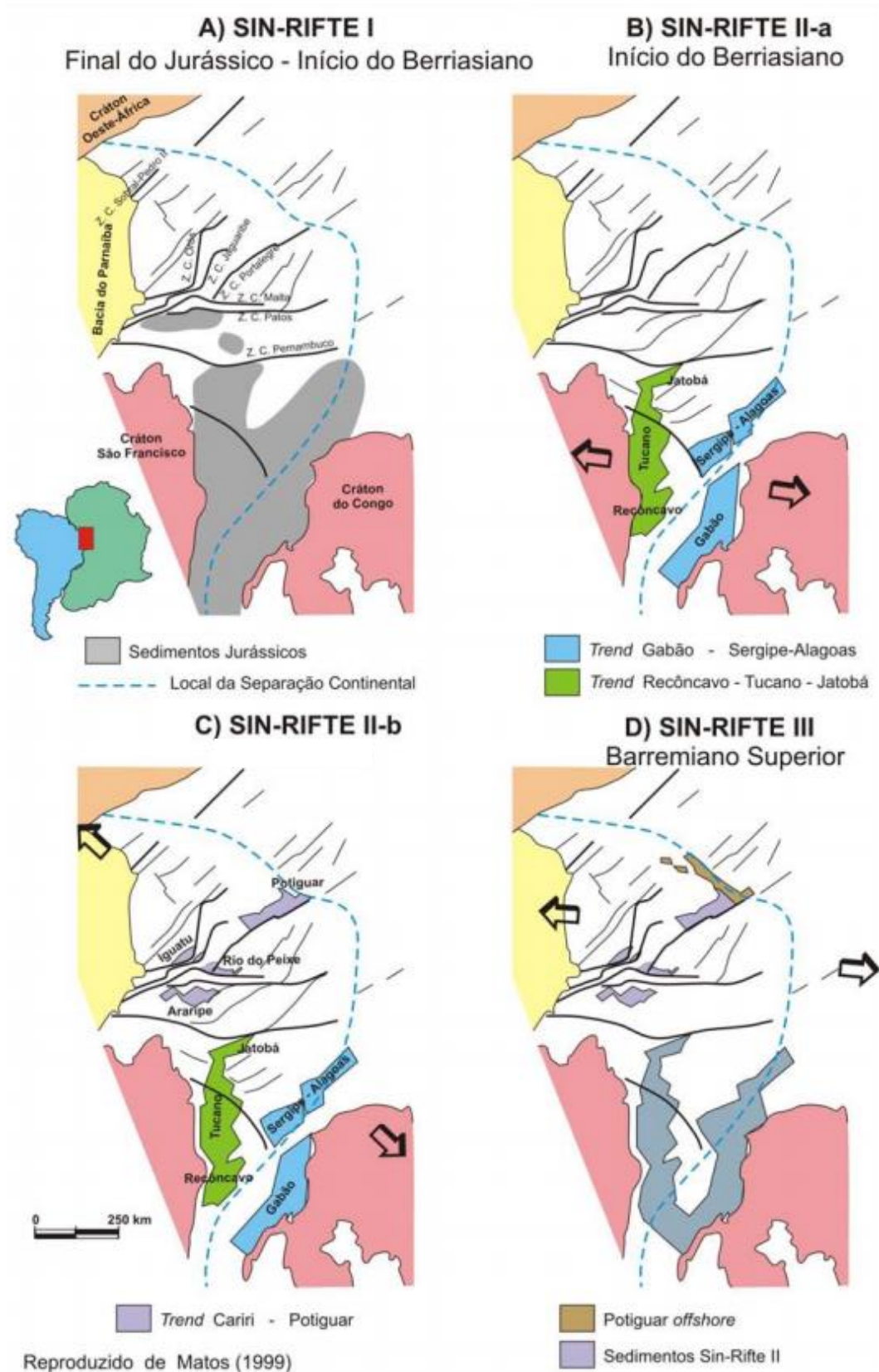
corresponde aos depósitos terrígenos do Grupo Serra Grande, no Neo-Ordoviciano e o Eo-Siluriano (PONTE e PONTE FILHO, 1996). Araújo (2001) também associa a esse evento a reativação de zonas de fraqueza do embasamento, o que propiciou a formação de *grabens* e *horsts*, com a deposição de sedimentos até o Triássico.

A clássica evolução tectonossedimentar das Bacias de Interior do Nordeste é dividida em etapas relacionadas ao desenvolvimento do rifte do Gondwana (CHANG, *et al.*, 1988; MATOS, 1992, 1999; ASSINE, 2007) sendo elas estágios Sin-Rifte I, II e III (Figura 3):

- O estágio Pré-Rifte é caracterizado pelo início do estiramento crustal anterior ao rompimento, com subsidência regional que favoreceu a acumulação de sedimentos de leques aluviais, fluviais e lacustres, além da presença de depósitos eólicos e evaporitos. As bacias que possuem tais pacotes sedimentares são Recôncavo, Tucano, Jatobá, Sergipe, Alagoas e do Araripe. Esse estágio é considerado do Jurássico Superior.
- No estágio Sin-Rifte houve a geração e reativação das estruturas tectônicas da Província Borborema, com aberturas de riftes em três direções a Recôncavo-Tucano-Jatobá, Gabão-Sergipe-Alagoas e Cariri-Potiguar, que são bacias tipo rifte associadas a falhas normais de alto ângulo NE-SW. A intensa deformação nesse estágio também foi responsável pela origem dos semigrabens nordestinos, como das bacias de Iguatu, Rio do Peixe, Rio Bastiões, Lavras da Mangabeira e muitos mais.
- O estágio Pós-Rifte é a fase de maior deposição no eixo Sergipe-Alagoas, com a presença de sedimentação continental e marinha. Além disso, é relacionado à instauração da tectônica que basculou as unidades das bacias.



**Figura 3** – História da tectônica do Nordeste do Brasil e Oeste da África. A) Sin-Rifte I – desenvolvimento da Depressão Afro-Brasileira; B) Sin-Rifte IIa – faturamento dos trends Recôncavo, Tucano e Jatobá e Gabão-Sergipe-Alagoas; C) Sin-Rifte IIb – desenvolvimento do trend Cariri-Potiguar; e D) Sin-Rifte III – deformação na Província Borborema e na Plataforma da Nigéria (África), com maior taxa de subsidência no eixo Sergipe e Alagoas.



Fonte: Modificado de Oliveira (2008).

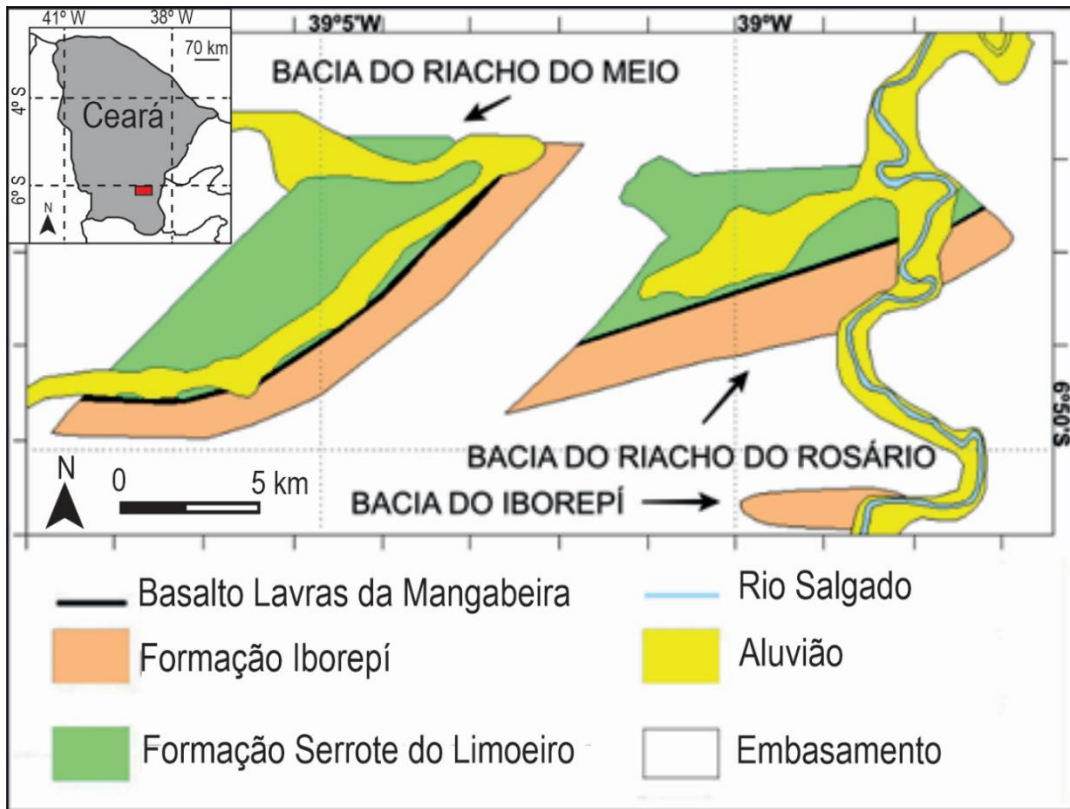
## 2.2 Geologia da Bacia de Lavras da Mangabeira

Muitos trabalhos foram realizados desde o começo do século passado sobre o mapeamento e descrição das Bacias Interiores do Nordeste, mas de acordo com Veríssimo e Aguiar (2005) poucos, até agora, focam no detalhamento da Bacia Lavras da Mangabeira, no interior cearense. De acordo com os autores sua descrição e evolução foram primeiramente correlacionadas como pertencentes às estratigrafias das bacias vizinhas, como por exemplo a Formação Cariri da Bacia Araripe, as formações da Bacia do Rio do Peixe e formações da Bacia do Iguatu. Essas afirmações se baseavam numa proposta de amplas bacias pretérita no Nordeste (BEURLEN, 1971; CORDANI *et al.* 1984; CREPANI, 1987), porém atualmente as bacias nordestinas são consideradas um conjunto de remanescentes sedimentares que tiveram origem a partir de depressões na separação dos continentes Africano e Sul-americano (PONTE *et al.*, 1991).

Trabalhos mais recentes na Bacia Lavras da Mangabeira a caracterizam como uma pequena bacia sedimentar que se encontra na porção setentrional da Zona de Cisalhamento Patos, na Província da Borborema, composta de 3 sub-bacias (Figura 4), a Bacia do Riacho do Rosário, Riacho do Meio, e do Iborepi, que somadas possuem uma área de aproximadamente 60 km<sup>2</sup> (BATISTA, 2015).

De acordo com Ponte e Ponte Filho (1996) o conjunto de unidades litoestratigráficas dessa bacia é denominado como Grupo Lavras da Mangabeiras, no qual a formação basal é a Formação Iborepi, composta de arenitos brancos e conglomerados, e a superior é a Formação Serrote do Limoeiro, composta por arenitos avermelhados intercalados com sedimentos finos. Essas formações são separadas por um derrame de basalto (VERÍSSIMO e AGUIAR, 2005), classificado como toleítico (MARZOLI *et al.*, 1999). A descrição mais aprofundada sobre a litologias e interpretações das formações é apresentada no Quadro 1.

**Figura 4** – Figura esquemática da Bacia de Lavras de Mangabeira e suas formações.



Fonte: Modificado de Granjeiro *et al.* (2007).

**Quadro 1** – Quadro estratigráfico da Bacia de Lavras de Mangabeira.

CRONO-ESTRATIGRAFIA	LITOESTRATIGRAFIA		SISTEMAS DEPOSICIONAIS	DESCRIÇÕES LITOLÓGICAS	ESPESSURA (M)
	Grupo	Formação			
Quaternário	Sem denominação		Aluvial	Depósitos inconsolidados: areias, siltes e argilas	0 a 5
Eo a Meso - Jurássico?	Grupo Lavras da Mangabeira	Fm. Serrote do Limoeiro	Fluvial meandrante, Planície fluvial, Lacustre raso	Arenito vermelhos e roxos finos a médios, friáveis, bem selecionados, caulínicos, estratificados em acamamento médio, intercalados com siltitos e argilitos vermelhos e folhelhos verdes, localmente fossilíferos.	em torno de 300
		Basalto Lavras da Mangabeira	Vulcânica	Basalto de textura subofítica, contendo palgoclásio, augita, hermatita e magnetita.	em torno de 10
		Fm. Iborepí	Leques aluviais coalescentes	Arenitos brancos, grossos a conglomeráticos, mas classificados, friáveis, com acamamento espesso e irregular, com estratificações cruzada.	60 a 80
Eo-Proterozoico	Grupo Ceará	Complexo Lavras da Mangabeira		Rochas metamórficas: filitos, micaxistos, intercalados com quartzito e mármore; gnaisse.	

Fonte: Modificado de Ponte e Ponte Filho (1996).

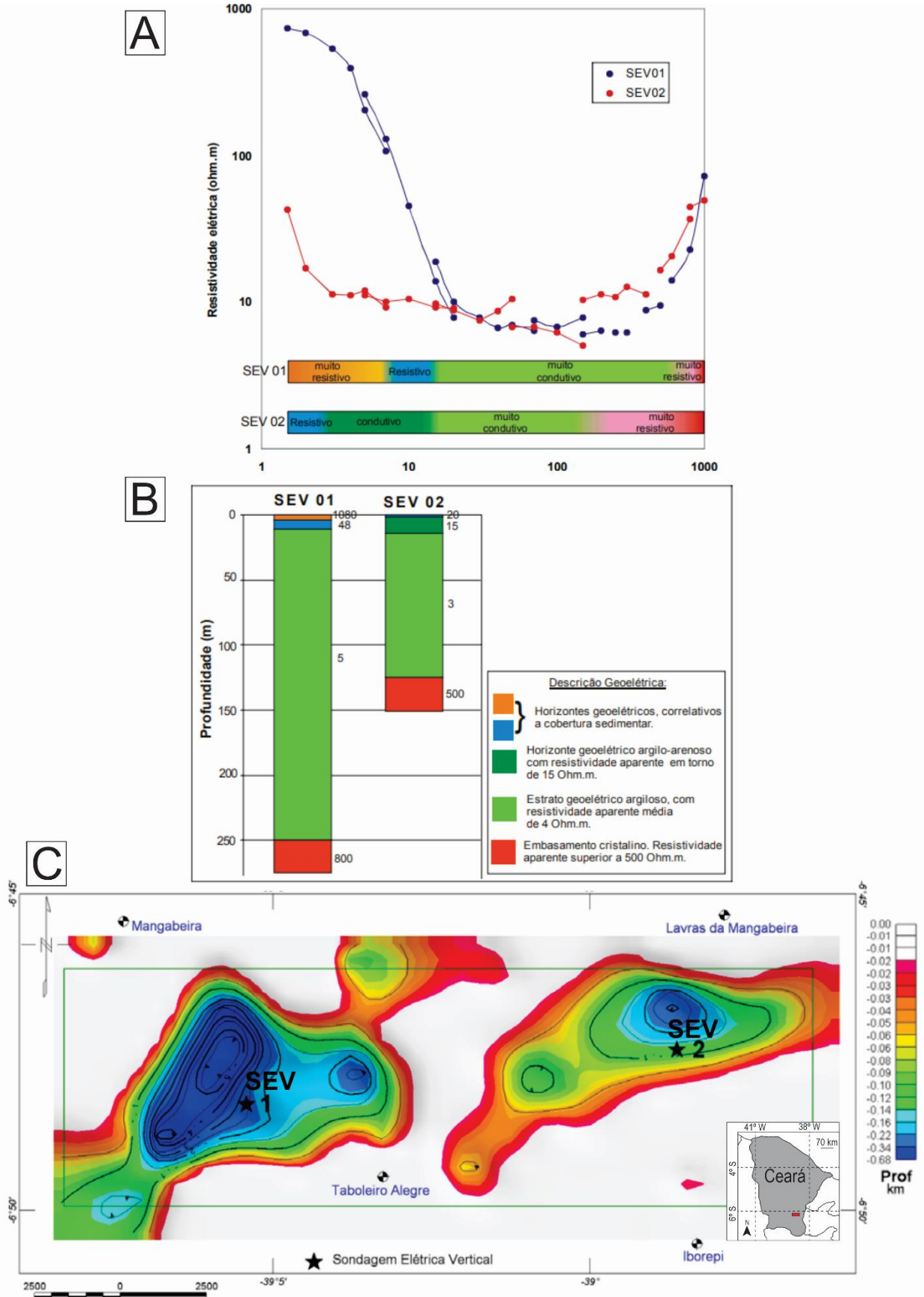
As sub-bacias são interpretadas como semigrabens, em que as camadas possuem mergulho para NW, com a sedimentação das formações em discordância litológica sobre o embasamento pré-cambriano, mais especificamente nas rochas metavulcanossedimentares do Terreno Rio Piranhas (Domínio Rio Grande do Norte), o qual também possui contato tectônico com as camadas sedimentares das sub-bacias, devido falhas normais de alto ângulo E-W e NE (BATISTA, 2015).

A Bacia está inserida num contexto de inflexão estrutural, na qual estruturas da Província Borborema de direção E-W, tendem para NE a oeste do meridiano de 39° (VERÍSSIMO e AGUIAR, 2005).

De acordo com Carvalho e Fernandes (1993), os lineamentos NE da bacia indicam que seu desenvolvimento está associado ao Alinhamento Portalegre (paralelo ao Lineamento Paraíba), desenvolvido por uma zona de cisalhamento NNE no Ciclo Brasileiro, sendo reativado na tectônica rúptil do Mesozoico/Cenozoico (NÓBREGA, 2004).

A espessura da bacia foi estudada pelo Serviço Geológico do Brasil (CPRM) aplicando os métodos de resistividade (BRANCO *et al.*, 2006) e gravimetria (CASTRO *et al.*, 2006). Utilizando uma abertura máxima de 2.000 metros entre os eletrodos de corrente AB, a sondagem elétrica vertical (SEV) realizada no centro das sub-bacias Riacho do Meio e Riacho do Rosário apontou respectivamente 250 m e 240 m de profundidade dos estratos sedimentares, identificando o embasamento ao apresentar resistência maior que 500,0 Ohm.m (Figura 5.A e 5.B). A partir de 74 estações gravimétricas, foi identificado nas sub-bacias Riacho do Meio e Riacho do Rosário 700 m e 340 m de espessura máximas, balizando-se pelos dados obtidos pelas SEV's, resultando no contraste de densidade da bacia com o embasamento de  $-0,27 \text{ g/cm}^3$  (Figura 5.C).

**Figura 5** – Resultados geofísicos dos estudos da CPRM na Bacia de Lavras da Mangabeira. Em A e B os resultados de sondagem elétrica vertical nas sub-bacias Riacho do Meio (SEV 01) e Riacho do Rosário (SEV 02). Em C a localização das SEV's 01 e 02 e o resultado da gravimetria.



Fonte: A e B extraído de Branco *et al.* (2006) e C modificado de Castro *et al.* (2006).

A Formação Iborepi faz parte de um estágio pré-rifte, onde uma subsidência mecânica regional causada pelo estiramento do Gondwana, formou falhas normais possibilitando a formação de bacias (PONTE e APPI, 1990).

O Basalto Lavras da Mangabeira é comumente associado a outros magmatismos toleíticos mesozoicos, disseminados em grande parte do Nordeste, como as formações Sardinha, Mosquito e a Província Magmática Rio Ceará Mirim.

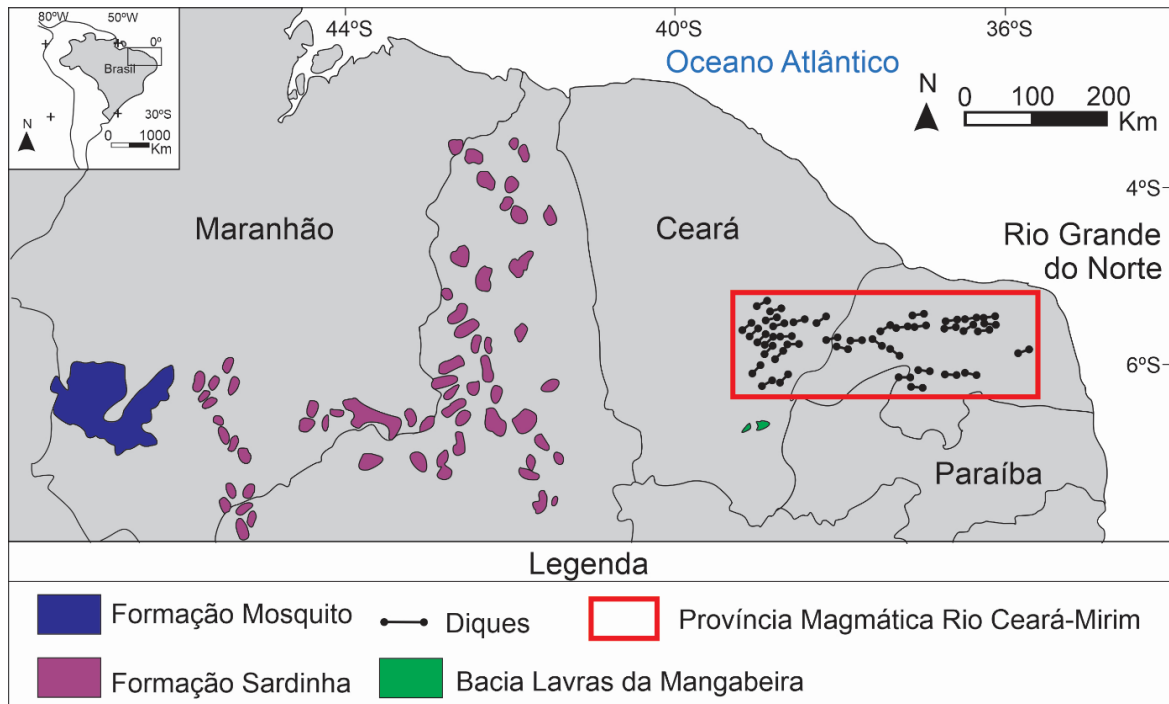
A Formação Mosquito e Formação Sardinha pertencem à Bacia do Parnaíba, possuem datação  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  de 190-200 Ma e 124-129 Ma respectivamente (BAKSI e ARCHIBALD, 1997) e estão localizados entre os estados do Maranhão, Piauí e Ceará. Já a Província Magmática Rio Ceará Mirim é um conjunto de diques entre os estados do Rio Grande do Norte e Ceará, com datação  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  de 127 Ma (NGONGE *et al.*, 2016).

A datação do Basalto Lavras da Mangabeira pelos métodos K/Ar, resultou em  $175 \pm 4$  Ma (Jurássico inferior; PRIEM *et al.*, 1978) e  $211 \pm 0,9$  Ma (Triássico superior; MIZUSAKI *et al.*, 2002). A aplicação do método  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  deu uma idade de  $198,4 \pm 1,4$  Ma (MARZOLI *et al.*, 1999), bem perto do limite Triássico–Jurássico.

De Almeida *et al.* (2007) classifica o derrame basáltico da Bacia Lavras da Mangabeira como pertencente ao Magmatismo Rio Ceará-Mirim (160-180 Ma), que ocorreu na fase de maior intensidade do tectonismo de falhas sin-rifte no continente, pela reativação de falhas e zonas de cisalhamento do Lineamento de Patos do embasamento. Já Veríssimo e Aguiar (2005) propõem ao magmatismo na Bacia de Lavras a mesma fase do derrame toleítico na Bacia do Parnaíba, denominada Formação Mosquito (Neo-Triássica a Meso-Jurássica), resultante do rifteamento do Atlântico Central. Além disso, os autores deixam claro a falta de informações do possível contato concordante da Formação Iborepi e Serrote do Limoeiro, assim como a incerteza do contexto estrutural dessa última.

Ernesto *et al.* (2003) analisou as similaridades geoquímicas e paleomagnéticas das formações Sardinha, Mosquito, do Basalto Lavras da Mangabeira e da Província Magmática Rio Ceará Mirim (Figura 6). Em suma, os autores observaram que as rochas básicas com baixos valores de titânio (Formação Mosquito e Basalto Lavras da Mangabeira) possuem características paleomagnéticas que apontam idade neojurássica, enquanto as com altos valores de titânio (Formação Sardinha e *Subswarms* I e III Província Magmática Rio Ceará Mirim) possuem através do mesmo método idade neocretácica.

**Figura 6** – Localização das formações Mosquito, Sardinha, Bacia Lavras da Mangabeira e da Província Magmática Rio Ceará-Mirim.



Fonte: Modificado de Ernesto *et al.* (2003).

A idade das formações terrígenas da Bacia de Lavras da Mangabeira é muito pouco discutida, já que há a falta de mais estudos estratigráficos e paleontológicos na bacia (BATISTA, 2015). As datações no limite Triássico-Jurássico para o Basalto Lavras da Mangabeira implicam numa idade mais antiga que jurássica para a formação abaixo do derrame basáltico (Formação Iborepi) e mais nova (Jurássica ou Cretácea) para a formação acima (Formação Serrote do Limoeiro).

Priem *et al.* (1978) classificaram o Basalto Lavras da Mangabeira como um derrame pela presença de vesículas e textura subofítica, entretanto Mizusaki (1987) o classifica como uma intrusão de “rocha de textura diabásica” pelo tamanho dos grãos (0,2-0,7 mm) e posição estratigráfica. O trabalho presente decidiu adotar a classificação de diabásio para a unidade, renomeando-a de Diabásio Lavras da Mangabeira, com o detalhamento no Tópico 4.4.1.

Ademais, pela afirmação dos autores de as sub-bacias possuírem a mesma correlação das unidades e gênese (PONTE *et al.*, 1990; PONTE e PONTE E FILHO, 1996; BATISTA, 2015) decidiu-se renomeá-las de setores Iborepi, Riacho do Meio, Riacho do Rosário e Sítio Palmeira, o que será abordado no Tópico 4.1.

## **CAPÍTULO III – LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDOS, MATERIAL E MÉTODOS**

### **3.1 Localização da área de estudos**

A Bacia de Lavras da Mangabeira se encontra no sudeste do Estado do Ceará, na porção central do município homônimo, entre as coordenadas geográficas 6°46' e 6°52' de latitude sul, e 38°56' e 39°09' de longitude oeste. De Fortaleza para o município Lavras da Mangabeira utiliza-se a rodovia BR-116 até a BR-138 em Morada Nova, depois seguir para a CE-371, em Jaguaripe seguir para a BR-116, após isso segue-se para a Rod. Padre Cícero, chegando ao destino com um total de 418 km percorridos. De Juazeiro do Norte para Lavras da Mangabeira utiliza-se a Rodovia Padre Cícero para a BR-230, chegando ao destino com um total de 90 km percorridos.

### **3.2 Material**

Para desenvolvimento do estudo foram utilizados os seguintes materiais e equipamentos: cartas topográficas e mapa geológico de Lavras de Mangabeira, para o auxílio na confecção dos mapas temáticos; GPS Garmin E-Trex H para a marcação de amostras que foram coletados em campo, localização dos afloramentos e deslocamento em campo; utilização de programas computacionais (ArcGis 10.6) para a confecção de mapas temáticos; martelo e sacolas para a amostragem feita em campo; furadeira elétrica portátil Makita (18V-5Ah) e uma bússola Brunton, apropriadamente corrigida pela declinação magnética – Disponível na Unesp-Rio Claro; bússola Clar, também corrigida, para medição de estruturas, acamamentos e paleocorrentes; serra em material diamagnético da ASC Scientific para preparação das amostras; magnetômetro spinner (sensitividade máxima de  $10^{-4}$  A/m) e desmagnetizador por campo alternado (campo máximo de 120 mT), ambos da Mag-Instruments UG para amostras com (titano) magnetita ou sulfetos de ferro – Disponível na Unesp-Rio Claro no laboratório UNESPMag do Departamento de Geologia; magnetômetro criogênico 2G-Enterprises, disponível no laboratório USPMag do Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas (IAG) da Universidade de São Paulo (USP) para amostras com ocorrência de hematita; e forno magneticamente blindado TD48 da ASC Scientific para desmagnetização térmica também disponível no IAG-USP.



### **3.3 Métodos**

#### *3.3.1 Levantamento Bibliográfico*

O levantamento bibliográfico incluiu a pesquisa de literaturas sobre os temas de interesse, a avaliação crítica do material encontrado e o treinamento necessário para a execução da análise estratigráfica e paleomagnética.

Essa pesquisa proveu materiais de apoio para uma melhor análise da região e bacia estudada, coletando informações a partir de publicações encontradas no banco de dados bibliográficos ATHENA (UNESP), no banco de dados disponíveis na internet e indicações do orientador. A pesquisa por bibliografias foi realizada a partir de palavras-chave Bacia de Lavras da Mangabeira, paleomagnetismo e estratigrafia.

O material encontrado sobre a bacia foi essencial para observar a escassez de artigos de relevância sobre ela, carecendo de descrições detalhadas das unidades que a compõem e sua evolução tectonossedimentar. Conseqüentemente, dirigiu-se atenção para a literatura referente a análises de fácies sedimentares, petrologia magmática e análise de paleocorrentes.

#### *3.3.2 Preparação das bases cartográficas*

Foram analisados mapas geológicos, topográficos e imagens de satélite existentes da área de estudo, com a finalidade de preparar mapas temáticos para o auxílio do estudo.

Foi preparada uma base cartográfica topográfica na escala 1:25.000, que serviu de apoio para plotagem dos dados e informações coletadas durante o desenvolvimento do estudo. Tanto a base cartográfica quanto os mapas desenvolvidos pelos resultados dos estudos foram confeccionados no ambiente ArcGis 10.6.

A base cartográfica foi utilizada para o entendimento das condições do meio físico, do uso e ocupação do solo na área de estudo, da distribuição das formações da Bacia de Lavras da Mangabeira de acordo com a literatura, possíveis pontos de estudo e amostragem para a petrografia e paleomagnetismo.

Os paleomeandros foram observados pelas imagens de satélite, como texturas lineares curvas e de cor escura, próximas aos rios e riachos da área de estudo. Seu

discernimento teve como objetivo a definição da distribuição espacial dos depósitos aluvionares quaternários que recobrem a bacia.

Para melhor compreensão da geologia estrutural, foi utilizado o banco de dados da USGS, no qual obteve-se elevação da área (SRTM 1 *Arc second global*), possibilitando criar no *software* ArcGIS 10.6 modelos digitais de terreno com sobrelevações de 1, 3 e 10 vezes, pelo comando *Hillshade*. Desse modo, proporcionou-se a visualização de lineamentos tectônicos, macroestruturas, individualização de blocos da bacia, movimentação horizontal dos blocos e a expressão de acamamentos na superfície.

No final do trabalho os dados geológicos, estruturais, topográficos e geomorfológicos obtidos durante todo estudo foram compilados em um mapa geológico na escala de 1:25.000 (Anexo I).

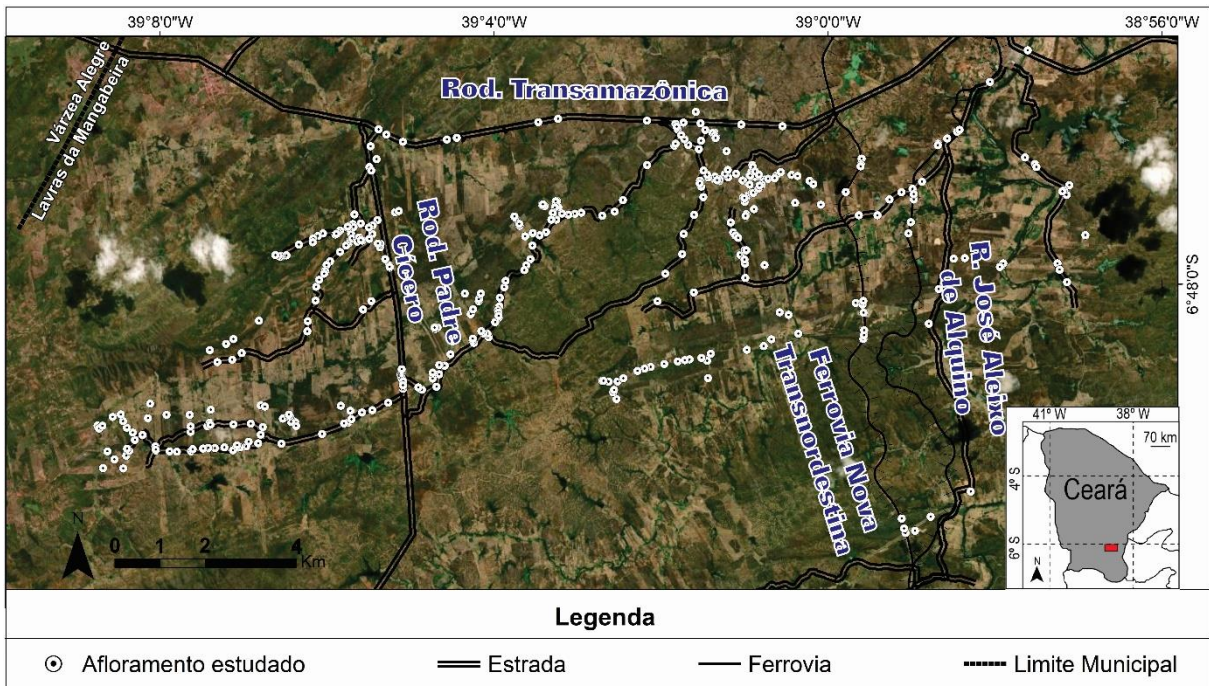
### 3.3.3 *Trabalhos de campo*

Foram realizadas duas fases de trabalho de campo, a primeira ocorreu de 13 a 23 de novembro de 2019. Nesses dias foram realizadas as coletas de amostras da Bacia de Lavras da Mangabeira para a análise paleomagnética e confecção de lâminas polidas das rochas básicas, fora os estudos estruturais, estratigráficos e geológicos da bacia. Já a segunda, de 10 a 24 de junho de 2020, incluiu um trabalho mais concentrado de mapeamento, estratigrafia e de geologia estrutural da bacia, com a coleta de algumas amostras para o paleomagnetismo. No total o mapeamento deu-se em cerca de 350 afloramentos estudados (Anexo II).

Para a descrição das unidades da bacia procurou-se por blocos de rocha, afloramentos e cortes de estradas. Isso ocorreu em grande parte nas rodovias Padre Cícero e Transamazônica, na Rua José Aleixo de Aquino, nas estradas para a instalação da Ferrovia Nova Transnordestina, em estreitas estradas de terra que permeiam todo o município e em propriedades privadas distante dos centros urbanos (Figura 7).

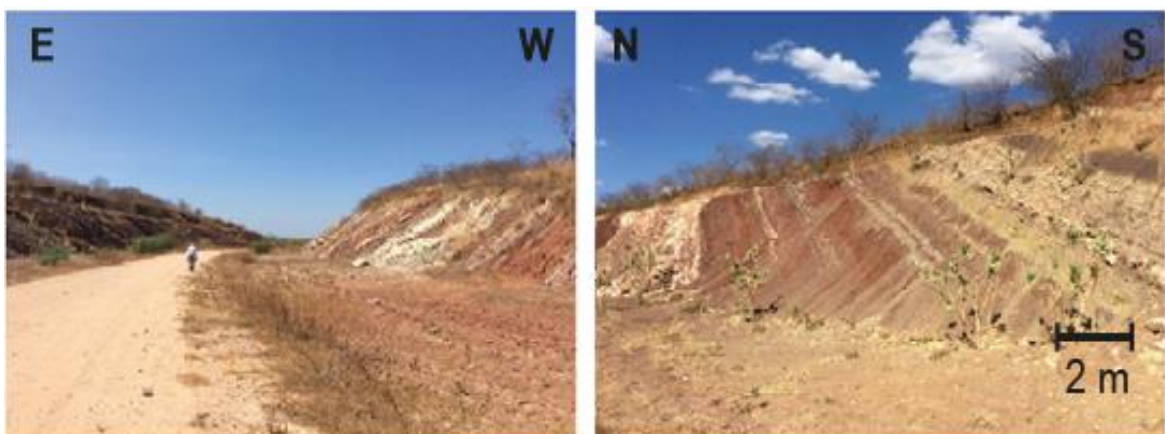
A geologia estrutural dos afloramentos estudados foi realizada pela medição da atitude das camadas com a bússola Clar, descrição das estruturas tectônicas, como dobras e falhas, e delimitação dos contatos tectônicos entre as unidades da bacia e delas com o embasamento.

**Figura 7** – Localização dos afloramentos estudados. Imagem de satélite do Google Earth Pro 7.3.



Os locais de levantamento seções colunares e para coletas de amostras propícias para a análise paleomagnética foram escolhidos junto ao orientador, se aproveitando de seções chaves das formações de interesse expostas através da Nova Ferrovia Transnordestina na Bacia de Lavras da Mangabeira (Figura 8), no município do homônimo da bacia e arredores do Estado do Ceará.

**Figura 8** – Cortes da Nova Ferrovia Transnordestina na bacia de Lavras da Mangabeira.



A amostragem para paleomagnetismo foi realizada nos setores Riacho do Rosário e Riacho do Meio, já que os setores Iborepi e Sítio Palmeira se mostraram muito arenosos ou intemperizados para a aplicação do método. No total foram escolhidos 16 sítios de amostragem (Tabela 1), focando principalmente em litologias

com fácies pelíticas e no diabásio. De acordo com Butler (1992), essas rochas preservam melhor a magnetização natural remanescente (MRN).

Cada afloramento onde amostras foram coletadas foi nomeado de sítio, possuindo de uma a quatro amostras que ao serem tratadas resultavam em um ou dois espécimes.

A coleta precisou ser feita em vários níveis dos afloramentos, com um total de 12 amostras de mão na Formação Iborepi, 44 testemunhos do Basalto Lavras da Mangabeira, 15 amostras de mão e 14 testemunhos da Formação Serrote do Limoeiro e 4 amostras de mão da Formação Mescla, a ser descrita mais adiante, com um total de 86 amostras, coletadas através da furadeira elétrica portátil e orientadas no campo com uma bússola Brunton.

**Tabela 1** – Pontos de amostragem paleomagnética resultantes do trabalho de campo.

Sítio	Unidade geológica	Tipo	Quantidade	Longitude	Latitude
6081	Formação Mescla	Amostra de mão	4	-39.095855°	-6.788581°
6083	Formação Serrote do Limoeiro	Testemunho	6	-39.087493°	-6.796574°
6084	Diabásio Lavras da Mangabeira	Testemunho	5	-38.977867°	-6.801012°
6110	Diabásio Lavras da Mangabeira	Testemunho	6	-38.993028°	-6.804204°
6111	Formação Iborepi	Amostra de mão	3	-38.992768°	-6.809172°
6139	Diabásio Lavras da Mangabeira	Testemunho	6	-39.085105°	-6.818820°
6140	Diabásio Lavras da Mangabeira	Testemunho	4	-39.085359°	-6.818223°
6141	Diabásio Lavras da Mangabeira	Testemunho	4	-39.085148°	-6.818025°
6142	Formação Serrote do Limoeiro	Ambos	6	-38.993566°	-6.776365°
6143	Formação Serrote do Limoeiro	Amostra de mão	3	-38.993587°	-6.776756°
6145	Diabásio Lavras da Mangabeira	Testemunho	4	-38.965000°	-6.795846°
6146	Diabásio Lavras da Mangabeira	Testemunho	7	-39.016455°	-6.798807°
6149	Formação Serrote do Limoeiro	Amostra de mão	8	-39.102177°	-6.800684°
6153	Diabásio Lavras da Mangabeira	Testemunho	8	-38.953073°	-6.781300°
6163	Formação Iborepi	Amostra de mão	9	-39.035334°	-6.816591°
6201	Formação Serrote do Limoeiro	Amostra de mão	3	-38.953142°	-6.781442°

### 3.3.4 *Análise estratigráfica*

A análise estratigráfica foi realizada pela execução e correlação de um conjunto de métodos que individualizaram as unidades, seus processos genéticos e ambientes deposicionais. Esses métodos envolvem a descrição e associação de fácies sedimentares, levantamento de seções colunares, mensuração da espessura das unidades, petrologia magmática e análise de paleocorrentes. Além disso, serão consideradas alguns dados da geologia estrutural, obtidos no geoprocessamento e trabalho de campo, para sugerir estruturas deformacionais atuantes na bacia que levaram à criação dos setores.

#### 3.3.4.1 Descrição e associação de fácies sedimentares

As fácies sedimentares são definidas pelos aspectos, aparências e características de uma unidade rochosa, refletindo as condições de sua origem, distintos de unidades adjacentes (BATES e JACKSON, 1987). Walker (1992) acrescenta que fácies são a combinação particular de litotipos, estruturas e texturas que diferem os corpos rochosos, controladas pelos processos sedimentares que operam numa morfologia específica de um sistema deposicional, auxiliando na interpretação das propriedades sin-deposicionais.

Um grupo de fácies geneticamente relacionadas e que possuem significados ambientais são classificados como associação de fácies. Seu entendimento é um elemento crucial para a definição de ambientes deposicionais atuais e do passado (COLLINSON, 1969). Assim, através dessas associações, pode-se entender a morfologia de corpos fluviais, variação climática, evolução geomorfológica e tectônica atuantes para a formação de um pacote sedimentar. Isso somente foi possível, pois, trabalhos estratigráficos da literatura realizaram a comparação das associações faciológicas dos depósitos sedimentares modernos e pretéritos, resultando na definição de diversos sistemas deposicionais (WALKER, 1992; READING, 1986).

A determinação das fácies das rochas sedimentares da Bacia de Lavras da Mangabeira foi realizada para o entendimento dos processos físicos atuantes na geração de seus estratos. Para isso, foi utilizado as nomenclaturas de fácies de Miall (2006) na descrição e caracterização dos corpos rochosos (Quadro 2).

A individualização das formações foi realizada a partir da interpretação dos diferentes sistemas deposicionais, ao comparar as associações de fácies encontradas na bacia com literaturas disponíveis. Discordâncias erosivas presentes de modo contínuo entre os pacotes sedimentares também auxiliaram na distinção das unidades.

**Quadro 2 –** Classificação de litofácies de sistemas fluviais.

<b>Código</b>	<b>Fácies</b>	<b>Estruturas</b>	<b>Interpretação</b>
Gmm	Conglomerado maciço, matriz-suportado	Gradação incipiente	Fluxo de detritos plástico (alta resistência, viscoso)
Gcm	Conglomerado maciço clasto-suportado	-	Fluxo de detritos pseudoplástico (carga de leito inercial, fluxo turbulento)
Gt	Conglomerado, estratificado	Estratificação cruzada acanalada	Preenchimento de pequenos canais
Gp	Conglomerado, estratificado	Estratificação cruzada planar	Formas de leito transversais, crescimento deltaico a partir de barras remanescentes
St(c)	Areia conglomerática	Estratificação cruzada acanalada	Preenchimento de pequenos canais
St	Areia fina a muito grossa, podendo ser cascalhosa	Estratificação cruzada acanalada solitária ou agrupada	Dunas 3D, cristas sinuosas ou linguoides
Sp	Areia fina a muito grossa, podendo ser cascalhosa	Estratificação cruzada planar solitária ou agrupada	Dunas transversais 2D
Sr	Areia muito fina a grossa	Laminações cruzadas de marcas onduladas	Marcas onduladas (regime de fluxo inferior)
Sh	Areia fina a muito grossa, podendo ser cascalhosa	Laminação horizontal. Lineação de partição	Formas de leito plano (fluxo crítico)
Sl	Areia fina a muito grossa, podendo ser cascalhosa	Estratificações cruzadas de baixo ângulo (<15°)	Preenchimento de depressões suaves, dunas atenuadas, antidunas
Sm	Areia, fina a grossa	Maciça ou laminação indistinta	Depósito de fluxo de sedimento-gravidade
Fl	Areia, silte, pelito	Laminações finas, marcas onduladas de muito pequeno porte	Depósitos externos ao canal, canais abandonados ou depósitos de inundação
Fsm	Silte, pelito	Maciço	Depósitos externos ao canal ou canais abandonados
Fm	Pelito, silte	Maciço, gretas de contração	Depósitos externos ao canal ou canais abandonados
Fr	Pelito, silte	Maciço	Solo incipiente
P	Paleossolo carbonático (calcita, siderita)	Feições pedogênicas, nódulos, filamentos	Solo com precipitação química

Fonte: Modificado de Miall (2006).

#### 3.3.4.2 Levantamento de seções colunares

As seções colunares foram realizadas para representar o arranjo vertical das fácies das formações, identificar as discontinuidades e caracterizar o contato entre as unidades da bacia. Foi utilizada de uma trena de 50 m para o levantamento, descrevendo a mudança das fácies e paleocorrentes, medindo a atitude de acamamento para a correção da espessura das seções.

#### 3.3.4.3 Mensuração da espessura das unidades

A mensuração das espessuras médias de cada unidade foi realizada no Setor Riacho do Meio, pois é o mais completo estratigraficamente e mais espesso. Obtêm-se a medida da espessura através da trigonometria básica, ao multiplicar o comprimento das camadas em superfície, paralelamente à direção do mergulho, com o seno da inclinação das camadas.

#### 3.3.4.4 Petrografia magmática

Para melhor descrição e caracterização do Diabásio Lavras da Mangabeira foram coletadas duas amostras para as análises petrográficas no microscópio *zeiss*, a 6809 e 6110 (Anexo I), no Setor Riacho do Rosário e Setor Sítio Palmeira, respectivamente.

As lâminas delgadas foram analisadas através de microscopia óptica de luz transmitida, com o objetivo de identificar, quantificar e avaliar as feições, texturas e composição dos minerais. A classificação de granulação dos minerais foi realizada de acordo com Le Maitre (2002) em que grãos finos são menores de 1 mm, grossos maiores de 3 mm e médios entre os dois. Através dessas descrições deseja-se também esclarecer o caráter intrusivo da unidade.

#### 3.3.4.5 Análise de paleocorrentes

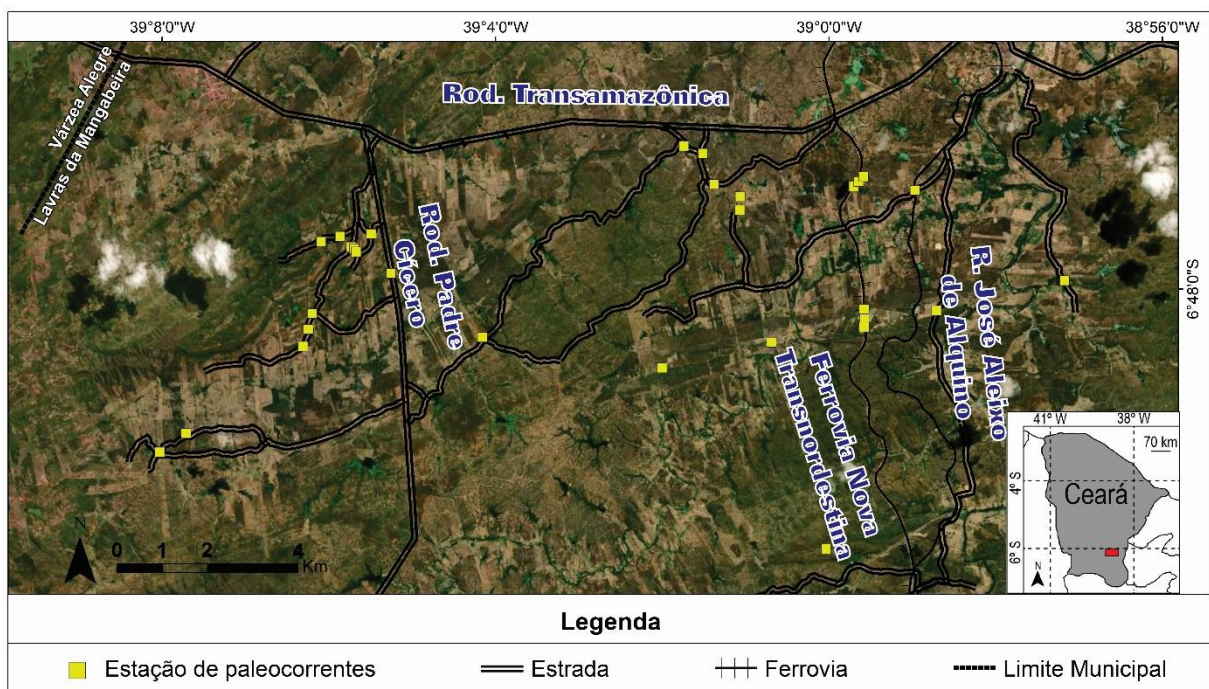
Em toda a bacia foram instituídas estações de medição de paleocorrentes, com o intuito de interpretar paleofluxo e o transporte dos sedimentos que geraram os pacotes sedimentares (MIALL 1974). A definição de um vetor médio e o padrão de

distribuição de paleocorrentes são essenciais para caracterizar as associações de fácies, definindo processos deposicionais distintos.

As medidas foram realizadas através da bússola Clar, sendo corrigidas pelos dados estruturais de inclinação das camadas e rotações tectônicas. A plotagem e o tratamento dos dados das estações foram realizados no programa *Stereonet* 11.3.0 em diagramas de rosetas.

Foram estabelecidas 31 estações de paleocorrentes (Figura 9), com 10 ou mais medidas de paleocorrentes a fim de definir o padrão das paleocorrentes das unidades sedimentares da Bacia Lavras da Mangabeira, o que proporcionou a definição de áreas fontes dos sedimentos, fluxo do transporte e auxiliou na interpretação dos sistemas deposicionais.

**Figura 9** – Localização das estações de paleocorrentes. Imagem de satélite do Google Earth Pro 7.3.



### 3.3.5 Análise paleomagnética

Os dados obtidos pela análise paleomagnética, por sua vez, tiveram o objetivo de datar e interpretar a evolução tectonossedimentares da Bacia de Lavras da Mangabeira, podendo assim correlacionar com os eventos regionais.



### 3.3.5.1 Princípios do paleomagnetismo

O planeta Terra possui um núcleo externo líquido, os movimentos convectivos do qual são responsáveis de gerar o campo magnético terrestre semelhante a um dipolo. O campo magnético da Terra pode existir em dois estados alternados, nomeado de polaridade normal (campo atual) e inverso. O polo geomagnético identifica a posição no globo onde melhor se encaixa o dipolo geocêntrico e têm como característica variar periodicamente, raramente coincidindo com o polo geográfico. A declinação magnética evidencia componentes não dipolares no campo geomagnético, entretanto o modelo mais admitido atualmente considera que na escala de milhares de anos o campo terrestre como um dipolo geocêntrico axial (paralelo ao eixo de rotação terrestre), o que na realidade é uma simplificação das inúmeras variáveis atuantes (TAUXE et al., 2020).

Os minerais ferromagnéticos (óxidos, hidróxidos e sulfetos de ferro) são capazes de registrar as características (direção e intensidade) do campo magnético atuante na época de sua deposição ou cristalização, propriedade nomeada de magnetização natural remanescente (MRN). As componentes da magnetização desses minerais podem ser divididas em primárias, simultâneas a sua formação, e secundárias, posteriores. Partindo da MRN é possível calcular a polaridade magnética do campo terrestre da época e a posição de paleopolos magnéticos.

A avaliação dos minerais ferromagnéticos no paleomagnetismo resultam na identificação do vetor de magnetização, que é composto pelas componentes de inclinação (I), declinação (D) e intensidade (B) (Figura 10).

A Inclinação (I) é definida como o ângulo de mergulho com o plano horizontal, o que varia pela latitude ( $\lambda$ ) de  $-90^\circ$  (polo sul) a  $+90^\circ$  (polo norte):

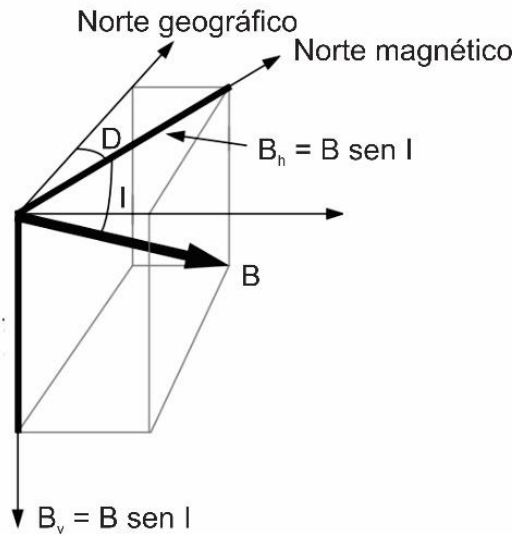
$$I = \arctan (2 \tan \lambda)$$

A declinação (D) é o ângulo horizontal do polo magnético respeito ao norte geográfico. Por fim a intensidade (B) é a soma das componentes vertical ( $B_v$ ) e horizontal ( $B_h$ ):

$$B_v = B \sin I$$

$$B_h = B \cos I$$

**Figura 10** – Representação dos componentes dos vetores magnéticos. inclinação ( $I$ ), declinação ( $D$ ), intensidade ( $B$ ), componente vertical da intensidade ( $B_v$ ) e componente horizontal da intensidade ( $B_h$ ).



Fonte: Traduzido de Butler (1992).

A MRN pode ser dividida em quatro tipos principais, a térmica, detritica, viscosa e química. Nesse estudo serão avaliados apenas os dois primeiros, tendo em vista os materiais sedimentares e magmáticos pertencentes a bacia e o intuito de através do paleomagnetismo descobrir as idades de gênese das unidades.

De acordo com Butler (1992) a magnetização termorremanescente é adquirida pelo resfriamento dos minerais ferromagnéticos abaixo da temperatura de bloqueio, já que acima dessa temperatura se tornam paramagnéticos. Já a magnetização detritica é obtida no início da diagênese pela deposição de grãos ferromagnéticos, na presença de coluna d'água, que são alinhados com o campo magnético atuante ao atingirem a profundidade de bloqueio (10-20 cm).

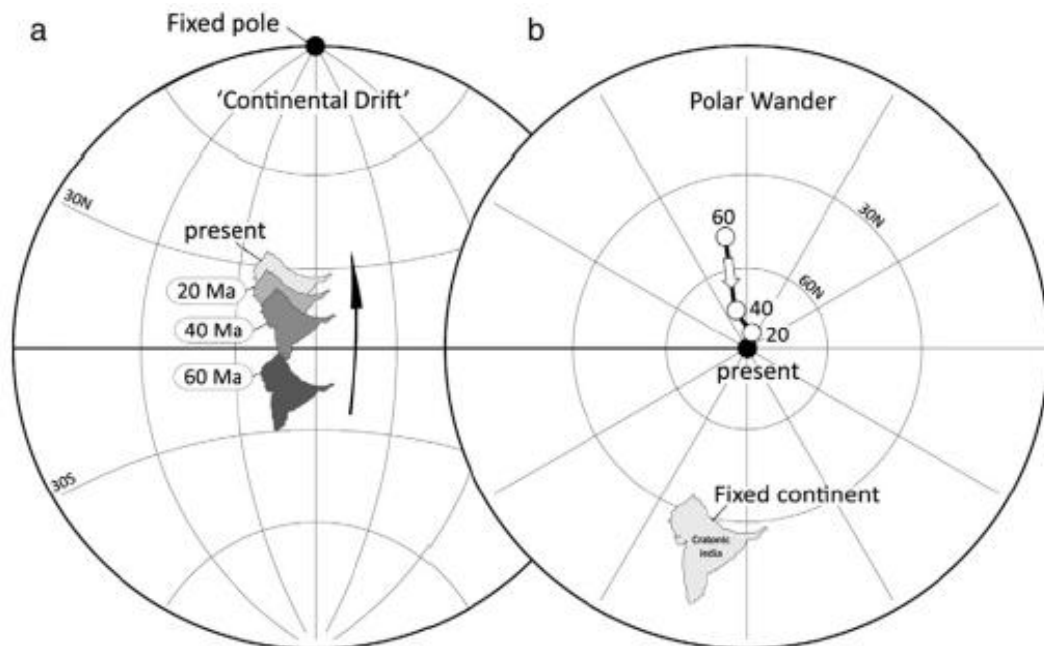
Os dados das medições de MRN's devem ser transformados em polos geomagnéticos virtuais (PGV's), os quais representam a latitude e longitude da direção do campo magnético presente durante a magnetização material geológico (Ver cálculos trigonométricos em Butler, 1992). Por causa das componentes não dipolares, não se espera que o PGV de um sítio coincida com seu respectivo polo geomagnético, porém através da média dos PGV's de uma unidade é possível a obtenção do paleopolo magnético.

A média das PGV's coincide com o eixo de rotação terrestre (polo geográfico), mas para que isso ocorra necessita-se amostrar unidades geológicas com magnetização de  $10^4$  a  $10^5$  anos (TAUXE et al., 2018). Posição do polo calculada que satisfazem esse critério são nomeadas de paleopolo magnético. O modelo de

tectônica das placas propõe que a posição de uma placa tectônica muda ao longo do tempo, tendo como consequência a mudança relativa entre o paleopolo magnético e as placas, preservando nos minerais ferromagnéticos as informações desse movimento.

O caminho aparente dos paleopolos magnéticos de uma mesma placa em diferentes momentos do tempo geológico é denominado caminho de migração aparente dos polos geomagnéticos (CMAP), no qual é representado a mudança do polo tendo com a placa como referência fixa (TORSVIK *et al.*, 2012) (Figura 11). Esse caminho é calculado através da integração de dados de anomalias magnéticas do assoalho oceânico até 150 Ma e integrado com polos paleomagnéticos calculados a partir de rochas aflorantes para tempos mais antigos. Até hoje foi possível determinar o CMAP de 320 Ma até os dias atuais, inclusive da placa sul-americana, podendo assim comparar o polo paleomagnético de uma rocha dessa placa com o analisado na literatura. Unidades geológicas podem então, através da comparação do seu paleopolo magnético com o CMAP, ser datadas grosseiramente pelo estudo paleomagnético.

**Figura 11** – Perspectiva paleomagnética da posição de uma placa ao longo do tempo, onde (a) demonstra o movimento da placa com o polo geomagnético como referência e (b) o movimento do polo geomagnético com a placa como referência, o que é efetivamente utilizado.



Fonte: Torsvik *et al.* (2012).

### 3.3.5.2 Preparação e análise de amostras

As amostras foram coletadas como testemunho com 1 polegada de diâmetro usando a furadeira elétrica, marcando seu topo com a direção e mergulho do furo por um dispositivo de orientação, e através de amostras de mão, principalmente nas rochas mais friáveis, marcando a superfície do topo com sua direção e mergulho. Importante para essa amostragem também foi um trabalho estrutural, em que se efetuou medições de acamamento em diversos afloramentos a fim de corrigir os dados dos vetores de magnetização.

No laboratório as amostras receberam tratamento, sendo coladas com silicato de sódio quando necessário. Os testemunhos foram serrados, com uma serra diamagnética de bronze, para remover a parte intemperizada, com o propósito de minimizar a contribuição magnética de minerais secundários ao sinal da magnetização primária e ter no máximo 2 cm de comprimento. As amostras de mão foram serradas e transformadas em um a três cubos de 8 cm<sup>3</sup>, mantendo-se a seta com a atitude da amostra.

Os espécimes obtidos a partir do tratamento das amostras tiveram sua magnetização natural remanescente (MRN) analisada, por portarem minerais ferromagnéticos, como sulfetos, óxidos e hidróxidos de ferro.

As análises das amostras foram acompanhadas com o orientador do estudo no laboratório de paleomagnetismo UNESPMag no Departamento de Geologia da UNESP – Campus de Rio Claro, que é equipado com uma serra em material diamagnético para preparação das amostras, um desmagnetizador por campo alternados e um magnetômetro spinner, suficiente para amostras para minerais construídos de titanomagnetita ou sulfetos de ferro. No caso da presença de hematitas as análises foram realizadas no laboratório USPMag do Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas (IAG) da Universidade de São Paulo (USP).

No laboratório UNESPMag, mediu-se o vetor de magnetização das amostras de basalto através do magnetômetro, utilizando o desmagnetizador para usar um campo alternado nas etapas de 5, 10, 15, 20, 25, 30, 40, 60 e 80 mT, a fim de se encontrar a componente primária de magnetização e retirar a secundária. Já as amostras sedimentares foram analisadas no laboratório USPMag do Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas (IAG), através da desmagnetização

térmica nas etapas de 0, 100, 150, 200, 250, 300, 350, 400, 450, 500, 550, 570, 600, 625, 650 e 675°C.

### 3.3.5.3 Interpretação e análise dos dados paleomagnéticos

Cada análise paleomagnética produziu um conjunto de dados vetoriais (declinação, inclinação e intensidade), que foram plotados em estereogramas, Diagramas de Zijderveld (ZIJDERVELD, 1967) e diagramas de intensidade do sinal magnético, e analisados estatisticamente para se encontrar o vetor médio da magnetização das amostras. A análise estatística desses dados vetoriais de magnetização foi realizada pelo(a):

- Estatística de Fisher (1953), o método mais simples, onde os vetores são considerados como pontos dispersos sobre uma superfície esférica, obtendo através de cálculos, a direção média dos vetores, não considerando as intensidades.
- Método proposto por Kirschvink (1980), um mais avançado, onde a análise multivariada das componentes principais (PCA) é aplicada, assim utilizando a intensidade de cada vetor de desmagnetização como peso para se calcular a média dos vetores.
- Método dos círculos de remagnetização de McFadden e McElhinny (1988), aplicado em casos mais difíceis, em amostras que adquiriram componentes de magnetização secundária que apagaram a magnetização original, através principalmente do intemperismo.

Além desse tratamento estatístico dos dados, precisou realizar mais uma correção. Processos sedimentares de deposição dos minerais ferromagnéticos sin- e pós-deposição podem diminuir a inclinação originária do vetor magnético devido à compactação (TAUXE; KENT, 2004; KODAMA, 2009). A correção da inclinação é realizada pela fórmula:

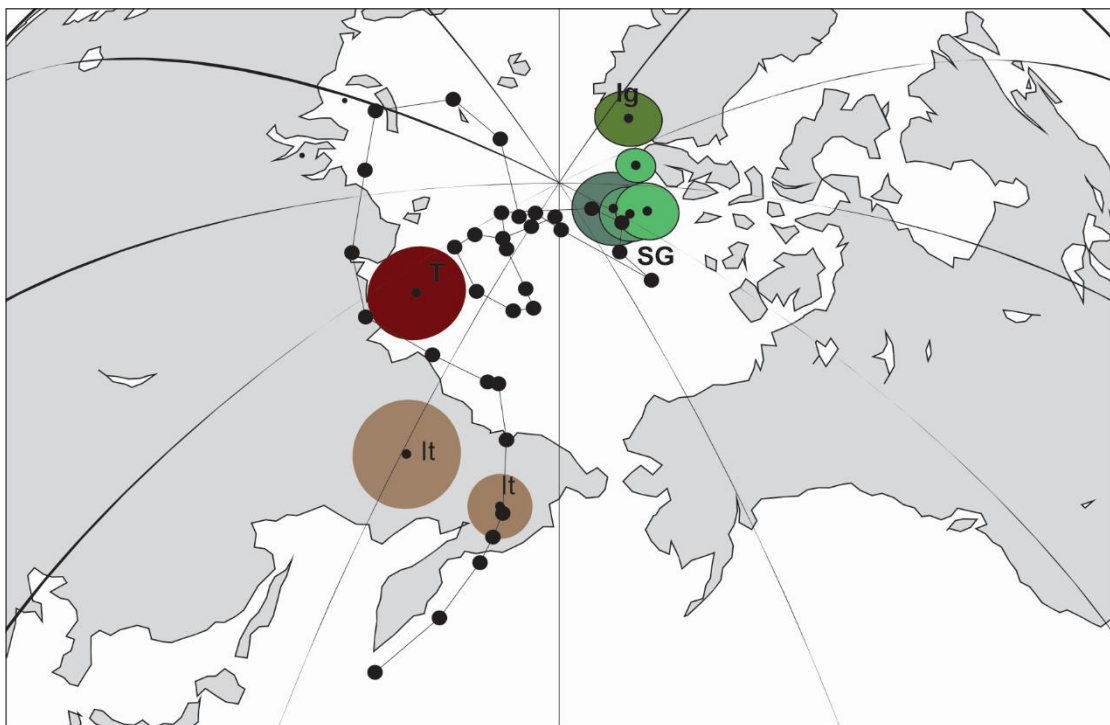
$$\tan(\text{INC}_{\text{observado}}) = f \cdot \tan(\text{INC}_{\text{campo}})$$

Onde INC é a inclinação do vetor magnético observada na amostra e inclinação campo magnético terrestre, enquanto f é o grau de erro de inclinação (King, 1955) considerado como 0,6 por Torsvik et al. (2012).

Através do *software Paleomac 6.5* os resultados foram interpretados e foi calculado o paleopolo magnético de cada unidade estratigráfica da Bacia de Lavras. Os polos obtidos foram comparados com a CMAP do Cráton do Amazonas (Figura 12), disponível na literatura, com a finalidade de datar e interpretar a evolução tectossedimentar da bacia, tendo em mente os mecanismos tectônicos sincrônicos de outras bacias de interior do Nordeste.

Para conferência e compreensão dos resultados obtidos, também foi realizada a comparação com os dados paleomagnéticos de basaltos e diabásios nordestinos do Mesozoico de Ernesto *et al.* (2003) que abrangem o Diabásio Lavras da Mangabeira, a Formação Mosquito, da Formação Sardinha e da Província Magmática Rio Ceará Mirim.

**Figura 12** – Caminho aparente do polo paleomagnético (CMAP) da placa sul-americana (cráton da Amazônia) do Carbonífero até o atual (TORSVIK *et al.*, 2012). Cada ponto do CMAP representa 10 Ma. Também representados alguns polos das unidades estratigráficas da Bacia do Paraná (ERNESTO *et al.*, 1999; BRANDT *et al.*, 2009; FRANCO *et al.*, 2012) e Iguatu (SILVA, 2018). It = Grupo Itararé; T = Formação Teresina; SG = Formação Serra Geral; Ig = Grupo Iguatu.



Fonte: Original de Giancarlo Scardia.

## CAPÍTULO IV – ANÁLISE ESTRATIGRÁFICA

### 4.1 Levantamento estratigráfico

A Bacia Lavras da Mangabeira possui cerca de 70,59 Km<sup>2</sup>, no centro-oeste do município homônimo, sudoeste do Estado do Ceará. Observou-se nos afloramentos estudados que suas sub-bacias possuem o mesmo empilhamento vertical dos pacotes sedimentares, além da mesma posição estratigráfica da camada de diabásio. Isso é um indicativo que, em um momento pretérito, as sub-bacias possuíam conexão entre si, como apenas uma bacia. É, portanto, assertivo substituir o termo sub-bacias pelo de setores, o que denota porções de uma mesma bacia, sendo eles os setores Iborepi, Riacho do Meio, Riacho do Rosário e Sítio palmeira, esse último não considerado por autores anteriores, mas agora bem distinguido na porção norte.

Os setores são separados pelo embasamento entre si, com presença de falhas, responsáveis pelos contatos tectônicos, e discordância do arenito conglomerático basal com o embasamento. A distribuição dos setores está atrelada a geologia estrutural, portanto no Tópico 4.3 serão realizadas suas descrições.

Vale destacar que as maiores espessuras encontradas nas unidades e setores da bacia, em relação aos trabalhos geofísicos de Branco *et al.* (2006) e Castro *et al.* (2006), são resultados do cálculo trigonométrico utilizando o mergulho dos acamamentos, enquanto os autores se basearam em propostas apenas geofísicas, sem considerar a geologia estrutural da bacia. Toma-se como exemplo o Setor Riacho do Meio, que através do cálculo utilizando a geologia estrutural indicou cerca 1350 m de pacote sedimentar, enquanto a gravimetria no setor apontou 700 m.

Sugere-se que parte da discrepância entre as espessuras pode ser explicada pela escolha dos parâmetros geofísicos utilizados na sondagem elétrica vertical (SEV), que balizou todo o trabalho, citados aqui apenas dois: 1) a abertura entre os eletrodos deveria ser maior para se alcançar a profundidade calculada a partir de dados geológicos e estruturais da bacia; 2) a resistividade para identificar o embasamento deveria ser maior que os 500 Ohm.m escolhidos.

O mapa geológico da bacia está representado na Figura 13, como um resultado do mapeamento e visitas a afloramentos em campo, em que foi observado a distribuição especial das formações e dos depósitos quaternários, que foram

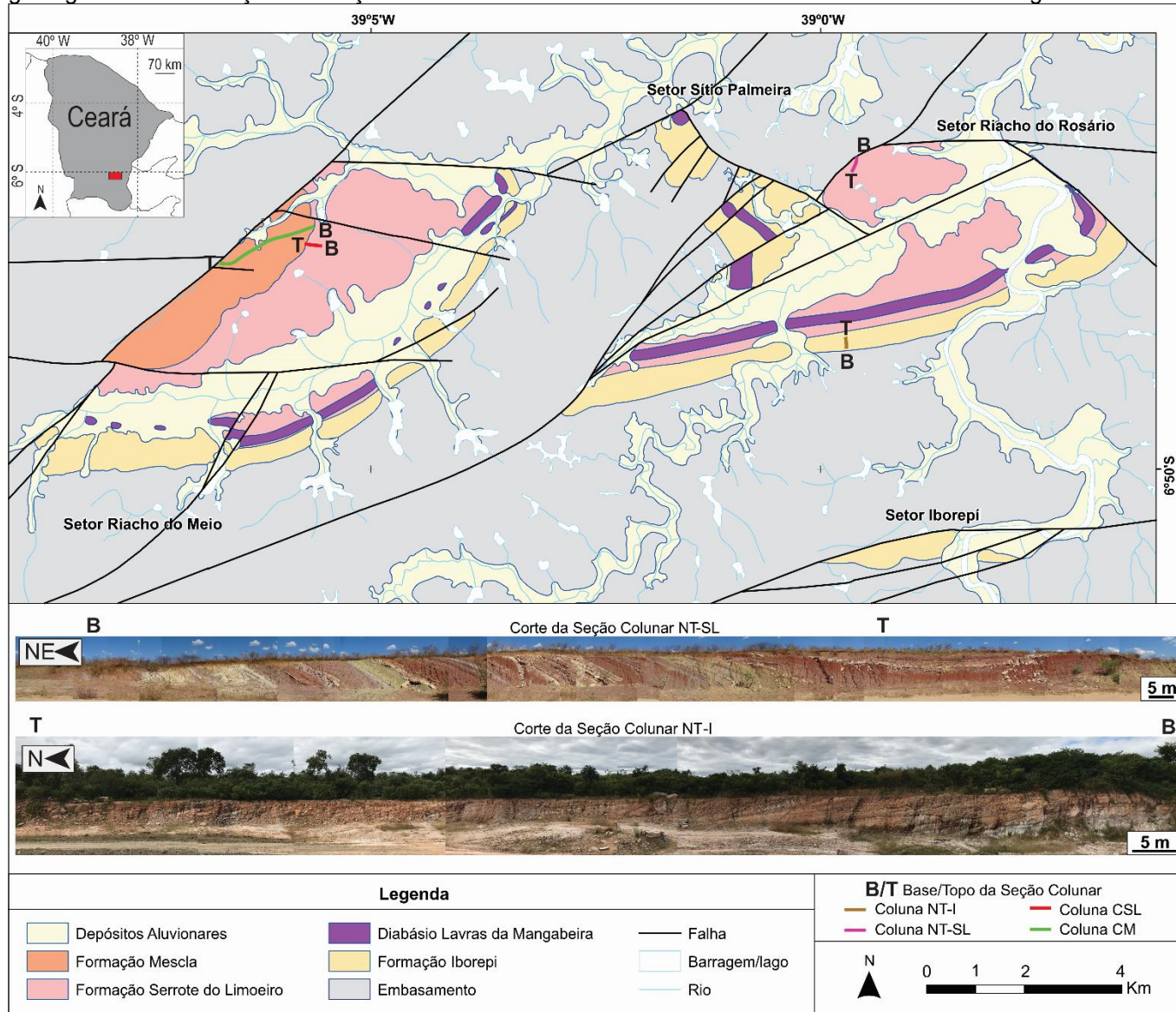
delimitados pela presença de paleomeandros dos rios contemporâneos (ver paleomeandros no anexo I).

Para a melhor individualização e compreensão das formações, foram realizados quatro levantamentos de seções colunares (Figura 13) e uma análise de fácies preliminar nos afloramentos. Ressalta-se que as feições e litologias encontradas nas colunas são representativas dos demais afloramentos das formações as quais representam.

Duas colunas foram levantadas no corte da Ferrovia Nova Transnordestina no Setor Riacho do Rosário, uma ao norte apresentando uma sinclinal com eixo E-W da Formação Serrote do Limoeiro (NT-SL) e outra ao sul apresentando camadas com mergulhos de poucos graus norte da Formação Iborepi (NT-I). As outras duas foram levantadas no Setor Riacho do Meio, uma apresentando o topo da Formação Serrote do Limoeiro (CSL) e seu contato com a Formação Mescla, uma nova formação individualizada para o setor, enquanto a outra apresenta apenas a Formação Mescla (CM), ambas com camadas mergulhando de 12 a 31 graus para NW.



Figura 13 – Mapa geológico com localização das seções colunares levantadas e foto mosaico do levantamento estratigráfico das colunas NT-I e NT-SL.



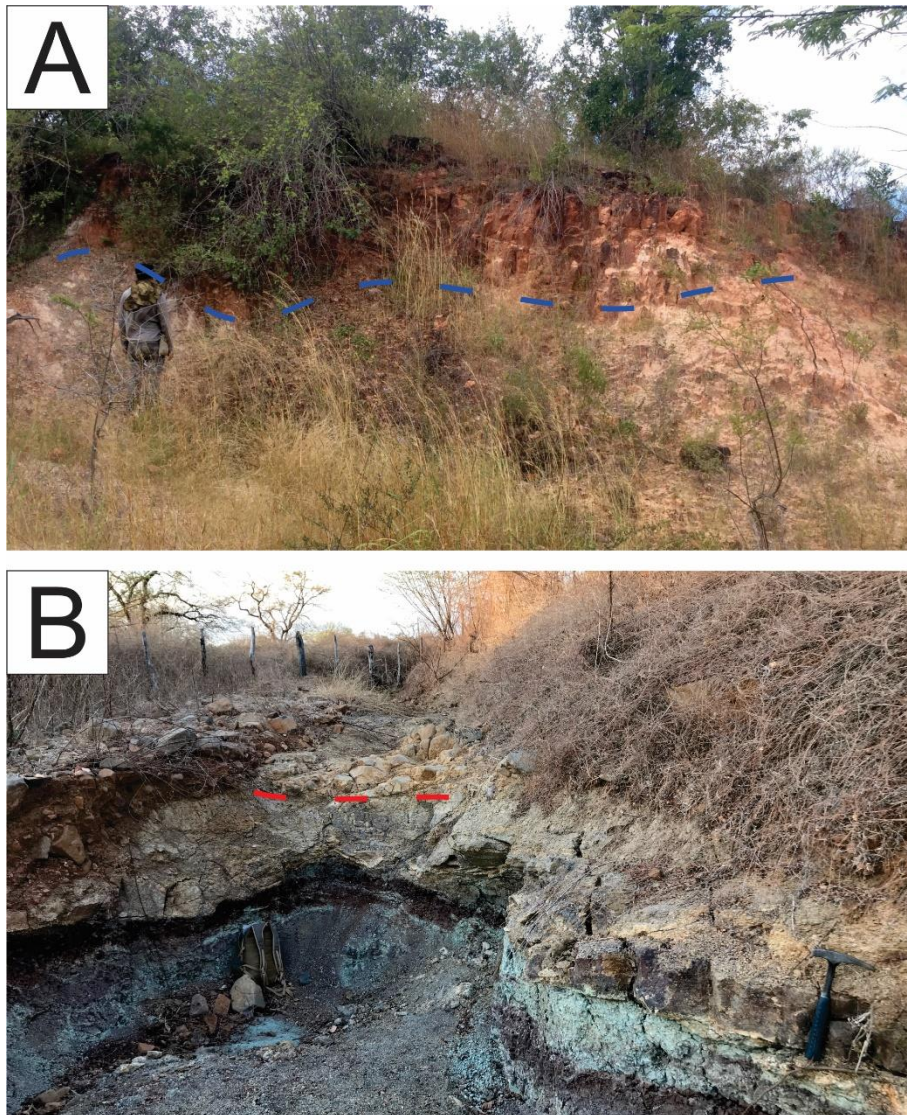
#### 4.1.1 Formação Iborepi

A Formação Iborepi é a única formação presente em todos os setores. Ela está sobre o embasamento por contato erosivo (Figura 14.A) e possui espessura média de 130 m, apesar de ter variação mesmo dentro dos setores. O contato superior é geralmente atribuído a um derrame de basalto sobre a unidade (PONTE e PONTE FILHO, 1996; VERÍSSIMO e AGUIAR, 2005; ALMEIDA *et al.*, 2007; GRANJEIRO *et al.*, 2007), porém esse contato com o Diabásio Lavras da Mangabeira é presente apenas nos setores Sítio Palmeira, noroeste do Riacho do Rosário e nordeste do Riacho do Meio, nessa última são observadas duas camadas de diabásio, uma como contato superior e outra cortando a formação.

Em campo observou-se que camadas contínuas de siltito e argilito possuem o contato concordante inferior com a Formação Iborepi e superior com o Diabásio Lavras da Mangabeira (ver pontos 6110, 6084, 6145, 6178c e 620 no Anexo II) (Figura 14.B). Essa camada tem uma afinidade litológica e deposicional muito mais semelhante com as fácies finas da Formação Serrote do Limoeiro, sem diferenças tanto acima quanto abaixo do diabásio (ver pontos 6178a, 6178b e 6178c, no Anexo II). Além disso, ao contrário da Formação Iborepi, essa camada não se expressa geomorfológicamente no relevo.

A formação constitui-se essencialmente por litologias quartzosas-feldspáticas arenosas e conglomeráticas, com a presença de lentes decimétricas descontínuas de siltitos brancos, vermelhos e cinzas e ausência de fósseis. Em geral os *set* das estratificações cruzadas geralmente são métricos e acanalados. São compostos por conglomerados polimíticos com seixos angulosos centimétricos de quartzo, fragmentos líticos metamórficos e *clay chips* na base, com granodecrescência ascendente para arenitos grossos a médios. Ressalta-se que presença de fragmentos líticos e clastos angulosos indicam uma proximidade da área fonte.

**Figura 14** – Foto A do contato erosivo (tracejado azul) da Formação Iborepi sobre o embasamento do ponto 6167. Em B contato entre a camada de siltito acima da Formação Iborepi e o Diabásio Lavras da Mangabeira do ponto 6084 marcado pelo tracejado vermelho.

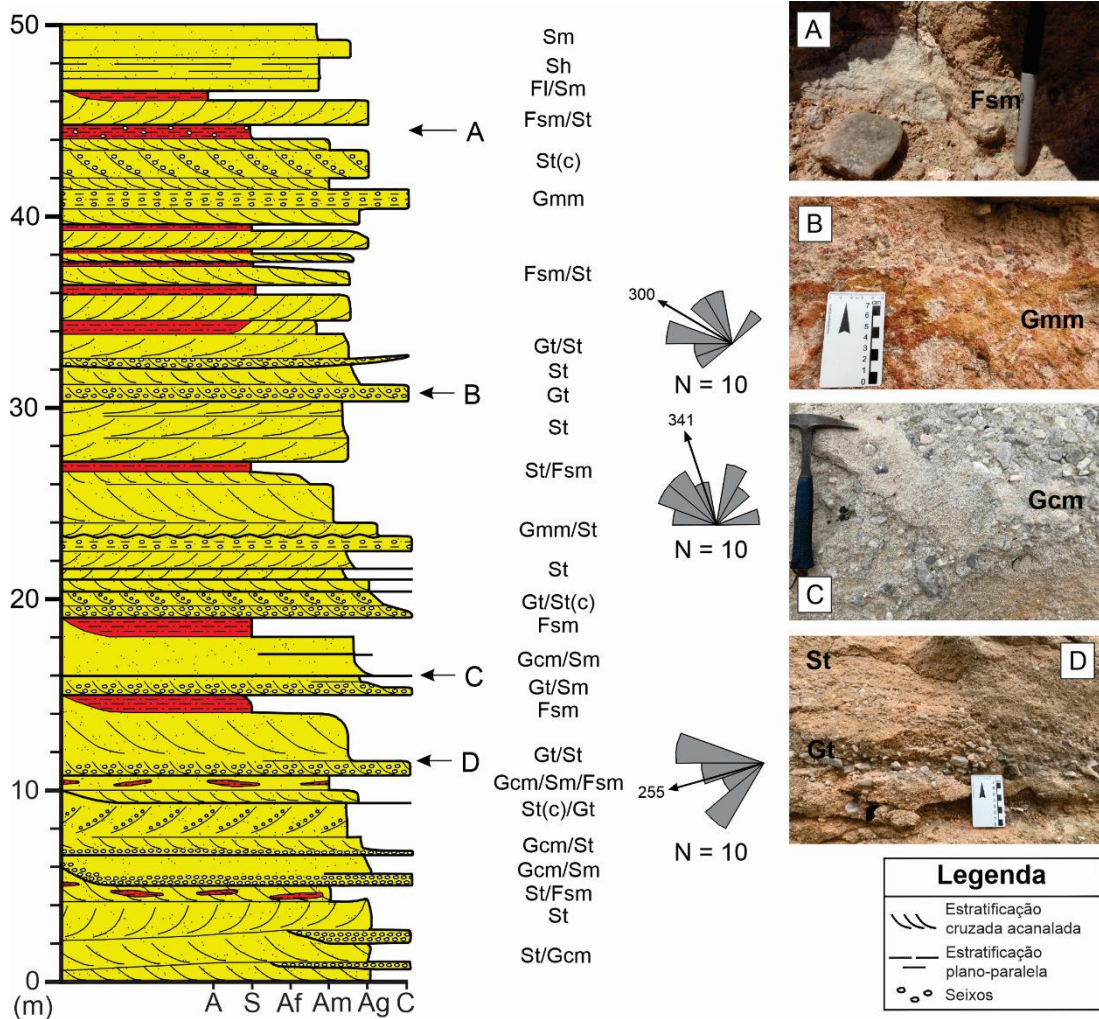


A coluna NT-I (Figura 15) apresenta sucessão de fácies de arenitos St, St(c), Sm e Sh, intercalados com siltitos Fsm e conglomerados Gt, Gmm e Gcm. As fácies Gmm encontradas na formação não apresentam as feições típicas de Miall (2006), se trata, entretanto, de um depósito de siltito arenoso maciço com clastos dispersos na matriz.

A ausência de grandes depósitos de fácies finas, alta frequência de fácies conglomeráticas e preenchimento de canais por granodecrescência ascendente sugerem à essa associação de fácies um ambiente deposicional de rio entrelaçado (MIALL, 1978). As morfologias desse tipo de rio têm como fácies: A sequência Gt, St(c), Sm e St na formação de barras e sua migração; Gcm na carga de fundo do rio,

em contatos irregulares entre as barras no talvegue do rio, em processo de arrasto; Gmm no fluxo torrencial no rio; e as lentes de Fsm nos canais abandonados cheios de água.

**Figura 15** – Seção colunar da Formação Iborepi levantada ao sul da Ferrovia Nova Transnordestina no Setor Riacho do Rosário (NT-I).



#### 4.1.2 Formação Serrote do Limoeiro

A Formação Serrote do Limoeiro está presente apenas nos setores Riacho do Meio e Riacho do Rosário. Nos dois setores a formação se encontra em contato aparentemente concordante com a Formação Iborepi, se considerarmos a camada de fácies finas abaixo do Diabásio Lavras da Mangabeira como pertencentes a Formação Serrote do Limoeiro. Conseqüentemente, sua porção inferior possui a intrusão do diabásio.

No setor Riacho do Meio, a porção superior da formação está em contato erosivo com uma camada de arenitos conglomeráticos e conglomerados que foram mapeados nos pontos 6149 (Figura 16), na coluna CSL e nos pontos de controle nas camadas ressaltadas do relevo de direção NE-SW na porção oeste do setor.

Os pacotes sedimentares, pertencentes a formação, abaixo e acima do diabásio tem espessuras médias semelhantes nos setores que se encontram, com 20 m e 800 m respectivamente.

**Figura 16** – Contato erosivo do topo da Formação Serrote do Limoeiro com arenito conglomerático observado no ponto 6149.



A constituição de suas camadas é de majoritariamente siltitos e argilitos métricos a decimétricos de coloração vermelha, roxa e cinza. Essas litologias compõem principalmente a porção basal da formação, sendo intercalada nas porções superiores por camadas de: ortoconglomerados brancos ou avermelhados com estratificação cruzada acanalada ou paralela, de set decimétricos e seixos quartzosos arredondados; arenitos quartzosos brancos ou avermelhados com estratificação cruzada, planar ou horizontal, de set métricos a decimétricos, podendo também ter *ripples*; e paleossolos carbonáticos por vezes com marcas de raiz.

A coluna NT-SL (Figura 17) apresenta fácies de sedimento fino Fm, Fsm, Fl, intercalados com arenitos finos a grossos St, Sh, Sl, Sp e Sr, com algumas camadas de conglomerados Gt, Gm e Gp e paleossolo Fr e P. Pelo preenchimento majoritário das camadas de fácies finas intercalada com fácies arenosas ou conglomeráticas, e

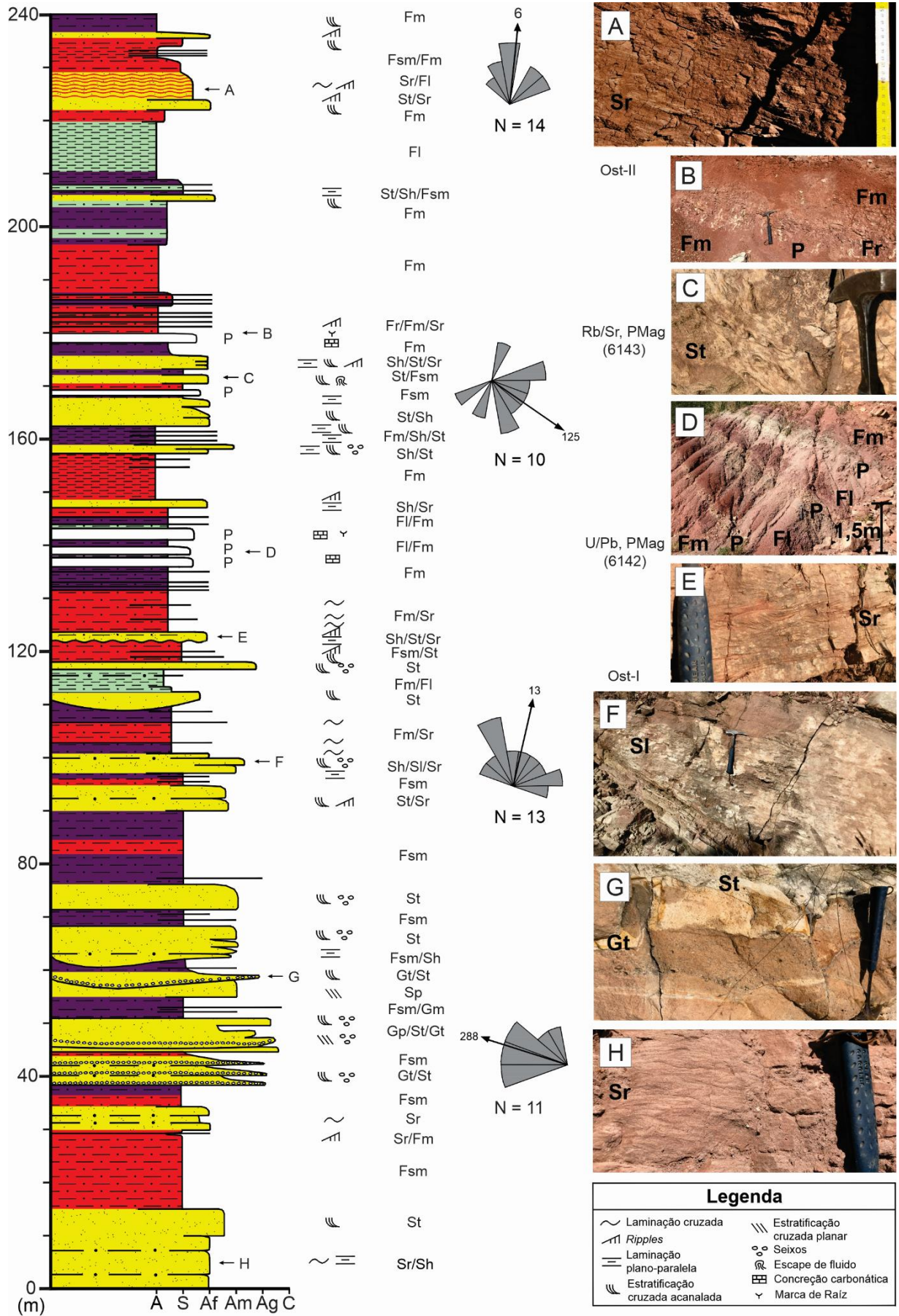
paleossolos, súbita mudança de fácies arenosas para finas, raras camadas de fácies conglomeráticas e grande variação direcional podem indicar um ambiente de rio meandrante (MIALL, 1977; MIALL, 2006).

Supõe-se que as fácies finas representem meandros abandonados ou planícies de inundação formadas por processos de decantação, as arenosas representam os sedimentos de barra em pontal. Depósitos conglomeráticos representam fluxos mais energéticos do canal.

A cor avermelhada dos sedimentos finos indica momentos de maior oxidação do ferro ( $\text{Fe}^{+3}$ ), a roxa de transição e a verde de redução ( $\text{Fe}^{+2}$ ). Turner (1980) atribui com cautela que a redução do ferro pode ser atribuída à maior saturação d'água em climas úmidos. Já a oxidação do ferro é interpretada pelo autor como um ambiente com menor coluna d'água possivelmente atrelada à climas áridos ou semiáridos e deposições efêmeras, ocorrendo em conjunto com paleossolos e concreções carbonáticas (RETALLACK, 1981), o que foi observado na NT-SL.

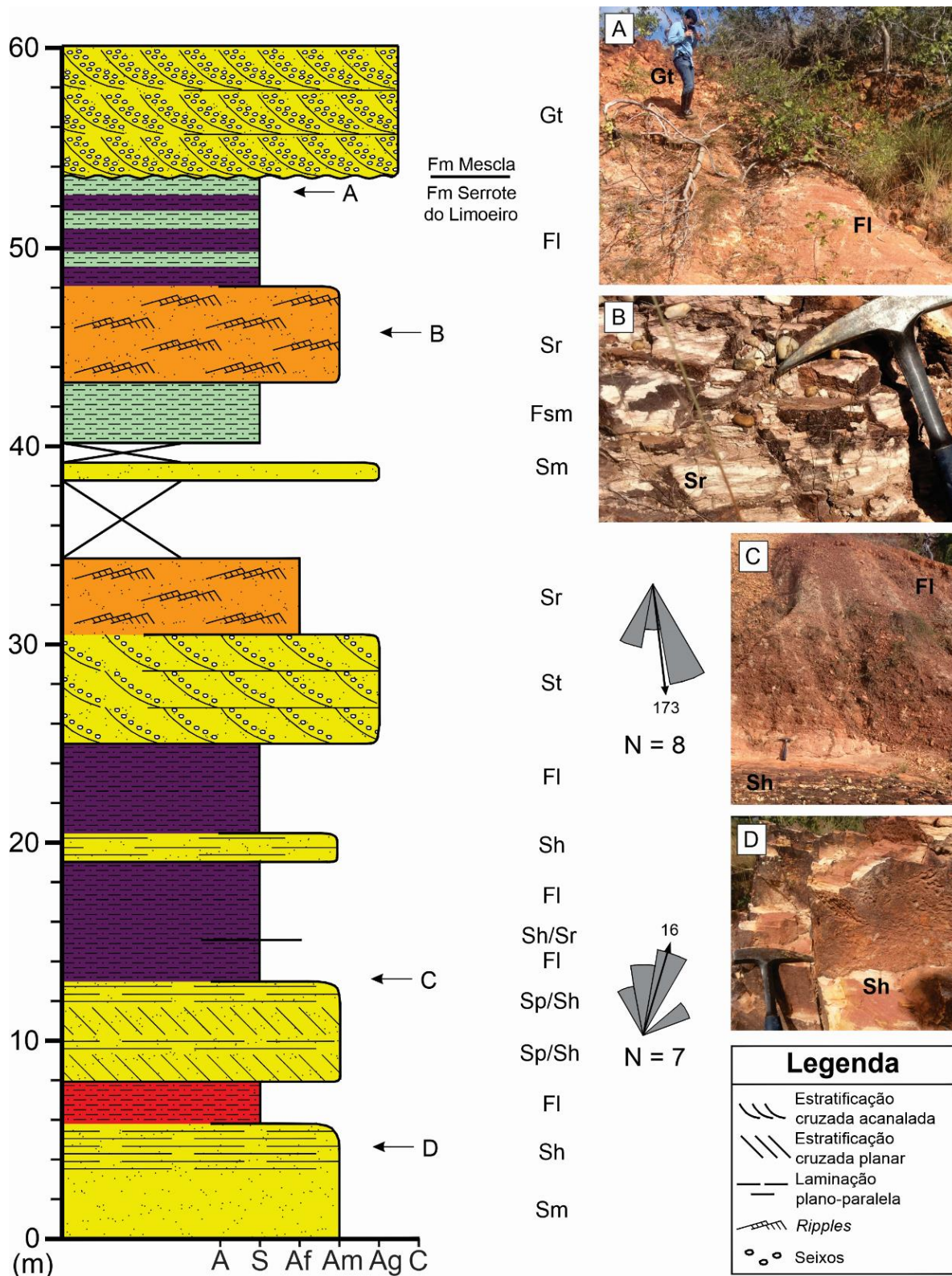
Em complementação às justificativas de mudanças de estado do ferro atreladas ao clima, Olsen (1986) e Olsen e Kent (1986) propõem em seus trabalhos que a alternância entre climas úmidos e secos estão relacionados aos ciclos astronômicos de Milankovitch, o que afeta o nível da água em bacias sedimentares, proporcionando a ciclicidade da coloração dos pacotes sedimentares, ora com ferro oxidado, ora com reduzido. Entretanto, Besley (1988) considera tal mudança de estados do ferro característica natural da subida e descida da coluna d'água numa bacia logo após a deposição do sedimento. Miall (2006) implica ser esse o principal processo da variação de cor, sendo mais desafiadora a associação à uma variação climática.

**Figura 17** – Seção colunar da Formação Serrote do Limoeiro levantada ao norte da Ferrovia Nova Transnordestina no Setor Riacho do Rosário (NT-SL).



A coluna CSL (Figura 18) apresenta uma variação de fácies semelhante a coluna NT-SL, exceto pela presença de fácies Sr muito bem selecionadas, de areia fina a média, e o contato erosivo no topo com conglomerado Gt.

**Figura 18** – Seção colunar da Formação Serrote do Limoeiro levantada no Setor Riacho do Meio (CSL), os arenitos laranjas são interpretados como eólicos.



Legenda	
	Estratificação cruzada acanalada
	Estratificação cruzada planar
	Laminação plano-paralela
	Ripples
	Seixos



Langford (1989) e Langford e Chan (1989) descreveram fácies de sistemas eólico-fluviais em climas áridos, com regimes de fortes ventos onde se formam pequenas dunas na porção externa ao canal. Nessa coluna as fácies Sr possuem excelente seleção, livre de clastos e sem mica, o que é comum de um ambiente eólico (SMITH, 1990).

O caráter conglomerático acima das fácies finas indica um sistema deposicional diferente e mapeável em todo o Setor Riacho do Meio, o que concebeu a criação de uma nova formação para a bacia, a Formação Mescla.

Apesar de não haver uma coluna levantada na porção basal da Formação Serrote do Limoeiro, próximo a intrusão do Diabásio Lavras da Mangabeira, a presença de apenas fácies finas sugere um ambiente deposicional de um lago razoavelmente raso, pois a intercalação de coloração vermelha, roxa e cinza dos sedimentos, indicam momentos de oxidação e redução do óxido de ferro, relacionado à variação da coluna d'água.

#### *4.1.3 Formação Mescla*

A Formação Mescla está presente apenas no Setor Riacho do Meio próximo da Falha da Mescla, com espessura média de 350 m. O contato inferior é erosivo, com a presença de siltitos e argilitos da Formação Serrote do Limoeiro.

Suas camadas sobressaem no relevo, facilmente detectadas em imagens de satélite, com orientação NE-SW.

Arenitos conglomeráticos e conglomerados quartzosos com muscovita constituem majoritariamente a formação, se encontrando com dobramento convoluto, fraturados e com veios de quartzo próximos a Falha da Mescla (Figura 19). Essas camadas são intercaladas por pacotes de siltitos avermelhados.

A deformação nessa formação poderia estar relacionada à falha de direção 50° NE, que separa o Setor Riacho do Meio do embasamento, por sua proximidade à estrutura e pela Sn marcada pelas fraturas possuir direção modal N30E, subparalela à direção da falha.

A coluna CM (Figura 20) apresenta fácies de arenitos finos a grossos St(c), St e Sm, silicificados, deformados no topo e com veios de quartzo, intercalados com camadas de pelitos Fl.

Essa coluna demonstra a diferença entre a Formação Serrote do Limoeiro, de litofácies finas e arenosas de rio meandrante e planície de inundação, e a Formação Mescla, majoritariamente de litofácies arenosas médias a grossas semelhantes à Formação Iborepi, contudo menos cascalhoso. Essa associação sugere à Formação Mescla ambiente deposicional de rio entrelaçado, afirmação essa que não é confirmada, pela ausência de observação de arquiteturas laterais e poucos pontos estudados.

**Figura 19** – Fotos mostrando em A veios de quartzo preenchendo fraturas e clivagens (representados pelo traçado vermelho) e o bandamento original (representado pelo traçado verde), no ponto 6187. Em B veios de quartzo estruturados, também no ponto 6187. Em C dobras convolutas presentes num afloramento de 4 m de altura de arenitos St(c), no ponto 6188.

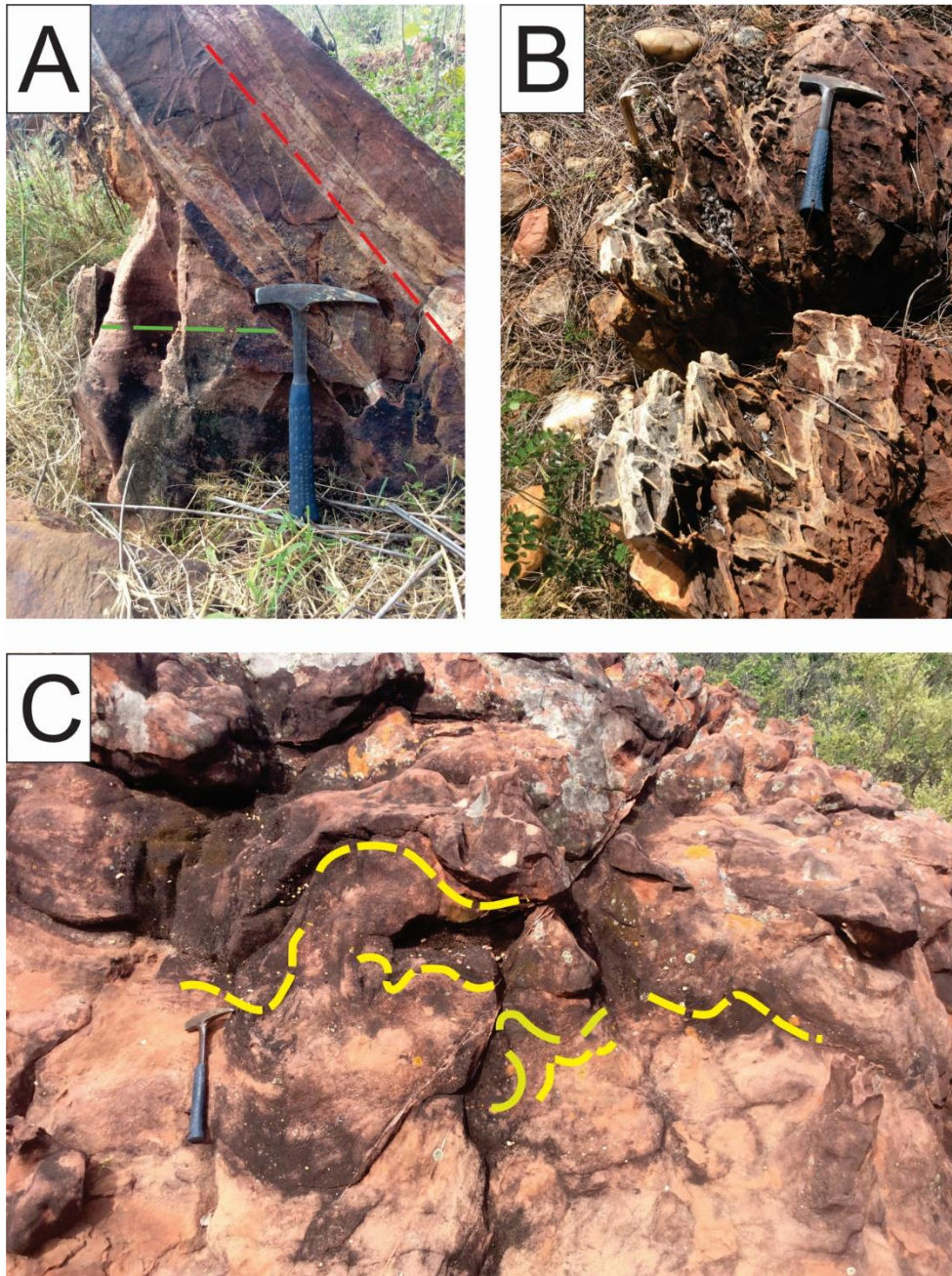
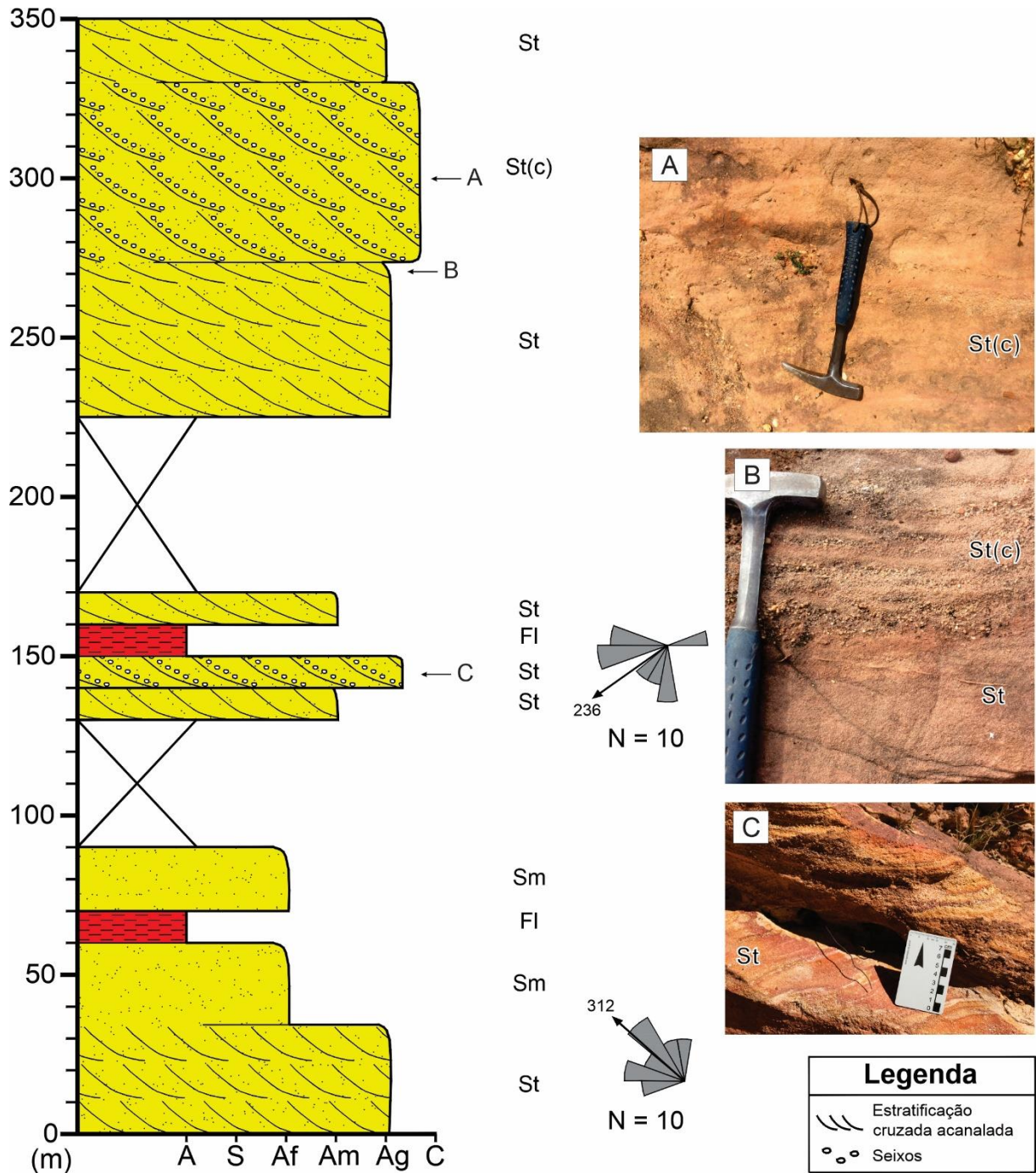


Figura 20 – Seção colunar da Formação Mescla levantada no Setor Riacho do Meio (CM).

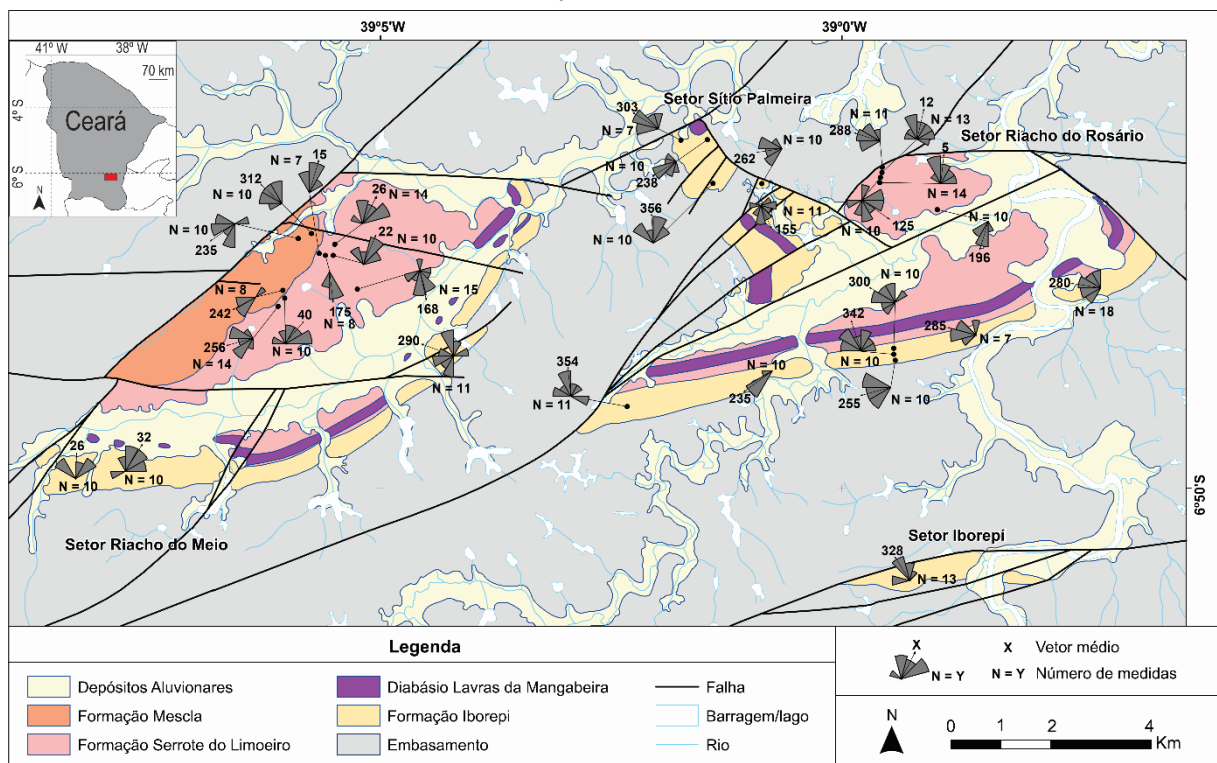


## 4.2 Paleocorrentes

As estações de medidas de paleocorrentes, devidamente corrigidas pela rotação das camadas até sua posição estimada como original, resultaram em diferentes direções de fluxos entre as unidades (Figura 21), em que:

- Os arenitos St, St(c) e conglomerados Gt da Formação Iborepi apresentaram vetor médio para NW, com valores para SW e NE e raramente SE, sem muitas diferenças entre os setores, o que indica uma área fonte de SE;
- Os arenitos St, Sp e Sl da Formação Serrote do Limoeiro possuem nenhuma direção média muito bem definida, já que as estações apresentam valores muito diferentes entre si, intercalando vetores médios ao subir na estratigrafia de S para NW. Entretanto na coluna NT-SL o fluxo médio é de NE, com valores entre NW e SE e raramente SW, indicando área fonte de SW;
- Os arenitos St e St(c) da Formação Mescla possuem fluxo médio para NW, com valores para SW e NE, o que indica uma área fonte de SE.

**Figura 21** – Mapa geológico da bacia com as estações de medidas de paleocorrentes e seus produtos.



A direção média das paleocorrentes da Formação Iborepi é similar à de unidades de outras bacias do interior do Nordeste com idade paleozoica, arenoconglomeráticas, e afossilíferas, como das formações Cariri da Bacia do Araripe, no Ordoviciano Superior-Devoniano Inferior (ASSINE, 2007) e Tacaratu, Bacia Jatobá, de idade siluro-devoniana (COSTA *et al.*, 2007).

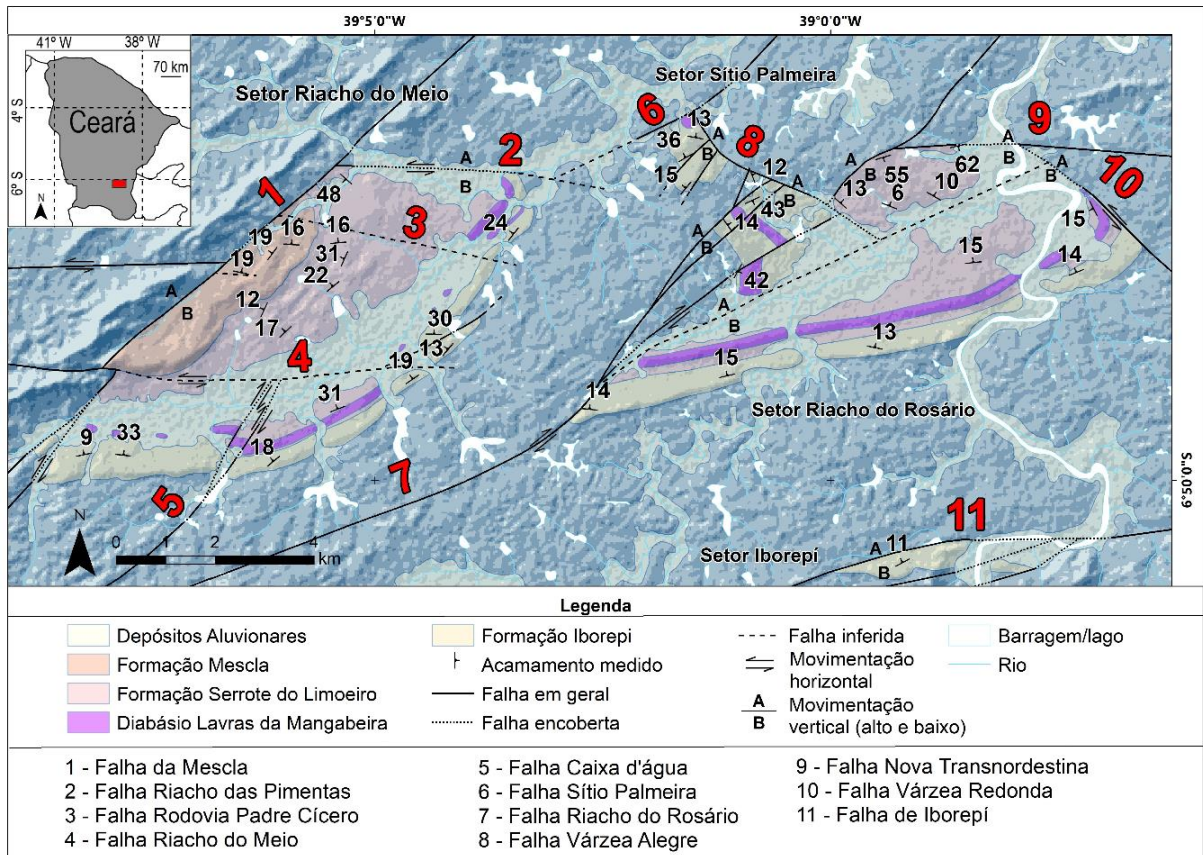
### **4.3 Geologia Estrutural**

Na Bacia de Lavras da Mangabeira há mudanças súbitas tanto na atitude das camadas, quanto no contato entre as formações ou delas com o embasamento, o que evidenciou a presença de diversas falhas na bacia. Somado a isso, os traços estruturais das rochas da Província do Borborema, na proximidade da bacia, são facilmente discerníveis no modelo digital de terreno. Essas informações proporcionaram a definição de onze estruturas de maior relevância na bacia (Figura 22).

As estruturas predominantes, ao que tudo indica, são rúpteis e subverticais que deformam e basculam os setores, além de fragmentá-los em blocos e os colocarem em contato tectônico com o embasamento. Apesar de não se encontrar indicadores cinemáticos, a existência de blocos altos de rochas e baixos da bacia evidencia uma componente vertical associada a essas estruturas.

Mesmo com suas semelhanças, cada setor possui características estruturais particulares e conseqüentemente são tratados de forma individualizada.

**Figura 22** – Modelo digital de terreno (*Hillshade*) sem sobrelevação sobreposto pelo mapa geológico da bacia com 50% de transparência. Os números em vermelho indicam a nomenclatura escolhida para as falhas principais.



#### 4.3.1 Setor Riacho do Rosário

O Setor Riacho do Rosário possui uma área de 31,44 km<sup>2</sup>, na porção leste da região de estudo, possui em grande parte contatos tectônicos com o embasamento exceto na sua porção sul, onde é observada a discordância litológica, e apresenta as unidades a Formação Iborepi, a Formação Serrote do Limoeiro e o Diabásio Lavras da Mangabeira, parcialmente encobertos pelos depósitos quaternários do Rio Salgado e Riacho do Rosário. Sua espessura máxima é de aproximadamente 720 m.

Esse setor é fragmentado em diversos blocos pela Falha Riacho do Rosário, a qual também separa o embasamento a noroeste do setor. Essa estrutura, aparentemente subvertical com componente normal e transcorrente dextral, possui direção principalmente NE e abre em uma estrutura de flor ou rabo de cavalo gerando os vários blocos ao aproximar da Falha Várzea Alegre, essa separando o embasamento da bacia.

Os quatro pequenos blocos a oeste, formados pela estrutura de rabo de cavalo, possuem direção do mergulho das camadas NNW em sua porção meridional e representam a parte basal da bacia, justificado pela presença de litologias conglomeráticas pertencentes à Formação Iborepi.

Com exceção do menor a noroeste, os pequenos blocos possuem a presença de diabásio cortando os sedimentos na direção NW. Poucos afloramentos-chave a norte dessa camada foram descritos e nenhum pertencente a Formação Serrote do Limoeiro, porém no ponto 6134, 6136 e 6156 foram observados afloramentos da Formação Iborepi, com acamamento de atitude SE. Essa direção das camadas trunca com a camada NW-SE de diabásio, o que torna dúbia a posição horizontal do Diabásio Lavras da Mangabeira nesses blocos, sugerindo se trate nesse lugar de um dique segmentado pelas falhas.

Fora desses pequenos blocos, o Setor Riacho do Rosário é dividido também pela Falha Riacho do Rosário em dois blocos estruturais, um ao sul e outro a norte. Ambos têm camadas com direção entre NE com mergulho de 6 a 15 graus, com exceção nas porções próximas as falhas.

A Falha Nova Transnordestina é uma estrutura subvertical com componente normal, que coloca em contato tectônico a Formação Serrote do Limoeiro com o embasamento. As camadas sedimentares, próximas a estrutura, apresentam mergulho na direção oposta do embasamento de 50 a 60 graus (para SE), como observado nas camadas verticalizadas observadas no ponto 6203 (Figura 23) e na dobra de arrasto no levantamento estratigráfico NT-SL.

**Figura 23** – Foto mostrando camadas verticalizadas (traço em vermelho) próximas ao embasamento ao norte do Setor Riacho do Rosário no ponto 6203.



A leste do setor é observada, em macro escala, uma dobra de arrasto na camada de diabásio que sugere um movimento sinistral para a Falha Várzea Redonda. Tal afirmação é evidenciada no ponto 6201 em camadas da Formação Serrote do Limoeiro que mergulham para SW.

#### 4.3.2 Setor Riacho do Meio

O Setor Riacho do Meio possui uma área de 35,89 km<sup>2</sup>, se localiza porção oeste da região de estudo, possui contatos tectônicos com o embasamento nas porções norte e oeste, com discordância litológica a sul e leste. Esse setor apresenta todas as unidades litoestratigráficas da bacia (Formação Iborepi, Formação Serrote do Limoeiro, Diabásio Lavras da Mangabeira e Formação Mescla), que são recobertas no pelos depósitos quaternários do Riacho do Meio e Riacho das Pimentas. Sua espessura máxima é de aproximadamente 1.350 m, o setor mais espesso.

Em geral, no Setor Riacho do Meio as camadas mergulham em direções entre N e WNW com inclinação média de 20 graus. O setor possui contato tectônico a oeste pela Falha da Mescla e a norte pela Falha Riacho das Pimentas, enquanto ao sul e leste possui contato basal discordante.

Duas falhas E-W, transcorrentes sinistrais com componente normal, são responsáveis de separar o setor em três grandes blocos em padrão escalonado, a mais ao norte Falha Rodovia Padre Cícero e ao sul Falha Riacho do Meio.

A Falha Rodovia Padre Cícero, a que tudo indica, provoca o deslocamento entre as camadas principais de diabásio ao sul e norte da falha de aproximadamente 130 metros, o que revela um possível movimento dextral dos blocos central e norte desse setor. A atitude da Formação Mescla e da Formação Serrote do Limoeiro em proximidade sul possui mergulho para N com inclinação de 16 graus, atitude que ocorre somente nessa porção do bloco central. Entretanto, a pouca informação e evidências não indicam qualquer movimento vertical entre os blocos.

A Falha Riacho do Meio desloca o sul da Falha da Mescla em 250 metros em um movimento sinistral, porém não é observada em outras feições da bacia, sendo classificada em sua maior parte como falha inferida. Todavia, no oeste do setor o contato tectônico entre a Formação Iborepi e o embasamento, com a presença de fraturas NE-SW a E-W, evidenciou uma ramificação com *trend* NE-SW (Figura 24).



**Figura 24** – Foto do ponto 6169 com fraturas de direção entre E-W a NE-SW indicados pelos tracejados.



No bloco ao sul foi verificado o movimento dextral deslocando em 200 m a camada de diabásio, além de mudar sua direção de E-W a oeste para NE-SW a leste. Esse bloco é fragmentado em três menores pelas duas ramificações da Falha Caixa D'água.

#### *4.3.3 Setor Iborepi*

O Setor Iborepi possui uma área de 2,11 km<sup>2</sup> e está localizado na porção sul da região de estudo. O setor possui contatos tectônicos com o embasamento na porção norte e discordância litológica a sul. Apenas a Formação Iborepi está presente, encoberta parcialmente pelos depósitos quaternários do Rio Salgado. Sua espessura máxima é cerca de 100 m.

As camadas do Setor Iborepi mergulham entre NNW e N. A separação com o embasamento na porção norte do setor é pela Falha de Iborepi de direção E-W, enquanto na porção sul há o contato erosivo entre a Formação Iborepi e o embasamento.

#### *4.3.4 Setor Sítio Palmeira*

O Setor Sítio Palmeira possui uma área de 1,15 km<sup>2</sup>, o menor de todos. Está localizado na porção norte da região de estudo, possui contatos tectônicos com o embasamento nas porções noroeste e nordeste, com discordância litológica a

sudoeste e sudeste. Apenas a Formação Iborepi e o Diabásio Lavras da Mangabeira estão presentes no setor. Devido à grande presença de falhas e variação da atitude das camadas, não foi possível mensurar a espessura do setor.

Seu acamamento possui mergulho entre NW e N. É delimitado pela Falha Sítio Palmeira, de direção NE, que separa o setor do embasamento a oeste, enquanto a Falha Várzea Alegre, de direção NW, faz o contato tectônico a leste. Além disso, foram observados lineamentos tectônicos NE do embasamento que adentram o setor, fragmentando-o em três pequenos blocos. Apesar dos contatos tectônicos o setor possui contato erosivo entre a Formação Iborepi e o embasamento na porção sudoeste, como observado no ponto 6167.

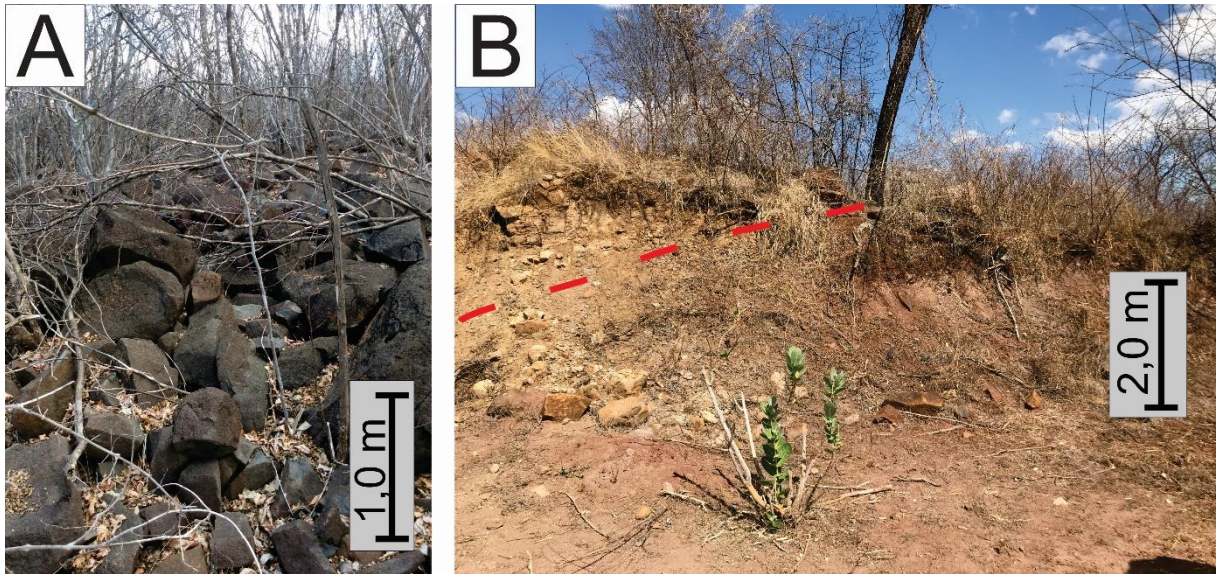
#### **4.4 Diabásio Lavras da Mangabeira**

O Diabásio Lavras da Mangabeira é encontrado nos setores Riacho do Meio, Riacho do Rosário e Sítio Palmeira. Suas camadas possuem uma espessura de aproximadamente 50 m, exceto no Setor Sítio Palmeira, onde não foi possível verificar um corpo tabular. Geomorfologicamente a unidade é caracterizada por pequenos morros orientados na direção NE-SW e raramente NW-SE.

Grande parte dos afloramentos descritos dessa unidade consistem em blocos e matacões (Figura 25.A), além de estarem presentes no substrato e em cortes de estrada. Muitas vezes era possível ver blocos de tamanhos métricos sofrendo esfoliação esferoidal dentre o solo.

Na Figura 25.B também é possível observar que a camada de diabásio possui uma concordância com o mergulho dos sedimentos finos abaixo.

**Figura 25** – Fotos dos afloramentos do Diabásio de Lavras da Mangabeira. Em A blocos e matações de diabásio no ponto 6135. Em B afloramento no corte na estrada de terra onde é possível observar a concordância entre o mergulho da camada de diabásio (acima da linha tracejada) e da Formação Serrote do Limoeiro (abaixo da linha tracejada), no ponto 6110.

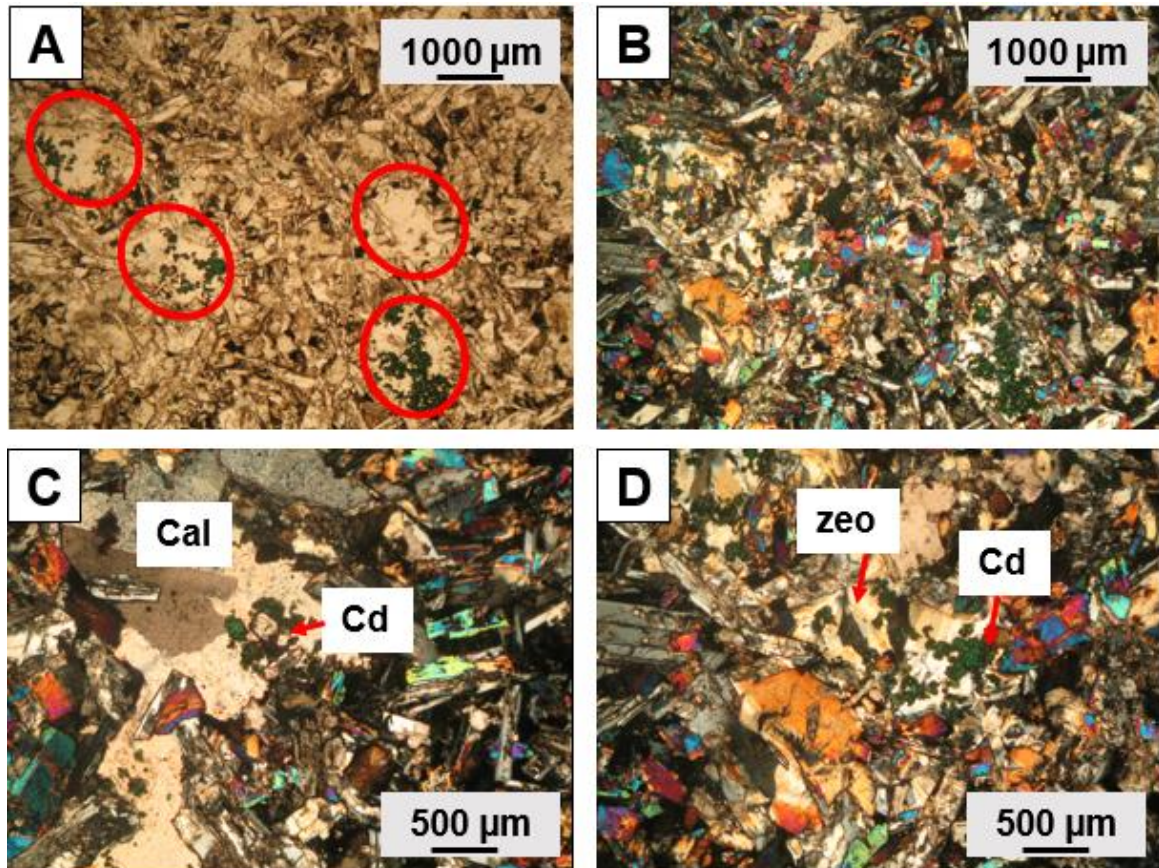


O diabásio em análise microscópica apresentou estrutura isotrópica, holocristalina e equigranular, com textura intergranular e vesicular (Figura 26.A e B). A granulação é majoritariamente fina (0-1 mm) com a presença de alguns plagioclásios médios (1-3 mm), o que pode ser observado pelos histogramas da Figura 27.

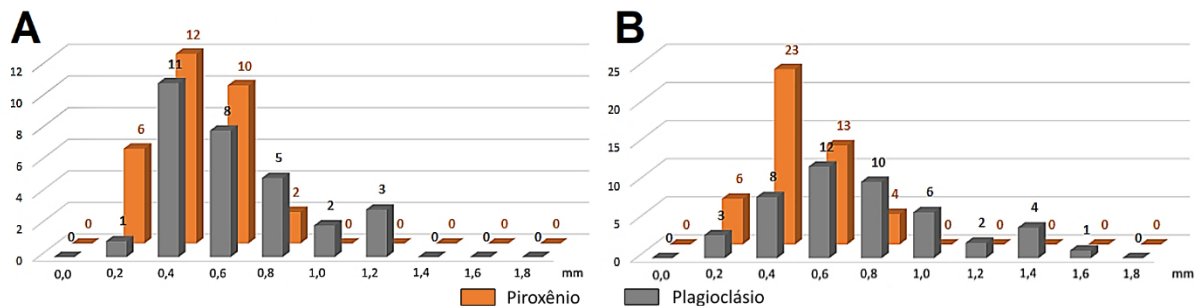
As vesículas representam 9% da rocha e possuem bordas irregulares de tamanho médio de 0,9 mm geralmente preenchidas de cristais anedrais de celadonita, zeólita, calcita e às vezes quartzo (Figura 26.C e D).

**Figura 26** – Fotomicrografia da lâmina petrográfica da unidade Diabásio Lavras da Mangabeira do afloramento 6089. Em A têm-se a visão geral da rocha onde os polarizadores estão descruzados, círculos vermelhos indicam as vesículas com celadonita (verde escuro) e zeólitas (incolor de relevo baixo), e em B, com polarizadores cruzados, vê-se os plagioclásios que tem baixa cor de interferência (cinza) e os piroxênios de cor de interferência laranja, azul e verde de primeira a segunda ordem.

Ambas fotografadas com lente de aumento 2,5x e zoom da câmera de 4x. Com polarizadores cruzados em C vê-se vesículas preenchidas por calcita (Cal) e celadonita (Cd) e em D preenchidas por zeólita (zeo) e celadonita. Ambas fotografadas com lente de aumento 5x e zoom da câmera de 4x.

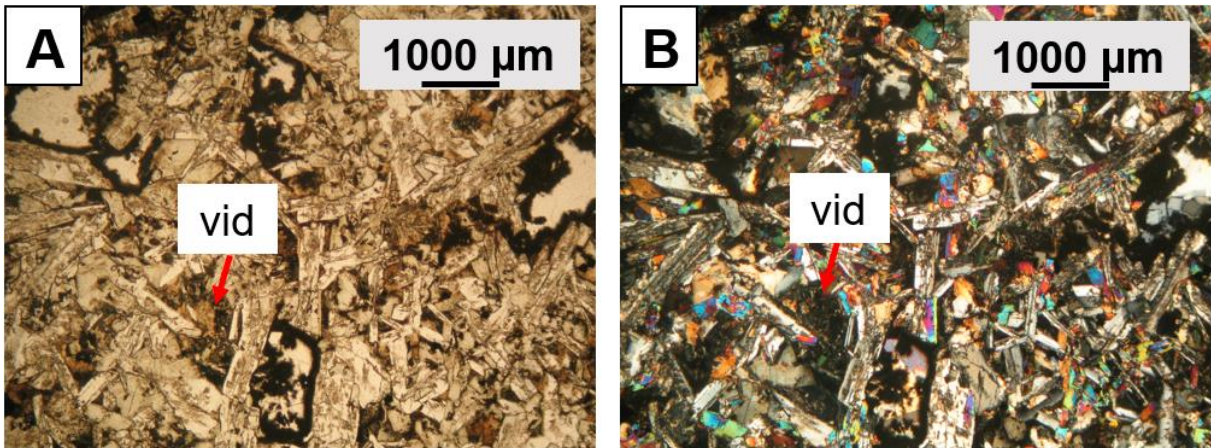


**Figura 27** – Histogramas das granulações dos piroxênios e plagioclásios das lâminas petrográficas dos afloramentos, com a moda entre 0,4 e 0,6 mm (granulação fina). Em A 6089 e B 6110.



A composição modal da rocha, sem as vesículas, é de cristais subeudrais de 50% plagioclásios (andesina/labradorita) e 40 % clinopiroxênios (augita/pigeonita), ambos com contatos retilíneos a irregulares e alteração moderada para argilominerais. Há ainda 6% de vidro intersticial de cor amarronzada (Figura 28) e 4% de magnetita.

**Figura 28** – Fotomicrografia da lâmina petrográfica da unidade Diabásio Lavras da Mangabeira do afloramento 6110. Em A com os polarizadores descruzados indica-se o vidro intersticial (vid), além da visualização da textura das vesículas (com relevo baixo) e em B com polarizadores cruzados vê-se, além do vidro, plagioclásios que tem baixa cor de interferência (cinza) e os piroxênios de cor de interferência laranja, azul e verde de primeira a segunda ordem. Ambas fotografadas com lente de aumento 2,5x e zoom da câmera de 4x.



#### 4.4.1 Discussão de sua ocorrência

A análise petrográfica classifica do Diabásio de Lavras da Mangabeira como uma rocha básica de textura fina com alguns grãos médios, vesicular e com a presença de vidro vulcânico, o que se esperaria de um derrame basáltico, o que vai ao encontro das descrições da literatura (PRIEM *et al.*, 1978; PONTE *et al.*, 1990) PONTE e PONTE FILHO, 1994; ERNESTO *et al.*, 2003; GRANJEIRO, 2007).

Porém é importante salientar que a granulação e textura não são confiáveis para classificação, apesar de no passado basalto ser definido por textura fina e vítrea e diabásio por textura média, e que a melhor maneira é pelo modo de ocorrência. Gill (2011) exemplifica isso pela presença de granulação fina e vítrea nas bordas de soleiras e grossas na porção central de um derrame basáltico.

O corpo ígneo aqui possui cerca de 50 m de espessura nos dois maiores setores, muito mais do que os 8 a 10 m descritos por Priem *et al.* (1978) e Ponte e Ponte Filho (1994), o que torna possível tanto granulação maior, quanto menor. Desse modo, a petrografia deixa em aberto a questão.

O posicionamento do Diabásio de Lavras da Mangabeira e sua relação com as unidades sedimentares sugerem uma intrusão magmática, em que:

- A presença contínua de litofácies finas (argilitos e siltitos) da Formação Serrote do Limoeiro tanto acima quanto abaixo da unidade, sem mudança litológica ou ambiente deposicional, o contrário do que é esperado após um derrame

basáltico, indica que o corpo ígneo se assemelha mais como uma soleira (pontos abaixo do diabásio: Ponto de Controle-131, Ponto de Controle-62, 6178C e 6201; pontos acima do diabásio: Ponto de Controle-267, 6141, 6154 e 6179);

- A falta de evidências de paleossolo e discordância erosiva no contato superior do Diabásio Lavras da Mangabeira com a Formação Serrote do limoeiro, apontam que o corpo ígneo é posterior a deposição dos sedimentos da formação;
- O corpo ígneo que corta na direção NW as camadas de arenitos conglomeráticos brancos pertencentes a Formação Iborepi no bloco mais a noroeste do Setor Riacho do Rosário (Ponto 6136), se assemelha a um dique por não possuir concordância estratigráfica;
- A ausência das fácies finas e outras feições que demonstram certa concordância entre as camadas sedimentares e o diabásio no Setor Sítio Palmeira, torna possível a interpretação semelhante à anterior, como um dique, porém de maneira menos clara;
- A existência de duas diferentes camadas de diabásio separadas por uma camada de arenitos conglomeráticos da Formação Iborepi na porção nordeste do Setor Riacho do Meio, indica que localmente diferentes patamares tiveram a entrada de magma básico (pontos de Controle 188 ao 192 e 271 ao 274).

Em suma, o modo de ocorrência do Diabásio Lavras da Mangabeira aproxima-se menos de um derrame basáltico e mais de soleiras, nos setores Riacho do Meio e Riacho do Rosário, e diques, nos conjuntos de pequenos blocos a oeste do Setor Riacho do Rosário e no Setor Sítio Palmeira.

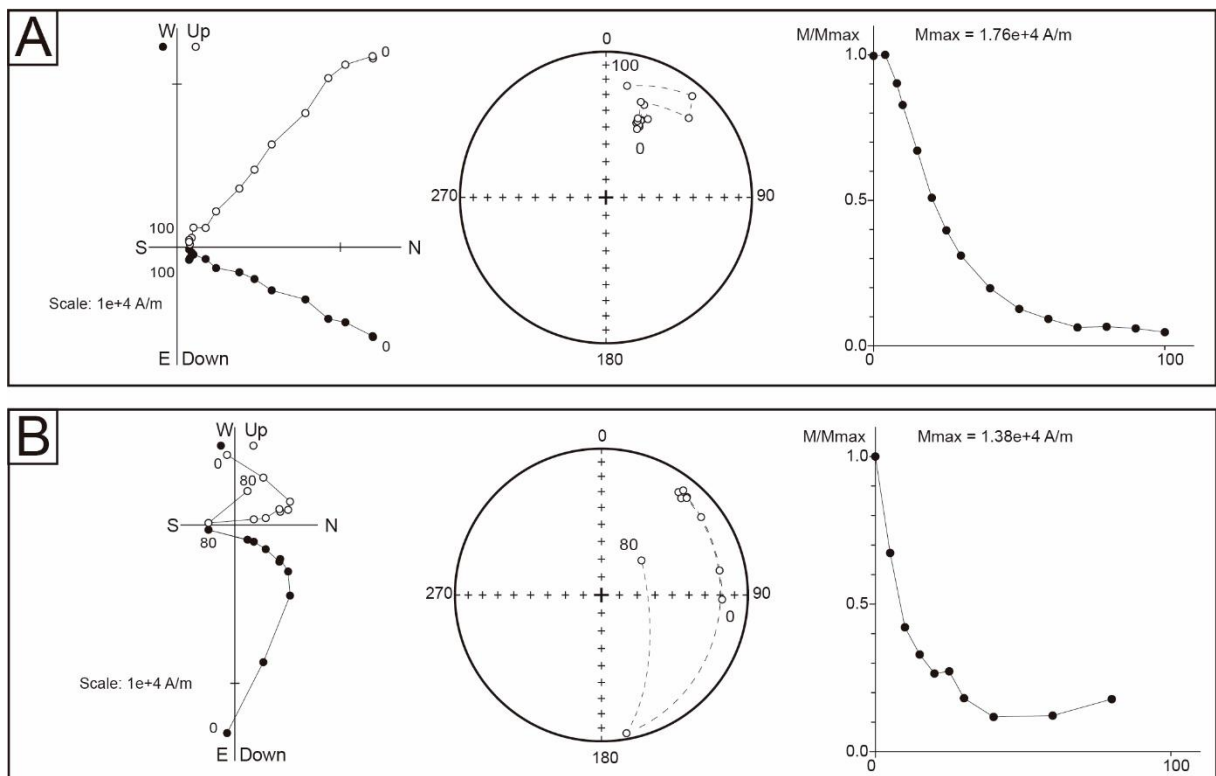
## CAPÍTULO V – ANÁLISE PALEOMAGNÉTICA

### 5.1 – Resultados

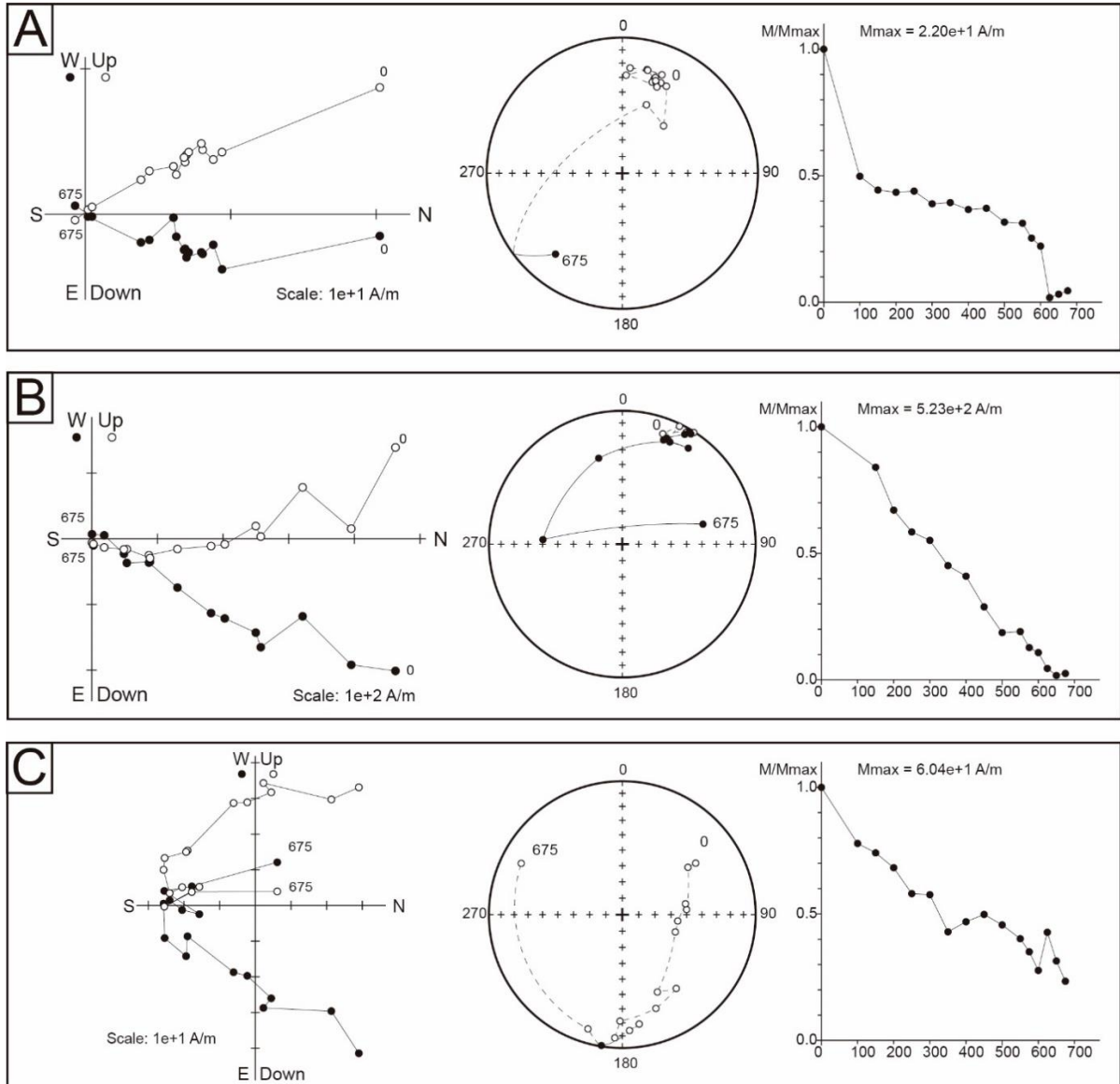
Os sinais paleomagnéticos da Formação Iborepi, do topo da Formação Serrote do Limoeiro, da Formação Mescla e do Diabásio Lavras da Mangabeira apresentaram excelentes resultados, podendo facilmente discernir as componentes primárias de declinação, inclinação e intensidade. Entretanto, a base da Formação Serrote do Limoeiro e a camada de basalto a leste do Setor Riacho do Rosário possuem sinais muito aleatórios e imprecisos.

Algumas amostras de diabásio apresentaram apenas componentes primárias (Figura 29.A), enquanto outras foram interpretadas por círculos de remagnetização (Figura 29.B). Já as amostras das unidades sedimentares apresentaram componentes primárias (Figura 30.A) e/ou secundárias (Figura 30.B), com algumas possuindo o círculo de remagnetização (Figura 30.C).

**Figura 29** – Produtos das análises paleomagnéticas no laboratório UNESPMag plotados com correção estrutural no diagrama de Zijderveld (esquerda), estereograma (centro) e momento magnético pelas etapas (direita), produzidos no Paleomac 6,5. Em A amostra 6139A que possui apenas o vetor primário. Em B amostra 6146G e seu vetor secundário das primeiras etapas e vetor primário subsequente, onde no estereograma se pode observar o círculo de remagnetização excluindo a etapa 80 mT.



**Figura 30** – Produtos das análises paleomagnéticas no laboratório USPMag plotados com correção estrutural no diagrama de **Zijderveld** (esquerda), estereograma (centro) e momento magnético pelas etapas (direita). Em A amostra 6111AB que possui apenas o vetor primário. Em B a amostra 6083B e seu vetor secundário das primeiras etapas e vetor primário subsequente. Em C a amostra 6081B semelhante ao B, mas no estereograma se pode observar o círculo de remagnetização excluindo as etapas 675 e 650°C.

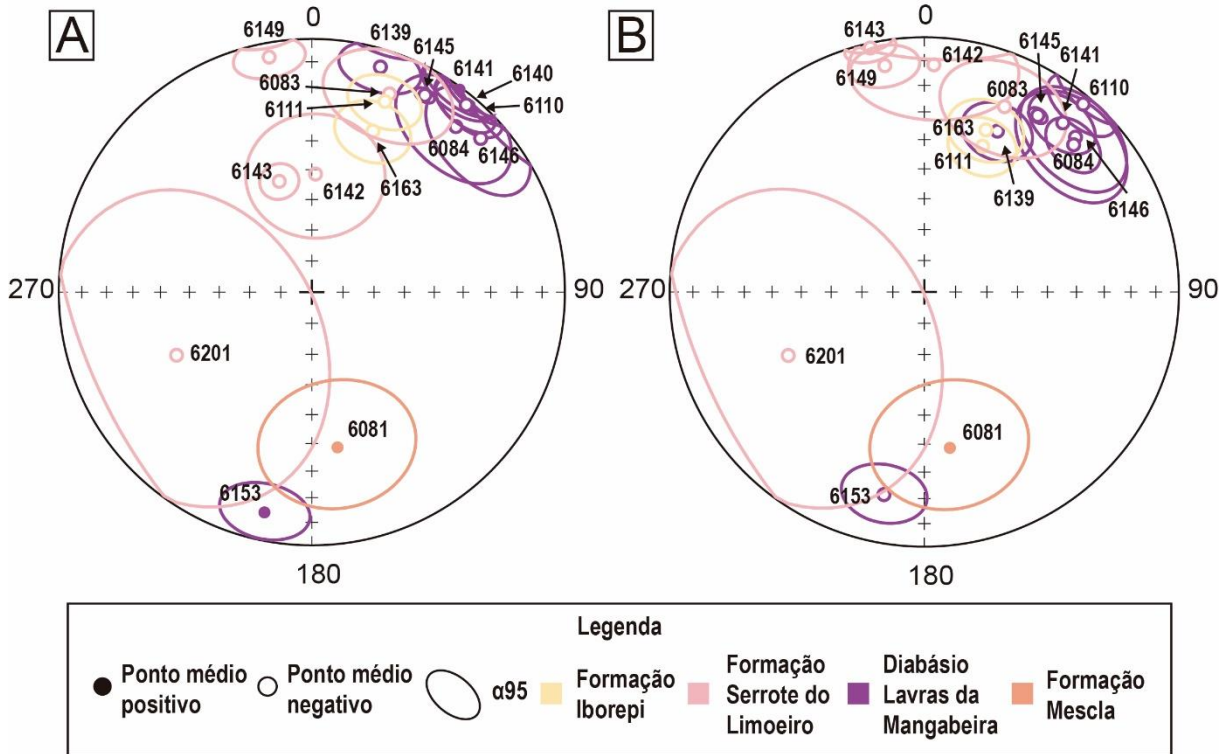


Após o cálculo dos vetores foram realizadas as médias por sítio de coleta, interpretando seus resultados e dispersões para encontrar aqueles que deveriam ser descartados seja por estarem muito distantes das outras médias (*outlier*), ou por apresentarem grandes dispersões (Figura 31). Através disso foram descartados do cálculo o polo geomagnético virtual (PGV) dos sítios 6139 e 6153 por estarem afastados dos demais diabásios e do sítio 6201, da base da Formação Serrote do Limoeiro, por apresentar uma ampla dispersão dos limites do 95% de confiança. Salienta-se que, como proposto, foi realizada a correção dos vetores das amostras de



rochas sedimentares pela sua compactação, considerando um fator de 0,6 (TORSVIK *et al.*, 2012).

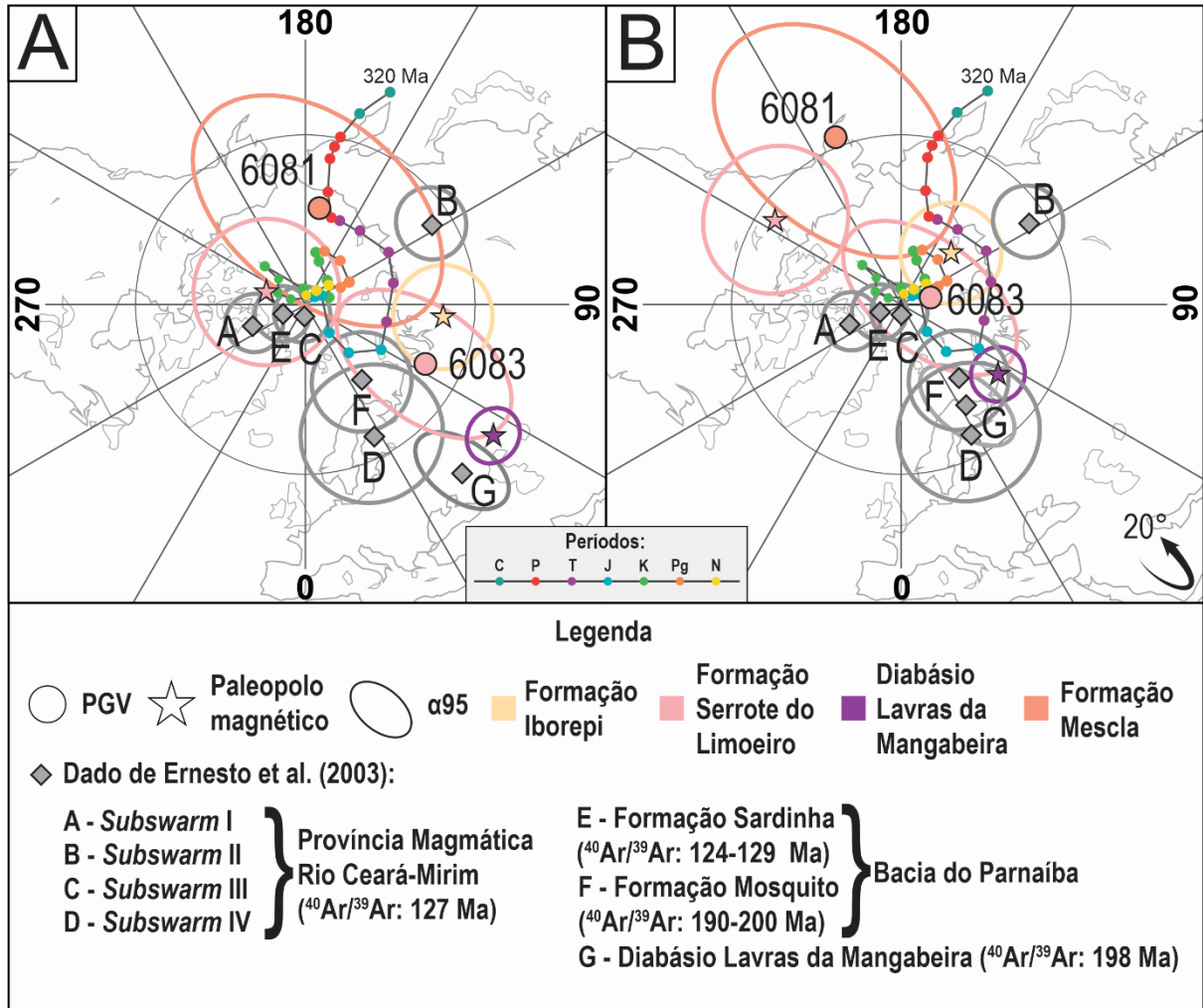
**Figura 31** – Estereogramas com direções de magnetização e as médias de cada sítio. Em A temos a correção geográfica, em B a correção com o mergulho das camadas.



Na Figura 32.A se encontram os PGV's e paleopolos magnéticos calculados para cada unidade estratigráfica. Os PGV's da Formação Iborepi, Diabásio Lavras da Mangabeira e sítios do topo da Formação Serrote do Limoeiro foram suficientemente semelhantes para serem obtidos os paleopolos magnéticos correspondentes.

As amostras dos sítio 6083 e 6081, que pertencem respectivamente ao meio da Formação Serrote do Limoeiro e Formação Mescla, foram considerados apenas como PGV's isolados por apresentarem maiores incertezas e distanciamento das outras amostras. Essas PGV's não podem ser utilizadas com muito rigor para a datação, pois PGV's de apenas um sítio, apesar de poder estar próximo, geralmente não correspondem fielmente ao paleopolo magnético (BUTLER, 1992).

**Figura 32** – Paleopolos magnéticos das unidades da bacia e polos geomagnético virtual (PGV) das amostras 6081 e 6083. O caminho aparente do polo paleomagnético (CMAP) do Cráton Amazônico é dividido de 10 em 10 milhões de anos para cada nó, que possuem idades que remontam de 320 Ma atrás ao recente (escala com os períodos geológicos). Em A sem rotação e em B com 20° de rotação.



## 5.2 – Discussão dos dados

Os resultados demonstram três agrupamentos de dados distintos entre si: 1) o paleopolo magnético da Formação Iborepi e o PGV da porção central da Formação Serrote do Limoeiro (6083); 2) o paleopolo magnético do Diabásio Lavras da Mangabeira; 3) o paleopolo magnético do topo da Formação Serrote do Limoeiro e o PGV da Formação Mescla (6081).

Observa-se que os dados do Diabásio Lavras da Mangabeira obtidos nesse trabalho e de Ernesto *et al.* (2003) são coerentes, todavia ambos estão distantes do caminho aparente do polo paleomagnético (CMAP) para o Cráton Amazônico (TORSVIK *et al.*, 2012). Isso é incomum para uma rocha magmática básica, porque

essa preserva muito bem o sinal primário de magnetização pela presença da magnetita e pelo mecanismo de aquisição da magnetização.

As idades obtidas pelas médias dos paleopolos magnéticos da Formação Mosquito, Formação Sardinha e Província Magmática Rio Ceará Mirim condizem com a curva para o Cráton Amazônico, com excessão do *Subswarm* II e IV. Com isso, essa curva se mostra acertiva para os paleopolos magnéticos tanto a leste quanto a oeste da Bacia Lavras da Mangabeira (ver Figura 6), o que indica sua compatibilidade para a bacia e para a placa a qual pertence.

Para solucionar a incoerência do paleopolo magnético do Diabásio Lavras da Mangabeira, realizou-se uma rotação antihorária mínima de 20° nos resultados (Figura 32.B) e constatou-se que os dados do diabásio tanto da literatura quanto obtidos nesse trabalho coincidem com a idade eojurássica, próxima ao limite com o Triássico, obtida por Marzoli *et al.* (1999) pelo método  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ .

Através dessa rotação averiguou-se as implicações nas amostras sedimentares. O paleopolo magnético da Formação Iborepi, que antes indicava uma idade triássica-jurássica, resultou numa idade incluída entre o neoPermiano e o Triássico (260–220 Ma), o que pode se provar verdadeira devido ao fato de estar abaixo da camada de diabásio.

O paleopolo magnético da Formação Serrote do Limoeiro e PGV do sítio 6081 (Formação Mescla) tem apenas significado sem a rotação, o que resulta em uma idade Cretácica (150–60 Ma). Já o PGV do sítio 6083 pode ou não ser rotacionado, pois se interpretado como sedimentação pós-rotação pode apresentar idade eojurássica, mas se for pré ou sin-rotação possui idade triássica ou jurássica. Isso conota que a Formação Serrote do Limoeiro teve um largo tempo de sedimentação e/ou diversas fases de erosão entre seu meio e topo.

A rotação de 20° no sentido anti-horário foi realizada na correção dos paleopolos magnéticos para que coincidam com o caminho aparente, o que significa que a bacia após o magmatismo na realidade estava rotacionada em 20° no sentido horário, se afastando do CMAP.

## CAPÍTULO VI – EVOLUÇÃO TECTONOSSEDIMENTAR DA BACIA

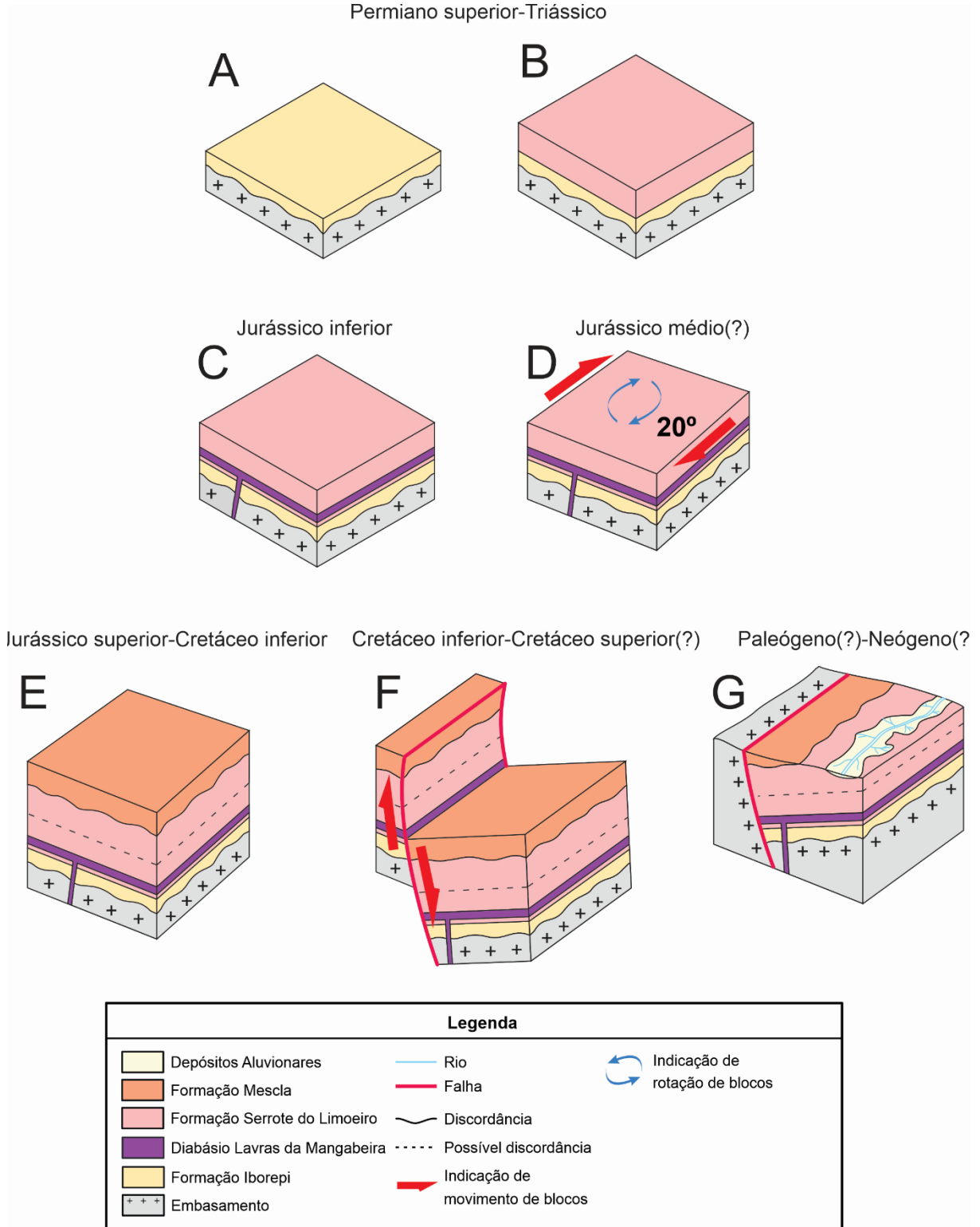
Os dados de paleomagnetismo, levantamento estratigráfico e mapeamento apontaram mudanças e novas perspectivas da evolução, descrição e idade das unidades da Bacia de Lavras da Mangabeira. Porém, cabe ressaltar que em tais mudanças foi considerada a necessidade de estudos estruturais mais aprofundados, a fim de sanar as incertezas que permanecem. Para a compilação das novas possibilidades litoestratigráficas da bacia, foi elaborado um novo quadro estratigráfico (Quadro 3) sobre o apresentado por Ponte e Ponte e Filho (1994) (Ver Quadro 1).

**Quadro 3** – Quadro estratigráfico da Bacia de Lavras da Mangabeira atualizado e com novas possibilidades, realizado a partir Ponte e Ponte e Filho (1994). A linha tracejada indica a incerteza da idade da porção média da Formação Serrote do Limoeiro. As linhas sinuosas indicam discordâncias.

Litoestratigrafia		Crono-estratigrafia	Sistema Depositional	Descrição Litológica	Espessura aprox. (m)
Grupo	Formação				
Depósitos Aluvionares		Quaternário	Aluvial	Depósitos inconsolidados de cascalho, areia, silte e argila.	0 a 5
Bacia de Lavras da Mangabeira	Fm. Mescla	Neo-Jurássico a Eo-Cretáceo	Fluvial entrelaçado	Arenitos vermelhos, conglomeráticos, mal selecionados, deformados no topo e intercalados por siltitos avermelhados.	350
	Fm. Serrote do Limoeiro		Fluvial meandrante, planície fluvial, lacustre e localmente eólico	Siltitos e argilitos de coloração vermelha, roxa e cinza, intercalados por paleossolos carbonáticos, arenitos e raramente por conglomerados.	800
		Diabásio Lavras da Mangabeira	Eo-Jurássico	Intrusão magmática	Diabásio com textura intergranular e vesicular. Minerais possuem tamanho majoritariamente fina, com presença de médios. Composto de plagioclásios, augita, vidro interticial e magnetita. Vesículas preenchidas por celadonita, zeólita, calcita e quartzo.
					20
	Fm. Iborepí	Neo-Permiano a Triássico	Fluvial entrelaçado cascalhoso	Arenitos grossos e conglomerados brancos, mal selecionados, com estratificação cruzada e intercalados por lentes de siltitos branco.	130
Grupo Ceará		Eo-Proterozóico	–	Filitos, micaxistos intercalados com quartzito e mármore; gnaiss.	–

As novas informações da evolução da bacia foram interpretadas e compiladas na Figura 33, podendo estabelecer sua correlação com a tectônica geradora e deformadora de outras Bacia Interiores do Nordeste.

**Figura 33 –** Evolução da Bacia de Lavras da Mangabeira.  
Permiano superior-Triássico



## 6.1 Permiano superior-Triássico

A criação da bacia está atrelada à sedimentação da Formação Iborepi. O sistema fluvial entrelaçado é responsável pela sedimentação da formação. Tal sistema é interpretado como próximo da área fonte, pela presença de seixos muito angulosos, feldspatos, fragmentos líticos, abundância de conglomerados e poucas lentes de siltito.

As paleocorrentes da unidade devem ser rotacionadas 20° horário, de acordo com a discussão dos dados paleomagnéticos do Tópico 5.2. Como resultado, o vetor médio das paleocorrentes corrigido é mais próximo de NNW, com o fluxo do rio entrelaçado advindo de SSE indo para NNW, carreando e depositando fragmentos das rochas metavulcanossedimentares do Terreno Rio Piranhas (Domínio Rio Grande do Norte).

Seus dados paleomagnéticos revelam que a idade da deposição da formação deve ser entre o Permiano superior e o Triássico (Figura 33.A). Essa idade para a Formação Iborepi desassocia a relação temporal com as formações Cariri da Bacia do Araripe e Tacaratu da Bacia Jatobá, consideradas mais antigas (ASSINE, 1994), apesar de possuírem litologias e direções de paleocorrentes semelhantes.

A deposição da Formação Iborepi é seguida por camadas contínuas de argilitos e siltitos da Formação Serrote do Limoeiro, em um sistema lacustre, sobreposto pela intercalação de fácies finas e arenosas de rio meandrante.

Os dados paleomagnéticos da porção inferior e média da Formação Serrote do Limoeiro não são muito claros. Isso ocorre, pois, os polos geomagnéticos virtuais (PGV) das amostras de argilito retiradas logo abaixo do diabásio (6201) apresentam um erro muito elevado, enquanto as da porção média da formação (6083) podem apresentar idade anterior ou posterior ao diabásio (Triássico superior a Cretáceo, ver Figura 32).

Pela semelhança entre as fácies e uma aparente falta de mudança de sistemas deposicionais pré- e pós-intrusão, sugere-se que a porção basal e central da Formação Serrote do Limoeiro possua idade no limite Triássico-Jurássico (Figura 33.B), o que é colaborado pela distinção de dados paleomagnéticos com os da porção superior da formação (Tópico 5.2). Conseqüentemente, por esse pacote sedimentar ser cronologicamente próximo à Formação Iborepi e por não serem observadas discordâncias entre as duas formações, propõe-se um contato concordante entre elas.

A idade triássica é compatível com as novas datações de argilitos, siltitos e folhelhos pertencentes ao Andar Dom João pelo método Rb/Sr, abrangendo as bacias Sergipe-Alagoas (ARAI, 2007) e do Recôncavo (SILVA *et al.*, 2012). Isso indica que os processos, os quais geraram o espaço de acomodação para o início da evolução da bacia, devem estar associados a uma escala tectônica regional.

Em sua pesquisa Silva *et al.* (2012) sugere que as formações das bacias do interior Nordestino que obtiveram essa idade triássica estão associadas a um contexto da Depressão Afro-Brasileira (CESERO e PONTE, 1997), uma bacia deposicional que precede a quebra do Gondwana no Cretáceo com depósitos fluviais, eólicos e lacustres, a qual está associada ao Andar Dom João (SCHALLER, 1969; VIANA *et al.*, 1971). Essa associação ocorre, pois, as novas datações de formações pertencentes ao andar revelam que a depressão pode ter ocorrido não só no Jurássico, mas desde o Triássico superior.

Os processos extensionais do início da evolução da abertura do Atlântico Central provocaram mudanças tectônicas e ambientais no Eotriássico da Bacia do Parnaíba, responsáveis pela remobilização de antigas falhas do embasamento e pelo magmatismo da Formação Mosquito no Neotriássico (VAZ e REZENDE, 2007). Tal evento pode esclarecer a possível tectônica divergente que gerou a subsidência para o início da sedimentação da Fm Iborepi e a atividade magmática na Bacia de Lavras.

A existência de uma Depressão Afro-Brasileira, os esforços extensionais da abertura do Atlântico Central, as datações Rb/Sr e os dados paleomagnéticos esclarecem como e quando as duas unidades inferiores da Bacia Lavras da Mangabeira originaram sua sedimentação.

## 6.2 Jurássico Inferior-médio

O Diabásio Lavras da Mangabeira é uma intrusão toleítica no pacote sedimentar inferior da Formação Serrote do Limoeiro. Suas datações variam do Triássico superior (MIZUSAKI *et al.*, 2002) ao Jurássico inferior (PRIEM *et al.*, 1978; (MARZOLI *et al.*, 1999), sendo essa última idade considerada aqui a mais precisa pela aplicação do método  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ .

A análise de seu paleopolo magnético resultou em inconsistências com o caminho aparente do polo paleomagnético (CMAP) do Cráton Amazônico, destoando da idade eojurássica. Foi verificado que tal caminho é aplicável para a região de

estudo, pois os dados de Ernesto *et al.* (2003) para as formações Mosquito e Sardinha, ambas a leste da bacia, e para a Província Magmática Rio Ceará Mirim, a oeste, são compatíveis para ela. Isso conota na rotação proposta de 20° anti-horário dos dados, o que é suficiente para que o paleopolo magnético do diabásio indique a idade Jurássico Inferior (Figura 33.C) e que as formações Iborepi e parte média/inferior do Serrote do Limoeiro resultem em idades entre o Triássico e Permiano Superior.

Essa correção anti-horária é a retrodeformação das unidades da bacia que se encontravam rotacionadas 20° no sentido horário, distante do CMAP. O mecanismo que levou a essa rotação horária está vinculado a uma transcorrência dextral no entorno das zonas de cisalhamento dextrais Portalegre, Patos e Malta (Figura 34). O esforço de maior intensidade ( $\sigma_1$ ) que gerou essa tectônica tem direção NW-SE, realizando compressão nessa direção e extensão na direção perpendicular (ver Riedel, 1929).

A transcorrência deve ter ocorrido no período entre a solidificação do diabásio, no Jurássico Inferior, e a deposição da parte superior da Formação Serrote do Limoeiro, pois essa porção da formação possui um paleopolo magnético não rotacionado que corresponde ao limite Jurássico-Cretáceo, sem significado aplicando a retrodeformação de 20° anti-horário. Propõe-se então uma idade entre o Jurássico Inferior e Médio para o episódio (Figura 33.D).

Essa transcorrência vai ao encontro dos modelos tectônicos da evolução das Bacias Interiores do Nordeste, que indicam que a Província Borborema na separação do Gondwana teve a reativação das transcorrências das zonas de cisalhamento a partir do jurássico culminando no Neocretáceo (MATOS, 1992; MEDEIROS, 2008). Esse evento também foi responsável pela criação de espaço de acomodação para a deposição de corpos sedimentares tabulares, por meio de esforços trativos e criação de grabens/semigrabens (ALMEIDA, 2010; PONTE E PONTE FILHO, 1996).

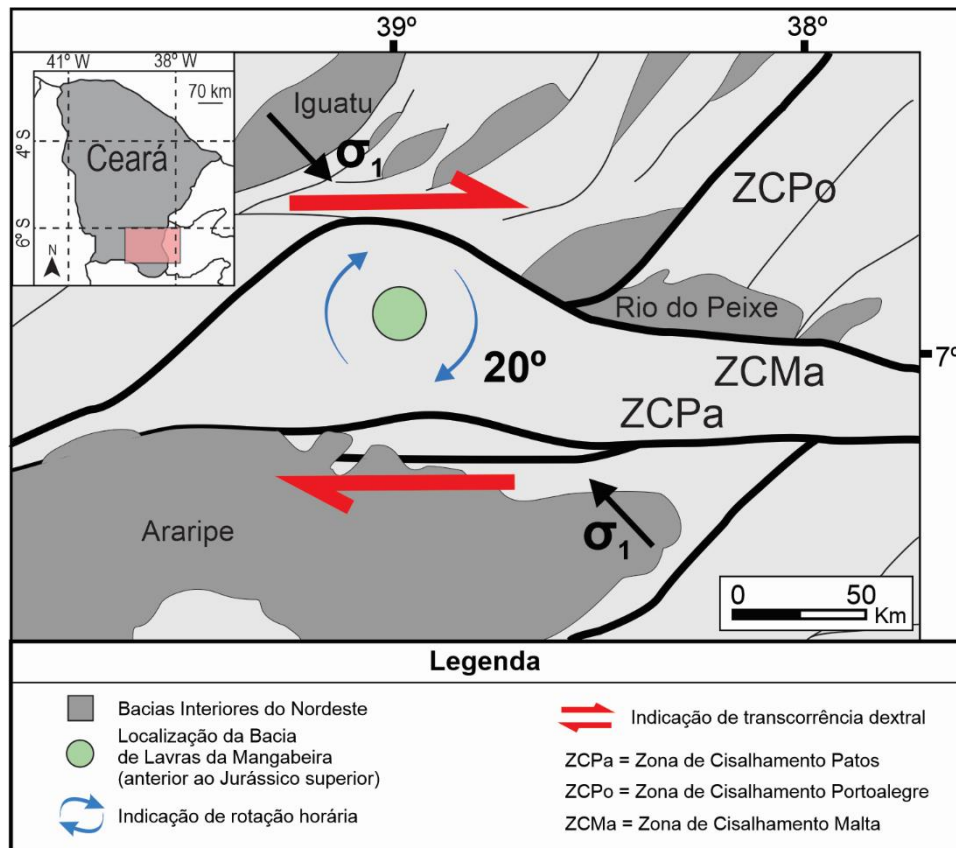
Em suma, assim como os processos tectônicos e estruturais para as unidades litoestratigráficas da bacia de idade Permiano Superior-Triássico, interpreta-se que o magmatismo básico da Bacia Lavras da Mangabeira está associado à Depressão Afro-Brasileira e à abertura do Atlântico Central no Jurássico inferior, visto que a Formação Mosquito é originada nesses eventos e é contemporânea e correlacionável geoquimicamente com o Diabásio Lavras da Mangabeira (ERNESTO *et al.*, 2003).

Já a transcorrência dextral E-W está associada às fases iniciais da separação dos continentes Sul-americano e Africano, mais especificamente à abertura da



Margem Equatorial, supostamente entre o Jurássico médio e superior. Essa tectônica transcorrente também é responsável pela deposição de pacotes sedimentares entre o Jurássico superior e o Cretáceo inferior supostamente em um modelo de bacia *pull-apart*.

**Figura 34** – Rotação horária da Bacia de Lavras da Mangabeira dentre as zonas de cisalhamento da Província Borborema, com a indicação do esforço de maior intensidade ( $\sigma_1$ ).



Destaca-se também que os PGV's do Diabásio Lavras da Mangabeira foram consistentes entre as amostras, o que indica que a rotação horária englobou a bacia de forma homogênea e não houve uma rotação diferencial entre os setores.

### 6.3 Jurássico Superior-Cretáceo

A evolução da transcorrência dextral do Jurássico médio pode ter carregado, por esforços trativos, uma nova fase de sedimentação na Bacia Lavras da Mangabeira, entre o Jurássico superior e Cretáceo inferior, sem saber ao certo se a sedimentação cessou em algum momento no Jurássico.

O início da segunda fase de sedimentação da bacia é representado depósitos de rios meandранtes e suas planícies de inundação, pertencentes à Formação Serrote do Limoeiro. É assertivo identificar que na porção superior da formação há também a intercalação de arenitos bem selecionados, semelhantes aos descritos na literatura originados por processos eólicos. Somado a isso, os paleossolos carbonáticos da formação indicam a variação do nível da água no subsolo. Essas duas informações podem remeter a um clima menos úmido e com menos precipitações (TURNER, 1980).

A Formação Mescla indica a mudança de sistema deposicional de fácies finas da Formação Serrote do Limoeiro para conglomerados e arenitos conglomeráticos de rio entrelaçado presentes continuamente no Setor Riacho do Meio. Apesar da complexidade de definir os fatores que controlam a morfologia dos canais (MIALL, 1981), sugere-se que a mudança de sistema pode ter sido causada pela menor umidade no ambiente e maior energia para transportar granulação mais grossa, ambos possivelmente influenciados pela tectônica local.

O paleopolo magnético resultante dessa porção estratigraficamente superior da Formação Serrote do Limoeiro e a PGV da amostra 6081, pertencente à Formação Mescla, indicam que todo esse pacote tenha sido depositado no entre o Jurássico superior e o Cretáceo inferior (Figura 33.E), pela sua compatibilidade com o caminho aparente dos polos (CMAP) para essas idades.

É importante salientar que não foram encontrados feições ou dados que documentem um hiato entre a porção inferior, central e superior da Formação Serrote do Limoeiro. Apesar disso, a uma pequena mudança na direção dos acamamentos no Setor Riacho do Rosário pode representar uma possível discordância angular (Ver acamamentos do setor no Anexo I). Ademais, também não há evidência de hiato entre as formações Serrote do Limoeiro e Mescla formações, o que deixa em aberto se haja efetivamente uma separação temporal entre elas.

Os processos tectônicos e a mudança de sistema deposicional da bacia entre o jurássico e cretáceo podem ser mais bem compreendidos pelos modelos de evolução para as diversas bacias interiores do Nordeste Brasileiro, que associam às fases de rifteamento do Gondwana com a criação de várias unidades litoestratigráficas nas bacias da região.

Para esse trabalho comparou-se as supersequências pré-rifte, rifte e pós-rifte propostas por Assine (2007) para a Bacia do Araripe, pela sua proximidade e aparente

contemporaneidade entre o Jurássico e o Cretáceo. Em resumo as Supersequências são interpretadas pelo autor como:

- Supersequência Pré-rifte: estágio de subsidência mecânica produzido pelo estiramento litosférico da Depressão Afro-Brasileira, com a presença de fácies pelíticas e ostracodes pertencentes ao Andar Dom João (Fm. Brejo Santo), sobreposta por arenitos e arenitos conglomeráticos de ambiente fluvial entrelaçado (Fm. Missão Velha);
- Supersequência Rifte: estágio de sedimentação continental (Fm. Abaiara), representante dos andares Rio da Serra e Aratu, e tectônica modificadora da bacia, permitindo processos erosivos;
- Supersequência Pós-Rifte I: estágio de subsidência flexural térmica, com a formação de pacotes sedimentares que apresentam a intercalação de pelitos e arenitos (Fm. Barbalha), sobre a discordância angular pré Andar Alagoas, e a presença de rochas carbonáticas e folhelhos marinhos para o topo (Fm. Santana);
- Supersequência Pós-Rifte II: estágio de transgressão marinha repleta de fósseis, com tectônica mesoalbiã responsável por ritmitos com dobramento convoluto nos arenitos (Fm. Araripina), intenso fraturamento e basculamento das camadas, além da mudança de esforços pela rotação da deriva dos continentes africano e sul-americano no final do Albiano (RABINOWITZ e LABRECQUE, 1979), posteriormente cobertos por arenitos fluviais (Fm. Exu).

A evolução estratigráfica da Formação Serrote do Limoeiro para a Formação Mescla assemelha-se muito à Supersequência Pré-rifte da Bacia do Araripe. A semelhança é expressa pela sucessão de rochas de fácies finas da Formação Serrote do Limoeiro (similar a Fm. Brejo Santo) sobrepostas por arenitos grossos a conglomeráticos de rio entrelaçado da Formação Mescla (similar a Fm. Missão Velha). Entretanto, a falta de análise de ostracodes e palinológica das formações dificultam suas correlações com os andares locais do nordeste.

A geologia estrutural demonstra que as falhas da Bacia de Lavras da Mangabeira possuem direção predominante NE, com algumas E-W e poucas NW, o que está de acordo com a inflexão de estruturas E-W para NE a oeste, nessa porção da Província da Borborema (VERÍSSIMO, 2005). Principalmente as estruturas de

direção NE estão associadas aos lineamentos tectônicos do embasamento, um indicativo de reativação das fraturas que modificaram a bacia.

Há na área indícios de movimento transcorrente das falhas tanto na direção horária quanto anti-horária. Movimentos dextrais são observados nas estruturas de *trend* NE como as falhas Caixa d'água e Riacho do Rosário. Já os movimentos sinistrais estão associados a *trends* E-W e NW, por exemplo nas falhas Riacho das Pimentas, Riacho do Meio e Várzea Redonda.

A componente de movimento vertical das estruturas é evidente na área, pois as falhas colocam em contato tectônico a bacia com o embasamento, formam blocos altos e baixos e produzem estruturas como dobras de arrasto, revelando o caráter normal de alto ângulo.

Batista (2015) considera os setores como semigrabens, numa proposta que as falhas controlaram a deposição dos pacotes sedimentares. A aparente espessura constante dos pacotes sedimentares, concordância estratigráfica das formações em todos os setores e a deformação rúptil próximo às estruturas, consistente em toda a bacia, geram ressalvas sobre tal suposição. Essas evidências em conjunto com os dados estruturais apontam que, de fato, as falhas são deformadoras, não geradoras.

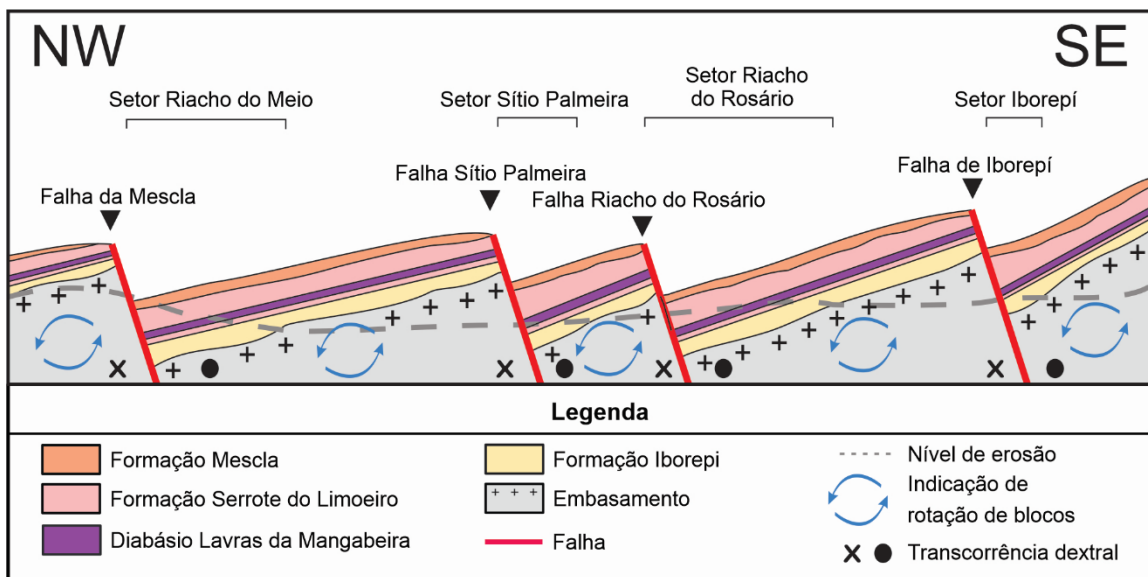
A idade em que as falhas fraturaram e bascularam as camadas não é muito clara, porém a deformação no topo da Formação Mescla que produziu dobras convolutas nos arenitos pode ser um indicativo de tectonismo sin-sedimentar, provavelmente no Cretáceo Inferior, o qual se estende até o Cretáceo Superior (Figura 33.F). Essa idade é contemporânea à Supersequência Pós-rifte II de Assine (2007), responsável por fraturar e bascular as camadas da Bacia do Araripe. Todavia, a análise superficial das estruturas convolutas realizada aqui não as classifica como definitivamente tectônicas, pois essas estruturas também são comuns nos processos sedimentares, mas como possivelmente tectônicas.

Ao interpretar o padrão de ramificação da Falha Riacho do Rosário como flor negativa, a noroeste do setor homônimo, revela-se na área que as falhas podem apresentar comportamento transtrativo (Ver seção geológica X-X' no Anexo I), compatível ao modelo evolutivo, porém requerendo uma análise estrutural mais aprofundada.

Há fortes indícios que o movimento vertical das falhas da Mescla, Sítio Palmeira, Riacho do Rosário e de Iborepi são responsáveis pelo contato tectônico dos setores com o embasamento. Isso ocorre, pois, as unidades da bacia foram

basculados em direção às falhas pelo movimento das suas componentes normais de alto ângulo, e conseqüentemente alçou as camadas e o embasamento em um padrão escalonado conforme apresentado na Figura 35. Após a instauração dessa tectônica, interpretada como transtrativa, as porções mais elevadas dos blocos sofreram erosão, as quais se desenvolveram até aflorar o embasamento (Figura 33.G), resultando na individualização dos setores.

**Figura 35** – Esquema do padrão escalonado dos blocos em decorrência do movimento das falhas com componente normal de *trend* NE, formando blocos altos e baixos, basculando e alçando as camadas, o que proporcionou erosão nas porções mais elevadas até o embasamento, separando a bacia em setores.



## CAPÍTULO VII – CONCLUSÕES

A Bacia de Lavras da Mangabeira possui características que remetem à evolução tectonossedimentar das Bacias Interiores do Nordeste. Suas unidades litoestratigráficas são a Formação Iborepi, Formação Serrote do Limoeiro, Diabásio de Lavras da Mangabeira e Formação Mescla.

A Formação Iborepi é composta de depósitos arenoconglomeráticos de rio entrelaçado cascalhoso. As paleocorrentes da formação indicam um fluxo de SSE para NNW. Sua espessura é de aproximadamente 130 m.

A camada de 20 m de sedimentos finos lacustres abaixo do diabásio e acima da Formação Iborepi foi descrita e interpretada como pertencente a Formação Serrote do Limoeiro, por sua maior semelhança com os siltitos e argilitos da formação e discrepância litológica com os arenitos conglomeráticos da Formação Iborepi.

De forma semelhante, a Formação Serrote do Limoeiro, logo acima do diabásio possui as mesmas fácies finas de ambiente lacustre, sendo sobrepostas por depósitos pelíticos, arenosos e paleossolos de rio meandrante em sua porção central, com a presença de camadas de arenitos eólicos no topo. As paleocorrentes da unidade são muito dispersas, como se espera de um sistema meandrante, porém estão menos concentrados no quadrante SW, o que representa a área fonte dos sedimentos. A espessura desse pacote sedimentar pode chegar até 800 m, com variação entre os setores.

Afloramentos chave na porção oeste Setor Riacho do Meio proporcionaram a identificação e classificação de uma nova unidade litoestratigráfica, a Formação Mescla. Essa formação possui contato erosivo sobre a Formação Serrote do Limoeiro. Suas fácies características são pertencentes ao sistema fluvial entrelaçado, com conglomerados intercalados por arenitos conglomeráticos e algumas camadas pelíticas. A formação apresenta uma deformação intensa próximo a Falha da Mescla, expressas em fraturas, veios quartzosos e possivelmente dobras covolutas, caso seu caráter tectônico seja comprovado. A espessura desse pacote sedimentar é de 350 m e suas paleocorrentes indicam fluxo médio de SE para NW.

O Diabásio Lavras da Mangabeira continua com certas ambiguidades sobre seu caráter extrusivo ou intrusivo, porém há evidências de sua posição estratigráfica que a caracterizam de soleira e até dique em algumas porções, mesmo a petrologia a descrevendo como basalto.

Observou-se também que a bacia é fragmentada em quatro setores:

- O Setor Riacho do Meio – se encontra a oeste da bacia, com uma área de 35,89 km<sup>2</sup> e espessura de 1.350 m, é o maior e mais espesso setor. É composto por três blocos principais, separados por falhas E-W, e possui todas as unidades da bacia e apresenta com contatos tectônicos com o embasamento a norte e oeste, e discordância litológica a sul e leste.
- O Setor Riacho do Rosário – possui área de 35,89 km<sup>2</sup> e espessura de 1.350 m a leste da bacia. O setor é um conjunto de diversos blocos e possui todas as unidades da bacia exceto a Formação Mescla, com a presença não só de soleira do Diabásio Lavras da Mangabeira, mas também com dique na sua porção oeste. Apresenta com contatos tectônicos com o embasamento a norte, leste e oeste, e discordância litológica a sul.
- O Setor Iborepi – um pequeno setor a sul da bacia, com 2,11 km<sup>2</sup> de área e 100 m de espessura. Apenas a Formação Iborepi é encontrada no setor e possui contatos tectônicos com o embasamento a norte, e discordância litológica a sul.
- O Setor Sítio Palmeira – O menor setor, a norte da bacia, com 1,15 km<sup>2</sup> e espessura indeterminada. Tem como particularidades a ausência da Formação Serrote do Limoeiro entre o diabásio, interpretado no setor como um dique, e a unidade basal e pelas falhas NW que cortam a Formação Iborepi em pequenos blocos. Seu contato com o embasamento é tectônico na porção noroeste e nordeste, com discordância litológica na porção sudeste e sudoeste.

Dados de paleomagnetismo da Formação Iborepi resultaram numa idade entre o Permiano superior e Triássico para seu pacote sedimentar. Cronologicamente é associado com a camada da Formação Serrote do Limoeiro abaixo do Diabásio Lavras da Mangabeira, interpretada como de idade triássica, já que o diabásio é datado como pertencente ao Jurássico inferior. Possivelmente esses dois pacotes sedimentares possuem contato concordante.

As camadas da Formação Serrote do Limoeiro acima do basalto, são muito semelhantes a camada abaixo, o que implica numa mesma idade de deposição para ambas. Isso vai ao encontro também com os dados da PGM da porção central da formação, que apesar de não ser clara, possui uma afinidade maior com os dados paleomagnéticos da Formação Iborepi. Sendo assim, sugere-se que essas duas porções da Formação Serrote do Limoeiro possuam idade triássica ou eojurássica.

Constatou-se que o paleopolo magnético do Diabásio Lavras da Mangabeira não coincidiu com o caminho aparente do polo paleomagnético do Cráton Amazônico para o Jurássico inferior, sendo necessário realizar uma retrodeformação em seu polo de 20° no sentido anti-horário. Isso é um indicativo que o diabásio e as formações mais cronologicamente abaixo estão rotacionadas 20° no sentido horário, o que resultou nesse afastamento do paleopolo magnético com a curva.

A análise do paleopolo magnético do topo da Formação Serrote do Limoeiro foi a única porção da formação que apresentou resultados claros, que em conjunto com o PGV da Formação Mescla, apresentou uma idade entre o Jurássico superior e Cretáceo inferior, além da ausência de rotação. Esse resultado sugere que há um hiato entre a porção superior da Formação Serrote e a parte central/inferior, de idade triássica ou eojurássica, antecessora a rotação.

O breve estudo estrutural evidenciou que as falhas:

- possuem transcorrência sinistral nas de *trend* E-W e NW e dextral nas NE
- apresentam componentes normais de alto ângulo nas que separam a bacia do embasamento, fragmentando a bacia em setores após o Cretáceo superior
- por vezes têm caráter escalonado
- são responsáveis de fazer dobras de arrasto no Setor Riacho do Rosário
- devem constituir uma fase sin-rifte e pós-rifte no Cretáceo
- são deformadoras ao invés de geradoras, excluindo assim a hipótese de a bacia ser um semigraben.

A evolução proposta para a Bacia Lavras da Mangabeira inicia com a deposição da Formação Iborepi e a porção inferior/central da Formação Serrote do Limoeiro, entre o Permiano superior e o Triássico. Esse evento está associado a Depressão Afro-Brasileira e movimentos extensionais da abertura do Oceano Atlântico Central. Nesse contexto também está associado o magmatismo do Diabásio Lavras da Mangabeira, que intruiu essa primeira fase de sedimentação da bacia.

No Jurássico médio a reativação das zonas de cisalhamento E-W Patos e Malta provocaram transcorrências dextrais na região da bacia, rotacionando-a em 20° no sentido horário, em que o maior esforço ( $\sigma_1$ ) tem direção NW-SE. Numa etapa de pré-rifte do Gondwana do Jurássico superior, essas macroestruturas produziram esforços trativos, o que culminou na subsidência da bacia e deposição da porção superior da



Formação Serrote do Limoeiro e na Formação Mescla no limite Jurássico-Cretáceo, como uma segunda fase de sedimentação.

A transcorrência dextral E-W proporcionou essa segunda fase de sedimentação em um modelo de bacia *pull-apart*, em que a abertura do espaço de acomodação está associada a extensão na direção NE-SW.

A bacia foi então fragmentada em blocos por falhas normais de alto ângulo e suas unidades foram basculadas, numa fase pós-rifte entre o Cretáceo inferior e superior. Essa tectônica proporcionou a erosão das camadas alçadas, se desenvolvendo até o embasamento, o que resultou na desmembração da bacia em setores.

Em suma, a compilação dos dados obtidos nesse trabalho comprova que a fase pré-rifte da Depressão Afro-Brasileira tem uma extensão temporal muito mais larga para as Bacias Interiores do Nordeste, indo do Triássico ao Cretáceo, com associação de fases de abertura do Atlântico Central no Jurássico. Ademais, a evolução dos pacotes cretáceos e a deformação da bacia confirmaram sua correlação com as bacias vizinhas.

Pode concluir-se também que o método da análise paleomagnética pôde com sucesso identificar transcorrências, datar e interpretar a evolução tectônicossedimentar em bacias sedimentares.

Para trabalhos futuros recomenda-se um minucioso estudo estrutural da bacia, para esclarecer algumas suposições do trabalho, como por exemplo a evolução e idade das falhas, a deformação sin- e pós-tectônica na Formação Mescla e cinemática dos esforços atuantes na área. Além disso, o trabalho paleomagnético e estratigráfico não foi completado na Formação Serrote do Limoeiro, precisando um melhor detalhamento nessas análises, principalmente para definir se há fases de erosão na formação e se ela deveria então ser separada em porção inferior e superior, dividindo-a em duas unidades.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALLMENDINGER, R. Stereonet. Versão 11.3.0. [S.l.: S.n.], 2016.

ANTUNES, R. L.; DE AZEVEDO, R. L. M.; LOBO, J. T. Reflexões Sobre a Série Recôncavo, Brasil. *Anuário do Instituto de Geociências*, Rio de Janeiro, v. 41, n. 2, p. 276-296, 2018.

ARAI, M. Revisão estratigráfica do Cretáceo Inferior das bacias interiores do Nordeste do Brasil. *Geociências*, São Paulo, v. 25, n. 1, p. 7-15, 2007.

ARAI, M.; HASHIMOTO, A. T.; UESUGUI, N. Chronostratigraphic significance of microfloral assemblages from the Lower Cretaceous of Brazil. *Boletim de Geociências da Petrobras*, Rio de Janeiro, v. 3, p. 83–103, 1989.

ARAÚJO, V. A. *Araguaína, Folha SB.22 – Z – D*: Programa de Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil. BRASÍLIA: CPRM/DIEDIG/DEPAT, 2001.

ASSINE, M.L. Paleocorrentes e paleogeografia na bacia do Araripe, nordeste do Brasil. *Revista Brasileira de Geociências*, v. 24, p. 223–232, 1994.

ASSINE, M. L. Bacia do Araripe. *Boletim de Geociências da Petrobras*, v. 15, n. 2, p. 371-389, 2007.

BAKSI, A. K.; ARCHIBALD, D. A. Mesozoic igneous activity in the Maranhao province, Northern Brazil:  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  evidence for separate episodes of basaltic magmatism. *Earth Planet. Sci. Letters*, v. 151, p. 139-153, 1997.

BATES, R L, AND JACKSON, J A. *Glossary of geology*. United States: [S.n.], 1987.

BATISTA, Z. V. *Caracterização faciológica, petrográfica e diagenética das Sequências basais das bacias do Parnaíba, Araripe, São José do Belmonte e Lavras da Mangabeira*: contribuição às possíveis correlações dos arenitos basais e suas implicações geotectônicas. 2015. Tese (Doutorado em Geociências) – Centro de Ciências Exatas e da Terra, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2015.

BESLY, B. M.; KELLING, G. *Sedimentation in a syn-orogenic basin complex: the upper Carboniferous of northwest Europe*. Glasgow: Blackie, 1988.

BEURLIN, K. Bacias sedimentares do bloco brasileiro. *Estudos Sedimentológicos*, v. 1, p. 7-31, 1971.

BRANCO, R. M. G. C.; SOUZA, M. L.; PINÉO, T. R. G.; DE CASTRO D. L. *Levantamentos Geofísicos na Bacia de Lavras da Mangabeira*: Eletroresistividade. Ceará: CPRM, 2006.

BUTLER, R. F. *Paleomagnetism: Magnetic Domains to Geologic Terranes*. 1. ed. Boston: Blackwell Scientific Publications, 1992.

- CARDOSO, F. M. C. *O Graben de Palestina: Contribuição à Estratigrafia e Estrutura do Estágio Rifte na Bacia do Araripe, Nordeste do Brasil*. 2010. Dissertação (Mestrado em Geologia) – Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, 2010. 129p.
- CARVALHO, I. S.; FERNADES, A. C. S. Icnologia da Bacia de Mangabeira, Cretáceo do Ceará. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, Rio de Janeiro, v. 65, n. 3, p. 253-264, 1993.
- CASTRO, D. L.; BRANCO, R. M. G. C.; LOUSADA, E. *Levantamentos Geofísicos na Bacia de Lavras da Mangabeira: Gravimetria*. Ceará: CPRM, 2006.
- CESERO, P. D.; PONTE, F. C.; NORTHFLEET, A. A. Análise comparativa da paleogeologia dos litorais atlânticos brasileiro e africano. *Boletim de Geociências da Petrobras*, v. 11, p. 1-18, 1997.
- CHANG, H. K.; MIRANDA, F. P.; MAGALHÃES, L.; ALKMIM, F. F. Considerações sobre a evolução tectônica da Bacia do São Francisco. *In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA*, 35, Belém. *Anais [...]* São Paulo: SBG, 1988. p.2076–2090.
- COGNÉ, J. P. Paleomac. Versão 6.5.29. [S.l.: S.n.], 2016.
- COIMBRA, J. C.; ARAI, M.; CARREÑO, A. L. Biostratigraphy of Lower Cretaceous microfossils from the Araripe Basin, northeastern Brazil. *Geobios*, Lyon v. 35, n. 6, p. 687-698, 2002.
- COLLINSON, J. D. The sedimentology of the Grindslow shales and the Kinderhook Grit: a deltaic complex in the Namurian of northern England. *Journal of Sedimentary Petrology*, v. 4, p. 1-52, 1969.
- COSTA, J. B. S.; BORGES, M. S.; IGREJA, H. L. S.; HASUI, Y. Aspectos da evolução tectônica da Bacia do Parnaíba e sua relação com o arcabouço Pré-cambriano. *Boletim*. *In: SIMPÓSIO NACIONAL DE ESTUDOS TECTÔNICOS*, 3., [S.l.]. *Boletim de resumos expandidos [...]*. Rio Claro: [S.n.], 1991. p.96-98.
- COSTA, I. P. *et al.* Sub-bacia de Tucano Norte e bacia de Jatoba. *Boletim de Geociências da Petrobras*, Rio de Janeiro, v. 15, n. 2, p. 445-453, 2007.
- CORDANI, U. G., BRITO NEVES, B. B., & THOMAZ FILHO, A. Estudo preliminar de integração do Pré-Cambriano com os eventos tectônicos das bacias sedimentares brasileiras. *Boletim de Geociências da Petrobras*, v. 17, n. 1, p. 205-219, 2009.
- CREPANI, E. *Análise de fraturas através de imagens fotográficas de baixa resolução espacial: uma contribuição ao estudo da evolução tectônica da região da Chapada do Araripe: NE do Brasil*. 1987. Tese (Doutorado em Geologia Geral e Aplicada) – Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1987.

DE ALMEIDA, F. F. M.; CARNEIRO C. D. R.; MACHADO D. L.; DEHIRA L. K. Magmatismo pós-Paleozóico no nordeste oriental do Brasil. *Revista Brasileira de Geociências*, v. 18, n. 4, p. 451-462, 2017.

ERNESTO, M.; BELLINI, G.; PICCIRILLO, E. M.; MARQUES, L. S.; DE MIN, A.; PACCA, I.G.; MARTINS, G.; MACEDO, J. W. P. Paleomagnetic and geocal constraints on the timing and duration of the CAMP activity in northeastern Brazil. *Geophysical Monograph Series*, Washington, D.C., v. 136, p. 129–149, 2003.

ESRI. ArcGIS. Versão 10.6.0.4322. [S. l.]: Esri Inc., 2014.

FAMBRINI, G. L.; NEUMANN, V. H. M. L.; BARROS, C. L.; DE SILVA, S. M. O. A. D.; GALM, P. C.; MENEZES FILHO, J. A. B. Análise estratigráfica da Formação Brejo Santo, Bacia do Araripe, Nordeste do Brasil: implicações paleogeográficas. *Geologia USP, Série Científica*, São Paulo, v. 13, n. 4, p. 3–28, 2013.

FRANCO, D. R.; ERNESTO, M.; PONTE-NETO, C. F.; HINNOV, L. A.; BERQUÓ, T. S.; FABRIS, J. D.; ROSIÈRE, C. A. Magnetostratigraphy and mid-palaeolatitude VGP dispersion during the Permo-Carboniferous Superchron: results from Paraná Basin (Southern Brazil) rhythmites. *Geophysical Journal International*, Oxford, v. 191, p. 993-1014, 2012.

GILL, R. *Igneous rocks and processes: a practical guide*. 1. ed. Hoboken: Wiley-Blackwell, 2011. 428 p.

GOOGLE. Google Earth Pro. Versão 7.3. Califórnia: Alphabet Inc., 2020.

GRANJEIRO, M. L.; SANTIAGO, M. M. F.; SILVA, C. M. S. V.; MENDES FILHO J.; FRISCHKORN H.; VERÍSSIMO L. S. Caracterização isotópica e hidroquímica das águas subterrâneas da bacia sedimentar Lavras da Mangabeira, Ceará. *In: XVII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos*, 7., 2007, São Paulo. Anais [...]. Porto Alegre: ABRH, 2007. p. 10.

KING, R. F. The remanent magnetism of artificially deposited sediments. *Geophysical Supplements to the Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, Oxford, v. 7, n. 3, p. 115-134, 1955.

KODAMA, K. P. Simplification of the anisotropy-based inclination correction technique for magnetite and hematite bearing rocks: A case study for the Carboniferous Gleshaw and Mauch Chunk Formations, North America. *Geophysical Journal International*, Oxford, v. 176, p. 467-477, 2009.

LANGFORD, R. P. Fluvial-aeolian interactions, part I: modern systems. *Sedimentology*, [S.l.], v. 36, p. 1023-1035, 1989.

LANGFORD, R. P; CHAN, M. A. Fluvial-aeolian interactions, part II: ancient systems. *Sedimentology*, [S.l.], v. 36, p. 1037-1051, 1989.

LE MAITRE, R. W. *Igneous rocks: A classification and glossary of terms*. v. 2. Cambridge: Cambridge University Press, 2002.

- MAGNAVITA, L. P.; DA SILVA, H. T. F.; Rift border system: the interplay between tectonics and sedimentation in the Reconcavo Basin, northeastern Brazil. *American Association of Petroleum Geologists Bulletin*, Tulsa, v. 79, p. 1690–1607. 1995.
- MARZOLI, A.; RENNE, P. R.; PICCIRILLO, E. M.; ERNESTO, M.; BELLINI, G.; DE MIN, A. Extensive 200-Million-Year-Old Continental Flood Basalts of the Central Atlantic Magmatic Province. *Science*, Geneva, v. 284, iss. 5414, p. 616–618, 1999.
- MATOS, R. M. D. The northeast Brazilian rift system. *Tectonics*, v. 11, n. 4, p. 766–791, 1992.
- MEDEIROS, V. C. D. *Geologia e recursos minerais da folha Sousa SB. 24-ZA*. Ceará: CPRM, 2008.
- MIALL, A. D. Paleocurrent analysis of aluvial sediments: a discussion of directional variance and vector magnitude. *Journal of Sedimentary Petrology*, v. 44, n. 4, p. 1174–1185, 1974.
- MIALL, A. D. Fluvial sedimentology: Can. [S.I.]: Soc Petrol Geol Mem 5, 1978.
- MIALL, A. D. *Analysis of fluvial depositional systems*. Toronto: AAPG, 1981. 75 p.
- MIALL, A. D. *The geology of fluvial deposits: sedimentary facies, basin analysis and petroleum geology*. New York: Springer, 2006.
- MILANI, E.J.; RANGEL, H.D.; BUENO, G.V.; STICA, J.M.; WINTER, W.R.; CAIXETA, J.M.; DA CRUZ PESSOA NETO, O. Brazilian sedimentary basins - Stratigraphic charts. *Boletim de Geociências da Petrobras*, Rio de Janeiro, v. 15, p. 183–205, 2007.
- MIZUSAKI, A. M. P. Resultados de datações radiométricas. Rio de Janeiro, 1987.
- MIZUSAKI, A. M. P.; SARACCHINI, F. E. Catálogo geral dos dados geocronológicos da Petrobras. [S.l.]:[s.n.], 24p, 1991. 24 p.
- MIZUSAKI, A. M. P.; THOMAZ-FILHO, A.; MILANI, E. J.; DE CÉSERO, P. Mesozoic and Cenozoic igneous activity and its tectonic control in northeastern Brazil. *Journal of South American Earth Sciences*, Amsterdam, v. 15, n. 2, p. 183–198, 2002.
- NÓBREGA, M. A. *Evolução estrutural e termocronológica Meso-cenozoica da Zona de Cisalhamento Portalegre, Nordeste do Brasil*. 2004. Dissertação (Mestrado em Geodinâmica) – Centro de Ciências Exatas e da Terra, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2004.
- NGONGE, E. D.; DE HOLLANDA, M. H. B. M.; ARCHANJO, C. J.; DE OLIVEIRA, D. C.; VASCONCELOS, P. M. P.; MUÑOZ, P. R. M. Petrology of continental tholeiitic magmas forming a 350-km-long Mesozoic dyke swarm in NE Brazil: constraints of geochemical and isotopic data. *Lithos*, v. 258, p. 228–252, 2016.

OGG, J. G.; OGG, G.; GRADSTEIN, F. M. *A Concise Geologic Time Scale*. Amsterdam: Elsevier, p. 240, 2016.

OLIVEIRA, R. G. *Arcabouço geofísico, isostasia e causas do magmatismo cenozóico da província Borborema e de sua margem continental: Nordeste do Brasil*. 2008. Tese (Doutorado em Geodinâmica e Geofísica) – Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2008. 415p.

OLSEN, P. E. A 40-million-year lake record of early Mesozoic orbital climatic forcing. *Science*, v. 234, n. 4778, p. 842-848, 1986.

OLSEN, P. E.; KENT, D. V. Milankovitch climate forcing in the tropics of Pangaea during the Late Triassic. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, v. 122, p. 1-26, 1996.

PONTE, F. C.; PONTE FILHO, F. C. *Estrutura geológica e evolução tectônica da Bacia do Araripe*. Recife: DNPM, 1996. 68 p.

PONTE, F. C.; DINO, R.; ARAI, M.; SILVA-TELLES A. C. *Geologia das bacias sedimentares de Lavras da Mangabeira e do remanescente sedimentar do Rio dos Bastiões, no Estado do Ceará*. Rio de Janeiro: Petrobras-Cenpes-Divex-Sebipe, 1990. 21p.

PONTE, F.C; APPI, C.J. Proposta de revisão da coluna litoestratigráfica da Bacia do Araripe. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 36., 1990, Natal. Anais [...], Natal: SBG. v. I. Natal. 1990, p. 211-226.

PONTE, F. C., HASHIMOTO, A. T.; DINO, R. *Geologia das bacias mesozóicas do interior do Nordeste do Brasil*. Rio de Janeiro, 1991.

POROPAT, S. F.; COLIN, J.P. Early Cretaceous ostracod biostratigraphy of eastern Brazil and western Africa: An overview. *Gondwana Research*, Amsterdam, v. 22, p. 772-798, 2012.

PRIEM, H. N. A.; BOELRIJK, N. A. I. M.; VERSCHURE, R. H.; HEBEDA, E. H.; VERDURMEN, E. A. T.; BON, E. H. K-Ar dating of a basaltic layer in the sedimentary Lavras Basin, Northeastern Brazil. *Revista Brasileira de Geociências*, São Paulo, v. 8, n. 4, p. 262–269, 1978.

RABINOWITZ, P. D.; LABRECQUE, J. The Mesozoic South Atlantic Ocean and evolution of its continental margins. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, v. 84, p. 5973-6002, 1979.

READING, H. G. 1986. Facies. In: *Sedimentary Environments and Facies* 2nd edition. Reading, H. G. (ed.). p. 4-19.

RETALLACK, G. J. Fossil soils: indicators of ancient terrestrial environments. In: NILDAS K. J. (ed.). *Paleobotany, paleoecology and evolution*. New York: Praeger, 1981. p. 55-102.

- RIEDEL, W., 1929. Zur Mechanik geologischer Brucherscheinungen ein Beitrag zum Problem der Fiederspatten. *Zentbl. Miner. Geol. Palaont. Abt.*, p. 354-368.
- SCHALLER, H. Revisão estratigráfica da Bacia de Sergipe/Alagoas. *Boletim Técnico da Petrobrás*, Rio de Janeiro, v. 12, p. 21–86, 1969.
- SILVA, A. R. C. *Análise estratigráfica, sedimentar e paleomagnética do Grupo Iguatu, Ceará, Brasil*. 2018. Dissertação (Mestrado em Geociências) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2018.
- SILVA, D. R. A. D.; MIZUSAKI, A. M. P.; MILANI, E. J.; TASSINARI, C. C. G. Idade deposicional da Formação Bananeiras (Bacia de Sergipe-Alagoas): uma aplicação do método radiométrico Rb-Sr em rochas sedimentares. *Boletim de Geociências da Petrobras*, Rio de Janeiro, v. 14, p. 235–245, 2006.
- SILVA, D. R.; MIZUSAKI, A. M. P.; MILANI, E. J.; PIMENTEL, M. Depositional ages of Paleozoic and Mesozoic pre-rift supersequences of the Recôncavo Basin in northeastern Brazil: A Rb-Sr radiometric study of sedimentary rocks. *Journal of South American Earth Sciences*, Amsterdam, v. 37, p. 13–24, 2012.
- SMITH, S. A. The sedimentology and accretionary styles of an ancient gravel-bed stream: the Budleigh Salterton Pebble Beds (Lower Triassic), southwest England. *Sedimentary Geology*, Amsterdam, v. 67, n. 3-4, p. 199-219, 1990.
- TAUXE, L.; KENT, D. V. A Simplified Statistical Model for the Geomagnetic Field and the Detection of Shallow Bias in Paleomagnetic Inclinations: Was the Ancient Magnetic Field Dipolar?. *Geophysical Monograph Series*, Washington, D.C., v. 145, 101–116, 2004.
- TAUXE, L. *Lectures in Paleomagnetism*. Disponível em: <http://earthref.org/MAGIC/books/Tauxe/2005/>. Acesso em: 23/02/2020. 2020.
- TORSVIK, T. H.; VAN DER VOO, R.; PREEDEN, U.; MAC NIOCAILL, C.; STEINBERGER, B.; DOUBROVINE, P. V.; VAN HINSBERGEN, D. J. J.; DOMEIER, M.; GAILLARD, C.; TOHVER, E.; MEERT, J. G.; MCCAUSLAND, P. J. A.; COCKS, L. R. M. Phanerozoic polar wander, palaeogeography and dynamics. *Earth-Science Reviews*, Amsterdam, v. 114, 325–368, 2012.
- VAZ, P. T.; REZENDE, N. G. A. M. Bacia do Parnaíba. *Boletim de Geociências da Petrobras*, v. 15, n. 2, p. 253-263, 2007.
- VERÍSSIMO, L. S.; AGUIAR, R. B. *Comportamento das bacias sedimentares da região semi-árida do Nordeste brasileiro: Hidrogeologia da bacia sedimentar de Lavras da Mangabeira*. Fortaleza: CPRM/FINEP, 2005. 36 p.
- VIANA, C. F. Cronoestratigrafia dos sedimentos da margem continental brasileira. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 31., 1980, Camboriú. *Anais [...]*, Camboriú: SBG, 1980. p. 832-843.

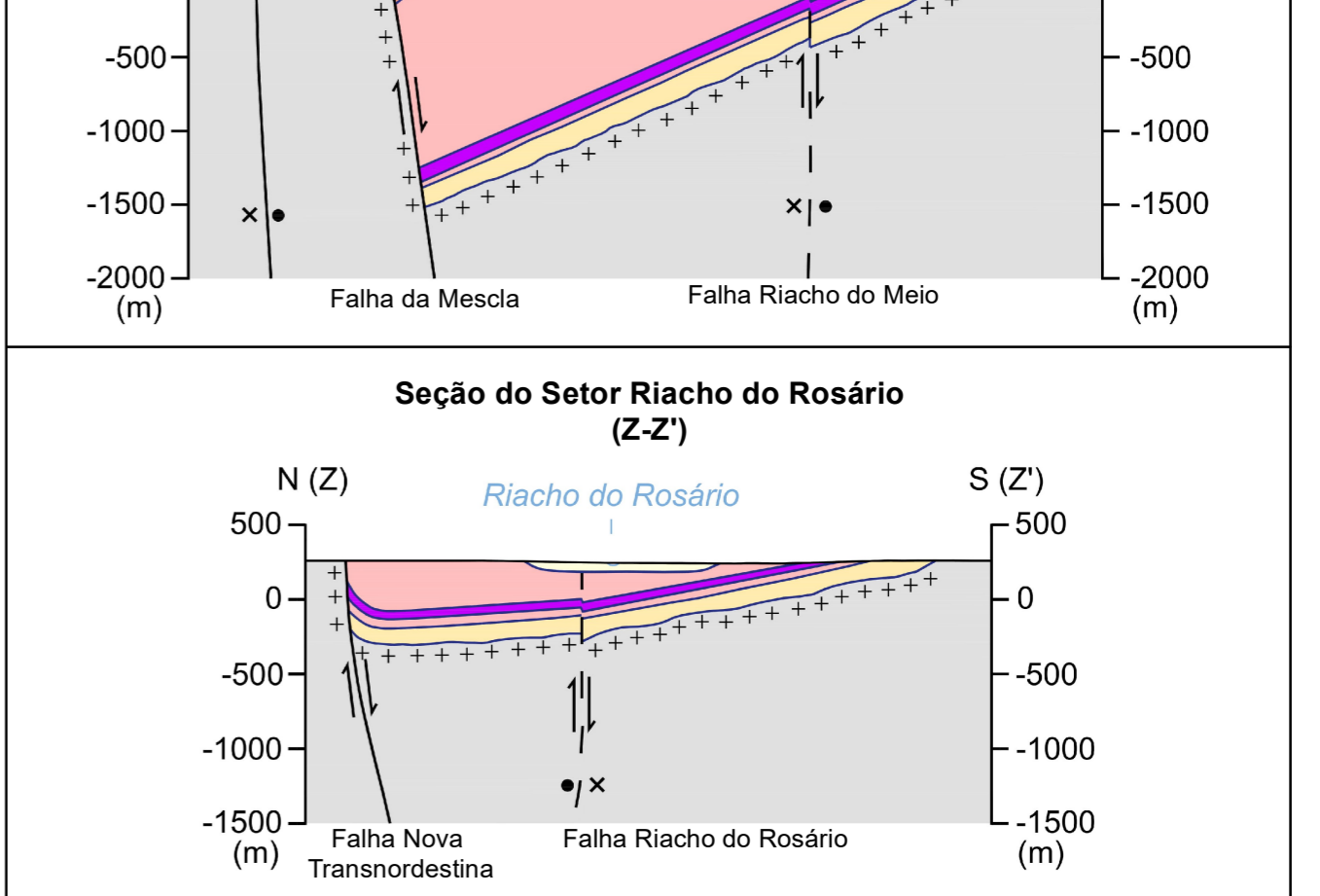
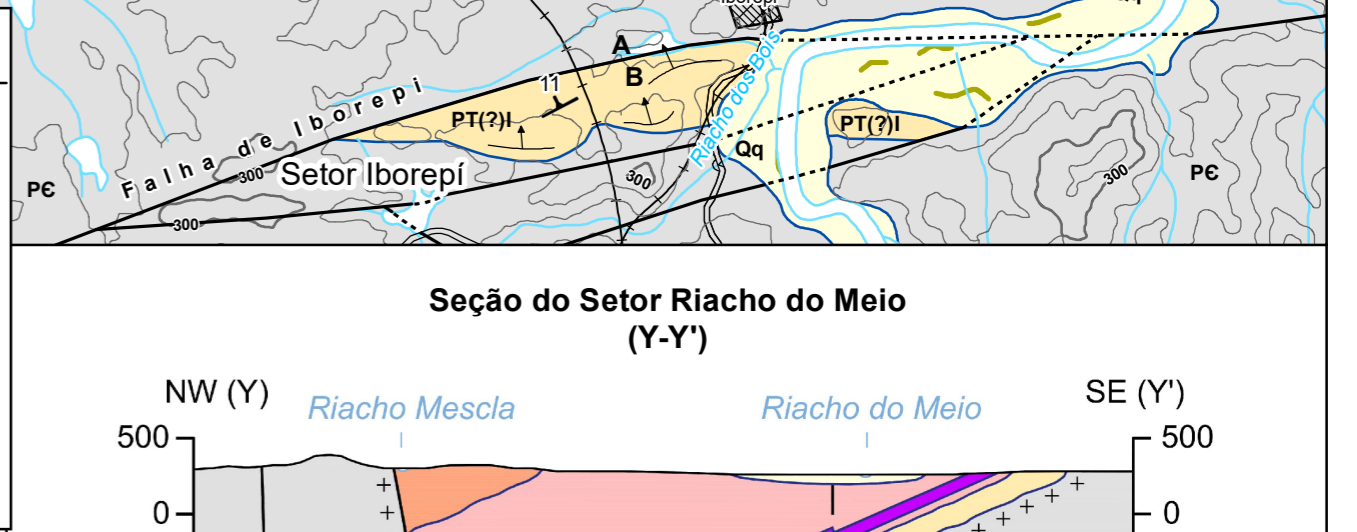
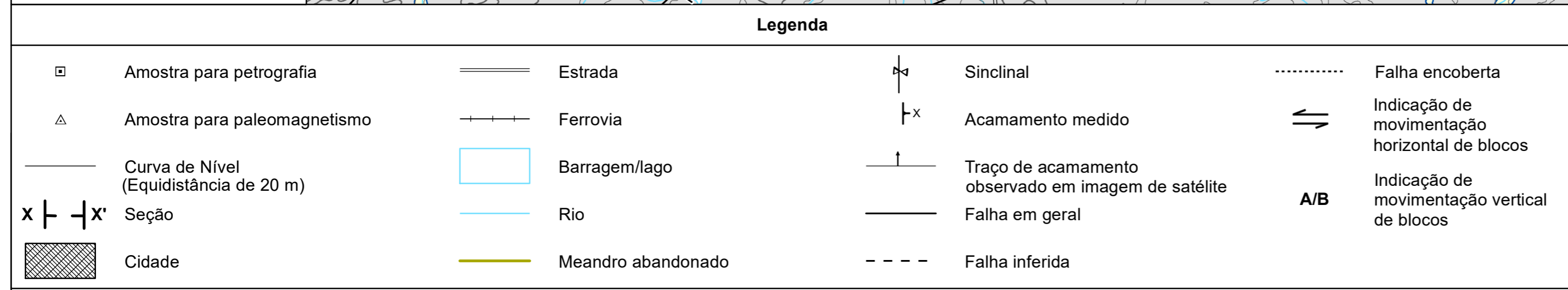
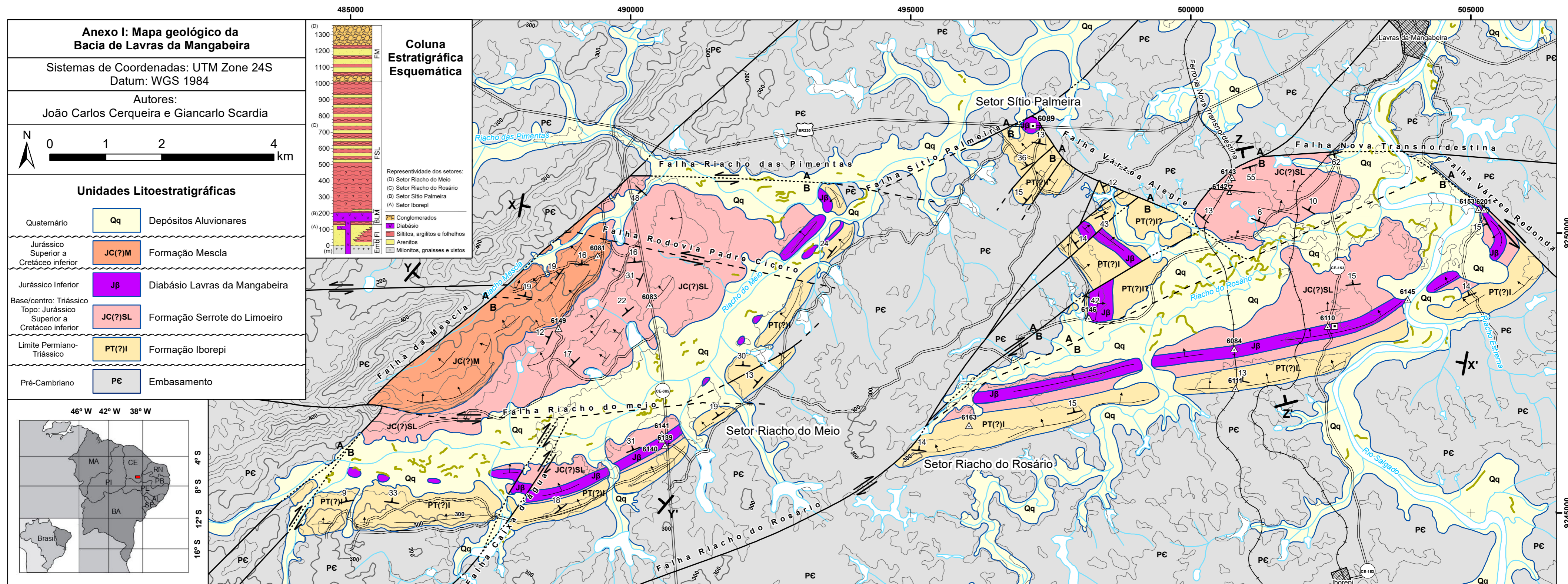
VIANA, C. F.; GAMA, E. G.; JR, SIMÕES, I.; MOURA, J. A.; REIS FONSECA, J.; ALVES, R. J. Revisão estratigráfica da bacia Recôncavo/Tucano. *Boletim Técnico da Petrobrás*, Rio de Janeiro, v. 14, p. 157–192, 1971.

WALKER, R. G. 1992. Facies, facies models and modern stratigraphic concepts. *In: Facies models: responses to sea level change*. WALKER, R. G. JAMES, N. P. (eds). Geological Association of Canada, p. 1-14.

ZIJDERVELD, J. D. A. A demagnetization of rocks: Analysis of results. *Methods in Paleomagnetism*, p. 254–286, 1967.



# Anexo I



# Anexo II

Ponto	Data	Sistema coordenadas UTM Zona 24 Datum WGS 84		Formação	Fácies		Observações
		X	Y		Grossa/ média	Fina	
6079	16 Dec 2019 as 17:45	489960	9249655	Serrote do Limoeiro	x		
6080	16 Dec 2019 as 17:45	489878	9249605	Serrote do Limoeiro	x		St. S0 308/24
6081	18 Jun 2020 as 11:00	489412	9249624	Mescla		x	arenito avermelhado e FI vermelho
6081B	21 Jun 2020 as 08:25	489454	9249643	Mescla	x		St fino sem estrutura
6081C	21 Jun 2020 as 08:31	489396	9249604	Mescla	x		Arenito muito fino bem selecionado
6082	16 Dec 2019 as 17:45	489880	9249352	Serrote do Limoeiro	x		Sp médio, abem selecionado com sets decimétricos
6083	20 Nov 2019 as 17:09	490337	9248719	Serrote do Limoeiro	x		Alternância entrelaminação cruzada St em arenito fino com base abrupta e com os finos FI vermelho, no topo ripples muito bem selecionado.
6083B	18 Jun 2020 as 09:53	490331	9248740	Serrote do Limoeiro		x	FI roxo, com lente de Sr e St
6083C	18 Jun 2020 as 10:02	490325	9248774	Serrote do Limoeiro	x		Canal de arenito com estruturas de escape de água e St médio. Acima uma sequência de argilito siltoso maciço e laminado roxo.
6084	25 Jan 2019 as 09:58	502444	9248248	Diabásio Lavras da Mangabeira	-		Siltito maciço (0-3m), siltito estratificado (3-5m), amídalas verdes a pretos (5-5,5m) e basalto (5,5m em diante)
6085	17 Nov 2019 as 13:06	502225	9247483	Iborepí	x		
6086	17 Nov 2019 as 15:42	502266	9243221	Iborepí	x		
6087	16 Dec 2019 as 17:45	501683	9242959	Iborepí	x		
6088a	3 Nov 2018 as 15:08	496765	9251646	Iborepí	x		Siltito fino verde, acima do arenito do 6088a
6088b	16 Nov 2019 as 14:40	496797	9251610	Iborepí	x		Conglomerados arenosos, com grãos de quartzo anguloso, de tamanhos centimétricos, presença de fraturas SW (203, 240, 217, 200). Cruzadas planares com S0 330/6 e paleocorrente de 305/25, 288/22, 314/24.
6089	15 Jun 2020 as 10:01	497190	9251905	Diabásio Lavras da Mangabeira	-		Rocha melanocrática, com minerais médios a finos de feldspato, piroxênio e celadonita
6110	3 Nov 2018 as 09:06	500766	9247907	Diabásio Lavras da Mangabeira	-		Siltito argiloso roxo acima e abaixo do diabásio, intemperizados
6111	3 Nov 2018 as 10:33	500798	9247226	Iborepí	x		S0 12/11
6124	16 Nov 2019 as 14:59	497296	9251759	Iborepí	x		Arenito sob o diabásio, com textura não muito clara. S0 354/10 e 20/15. Paleocorrente 298/24 e 320/22.
6125	16 Nov 2019 at 15:21	497801	9250711	Embasamento	-		Filonito cinza, clivaggio N220
6126	16 Nov 2019 as 15:39	498392	9250723	Iborepí	x		Arenito grosso St, S0 57/6. paleocorrente 291/20, 337/29 e 301/14
6127	16 Nov 2019 as 16:27	498160	9248900	Iborepí		x	Siltito fino cinza, com siltito vermelho acima, interpretados como planície de inundação. S0 115/44 122/41
6128	16 Nov 2019 as 17:02	497859	9249720	Iborepí	x		S0 55/10 65/12 Arenito conglomerático
6134	20 Nov 2019 as 10:57	498315	9250361	Iborepí	x		Arenito conglomerático com grânulos a seixos de quartzo e feldspato, a rocha tem cor branca, entre os sets maior quantidade de grânulos, as cruzadas acanaladas são centimétricas. S0 121/48
6135	20 Nov 2019 as 11:18	498370	9250012	Diabásio Lavras da Mangabeira	-		Diabásio em matacões. Amostra de Ar/Ar

Ponto	Data	Sistema coordenadas UTM Zona 24 Datum WGS 84		Formação	Fácies		Observações
		X	Y		Grossa/ média	Fina	
6136	20 Nov 2019 as 11:52	498160	9250255	Iborepí	x		Arenito conglomerático com grânulos a seixos de quartzo e feldspato, a rocha tem cor branca, entre os sets maior quantidade de grânulos, as cruzadas acanaladas são centimétricas. S0 162/66
6137	20 Nov 2019 as 12:39	500686	9249875	Serrote do Limoeiro	x		Arenito médio, vermelho, com finos intercalados. S0 13/7 344/8 3/17 22/11 356/20
6138	20 Nov 2019 as 09:55	501362	9250223	Serrote do Limoeiro	x		Arenito médio, vermelho, com finos intercalados. S0 7/3 6/7 6/6 29/17 35/6 16/6
6139	20 Nov 2019 as 14:31	490597	9246276	Diabásio Lavras da Mangabeira	-		pmag
6140	20 Nov 2019 as 15:41	490574	9246359	Diabásio Lavras da Mangabeira	-		Ar/Ar pmag  petrografia
6141	20 Nov 2019 as 16:13	490592	9246386	Diabásio Lavras da Mangabeira	-		pmag contato superior do basalto com encaxante  S0 339/31
6142	21 Nov 2019 as 08:22	500731	9250995	Serrote do Limoeiro	x		pmag  S0 181/29 190/31
6143	21 Nov 2019 as 10:03	500722	9250957	Serrote do Limoeiro	x		S0 182/38  pmag  Rb-Sr
6144	21 Nov 2019 as 12:04	501897	9250339	Serrote do Limoeiro	x		S0 14/12
6145	21 Nov 2019 as 14:38	503871	9248815	Diabásio Lavras da Mangabeira	-		Diabásio pmag S0 4/15, abaixo perto da pista há a presença de siltitos avermelhados
6146	16 Nov 2019 as 17:25	498179	9248492	Diabásio Lavras da Mangabeira	-		pmag petro
6147	21 Nov 2019 as 16:48	490966	9246075	Iborepí	x		arenito conglomerático branco  S0 324/14 322/23 329/22
6148	21 Nov 2019 as 16:59	488698	9247991	Serrote do Limoeiro	x		Arenito cgl  S0 321/11  S1 134/62
6149	21 Nov 2019 as 17:10	488714	9248295	Serrote do Limoeiro	x		Argilito com silte, vermelho com níveis brancos (0-4m), ripples intercalados brancos intercalados com laminação cruzada centimétricas (4-8m), siltito (8-9m) e arenito com cruzada acanalada com fraturas e granulometria médio a grosso (9-11m). Rb/Sr  pmag  S0 320/12 312/19
6149B	19 Jun 2020 as 11:30	488778	9248449	Serrote do Limoeiro	x		St muito deformado, com estrutura de escape de água. S0 295/12
6150	22 Nov 2019 as 08:13	489930	9250862	Serrote do Limoeiro	x		S0 222/48 S1 131/79
6150	22 Nov 2019 as 10:09	485944	9245093	Iborepí	x		
6151	22 Nov 2019 as 10:15	485173	9244704	Iborepí	x		S0 17/33
6152	12 Jun 2020 as 11:31	505068	9248815	Iborepí	x		arenito grosso conglomerático com St e clastos subangulosos de qz e líticos metamórficos. amostra petrográfica arenito

Ponto	Data	Sistema coordenadas UTM Zona 24 Datum WGS 84		Formação	Fácies		Observações
		X	Y		Grossa/ média	Fina	
6153	20 Jun 2020 as 16:22	505201	9250429	Diabásio Lavras da Mangabeira	-		Argilito silteoso abaixo sdo basalto com esfoliação esferoidal e parcialmente intemperizada
6154	12 Jun 2020 as 15:24	505176	9250402	Diabásio Lavras da Mangabeira	-		Arenito médio acima do basalto com pequenos seixos e granulos quartzosos até 1 cm, com cruzada acanalada
6155	12 Jun 2020 as 15:40	498853	9250814	Iborepí	x		Arenito com cruzada acanalada e plano paralela
6156	12 Jun 2020 as 20:17	498358	9250370	Iborepí	x		St grosso. S0 154/49
6157	12 Jun 2020 as 08:17	498684	9250667	Iborepí	x		St grosso muito fraturado.
6158	13 Jun 2020 as 17:28	499349	9247262	Iborepí	x		St grosso. S0 22/15
6159	14 Jun 2020 as 10:39	500802	9247336	Iborepí	x		
6160	14 Jun 2020 as 14:33	498755	9247140	Iborepí	x		St grosso. S0 18/17
6161	14 Jun 2020 as 14:41	498583	9246988	Iborepí	x		St grosso. S0 15/20
6162	14 Jun 2020 as 16:40	495364	9246206	Iborepí	x		St grosso. S0 6/14
6163	14 Jun 2020 as 15:14	496095	9246526	Iborepí	x		Siltito verde parcialmente intemperizado, acima FI e acima deste último uma camada de St. S0 358/11 338/19
6164	15 Jun 2020 as 09:04	497337	9250770	Iborepí	x		St grosso. S0 310/15
6165	15 Jun 2020 as 09:24	497156	9251336	Iborepí	x		St com FI abaixo. S0 282/11
6166	15 Jun 2020 as 09:47	496689	9251773	Iborepí	x		St muito fraturado. S0 302/16
6167	15 Jun 2020 at 11:30	497542	9250680	Iborepí	x		Contato erosivo St e embasamento. S0 340/11
6168	16 Jun 2020 as 09:52	493981	9250049	Iborepí	x		St grosso. 322/22
6169	16 Jun 2020 as 10:33	492748	9247858	Iborepí	x		St fragmentado, trend E-W e NE-SW, contato tectônico?
6170	16 Jun 2020 as 10:43	492726	9247729	Iborepí	x		St grosso. S0 312/7
6171	21 Nov 2019 as 16:38	492355	9247320	Iborepí	x		arenitos brancos conglomeraticos, com estratificacao cruzada acanalada 342/29
6172	16 Jun 2020 as 11:40	492172	9247798	Iborepí	x		St grosso. S0 2/30
6173	16 Jun 2020 as 15:08	484666	9245080	Iborepí	x		St e Gt. S0 22/16
6174	16 Jun 2020 as 15:59	485944	9245216	Iborepí	x		Sp com grânulos e lag. S0 358/14
6175	17 Jun 2020 as 11:46	491430	9246570	Iborepí	x		St. S0 358/12
6176	17 Jun 2020 as 14:33	492166	9247152	Iborepí	x		St. S0 320/10
6177	17 Jun 2020 as 15:02	493323	9249408	Iborepí	x		St. S0 308/24
6178A	17 Jun 2020 as 16:25	490633	9246047	Iborepí	x		St. S0 26/12
6178B	17 Jun 2020 as 16:25	490627	9246122	Serrote do Limoeiro		x	FI verde. S0 42/12
6179	18 Jun 2020 as 08:19	490602	9246397	Serrote do Limoeiro		x	FI vermelho alternado com argilito cinza logo acima do Diabásio. S0 336/18
6180	18 Jun 2020 as 08:28	490600	9246422	Serrote do Limoeiro		x	Argilito cinza esverdeado. ostracode
6181	18 Jun 2020 as 08:34	490601	9246439	Serrote do Limoeiro		x	argilito vermelho
6182	18 Jun 2020 as 08:37	490593	9246459	Serrote do Limoeiro		x	arenito.muito fino laminado Pp com filmes milimetricos de argilitos vermelho
6184	21 Jun 2020 as 08:22	489517	9249681	Mescla	x		arenito medio a grosso conglomeratico, com clastos subangulosos e subarredondados, clay chips. St as vezes fina a média. S0 118/51
6185	21 Jun 2020 as 08:40	489196	9249492	Mescla	x		St médio a grosso com muscovita. Acima tem siltito vermelho Fsm. S0 300/25
6185B	21 Jun 2020 as 08:37	489239	9249535	Mescla	x		St médio
6185C	21 Jun 2020 as 08:42	489158	9249468	Mescla		x	FI vermelho com arenito médio no topo
6185D	21 Jun 2020 as 08:46	489137	9249450	Mescla	x		Arenito médio St

Ponto	Data	Sistema coordenadas UTM Zona 24 Datum WGS 84		Formação	Fácies		Observações
		X	Y		Grossa/ média	Fina	
6186	18 Jun 2020 as 11:46	488751	9249421	Mescla	x		Arenito silicificado St grosso a médio, com grânulos na base dos sets centimétricos. Fratura preenchida com sílica Sn 118/51
6187	18 Jun 2020 as 12:12	488646	9249365	Mescla	x		s0 312/29 292/10 p 332/37 st medio a grosso com granulo
6188	18 Jun 2020 as 14:19	488638	9249279	Mescla	x		St semelhante ao 6186, com clastos subarredondados de maioria quartzoso e feldspático de até 2 cm, S0 12/19
6189	18 Jun 2020 as 14:58	488333	9249229	Mescla	x		
6190	18 Jun 2020 as 15:17	488057	9248993	Mescla	x		St grosso a médio. S0 12/19
6191	18 Jun 2020 as 15:35	487816	9248997	Mescla	x		St grosso. S0 151/21
6192	19 Jun 2020 as 08:50	489556	9249893	Mescla	x		St fino com granocrescência acidente. Com clivagem paralela a falha.
6193	20 Nov 2019 as 17:25	489645	9249337	Serrote do Limoeiro	x		pedreira arenito. Seção colunar.
6194	19 Jun 2020 as 10:45	488888	9248588	Serrote do Limoeiro	x		Contato entre arenito conglomerático grosso Gt com grãos subangulosos de quartzo, feldspato e muscovita com o siltito roxo, com discordância erosiva. Abaixo há a presença de St com muscovita com sets centimétricos a decimétricos. S0 332/11
6195	19 Jun 2020 as 12:16	486536	9246636	Serrote do Limoeiro	x		Sh médio com muscovita, bem selecionado, com sets decimétricos. Fraturas E-W S0 8/40
6197	19 Jun 2020 as 15:11	490133	9249242	Serrote do Limoeiro	x		St fino a médio com Fsm vermelho, sets centimétricos.
6198	19 Jun 2020 as 15:58	490452	9249939	Serrote do Limoeiro	x		Arenito médio a fino muito deformado. Fratura NW
6199	19 Jun 2020 as 16:42	485003	9245396	Iborepí	x		St grosso. S0 348/9
6200	19 Jun 2020 as 17:35	486379	9245251	Iborepí	x		St grosso. S0 345/13
6201	20 Jun 2020 as 16:22	505209	9250424	Diabásio Lavras da Mangabeira	-		S0 202/33 pmag argilito
6202	21 Jun 2020 as 08:56	488862	9249476	Mescla	x		arenito muito fino
6203	21 Jun 2020 as 10:22	502428	9251422	Serrote do Limoeiro	x		Arenito grosso com sets pequenos de St, intercalado com siltito verde e roxo com falha ao norte e camadas com dobra de arrasto. A base mais próxima da falha possui litologia mais grossa de Gt a St, com clastos metamórficos e quartzo.
Ponto de Controle-01	-	489479	9249471	Mescla	x		
Ponto de Controle-02	-	489535	9249615	Mescla	x		
Ponto de Controle-03	-	489517	9249681	Mescla	x		
Ponto de Controle-04	-	489556	9249893	Mescla	x		
Ponto de Controle-05	-	489196	9249492	Mescla	x		
Ponto de Controle-06	-	489137	9249450	Mescla	x		
Ponto de Controle-07	-	488751	9249421	Mescla	x		
Ponto de Controle-08	-	488646	9249365	Mescla	x		
Ponto de Controle-09	-	488638	9249279	Mescla	x		
Ponto de Controle-10	-	488333	9249229	Mescla	x		
Ponto de Controle-11	-	488057	9248993	Mescla	x		
Ponto de Controle-12	-	487956	9248970	Mescla	x		
Ponto de Controle-13	-	487914	9248964	Mescla	x		
Ponto de Controle-14	-	487879	9248981	Mescla	x		
Ponto de Controle-15	-	487816	9248997	Mescla	x		
Ponto de Controle-16	-	500766	9247907	Diabásio Lavras da Mangabeira	-		
Ponto de Controle-17	-	502444	9248248	Diabásio Lavras da Mangabeira	-		

Ponto	Data	Sistema coordenadas UTM Zona 24 Datum WGS 84		Formação	Fácies		Observações
		X	Y		Grossa/ média	Fina	
Ponto de Controle-18	16 Nov 2019 as 14:18	497083	9252156	Embasamento	-		
Ponto de Controle-19	16 Nov 2019 as 15:25	497977	9250794	Embasamento	-		
Ponto de Controle-20	16 Nov 2019 as 15:26	498120	9250642	Embasamento	-		
Ponto de Controle-21	16 Nov 2019 as 15:49	498252	9250577	Embasamento	-		
Ponto de Controle-22	16 Nov 2019 as 15:53	497508	9250728	Iborepí	x		arenito cgl
Ponto de Controle-23	16 Nov 2019 as 15:55	497254	9250278	Embasamento	-		
Ponto de Controle-24	16 Nov 2019 as 15:56	497048	9249885	Embasamento	-		
Ponto de Controle-25	16 Nov 2019 as 15:57	496821	9249466	Embasamento	-		
Ponto de Controle-26	16 Nov 2019 as 15:58	496788	9249018	Embasamento	-		
Ponto de Controle-27	16 Nov 2019 as 16:00	496413	9248587	Embasamento	-		
Ponto de Controle-28	16 Nov 2019 as 16:02	496240	9247980	Embasamento	-		
Ponto de Controle-29	16 Nov 2019 as 16:05	497043	9248172	Embasamento	-		
Ponto de Controle-30	16 Nov 2019 as 16:22	498177	9248811	Diabásio Lavras da Mangabeira	-		Diabásio
Ponto de Controle-31	16 Nov 2019 as 16:32	498070	9248998	Embasamento	-		
Ponto de Controle-32	16 Nov 2019 as 16:46	497908	9249497	Embasamento	-		
Ponto de Controle-33	16 Nov 2019 as 17:09	497960	9249430	Embasamento	-		
Ponto de Controle-34	16 Nov 2019 as 17:10	498022	9249378	Iborepí	x		
Ponto de Controle-35	16 Nov 2019 as 17:19	498203	9249102	Iborepí	x		
Ponto de Controle-36	16 Nov 2019 as 17:22	498164	9249103	Embasamento	-		
Ponto de Controle-37	17 Nov 2019 as 13:13	504411	9253519	Embasamento	-		
Ponto de Controle-38	17 Nov 2019 as 15:35	500783	9247149	Embasamento	-		
Ponto de Controle-39	17 Nov 2019 as 15:50	501630	9243181	Iborepí	x		
Ponto de Controle-40	17 Nov 2019 as 15:50	501714	9242865	Embasamento	-		
Ponto de Controle-41	17 Nov 2019 as 15:51	501924	9242910	Iborepí	x		
Ponto de Controle-42	17 Nov 2019 as 15:53	503154	9243777	Embasamento	-		
Ponto de Controle-43	20 Nov 2019 as 09:50	502852	9251720	Embasamento	-		
Ponto de Controle-44	20 Nov 2019 as 09:54	501869	9250457	Serrote do Limoeiro	x		
Ponto de Controle-45	20 Nov 2019 as 09:54	501627	9250384	Serrote do Limoeiro	x		
Ponto de Controle-46	20 Nov 2019 as 09:56	501095	9249878	Serrote do Limoeiro	x		
Ponto de Controle-47	20 Nov 2019 as 10:13	498602	9248778	Diabásio Lavras da Mangabeira	-		
Ponto de Controle-48	20 Nov 2019 as 10:47	498226	9250303	Iborepí	x		S0 145/18? incl incerta
Ponto de Controle-49	20 Nov 2019 as 11:37	498200	9249899	Diabásio Lavras da Mangabeira	-		
Ponto de Controle-50	20 Nov 2019 as 11:42	498184	9249860	Iborepí	x		
Ponto de Controle-51	20 Nov 2019 as 11:51	498164	9250175	Diabásio Lavras da Mangabeira	-		
Ponto de Controle-52	20 Nov 2019 as 11:53	498132	9250273	Embasamento	-		
Ponto de Controle-53	20 Nov 2019 as 12:57	502075	9250615	Serrote do Limoeiro	x		
Ponto de Controle-54	20 Nov 2019 as 13:00	502906	9251761	Embasamento	-		
Ponto de Controle-55	20 Nov 2019 as 13:02	503577	9252821	Embasamento	-		
Ponto de Controle-56	20 Nov 2019 as 13:58	489914	9251398	Embasamento	-		
Ponto de Controle-57	20 Nov 2019 as 17:24	489479	9249471	Mescla	x		
Ponto de Controle-58	21 Nov 2019 as 11:08	500395	9250388	Serrote do Limoeiro	x		S0 16/16
Ponto de Controle-59	21 Nov 2019 as 12:01	501777	9249475	Serrote do Limoeiro	x		
Ponto de Controle-60	21 Nov 2019 as 12:04	501897	9250224	Serrote do Limoeiro	x		
Ponto de Controle-61	21 Nov 2019 as 13:39	502774	9248918	Serrote do Limoeiro	x		
Ponto de Controle-62	21 Nov 2019 as 14:06	503796	9248736	Diabásio Lavras da Mangabeira	-		
Ponto de Controle-63	21 Nov 2019 as 14:58	503022	9248933	Serrote do Limoeiro	x		S0 4/15 345/17 284/13
Ponto de Controle-64	21 Nov 2019 as 16:35	492518	9247182	Embasamento	-		
Ponto de Controle-65	21 Nov 2019 as 16:46	491548	9246557	Embasamento	-		
Ponto de Controle-66	21 Nov 2019 as 16:47	491421	9246363	Embasamento	-		
Ponto de Controle-67	21 Nov 2019 as 16:47	491368	9246090	Embasamento	-		
Ponto de Controle-68	21 Nov 2019 as 16:49	491044	9246026	Embasamento	-		
Ponto de Controle-69	22 Nov 2019 as 07:49	498998	9251841	Embasamento	-		
Ponto de Controle-70	22 Nov 2019 as 07:50	498091	9251877	Embasamento	-		
Ponto de Controle-71	22 Nov 2019 as 07:51	496011	9251964	Embasamento	-		
Ponto de Controle-72	22 Nov 2019 as 07:52	494050	9252002	Embasamento	-		



Ponto	Data	Sistema coordenadas UTM Zona 24 Datum WGS 84		Formação	Fácies		Observações
		X	Y		Grossa/ média	Fina	
Ponto de Controle-73	22 Nov 2019 as 07:52	493613	9251929	Embasamento	-		
Ponto de Controle-74	22 Nov 2019 as 07:54	491815	9251587	Embasamento	-		
Ponto de Controle-75	22 Nov 2019 as 07:54	491596	9251549	Embasamento	-		
Ponto de Controle-76	22 Nov 2019 as 07:54	490629	9251495	Embasamento	-		
Ponto de Controle-77	22 Nov 2019 as 07:55	490257	9251654	Embasamento	-		
Ponto de Controle-78	22 Nov 2019 as 07:55	490089	9251770	Embasamento	-		
Ponto de Controle-79	22 Nov 2019 as 07:58	490043	9251115	Embasamento	-		
Ponto de Controle-80	22 Nov 2019 as 08:14	501829	9249723	Serrote do Limoeiro	x		
Ponto de Controle-81	22 Nov 2019 as 08:20	490062	9249770	Serrote do Limoeiro	x		
Ponto de Controle-82	22 Nov 2019 as 09:50	490300	9245735	lborepí	x		
Ponto de Controle-83	22 Nov 2019 as 09:50	489952	9245575	lborepí	x		
Ponto de Controle-84	22 Nov 2019 as 09:51	489723	9245521	lborepí	x		
Ponto de Controle-85	22 Nov 2019 as 09:52	489413	9245298	lborepí	x		S0 321/18
Ponto de Controle-86	22 Nov 2019 as 09:53	488845	9245047	lborepí	x		
Ponto de Controle-87	22 Nov 2019 as 09:58	487946	9244835	lborepí	x		
Ponto de Controle-88	22 Nov 2019 as 10:00	487489	9245031	lborepí	x		
Ponto de Controle-89	22 Nov 2019 as 10:02	487268	9245274	lborepí	x		
Ponto de Controle-90	22 Nov 2019 as 10:04	486886	9245260	lborepí	x		
Ponto de Controle-91	22 Nov 2019 as 10:06	486316	9245218	lborepí	x		
Ponto de Controle-92	22 Nov 2019 as 10:13	485166	9244773	lborepí	x		
Ponto de Controle-93	22 Nov 2019 as 10:15	485176	9244685	Embasamento	-		
Ponto de Controle-94	22 Nov 2019 as 10:19	485479	9244663	Embasamento	-		
Ponto de Controle-95	22 Nov 2019 as 10:20	485638	9244656	Embasamento	-		
Ponto de Controle-96	22 Nov 2019 as 10:21	485988	9244713	lborepí	x		
Ponto de Controle-97	22 Nov 2019 as 10:27	487431	9244844	lborepí	x		
Ponto de Controle-98	12 Jun 2020 as 09:44	504348	9251154	Embasamento	-		
Ponto de Controle-99	12 Jun 2020 as 09:45	504567	9251007	Embasamento	-		
Ponto de Controle-100	12 Jun 2020 as 11:20	505682	9249440	lborepí	x		
Ponto de Controle-101	12 Jun 2020 as 12:14	505274	9248400	Embasamento	-		
Ponto de Controle-102	12 Jun 2020 as 12:15	505114	9248676	lborepí	x		
Ponto de Controle-103	12 Jun 2020 as 12:38	505326	9250541	Embasamento	-		
Ponto de Controle-104	12 Jun 2020 as 15:23	505240	9250378	Diabásio Lavras da Mangabeira	-		
Ponto de Controle-105	12 Jun 2020 as 15:24	505267	9250321	Diabásio Lavras da Mangabeira	-		
Ponto de Controle-106	12 Jun 2020 as 15:28	504600	9250942	Embasamento	-		
Ponto de Controle-107	12 Jun 2020 as 16:01	498235	9250646	Embasamento	-		
Ponto de Controle-108	12 Jun 2020 as 16:05	498275	9250756	Embasamento	-		
Ponto de Controle-109	12 Jun 2020 as 17:38	498514	9250724	lborepí	x		
Ponto de Controle-110	12 Jun 2020 as 17:38	498684	9250684	lborepí	x		
Ponto de Controle-111	12 Jun 2020 as 17:39	498859	9250749	Embasamento	-		
Ponto de Controle-112	12 Jun 2020 as 17:40	498826	9250697	lborepí	x		
Ponto de Controle-113	12 Jun 2020 as 17:46	498274	9250550	Embasamento	-		
Ponto de Controle-114	12 Jun 2020 as 20:32	498289	9250749	lborepí	x		
Ponto de Controle-115	12 Jun 2020 as 20:34	498396	9250843	lborepí	x		
Ponto de Controle-116	12 Jun 2020 as 20:35	498484	9250772	lborepí	x		
Ponto de Controle-117	12 Jun 2020 as 20:35	498333	9250985	Embasamento	-		
Ponto de Controle-118	12 Jun 2020 as 20:36	498346	9250942	Embasamento	-		
Ponto de Controle-119	12 Jun 2020 as 20:36	498309	9250826	Embasamento	-		
Ponto de Controle-120	12 Jun 2020 as 20:41	498541	9250553	lborepí	x		
Ponto de Controle-121	12 Jun 2020 as 20:42	498470	9250462	lborepí	x		
Ponto de Controle-122	13 Jun 2020 as 08:25	498498	9250532	lborepí	x		
Ponto de Controle-123	13 Jun 2020 as 09:06	498962	9250832	Embasamento	-		
Ponto de Controle-124	13 Jun 2020 as 09:17	499199	9250766	Embasamento	-		
Ponto de Controle-125	13 Jun 2020 as 09:20	499331	9250740	Embasamento	-		
Ponto de Controle-126	13 Jun 2020 as 09:26	499600	9250635	Embasamento	-		
Ponto de Controle-127	13 Jun 2020 as 09:56	499845	9250107	lborepí	x		

Ponto	Data	Sistema coordenadas UTM Zona 24 Datum WGS 84		Formação	Fácies		Observações
		X	Y		Grossa/ média	Fina	
Ponto de Controle-128	13 Jun 2020 as 10:03	499680	9250567	Embasamento	-		ultimo embasamentos
Ponto de Controle-129	13 Jun 2020 as 10:35	499281	9250149	Iborepí	x		
Ponto de Controle-130	13 Jun 2020 as 16:35	500616	9247939	Diabásio Lavras da Mangabeira	-		
Ponto de Controle-131	14 Jun 2020 as 08:14	500787	9247723	Serrote do Limoeiro	x		
Ponto de Controle-132	14 Jun 2020 as 14:49	498213	9246904	Iborepí	x		
Ponto de Controle-133	14 Jun 2020 as 14:52	497415	9246823	Iborepí	x		
Ponto de Controle-134	14 Jun 2020 as 14:53	497335	9246662	Iborepí	x		
Ponto de Controle-135	14 Jun 2020 as 14:57	497356	9246283	Embasamento	-		
Ponto de Controle-136	14 Jun 2020 as 15:02	497212	9246728	Iborepí	x		
Ponto de Controle-137	14 Jun 2020 as 15:03	496949	9246694	Iborepí	x		
Ponto de Controle-138	14 Jun 2020 as 16:05	495957	9246492	Iborepí	x		mesmo que 6163
Ponto de Controle-139	14 Jun 2020 as 16:07	495800	9246438	Iborepí	x		igual 6163
Ponto de Controle-140	14 Jun 2020 as 16:13	495167	9246202	Iborepí	x		
Ponto de Controle-141	14 Jun 2020 as 16:14	495027	9246220	Embasamento	-		
Ponto de Controle-142	14 Jun 2020 as 16:15	495049	9246222	Iborepí	x		
Ponto de Controle-143	14 Jun 2020 as 16:30	495285	9246020	Iborepí	x		
Ponto de Controle-144	14 Jun 2020 as 16:32	495341	9245820	Embasamento	-		
Ponto de Controle-145	14 Jun 2020 as 16:38	495264	9245970	Embasamento	-		
Ponto de Controle-146	14 Jun 2020 as 16:58	495490	9246275	Iborepí	x		
Ponto de Controle-147	14 Jun 2020 as 16:59	496390	9246593	Iborepí	x		
Ponto de Controle-148	14 Jun 2020 as 16:59	496688	9246649	Iborepí	x		
Ponto de Controle-149	14 Jun 2020 as 17:00	496845	9246675	Iborepí	x		
Ponto de Controle-150	14 Jun 2020 as 17:16	498940	9247735	Diabásio Lavras da Mangabeira	-		
Ponto de Controle-151	15 Jun 2020 as 09:01	497366	9250711	Iborepí	x		
Ponto de Controle-152	15 Jun 2020 as 09:13	497178	9250639	Iborepí	x		
Ponto de Controle-153	15 Jun 2020 as 09:13	497176	9250581	Iborepí	x		
Ponto de Controle-154	15 Jun 2020 as 09:20	497208	9250507	Embasamento	-		
Ponto de Controle-155	15 Jun 2020 as 09:23	497256	9250865	Iborepí	x		
Ponto de Controle-156	15 Jun 2020 as 09:37	496923	9251425	Iborepí	x		
Ponto de Controle-157	15 Jun 2020 as 09:38	496837	9251554	Iborepí	x		
Ponto de Controle-158	15 Jun 2020 as 09:41	496644	9251455	Iborepí	x		
Ponto de Controle-159	15 Jun 2020 as 09:42	496613	9251412	Embasamento	-		
Ponto de Controle-160	15 Jun 2020 as 09:58	496667	9251834	Iborepí	x		
Ponto de Controle-161	15 Jun 2020 as 09:58	496637	9251891	Embasamento	-		
Ponto de Controle-162	15 Jun 2020 as 10:00	496817	9251918	Embasamento	-		
Ponto de Controle-163	15 Jun 2020 as 10:11	497456	9251690	Iborepí	x		
Ponto de Controle-164	15 Jun 2020 as 10:14	497500	9251702	Embasamento	-		
Ponto de Controle-165	15 Jun 2020 as 10:31	497504	9251632	Iborepí	x		
Ponto de Controle-166	15 Jun 2020 as 10:33	497524	9251581	Iborepí	x		
Ponto de Controle-167	15 Jun 2020 as 10:35	497536	9251595	Embasamento	-		
Ponto de Controle-168	15 Jun 2020 as 10:37	497202	9251521	Iborepí	x		
Ponto de Controle-169	15 Jun 2020 as 10:46	497727	9250786	Embasamento	-		
Ponto de Controle-170	15 Jun 2020 as 10:59	497765	9251292	Embasamento	-		
Ponto de Controle-171	15 Jun 2020 as 11:06	497793	9250877	Embasamento	-		
Ponto de Controle-172	15 Jun 2020 as 11:15	497609	9250673	Iborepí	x		
Ponto de Controle-173	15 Jun 2020 as 11:20	497627	9250661	Embasamento	-		
Ponto de Controle-174	15 Jun 2020 as 11:22	497614	9250630	Embasamento	-		
Ponto de Controle-175	15 Jun 2020 as 11:25	497555	9250651	Iborepí	x		
Ponto de Controle-176	15 Jun 2020 as 11:33	497505	9250674	Embasamento	-		
Ponto de Controle-177	15 Jun 2020 as 11:41	497615	9250664	Embasamento	-		
Ponto de Controle-178	16 Jun 2020 as 08:33	496015	9250983	Embasamento	-		
Ponto de Controle-179	16 Jun 2020 as 08:34	495481	9250212	Embasamento	-		
Ponto de Controle-180	16 Jun 2020 as 08:36	495296	9249954	Embasamento	-		
Ponto de Controle-181	16 Jun 2020 as 08:37	495022	9249866	Embasamento	-		
Ponto de Controle-182	16 Jun 2020 as 08:39	494562	9249934	Embasamento	-		

Ponto	Data	Sistema coordenadas UTM Zona 24 Datum WGS 84		Formação	Fácies		Observações
		X	Y		Grossa/ média	Fina	
Ponto de Controle-183	16 Jun 2020 as 08:39	494421	9249908	Embasamento	-		
Ponto de Controle-184	16 Jun 2020 as 08:40	494278	9249891	Embasamento	-		
Ponto de Controle-185	16 Jun 2020 as 08:42	494137	9249911	Embasamento	-		
Ponto de Controle-186	16 Jun 2020 as 08:50	494026	9250190	Embasamento	-		
Ponto de Controle-187	16 Jun 2020 as 09:14	493998	9250182	Embasamento	-		
Ponto de Controle-188	16 Jun 2020 as 09:24	493727	9250076	Diabásio Lavras da Mangabeira	-		
Ponto de Controle-189	16 Jun 2020 as 09:25	493705	9250095	Diabásio Lavras da Mangabeira	-		
Ponto de Controle-190	16 Jun 2020 as 09:26	493697	9250108	Iborepí	x		
Ponto de Controle-191	16 Jun 2020 as 09:37	493752	9250082	Diabásio Lavras da Mangabeira	-		
Ponto de Controle-192	16 Jun 2020 as 09:37	493715	9250117	Iborepí	x		
Ponto de Controle-193	16 Jun 2020 as 09:59	494055	9250054	Embasamento	-		
Ponto de Controle-194	16 Jun 2020 as 10:08	493934	9249929	Iborepí	x		
Ponto de Controle-195	16 Jun 2020 as 10:08	494007	9249779	Embasamento	-		
Ponto de Controle-196	16 Jun 2020 as 10:10	493899	9249777	Iborepí	x		
Ponto de Controle-197	16 Jun 2020 as 10:11	493786	9249504	Embasamento	-		
Ponto de Controle-198	16 Jun 2020 as 10:12	493641	9249432	Embasamento	-		
Ponto de Controle-199	16 Jun 2020 as 10:13	493489	9249486	Iborepí	x		
Ponto de Controle-200	16 Jun 2020 as 10:15	493481	9249205	Embasamento	-		
Ponto de Controle-201	16 Jun 2020 as 10:21	493439	9248906	Embasamento	-		
Ponto de Controle-202	16 Jun 2020 as 10:22	493347	9248772	Embasamento	-		
Ponto de Controle-203	16 Jun 2020 as 10:22	493306	9248665	Embasamento	-		
Ponto de Controle-204	16 Jun 2020 as 10:24	492860	9248287	Embasamento	-		
Ponto de Controle-205	16 Jun 2020 as 10:25	492891	9248427	Embasamento	-		
Ponto de Controle-206	16 Jun 2020 as 10:25	492766	9248056	Embasamento	-		
Ponto de Controle-207	16 Jun 2020 as 10:32	492753	9247868	Embasamento	-		
Ponto de Controle-208	16 Jun 2020 as 10:39	492721	9247778	Iborepí	x		
Ponto de Controle-209	16 Jun 2020 as 10:45	492742	9247617	Embasamento	-		
Ponto de Controle-210	16 Jun 2020 as 10:47	492736	9247654	Iborepí	x		
Ponto de Controle-211	16 Jun 2020 as 10:47	492660	9247516	Embasamento	-		
Ponto de Controle-212	16 Jun 2020 as 10:49	492489	9247257	Embasamento	-		
Ponto de Controle-213	16 Jun 2020 as 10:51	492404	9247268	Embasamento	-		
Ponto de Controle-214	16 Jun 2020 as 11:23	492123	9247693	Iborepí	x		
Ponto de Controle-215	16 Jun 2020 as 11:46	492300	9247982	Iborepí	x		
Ponto de Controle-216	16 Jun 2020 as 12:08	491990	9248147	Diabásio Lavras da Mangabeira	-		
Ponto de Controle-217	16 Jun 2020 as 12:20	492305	9248023	Iborepí	x		
Ponto de Controle-218	16 Jun 2020 as 12:24	492347	9248149	Iborepí	x		
Ponto de Controle-219	16 Jun 2020 as 14:27	487223	9244873	Iborepí	x		
Ponto de Controle-220	16 Jun 2020 as 14:28	487167	9244774	Embasamento	-		
Ponto de Controle-221	16 Jun 2020 as 14:28	487033	9244754	Embasamento	-		
Ponto de Controle-222	16 Jun 2020 as 14:29	486964	9244802	Iborepí	x		
Ponto de Controle-223	16 Jun 2020 as 14:29	486879	9244688	Embasamento	-		
Ponto de Controle-224	16 Jun 2020 as 14:30	486687	9244754	Iborepí	x		
Ponto de Controle-225	16 Jun 2020 as 14:30	486479	9244736	Embasamento	-		
Ponto de Controle-226	16 Jun 2020 as 14:30	486335	9244738	Embasamento	-		
Ponto de Controle-227	16 Jun 2020 as 14:31	486216	9244724	Embasamento	-		
Ponto de Controle-228	16 Jun 2020 as 14:31	485953	9244667	Embasamento	-		
Ponto de Controle-229	16 Jun 2020 as 14:35	484454	9244290	Embasamento	-		
Ponto de Controle-230	16 Jun 2020 as 14:40	484109	9244667	Iborepí	x		
Ponto de Controle-231	16 Jun 2020 as 14:43	484010	9244291	Embasamento	-		
Ponto de Controle-232	16 Jun 2020 as 14:49	484520	9244569	Embasamento	-		
Ponto de Controle-233	16 Jun 2020 as 14:52	484261	9244487	Embasamento	-		
Ponto de Controle-234	16 Jun 2020 as 14:55	484587	9244672	Iborepí	x		
Ponto de Controle-235	16 Jun 2020 as 15:02	484540	9244722	Iborepí	x		
Ponto de Controle-236	16 Jun 2020 as 15:05	484713	9244915	Iborepí	x		
Ponto de Controle-237	16 Jun 2020 as 15:20	484535	9245187	Iborepí	x		

Ponto	Data	Sistema coordenadas UTM Zona 24 Datum WGS 84		Formação	Fácies		Observações
		X	Y		Grossa/ média	Fina	
Ponto de Controle-238	16 Jun 2020 as 15:21	484452	9245332	Iborepí	x		
Ponto de Controle-239	16 Jun 2020 as 15:23	484401	9245478	Iborepí	x		
Ponto de Controle-240	16 Jun 2020 as 15:25	484224	9245424	Iborepí	x		
Ponto de Controle-241	16 Jun 2020 as 15:28	483997	9245230	Iborepí	x		
Ponto de Controle-242	16 Jun 2020 as 15:30	483915	9245205	Embasamento	-		
Ponto de Controle-243	16 Jun 2020 as 15:31	483888	9245233	Embasamento	-		
Ponto de Controle-244	16 Jun 2020 as 15:34	483920	9245169	Embasamento	-		
Ponto de Controle-245	16 Jun 2020 as 15:45	484880	9245028	Iborepí	x		
Ponto de Controle-246	16 Jun 2020 as 17:00	487487	9245680	Diabásio Lavras da Mangabeira	-		
Ponto de Controle-247	16 Jun 2020 as 17:02	487580	9245650	Diabásio Lavras da Mangabeira	-		
Ponto de Controle-248	16 Jun 2020 as 17:21	487534	9245198	Iborepí	x		
Ponto de Controle-249	17 Jun 2020 as 08:50	490630	9246211	Diabásio Lavras da Mangabeira	-		
Ponto de Controle-250	17 Jun 2020 as 09:10	489491	9245374	Iborepí	x		
Ponto de Controle-251	17 Jun 2020 as 09:36	489260	9245672	Diabásio Lavras da Mangabeira	-		
Ponto de Controle-252	17 Jun 2020 as 09:45	489325	9245278	Iborepí	x		
Ponto de Controle-253	17 Jun 2020 as 10:06	487977	9245386	Diabásio Lavras da Mangabeira	-		
Ponto de Controle-254	17 Jun 2020 as 10:15	488162	9245366	Diabásio Lavras da Mangabeira	-		
Ponto de Controle-255	17 Jun 2020 as 10:18	488252	9245307	Diabásio Lavras da Mangabeira	-		
Ponto de Controle-256	17 Jun 2020 as 10:21	488268	9245223	Diabásio Lavras da Mangabeira	-		
Ponto de Controle-257	17 Jun 2020 as 10:32	488157	9245316	Diabásio Lavras da Mangabeira	-		
Ponto de Controle-258	17 Jun 2020 as 10:34	488122	9245419	Diabásio Lavras da Mangabeira	-		
Ponto de Controle-259	17 Jun 2020 as 10:35	488130	9245443	Diabásio Lavras da Mangabeira	-		
Ponto de Controle-260	17 Jun 2020 as 10:36	488113	9245475	Diabásio Lavras da Mangabeira	-		
Ponto de Controle-261	17 Jun 2020 as 11:21	491284	9246271	Embasamento	-		
Ponto de Controle-262	17 Jun 2020 as 11:26	491281	9246403	Embasamento	-		
Ponto de Controle-263	17 Jun 2020 as 13:23	491673	9246808	Iborepí	x		
Ponto de Controle-264	17 Jun 2020 as 13:51	491348	9247384	Diabásio Lavras da Mangabeira	-		
Ponto de Controle-265	17 Jun 2020 as 13:52	491341	9247367	Diabásio Lavras da Mangabeira	-		
Ponto de Controle-266	17 Jun 2020 as 13:52	491390	9247399	Diabásio Lavras da Mangabeira	-		
Ponto de Controle-267	17 Jun 2020 as 13:54	500782	9247987	Diabásio Lavras da Mangabeira	-		
Ponto de Controle-268	17 Jun 2020 as 13:57	491327	9247396	Diabásio Lavras da Mangabeira	-		
Ponto de Controle-269	17 Jun 2020 as 14:30	492189	9247061	Embasamento	-		
Ponto de Controle-270	17 Jun 2020 as 14:35	492165	9247114	Embasamento	-		
Ponto de Controle-271	17 Jun 2020 as 15:12	493202	9249641	Diabásio Lavras da Mangabeira	-		
Ponto de Controle-272	17 Jun 2020 as 15:13	493193	9249687	Diabásio Lavras da Mangabeira	-		
Ponto de Controle-273	17 Jun 2020 as 15:20	493102	9249818	Diabásio Lavras da Mangabeira	-		
Ponto de Controle-274	17 Jun 2020 as 15:22	493085	9249846	Diabásio Lavras da Mangabeira	-		
Ponto de Controle-275	18 Jun 2020 as 08:41	490598	9246475	Serrote do Limoeiro		x	
Ponto de Controle-276	18 Jun 2020 as 09:10	489930	9247979	Serrote do Limoeiro	x		arenito medio para fino com St. Silicificado
Ponto de Controle-277	18 Jun 2020 as 10:28	489694	9249695	Serrote do Limoeiro	x		
Ponto de Controle-278	18 Jun 2020 as 15:24	487956	9248970	Mescla	x		
Ponto de Controle-279	18 Jun 2020 as 15:26	487914	9248964	Mescla	x		152/21 S0
Ponto de Controle-280	18 Jun 2020 as 15:28	487879	9248981	Mescla	x		S0 28/8
Ponto de Controle-281	19 Jun 2020 as 08:29	489886	9250938	Embasamento	-		
Ponto de Controle-282	19 Jun 2020 as 08:58	489505	9249365	Serrote do Limoeiro		x	
Ponto de Controle-283	19 Jun 2020 as 08:58	489529	9249340	Serrote do Limoeiro	x		S0 318/15, 315/20
Ponto de Controle-284	19 Jun 2020 as 09:23	489616	9249294	Serrote do Limoeiro		x	
Ponto de Controle-285	19 Jun 2020 as 09:36	489656	9249385	Serrote do Limoeiro		x	
Ponto de Controle-286	19 Jun 2020 as 09:49	489698	9249326	Serrote do Limoeiro		x	
Ponto de Controle-287	19 Jun 2020 as 09:50	489726	9249319	Serrote do Limoeiro	x		
Ponto de Controle-288	19 Jun 2020 as 09:56	489691	9249327	Serrote do Limoeiro	x		
Ponto de Controle-289	19 Jun 2020 as 10:29	489459	9249308	Mescla	x		
Ponto de Controle-290	19 Jun 2020 as 10:29	489430	9249258	Mescla	x		
Ponto de Controle-291	19 Jun 2020 as 10:30	489374	9249208	Mescla	x		

Ponto	Data	Sistema coordenadas UTM Zona 24 Datum WGS 84		Formação	Fácies		Observações
		X	Y		Grossa/ média	Fina	
Ponto de Controle-292	19 Jun 2020 as 10:40	489020	9248861	Mescla	x		
Ponto de Controle-293	19 Jun 2020 as 10:41	489238	9249066	Mescla	x		
Ponto de Controle-294	19 Jun 2020 as 10:41	488943	9248779	Mescla	x		
Ponto de Controle-295	19 Jun 2020 as 10:43	488907	9248641	Mescla	x		
Ponto de Controle-296	19 Jun 2020 as 11:43	488525	9247540	Serrote do Limoeiro	x		
Ponto de Controle-297	19 Jun 2020 as 11:44	488517	9247316	Serrote do Limoeiro	x		
Ponto de Controle-298	19 Jun 2020 as 11:45	486886	9247142	Mescla	x		
Ponto de Controle-299	19 Jun 2020 as 11:47	487453	9247546	Mescla	x		
Ponto de Controle-300	19 Jun 2020 as 12:01	487070	9246836	Serrote do Limoeiro	x		
Ponto de Controle-301	19 Jun 2020 as 12:10	486724	9247034	Mescla	x		
Ponto de Controle-302	19 Jun 2020 as 12:10	486861	9246686	Serrote do Limoeiro	x		
Ponto de Controle-303	19 Jun 2020 as 12:29	486366	9246902	Mescla	x		
Ponto de Controle-304	19 Jun 2020 as 14:12	489745	9247795	Serrote do Limoeiro		x	S0 285/43
Ponto de Controle-305	19 Jun 2020 as 14:31	489952	9249463	Serrote do Limoeiro	x		
Ponto de Controle-306	19 Jun 2020 as 14:58	490233	9248906	Serrote do Limoeiro		x	
Ponto de Controle-307	19 Jun 2020 as 15:07	490120	9249167	Serrote do Limoeiro	x		
Ponto de Controle-308	19 Jun 2020 as 15:23	490071	9249251	Serrote do Limoeiro	x		
Ponto de Controle-309	19 Jun 2020 as 16:08	490533	9249968	Serrote do Limoeiro	x		
Ponto de Controle-310	19 Jun 2020 as 16:49	485046	9245717	Diabásio Lavras da Mangabeira	-		
Ponto de Controle-311	19 Jun 2020 as 16:55	485410	9245471	Iborepí	x		
Ponto de Controle-312	19 Jun 2020 as 16:56	485922	9245471	Iborepí	x		
Ponto de Controle-313	19 Jun 2020 as 17:26	486388	9245580	Diabásio Lavras da Mangabeira	-		
Ponto de Controle-314	19 Jun 2020 as 17:33	486363	9245300	Iborepí	x		
Ponto de Controle-315	20 Jun 2020 as 16:42	502631	9251571	Embasamento	-		
Ponto de Controle-316	21 Jun 2020 as 08:21	489535	9249615	Mescla	x		
Ponto de Controle-317	21 Jun 2020 as 10:25	502430	9251454	Embasamento	-		