

Trabalho de Conclusão de Curso

Curso de Graduação em Geologia

**CARACTERIZAÇÃO DE SISTEMA DE FALHAS DA PORÇÃO SUDESTE DO
GRÁBEN DO SERROTE, EM SALTINHO-SP: ESTUDOS DE CAMPO, APLICAÇÃO
DE TOMOGRAFIA ELÉTRICA E SUA CONTRIBUIÇÃO PARA O SISTEMA
PETROLÍFERO**

Daniela Kuranaka

Orientador: Geol. Dr. Iata Anderson de Souza

Co-orientadores: Prof. Dr. César Augusto Moreira e Prof. Dr. Norberto Morales

Rio Claro - SP

2024

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
Instituto de Geociências e Ciências Exatas
Câmpus de Rio Claro (SP)

DANIELA KURANAKA

CARACTERIZAÇÃO DE SISTEMA DE FALHAS DA PORÇÃO SUDESTE DO GRÁBEN
DO SERROTE, EM SALTINHO-SP: ESTUDOS DE CAMPO, APLICAÇÃO DE
TOMOGRAFIA ELÉTRICA E SUA CONTRIBUIÇÃO PARA O SISTEMA
PETROLÍFERO

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 Bacharel em Geologia.

Rio Claro -SP

2024

K96c

Kuranaka, Daniela

CARACTERIZAÇÃO DE SISTEMA DE FALHAS DA PORÇÃO SUDESTE DO GRÁBEN DO SERROTE, EM SALTINHO-SP: ESTUDOS DE CAMPO, APLICAÇÃO DE TOMOGRAFIA ELÉTRICA E SUA CONTRIBUIÇÃO PARA O SISTEMA PETROLÍFERO / Daniela Kuranaka. -- Rio Claro, 2024

72 p.

Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado - Geologia) - Universidade Estadual Paulista (UNESP), Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Rio Claro

Orientador: Geol. Dr. Iata Anderson de Souza

Coorientador: Prof. Dr. César Augusto Moreira; Prof. Dr. Norberto Morales

1. Análise Estrutural. 2. Tomografia Elétrica. 3. Gráben do Serrote. I. Título.

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

Essa ficha não pode ser modificada.

DANIELA KURANAKA

CARACTERIZAÇÃO DE SISTEMA DE FALHAS DA PORÇÃO SUDESTE DO GRÁBEN
DO SERROTE, EM SALTINHO-SP: ESTUDOS DE CAMPO, APLICAÇÃO DE
TOMOGRAFIA ELÉTRICA E SUA CONTRIBUIÇÃO PARA O SISTEMA
PETROLÍFERO

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 Bacharel em Geologia.

Comissão Examinadora

Geol. Dr. Iata Andersom de Souza (orientador)

Prof. Dr. Adilson Viana Soares Jr.

Geol. Ms. Saul Hartmann Riffel

Rio Claro, 21 de junho de 2024

Assinatura da aluna

Assinatura de orientador

AGRADECIMENTOS

Aos olhos que me guiaram com muito amor e sabedoria, mesmo agora que não estão neste mundo. À minha mãe, cuja influência moldou não apenas minha jornada acadêmica, mas também minha essência.

À minha família, que esteve ao meu lado durante todo o percurso, em especial meu pai.

Agradeço à orientação do Dr. Iata Anderson de Souza. Sua sabedoria, experiência e paciência foram fundamentais para o sucesso desta jornada. Seu comprometimento com a excelência acadêmica e seu incentivo constante foram uma fonte de motivação inestimável para mim. Estou verdadeiramente grata por ter tido a oportunidade de trabalhar sob sua orientação.

Agradeço ao professor Prof. Dr. César Augusto Moreira pela orientação, inúmeros conselhos, aquisição e processamento dos dados da tomografia elétrica.

Agradeço ao Me. Saul Hartmann Riffel pela ajuda e auxílio durante os trabalhos de campo para aquisição da tomografia elétrica.

Agradeço ao Prof. Dr Norberto Morales pelas considerações pertinentes à finalização do trabalho.

Os agradecimentos também são destinados ao engenheiro de Minas Marcelo Lopes Dall’Antonia da Amaral Machado Mineração Ltda em Saltinho, SP, por permitir o acesso e o desenvolvimento dos estudos sobre a cava da mina.

Aos meus amigos Larissa Neris, Isabella D’Acqua, Caique Giovanni, Tainan Vinicius, Danielle Simeão, Murilo de Oliveira, Gabrielle Roveratti e Henrique Esteves, minhas sinceras gratidões. Cada um de vocês contribuiu de maneira única para meu crescimento pessoal e acadêmico.

À Cintia, Andrea e Dona Ide, vocês são mulheres maravilhosas que me acolheram.

Agradeço também ao Laboratório de Geofísica do Departamento de Geologia Aplicada da Universidade Estadual Paulista (UNESP) e do Centro de Ciências Naturais e Aplicadas (UNESPetro/IGCE), por todo apoio prestado, infraestrutura disponível.

Agradeço ao Programa de Geociências Aplicadas ao Setor de Petróleo & Gás da UNESP - Rio Claro (PRH 40), pelo aporte financeiro e pelos cursos de aprimoramento oferecidos, fundamentais para a elaboração deste trabalho.

*“A terra tem música para aqueles
que escutam suas camadas”*

RESUMO

Localizado na borda nordeste da Bacia do Paraná, na região de Saltinho -SP, o Gráben do Serrote é associado a estruturas regionais do Lineamento Tietê (NW-SE), reconhecido pelo abatimento da Formação Corumbataí em meio a rochas da Formação Irati. Em pedreiras ocais ocorrem dolomitos alternados com folhelhos ricos em matéria orgânica (reconhecidos como gerador de hidrocarbonetos), que caracterizam o Membro Assistência (Formação Irati), são recobertos por siltitos da Formação Corumbataí, e cortados por diques de diabásio, associados à Formação Serra Geral. Esse arranjo de magmatismo intrusivo associado a rochas ricas em matéria orgânica representa quadro ideal para o estudo da relação das estruturas/rochas/intrusões/hidrocarbonetos. O trabalho evoluiu a partir de dados geológicos bibliográficos e dados estruturais coletados em campo, com aplicação de dados geofísicos levantados a partir da técnica da tomografia elétrica com objetivo de identificar e caracterizar o sistema de falhas da porção sudeste do Gráben do Serrote. A estrutura é dominada por sistemas de falhas normais orientadas segundo a direção preferencial NW-SE, com mergulhos de 60° para NE e SW e rejeitos de mergulho de até 7 metros. Em afloramento, marcam por zonas de falhas multinucleadas, decamétricas, com arranjos conjugados ou não, com rejeitos centimétricos. Ocorrem brechas carbonáticas, além de juntas, fraturas extensionais e cavidades preenchidas por hidrocarbonetos. Próximo às bordas da estrutura foram identificadas falhas transcorrentes destrais também com direção NW-SE. O estudo dos eixos de paleotensões para as falhas normais apresentou eixo distensivo NE-SW (subhorizontal) e compressivo subvertical; e para falhas transcorrente destrais e apresentou uma distensão NE-SW (subhorizontal) e compressão NW-SE (subhorizontal). Oito seções de tomografia elétrica foram realizadas, localizadas perpendiculares à direção do gráben, permitindo a identificação das estruturas limitantes não aflorantes, direcionadas NW-SE e mergulhando para nordeste e sudoeste, além de estruturas internas da porção sudeste do gráben. As feições identificadas se destacam na Formação Irati como falhas normais, que na tomografia elétrica permitem observar rejeitos métricos, marcados pelos contrastes resistivos. Tais estruturas podem favorecer a percolação de fluídos e porções do acamamento que limitam a sua permeabilidade, comportando-se como condutos ou barreiras para a migração dos hidrocarbonetos nas fraturas das rochas carbonáticas. O mapa estrutural da área, elaborado a partir de integrações das seções de tomografia elétrica com os dados estruturais, permitiu o reconhecimento da estrutura do Gráben do Serrote como estrutura do tipo flor negativa transtensiva, associada a um quadro de transcorrência destrai regional.

PALAVRAS-CHAVE: Análise Estrutural. Tomografia Elétrica. Gráben do Serrote

ABSTRACT

Located on the northeastern edge of the Paraná Basin, in the Saltinho region - SP, the Gráben do Serrote is associated with regional structures of the Tietê Lineament (NW-SE), recognized by the subsidence of the Corumbataí Formation amidst rocks of the Irati Formation. In local quarries, dolomites alternate with shales rich in organic matter (recognized as a generator of hydrocarbons), which characterize the Assistência Member (Irati Formation), are covered by siltstones of the Corumbataí Formation, and cut by diabase dikes, associated with the Serra Geral Formation. This arrangement of intrusive magmatism associated with rocks rich in organic matter represents an ideal framework for studying the relationship between structures/rocks/intrusions/hydrocarbons. The work evolved from bibliographical geological data and structural data collected in the field, with the application of geophysical data collected using the electrical tomography technique with the objective of identifying and characterizing the fault system in the southeastern portion of the Gráben do Serrote. The structure is dominated by normal fault systems oriented in the preferred NW-SE direction, with dips of 60° to the NE and SW and tailings dipping up to 7 meters. In outcrop, they are marked by zones of multinucleated, decametric faults, with conjugated arrangements or not, with centimeter-long tailings. Carbonate breccias occur, as well as joints, extensional fractures and cavities filled with hydrocarbons. Near the edges of the structure, dextral strike-slip faults were also identified with a NW-SE direction. The study of the paleotension axes for normal faults showed a NE-SW distensional axis (subhorizontal) and a subvertical compressive axis; and for dextral strike-slip faults and presented a NE-SW (subhorizontal) extension and NW-SE (subhorizontal) compression. Eight electrical tomography sections were performed, located perpendicular to the direction of the graben, allowing the identification of non-outcropping limiting structures, directed NW-SE and dipping to the northeast and southwest, in addition to internal structures in the southeast portion of the graben. The identified features stand out in the Irati Formation as normal faults, which in electrical tomography allow us to observe metric tailings, marked by resistive contrasts. Such structures can favor the percolation of fluids and portions of the bedding that limit its permeability, behaving as conduits or barriers for the migration of hydrocarbons in fractures of carbonate rocks. The structural map of the area, prepared from integrations of electrical tomography sections with structural data, allowed the recognition of the Gráben do Serrote structure as a transtensive negative flower-type structure, associated with a regional dextral strike-slip pattern.

Keywords: Structural Analysis. Electrical Tomography. Gráben do Serrote

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: A: Localização da região de estudo, mostrando a proximidade com a cidade de Saltinho -SP e a Mineração Amaral Machado; B: Detalhe para a área de estudo (branco).....	16
Figura 2: Equipamento Terrameter LS.....	20
Figura 3: Eletrodo introduzido no solo acoplado ao cabo de transmissão/corrente.....	21
Figura 4: Mapa de localização das seções de Tomografia Elétrica (em branco) na porção sudeste do Gráben do Serrote.	22
Figura 5: Exemplo de processamento do dado de tomografia elétrica levantado em campo, realizado pelo programa Res2dinv	25
Figura 6: Representação tridimensional de propagação do campo elétrico; eletrodos de corrente AB e potencial MN, as semiesferas equipotenciais e as linhas de fluxo.....	25
Figura 7: Arranjo Schlumberger.	26
Figura 8: Sensibilidade do arranjo Schlumberger em meio homogêneo.	27
Figura 9: Mapa geológico simplificado da Bacia do Paraná, com o contorno estrutural (profundidade) do embasamento cristalino.	29
Figura 10: Seção geológica esquemática da Bacia do Paraná com as sequências deposicionais e as distribuições das soleiras nas rochas sedimentares.	31
Figura 11: Carta estratigráfica da Bacia do Paraná.	32
Figura 12: Mapa geológico da região da área de estudo, com destaque para o Alto Estrutural de Jibóia (AEJ) e o Gráben Serrote (GS).	32
Figura 13: Mapa apresentando os principais lineamentos estruturais do Estado de São Paulo e localização da área de estudo (intersecção dos lineamentos B e D): A- Rio Paranapanema; B – Tietê; C- Ibitinga-Botucatu; D - Rio Moji-Guaçu; E – Ribeirão Preto-Campinas; F- Rifanaina-São João da Boa Vista; G- São Carlos -Leme; I – Guapiara; J -Jaboticabal.....	35
Figura 14: Localização das estruturas da região leste da bacia do Paraná.	37
Figura 15: Mapa de localização dos pontos descritos na área de estudo.	39
Figura 16: Coluna estratigráfica simplificada das formações que ocorrem na área de estudo.	40
Figura 17: Cava Vitti A: Frente da lavra da Cava Vitti com destaque para o banco para o banco dolomítico, sotoposto à intercalação de folhelhos escuros com carbonatos dolomíticos e B: Formação Irati (Membro Assistência) sendo cortado por dique de diabásio de direção N 60W.	41

Figura 18: Solo de alteração de rochas intrusivas básicas cretáceas, na porção sudoeste da área de estudo.	42
Figura 19: A: Banco dolomítico da Formação Irati e B: Banco dolomítico com exsudação de betume (Ponto 1).	43
Figura 20: Estereograma de plano de falhas normais (projeção ciclográfica) mostrando a direção preferencial para NW-SE, com representação das estrias contidas nos planos de falhas.....	44
Figura 21: A e B - Falha com rejeito de aproximadamente 7 metros no ponto 3	45
Figura 22: A- Brecha de falha localizado em contato com a falha (no ponto 3) e B - Estratos inclinados próximo ao plano de falha principal.....	45
Figura 23: Rampa de falha principal, estriada com ondulações, degraus e ramificações com direção NW-SE mergulhando para SW.....	47
Figura 24: Falha antitética NW-SE no ponto 5	48
Figura 25: Foto destacando os detalhes dos planos de falhas transcorrentes destrais no ponto 1 na área de estudo, com destaque para as estrias sub-horizontais.....	49
Figura 26: Estereograma de plano de falhas transcorrente destrais (projeção ciclográfica) mostrando direção preferencial para NW-SE e estrias sub-horizontais.	50
Figura 27: Estereograma de juntas da área de estudo. A projeção ciclográfica representa todas as juntas coletadas e o polo (em vermelho) são juntas com a exsudação de hidrocarbonetos.	51
Figura 28: A, B, C, D - Plano de fratura com hidrocarboneto e E - Plano de fratura com pirita.....	52
Figura 29: Diagrama de reconstrução de eixos de paleotensão para falhas normais NW-SE.	53
Figura 30: Diagrama de reconstrução de eixos de paleotensão para falhas associadas a transcorrência dextral.	54
Figura 31: Seções de tomografia elétrica situadas na borda sudoeste do Gráben do Serrote.	56
Figura 32: Seções de tomografia elétrica situadas na borda nordeste do Gráben do Serrote.	58
Figura 33: Mapa estrutural da porção sudoeste do Gráben do Serrote, elaborada com a integração dos dados das seções de tomografia elétrica e análises estruturais coletadas em campo.....	59
Figura 34: Bloco diagrama representativo da Cava Monte Olimpo, destacando as falhas 7, 8 e 9.	60
Figura 35: Esquema representativo de uma estrutura do tipo flor negativa.....	60

LISTA DE TABELA

Tabela 1: Sistemas Petrolíferos atípicos da Bacia do Paraná	38
--	----

LISTA DE ANEXO

Anexo I: Medidas estruturais de falhas na área de estudo

Anexo II: Medidas estruturais de juntas na área de estudo

Anexo III: Mapa geológico com a localização das seções de Tomografia Elétrica da região do Gráben do Serrote

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	13
1.1 Objetivos e justificativas.....	14
1.2 Localização da Área.....	16
2. MATERIAIS E MÉTODOS.....	18
2.1 Revisão bibliográfica	18
2.2 Preparação de base cartográfica.....	18
2.3 Coleta de dados estruturais em superfície.....	18
2.4 Análise estrutural	19
2.5 Levantamento de dados da Tomografia Elétrica	19
2.6 Processamento e análise dos dados de Tomografia Elétrica.....	22
2.7 Integração dos Dados.....	23
3. TÉCNICA DE TOMOGRAFIA ELÉTRICA.....	24
3.1 Conceito básico.....	24
3.2 Métodos da Eletorresistividade (ER).....	24
3.3 Arranjo Schlumberger.....	26
3.4 Processamento dos dados geofísicos	27
4. CONTEXTO REGIONAL	29
4.1. Síntese do contexto geológico	29
4.2. Estratigrafia da região de estudo.....	32
4.2.1 Unidades litoestratigráficas da área de estudo	33
4.2.1.1 Formação Tatuí	33
4.2.1.2 Formação Irati	33
4.2.1.3 Formação Corumbataí.....	34
4.2.1.4 Formação Serra Geral.....	34
4.3 Contexto estrutural regional.....	34
4.3.1 Altos estruturais.....	36
4.3.1.1 Alto Estrutural de Jibóia e o Gráben do Serrote.....	36
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	39
5.1. Geologia local	39
5.2 Análise Estrutural.....	43
5.2.1. Falhas da área de estudo.....	44
5.2.1.1 Falhas Normais	44

5.2.1.2 <i>Falhas Transcorrentes</i>	48
5.2.2 Juntas.....	50
5.3 Aquisição de Tomografia Elétrica.....	54
5.4 Interpretação dos dados de Tomografia Elétrica.....	55
5.4.3 Integração dos dados estruturais e Tomografia Elétrica	59
6. CONCLUSÃO.....	61
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	62

1. INTRODUÇÃO

A Bacia do Paraná está localizada na parte meridional do Brasil, constituída por espesso pacote sedimentar e vulcânico, de idades paleozoica e mesozoica, reunindo um conjunto de atributos geológicos de variabilidade faciológica e elementos estruturais favoráveis à composição de dois sistemas petrolíferos Ponta Grossa – Itararé e Irati – Rio Bonito/Pirambóia, sendo as rochas geradoras constituídas por folhelhos e as rochas reservatórios por arenitos (MILANI 1997, 1998). Essas características têm fomentado a pesquisa científica no nordeste da bacia, bem como a prospecção de trapas e rochas-reservatórios com ênfase aos condicionantes estruturais presentes nessas armadilhas (IPT, 2005).

A área escolhida para o estudo está localizada na região de Saltinho – SP. É constituída principalmente por rochas das formações Irati e Corumbataí, onde afloram folhelhos betuminosos que possuem altos teores de matéria orgânica, potencialmente geradora de hidrocarbonetos e/ou gás natural, e também os bancos calcários do Membro Assistência (Formação Irati), recobertos pelos siltitos da Formação Corumbataí. Está inserida no contexto tectônico dos altos estruturais do Pau D’Alho e de Jibóia, descritos por Soares (1974).

Segundo Sousa (2002), esta área de estudo está localizada ao sudeste do Alto Estrutural de Jibóia, e é marcada por dois grupos de falhas paralelas de orientação N45°W, com falhas subverticais normais, responsáveis por alçar as rochas da Formação Corumbataí no nível das rochas da Formação Pirambóia. Associado a essa configuração, ainda ocorrem os diques de diabásio correlatos às rochas intrusivas da Formação Serra Geral. No prolongamento dessas é reconhecido o Gráben de Serrote (Soares 1974). No trabalho de Riffel (2020), foi reconhecida zona de falha multinucleada, próximo à borda NE do gráben, limitado por falhas de direção NW, concordantes com a sua elongação, em um sistema de blocos escalonados e abatimento preferencial para SW. Segundo o mesmo autor, principalmente as porções fraturadas no banco dolomítico, apresentam acúmulos de hidrocarbonetos servindo de modelo para reservatório em trapa estrutural. O quadro reconhecido pode representar importante análogo para estudos de formação, fluxo e mesmo de acumulação de hidrocarbonetos em rochas carbonáticas, onde foi possível identificar padrões geométricos e estágios de evolução da zona de falha, os materiais que compõem os núcleos de falha e como a zona de dano serve de reservatório para hidrocarbonetos.

Dessa forma a caracterização do sistema de falhas do Gráben do Serrote é essencial para se obter maior quantidade de informações possíveis sobre o seu arcabouço estrutural,

para o levantamento de dados sobre a ocorrência espacial das estruturas geológicas visíveis em superfície e, com a utilização de métodos geofísicos como a técnica da tomografia elétrica, buscar o reconhecimento das estruturas em subsuperfície e a persistência de estruturas rúpteis em níveis mais profundos, determinadas por respostas dos parâmetros físicos das rochas.

A Eletorrestividade (ou Tomografia Elétrica) baseia-se na determinação da resistividade aparente do substrato a partir da resposta ao fluxo de uma corrente elétrica (WARD, 1990). Esse método tem inúmeras aplicações, entre elas estão a prospecção de água e de minerais metálicos, a identificação de cavidades, falhas, fraturas e contatos entre duas litologias diferentes, além de estudos ambientais (CPRM, 2006). Para sua utilização é necessário ter um contraste de resistividade entre os materiais, que podem ser determinados pelas rochas e as estruturas (falhas, fraturas, etc) ao redor do mesmo (encaixante). Por exemplo, no caso de fraturas e falhas, é comum haver uma diminuição na resistividade em relação às rochas ao redor.

No trabalho de Lacerda (2022) foram realizadas três seções de tomografia elétrica que possibilitaram identificar conjunto de falhas em subsuperfície da Cava Monte Olimpo, apresentando uma boa resolução lateral e vertical dos resultados, permitindo que essas falhas fossem correlacionadas com dados aferidos em campo.

Diante do exposto, a aplicação da tomografia elétrica na área de estudo ampliará os dados do levantamento geofísico detalhado e em profundidades maiores, permitindo uma caracterização estrutural do sistema de falhas no Gráben do Serrote.

1.1 Objetivos e justificativas

O objetivo deste trabalho é caracterização das heterogeneidades geológicas, estruturais e geométricas das falhas da porção sudeste do Gráben do Serrote, na região de Saltinho-SP, onde foram observadas acumulações de hidrocarbonetos nos níveis carbonáticos da Formação Irati, controladas por falhas e juntas.

O trabalho consistiu no levantamento estrutural e litológico em torno da área de estudo, além da aplicação da técnica de tomografia elétrica (Eletorrestividade) a fim de obter perfis de resistividade em linhas perpendiculares à direção das falhas principais, com intuito de obter respostas das variações litológicas e estruturais do Gráben do Serrote em regiões não aflorantes

Por fim, a integração desses dados permitirá uma maior compreensão sobre as estruturas observadas ao longo do Gráben, assim como sua continuidade lateral e em

profundidade, por meio da Eletrorresistividade, integrada com os dados de campo. Esta integração poderá servir de modelo análogo para sistemas petrolíferos em reservatórios carbonáticos, uma vez que o Gráben do Serrote, afetam as rochas carbonáticas da Formação Irati, reconhecidas na região como portadoras de hidrocarbonetos em porções fraturadas tidas como modelo de trapa estrutural (RIFFEL 2020).

Os reservatórios carbonáticos (calcários ou dolomíticos) são responsáveis por grande parte das reservas mundiais de óleo e gás (ALVES et al., 2007). Schlumberger (2012) faz uma estimativa de que 60% das reservas mundiais de óleo e 40% das reservas mundiais de gás estejam hospedadas em rochas de natureza carbonática. No Oriente Médio, as porcentagens seguem essa mesma tendência, onde 70% do óleo e 90% do gás são explorados nesses tipos de rochas. No Brasil, os reservatórios mais importantes estão localizados na Bacia de Campos, constituídos por rochas do Grupo Macaé, que se apresentam como sedimentos carbonáticos de energia moderada a alta (ESTEVES et al., 1987), e a Bacia de Santos, em razão do grande volume de óleo descoberto na seção pós-rifte, é constituído de carbonatos oolíticos de água rasa da Formação Guarujá, (CHANG et al., 2008).

O fator tectônico, como a ocorrência de zonas de fraturamentos, adiciona maior complexidade a esses reservatórios, como é o caso dos carbonatos fraturados, objeto de estudo deste trabalho. Liu et al. (2020) fazem uma analogia em seus estudos entre os carbonatos e sistemas fraturados, devido à fragilidade natural dessa rocha, onde esses sistemas de fraturas geram heterogeneidades, servindo de condutos para o fluxo de fluidos, podendo aumentar substancialmente a migração de hidrocarbonetos nos reservatórios carbonáticos, mesmo quando estas apresentam baixa porosidade.

O interesse para o estudo vem a partir da exsudação de betume que ocorre na área do Gráben do Serrote (RIFFEL 2020), o que possibilita investigar uma correlação estrutural com a presença dos hidrocarbonetos. Portanto, diante da importância e complexidade abordadas, os estudos em superfície (estudo de campo e análise estrutural) e subsuperfície com tomografia elétrica poderão contribuir de forma importante para entendimento do arcabouço estrutural do gráben, bem como um modelo estrutural nos níveis carbonáticos da Formação Irati, que poderá ser aplicável a outros reservatórios de hidrocarbonetos e nas formações geológicas análogas, como é o caso dos reservatórios carbonáticos nas bacias costeiras brasileiras.

No trabalho de Lacerda (2022) foram realizadas seções de tomografia elétrica com 200 metros de extensão permitindo a visualização e interpretação das feições geológicas no

máximo 50 metros de profundidade, e neste caso foi possível ver a influência dos falhamentos em duas unidades litológicas (formações Corumbataí e Irati). Para esse projeto foi realizada aquisição de seções de tomografia elétrica, principalmente nas bordas da estrutura da área de estudo, para obter novas imagens, permitindo uma melhor caracterização geológica e padrão de falhas e fraturas da área.

1.2 Localização da Área

A região de estudos localiza-se ao sul da cidade de Saltinho – SP, aos arredores da Mineração Amaral. O trabalho se desenvolveu na porção sudeste do Gráben do Serrote (Figura 1A), com acesso pela Rodovia Cornélio Pires (SP-127; BR-373) sentido Piracicaba - Tietê, correspondendo a uma região de estudo próxima à Cava Monte Olimpo (Figura 1B).

Figura 1: A: Localização da região de estudo, mostrando a proximidade com a cidade de Saltinho -SP e a Mineração Amaral Machado; B: Detalhe para a área de estudo (branco).



Fonte: Google Earth

O local de estudo consiste em uma área de aproximadamente 7 km², na qual afloram rochas da Formação Irati (Membro Assistência), composto por calcários dolomíticos e folhelhos. As rochas carbonáticas são exploradas comercialmente pela Mineração Amaral Machado, em diversas cavas, o que permite a visita ótimos afloramentos da unidade. Em contato com a Formação Irati ocorre a Formação Corumbataí, sendo ambas unidades abatidas por falhas normais em arranjo de gráben e encaixadas na Formação Tatuí, além de um dique de diabásio correlato a Formação Serra Geral (FRIES, 2008).

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Revisão bibliográfica

A revisão bibliográfica constituiu em literaturas referentes a Bacia do Paraná em termos de associações sedimentares, dados geofísicos, seções geológicas e evolução tectono-sedimentar. Realizou-se também, uma compilação de dados relacionados à tomografia elétrica, tais como aplicação do método para visualizar zonas de fraturamento.

Para desenvolver uma compreensão em escala regional sobre a área de estudos, inicialmente utilizou-se as literaturas clássicas sobre a Bacia do Paraná. Dentre os trabalhos destacados estão Almeida (1969), Soares (1974), Zalán et al. (1990), Milani (1997, 1998), Milani et al. (1994), Souza (2002) e outros. Além disso, os estudos evoluíram a partir da base cartográfica e geológica do Projeto Borda Leste da Bacia do Paraná da Folha Piracicaba SF.23-Y-A-IV, elaborado pela CPRM (1984).

Para a análise estrutural foi utilizado como base teórica o trabalho de Riffel (2020), no qual foi realizado um levantamento de dados estruturais em uma zona de falha NW-SE, em rochas da Formação Irati na mesma área de estudo. O autor utilizou análises geométricas, cinemáticas e dinâmicas em diferentes níveis, incluindo escalas regional, de afloramento e de amostras de mão, para identificar a presença de falhas selantes, fraturas, juntas extensionais, brechas carbonáticas e folhelhos cominuídos. Essas características compõem um sistema complexo de armadilhas estruturais relacionadas à ocorrência de hidrocarbonetos.

2.2 Preparação de base cartográfica

Através da análise de mapas geológicos, topográficos e imagens de satélite existentes da área de estudo, foi elaborado um banco de dados no Sistema de Informação Geográfica (SIG), utilizando QGIS versão 3.22.10 englobando todas as informações compiladas.

Nesta etapa, foi realizado a digitalização da base cartográfica e geológica a Folha Piracicaba SF.23-Y-A-IV do “Projeto Borda Leste da Bacia do Paraná” (CPRM, 1984) para a confecção do mapa geológico-estrutural na escala 1:100.000 que posteriormente foram inserido na base de dado do SIG.

2.3 Coleta de dados estruturais em superfície

Nesta etapa foram realizadas visitas de campo na região da área de estudo para compreender a distribuição espacial estrutural e estratigráfica da área de estudo, como as principais feições geológicas, falhas e estruturas. Também foi realizada a coleta de dados

estruturais (medidas de atitude e rumo do mergulho das principais falhas e juntas), utilizados para a confecção de seções estratigráficas locais, para determinar a espessura do empilhamento litológico e destacar as principais feições estruturais da área (Anexo I e II).

Por fim, foram efetuados registros fotográficos das principais feições geológicas e a exsudação de hidrocarboneto/betume. Além da visita favorável às cavas de exploração atual, várias cavas antigas, mesmo que abandonadas, permitiram a coleta de dados estruturais.

2.4 Análise estrutural

Os dados coletados em campo foram apresentados na forma de diagramas estruturais, nos quais foi realizada uma análise estatística das orientações dos planos de falhas e juntas, levando em consideração se estão preenchidos ou não com hidrocarbonetos. Esses diagramas foram elaborados com o auxílio do programa computacional Stereonet. Além disso, foram feitas deduções sobre os eixos das paleotensões que atuaram na área, utilizando o programa Win-Tensor por meio do método dos diedros retos (ANGELIER & MECHLER 1977, ANGELIER 1994, DELVAUX & SPERNER 2003).

A análise estrutural realizada está baseada nos dados de campo, juntamente com informações da bibliografia local de Riffel (2020).

2.5 Levantamento de dados da Tomografia Elétrica

Para a realização do levantamento de dados da Tomografia Elétrica, foi aplicada a técnica do Imageamento Elétrico, pelo equipamento resistivímetro Terrameter LS e cabos de transmissão de corrente, capaz de transmitir e receber sinais, com 250W, resolução de 1 μ V e corrente máxima de 2,5 A, fabricado pela ABEM Instrument (Figura 2) e disponibilizado pelo Laboratório de Geofísica do Departamento de Geologia da Universidade Estadual Paulista (UNESP), que tem apoio da infraestrutura dos Laboratórios do Centro de Ciências Naturais Aplicadas (UNESPetro/IGCE). Além do equipamento Terrameter, foram utilizados eletrodos de liga metálica, quatro bobinas, cabos e uma bateria.

Figura 2: Equipamento Terrameter L.S.



O método utilizado baseia-se na injeção artificial de corrente elétrica em subsolo, para se obter as diferentes respostas de resistividade do meio, bem como de suas estruturas. A injeção de corrente é realizada por dois eletrodos (fonte) em contato direto com o solo, injetando corrente elétrica (Figura 3), formando um circuito. Para a leitura de respostas geoeletricas, outros dois eletrodos (receptores), medem a diferença de potencial e/ou tensão do fluxo de corrente, determinando a resistividade efetiva ou aparente do subsolo. Os arranjos mais aplicados em tomografia elétrica são; Pólo-Pólo, Pólo-Dipólo, Wenner, Wenner-Schlumberger, Gradiente, Schlumberger e Dipólo-Dipólo. (MUSSET & KHAN, 2000).

Figura 3: Eletrodo introduzido no solo acoplado ao cabo de transmissão/corrente



Para a aquisição dos perfis de eletrorresistividade, foram realizadas 8 seções de imageamento elétrico no arranjo *Schlumberger* de 400 m de comprimento cada e espaçamento de 10 metros entre os eletrodos, distribuídos nos limites porção sudeste do Gráben do Serrote, conforme demonstra o Anexo III e a figura 4.

Figura 4: Mapa de localização das seções de Tomografia Elétrica (em branco) na porção sudeste do Gráben do Serrote.



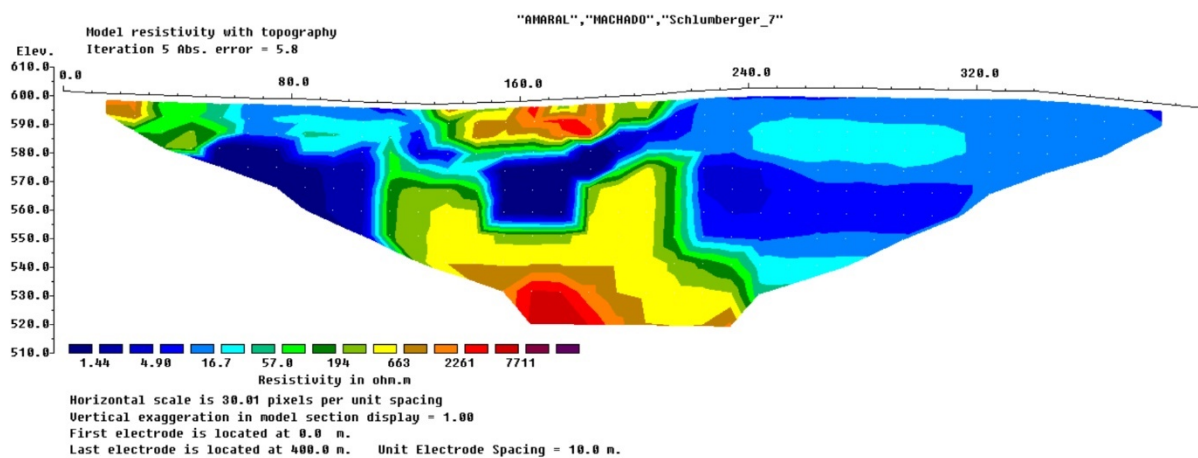
Fonte: Google Earth

2.6 Processamento e análise dos dados de Tomografia Elétrica

Essa etapa consistiu em analisar e interpretar as seções elétricas obtidas no levantamento de dados da Tomografia Elétrica. Para o processamento das seções foram gerados modelos 2D, através do programa Res2dinv, desenvolvido pela Geotomo Software e disponibilizado com o equipamento, o qual permite a interpretação dos horizontes relacionados aos estratos sedimentares, a identificação de falhas em subsuperfície e a interpretação de falhas não expostas na área (figura 5).

O modelo 2D, ou seção de resistividade, proporciona uma visualização espacial aprimorada dos pacotes sedimentares, incluindo sua espessura e geometria estrutural. Esse modelo destaca especialmente os níveis carbonáticos, bem como avanços na compreensão e no conhecimento de um modelo de reservatório de hidrocarbonetos.

Figura 5: Exemplo de processamento do dado de tomografia elétrica levantado em campo, realizado pelo programa Res2dinv.



2.7 Integração dos Dados

Nesta etapa os dados estruturais analisados (seções geológicas, mapas e estereogramas de falhas e juntas) foram integrados com as seções de tomografia elétrica 2D. Essa integração gerou a caracterização de um modelo estrutural da área de estudo, também, permitindo associar com o modelo reservatório de hidrocarbonetos reconhecido por Riffel (2020).

3. TÉCNICA DE TOMOGRAFIA ELÉTRICA

3.1 Conceito básico

A geofísica é uma disciplina científica que emprega os princípios físicos para investigar a Terra, por meio de medições realizadas em sua superfície ou nas proximidades, que são influenciadas pela distribuição interna das propriedades físicas do nosso planeta (KEAREY et al., 2002). Muito utilizada como ferramenta na prospecção e exploração de hidrocarbonetos, como petróleo e gás natural, é aplicada para mapear a subsuperfície e identificar estruturas geológicas que possam conter depósitos de hidrocarboneto, os métodos elétricos (resistividade e polarização induzida) são empregados em investigações rasas (OLDENBURG e LI, 1999; ELIS & ZUQUETTE, 2002; REIN et al., 2004; EBONG et al., 2014; EPOV et al., 2017; YURKEVICK et al., 2017).

Os métodos elétricos são baseados no contraste das propriedades elétricas entre os elementos presentes no meio geológico, como fluidos, rochas e descontinuidades. Os principais parâmetros geológicos que influenciam a resposta geofísica são o conteúdo mineral, presença de fluido, porosidade e grau de saturação em água do maciço (GIORGI & LEUCCI, 2019). As propriedades elétricas do meio, juntamente com seus parâmetros geométricos, como espessura, profundidade e direção, desempenham um papel importante para a caracterização geológica e estrutural de uma região.

3.2 Métodos da Eletrorresistividade (ER)

Os métodos de eletrorresistividade (ER) têm como finalidade a determinação da resistividade elétrica dos materiais que, juntamente com a constante dielétrica e a permeabilidade magnética, expressam fundamentalmente as propriedades eletromagnéticas dos solos e rochas e possuem como objetivo a caracterização e identificação os materiais geológicos (BRAGA, 2006).

A eletrorresistividade tem como princípio fundamental a Lei de Ohm, que define a relação entre a resistividade (ρ) e a resistência elétrica (R) de um condutor homogêneo, na qual é dada pela equação:

$$R = \rho \frac{L}{S} \quad (\text{ohms})$$

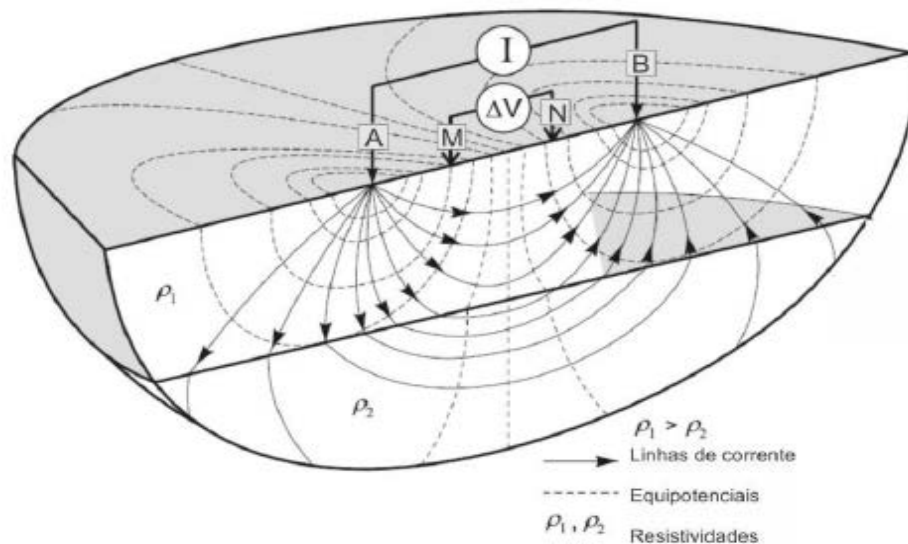
onde, L é o comprimento e S a seção transversal do condutor. A magnitude ρ é um coeficiente que depende da natureza e do estado físico do corpo considerado e recebe o nome de resistividade. Deste modo pode-se definir a resistividade elétrica desse corpo como sendo:

$$\rho = R \frac{S}{L} \quad (\text{ohm.m})$$

Dessa forma, resistividade pode ser entendida como uma medida de dificuldade que a corrente elétrica encontra ao passar por um determinado meio (BRAGA, 2006).

Segundo Kearey *et al.* (2002), os métodos de eletrorresistividade (ER) são fundamentados no princípio de injeção de corrente elétrica artificial de corrente galvânica no solo através do par de eletrodos de corrente A e B, associados com outro par de eletrodos potenciais M e N. Os eletrodos de corrente são conectados a uma bateria que gera uma diferença de potencial (V), medida pelos eletrodos de potencial (ddp), como é exemplificado na figura 6 (MUSSET & KHAN, 2000).

Figura 6: Representação tridimensional de propagação do campo elétrico; eletrodos de corrente AB e potencial MN, as semiesferas equipotenciais e as linhas de fluxo.



Fonte: Helene (2019), adaptado de Knodel et al., (2007).

As medições das diferenças de potencial são realizadas pelos eletrodos de potencial em diferentes configurações, como configuração dipolo-dipolo, Wenner, Schlumberger, entre outras.

Devido a heterogeneidade dos materiais geológicos, os valores de resistividade em uma seção podem gerar grandes variações. Em consequência desse fenômeno, a resistividade

determinada pelo método da eletrorresistividade não é a resistividade real, sendo descrita como resistividade aparente (ρ_a) (ROBINSON, 1988).

Assim, o método de eletrorresistividade possibilita a associação dos dados de resistividade com as anisotropias geológicas, identificação de descontinuidades horizontais e verticais, e detecção de corpos tridimensionais com contrastes de resistividade elétrica (KEAREY et al., 2002).

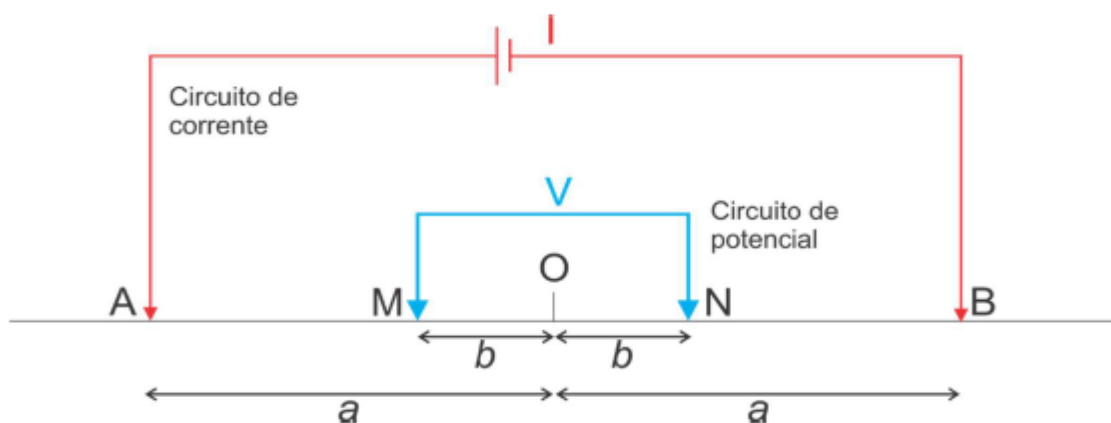
3.3 Arranjo Schlumberger

A técnica do caminhamento elétrico – CE é aplicada principalmente em situações cujos objetivos das pesquisas visam determinar descontinuidades laterais dos materiais geológicos em subsuperfície, tais como: diques e "sills", contatos geológicos, fraturas e/ou falhas, corpos mineralizados, etc.

No Arranjo Schlumberger, os eletrodos são dispostos de forma quadripolar, linear e simétrica em relação ao centro. Ele consiste em dois pares de eletrodos: um par de eletrodos de corrente (A e B) e um par de eletrodos de potencial (M e N).

No Arranjo Schlumberger, os eletrodos A e B estão afastados simetricamente do centro do conjunto O por uma distância a . Os eletrodos M e N também estão espaçados de forma simétrica, mas por uma distância b . Nesse caso, a distância entre A e B é maior em relação à distância entre M e N (Figura 7).

Figura 7: Arranjo Schlumberger.

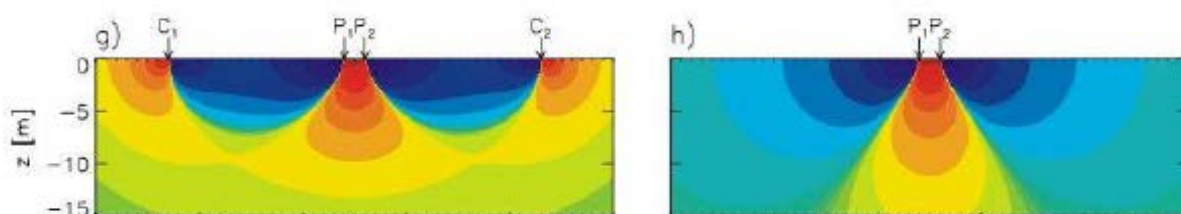


Fonte: Adaptado de Kearey et al. (2002)

O Arranjo Schlumberger é amplamente utilizado em estudos geofísicos devido à sua capacidade de proporcionar uma boa resolução tanto vertical quanto lateral. Esse arranjo é

recomendado para investigações que requerem uma alta precisão e é conhecido por fornecer resultados mais próximos da realidade (Figura 8). Além disso, o arranjo Schlumberger é menos sensível a variações laterais do parâmetro físico medido, irregularidades na superfície topográfica e ruídos causados por fontes artificiais. Isso resulta em leituras mais precisas e confiáveis (MILSOM & ERIKSEN, 2011; MOREIRA et al., 2016).

Figura 8: Sensibilidade do arranjo Schlumberger em meio homogêneo.



Fonte: Friedel (2000).

3. 4 Processamento dos dados geofísicos

O processamento dos dados geofísicos foi realizado com o auxílio do *software* Res2Dinv (2D) versão 3.53 (Geotomo Software) para gerar seções bidimensionais dos valores de resistividade e cargabilidade em termos de distância e profundidade.

O processo de inversão é utilizado para ajustar a distribuição dos dados medidos em campo com base nos parâmetros geométricos de aquisição. Esse processo é realizado suavizando os dados a partir do modelo matemático dos mínimos quadrados, que busca minimizar as diferenças entre os valores calculados pelo *software* e os valores medidos em campo.

O *software* automaticamente cria um modelo bidimensional teórico dividindo a superfície em blocos retangulares durante o processo. A distribuição e o tamanho dos blocos são gerados automaticamente pelo programa com base na distribuição dos pontos de dados como guia aproximado (LOKE, 2003). A resistividade aparente e a cargabilidade são calculados a partir desse modelo de blocos, permitindo a comparação com os valores medidos. Os parâmetros dos blocos são ajustados iterativamente até que haja concordância entre os valores calculados e os valores medidos. O erro resultante da iteração é avaliado utilizando o erro medido quadrático – RMS *Root-mean-squared* (GEOTOMO, 2003; CHILÈS e DELFINER, 2012). Como resultado final, pseudo-seções são geradas para cada uma das linhas submetidas ao processamento.

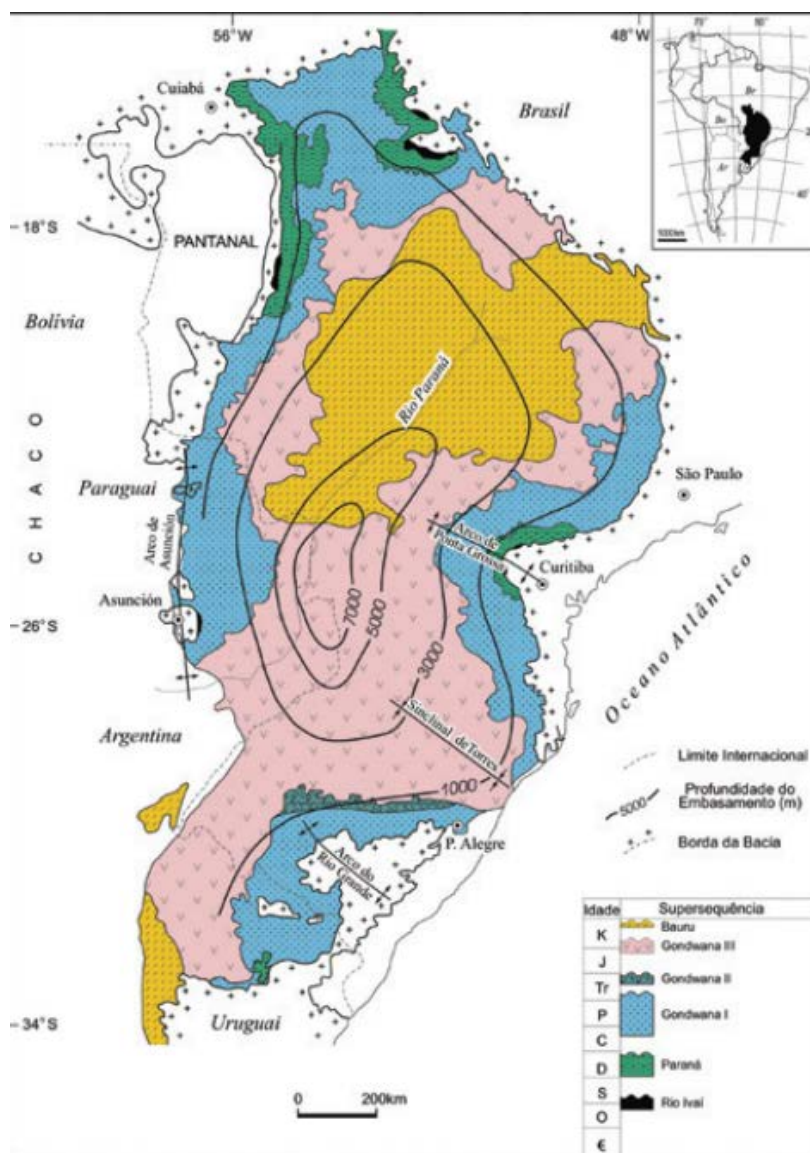
A variação da topografia local foi considerada e incorporada ao modelo para evitar distorções nas seções geradas. Os valores de resistividade e cargabilidade foram expressos por meio de uma escala cromática padronizada, permitindo a análise da variação desses valores.

4. CONTEXTO REGIONAL

4.1. Síntese do contexto geológico

Considerada uma das maiores bacias sedimentares do mundo, a Bacia Sedimentar do Paraná está localizada no centro-sul do Brasil, contém cerca de 1,5 milhões de km de extensão, abrangendo parte dos estados do Paraná, São Paulo, Santa Catarina, Rio Grande do Sul e Mato Grosso do Sul, no Brasil e parte do Paraguai oriental, nordeste da Argentina e norte do Uruguai (Figura 9), além de possuir idade do final do período Paleozoico e estende-se até o início do período Cenozoico (ROSTIROLLA et al., 2000; MILANI, 2007).

Figura 9: Mapa geológico simplificado da Bacia do Paraná, com o contorno estrutural (profundidade) do embasamento cristalino.



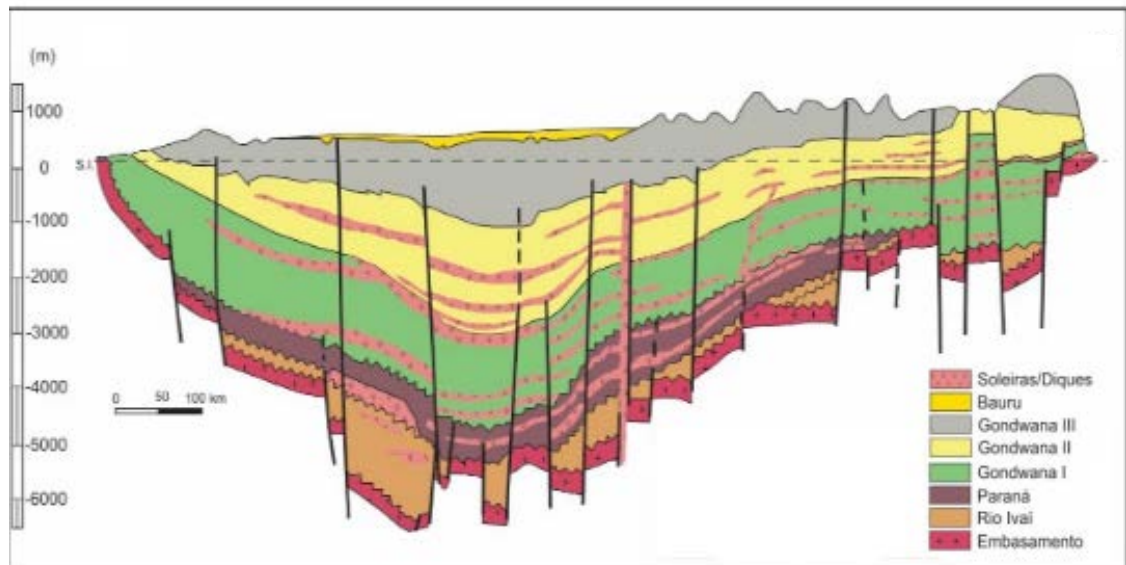
Fonte: Modificado de Franco et al., 2008.

A Bacia do Paraná é uma sinéclise intracratônica de forma elíptica, na qual se formou dentro de um cráton (núcleo estável de um continente), com direção alongada (NNE-SSW), e sua formação ocorreu em uma região relativamente estável e afastada de limites tectônicos ativos. Durante sua formação, ocorreu uma grande deposição de sedimentos, resultando em uma espessura de até 7.000 metros no depocentro da bacia (MILANI, 1998).

As rochas presentes na Bacia do Paraná foram depositadas sobre o antigo escudo do continente Gondwana, após o colapso dos orógenos formados durante o Ciclo Brasileiro no Neoproterozoico (ZALÁN et al., 1991). Inicialmente, a Bacia do Paraná se originou como um golfo (ZALÁN et al., 1990) com conexão ao oceano Panthalassa. Posteriormente, evoluiu para uma depressão intracratônica (MILANI, 1998), onde ocorreu a deposição de rochas sedimentares durante o Paleozoico Inferior. Após esse período, no Cretáceo Inferior, ocorreu um intenso magmatismo fissural, que cessou no final do Mesozoico com a abertura do Atlântico Sul (ALMEIDA, 1969).

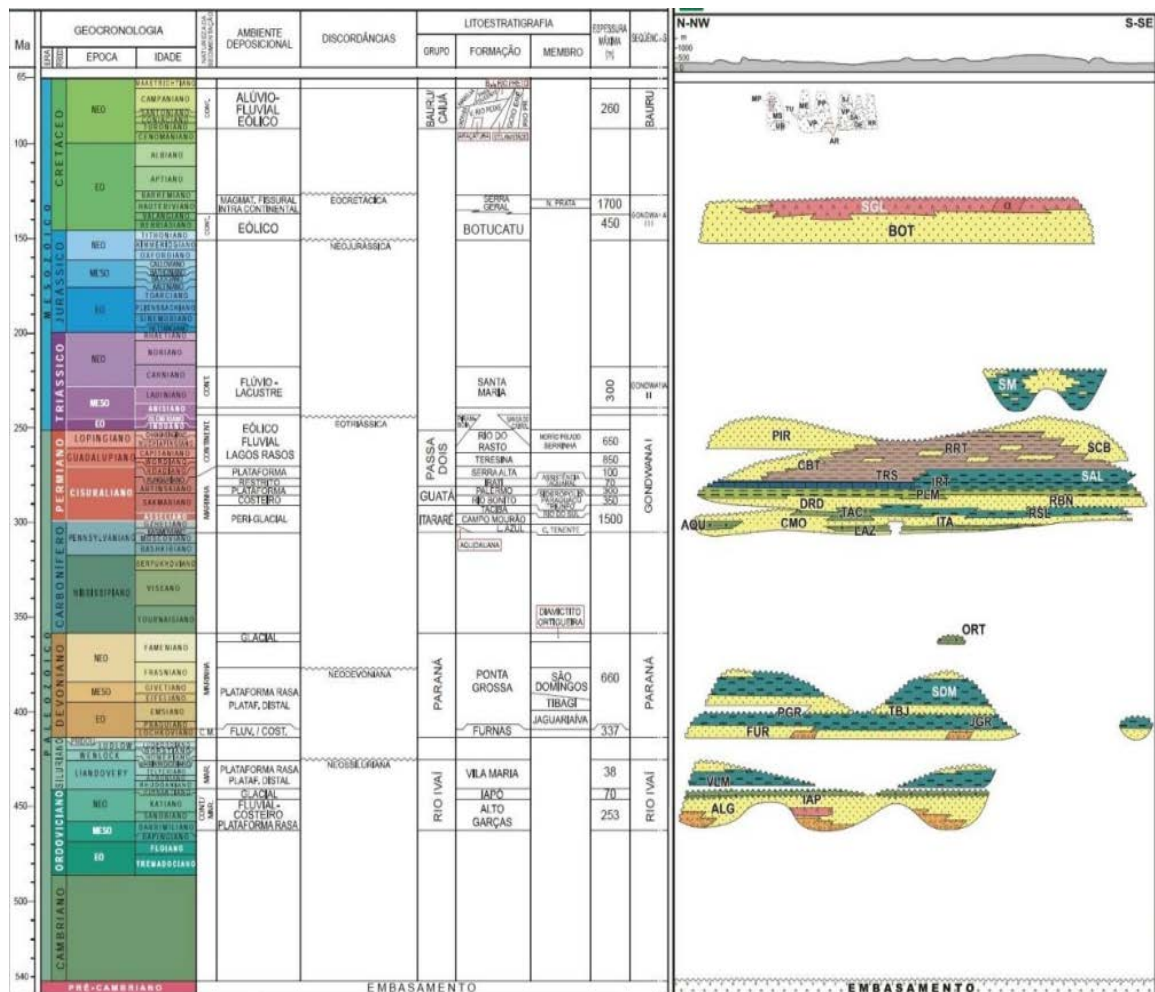
A Bacia do Paraná apresenta seis supersequências limitadas por discordâncias, que foram propostas por Almeida em 1976. Essas supersequências correspondem a diferentes ciclos de sedimentação e erosão que ocorreram ao longo da evolução da bacia. As três primeiras supersequências, Rio Ivaí (Ordoviciano-Siluriano), Paraná (Devoniano) e Gondwana I (Carbonífero-Eotriássico), correspondem a ciclos transgressivos-regressivos na qual correspondem a mudanças no nível relativo do mar. Enquanto as três últimas supersequências, Gondwana II (Meso a Neotriássico), Gondwana III (Neojurássico-Eocretáceo) e Bauru (Neocretáceo), correspondem a ciclos de sedimentação continentais mesozoicos com rochas magmáticas associadas e erosão (Figuras 10 e 11) (MILANI & RAMOS, 1998; MILANI 2007).

Figura 10: Seção geológica esquemática da Bacia do Paraná com as seqüências deposicionais e as distribuições das soleiras nas rochas sedimentares.



Fonte: Modificado de Milani & Zalán, 1998.

Figura 11: Carta estratigráfica da Bacia do Paraná.

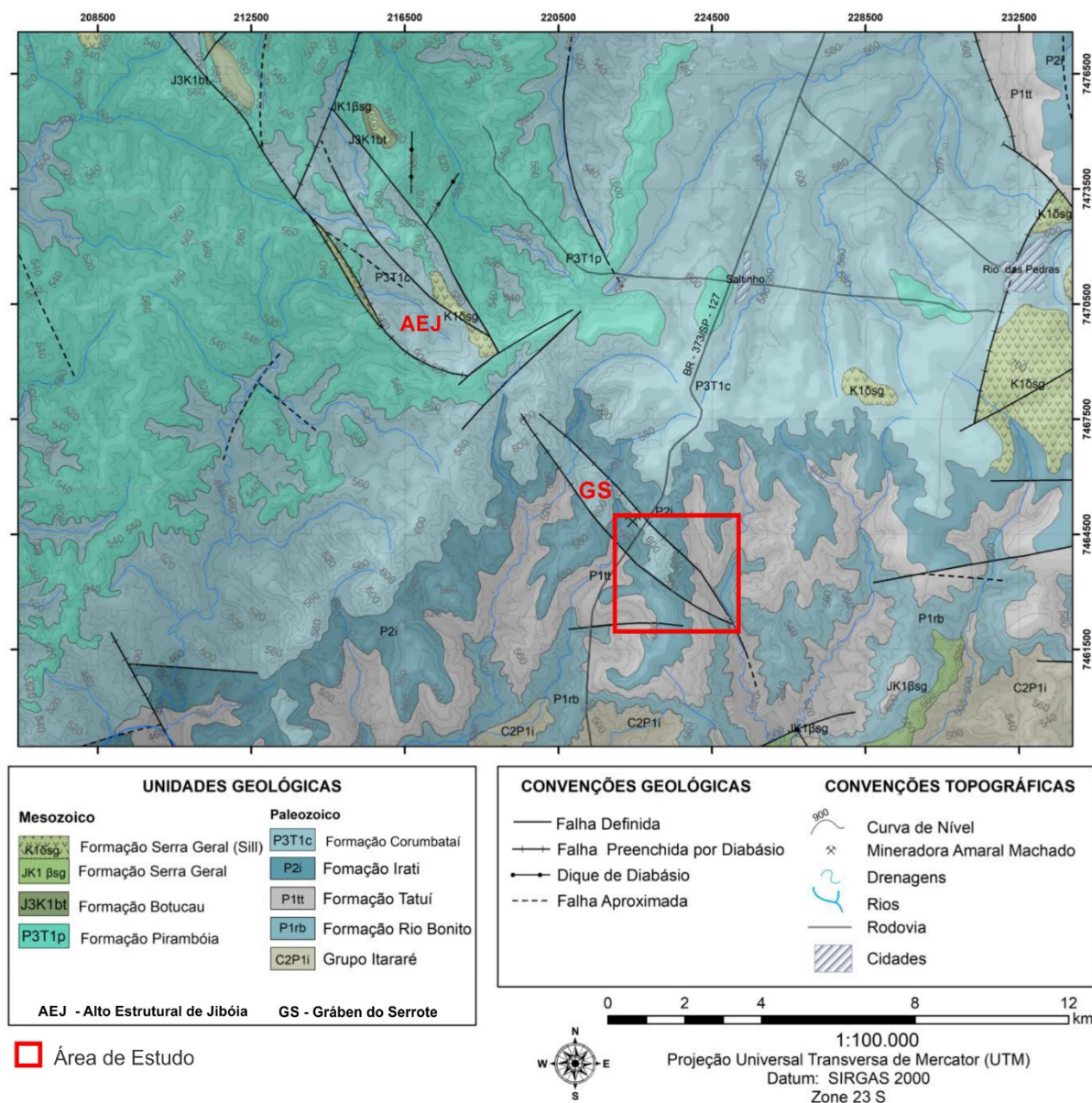


Fonte: Milani et al. (2007a)

4.2. Estratigrafia da região de estudo

Na área de estudo afloram rochas da Supersequência Gondwana I (MILANI 1997), com idade permiana. Estão representadas pelas formações Tatuí, Irati e Corumbataí, conforme o mapa geológico da CPRM (1984) (Figura 12). As unidades estratigráficas mesozoicas são representadas pelas rochas diabásio da Formação Serra Geral, com diversos diques associados.

Figura 12: Mapa geológico da região da área de estudo, com destaque para o Alto Estrutural de Jibóia (AEJ) e o Gráben Serrote (GS).



Fonte: Projeto Borda Leste da Bacia do Paraná (CPRM, 1984).

4.2.1 Unidades litoestratigráficas da área de estudo

4.2.1.1 Formação Tatuí

A Formação Tatuí, de idade permiana, é caracterizada como unidade pós-glacial sotoposta à Formação Irati (PERINOTTO & ZAINÉ, 2008). Soares (1972) subdividiu a Formação Tatuí em duas porções. A porção basal é constituída por siltitos e arenitos muito finos de coloração avermelhada, de acamamento fino a espesso, raramente laminado. Apresenta intercalações de arenitos finos com estratificações plano-paralela e camadas finas calcárias de coloração esbranquiçada e sílex. A porção de topo é caracterizada por siltitos cinza-esverdeados carbonosos, com intercalações de arenitos finos maciços e concreções calcárias. As fácies sedimentares do membro superior da Formação Tatuí marcam a transição de depósitos aluviais passando para depósitos de mar raso com barras de maré e depósitos plataformais de sedimentação pelito-carbonática (FULFARO *et al.*, 1984, STEVAUX *et al.*, 1986; ASSINE *et al.*, 2003).

Segundo Fulfaro *et al.* (1984) e Perinotto (1987), o ambiente de deposição dos sedimentos da Formação Tatuí é representado por uma plataforma marinha, um sistema costeiro e, localmente, um sistema de leques deltaicos.

4.2.1.2 Formação Irati

A Formação Irati possui idade permiana (Artinskiano), é subdividida em dois membros, Taquaral (inferior) e Assistência (superior) (BARBOSA e GOMES, 1958). O Membro Taquaral é composto por argilitos, folhelhos cinza-claros a cinza-escuros e siltitos cinza, em laminação plano-paralela e possui espessuras na ordem de 10 metros no estado de São Paulo (SCHNEIDER *et al.*, 1974). O Membro Assistência é composto por uma sequência de folhelhos e siltitos cinza escuros, folhelhos pretos, pirobetuminosos associados a calcários (dolomíticos), em laminação plano-paralela. Nas camadas carbonáticas há nódulos de sílex, marcas onduladas, laminação cruzada e convoluta, oolitos, brechas intraformacionais e laminação algálica (SCHNEIDER *et al.*, 1974). O Membro Assistência pode atingir a espessura de 40 metros (BARBOSA e ALMEIDA, 1949; BARBOSA e GOMES, 1958).

A deposição de sedimentos da Formação Irati está associada a um ambiente marinho de águas calmas para a porção basal e, marinho de águas rasas para a porção superior (SCHNEIDER *et al.* 1974).

4.2.1.3 Formação Corumbataí

A Formação Corumbataí, de idade permiana superior, possui espessura de aproximadamente 100 metros (PERINOTTO & ZAINE, 2008), sendo constituída por argilitos, siltitos e folhelhos de coloração arroxeada e marrom-avermelhada (porções média e superior), com intercalações de arenitos e leitos carbonáticos) e, siltitos maciços de coloração cinza esverdeada a azulada (porção inferior), com laminação plano-paralela, (LANDIM, 1967).

A sedimentação da porção inferior da Formação Corumbataí é identificada por um ambiente marinho de águas gradativamente mais rasas, em condições climáticas oxidantes, depositados abaixo do nível de ação das ondas. A porção superior indica transição de ambiente marinho relativamente profundo para um ambiente mais raso e agitado (SCHNEIDER et al., 1974).

4.2.1.4 Formação Serra Geral

A Formação Serra Geral, de idade cretácea, está inserida na sequência Gondwana III da Bacia do Paraná, que corresponde aos espessos derrames basálticos, toleíticos, afaníticos, gerados pelo magmatismo fissural associado a uma série de episódios magmáticos durante a abertura do Oceano Atlântico Sul sob o ambiente sedimentar e desértico da Formação Botucatu (ZAINE, 1994).

Segundo Soares e Landim (1975), na região de estudos a Formação Serra Geral ocorre na forma de diques e soleiras de diabásio, com coloração cinza escuro a preta.

4.3 Contexto estrutural regional

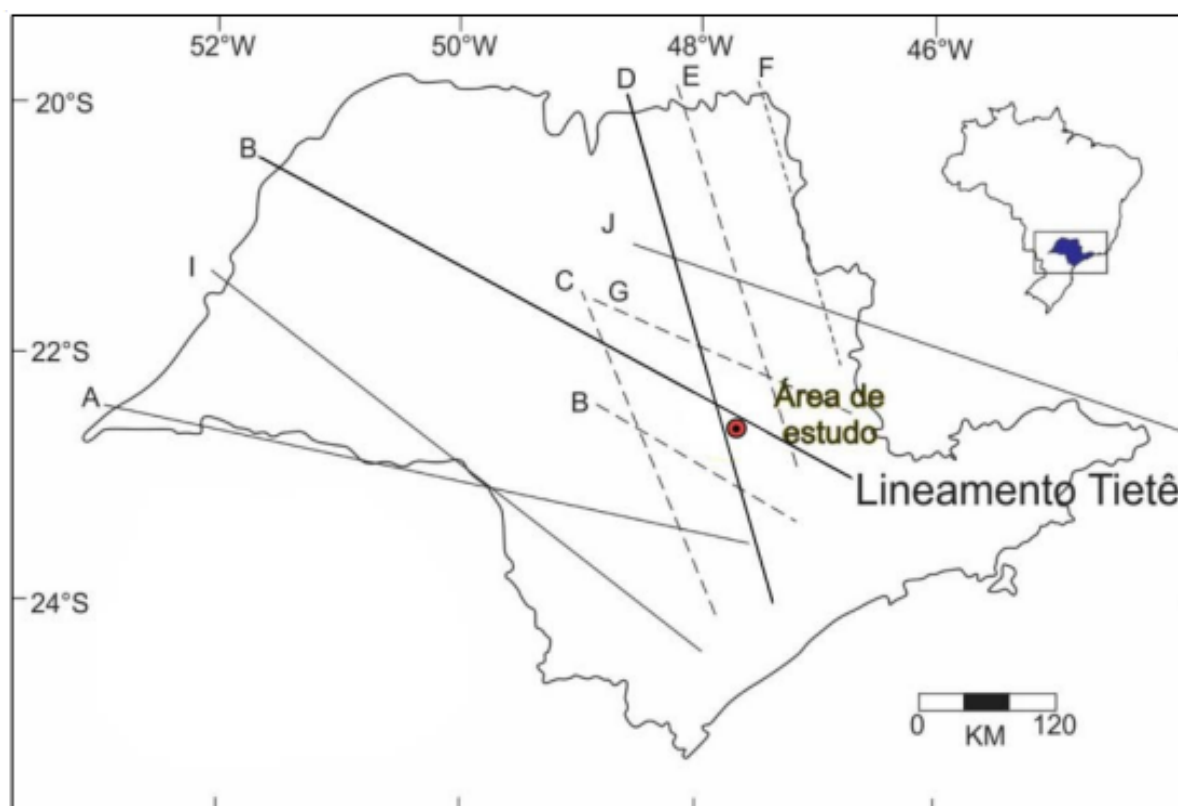
A região da área de estudo está localizada na borda leste da Bacia do Paraná, no contexto tectônico da estabilização da Plataforma Sul Americana. A evolução desta bacia está relacionada ao fim do Ciclo Brasileiro. Dentro da bacia, existem lineamentos regionais nas direções NE-SW, NW-SE e E-W. (ZALAN et al., 1990b).

Durante a fragmentação do Supercontinente Gondwana, no período Jurássico-Cretáceo, as falhas com orientação NW foram intensamente reativadas, resultando na formação de novas falhas paralelas a essa direção. Esse processo levou à intrusão de inúmeros corpos ígneos e culminou no evento extrusivo basáltico conhecido como Serra Geral. Os lineamentos NW e NE são estruturas associadas à fase final do magmatismo do Serra Geral, sendo atribuídas a dinâmicas transcorrentes (ZALÁN et al., 1990; MELO, 1995).

No período Triássico, formaram-se as estruturas de orientação EW estão relacionadas às zonas de falhas oceânicas, indicando uma possível ligação com a abertura do Atlântico Sul (ZALÁN et al., 1987; ALMEIDA, 1981). Já as estruturas de orientação NE, como as falhas de Jacutinga e Guaxupé (SOARES et al., 1982), estão associadas às estruturas brasileiras na borda leste da Bacia do Paraná. Além disso, essas estruturas deram origem a relevos elevados, como horstes (blocos levantados) e grábens (blocos rebaixados), ao longo da borda leste da bacia (ZALÁN et al., 1987).

Na área de estudo, são encontrados os altos estruturais de Pitanga, Artemis, Pau d'Alho e Jibóia (SOARES 1974), detalhados por Sousa (2002), que estão relacionados à intersecção entre os alinhamentos Tietê e Rio Mogi-Guaçu de orientações NW-SE (RICCOMINI, 1995) (Figura 13). Essas feições estruturais criam condições geológicas favoráveis para o armazenamento de hidrocarbonetos.

Figura 13: Mapa apresentando os principais lineamentos estruturais do Estado de São Paulo e localização da área de estudo (intersecção dos lineamentos B e D): A- Rio Paranapanema; B – Tietê; C- Ibitinga-Botucatu; D - Rio Moji-Guaçu; E – Ribeirão Preto-Campinas; F- Rifanaina-São João da Boa Vista; G- São Carlos -Leme; I – Guapiara; J -Jaboticabal.



Fonte: Adaptado de Riccomini (1995, 1997).

4.3.1 Altos estruturais

A Bacia do Paraná apresenta significativos lineamentos estruturais conforme demonstrado na figura 13, os quais estão associados aos estágios de evolução tectônica da plataforma sul-americana. Esses lineamentos foram reativados em diferentes momentos durante o desenvolvimento da bacia (ALMEIDA, 1969).

A reativação dessas falhas está associada à presença de diversos altos estruturais ao longo da borda leste da Bacia do Paraná. Esses altos estruturais expõem sedimentos mais antigos em suas porções centrais e apresentam uma variedade de elementos, como anticlinais, estruturas dômicas, horsts e flor positiva (SIQUEIRA, 2011). Destacam-se, entre esses altos estruturais, o Alto de Jibóia e o Gráben do Serrote.

4.3.1.1 Alto Estrutural de Jibóia e o Gráben do Serrote

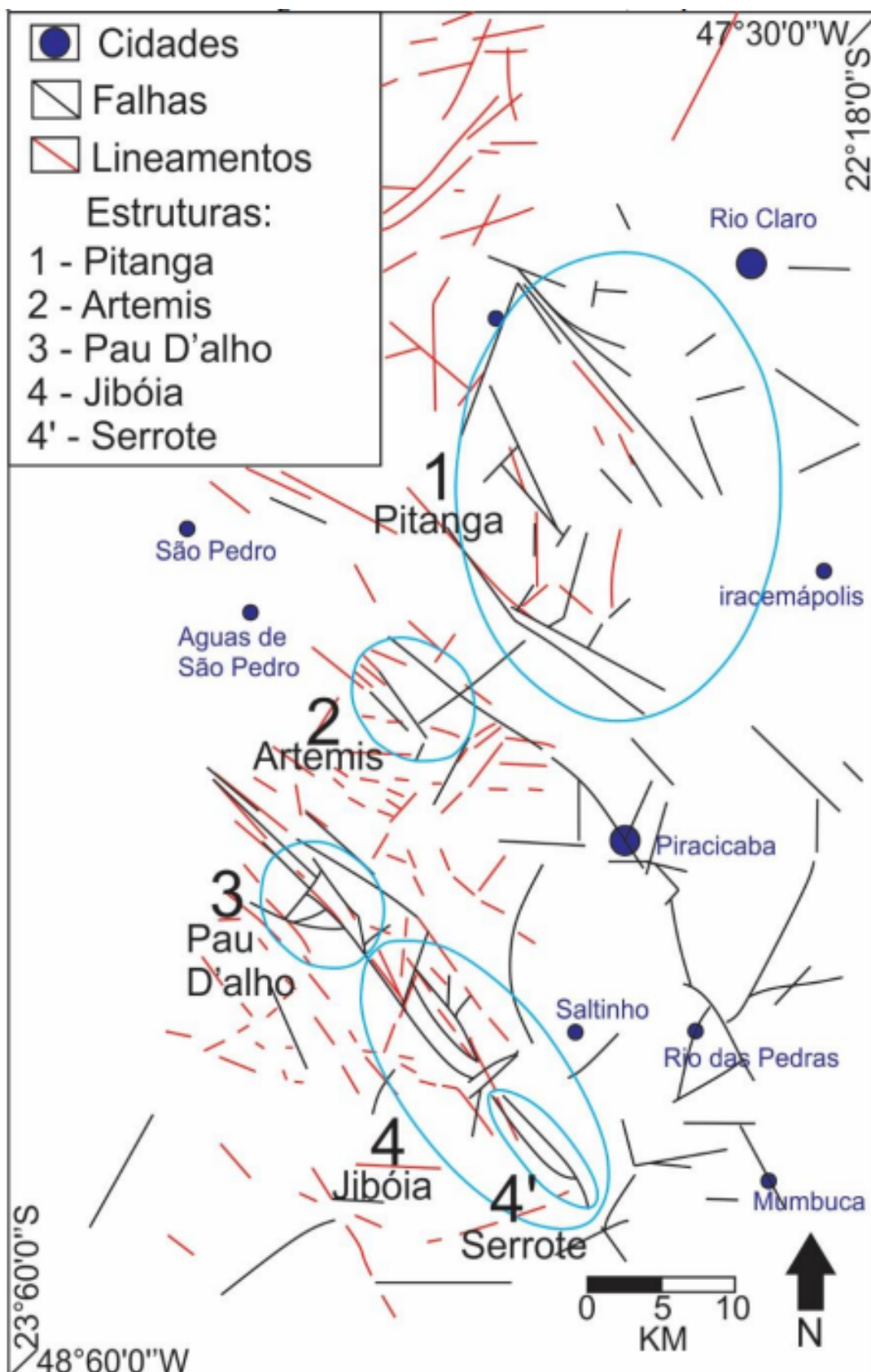
Os altos estruturais são regiões associadas a domos, anticlinais, horstes e estruturas em flor. O Alto Estrutural de Jibóia, localizado nas proximidades da área de estudo, faz parte das cinco principais estruturas aflorantes na região de Rio Claro e Piracicaba sendo elas os domos de Pitanga, Anhembi, Artemis, Jibóia e o Horste de Pau D'Alho (Figura 14).

Segundo Soares (1974), o Alto Estrutural de Jibóia é limitado por dois grupos de falhas paralelas à direção N45W com falhas subverticais normais, responsáveis por colocar as rochas da Formação Corumbataí no nível das rochas da Formação Pirambóia. Além disso, nessa configuração, também são encontrados diques de diabásio (SOUSA, 2002) e camadas inclinadas em um ângulo de 15° para SW e 5° em direção ao centro da estrutura (FRIES, 2008).

A área de estudo está localizada na região sudeste do Alto Estrutural de Jibóia. Essa área é caracterizada por um sistema de falhas organizadas em um padrão de gráben chamado Serrote, como identificado por Soares (1974). Segundo Sousa (2002), essa estrutura consiste em uma disposição de blocos delimitados por duas falhas principais de orientação N40W, que colocam as rochas das formações Corumbataí e Irati em um mesmo nível topográfico.

De acordo com Batista (2002), a falha que delimita a região sudoeste exibe camadas inclinadas em até 75° em direção ao sudoeste e nordeste. No limite nordeste, encontram-se as rochas da Formação Irati, que apresentam dobras simétricas com uma amplitude de até 4 metros.

Figura 14: Localização das estruturas da região leste da bacia do Paraná.



Fonte: adaptado de Sousa (2002) e Fries (2008).

4.4 Sistema Petrolíferos da Bacia do Paraná

Segundo Magoon & Dow (1994), um sistema petrolífero pode ser descrito pela relação genética entre a rocha geradora madura e as acumulações em reservatórios relacionados, considerando a necessidade de sincronicidade (timing) entre os eventos de geração do óleo e acumulação do óleo.

De acordo com Cioccarri e Mizusaki (2019), existem cinco sistemas petrolíferos da Bacia do Paraná (Tabela 1). As rochas com potencial gerador da Bacia do Paraná são os folhelhos das formações Vila Maria, Ponta Grossa e Irati, enquanto os arenitos das formações Alto Graças/Iapó, Furnas, Itararé, Pirambóia e Rio Bonito representam possíveis reservatórios

Tabela 1: Sistemas Petrolíferos Atípicos da Bacia do Paraná.

SISTEMA PETROLÍFERO	GERADORA	RESERVATÓRIO	CLASSIFICAÇÃO
Vila Maria - Alto Graças/Iapó	Vila Maria	Alto Graças/Iapó	Hipotético
Vila Maria - Furnas	Vila Maria	Furnas	Hipotético
Ponta Grossa - Itararé	Ponta Grossa	Itararé	Conhecido
Irati - Pirambóia	Irati	Pirambóia	Conhecido
Irati - Rio Bonito	Irati	Rio Bonito	Conhecido

Fonte: Modificado de Cioccarri e Mizusaki (2019).

Na área de estudo encontram-se o Sistema Petrolífero Irati-Pirambóia. A geração de óleo na Bacia do Paraná está relacionada à presença das intrusões ígneas da Formação Serra Geral. Essas intrusões são um fator importante para a maturação da matéria orgânica, atuando como fonte de calor para a migração.

Os folhelhos betuminosos da Formação Irati apresentam regionalmente o maior potencial gerador, podendo atingir o estado de maturação, quando associados às intrusões ígneas. A migração primária do óleo é contemporânea ao início do magmatismo, o aumento do grau geotérmico e a presença de intrusivas servindo como zonas de canalização, migraram o óleo dos folhelhos betuminosos da Formação Irati para as rochas carbonáticas da mesma. Segundo Thomaz-Filho et al. (2008) e Riffel (2020), a migração secundária dos hidrocarbonetos ocorreu devido ao desenvolvimento de altos estruturais e a formação de caminhos de migração em zonas de falha permitiu o óleo migrar para os arenitos eólicos porosos e permeáveis da Formação Pirambóia.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste capítulo, serão abordados diferentes aspectos, incluindo a geologia local, a análise estrutural e os dados sobre a aquisição de tomografia elétrica.

5.1. Geologia local

Durante a atividade de campo foram visitados 5 pontos na área de estudo conforme a figura 15, correspondendo a cavas de exploração de dolomitos, algumas em atividade e outras já abandonadas. Nessa atividade foram coletadas informações importantes da geologia na região de estudo.

Figura 15: Mapa de localização dos pontos descritos na área de estudo.



Fonte: Google Earth

Na área de estudo afloram rochas sedimentares paleozoicas e intrusivas básicas mesozoicas da Bacia do Paraná, sendo elas representadas pelas formações Irati, Corumbataí e intrusivas (diques de diabásio) conforme demonstra a coluna estratigráfica da área de estudo (Figura 16).

Figura 16: Coluna estratigráfica simplificada das formações que ocorrem na área de estudo.

Coluna Estratigráfica da área de estudo						
Era	Período	Grupo	Formação	Litologia	Espes. Aprox. (m)	Descrição
Mesozoica	Cretáceo	São Bento	Intrusivas básicas Cretácicas		0,5	Intrusões de diques
Paleozoica	Permiano	Passa Dois	Corumbataí		8	Siltitos e argilitos laminados, empastilhados de coloração marrom avermelhado
			Irati		15	Folhelhos pirobetuminosos, siltitos e calcários dolomíticos

Um dos pontos visitados (ponto 1) foi a frente de lavra da Cava Vitti, localizada na Mineração Amaral Machado em Saltinho - SP e nas pedreiras abandonadas na região da área de estudo, na qual afloram rochas da Formação Irati (Membro Assistência) e Formação Corumbataí. No campo, na Formação Irati, foram observados folhelhos com estratificação plano-paralela de coloração escura e pirobetuminosos, siltitos cinza e camadas centimétrica a decimétricas de carbonatos dolomíticos esbranquiçados, com nódulos de sílex e pirita associada. Também, nessa mesma formação, na base, aflora o banco dolomítico de aproximadamente 3 metros com coloração cinza claro a esbranquiçada, também com estruturas plano-paralelas (Figura 17A), sendo o objeto de exploração da mineração. Acima desta formação foram observadas rochas da Formação Corumbataí, em alguma região composta por siltitos laminados de coloração acinzentada e em outras partes da área de estudo foram observados siltitos de coloração arroxeada e esbranquiçada.

Foi observada rocha intrusiva básica na forma de diques de diabásio correlatas às intrusivas cretáceas. No ponto 1, essa intrusão apresenta espessura de 50 cm, com direção NW-SE cortando o banco dolomítico e os folhelhos da Formação Irati (Membro Assistência) (Figura 17B). Além disso, na região de estudo, na porção sudoeste, ocorre solo de coloração

avermelhada que é produto de alteração das intrusivas básicas (Figura 18), e foram observados nessa área alguns blocos dessa rocha.

Figura 17: Cava Vitti A: Frente da lavra da Cava Vitti com destaque para o banco para o banco dolomítico, sotoposto à intercalação de folhelhos escuros com carbonatos dolomíticos e B: Formação Irati (Membro Assistência) sendo cortado por dique de diabásio de direção N 60W.

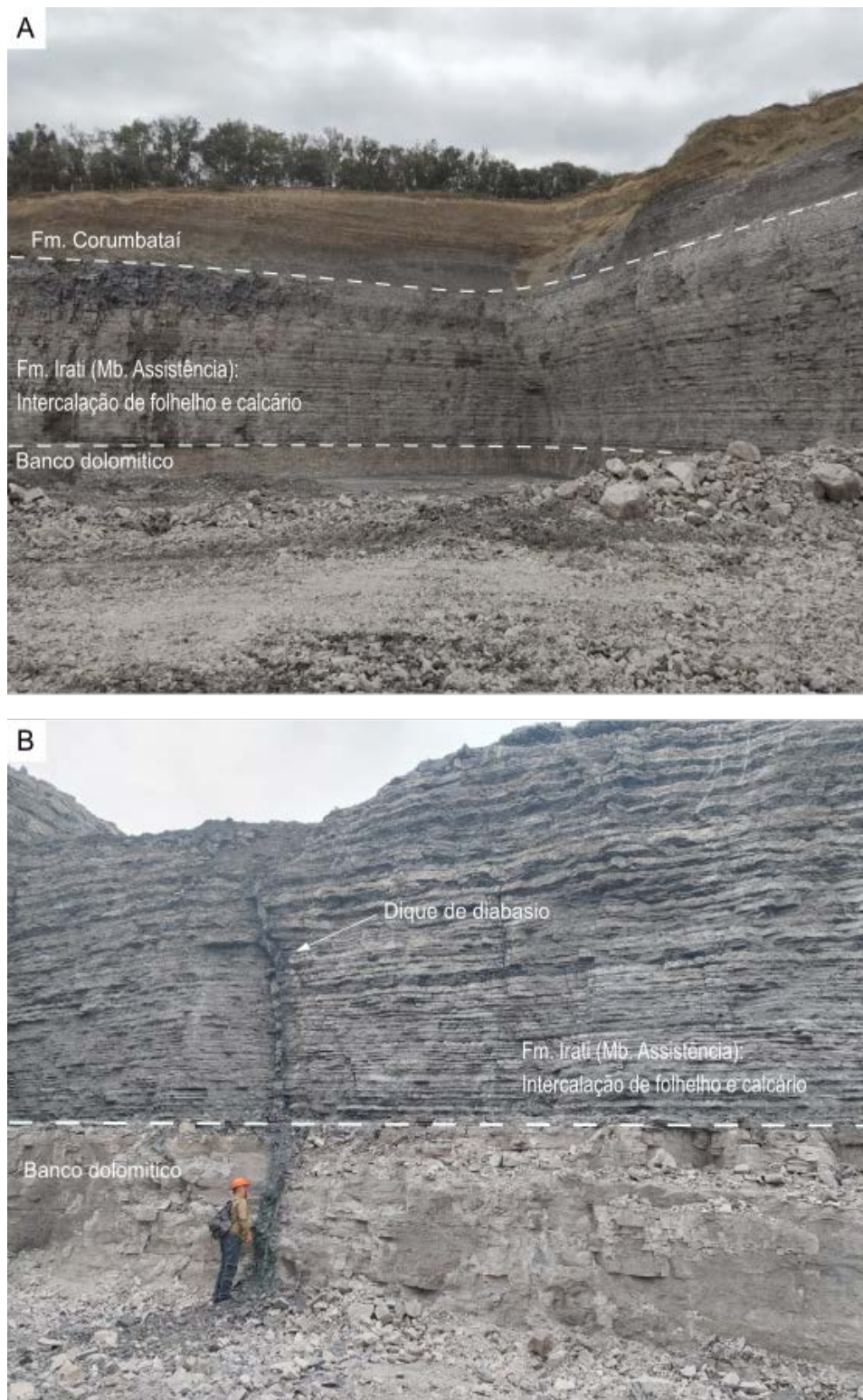
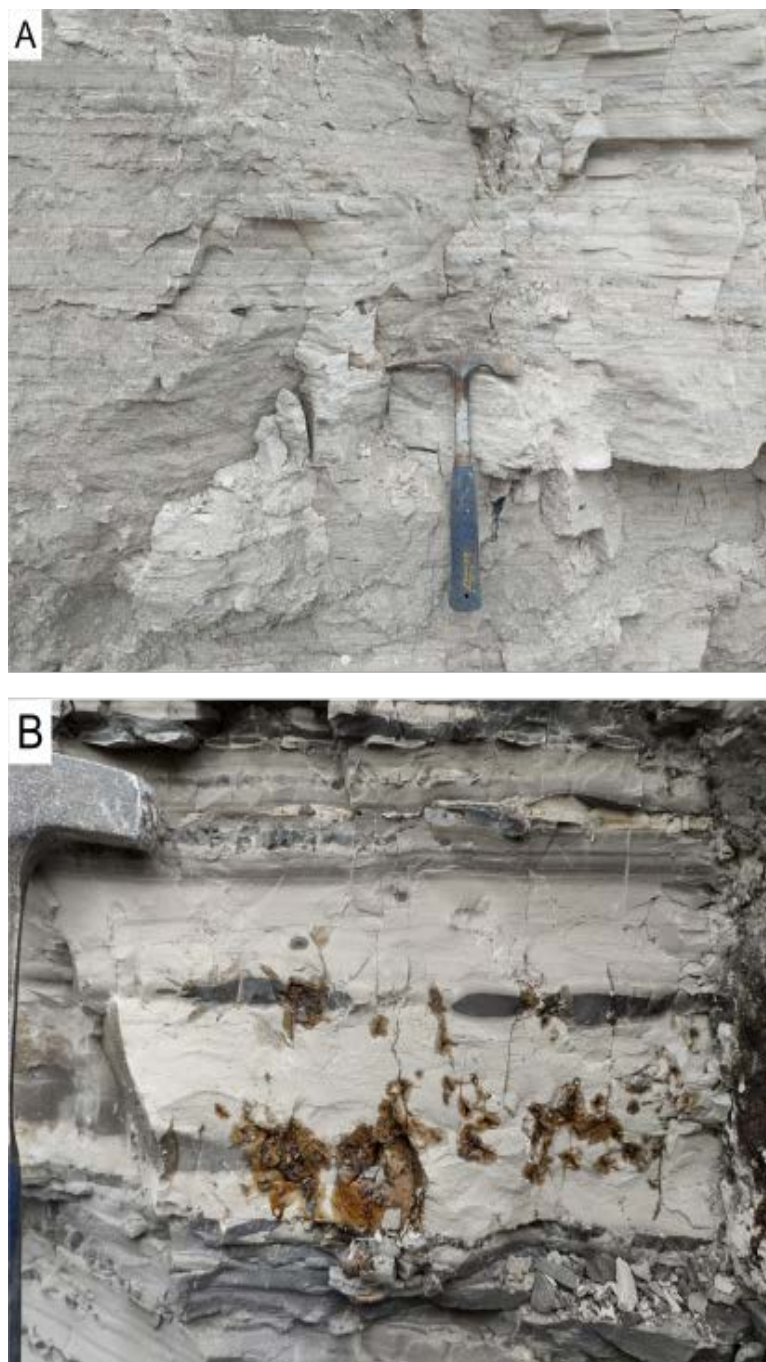


Figura 18: Solo de alteração de rochas intrusivas básicas cretáceas, na porção sudoeste da área de estudo.



No banco dolomítico e nos níveis de carbonáticos intercalados com os folhelhos do Membro Assistência, foram observadas exsudações de betume que preenchem fraturas, falhas, cavidades e a estratificação sedimentar da rocha, em todos os pontos visitados. As exsudações de hidrocarbonetos são encontradas principalmente em áreas onde há fraturas abertas no dolomito. Além disso, foi observada a presença disseminada do fluido oleoso associado a pequenas fraturas centimétricas (Figura 19A e 19B). No contato do banco dolomítico com a intrusão, há um plano estriado e zona de brechas.

Figura 19: A: Banco dolomítico da Formação Irati e B: Banco dolomítico com exsudação de betume (Ponto 1).



5.2 Análise Estrutural

O mapeamento estrutural se apoiou nos dados coletados nos afloramentos visitados (Figura 15), distribuídas pela porção sudeste do Gráben do Serrote, os quais estão incluídos na tabela (Anexo I e II). Durante a etapa de campo foram levantados dados estruturais que permitiram identificar falhas e juntas na região. Algumas dessas estruturas foram descritas por Riffel (2020) e Lacerda (2022) e foram utilizados neste trabalho para complementar os dados

adquiridos no campo. Com os dados obtidos pela descrição e interpretação, foi possível confeccionar o mapa estrutural (Figura 33). A seguir serão apresentados os resultados dos dados estruturais adquiridos.

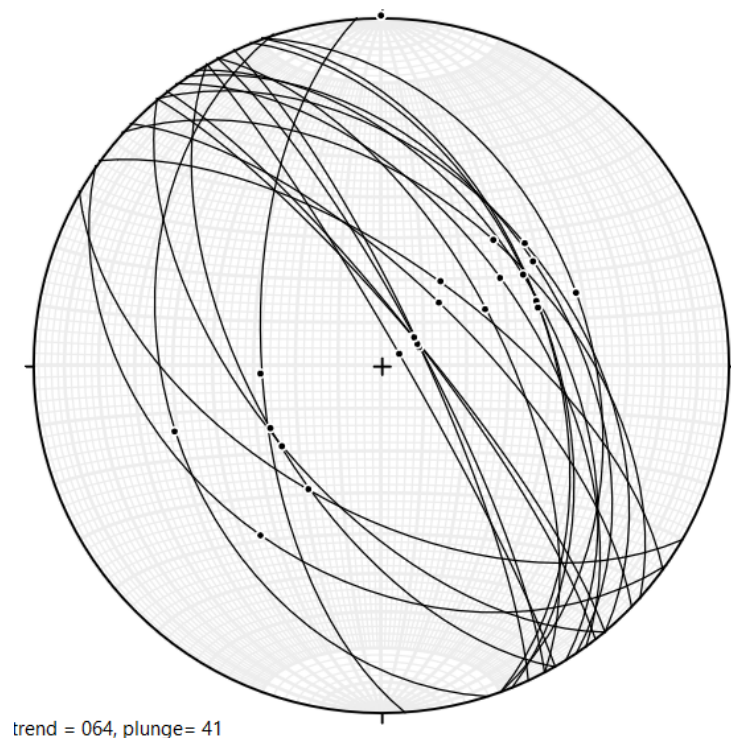
5.2.1. Falhas da área de estudo

Foram reconhecidas na atividade de campo, 2 conjuntos de falhas (normal e transcorrente destal), abaixo segue a descrição e análise estrutural obtidos:

5.2.1.1 Falhas Normais

Nos pontos 1, 3, 4 e 5 (Figura 15), localizados na porção sudeste do Gráben do Serrote, foram identificadas falhas normais direção preferencial NW-SE com componente de mergulho e oblíqua mergulhando para NE (preferencial) e SW conforme o estereograma da figura 20.

Figura 20: Estereograma de plano de falhas normais (projeção ciclográfica) mostrando a direção preferencial para NW-SE, com representação das estrias contidas nos planos de falhas.



No ponto 1, localizada da Pedreira Vitti, as falhas normais são de direção NW-SE com rejeitos centimétricos, associados com as intrusões de diques de diabásio.

No ponto 3, a falha identificada apresenta direção NW-SE, mergulhando para nordeste, com rejeito de aproximadamente 7 metros (Figura 21A e B). E também, foram

observadas brechas de falhas (Figura 22A) no banco dolomítico da Formação Irati e na parte superior a inclinação do estrato (camadas intercaladas com calcários e folhelhos centimétricos) próximo ao plano de falha principal (Figura 22B). Neste contexto, essa falha está situada na borda sudoeste do Grabén do Serrote.

Figura 21: A e B - Falha com rejeito de aproximadamente 7 metros no ponto 3.

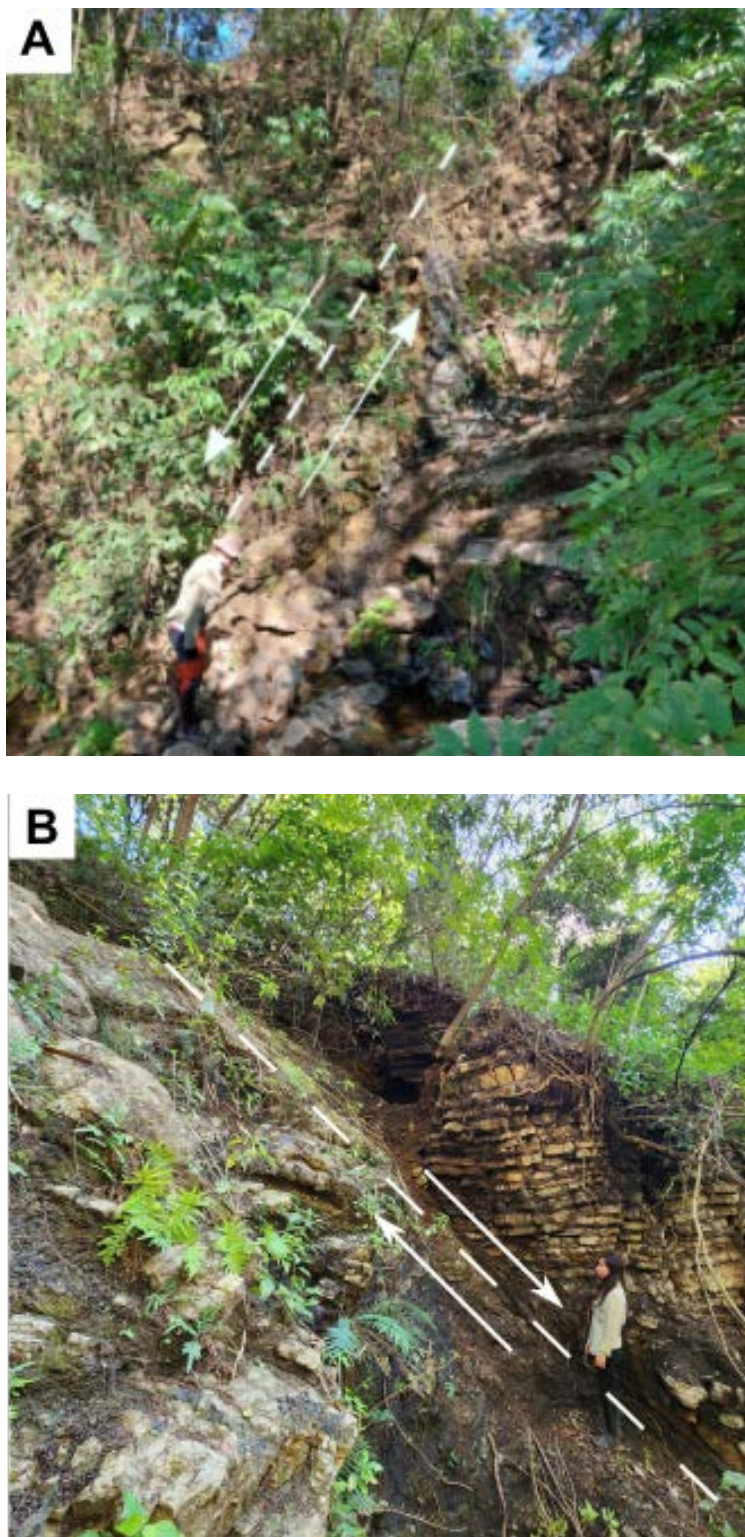
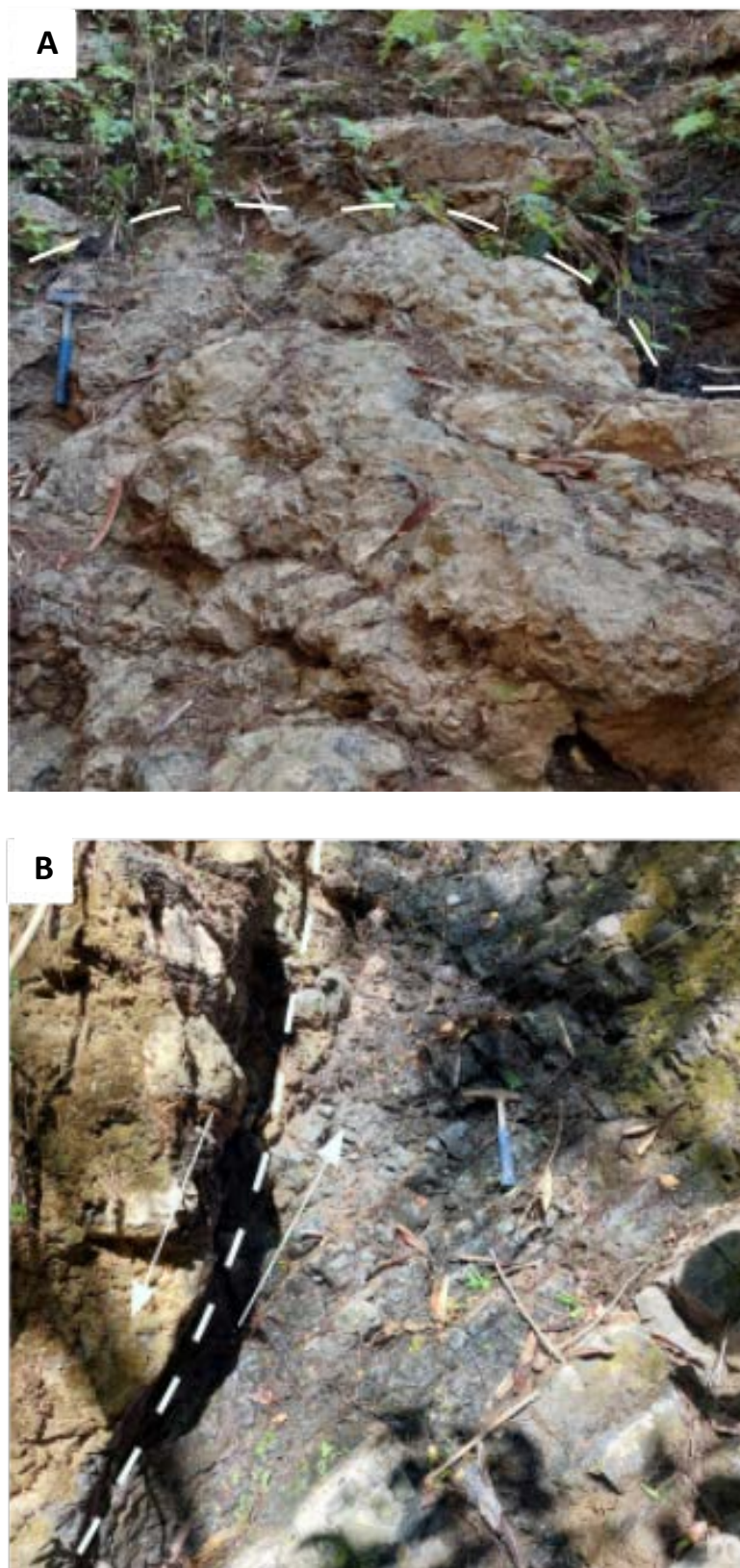


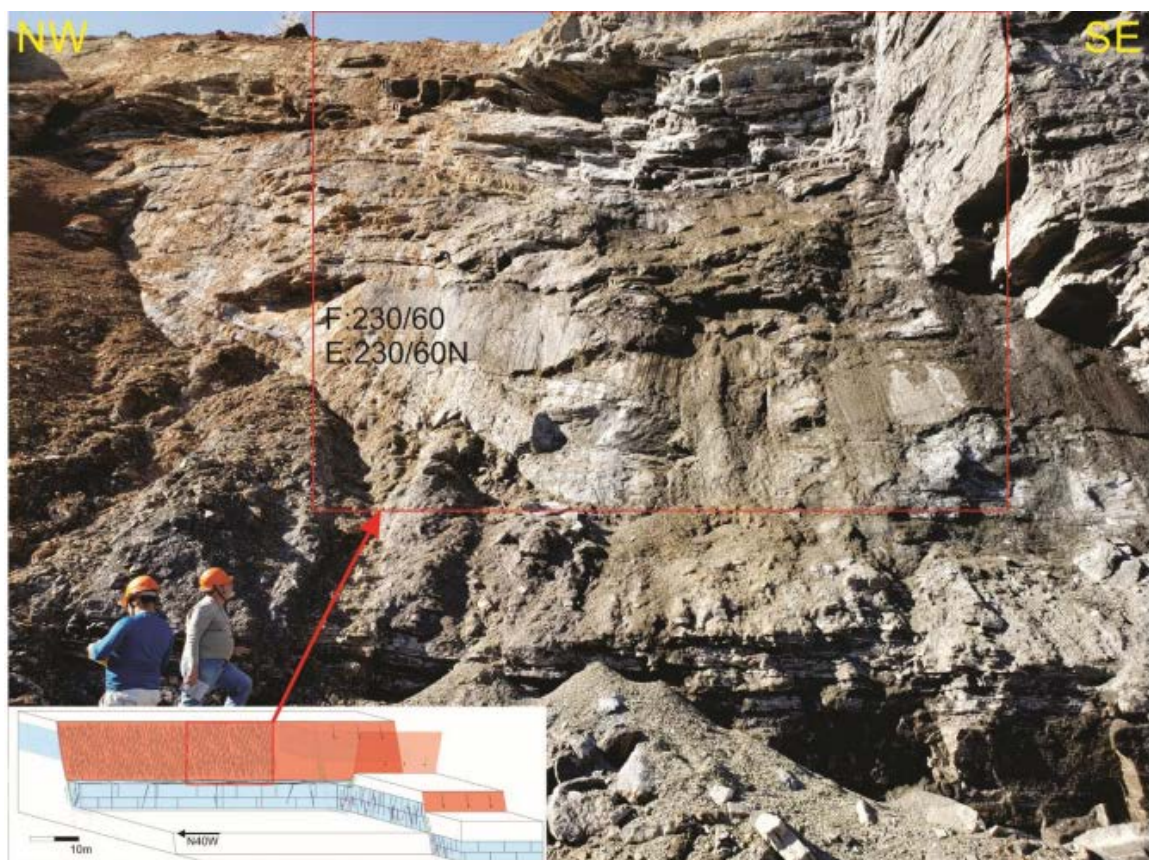
Figura 22: A- Brecha de falha localizado em contato com a falha (no ponto 3) e B - Estratos inclinados próximo ao plano de falha principal.



Nos pontos 4 e 5, situados na borda nordeste do Gráben do Serrote, as falhas apresentam direção NW-SE mergulhando para sudoeste (falha sintética) e nordeste (falha antitética). No ponto 4, localizado na Cava Monte Olimpo (Figura 23), foram mapeadas falhas do tipo normal, com orientação preferencial NW-SE e estrias no rumo do mergulho (Down Dip). Neste local, as falhas sintéticas que mergulham para sudoeste apresentam rejeitos de mergulhos métricos e as falhas antitéticas que mergulham para nordeste possuem rejeitos de mergulho centimétricos, localmente formando um par conjugado de falhas, com rejeitos centimétricos e abatimento do bloco central.

No ponto 5, foi observada a falha antitética NW-SE, mergulhando na direção SW e estrias no rumo do mergulho (*Down Dip*) (figura 24). A falha apresenta rejeitos de mergulhos métricos, e observou o banco dolomítico brechado em contato com as intercalações centimétricas de folhelhos e calcários da Formação Irati, que possibilitou estimar aproximadamente 5 metros de rejeito.

Figura 23: Rampa de falha principal, estriada com ondulações, degraus e ramificações com direção NW-SE mergulhando para SW.



Fonte: Riffel (2020)

Figura 24: Falha antitética NW-SE no ponto 5.



5.2.1.2 Falhas Transcorrentes

As falhas transcorrentes foram reconhecidas no contato do dique de diabásio (espessura de 50 cm) com a Formação Irati, somente no ponto 1, localizado a nordeste da área de estudo, próximo ao Gráben do Serrote. Essas falhas apresentam componentes de rejeito destrais (figuras 25A, B e C), além das normais (pequeno rejeito) apresentando direção preferencial NW-SE e de alto ângulo representadas pelo estereograma na figura 26.

Figura 25: Fotos destacando os detalhes dos planos de falhas transcorrentes destrais no ponto 1 na área de estudo, com destaque para as estrias sub-horizontais.

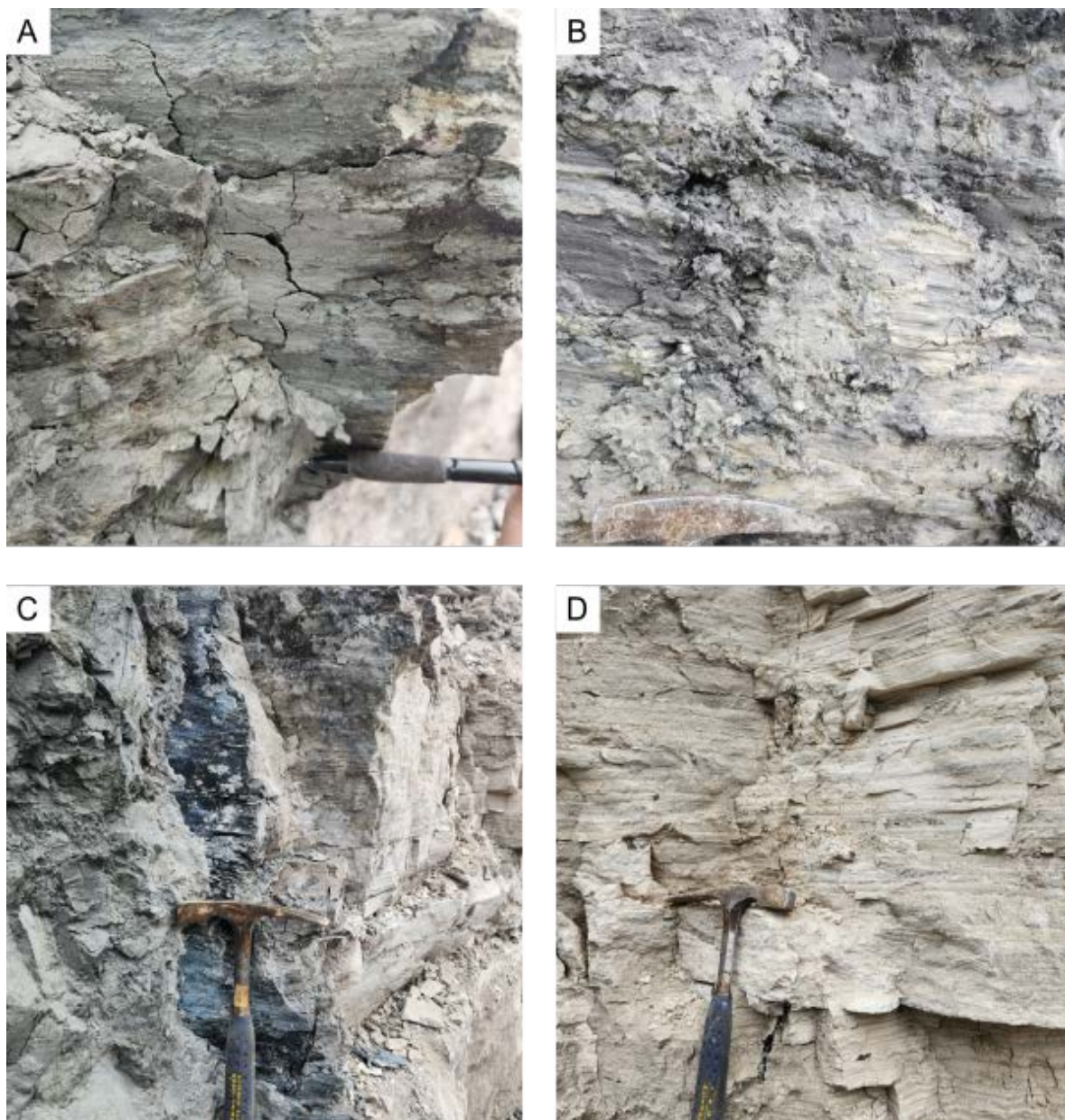
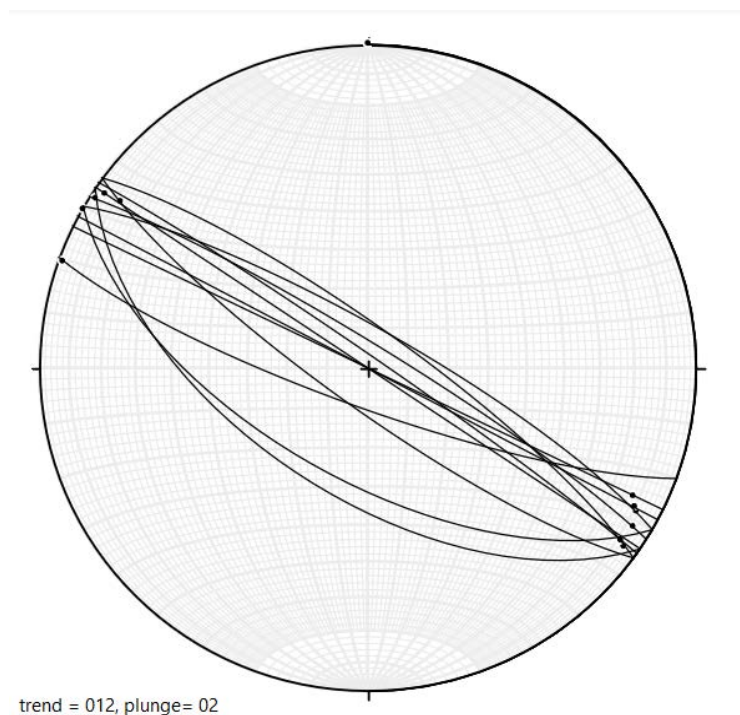


Figura 26: Estereograma de plano de falhas transcorrente destrais (projeção ciclográfica) mostrando direção preferencial para NW-SE e estrias sub-horizontais.



5.2.2 Juntas

Foram coletadas 61 medidas de juntas em todos os pontos da área de estudo, com mergulho de alto a médio e direção preferencial NW-SE, NE-SW e NNE-SSW (Figura 27). Nessas três famílias de junta foram observados 40 planos de juntas com exsudação de hidrocarboneto nos níveis carbonáticos da Membro Assistência - Formação Irati (Figura 28A, B, C e D) e uma junta foi vista precipitação de pirita (Figura 28E).

As juntas associadas às exsudações de hidrocarbonetos são marcadas pelas direções NE/SW e NW/SE, com predomínio desta última. As exsudações de hidrocarbonetos são importantes indicativos de distensão associadas às juntas de orientação predominante NW-SE (Riffel, 2020).

Figura 27: Estereograma de juntas da área de estudo. A projeção ciclográfica representa todas as juntas coletadas e o polo (em vermelho) são juntas com a exsudação de hidrocarbonetos.

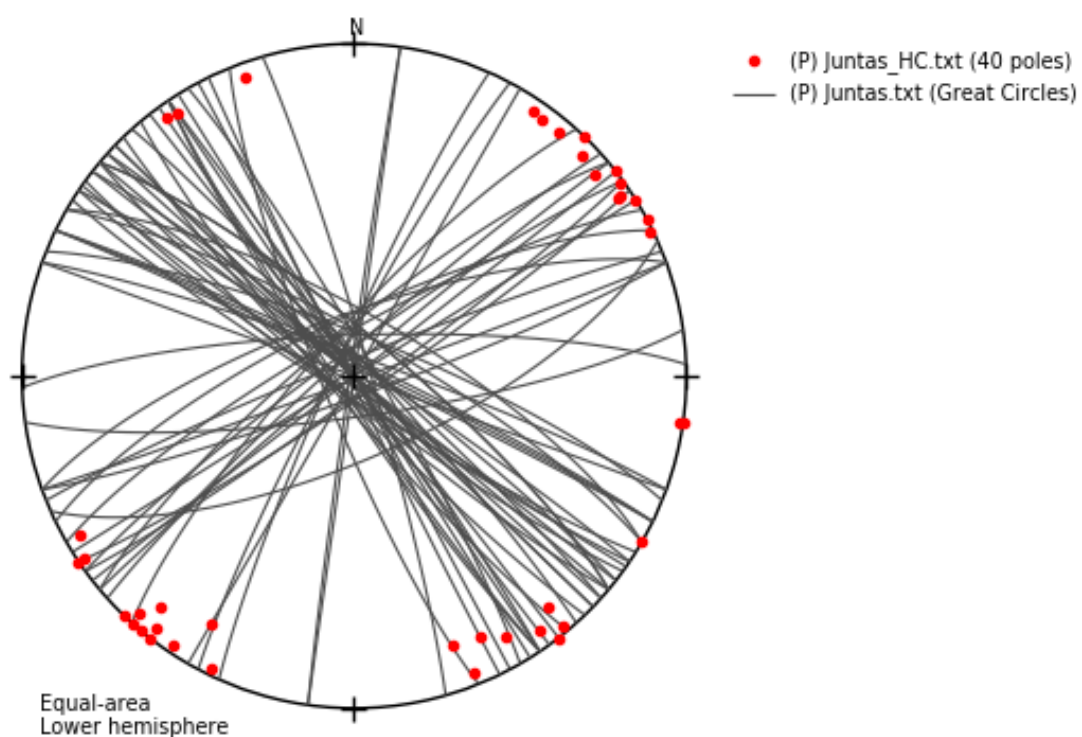
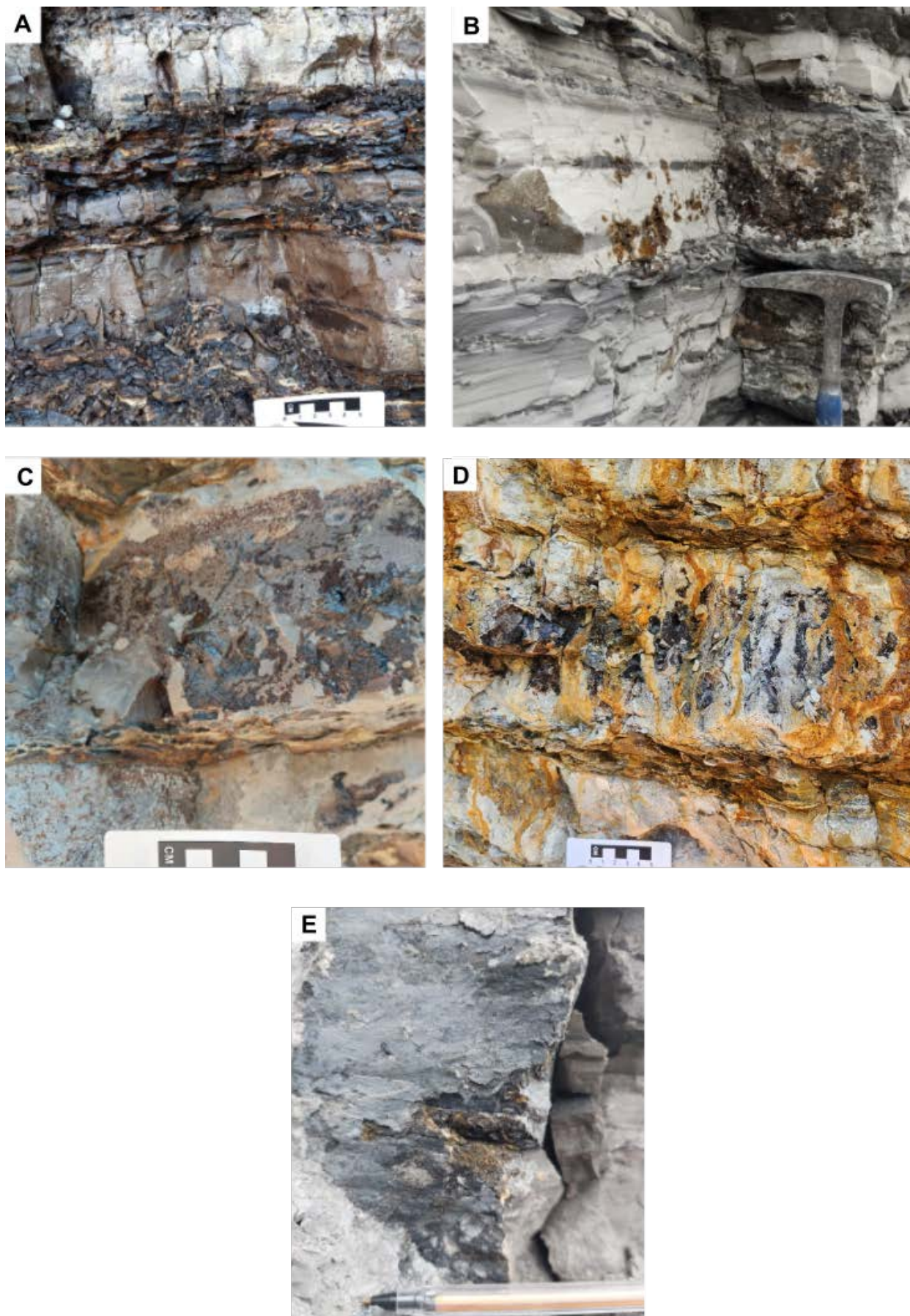


Figura 28: A, B, C, D-Plano de fratura com hidrocarboneto e E-Plano de fratura com pirita.



5.2.3 Eixos de paleotensões

Com a utilização do *software* Win-Tensor e aplicação do Método dos Diedros Retos, conforme descrito por Angelier & Mechler (1977) e Angelier (1994), foi possível analisar os diagramas de reconstrução dos eixos de paleotensão para a população de falhas reconhecida. Esse método possibilitou a categorização dos dados em um grupo de falhas do tipo normal NW-SE, com inclinação para SW para NE e outro conjunto tipo transcorrente dextral de direção NW-SE.

O diagrama das falhas normais (Figura 29) apresentou as orientações preferenciais dos esforços: σ_1 N 261/77; σ_2 N 144/06; σ_3 N 053/12, indicando uma deformação do tipo distensiva para essas falhas. No diagrama das falhas transcorrentes as orientações de esforços foram: σ_1 N 347/06; σ_2 N185/84; σ_3 N077/02 (Figura 30). O eixo compressivo sub-horizontal aponta para pulso deformacional compressivo.

Observa-se que o eixo distensivo σ_3 das falhas transcorrentes destrais tem a posição aproximada ao das falhas normais, sugerindo que o Gráben do Serrote está associado a um ambiente do tipo transtensivo ou um outro evento deformacional.

Figura 29: Diagrama de reconstrução de eixos de paleotensão para falhas normais NW-SE.

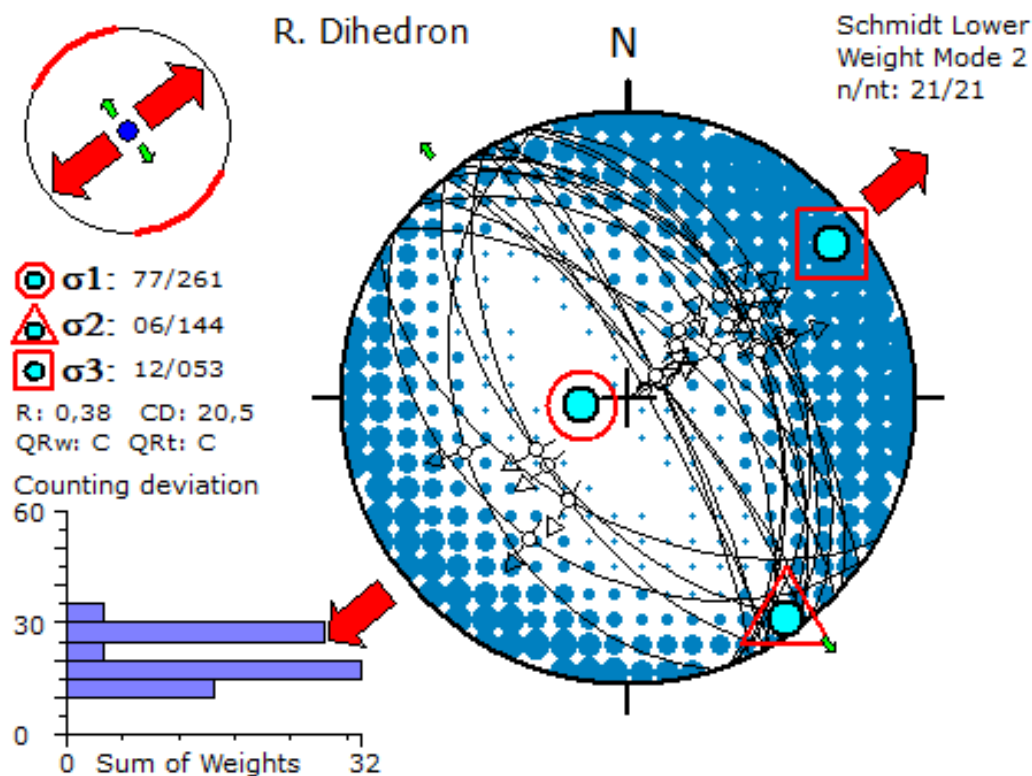
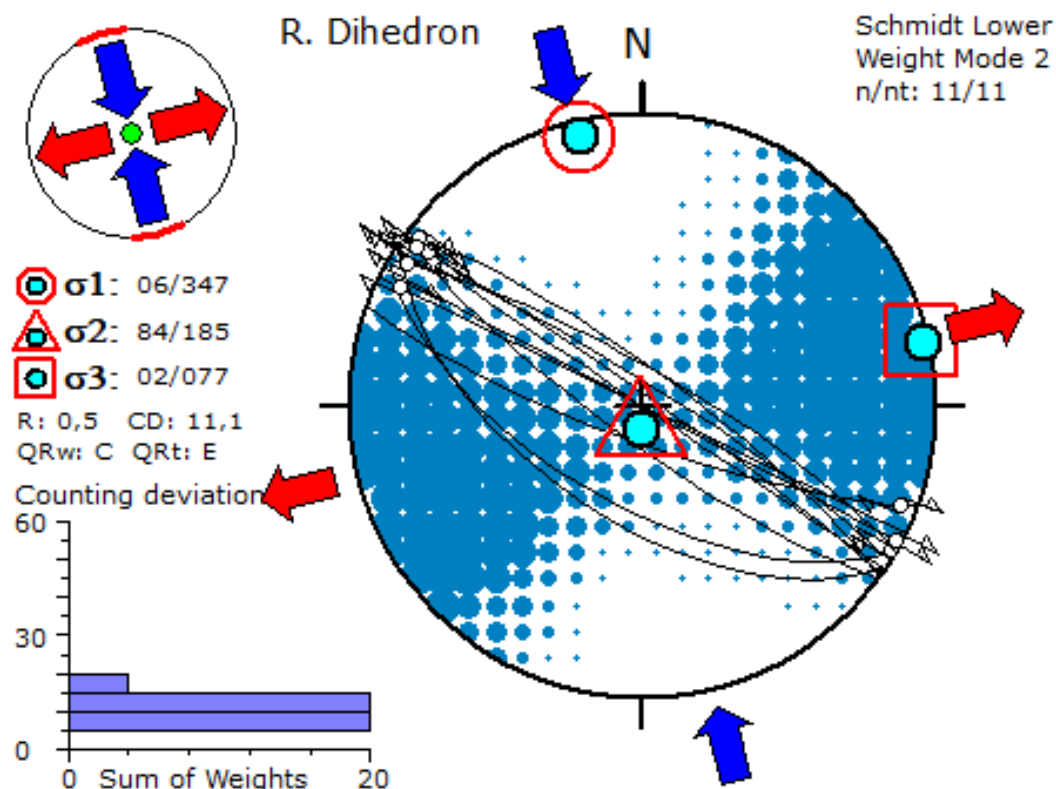


Figura 30: Diagrama de reconstrução de eixos de paleotensão para falhas associadas a transcorrência dextral.



5.3 Aquisição de Tomografia Elétrica

As campanhas de aquisições de dados geofísicos, resultaram em 8 seções de tomografia elétrica no arranjo *Schlumberger* com os parâmetros de resistência. Cada seção possui 400 metros de extensão e cortam perpendicularmente às bordas nordeste e sudeste da porção SE do gráben. As localizações dessas seções estão representadas no mapa de linhas (Figura 4), tendo como objetivo contemplar a porção SE do Gráben do Serrote.

Os valores de resistividade foram espacializados na escala de cores, onde tons mais quentes correspondem a elevadas resistividades e tons mais frios, refletem os baixos valores. As seções foram padronizadas em uma única escala de cores e valores, a fim de facilitar a comparação entre as seções. Os modelos de inversão 2D para resistividade apresentam significativos contrastes e anomalias resistivas, os quais podem ser interpretados em termos de anisotropia estruturais.

5.4 Interpretação dos dados de Tomografia Elétrica

A partir das 8 seções adquiridas e processadas, foi possível delimitar as duas bordas da porção sudeste do Gráben do Serrote. As seções 1, 2, 3, 4 delimitam a borda sudoeste, as seções 6, 7 e 8 delimitam a borda nordeste e a seção 5 delimita o fechamento sudeste da estrutura estudada.

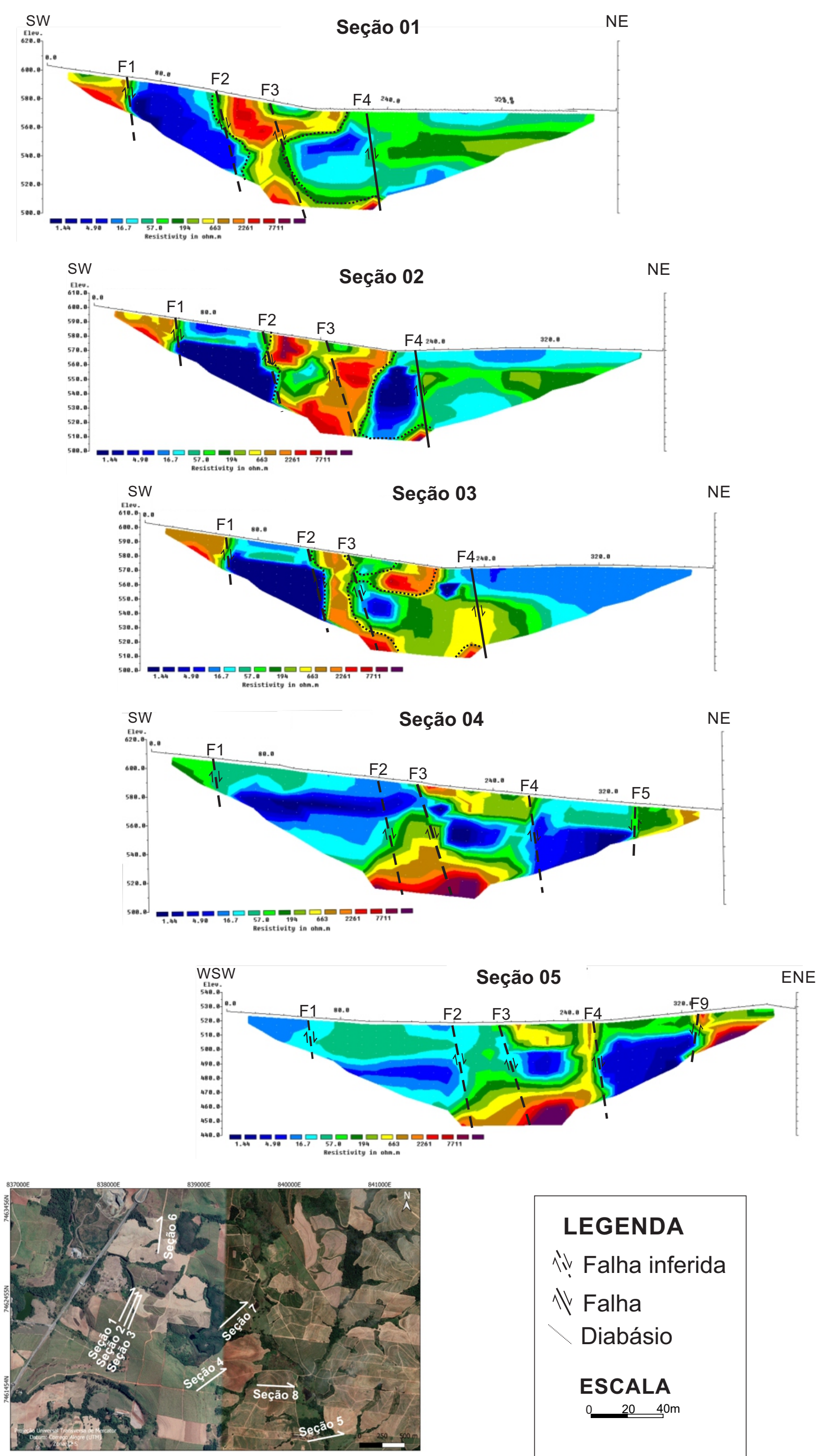
5.4.1 Borda Sudoeste

As seções 1, 2, 3, 4 e 5 (Figura 31) representam a porção sudoeste do Gráben do Serrote. Na parte esquerda, dessas seções, observa-se maior contraste de resistividade, nessa região de alta resistividade elétrica indica a presença de material resistente, como uma zona de falhas. Além disso, foram identificadas anomalias de alta resistividade elétrica nos modelos de resistividade das seções 1, 2 e 3, com valores iguais ou superiores $2.261 \Omega.m$, sugerindo a presença de uma intrusão de dique de diabásio coincidindo na etapa de campo com o solo visto nessa área (Figura 18).

Projetando as seções nesse setor, permitiu identificar 6 conjuntos de falhas (F1, F2, F3, F4, F5 e F9), sendo da F1 a F4 coincide com o limite da borda sudoeste, que são falhas de direção NW-SE mergulhando para nordeste, sendo a F5 considerada a falha antitética desse setor.

A F4, coincide com a falha do ponto 3 (Figuras 21 e 22) que permitiu a interpolação e outras falhas como referência das demais seções.

Figura 31: Seção de Tomografia Elétrica situada na borda sudoeste do Gráben do Serrote.



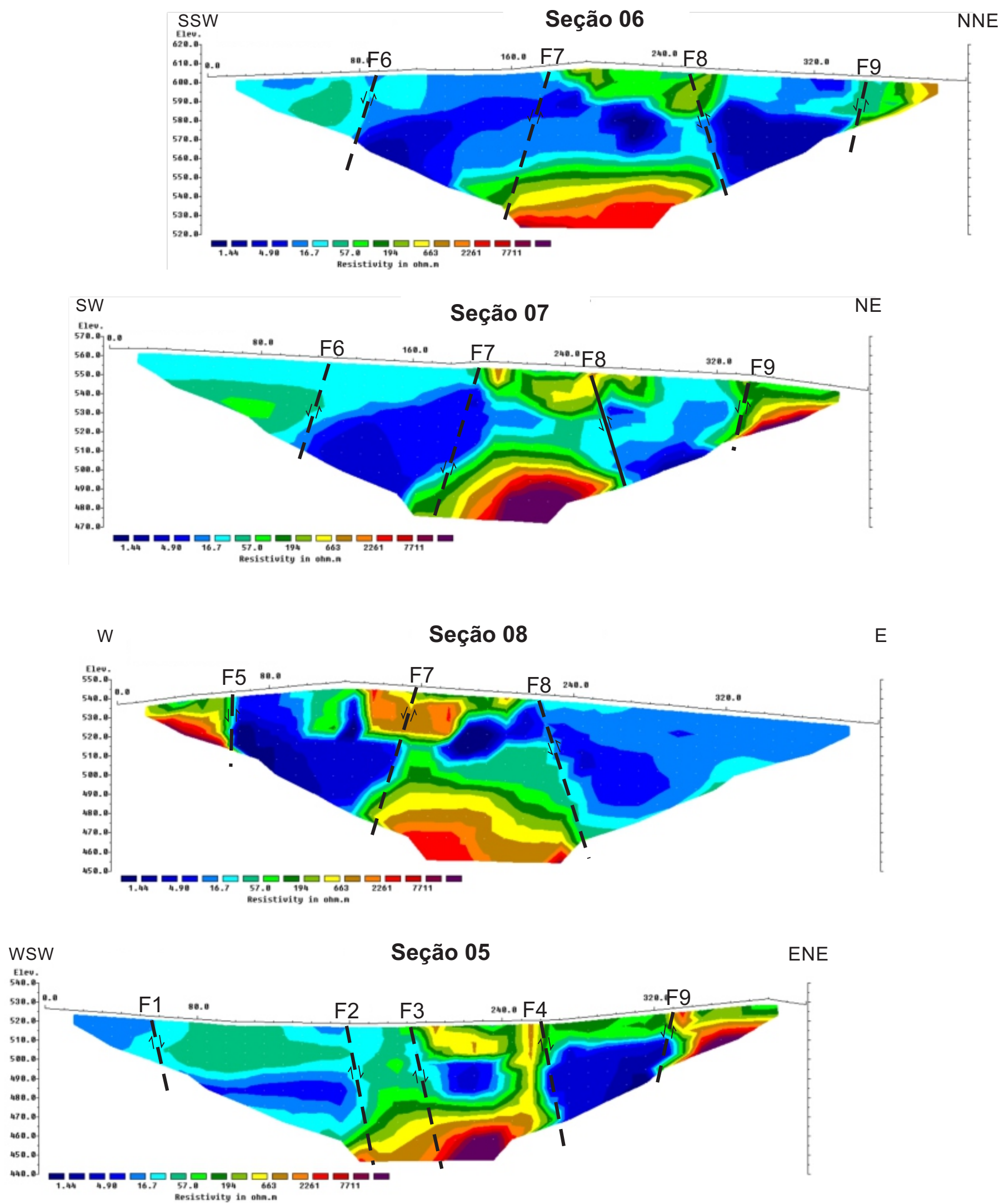
5.4.2 Borda Nordeste

As seções 6, 7, 8 e 5 (Figura 32) representam a borda nordeste do Gráben do Serrote. Na parte direita e central, dessas seções, observa-se maior contraste de resistividade, nessa região de alta resistividade elétrica indica a presença de material resistente, como uma zona de falhas.

Projetando as seções nesse setor, permitiu identificadas 4 conjuntos de falhas (F6, F7, F8 e F9) sendo elas coincidem com o limite da borda nordeste, que são falhas de direção NW-SE mergulhando para sudoeste, sendo a F8 considerada a falha antitética desse setor.

A F8, coincide com a falha do ponto 5 (Figura 24) que permitiu a interpolação e outras falhas como referência das demais seções.

Figura 32: Seção de Tomografia Elétrica situadas na borda nordeste do Gráben do Serrote.



LEGENDA

Falha inferida

Falha

ESCALA

0 20 40m

5.4.3 Integração dos dados estruturais e Tomografia Elétrica

Ao longo dos 8 perfis de aquisição de Tomografia Elétrica e a partir da integração com dados estruturais interpretados é possível observar padrão de falhas, na qual é possível delimitar as duas bordas SW e NE do Gráben.

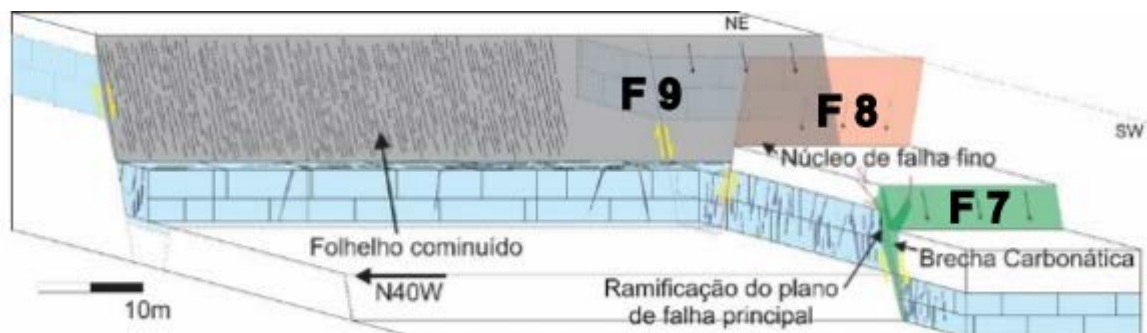
Esses dados foram integrados e representados no mapa destacando as falhas identificadas nas seções e suas projeções (Figura 33). Observa-se neste mapa que as falhas apresentam direção geral NW-SE, sendo marcadoras da borda nordeste aquelas que mergulham para sudoeste e na borda sudoeste mergulham para nordeste, definindo formato de estrutura de um Gráben, com abatimento do bloco central.

É notável também que, na projeção dos traços de falhas para SE, a partir da Cava Monte Olimpo, é possível reconhecer nas seções 6, 7 e 8 um alto interno, definindo um pequeno horst. As falhas 7, 8 e 9 das seções coincidem com estruturas mapeadas do trabalho de Riffel (2020), e tal situação se ajusta ao quadro estrutural reconhecido pelo autor, sendo que as falhas limítrofes do horst ali reconhecido podem ser interpretadas como sendo uma continuidade onde as falhas 7 e 8 coincidem com o horst identificado no trabalho e a 9 com a falha principal da estrutura (figura 34).

Figura 33: Mapa estrutural da porção sudoeste do Gráben do Serrote, elaborada com a integração dos dados das seções de tomografia elétrica e análises estruturais coletadas em campo.



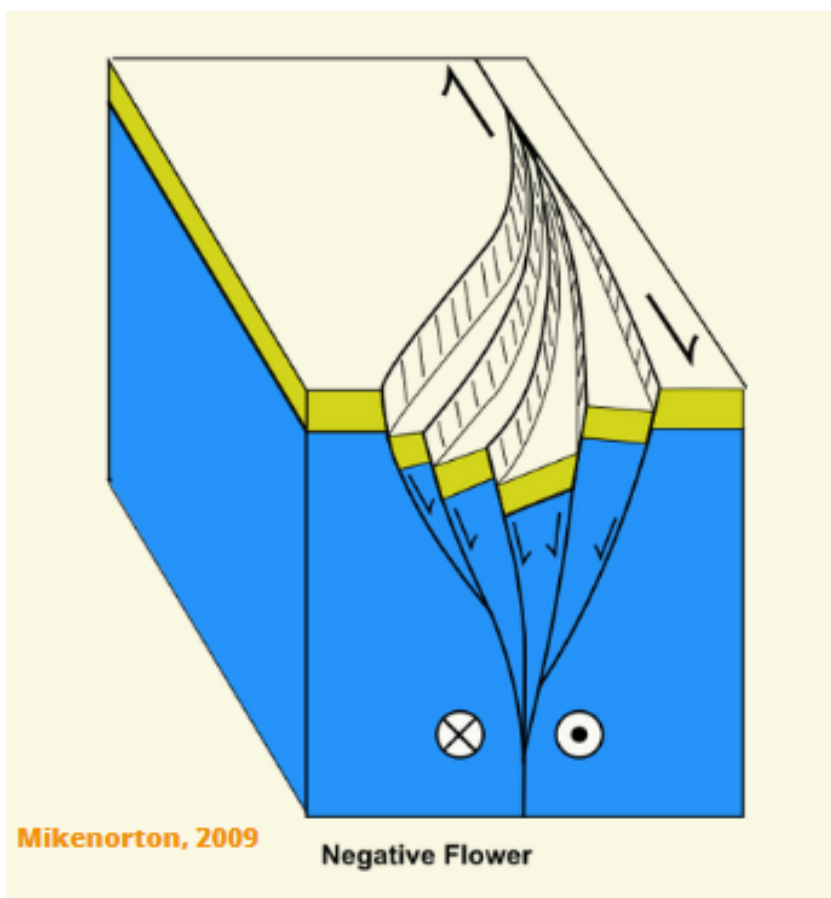
Figura 34: Bloco diagrama representativo da Cava Monte Olimpo, destacando as falhas 7, 8 e 9.



Fonte: Modificado de Riffel (2020)

Por fim, esse formato de estrutura em forma de lente das falhas normais, representado no mapa (figura 33), juntamente com os dados transcorrentes destrais reconhecidos, sugerem que o Gráben do Serrote foi originado em um regime transtensivo, formando uma estrutura do tipo flor negativa conforme a figura 35.

Figura 35: Esquema representativo de uma estrutura do tipo flor negativa.



Fonte: Mikenorton (2009)

6. CONCLUSÃO

Os estudos desenvolvidos na porção sudoeste do Gráben do Serrote permitiram o mapeamento de estruturas macroscópicas orientadas na direção NW-SE nas bordas sudoeste e nordeste do baixo estrutural. Essas feições estão relacionadas à litologia com ocorrência de hidrocarbonetos, principalmente nas porções intensamente fraturadas dos dolomitos da Formação Irati e pela presença de diques de diabásio.

A aplicação da técnica da Tomografia Elétrica no arranjo *Schlumberger* revelou-se eficaz para a identificação das falhas em subsuperfície, proporcionando uma boa resolução lateral e vertical dos resultados. As análises das 8 seções de tomografia elétrica permitiram correlacionar as anomalias e os contrastes de resistividades com as heterogeneidades geológicas locais, possibilitando o rastreamento e a identificação das falhas com rejeitos métricos aferidas em campo, além da delimitação espacial do corpo altamente resistivo associado diques de diabásio nas falhas 1, 2 e 3. Deve ser destacado que a delimitação dos blocos nas seções geofísicas corresponde e tem grande ajuste com as falhas reconhecidas nos afloramentos, indicando a capacidade de resolução da técnica para estudos semelhantes.

Observou-se que, internamente, as falhas normais apresentam direção NW, com variações nos mergulhos nos limites, mas internamente observa-se variação de rumo de mergulho. Essas falhas são responsáveis pela migração e também atuam como selantes, com o reservatório localizado principalmente nas rochas carbonáticas fraturadas da Formação Irati.

A atividade de campo e a interpretação dos dados estruturais obtidos permitiram a observação dos limites da porção sudoeste do Gráben do Serrote, representados por falhas normais de direção NW-SE, além de estruturas internas, que permitiu sugerir que se trata de um sistema transtensivo, associado a intrusão do dique de diabásio durante o Cretáceo Inferior. Para uma definição mais precisa sobre o processo da formação ou deformação dessa estrutura, é necessário realizar estudos adicionais utilizando geofísica de alcance profundo para compreender melhor essa geometria e obter mais informações estruturais detalhadas em campo.

O trabalho permitiu concluir que o conhecimento geológico e estrutural sustentado em bibliografias regionais e locais de trabalhos previamente desenvolvidos na área de estudos e as observações diretas de campo, contribuem para a precisão e interpretação dos dados geofísicos.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALMEIDA, F.F. M. Diferenciação tectônica da plataforma brasileira. In: Congresso Brasileiro de Geologia, p. 29-46, 1969.
- ALMEIDA, F. F. M. 1981. Síntese sobre a tectônica da Bacia do Paraná. In: SIMPÓSIO REGIONAL DE GEOLOGIA, 3., , Curitiba. Atas. São Paulo: SBG, 1981. v.1, p. 1-20.
- ALVES J. L. A.; COELHO, L. C.; BAUD, P.; GUEVARA JR., N. O., WONG, T.-F. 2007. Estabilidade de poços em rochas carbonáticas. In: 4º Congresso Brasileiro de Pesquisa e Desenvolvimento em Petróleo e Gás- PDPETRO, Campinas, São Paulo
- ANGELIER, J. & MECHLER, P. 1977. Sur une méthode graphique de recherche des contraentes principales également utilisable en tectonique et en séismologie: la méthode des dièdres droits. Bull. Soc. Geol. France, (7), XIX, 6: 1309-1318
- ANGELIER, J. 1994. Fault Slip Analysis and Paleostress Reconstruction. in: HANCOCK, P. L. (ed.), Continental Deformation, Pergamon Press, Oxford, pp. 53- 100.
- ASSINE, M.L.; ZACHARIAS, A.A.; PERINOTTO, J.A.J. Paleocorrentes, paleogeografia e seqüências deposicionais da Formação Tatuí, centro-leste do Estado de São Paulo. Revista Brasileira de Geociências. 2003. n. 33. v. 1. p 33-40
- BARBOSA, O. & ALMEIDA, F. F. M. – A série Tubarão na bacia do rio Tietê, Estado de São Paulo. Rio de Janeiro. Bol. Div. Geol. Min. – D.N.P.M., Notas preliminares, 1949.
- BARBOSA, O. & GOMES F. A. Pesquisa de petróleo na bacia do rio Corumbataí, Estado de São Paulo. Ministério da Agricultura, Departamento Nacional da Produção Mineral, Divisão de Geologia e Mineralogia, 1958.
- BATISTA, M.J. 2002. Caracterização Estrutural do Alto de Jibóia, Região Central do Estado de São Paulo, Relatório Técnico – Científico Final, UNESP, ANP PRH-05, 2002.
- BRAGA, A. C. O. Métodos da eletrorrestividade e polarização induzida aplicados nos estudos de captação e contaminação de águas subterrâneas. 2006. Tese (Livre Docência) - Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2006.
- CHANG, H. K.; ASSINE, M. L.; CORRÊA, F. S.; TINEN, J. S. Sistemas petrolíferos e modelos de acumulação de hidrocarbonetos na Bacia de Santos. Revista Brasileira de Geociências. Laboratório de Estudos de Bacias (LEBAC), UNESP, Rio Claro, 2008.
- CHILES, Jean-Paul; DELFINER, Pierre. **Geostatistics: modeling spatial uncertainty**. John Wiley & Sons, 2012.
- CIOCARRI, G. M.; MIZUSAKI, A. M. P. Sistemas Petrolíferos Atípicos nas Bacias Paleozóicas Brasileiras - Uma Revisão. São Paulo, UNESP, Geociências , v. 38, n. 2, p. 367 - 390. 2019.
- CPRM – COMPANHIA DE PESQUISA DE RECURSOS MINERAIS. 2006. Geologia e Recursos Minerais do Estado de São Paulo: Sistemas de Informações Geográficas (SIG). Brasília: MME,

Programa Geologia do Brasil: Integração, Atualização e Difusão de Dados da Geologia do Brasil, Mapas Geológicos Estaduais. Escala 1:750000, CD-ROM.

DELVAUX D.; SPERNER B. New aspects of tectonic stress inversion with reference to the TENSOR program. In: D.A Nieuwland (ed.) New insights into structural interpretation and modelling. Geological Society, London, Special Publications, v. 212, p. 75-100, 2003.

EBONG, E. D.; AKPAN, A. E.; ONWUEGBUCHE, A. A. Estimation of geohydraulic parameters from fractured shales and sandstone aquifers of Abi (Nigeria) using electrical resistivity and hydrogeologic measurements. Journal of African Earth Sciences, 96, p. 99-109. 2014.

ELIS, V. R.; ZUQUETTE, L. V. Caracterização geofísica de áreas utilizadas para disposição de resíduos sólidos urbanos. Revista Brasileira de Geociências, 32 (2), p. 119-134, 2002.

EPOV, M. I.; YURKEVICH, N. V.; BORTNIKOVA, S. B.; KARIN, Y. G.; SAEVA, O. P. Analysis of mine waste by geochemical and geophysical methods (a case study of the mine tailing dump of the Salair ore-processing plant). Russian Geology and Geophysics, 58, p. 1543-1552. 2017.

ESTEVEZ, F.R.; SPADINI, A.R.; SAITO, M. A sedimentação Albo-Turoniana (Formação Macaé) da Bacia de Campos. In: Simpósio de Geologia Regional, 1, Anais. Rio de Janeiro, SBG, p. 27-42, 1987.

FRIES, M. 2008. Estudo dos altos estruturais de Pitanga, Artemis, Pau D'Alho e Jibóia (flanco nordeste da bacia sedimentar do Paraná), através dos métodos geofísicos da gravimetria e magnetometria terrestres. 2008. 238 f. Tese de Doutorado da Universidade Estadual Paulista - Instituto de Geociências e Ciências Exatas.

FÚLFARO, V. J. *et al.* A Formação Tatuí (P) no Estado de São Paulo. In: **SBG, Congresso Brasileiro de Geologia**, p. 711-723, 1984.

GEOMOTO SOFTWARE. RES2DINV, version 3.53, Rapid 2D resistivity & IP inversion using the least-square method - Geoelectrical Imaging 2-D & 3D, Geotomo Software, Penang, Malaysia, 129 f. 2003.

GIORGI, L.; LEUCCI, G. Chapter 1: Passive and active electric methods: New frontiers of application. Innovation in Near-Surface Geophysics – Instrumentation, Application and Data Processing Methods, p. 1-21. 2019.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO – IPT. 2005. Estocagem subterrânea de gás natural: tecnologia para suporte ao crescimento do setor 68 de gás natural no Brasil. Coord. Cláudio Luiz Goraieb, Wilson Shoji Iyomasa, Ciro Jorge Appi. São Paulo: IPT.

KEAREY, P., BROOKS, M., e HILL, I. 2002. An Introduction to Geophysical Exploration. Third Edition. England: Blackwell Science Ltd.

LACERDA, K. C. (2022). Práticas de análise estrutural no Membro Assistência-Formação Irati, em Saltinho-SP: estudos de campo e aplicação de tomografia elétrica. 73 f. Trabalho de Conclusão de Curso - (Graduação em Geologia) - Universidade Estadual Paulista, Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Câmpus de Rio Claro, 2022.

LANDIM, P. M. B. **O Grupo Passa Dois (P) na Bacia do Rio Corumbataí (SP)**. Tese de Doutorado. Faculdade de Filosofia de Ciências e Letras, Rio Claro. 1967.

LIU, G.; ZENG L.; HAN, C.; OSTADHASSAN M.; LYU, W.; WANG Q.; ZHU J.; HOU F. (2020). Natural Fractures in Carbonate Basement Reservoirs of the Jizhong Sub-Basin, Bohai Bay Basin, China: Key Aspects Favoring Oil Production. *Energies*, V.13, nº 18, 4035, 2020.

MAGOON, Leslie B.; DOW, Wallace G. The petroleum system: chapter 1: Part I. Introduction. 1994.

MELO, M. S. 1995. A Formação Rio Claro e depósitos associados – sedimentação neocenoica na depressão periférica paulista. 144 f. Tese de Doutorado em Geociências - Instituto de Geociências - Universidade de São Paulo, São Paulo.

MILANI, E.J.; FRANÇA, A.B.; SCHNEIDER, R.L. Bacia do Paraná. *Boletim de Geociências da Petrobras*, v. 8, n. 1, p. 69-82, 1994

MILANI, E. J. & RAMOS V. A. Orogenias paleozóicas no domínio sul-ocidental do Gondwana e os ciclos de subsidência da Bacia do Paraná. *Revista Brasileira de Geociências*, n. 4, v. 28, p. 473-484, 1998.

MILANI, E. J. 1997. Evolução tectono-estratigráfica da Bacia do Paraná e seu relacionamento com a geodinâmica fanerozoica do Gondwana Sul – ocidental. 255 f. Tese de Doutorado em Geociências - Instituto de Geociências - Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre.

MILANI, E. J.; MELO, J. H. G.; SOUSA, P. A.; FERNANDES, L. A.; FRANÇA, A. B. Bacia do Paraná. *Boletim de Geociências da Petrobras*, v. 15, n. 2, p. 265–287, 2007.

MILSOM, J.; ERIKSEN, A. *Field Geophysics*. 4th Edition. Wiley & Sons Ltd, 2011, 297 p.

MOREIRA, C. A.; BORSSATTO, K.; ILHA, L. M.; SANTOS, S. F.; ROSA, F. T. G. Geophysical modeling in gold deposit through DC Resistivity and Induced Polarization methods. *REM – International Engineering Journal*, vol. 69, nº 3. 2016.

MUSSET, A. E. & KHAN, A. M. 2000. Looking into the earth: an introduction to geological geophysics. Cambridge University Press.

OLDENBURG, D. W.; LI, Y. Estimating depth of investigation in DC resistivity and IP survey. *Geophysics*, 64, nº2, p. 403-416. 1999.

PERINOTTO, J. A. J. & ZAINÉ, J. E. 2008. Coluna Estratigráfica da Região de Rio Claro resistivity tomography arrays in the characterization of flow structure in free aquifer.

PERINOTTO, J. A. J. **Análise estratigráfica da sequência portadora de carvão na região de Cerquilha (SP)**. Folhas. Tese de mestrado. Instituto de Geociências, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro. 1987.

REIN, A.; HOFFMANN, R.; DIETRICH, P. Influence of natural time-dependent variations of electrical conductivity on DC resistivity measurements. *Journal of Hydrology*, 285, p. 215-232, 2004.

RICCOMINI, C. Arcabouço estrutural e aspectos do tectonismo gerador e deformador da Bacia Bauru no Estado de São Paulo. *Revista Brasileira de Geociências*; n. 27, v. 2, p. 153-162, 1997.

RICCOMINI, C. Tectonismo gerador e deformador dos depósitos sedimentares pós-gondvânicos da porção centro-oriental do Estado de São Paulo e áreas próximas. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo. 1995.

RIFFEL, S. R. Zona de falhas em rochas carbonáticas: Exemplo da Formação Irati em Saltinho (SP). 2020. 70 f. Dissertação - (mestrado) - Universidade Estadual Paulista, Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Câmpus de Rio Claro, 2020.

ROBINSON, E. S. *Basic Exploration Geophysics*. John Wiley & Sons Inc., 1988.

ROSTIROLLA, S. P. et al. Reativação de paleolineamentos durante a evolução da Bacia do Paraná-o exemplo do alto estrutural de Quatiguá. *Revista Brasileira de Geociências*, n. 4, v. 30, p. 639-648, 2000.

SCHLUMBERGER. *Carbonate Reservoirs*, 2012. Disponível em: <http://www.slb.com>. Acesso em: 5 de maio de 2023.

SCHNEIDER, R. L.; MUHLMANN, H.; TOMMASI, E. Revisão Estratigráfica da Bacia do Paraná. *Anais do XXVIII Congresso Brasileiro De Geologia*. 1974.

SIQUEIRA, L. F. S. Tectônica deformadora em sinéclises intracratônicas: a origem do Alto Estrutural de Pitanga, Bacia do Paraná, SP. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo. 2011.

SOARES, P. C. Arenito Botucatu e Pirambóia no Estado de São Paulo. In: *Congresso Brasileiro de Geologia*. p. 250-25. 1972.

SOARES, P. C. Elementos Estruturais Da Parte Nordeste da Bacia do Paraná: Classificação e Gênese. *Anais do XXVIII Congresso Brasileiro De Geologia*. p.108-121. 1974.

SOARES, P. C. et al. 1982. Lineamentos em imagens de LANDSAT e radar e suas implicações no conhecimento tectônico da Bacia do Paraná. In: *Simpósio Brasileiro De Sensoriamento Remoto*, 2.1982, Brasília. Atas. Brasília: CNPq/INPE.

SOARES, P. C.; LANDIM, P. M. B. Comparison between the tectonic evolution of the intracratonic and marginal basins in South Brazil. *An. Acad. Bras. Ciênc.*, v. 48, p. 313- 324, Rio de Janeiro, 1975.

SOUZA, M. O. L. 2002. Caracterização Estrutural dos altos estruturais de Pitanga, Artemis, Pau D'Alho e Jibóia, centro do Estado de São Paulo. 2002. 206 f. Tese de Doutorado - Instituto de Geociências e Ciências Exatas de Rio Claro, UNESP, Rio Claro.

STEVAUX, J.C.; SOUZA-FILHO, E. E.; FÚLFARO, V.J. Trato deposicional da Formação Tatuí (P) na área aflorante do NE da Bacia do Paraná, Estado de São Paulo. In: *XXXIV CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA*, Goiânia. Sociedade Brasileira de Geologia. *Anais*. 1: 1986. p. 219-229.

THOMAZ FILHO A., MIZUSAKI A. M. P., Antonioli L. 2008. Magmatismo nas bacias sedimentares brasileiras e sua influência na geologia do petróleo. *Revista Brasileira de Geociências*, São Paulo, 38 (2 - suplemento): 128-137

WARD, S. H. 1990. Resistivity and induced polarization methods. *Investigations in Geophysics. Geotechnical and Environmental Geophysics. Society of Exploration Geophysics*, v. 1, n. 5, p. 147–198.

YURKEVICK, N.; BORTNIKOVA, S.; OLENCHENKO, V.; ABROSIMOVA, N.; SAEVA, O.; KARIN, Y. Study of water rock interaction in sulfide mining tailings using geochemical and geoelectrical methods. *Procedia Earth and Planetary Science*, 17, p. 112-115. 2017.

ZAINE, J. E. Geologia da Formação Rio Claro na Folha Rio Claro (SP). Dissertação de Mestrado - Instituto de Geociências e Ciências Exatas/UNESP, Rio Claro, SP. 98p.1994.

ZALÁN, P. V.; WOLFF, S.; CONCEIÇÃO, J. C. J.; MARQUES, A.; ASTOLFI, M. A. M.; VIEIRA, I. S.; APPI, V. T. ZANOTTO, O. A. 1990. Bacia do Paraná. In: GABAGLIA, G. P. R.; MILANI, E. J. (Coord.). *Origem e evolução de bacias sedimentares*. Rio de Janeiro: PETROBRÁS, p. 135-168.

ZALÁN, P.; WOLFF, S.; CONCEIÇÃO, J. C. J.; ASTOLFI, M. A. M.; VIEIRA, I. S.; APPI, V. T. ZANOTTO, O. A. P. 1987. Tectônica e sedimentação da Bacia do Paraná. In: *SIMPÓSIO SUL-BRASILEIRO DE GEOLOGIA*, 3, Curitiba. Atas. Curitiba: SBG, 1987. 441p.

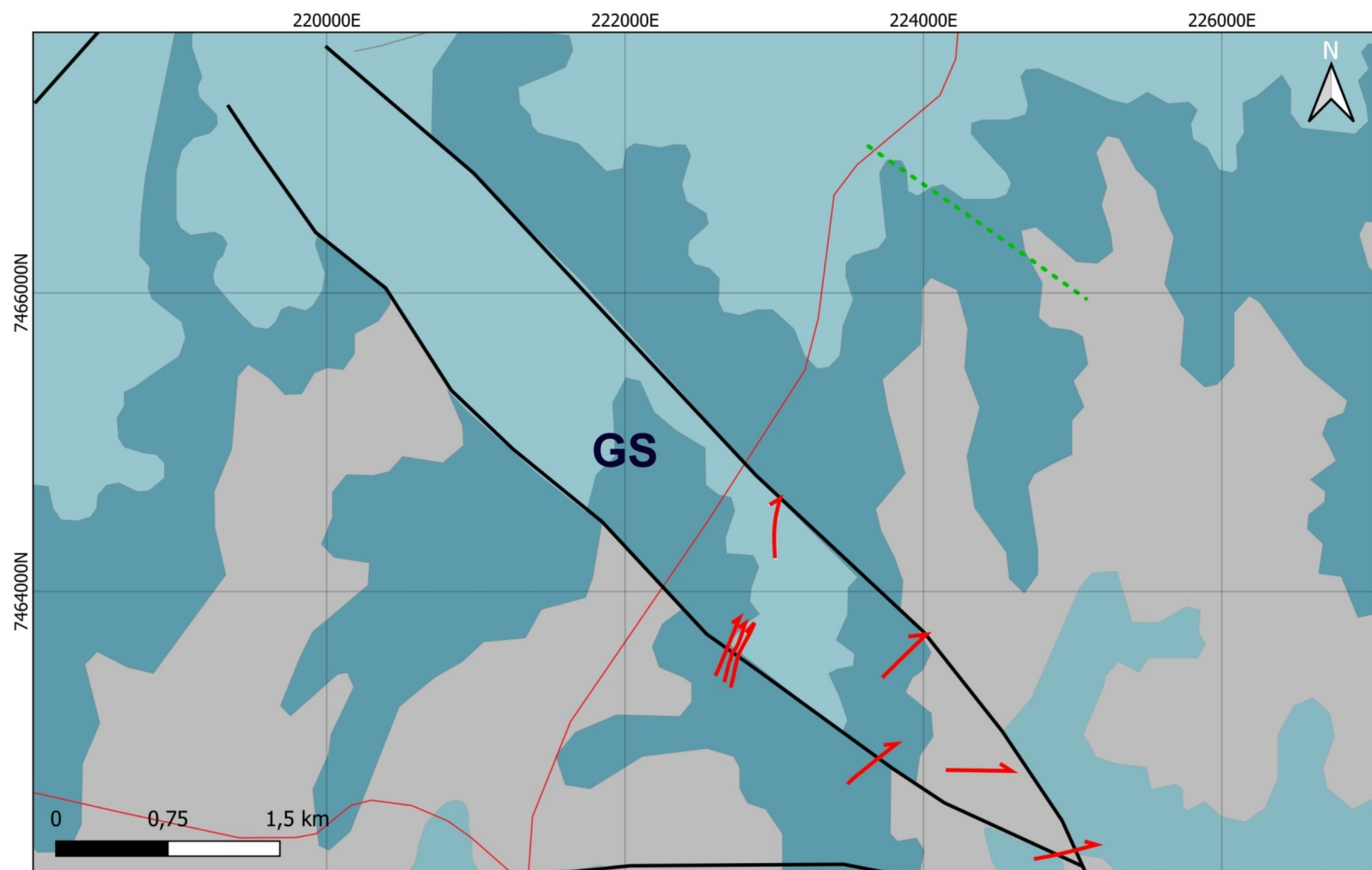
Anexo I: Medidas estruturais de falhas na área de estudo

Sigla_projeto	Latitude	Longitude	Tipo_de_ocorrencia	Direção da falha	Angulo do mergulho	Direção da estria	Angulo do mergulho da estria	Sentido do movimento	Informação_adicional	Fonte_de_informação	Compilação
ST_UNESP_1	22°53'12.00"S	47°41'15.00"O	Zona de falha	298	50	338	40	Normal(?)	-	Trabalho de campo	lata, Daniela, Saul e Norberto
ST_UNESP_1	22°53'12.00"S	47°41'15.00"O	Zona de falha	70	40	70	40	normal	-	Trabalho de campo	lata, Daniela, Saul e Norberto
ST_UNESP_5	22° 54'56.00"S	47°41'44.00" O	Zona de falha	60	85	60	85	Normal	-	Trabalho de campo	lata, Daniela, Saul e Murilo
ST_UNESP_5	22° 54'56.00"S	47°41'44.00" O	Zona de falha	50	80	50	80	Normal	-	Trabalho de campo	lata, Daniela, Saul e Murilo
ST_UNESP_5	22° 54'56.00"S	47°41'44.00" O	Zona de falha	65	80	65	80	Normal	-	Trabalho de campo	lata, Daniela, Saul e Murilo
ST_UNESP_5	22° 54'56.00"S	47°41'44.00" O	Zona de falha	215	40	215	40	Normal	Estratigrafia mecanica	Trabalho de campo	lata, Daniela, Saul e Murilo
ST_UNESP_4	22°54'6.93"S	47°42'15.92"O	Zona de falha	230	60	230	60	Normal	-	Trabalho de campo	Katarina
ST_UNESP_4	22°54'6.93"S	47°42'15.92"O	Zona de falha	240	60	240	60	Normal	-	Trabalho de campo	Katarina
ST_UNESP_4	22°54'6.93"S	47°42'15.92"O	Zona de falha	42	50	42	50	Normal	-	Trabalho de campo	Katarina
ST_UNESP_4	22°54'6.93"S	47°42'15.92"O	Zona de falha	54	55	54	55	Normal	-	Trabalho de campo	Katarina
ST_UNESP_4	22°54'6.93"S	47°42'15.92"O	Zona de falha	58	50	58	50	Normal	-	Trabalho de campo	Katarina
ST_UNESP_4	22°54'6.93"S	47°42'15.92"O	Zona de falha	50	45	50	45	Normal	-	Trabalho de campo	Katarina
ST_UNESP_4	22°54'6.93"S	47°42'15.92"O	Zona de falha	210	56	210	56	Normal	-	Trabalho de campo	Katarina
ST_UNESP_4	22°54'6.93"S	47°42'15.92"O	Zona de falha	56	46	56	46	Normal	-	Trabalho de campo	Katarina
ST_UNESP_4	22°54'6.93"S	47°42'15.92"O	Zona de falha	62	62	62	62	Normal	-	Trabalho de campo	Katarina
ST_UNESP_4	22°54'6.93"S	47°42'15.92"O	Zona de falha	62	80	62	80	Normal	-	Trabalho de campo	Katarina
ST_UNESP_1	22°53'12.00"S	47°41'15.00"O	Zona de falha	210	62	120	2	Destral	Contato dique (diabasio com Fm. Irati)	Trabalho de campo	Daniela, Saul e lata
ST_UNESP_1	22°53'12.00"S	47°41'15.00"O	Zona de falha	200	80	114	5	Destral	Contato dique (diabasio com Fm. Irati)	Trabalho de campo	Daniela, Saul e lata
ST_UNESP_1	22°53'12.00"S	47°41'15.00"O	Zona de falha	214	58	120	2	Destral	Contato dique (diabasio com Fm. Irati)	Trabalho de campo	Daniela, Saul e lata
ST_UNESP_1	22°53'12.00"S	47°41'15.00"O	Zona de falha	214	90	298	3	Destral	Contato dique (diabasio com Fm. Irati)	Trabalho de campo	Daniela, Saul e lata
ST_UNESP_1	22°53'12.00"S	47°41'15.00"O	Zona de falha	36	80	304	5	Destral	Contato dique (diabasio com Fm. Irati)	Trabalho de campo	Daniela, Saul e lata
ST_UNESP_1	22°53'12.00"S	47°41'15.00"O	Zona de falha	32	84	308	15	Destral	Contato dique (diabasio com Fm. Irati)	Trabalho de campo	Daniela, Saul e lata
ST_UNESP_1	22°53'12.00"S	47°41'15.00"O	Zona de falha	35	87	318	10	Destral	Contato dique (diabasio com Fm. Irati)	Trabalho de campo	Daniela, Saul e lata
ST_UNESP_1	22°53'12.00"S	47°41'15.00"O	Zona de falha	30	80	296	8	Destral	Contato dique (diabasio com Fm. Irati)	Trabalho de campo	Daniela, Saul e lata
ST_UNESP_1	22°53'12.00"S	47°41'15.00"O	Zona de falha	28	90	112	2	Destral	Contato dique (diabasio com Fm. Irati)	Trabalho de campo	Daniela, Saul e lata
ST_UNESP_1	22°53'12.00"S	47°41'15.00"O	Zona de falha	216	80	296	5	Destral	Contato dique (diabasio com Fm. Irati)	Trabalho de campo	Daniela, Saul e lata
ST_UNESP_1	22°53'12.00"S	47°41'15.00"O	Zona de falha	26	90	284	9	Destral	Contato dique (diabasio com Fm. Irati)	Trabalho de campo	Daniela, Saul e lata
ST_UNESP_3	22°54'41.35"S	47°42'13.23"O	Zona de falha	36	66	36	66	Normal	-	Trabalho de campo	Daniela, Saul e lata
ST_UNESP_3	22°54'41.35"S	47°42'13.23"O	Zona de falha	44	70	44	70	Normal	-	Trabalho de campo	Daniela, Saul e lata
ST_UNESP_3	22°54'41.35"S	47°42'13.23"O	Zona de falha	52	80	52	80	Normal	-	Trabalho de campo	Daniela, Saul e lata
ST_UNESP_3	22°54'41.35"S	47°42'13.23"O	Zona de falha	68	50	68	50	Normal	-	Trabalho de campo	Daniela, Saul e lata
ST_UNESP_1	22°53'12.00"S	47°41'15.00"O	Zona de falha	70	50	70	50	Normal	-	Trabalho de campo	Daniela, Saul, Danielle e lata
ST_UNESP_2	22°53'12.00"S	47°41'15.00"O	Zona de falha	266	62	266	62	Normal	Plano de Brecha	Trabalho de campo	Daniela, Saul, Danielle e lata

Anexo II: Medidas estruturais de juntas na área de estudo

Sigla_projeto	Latitude	Longitude	Rumo principal	Mergulho principal	Tipo de preenchimento	Observações
ST_UNESP_1	22°53'12.00"S	47°41'15.00"O	156	70	-	-
ST_UNESP_1	22°53'12.00"S	47°41'15.00"O	215	88	Com Py	-
ST_UNESP_1	22°53'12.00"S	47°41'15.00"O	216	85	Com HC	-
ST_UNESP_1	22°53'12.00"S	47°41'15.00"O	40	80	-	-
ST_UNESP_1	22°53'12.00"S	47°41'15.00"O	38	90	Com HC	-
ST_UNESP_1	22°53'12.00"S	47°41'15.00"O	40	90	Com HC	-
ST_UNESP_1	22°53'12.00"S	47°41'15.00"O	22	80	-	-
ST_UNESP_1	22°53'12.00"S	47°41'15.00"O	48	86	-	-
ST_UNESP_1	22°53'12.00"S	47°41'15.00"O	26	86	-	-
ST_UNESP_1	22°53'12.00"S	47°41'15.00"O	160	89	-	-
ST_UNESP_1	22°53'12.00"S	47°41'15.00"O	212	85	-	-
ST_UNESP_1	22°53'12.00"S	47°41'15.00"O	26	87	-	-
ST_UNESP_1	22°53'12.00"S	47°41'15.00"O	358	80	-	-
ST_UNESP_1	22°53'12.00"S	47°41'15.00"O	172	80	-	-
ST_UNESP_1	22°53'12.00"S	47°41'15.00"O	20	90	-	-
ST_UNESP_1	22°53'12.00"S	47°41'15.00"O	248	82	-	-
ST_UNESP_1	22°53'12.00"S	47°41'15.00"O	30	80	-	-
ST_UNESP_1	22°53'12.00"S	47°41'15.00"O	298	85	-	Zona de Dano
ST_UNESP_1	22°53'12.00"S	47°41'15.00"O	318	85	-	Zona de Dano
ST_UNESP_1	22°53'12.00"S	47°41'15.00"O	148	90	-	Zona de Dano
ST_UNESP_1	22°53'12.00"S	47°41'15.00"O	294	85	-	Zona de Dano
ST_UNESP_1	22°53'12.00"S	47°41'15.00"O	312	80	-	Zona de Dano
ST_UNESP_1	22°53'12.00"S	47°41'15.00"O	26	88	Com HC	-
ST_UNESP_1	22°53'12.00"S	47°41'15.00"O	40	80	Com HC	-
ST_UNESP_2	22°54'16.85"S	47°41'55.32"O	236	86	Com HC	-
ST_UNESP_2	22°54'16.85"S	47°41'55.32"O	242	90	Com HC	-
ST_UNESP_2	22°54'16.85"S	47°41'55.32"O	232	90	Com HC	-
ST_UNESP_2	22°54'16.85"S	47°41'55.32"O	146	85	Com HC	-
ST_UNESP_2	22°54'16.85"S	47°41'55.32"O	338	86	Com HC	-
ST_UNESP_2	22°54'16.85"S	47°41'55.32"O	230	84	Com HC	-
ST_UNESP_2	22°54'16.85"S	47°41'55.32"O	224	90	Com HC	-
ST_UNESP_2	22°54'16.85"S	47°41'55.32"O	320	80	Com HC	-
ST_UNESP_2	22°54'16.85"S	47°41'55.32"O	160	85	Com HC	-
ST_UNESP_2	22°54'16.85"S	47°41'55.32"O	238	90	Com HC	-
ST_UNESP_2	22°54'16.85"S	47°41'55.32"O	234	89	Com HC	-
ST_UNESP_2	22°54'16.85"S	47°41'55.32"O	236	85	Com HC	-
ST_UNESP_2	22°54'16.85"S	47°41'55.32"O	244	89	Com HC	-
ST_UNESP_2	22°54'16.85"S	47°41'55.32"O	322	90	Com HC	-
ST_UNESP_2	22°54'16.85"S	47°41'55.32"O	226	85	Com HC	-
ST_UNESP_2	22°54'16.85"S	47°41'55.32"O	278	90	Com HC	-
ST_UNESP_3	22°54'41.35"S	47°42'13.23"O	320	88	Com HC	-
ST_UNESP_3	22°54'41.35"S	47°42'13.23"O	42	86	Com HC	-
ST_UNESP_3	22°54'41.35"S	47°42'13.23"O	60	85	Com HC	-
ST_UNESP_3	22°54'41.35"S	47°42'13.23"O	220	85	Com HC	-
ST_UNESP_3	22°54'41.35"S	47°42'13.23"O	334	76	Com HC	-
ST_UNESP_5	22° 54'56.00"S	47°41'44.00" O	56	88	Com HC	-
ST_UNESP_5	22° 54'56.00"S	47°41'44.00" O	42	90	Com HC	-
ST_UNESP_5	22° 54'56.00"S	47°41'44.00" O	38	86	Com HC	-
ST_UNESP_5	22° 54'56.00"S	47°41'44.00" O	44	90	Com HC	-
ST_UNESP_5	22° 54'56.00"S	47°41'44.00" O	330	80	Com HC	-
ST_UNESP_5	22° 54'56.00"S	47°41'44.00" O	324	84	Com HC	-
ST_UNESP_5	22° 54'56.00"S	47°41'44.00" O	56	90	Com HC	-
ST_UNESP_5	22° 54'56.00"S	47°41'44.00" O	340	75	Com HC	-
ST_UNESP_5	22° 54'56.00"S	47°41'44.00" O	34	87	Com HC	-
ST_UNESP_5	22° 54'56.00"S	47°41'44.00" O	300	90	Com HC	-
ST_UNESP_5	22° 54'56.00"S	47°41'44.00" O	214	86	Com HC	-
ST_UNESP_5	22° 54'56.00"S	47°41'44.00" O	144	86	Com HC	-
ST_UNESP_5	22° 54'56.00"S	47°41'44.00" O	30	75	Com HC	-
ST_UNESP_5	22° 54'56.00"S	47°41'44.00" O	74	86	-	-
ST_UNESP_5	22° 54'56.00"S	47°41'44.00" O	20	85	-	-
ST_UNESP_5	22° 54'56.00"S	47°41'44.00" O	278	89	Com HC	-

**Anexo III: Mapa Geológico com a localização das seções de Tomografia
Elétrica do Gráben do Serrote**



UNIDADES GEOLÓGICAS

Mesozóico

K1dsg Formação Serra geral (Sill)

K1βsg Formação Serra geral

J3K1bt Formação Botucatu

P3T1p Formação Pirambóia

Paleozoico

P3T1c Formação Corumbataí

P2i Formação Irati

P1tt Formação Tatuí

P1rb Formação Rio Bonito

CONVENÇÕES GEOLÓGICAS

— Falha

CONVENÇÕES TOPOGRÁFICAS

— Rodovia — Seção de tomografia elétrica

□ Área de estudo

GS- Gráben do Serrote

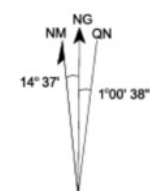
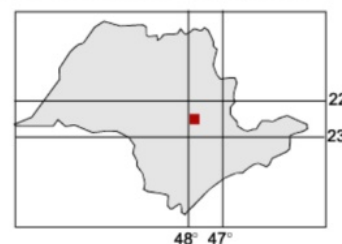


Projeção Universal Transversa de Mercator (UTM)

Datum: Sirgas 2000

Zone 23S

Localização:
Folha Piracicaba de 1984 (SF. 23-Y-A-IV)



Declinação Magnética 1984
das coordenadas 47°37'30" e 22°37'30"
Cresce 8' Anualmente

unesp

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA

"JÚLIO DE MESQUITA FILHO"

INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS E CIÊNCIAS EXATAS



Caracterização de sistema de falhas da porção sudeste do
Gráben do Serrote, em Saltinho-SP: Estudos de Campo,
aplicação de tomografia elétrica e sua contribuição para o
sistema petrolífero

Mapa Geológico
Projeto Borda Leste da Bacia do Paraná (CPRM, 1984)

Digitalizado por: Daniela Kuranaka
Rio Claro - SP
2024