

**ISABELLA FRANÇO SO REBUTINI FIGUEIRA**

**CARACTERIZAÇÃO ESTRUTURAL – ESTRATIGRÁFICA PARA  
SELEÇÃO DE ALVOS DE RESERVATÓRIOS ANÁLOGOS NO  
SISTEMA PETROLÍFERO PONTA GROSSA – ITARARÉ NA BACIA  
DO PARANÁ**

Dissertação apresentada como requisito parcial à obtenção do grau Mestre, pelo Curso de Pós-Graduação em Geologia Exploratória, Departamento de Geologia, Setor de Ciências da Terra, Universidade Federal do Paraná.

Orientador: Prof. Dr. Sidnei Pires Rostirolla  
Co-orientadores: Prof. Dr. Augustinho Rigoti  
Prof. Dr. Luis Alberto Fernandes

**CURITIBA  
2004**

Figueira, Isabella Françoso Rebutini

Caracterização estrutural - estratigráfica para seleção de alvos de reservatórios análogos no sistema petrolífero Ponta Grossa - Itararé Bacia do Paraná / Isabella Françoso Rebutini Figueira. - Curitiba, 2004.

xv, 105 f. : il.

Orientador: Prof. Dr. Sidnei Pires Rostirolla

Co-orientadores: Prof. Dr. Augustinho Rigoti

Prof. Dr. Luis Alberto Fernandes

Dissertação (Mestrado) – Setor de Ciências da Terra, Universidade Federal do Paraná.

Inclui Bibliografia.

1. Paraná, Bacia. 2. Geologia estrutural. 3. Análise estrutural. 3. Falha da Jacutinga. I. Rostirolla, Sidnei Pires. II. Rigoti, Augustinho. III. Fernandes, Luis Alberto. IV. Título. V. Universidade Federal do Paraná.

CDD 551.8

# TERMO DE APROVAÇÃO


Isabella Françoso Rebutini Figueira

“CARACTERIZAÇÃO ESTRUTURAL PARA SELEÇÃO DE ANÁLOGOS DE RESERVATÓRIOS NO SISTEMA PETROLÍFERO PONTA GROSSA – ITARARÉ NA BACIA DO PARANÁ”.


Dissertação de Mestrado aprovada como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre no Curso de Pós-Graduação em Geologia, área de concentração em Geologia Exploratória, da Universidade Federal do Paraná, Comissão formada por:



Dr. Ciro Jorge Appi - PETROBRAS



Prof. Dr. Eduardo Salamuni - UFPR



Prof. Dr. Sidnei Pires Rostirolla - UFPR  
Presidente

Curitiba, 15 de outubro de 2004.

*DEDICO ESTE TRABALHO AOS MEUS PAIS, DILMAR E MARIA  
NILCE, PELO EXEMPLO DE VIDA FEITA DE HONESTIDADE,  
TRABALHO E MUITA GARRA. A ELES EU AGRADEÇO MUITO A  
OPORTUNIDADE QUE ME PROPORCIONARAM E PELOS  
COMPANHEIROS ETERNOS QUE SÃO.*

*E COM MUITO AMOR AO MEU ESPOSO, COMPANHEIRO FIEL  
E PRINCIPALMENTE AMIGO, ERNESTO, QUE ESTÁ PRESENTE EM  
CADA MOMENTO DA MINHA VIDA.*



## **AGRADECIMENTOS**

São muitas as atividades em uma pesquisa científica, e muitas delas somente foram realizadas com a colaboração de diversas pessoas, as quais gostaria de manifestar meus agradecimentos.

Inicialmente aos meus familiares Ernesto, Dilmar, Maria Nilce, Fani, Pedro, Luis, Milena, André e Henrique.

Durante a realização desta dissertação, tive a oportunidade de conviver com muitas pessoas do meio docente; dentre as quais gostaria de agradecer em especial ao meu orientador Sidnei Pires Rostirolla, pela motivação, compreensão, pelas críticas e dicas, enfim, por tudo, por se tratar de uma pessoa fora de série e dedicada no exercício de sua atribuição como professor do Departamento de Pós-Graduação em Geologia da Universidade Federal do Paraná.

Agradeço em especial também o professor Fernando Mancini pelo total apoio, sugestões e críticas. Uma pessoa admirável, de um conhecimento técnico e científico inigualáveis.

Aos co-orientadores Augustinho Rigoti e Luiz Alberto Fernandes pelo acompanhamento ao longo do trabalho.

Aos integrantes do Projeto MODRES Adriane Fátima de Campos, Bárbara Trzaskos-Lipski, Cristiane Tinoco, Fernando Farias Vesely, Josenilda Nascimento Lonardelli, Luciane Bergamin Bocardi, Michael de Mello Oliveira, Michael Strugale, Marcelo Kulevich Bartoszec, Rodrigo Brunetta e Ronaldo Paulo Kraft, agradeço a esses amigos, que se tornaram ao longo deste período, cada um em especial pela ajuda e principalmente pelo conhecimento que contribuiu para o trabalho. A contribuição destas pessoas foi de fundamental importância para a realização desta dissertação.

Agradeço a PETROBRAS pela confiança depositada neste estudo, bem como pelo apoio financeiro ao projeto e também ao geólogo Ciro Jorge Appi pela viabilização deste projeto bem como a motivação, sugestões e críticas. Uma pessoa admirável e atualmente um dos geólogos mais preocupados no apoio científico e financeiro junto às universidades.

A todo apoio dado pelo Departamento de Geologia da Universidade Federal do Paraná, sem o qual seria impossível a elaboração deste trabalho. Em especial agradeço à Professora Eleonora M. G. Vasconcellos e aos funcionários Sarita, Rosalda e Daniel.

Enfim, manifesto meus mais sinceros agradecimentos a todos aqueles que, de uma forma ou de outra contribuíram e apoiaram a elaboração desta dissertação.

## SUMÁRIO

<b>LISTA DE FOTOGRAFIAS E TABELAS.....</b>	<b>vi</b>
<b>LISTA DE FIGURAS.....</b>	<b>viii</b>
<b>RESUMO.....</b>	<b>xiii</b>
<b>ABSTRACT.....</b>	<b>xv</b>
<b>1 INTRODUÇÃO.....</b>	<b>01</b>
1.1 LOCALIZAÇÃO E ASPECTOS FISIAGRÁFICOS.....	04
<b>2 OBJETIVOS.....</b>	<b>07</b>
<b>3 METODOLOGIA EMPREGADA.....</b>	<b>08</b>
3.1 MDE – MODELO DIGITAL DE ELEVAÇÃO.....	08
3.2 IMAGENS LANDSAT ETM7.....	11
3.3 FOTOGRAFIAS AÉREAS.....	15
3.4 TRABALHOS DE CAMPO.....	16
<b>4 CONTEXTO GEOLÓGICO GERAL E ESTRATIGRAFIA DA ÁREA.....</b>	<b>18</b>
4.1 BACIA DO PARANÁ.....	19
4.2 ESTRATIGRAFIA DA ÁREA.....	22
4.2.1 Grupo Paraná – Formação Ponta Grossa.....	24
4.2.2 Grupo Itararé.....	25
4.2.2.1 Formação Lagoa Azul.....	26
4.2.2.2 Formação Campo Mourão.....	27
4.2.2.3 Formação Taciba.....	30
4.2.3 Grupo Guatá – Formação Rio Bonito.....	31
4.2.4 Grupo Guatá – Formação Palermo.....	34
4.2.5 Grupo Passa Dois.....	34

<b>5 ARCABOUÇO ESTRUTURAL</b> .....	36
5.1 ANÁLISE DESCRITIVA DE DADOS DE CAMPO.....	39
5.1.1 Tipo de Preenchimento.....	41
5.1.2 Bandas de Deformação.....	42
5.1.3 Estrias.....	44
5.2 LINEAMENTOS.....	44
5.2.1 Direções NW.....	48
5.2.2 Direções NE.....	51
5.2.3 Direções N-S e E-W.....	54
5.3 MAPAS DE CONTORNO.....	55
5.4 COMPARTIMENTAÇÃO ESTRUTURAL.....	61
<b>6 AVALIAÇÃO DE ALVOS</b> .....	70
6.1 ESTRATIGRAFIA DA ÁREA ALVO.....	75
6.2 CARACTERIZAÇÃO ESTRUTURAL DA ÁREA ALVO.....	78
6.3 MAPA GEOLÓGICO DA ÁREA ALVO.....	81
6.4 IMAGEAMENTO 2D POR SÍSMICA DE REFLEXÃO.....	82
6.4.1 Equipamentos.....	82
6.4.2 Investigação.....	85
6.4.3 Levantamento de Reflexão.....	86
6.4.4 Processamento.....	87
6.5 SEÇÃO SÍSMICA.....	90
<b>7 CONCLUSÕES</b> .....	97
<b>8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	101

## LISTA DE FOTOGRAFIAS E TABELAS

<b>Foto 01:</b> Salto Santa Rosa.....	05
<b>Foto 02:</b> Salto Puxa Nervo.....	05
<b>Foto 03:</b> Morro do Jacaré.....	06
<b>Foto 4:</b> Contato entre o Grupo Itararé e a Formação Ponta Grossa.....	25
<b>Foto 5:</b> Afloramento da Formação Lagoa Azul com siltitos de coloração amarelada a rósea intercalados com níveis arenosos e ocorrem bioturbações.....	27
<b>Foto 6:</b> Afloramento de níveis tabulares de arenito com siltitos que apresentam-se dobrados - <i>slump</i> .....	28
<b>Foto 7:</b> Arenitos com coloração amarelada a avermelhada com granulometria média e grãos com seleção pobre.....	28
<b>Foto 8:</b> Morro do Jacaré situado na Serra do Roncador, município de Tibagi, com exposição de arenitos da Formação Campo Mourão onde foi levantado o perfil colunar..	28
<b>Foto 9:</b> Pedreira da cidade de Telêmaco Borba de diamictitos de coloração cinza escuro.....	31
<b>Foto 10:</b> Detalhe da pedreira onde se pode visualizar matacões nos diamictitos.....	31
<b>Foto 11:</b> Níveis de conglomerados intercalados com níveis de arenitos com granulometria média e grãos bem selecionados.....	33
<b>Foto 12:</b> Níveis de conglomerados intercalados com níveis de arenitos com granulometria média e grãos bem selecionados.....	35
<b>Foto 13:</b> Níveis arenosos da Formação Teresina onde verificou-se a estrutura <i>hummocky</i> .....	35
<b>Foto 14:</b> Sigmóide que em planta apresenta movimentação dextral nos folhelhos da Formação Ponta Grossa e ao lado direito a visualização do sigmóide e suas atitudes.....	51
<b>Foto 15:</b> A porção superior do Morro do Jacaré apresenta um relevo tabular que permite até de estradas de acesso.....	74
<b>Foto 16:</b> Detalhe do afloramento onde se pode visualizar a estratificação cruzada de pequeno porte bem como alguns seixos dispersos.....	77

<b>Foto 17:</b> Porção aflorante do Morro do Jacaré com visualização dos planos de falha que se apresentam sistemáticos e retilíneos. Estes planos apresentam uma direção média de 75NE.....	78
<b>Foto 18:</b> Uma outra visão da mesma região da foto anterior que mostra os planos NE....	79
<b>Foto 19:</b> Fonte sísmica utilizada – queda de peso acelerada. O peso é liberado por um controle remoto e cai sobre uma placa metálica gerando a energia sísmica que se propaga no subsolo e retorna aos geofones gerando os sismogramas ou registros sísmicos.....	84
<b>Tabela 1:</b> Descrição dos critérios utilizados para a seleção das 3 áreas-alvo.....	71

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 01:</b> Modelo proposto por Milani & Catto (1998), para o campo de gás Barra Bonita na Bacia do Paraná. As setas em preto indicam o caminho da migração dos hidrocarbonetos.....	03
<b>Figura 02:</b> (a) Situação da Bacia do Paraná na América do Sul e a indicação dos principais arqueamentos; (b) Localização da área estudada e a distribuição das zonas de falhas.....	05
<b>Figura 03:</b> Rotina das etapas para o georreferenciamento no programa Didger3.....	09
<b>Figura 04:</b> Rotina das etapas para a geração do MDE no Surfer8.....	10
<b>Figura 05:</b> MDE_Modelo Digital de Elevação e articulação das cartas topográficas confeccionadas com os parâmetros descritos na figura anterior.....	11
<b>Figura 06:</b> Rotina das etapas do Geomática para o preparo da cena.....	12
<b>Figura 07:</b> Rotina das etapas do Geomática para agrupar cenas de imagens de satélite.....	13
<b>Figura 08:</b> Rotina para trabalhar com as imagens.....	13
<b>Figura 09:</b> Imagem de satélite ETM7 RGB – 854, gerada a partir das rotinas descritas acima.....	14
<b>Figura 10:</b> Mosaico das fotografias aéreas na escala 1:70.000.....	15
<b>Figura 11:</b> Mapa de situação da área estudada e a localização dos pontos de afloramentos descritos.....	17
<b>Figura 12:</b> Mapa de localização das principais bacias intracratônicas da plataforma sul-americana (Milani e Thomaz Filho, 2000).....	21
<b>Figura 13:</b> Mapa geológico simplificado da Bacia do Paraná (mod. Paulipetro, 1981).....	21
<b>Figura 14:</b> Coluna estratigráfica da área de estudo e parte da Bacia do Paraná (mod. Milani <i>et al.</i> 1994).....	22
<b>Figura 15:</b> Mapa Geológico da área estudada com a distribuição das unidades estratigráficas e a disposição dos principais diques e falha.....	23
<b>Figura 16:</b> Perfil colunar do Morro do Jacaré.....	29

<b>Figura 17:</b> Coluna litofaciológica elaborada por Cava (1983) com base em estudos realizados na região entre Telêmaco Borba e Ipiranga.....	33
<b>Figura 18:</b> Diagramas de rosetas e de contorno das fraturas divididas pelas unidades estratigráficas. (N= número de medidas).....	40
<b>Figura 19:</b> Diagrama sinóptico de todas as fraturas abertas e preenchidas encontradas na área de estudo.....	42
<b>Figura 20:</b> Bandas de deformação encontradas nos arenitos da Formação Campo Mourão no Morro do Jacaré (ponto 78) e o diagrama de rosetas, ao lado, com as direções das bandas de deformação em geral.....	44
<b>Figura 21:</b> Mapa das feições lineares extraídas de imagem de satélite, MDE e fotografias aéreas. As feições positivas correspondem às cristas e os negativos aos vales.....	46
<b>Figura 22:</b> Mapa de lineamentos interpretados com base na continuidade e freqüência dos alinhamentos e lineações de relevo, com diagramas da freqüência dos lineamentos das direções NW, NE e NS-EW.....	47
<b>Figura 23:</b> Mapa de feições lineares traçadas e lineamentos sobrepostos. A interpretação dos lineamentos iniciou-se com os lineamentos com direção NW, seguido dos NE e finalizando com NS-EW.....	48
<b>Figura 24:</b> Detalhe do mapa de lineamentos com direção NW que apresentam formas escalonadas, que revelam uma movimentação estrutural de caráter dextral.....	50
<b>Figura 25:</b> Plano N74W/85NE com estrias 112/10 com indicação de movimento sinistral evidenciado pelos <i>steps</i> à esquerda. A direita o plano irregular com medida N57W/87SW.....	51
<b>Figura 26:</b> Falhas com direção NE e caráter sinistral. a) Fraturas riedel escalonadas (N12E/85SE) nos folhelhos da Formação Ponta Grossa; b) Escalonadas na Formação Campo Mourão, com cinemática sinistral (N83E/85SE); c) Fraturas da Formação Serra Geral, em dominó, no plano (N44E/87SW); d) Cinemática sinistral e planos anastomosados com direção N66E/87NW; e) Falhas com estrias no carbonato de cálcio com plano N20E/87NW da Formação Serra Geral.....	53
<b>Figura 27:</b> Falhas com direção NE e caráter . a) Fratura preenchida por hidróxido de ferro com direção N32E/70SE, Formação Taciba; b) Fratura preenchida por quartzo com plano N27E/65SE; c) Plano de falha na Formação Serra geral com caráter normal no plano N74E/74SE; d) Plano de falha nos diamictitos da Formação Taciba com plano N48E/76NE.....	54



<b>Figura 28:</b> Mapas de contorno do comprimento, coluna da esquerda e da frequência acumulada, coluna da direita. Estes mapas foram gerados a partir do mapa de lineamentos detalhados e interpretador. A legenda dos mapas de contorno do comprimento significa que o intervalo da cor correspondente refere-se à somatória dos e lineamentos em km.....	56 57 58
<b>Figura 29:</b> Mapas de contorno do comprimento, coluna da esquerda e da frequência acumulada, coluna da direita. Estes mapas foram gerados a partir do mapa dos lineamentos interpretados. A legenda dos mapas de contorno do comprimento significa e que o intervalo da cor correspondente refere-se à somatória dos elementos em km.....	58 59
<b>Figura 30:</b> Mapa de contorno do topo do Grupo Itararé, confeccionado através do método de krigagem com a interpolação da profundidade de poços, e a sobreposição dos lineamentos interpretados. Foram definidos 3 compartimentos morfotectônicos, baseado na distribuição destes lineamentos, sobre o mapa de contorno.....	62
<b>Figura 31:</b> Diagrama de roseta dos lineamentos do compartimento 1 com a presença das principais direções NW, N-S e E-W.....	63
<b>Figura 32:</b> Diagrama de roseta, do compartimento 2, com modas entre N40-60W. Na figura da direita, nota-se um bloco alto na região central, que é delimitada por uma zona de falha.....	64
<b>Figura 33:</b> Diagrama de roseta dos lineamentos do compartimento 3 com a presença das direções NW, E-W e NE.....	65
<b>Figura 34:</b> Diagramas de projeção ciclográfica, com análise cinemática, das falhas medidas em campo.....	66
<b>Figura 35:</b> Metodologia utilizada na determinação das paleotensões máxima ( $\sigma_1$ ), intermediária ( $\sigma_2$ ) e mínima ( $\sigma_3$ ) através do método de Anderson.....	67
<b>Figura 36:</b> Paleotensões de cada estria separada pelas formações onde foram encontradas e separadas para os $\sigma_1$ , $\sigma_2$ e $\sigma_3$ através do método de Anderson.....	68
<b>Figura 37:</b> MDE da área estudada com a localização das 3 áreas-alvo e suas respectivas fotografias aéreas.....	72
<b>Figura 38:</b> Localização da Área-alvo dentro da área estudada a partir do MDE e os quadros abaixo mostram a ampliação desta área-alvo á esquerda com a figura do MDE e a direita a fotografia aérea na escala 1:25.000.....	75

<b>Figura 39:</b> Perfil estratigráfico realizado no Morro do Jacaré e sua localização esquemática do MDE a direita. Neste MDE pode-se visualizar a configuração geral do relevo.....	77
<b>Figura 40:</b> Diagrama de rosetas obtido com atitudes verificadas nos afloramentos na área-alvo. Este diagrama mostra modas entre as direções N50-70E e N40-60W.....	79
<b>Figura 41:</b> Fraturas retilíneas e indicadores cinemáticos encontrados nos afloramentos do Morro do Jacaré no município de Tibagi: (a) Fratura retilínea e penetrativa na direção N70E/80NW; (b) Fraturas escalonadas de cinemática sinistral no plano N78E/80SE; (c) Fraturas escalonadas plano N80E/84SE; (d) Steps indicando a falha com movimentação normal no plano N60W/55SW; (e) Falhas normais com rejeitos decimétricos encontrados no plano N60W/55SW.....	80
<b>Figura 42:</b> Mapa geológico da área-alvo que mostra a porção aflorante das formações Ponta Grossa e Campo Mourão, bem como a disposição das fraturas. O perfil 1-1' mostra a configuração das falhas normais identificadas em campo e a distribuição das camadas. O perfil 2-2' mostra a distribuição das camadas no geral.....	81
<b>Figura 43:</b> Arranjo esquemático dos geofones, geodes e o <i>laptop</i> . Os geofones estão conectados a um cabo que, neste arranjo, a cada 24 unidades, se conectam ao geode. Os geodes estão interligados através do cabo de interface digital (cabo de comunicação) e enviam os dados para o computador.....	84
<b>Figura 44:</b> Estas fotos mostram os equipamentos utilizados e alguns detalhes de como estão conectados : (a) Montagem da linha sísmica com geofones espaçados a cada 2m; (b) Detalhe do geode que é alimentado por uma bateria (caixa de couro); (c) Detalhe da conexão do geofone com o cabo; (d) Configuração de como os cabos estão conectados ao geode.....	85
<b>Figura 45:</b> Esquema da amostragem na técnica CDP que mostra como cada ponto, ao longo do refletor, foi amostrado mais de uma vez. O exemplo, realçado por linhas mais espessas, mostra o refletor na posição – a. Este foi amostrado pelo geofone 3 quando a fonte se encontrava na posição A e pelo geofone 1 quando a fonte estava em B (mod. Martins 2001).....	87
<b>Figura 46:</b> Fluxograma simplificado da seqüência do processamento dos dados da sísmica de reflexão. Fonte: Rigoti <i>et al.</i> 2004.....	88
<b>Figura 47:</b> Fotografia aérea na escala 1:25.000 do ITC utilizada para o auxílio da projeção da seção sísmica e para a fotointerpretação.....	91

<b>Figura 48:</b> Interpretação da fotografia aérea, figura anterior, onde foram destacadas as quebras negativas de relevo que representam variações litológicas com traço azul mais fino e o contato litológico entre a Formação Ponta Grossa e a Formação Campo Mourão, com traço azul mais espesso. Os lineamentos foram traçados em vermelho.....	92
<b>Figura 49:</b> MDE gerado para a área correspondente da fotografia aérea 23446 (esc 1:25.000) com a sobreposição dos lineamentos e quebras negativas.....	93
<b>Figura 50:</b> Parte do mapa litofaciológico confeccionado por Perdoncini (1997). As fácies foram classificadas utilizando-se o código de fácies proposto por Eyles <i>et al.</i> (1983). As informações litofaciológicas apresentadas neste mapa, juntamente com os trabalhos de campo realizados na área em questão permitiram a interpretação da seção sísmica.....	94
<b>Figura 51:</b> Seção sísmica gerada na região do Morro do Jacaré com a profundidade medida em tempo (ms) que aproximadamente equivale o mesmo valor em metros. Os refletores na cor vermelha são negativos e os azuis positivos.....	96
<b>Figura 52:</b> Interpretação da seção sísmica onde se pode visualizar a disposição das falhas e os refletores.....	96

## **RESUMO**

O presente trabalho consiste na aplicação e discussão de metodologias para a caracterização morfoestrutural e estratigráfica de uma área na Bacia do Paraná marcada pela intersecção de zonas de falhas. Esta área situa-se na porção centro norte do Estado do Paraná e engloba os municípios de Sapopema, Curiúva, Ventania, Tibagi, Imbaú, Reserva, Ortigueira e Telêmaco Borba. Os trabalhos se concentraram no intervalo aflorante das rochas da Formação Ponta Grossa e do Grupo Itararé, que correspondem ao Sistema Petrolífero Ponta Grossa – Itararé, e também na porção aflorante da Formação Rio Bonito. O trabalho em questão foi baseado no conceito de Reservatórios Análogos, ou seja, correlacionar porções aflorantes com regiões não aflorantes, em subsuperfície. Para tanto foi empregada a metodologia “zoom”, utilizando-se métodos indiretos como a análise e interpretação de imagens de satélite, modelo digital de elevação e fotografias aéreas e finalizando com métodos diretos de levantamentos de detalhe em escala de afloramento. Os resultados obtidos permitiram verificar que a região estudada apresenta-se principalmente condicionada por estruturas com sentido NW e NE, e subordinadamente estruturas NS e EW. As estruturas NW são as mais marcantes e estão associadas ao enxame de diques do Arco de Ponta Grossa. A ocorrência destas estruturas está concentrada na faixa entre as Zonas de Falhas São Jerônimo - Curiúva e Rio Alonzo. As estruturas com direção NE apresentam traços mais segmentados e espaçados e estão presentes entre as direções N20-70E. Secundariamente as direções N-S e E-W apresentam lineamentos mais espaçados com traços retilíneos e descontínuos. Estas estruturas são mais freqüentes na região fora do domínio entre as Zonas de Falhas São Jerônimo – Curiúva e Rio Alonzo. Com base na caracterização do arcabouço estrutural e também estratigráfico, foram selecionadas áreas-alvo de reservatórios análogos para o detalhamento. Na área-alvo foi realizada uma seção sísmica através do imageamento 2D por sísmica de reflexão. A interpretação da mesma permitiu identificar alguns refletores e, localmente, caracterizar zonas de falha pelos deslocamentos observados nestes refletores. Nesta seção ocorrem porções mais e menos fraturadas que são condizentes aos lineamentos identificados em fotografia aérea. Feições sismo-estratigráficas observadas, correlacionam-se ao contexto da Formação Campo Mourão que apresenta canais irregulares, progradações e retrogradações. O entendimento do arcabouço estrutural e estratigráfico, obtido através da metodologia “zoom”, foi de fundamental importância na definição do emprego de métodos que auxiliaram a compreensão e comparação de reservatórios fraturados, principalmente no que se

refere à migração e acumulação de hidrocarbonetos, pois as estruturas verificadas neste estudo servem ora como condutos ora como barreiras à percolação de hidrocarbonetos.

**ABSTRACT**

This work consists of the application and discussion of a methodology for morphostructural and stratigraphic characterization of faults zones in the Parana Basin. The study area is localized in center north of Parana state, including Sapopema, Curiúva, Ventania, Tibagi, Imbaú, Reserva, Ortigueira and Telêmaco Borba counties. The research concentrated in the outcrop intervals of Ponta Grossa Formation and Itarare Group, which constitute the Ponta Grossa – Itarare oil-bearing system, and Rio Bonito formation rocks. The study is based on the concept of analog model reservoir. The zoom methodology was applied by means of indirect methods like analysis and interpretation of satellite views, terrain digital model and aerial photographs and direct methods on outcrop scale in detail survey. The results allowed to verify that the region is conditioned mainly by NW and NE structures and by a subordinate NS and EW system. The NW are the most prominent structures and are associate to the Ponta Grossa Arch dikes. These structures occurrence is concentrated in São Jerônimo – Curiuva and Rio Alonzo fault zones. The NE structures show up as segmented lines, striking within N20E and N70E. The NS and EW directions present rectilinear and discontinuous pattern. The most frequent structures are found outside the São Jerônimo – Curiuva and Rio Alonzo fault belts. Based on the structural and stratigraphic skeleton, analogous reservoir target areas were selected for detail. A further selection conducted to one specific target area, where a line of 2D reflection seismic was carried out. The seismic interpretation allowed for the identification of some reflectors, while displacements of the reflectors were interpreted as fault zones. Areas more or less fractured as observed in the seismic section were correlated with lineaments observed in aerial photograph analysis. Observed seismostratigraphic features are correlated with the Campo Mourão Formation, which presents irregular channels, progradation, and retrogradation. The understanding of the structural and stratigraphic framework, achieved through the zoom methodology, was of primary importance in the definition of a methodology to assist the understanding and comparison of fractured reservoirs, particularly when it refers to hidrocarbon migration and accumulation, because the structures can act either as conduit or barriers.

## 1 INTRODUÇÃO

O trabalho em questão foi desenvolvido no âmbito do Projeto MODRES - *Modelagem de Potenciais Reservatórios Fraturados em Superfície para auxílio exploratório em subsuperfície*. Este projeto é financiado pela Finep/Petrobras, e tem por objetivo a modelagem da anisotropia e unidades de fluxo em reservatórios fraturados, enfocando a análise petrofísica e o imageamento sísmico de reservatórios rasos.

A proposta deste estudo é apresentar alguns dos resultados, do projeto acima descrito bem como a metodologia utilizada para a detecção de alvos análogos de reservatórios fraturados. Para tanto, foi selecionada uma região onde afloram rochas do Sistema Petrolífero Ponta Grossa / Itararé que ocorrem localizadas em região de intersecção de zonas de falha.

A intersecção de zonas de falhas é caracterizada pela intersecção da Zona de Falha da Jacutinga (ZFJ), de direção NE, com as Zonas de Falhas São Jerônimo - Curiúva e Rio Alonzo, de direção NW como nos mostra a figura 2. Na região estudada, encontra-se a exposição de rochas da Formação Ponta Grossa, Grupo Itararé, Grupo Guatá e Passa Dois pertencentes à Bacia do Paraná. Os estudos se concentraram no intervalo aflorante das rochas da Formação Ponta Grossa e do Grupo Itararé, que correspondem ao Sistema Petrolífero Ponta Grossa – Itararé, e também na porção aflorante da Formação Rio Bonito.

O presente estudo teve como princípio o conceito de que a pesquisa realizada em porções aflorantes, pode servir como modelo para interpretar regiões

em sub-superfície, pois a análise detalhada onde ocorre a exposição da superfície, é a melhor fonte de informação e vice versa.

O método empregado nas etapas realizadas bem como sua apresentação e discussão partiram de uma metodologia “zoom”, que iniciou com escalas regionais e finalizou com levantamentos de detalhe em escala de afloramento. Foram utilizados métodos indiretos como imagem de satélite Landsat ETM7, Modelo Digital de Elevação – MDE, fotografias aéreas nas escalas 1:70.000 e 1:25.000 e a aquisição de uma seção sísmica e métodos diretos como levantamentos de detalhe em afloramentos.

O sistema petrolífero constitui-se, segundo Demaison e Huizinga (1991), de um sistema físico-químico, gerador e concentrador de petróleo, cuja funcionalidade se dá numa determinada escala de tempo e espaço geológicos.

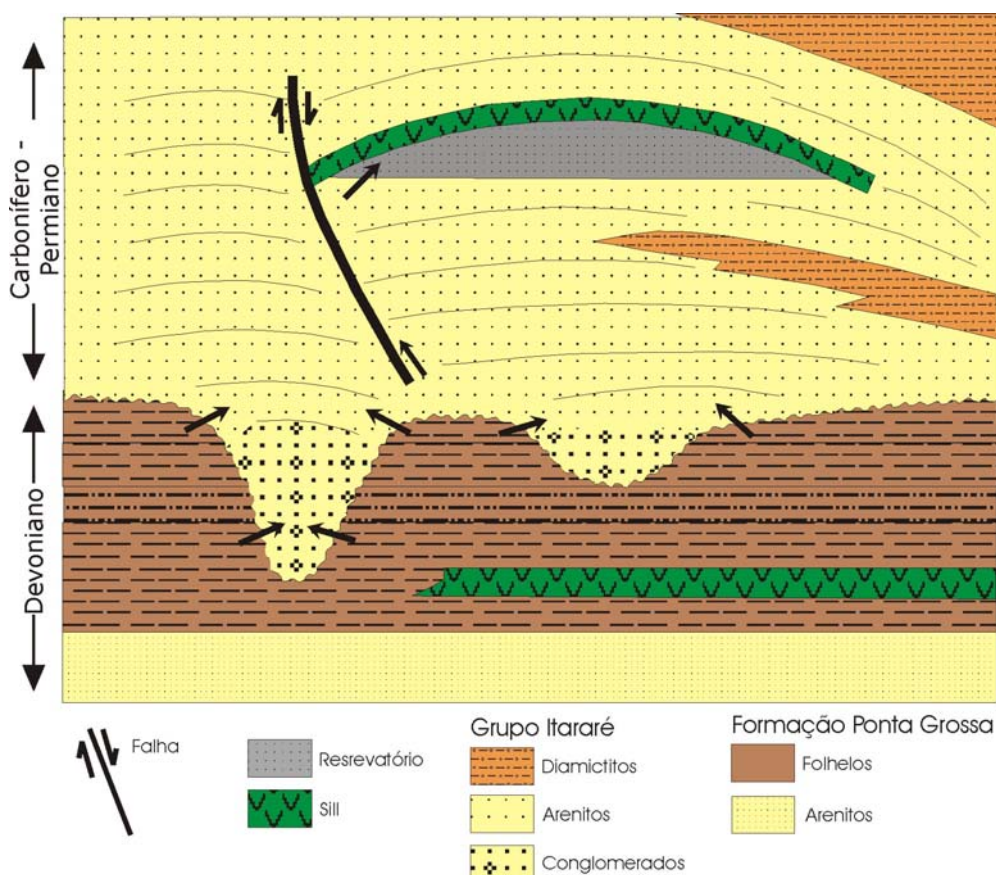
O Sistema Petrolífero Ponta Grossa / Itararé é um dos sistemas identificados na Bacia do Paraná e apresenta como a rocha geradora a Formação Ponta Grossa. Os folhelhos pertencentes a esta formação apresentam um potencial para a geração de hidrocarbonetos descritos por (Zalán *et al.* 1990).

França e Potter (1989) através de estudos sedimentológicos analisaram o potencial das rochas do Grupo Itararé e definiram como um bom reservatório os arenitos glaciogênicos com porosidade de 10% e raio gama menor ou igual a 50 unidades API. Segundo estes autores as isóclinas de arenitos, com estes parâmetros, estão dispostas paralelas à borda leste da Bacia do Paraná e diminuem em direção à porção central da bacia. Tanto as rochas pertencentes ao Membro Rio Segredo da Formação Taciba, quanto à porção superior da Formação Campo Mourão, ambas pertencentes ao Grupo Itararé, apresentam estas características litoestratigráficas.



Milani & Catto (1998), apresentaram o modelo de acumulação de hidrocarbonetos do Campo Barra Bonita que é a primeira descoberta na Bacia do Paraná. Neste modelo o hidrocarboneto encontra-se preenchendo os poros de arenitos da porção inferior do Grupo Itararé que está aprisionado ao controle estrutural, na forma de um anticlinal, que se comporta como um selo.

A rocha geradora destes hidrocarbonetos, folhelhos da Formação Ponta Grossa, que se encontra estratigraficamente abaixo do Grupo Itararé, provavelmente teve sua maturação através de um mecanismo de grande aquecimento influenciado pela intrusão dos corpos ígneos do Mesozóico. A figura 1 mostra esquematicamente a trajetória da migração do hidrocarboneto no Campo de gás Barra Bonita.



**Figura 1:** Modelo proposto por Milani & Catto (1998), para o campo de gás Barra Bonita na Bacia do Paraná. As setas em preto indicam o caminho da migração dos hidrocarbonetos.

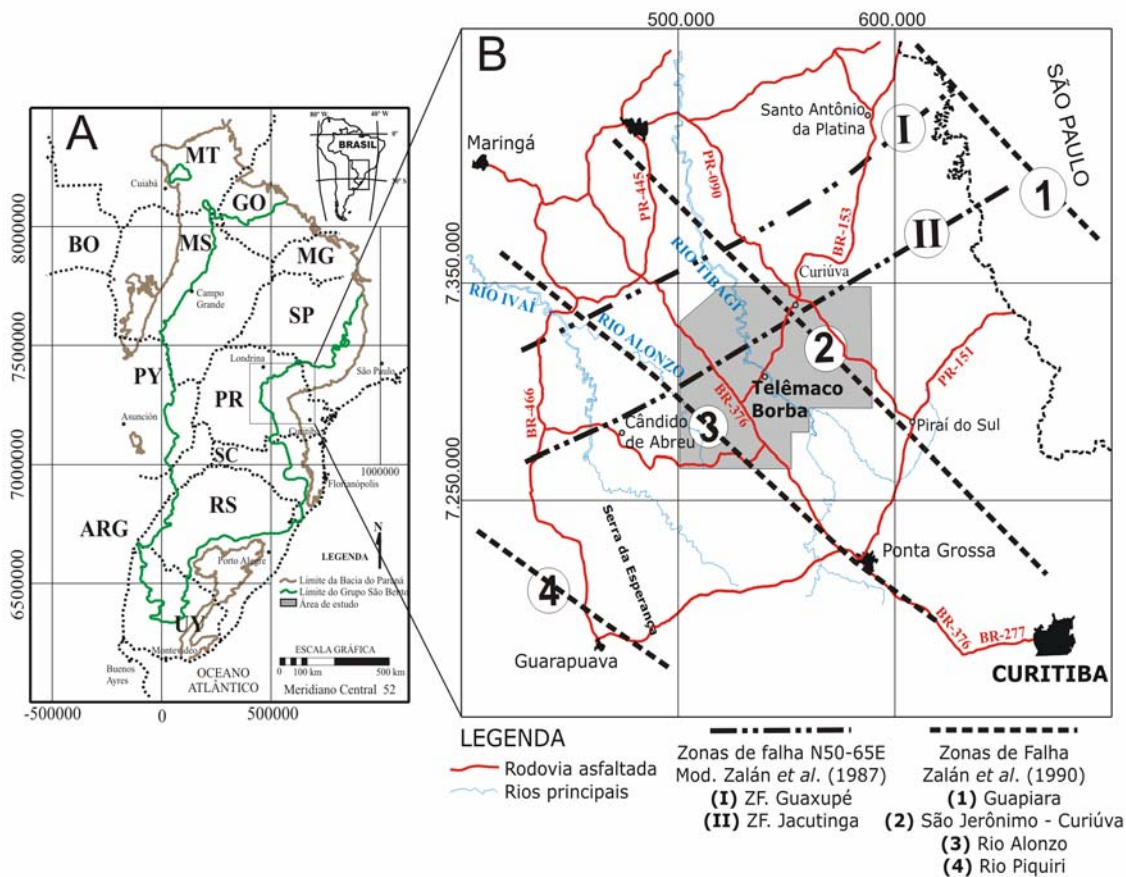
## 1.1 LOCALIZAÇÃO E ASPECTOS FISIAGRÁFICOS

A área estudada apresenta 6.320 Km<sup>2</sup> e está compreendida entre as coordenadas UTM 500.000 / 7.350.000 e 590.000 / 7.260.000 ou geográficas 51°00' / 24°00' e 50°00' / 24°45' (fig. 2) e abrange parte dos municípios de Sapopema, Curiúva, Ventania, Tibagi, Imbaú, Reserva, Ortigueira e Telêmaco Borba.

As principais vias de acesso à área são as rodovias BR-376 (Curitiba – Apucarana), PR-090 (Rodovia do Cerne) e BR-153 e acessos secundários por Reserva e Tamarana.

As altitudes verificadas na área variam entre 500m e 1.150m. As principais feições orográficas encontradas correspondem às cristas condicionadas por diques, com direção preferencial NW. As principais serras são a Serra do Facão, Serra da Urtigueira, Serra do Fundão, Serra do Cascudo, Serra dos Borges e Serra do Roncador.

Na região alguns municípios, como de Tibagi estão desenvolvendo muitas atividades de ecoturismo e algumas feições morfológicas, como o Morro do Jacaré, pertencente à Serra do Roncador, são exploradas como ponto turístico (foto 1). Outros pontos também visitados são o Salto Santa Rosa (foto 2) e Salto Puxa Nervo (foto 3).



**Figura 2:** (a) Situação da Bacia do Paraná na América do Sul e a indicação dos principais arqueamentos; (b) Localização da área estudada e a distribuição das zonas de falhas.



**Foto 1:** Salto Santa Rosa



**Foto 2:** Salto Puxa Nervo





**Foto 3:** Morro do Jacaré

## **2 OBJETIVOS**

O principal objetivo deste trabalho se concentrou em aplicar e descrever a metodologia para a detecção de análogos de reservatórios fraturados de hidrocarbonetos, com enfoque na análise estrutural, através do processamento digital de imagens e descrições dos níveis estratigráficos.

Algumas atividades foram desenvolvidas para a realização deste trabalho e traduzem os seguintes objetivos intermediários:

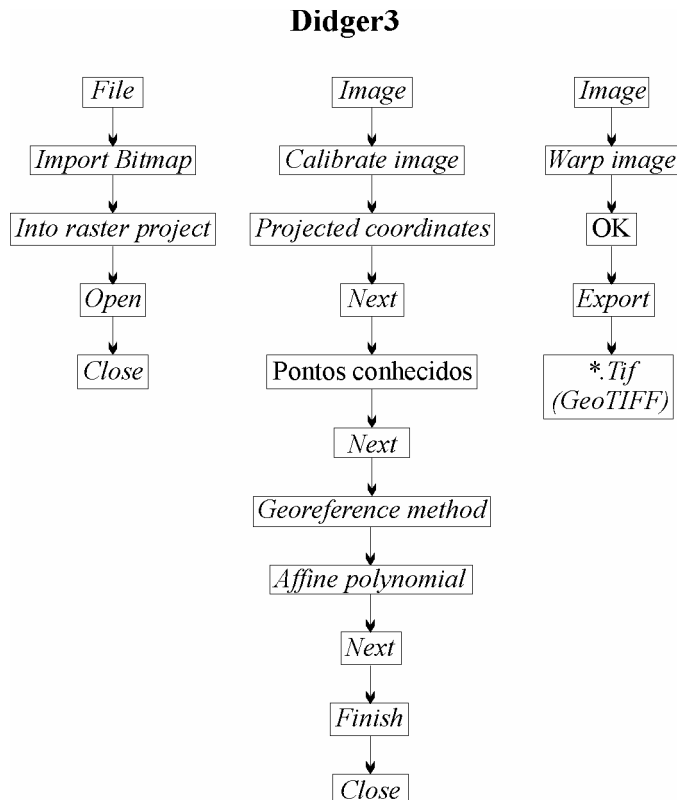
1. Caracterização estrutural do arcabouço da área estudada, prevendo identificar padrões de fraturas em escalas regional e de detalhe, com o propósito de discriminar as feições condutoras e inibidoras do fluxo;
2. Reconhecimento das deformações com base na análise de imagem e dados de campo;
3. Determinação do arcabouço estratigráfico através da identificação e correlação faciológica dos afloramentos;
4. Determinação e detalhamento de uma ou duas áreas para estudo de detalhe em função da facilidade de acesso, qualidade de afloramento e a topografia suave para o levantamento geofísico;
5. Interpretação de uma seção sísmica através de técnicas desenvolvidas no contexto do projeto MODRES.

### 3 MÉTODO EMPREGADO

As atividades desenvolvidas contaram com a realização de diversas etapas desde a escala regional até a escala de afloramentos. Em escala regional foram geradas ferramentas como Modelo Digital de Elevação – MDE, imagens Landsat ETM7 e fotografias aéreas na escala 1:70.000. Para análise em maior detalhe, utilizou-se as informações obtidas a partir de trabalhos de campo bem como através de fotointerpretação de fotografias aéreas na escala 1:25.000.

#### 3.1 MDE – MODELO DIGITAL DE ELEVAÇÃO

Esta etapa contou com a obtenção das cartas topográficas de Telêmaco Borba e Curiúva na escala 1:100.000 e das cartas de Reserva, Porteira Grande e Tibagi na escala 1:50.000. Estas foram transformadas em meio digital através de um *scanner* e, posteriormente, foram reagrupadas novamente com o auxílio do *software* Panavue. Cada carta foi georreferenciada no *software* Didger3 (*Copyright* © 2001, *Golden Software, Inc.*) com aproximadamente 20 pontos de coordenadas UTM, conhecidas e exportadas em formato \*.tif. Este trabalho de georreferenciamento seguiu a rotina esquematizada na figura 3:



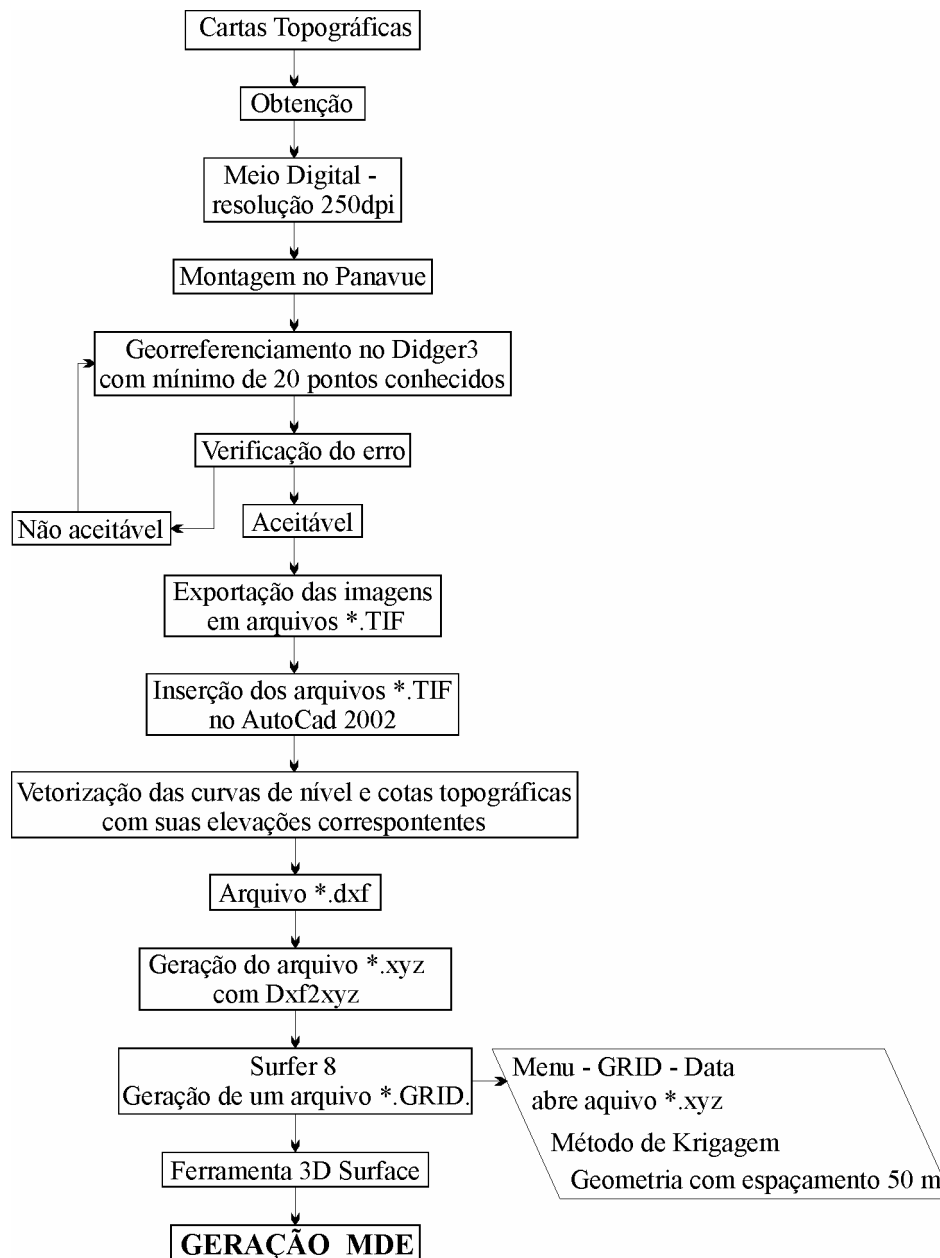
**Figura 3:** Rotina das etapas para o georreferenciamento no programa Didger3.

Na seqüência, conforme mostra a rotina da figura 4, deu-se o início de vetorização das curvas de nível, pontos cotados, drenagem e estradas. Para cada curva de nível e o ponto cotado foi atribuída sua elevação correspondente.

Após a conclusão desta etapa, parte destes atributos, foi exportado para um arquivo xyz, através do *software* Dxf2xyz 1.3 (Copyright © 1999-2000 Guthrie CAD/GIS Software).

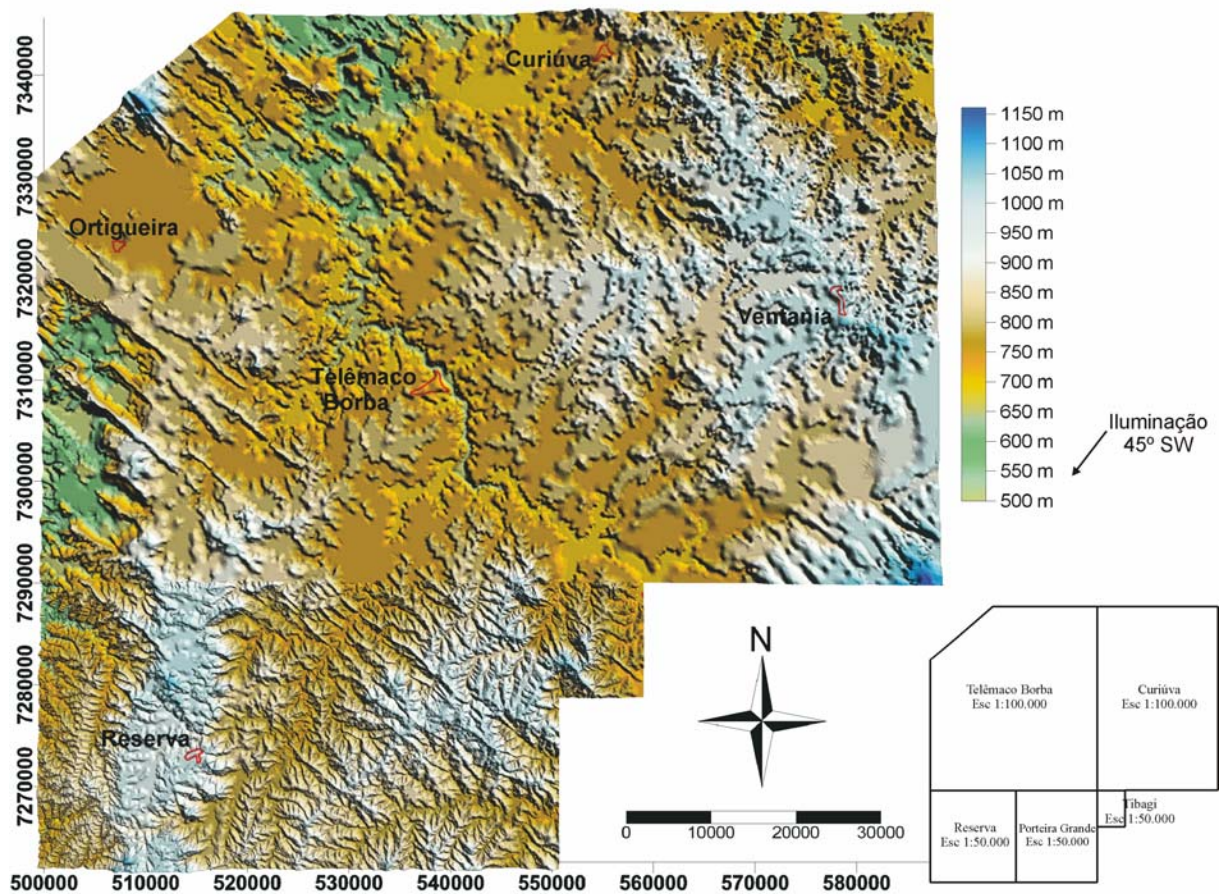
No *software* Surfer 8.0 (Copyright © 1993-2002, Golden Software, Inc.) este arquivo xyz foi importado, e através do método de interpolação por krigagem, gerou-se um GRID que resultou no MDE. Este modelo foi confeccionado com base nos seguintes parâmetros: (iluminação 45° SW) – *scale*

→ z scale length 0,35 in – view → field of view 45°; rotation 0°; tilt 90° e  
 projection: perspective.



**Figura 4:** Rotina das etapas para a geração do MDE no Surfer8.





**Figura 5:** MDE - Modelo Digital de Elevação e articulação das cartas topográficas confeccionadas com os parâmetros descritos na figura anterior.

A partir do MDE puderam-se visualizar feições geomorfológicas como a direção do alinhamento das cristas. Desta forma nota-se que ocorrem feições com direção NW e em menor proporção direções NE, E-W e N-S.

### 3.2 IMAGENS LANDSAT ETM7

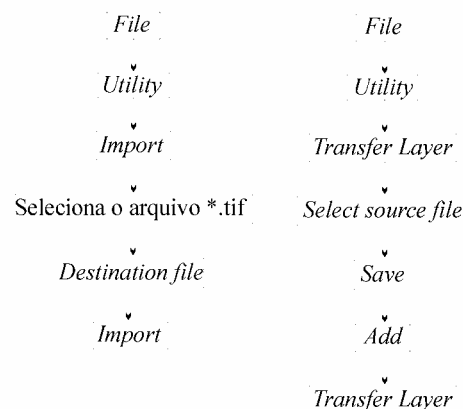
As cenas de Imagens de satélite Landsat ETM7 utilizadas foram as 221-77 e 222-77. Para trabalhar com estas imagens foi utilizado o *software* Geomática – Focus, versão 8.2 (Copyright 2001 PCI Geomatics), que permitiu trabalhar com

diferentes combinações de bandas, cujas combinações que melhor apresentaram resultados foram as RGB: 8-4-5, 8-5-4, 7-5-4, 3-2-1 e banda 4 em tons de cinza.

Inicialmente as cenas foram preparadas para que se pudesse trabalhar com combinação das bandas. As 8 bandas foram aglutinadas e salvas um arquivo \*.pix. A rotina utilizada foi dividida em duas etapas, a primeira com o preparo das bandas e a segunda etapa com a interpretação da imagem com as ferramentas disponíveis no programa.

1º etapa:

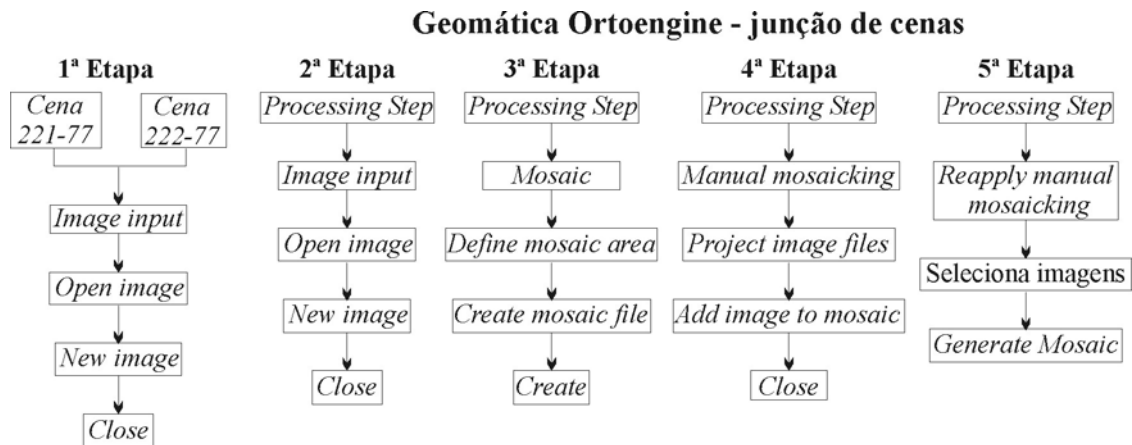
### Geomática - preparo das cenas



**Figura 06:** Rotina das etapas do Geomática para o preparo da cena.

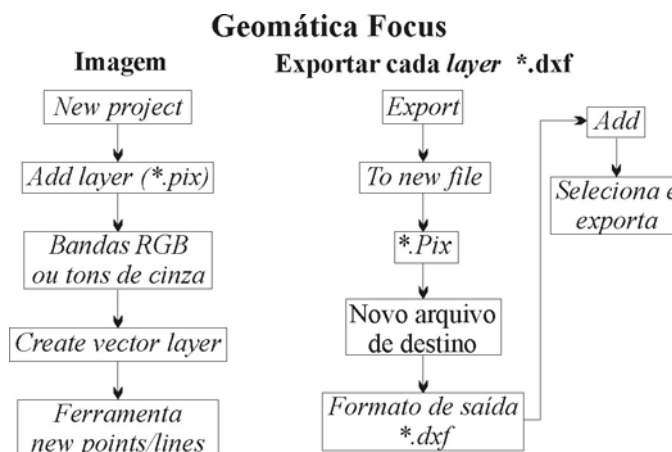
Este procedimento é aplicado a todas as bandas até compor um arquivo \*.pix, completo.

Esta parte da rotina é opcional, mas pode auxiliar no caso de se estar trabalhando com duas cenas. Uma vez compostas as cenas, para se unir em um mesmo arquivo utilizou seguinte rotina no Geomática (fig.7).



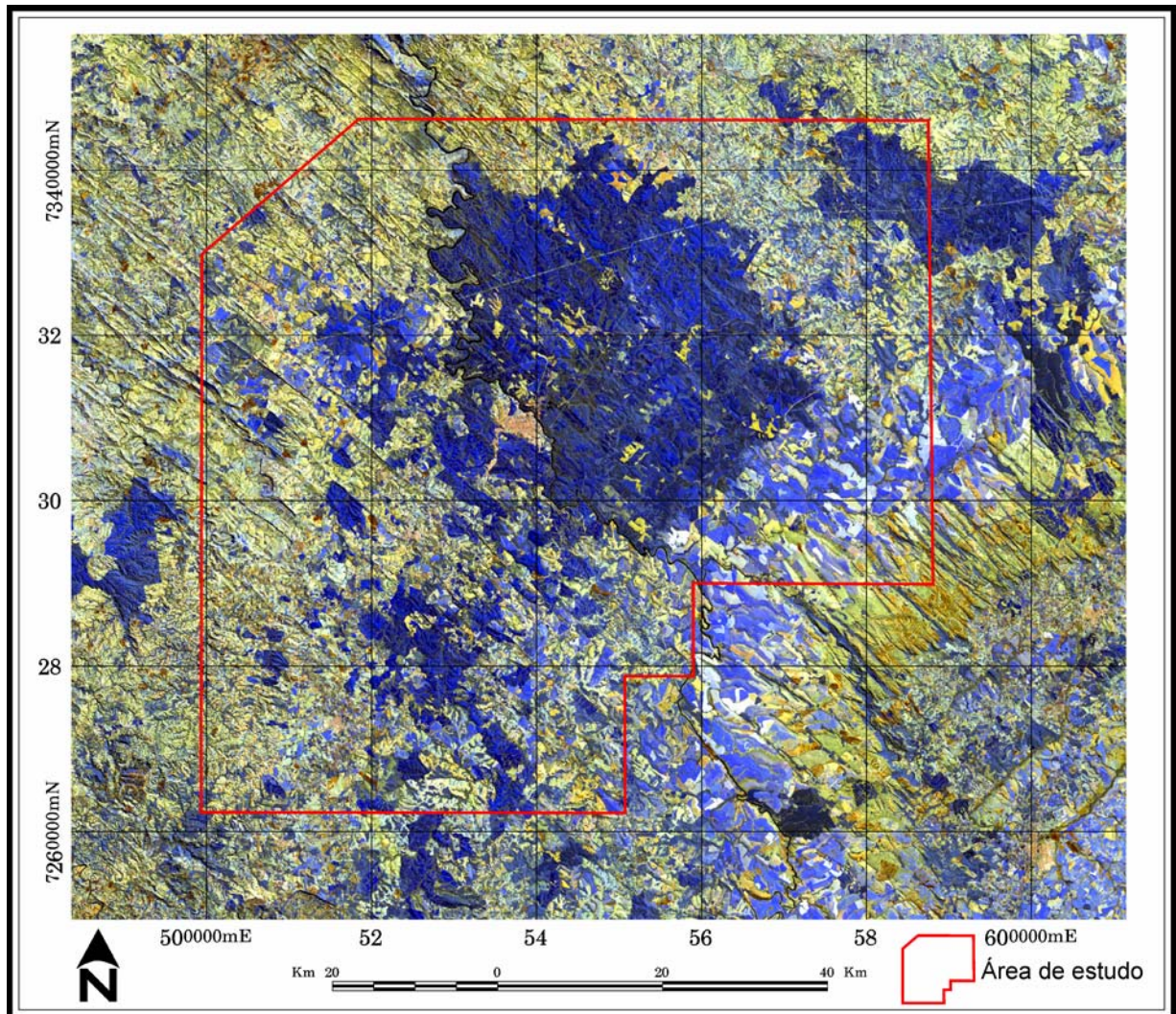
**Figura 7:** Rotina das etapas do Geomática para agrupar cenas de imagens de satélite.

Para a segunda etapa foi criada um projeto, com extensão \*.gpr e com o comando *add layer*, abriu-se as três bandas RGB. Cada banda apresenta características próprias e para isso deve-se procurar a combinação que melhor apresente resultado para o proposto. É possível trabalhar com várias combinações em um mesmo projeto, bastando adicionar cada uma, a um “layer” respectivo.



**Figura 8:** Rotina para trabalhar com as imagens.





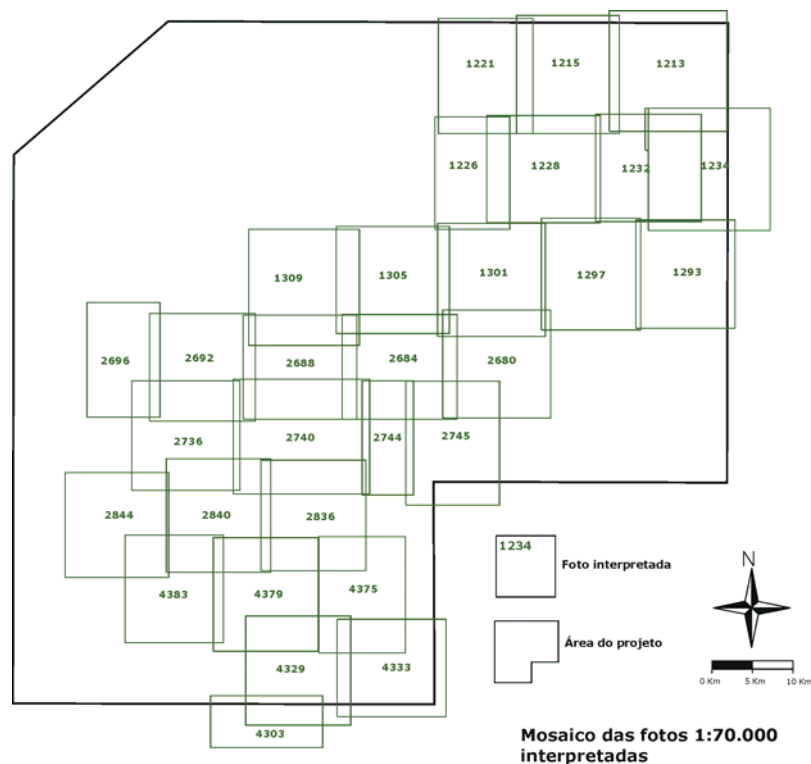
**Figura 9:** Imagem de satélite ETM7 RGB – 854, gerada a partir das rotinas descritas acima.

As imagens de satélite auxiliaram principalmente no traçado dos lineamentos que estão condicionados às estruturas regionais e no reconhecimento da geomorfologia, como a configuração das drenagens e do relevo. Nestas foram extraídos os lineamentos positivos e negativos que representam respectivamente as cristas e os vales. A partir destes lineamentos, com base na continuidade e na frequência do traço estes foram filtrados, resultando em um mapa de lineamentos interpretado.

Os mapas gerados a partir destes lineamentos encontram-se no capítulo 5.

### 3.3 FOTOGRAFIAS AÉREAS

A seleção e definição das fotografias aéreas na escala 1:70.000, que compõem o mosaico da figura 10, foi definida na porção onde afloram predominantemente rochas da Formação Rio Bonito e do Grupo Itararé com o propósito de determinar o contato geológico entre elas, bem como a tentativa de subdividir o Grupo Itararé entre as Formações Lagoa Azul, Campo Mourão e Taciba definidas por França e Potter (1988).



**Figura 10:** Mosaico das fotografias aéreas na escala 1:70.000

Nestas fotos também foram traçados os lineamentos positivos e negativos utilizando-se o mesmo princípio da imagem de satélite, bem como as quebras positivas e negativas que são melhores identificadas nesta escala.

As fotografias aéreas obtidas na escala 1:25.000 auxiliaram na escolha e a delimitação das áreas alvo que se encontra no capítulo avaliação de alvos.

### 3.4 TRABALHOS DE CAMPO

Foram desenvolvidos trabalhos de campo com intuito de: geração de um mapa litológico detalhado; correlação dos dados obtidos em campo com aqueles oriundos de levantamentos bibliográficos; descrição das estruturas como fraturas, pares conjugados, sigmóides e estrias nos planos de falhas com intuito de se fazer análise da cinemática; obtenção de atitudes estruturais, para posterior análise em estereogramas e diagramas de rosetas. Os dados obtidos estão apresentados em relatório interno da Petrobras.

A localização dos pontos visitados encontra-se na figura 11.



## **4 CONTEXTO GEOLÓGICO GERAL E ESTRATIGRAFIA DA ÁREA**

A região estudada é compreendida de uma faixa aflorante de rochas pertencentes desde a Formação Ponta Grossa até a Formação Teresina, como mostra a coluna estratigráfica na figura 14.

Através de estudos realizados na Bacia do Paraná (e.g. França e Potter 1988), o Grupo Itararé tem sido reconhecido como o melhor reservatório, para hidrocarbonetos, da Bacia do Paraná em função de alguns fatores tais como: o contato direto dos arenitos do Grupo Itararé com os folhelhos da Formação Ponta Grossa; por possuir corpos maciços de arenito com boas qualidades de reservatório; possuir rochas potencialmente capeadoras, representadas por lamitos seixosos, siltitos e corpos de diabásio; e principalmente por ter mostrado os melhores indícios de hidrocarbonetos.

As acumulações de gás conhecidas na bacia ocorrem em Campos da Barra Bonita, Pitanga e Mato Rico (Petrobrás e El Paso). Tais descobertas se deram através das sondagens realizadas, mas ainda não existem estudos quanto aos processos de maturação e retenção dos hidrocarbonetos, visando a descoberta de reservatórios de exploração comercial.

Um dos problemas quanto ao conhecimento estratigráfico-estrutural da bacia deve-se ao fato desta estar capeada por rochas basálticas com espessura de até 2.000 m, fato que dificulta o mapeamento geofísico.



#### 4.1 BACIA DO PARANÁ

A Bacia do Paraná é uma depressão intracratônica alongada na direção NNE-SSW com aproximadamente 1.600.000 Km<sup>2</sup>, e abrange parte do Brasil, Paraguai, Argentina e Uruguai. Para Milani e Thomaz Filho (2000), as seqüências cratônicas encontram-se distribuídas em 5 grandes bacias sedimentares: Solimões, Amazonas, Parnaíba e Paraná no Brasil, e Chaco-Paraná na Argentina, Paraguai e Uruguai (fig.12). A bacia apresenta uma espessura de até 6.000m e está preenchida basicamente por rochas sedimentares de origem terrígena e subordinadamente, por níveis isolados de calcários e evaporitos. No topo, estas rochas estão capeadas pelos derrames de lavas basálticas da Formação Serra Geral (fig.13).

Segundo Zalán *et al.* (1990) as rochas da Bacia do Paraná foram depositadas sobre uma vasta área de escudo do continente Gondwana e a maior parte da evolução estratigráfica-estrutural, foi controlada por *trends* herdados desse embasamento. Estudos realizados indicaram uma distribuição bimodal das zonas de fraqueza no sentido NW-SE e NE-SW.

O registro tectono-estratigráfico na Bacia do Paraná sugere a interação de eventos orogênicos nas bordas da placa sul-americana, eventos epirogênicos caracterizados pela subsidência da bacia e magmatismo. Seguindo o conceito de Sloss (1963; *in* Soares *et al.* 1978, Soares *et al.* 1982) as unidades maiores foram denominadas de seqüências, os grupos e formações foram denominados por (Schneider *et al.* 1974; Milani *et al.* 1994) e as seqüências seguiram o conceito de Vail *et al.* (1977; *in* Milani & Ramos, 1998).

Milani (1997) e Milani e Ramos (1998) dividiram a Bacia do Paraná em superseqüências: Rio Ivaí (Ordoviciano Superior a Siluriano Inferior), Paraná (Siluriano Superior ao Devoniano Superior), Gondwana I (Carbonífero Superior ao Triássico Inferior), Gondwana II (Triássico Superior), Gondwana III (Jurássico Superior ao Cretáceo Inferior) e Bauru (Cretáceo Superior).

Rostirolla *et al.* (2000) consideram que a Bacia do Paraná sofreu perturbações de origens diversas como: - movimentações verticais, com ocorrência em toda sua evolução, típicas de áreas cratônicas extensas; - subsidência flexural modificada pela propagação de tensões horizontais a partir das margens da placa durante o Paleozóico (Zalán *et al.*1990); - superposição de um evento de estiramento litosférico relacionado à abertura do Oceano Atlântico Sul (White & McKenzie 1989) no Mesozóico e finalmente por fenômenos de incursão e recuo de mares epicontinentais associados às variações climáticas e dinâmica global, que afetaram o continente Gondwana (Soares *et al.* 1978).

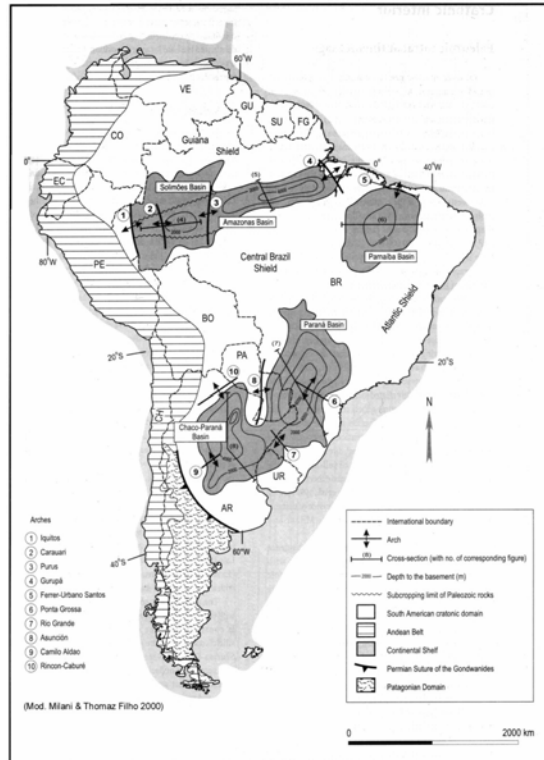


Figura 12: Mapa de localização das principais bacias intracratônicas da plataforma sul-americana (Milani e Thomaz Filho, 2000).

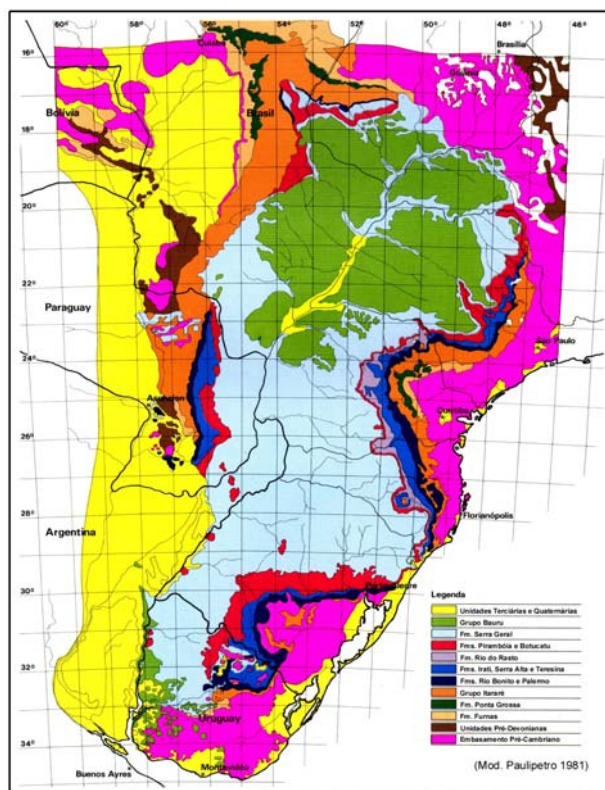
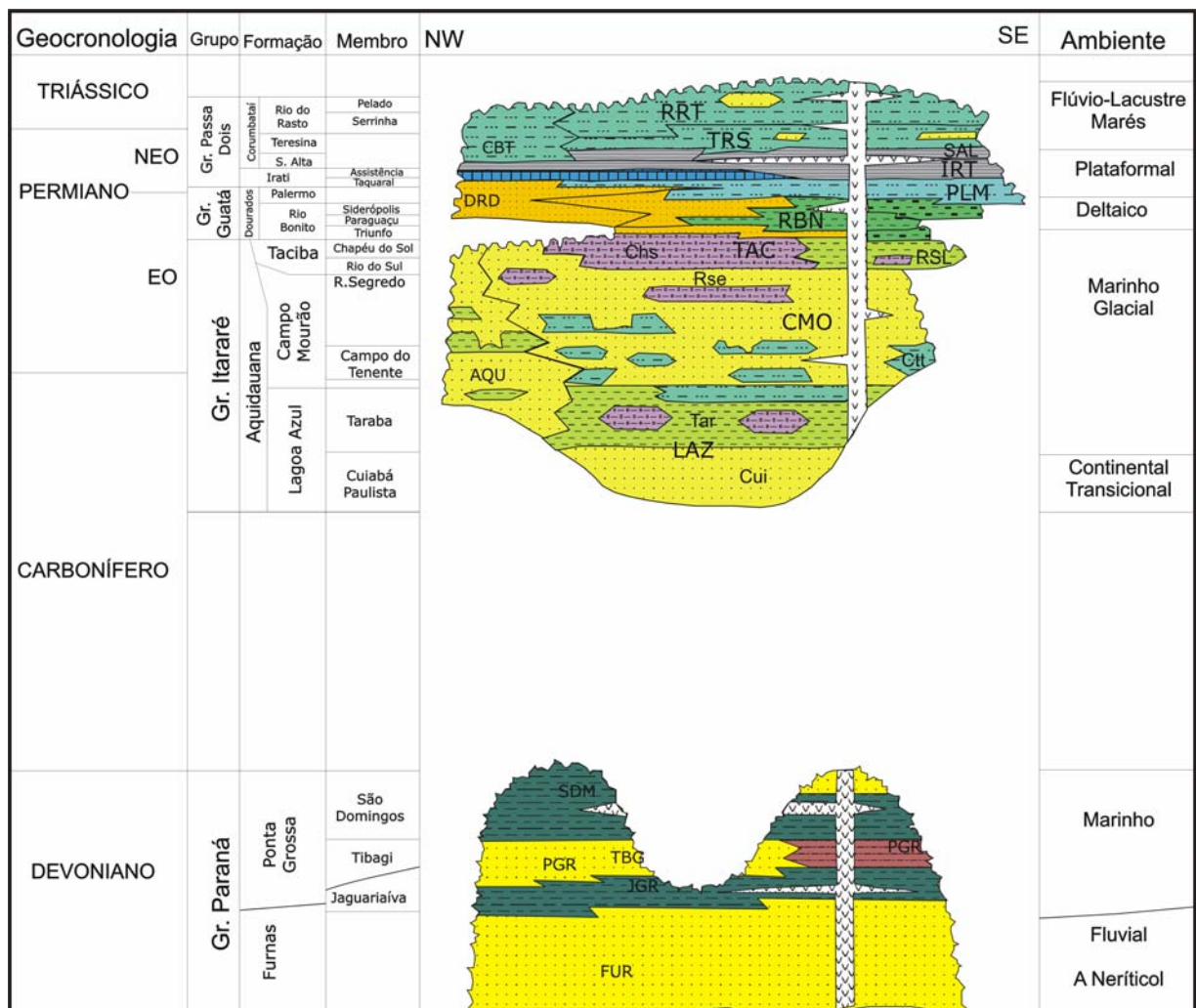


Figura 13: Mapa geológico simplificado da Bacia do Paraná (mod. Paulipetro, 1981).

## 4.2 ESTRATIGRAFIA DA ÁREA

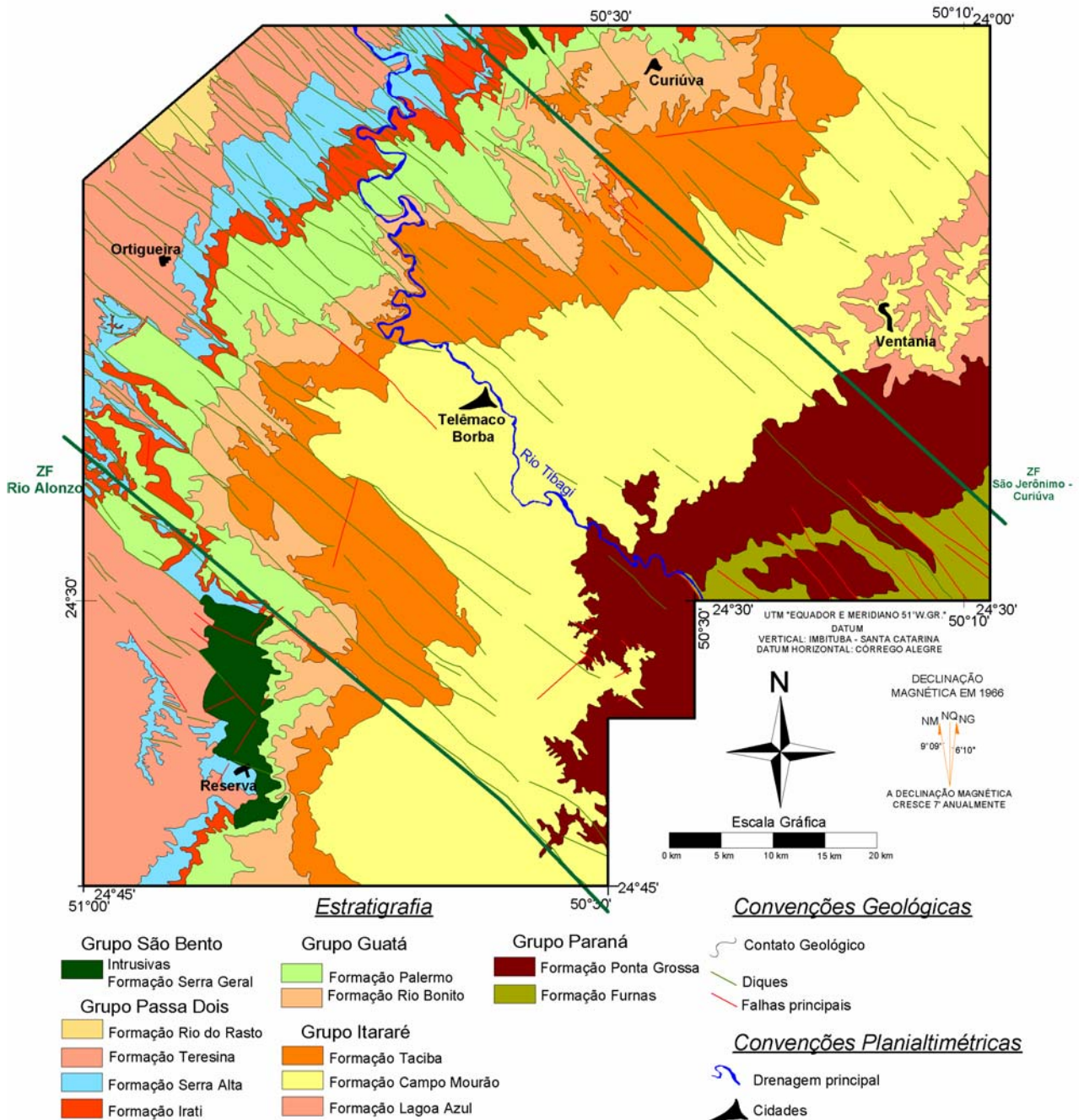
Como já mencionado anteriormente na região estudada afloram rochas pertencentes à Formação Ponta Grossa, Grupo Itararé, Grupo Guatá até a Formação Teresina do Grupo Passa Dois, como mostra a coluna estratigráfica na figura 14.



**Figura 14:** Coluna estratigráfica da área de estudo e parte da Bacia do Paraná (mod. Milani *et al.* 1994).

Neste capítulo estão descritas algumas informações obtidas de bibliografias, mas principalmente concentram-se nos dados obtidos em campo e nas interpretações a partir das imagens de satélite, MDE e fotografias aéreas.

O mapa geológico (fig. 15) foi gerado a partir das informações adquiridas nos afloramentos visitados, (ver mapa de pontos na figura 11), com o apoio da interpretação das imagens e utilizando-se como base o mapa de Cava (1983).



**Figura 15:** Mapa Geológico da área com a distribuição das unidades estratigráficas, a disposição dos principais diques, falhas e as Zonas de Falhas de Zalán *et al.* (1990). Adaptado de Cava (1983) com complementação a partir de trabalhos de campo e análise fotogeológica.



#### 4.2.1 Grupo Paraná - Formação Ponta Grossa

A Formação Ponta Grossa é também referida como Superseqüência Paraná datada do Emsiano ao Frasniano (Milani e Ramos 1998). Esta formação apresenta atributos sedimentológicos e características estratigráficas compatíveis com a máxima inundação do ciclo devoniano da Bacia do Paraná, e também corresponde ao afogamento rápido da plataforma rasa Furnas.

É constituída na base por arenitos transgressivos, passando gradacionalmente para folhelho, folhelho siltico, siltito, localmente carbonoso com intercalações de arenito.

A estrutura sedimentar mais freqüente é a laminação plano-paralela, mas localmente, ocorrem estratificações cruzadas de pequeno porte, marcas onduladas, bioturbações, laminação cruzada e *flaser* e estruturas de escorregamento. O seu conteúdo fossilífero e as estruturas encontradas indicam que parte desta unidade foi depositada em ambiente sob influência de marés. Os folhelhos laminados caracterizam ambiente de águas mais calmas e grande parte de sua deposição se deu em ambiente marinho raso.

A Formação Ponta Grossa é subdividida entre os Membros Jaguariaíva, Tibagi e São Domingos, respectivamente da base para o topo. Na área em questão afloram rochas pertencentes ao Membro São Domingos e ocorrem predominantemente siltitos de coloração ocre, bege, acinzentado e avermelhado. O contato por discordância erosiva entre a Formação Ponta Grossa com o Grupo Itararé foi verificado no ponto n° 73 (foto 4).



**Foto 4:** Contato por discordância erosiva entre o Grupo Itararé e a Formação Ponta Grossa.

#### 4.2.2 Grupo Itararé

Segundo Schneider *et al.* (1974), o termo Itararé foi usado primeiramente por Oliveira (1927), que designou a Série Itararé como sendo todos os sedimentos com influência glacial na Bacia do Rio Itararé no Estado de São Paulo, esta série passou à categoria de Grupo Itararé a partir dos trabalhos de Gordon Jr. (1947) e Maack (1947).

O Grupo Itararé é a unidade litoestratigráfica mais espessa e bem conhecida da Bacia do Paraná. O grupo inicia-se com depósitos continentais na base que passam a marinhos para o topo. França e Potter (1988) através da correlação entre os dados de poços (mapeamento de subsuperfície) subdividiram o grupo em 4 formações: Lagoa Azul, Campo Mourão, Taciba e Aquidauana, esta última, aflorante na porção norte da bacia.

Através das atividades de campo desenvolvidas na área, os afloramentos pertencentes ao Grupo Itararé foram correlacionados às formações Lagoa Azul, Campo Mourão e Taciba.

#### 4.2.2.1 Formação Lagoa Azul

França e Potter (1988) descrevem a Formação Lagoa Azul como a seção basal do grupo em questão. Esta formação ocorre na porção central da bacia e é subdividida nos Membros Cuiabá Paulista, unidade arenosa basal e Membro Tarabaí, unidade superior argilosa. O Membro Cuiabá Paulista foi depositado pela combinação de rios *braided* e leques aluviais. O Membro Tarabaí é composto por siltitos, lamitos seixosos (diamictitos ou tilitos) e alguns corpos arenosos. Soares (1991) correlaciona esta unidade com a Formação Campo do Tenente, no Estado de Santa Catarina, e ao arenito Vela Velha, no Estado do Paraná.

As rochas pertencentes a esta formação foram encontradas nas proximidades da cidade de Ventania (fig.10), porção leste da área estudada. No geral são siltitos de coloração amarelada a rósea com intercalação de níveis arenosos de granulometria grossa. No ponto n° 15 foram verificadas feições de bioturbações. Já no ponto n° 90 ocorre a intercalação de ritmitos e diamictitos que, em análise com o empilhamento estratigráfico proposto por França e Potter (1988), provavelmente corresponde ao topo desta formação. A localização destes pontos são vistos na figura 11.





**Foto 5:** Afloramento da Formação Lagoa Azul com siltitos de coloração amarelada a rósea intercalados com níveis arenosos e ocorrem bioturbações.

#### 4.2.2.2 Formação Campo Mourão

No local estudado a Formação Campo Mourão abrange a maior área de afloramentos do Grupo Itararé.

Através das atividades desenvolvidas, foi possível verificar que ocorrem conglomerados, conglomerados alternados com níveis arenosos, arenitos conglomeráticos de coloração amarelada, siltitos de colorações amareladas que localmente apresentam laminação plano-paralela, *slumps* com intercalação de níveis tabulares arenosos em meio aos siltitos (foto 6), arenitos finos de coloração avermelhada típicos de planícies de lavagem (*out wash*) (foto 7) e arenitos amarelados a avermelhados com granulometria média contendo “bolas” de argila.

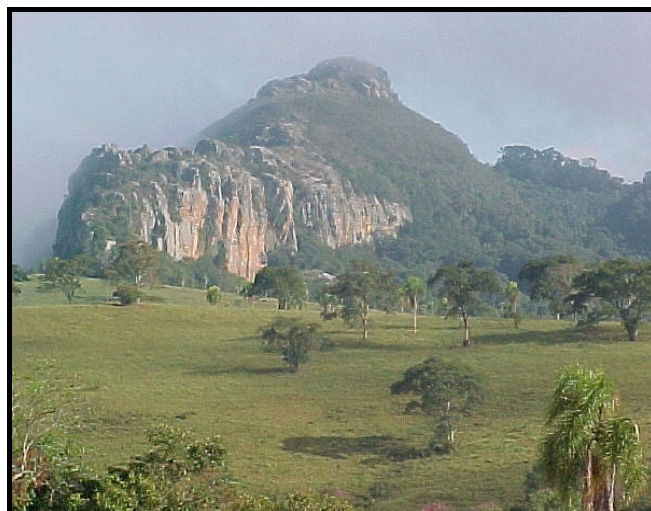


**Foto 6:** Afloramento de níveis tabulares de arenito com siltitos que apresentam-se dobrados - *slump*.

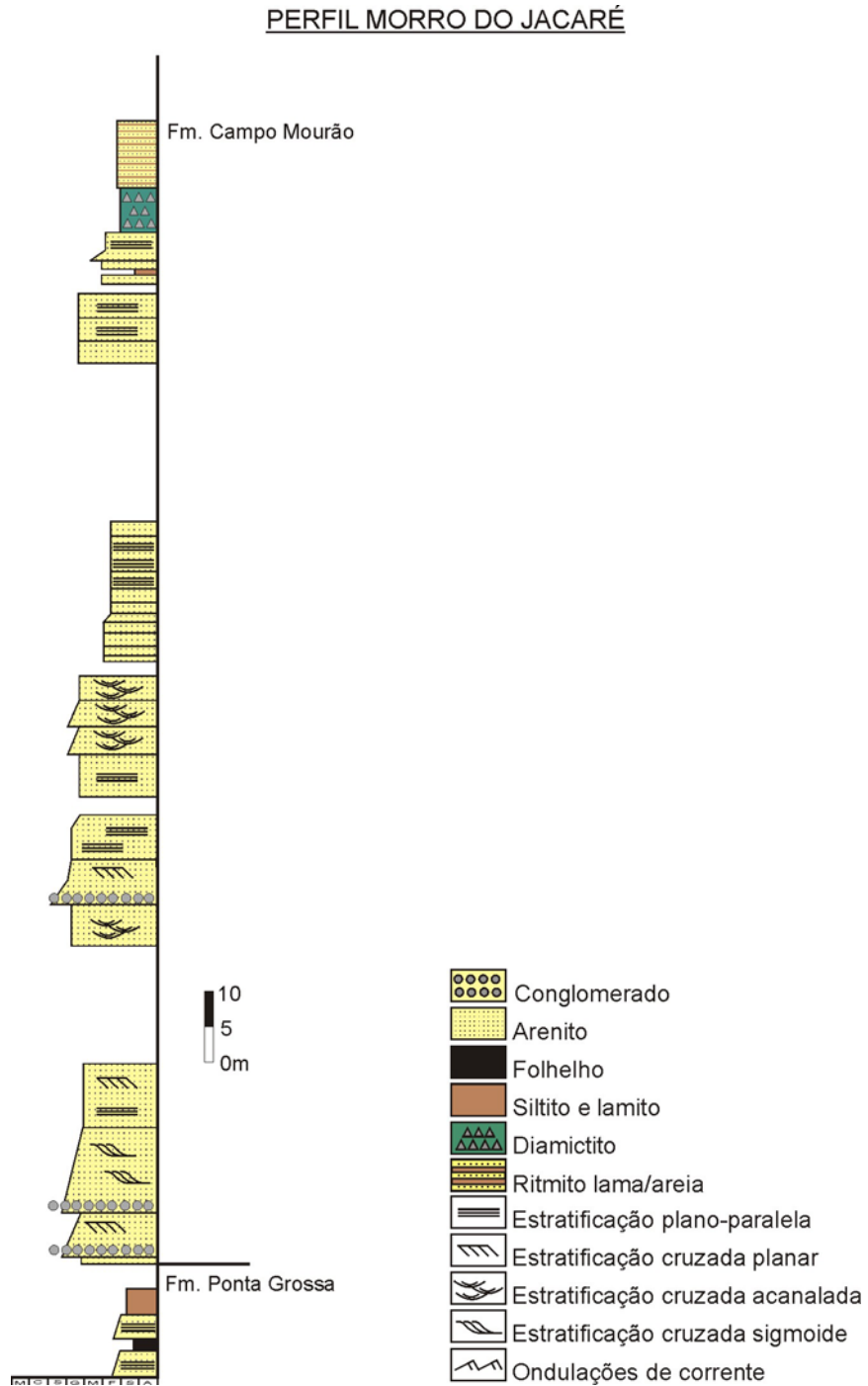


**Foto 7:** Arenitos com coloração amarelada a avermelhada com granulometria média e grãos com seleção pobre.

Inserida na Serra do Roncador, na região conhecida como Morro do Jacaré (foto 6), foi levantado um perfil colunar (fig. 16) desde sua base até sua porção mais elevada.



**Foto 8:** Morro do Jacaré situado na Serra do Roncador, município de Tibagi, com exposição de arenitos da Formação Campo Mourão onde foi levantado o perfil colunar.



**Figura 16:** Perfil colunar do Morro do Jacaré.

#### 4.2.2.3 Formação Taciba

A Formação Taciba, porção superior do Grupo Itararé, é composta por lamito seixoso, arenito, folhelho e siltitos e encontra-se depositada concordantemente sobre a Formação Campo Mourão. A Formação Taciba é subdividida em Membro Rio Segredo, Chapéu do Sol e Rio do Sul.

O Membro Rio Segredo, unidade basal da formação, é no geral, caracterizado por uma unidade arenosa e o Membro Chapéu do Sol é representado por lamitos seixosos típicos de depósitos de geleiras em ambiente subaquático.

A Formação Rio do Sul foi denominada por Schneider *et al.* (1974) devido à seção-tipo encontrar-se nas proximidades da cidade de Rio do Sul em Santa Catarina. Eles descreveram esta formação como composta por argilitos, folhelhos, arenitos finos, ritmitos e diamictitos.

França e Potter (1988) propuseram a mudança da categoria de “formação” para Membro Rio do Sul.

Em campo esta formação é caracterizada por arenitos finos, intercalação de arenitos finos com siltitos de coloração avermelhada, diamictitos de coloração amarelada, diamictitos de coloração cinza escuro, arenitos conglomeráticos de coloração acinzentada, siltitos e arenitos de coloração esbranquiçada a amarelada e silito castanho com presença de “bolas” de argila.





**Foto 9:** Pedreira da cidade de Telêmaco Borba de diamictitos de coloração cinza escuro.



**Foto 10:** Detalhe da pedreira onde se pode visualizar blocos nos diamictitos.

#### 4.2.3 Grupo Guatá – Formação Rio Bonito

A Formação Rio Bonito apresenta depósitos característicos de ambientes deltaicos dominados por rios, tais como conglomerados, arenitos e siltitos na base. Para o topo ocorrem depósitos típicos de ambientes costeiros / marinhos dominados por ondas e marés (Rostirolla *et al.* 2000).

A Formação Rio Bonito é dividida respectivamente da base para o topo nos Membros Triunfo, Paraguaçu e Siderópolis.

Cava (1983) estudando na região em questão, através dos dados de poços realizados na época da exploração do carvão, realizou uma seção tipo da

porção que compreende desde a porção superior do Grupo Itararé, até o Membro Paraguaçu cuja coluna litofaciológica encontra-se na figura 17.

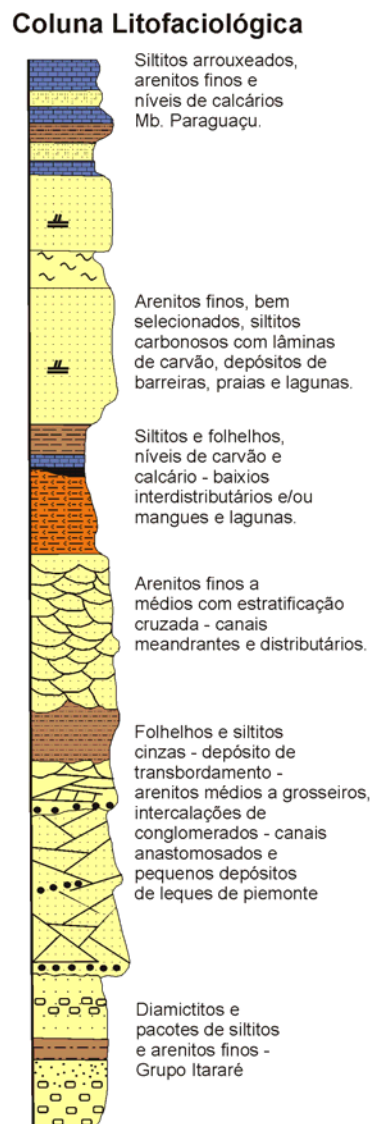
A base do Membro Triunfo corresponde a uma discordância erosiva sobre os diamictitos do Grupo Itararé. Da base para o topo ocorrem arenitos estratificados finos a grossos com gradação para o topo para arenitos muito finos, siltitos e folhelhos carbonosos. Este nível foi interpretado como depósitos de canais de rios anastomosados em transição para planície de rios meandrantés.

A associação de siltitos é composta por siltitos acinzentados e arenitos muito finos com laminações plano-paralelas e onduladas, microestratificação cruzada, bioturbações e níveis de fósseis conhecido como Folhelho Passinho. Este nível segundo Cava (*op cit.*), é interpretado como depósitos formados em ambientes de plataforma marinha.

Os arenitos finos a muito finos são bem selecionados, micáceos e calcíferos, com intercalações de siltitos e leitos de cálcio-arenitos e níveis de arenitos finos a médios com contato basal erosivo. As estruturas encontradas são: microestratificações cruzadas, laminação plano-paralela e ondulada e bioturbações locais. Esta associação é interpretada como depósitos de barras de desembocadura, barras distais e barreiras de frente deltaica, localmente cortadas por canais distributários.



**Foto 11:** Níveis de conglomerados intercalados com níveis de arenitos com granulometria média e grãos bem selecionados.



**Figura 17:** Coluna Litofaciológica elaborada por Cava (1983) com base em estudos realizados na região entre Telêmaco Borba e Ipiranga.

#### 4.2.4 Grupo Guatá – Formação Palermo

Um outro evento de inundação que ocorreu acima da Formação Rio Bonito resultou em depósitos de lamitos da Formação Palermo.

Na área de estudo ocorrem siltitos de colorações esverdeadas a amareladas.

#### 4.2.5 Grupo Passa Dois

A porção aflorante do Grupo Passa Dois na região estudada, é representada pelas formações Irati, Serra Alta, Teresina. Este grupo corresponde a uma seção regressiva que foi acomodada por um ciclo de subsidência renovada do embasamento, culminando nos depósitos eólicos da Formação Pirambóia.

Poucos afloramentos deste grupo foram descritos em campo. O ponto 55 (fig. 11), onde afloram rochas da Formação Irati, é caracterizado por um silito de coloração acinzentada com lentes decimétricas de argila e ocorrem também fósseis.

No ponto n°129 ocorre a exposição de siltitos da Formação Serra Alta que se apresenta pastilhado. Já no ponto n°1 aflora rocha da Formação Teresina e é caracterizado por silito de coloração cinza claro com estratificação plano-paralela e em alguns planos ocorrem gretas de contração. No ponto n°130 afloram rochas igualmente pertence à Formação Teresina e ocorre um nível de arenito fino onde foram verificadas estruturas *hummocky* (foto 13).





**Foto 12:** Níveis de conglomerados intercalados com níveis de arenitos com granulometria média e grãos bem selecionados.



**Foto 13:** Níveis arenosos da Formação Teresina onde verificou-se a estrutura *hummocky*.

## **5 ARCABOUÇO ESTRUTURAL**

A superposição de eventos tectônicos rúpteis, aliada à complexidade marcada pelo cruzamento de estruturas, NE com NW, e a descontinuidade do registro estrutural, dificultou a determinação da cronologia dos eventos deformacionais. Sendo assim, procurou-se realizar um agrupamento dos elementos estruturais em *trends* estruturais, cujas características apresentam-se semelhantes, com a discriminação da cronologia dos eventos somente nos locais onde o registro estrutural é melhor definido. As direções estruturais foram divididas entre as direções NE, NW e serão abordadas no decorrer do capítulo.

A análise estrutural destas direções foi realizada com base nos dados coletados em campo, aliada à interpretação e integração das imagens de satélite com o MDE, fotografias aéreas e mapa de contorno do topo do Grupo Itararé (fig. 29). Esta análise teve início com estudos na escala regional através da interpretação das imagens e finalizou na escala de afloramentos.

Em campo, procurou-se coletar principalmente os dados geométricos das estruturas, tais como a tipologia de sistemas de juntas e falha, seus indicadores cinemáticos, bem como os tipos de preenchimentos das fraturas e bandas de deformação.

A comparação das deformações encontradas na área com as deformações descritas por Rostirolla *et al.* (2003a), Strugale (2002) e Strugale *et al.* (2003), foi de fundamental importância para o entendimento das deformações encontradas. No entanto, a presença de falhas com cinemática inversa na direção NE e também o

arranjo resultante da recorrência de movimentos ao longo das direções NW e NE, na área estudada, obliteraram o registro de parte destas deformações.

A evolução da Bacia do Paraná foi influenciada por diversos eventos tectônicos, a partir da cratonização do embasamento com o fim do Ciclo Brasileiro, resultando na reativação e geração de novas falhas (Soares 1991). As principais estruturas encontradas na bacia são produtos da reativação de falhas e direções de fraqueza do embasamento por propagação de tensões dos eventos orogênicos nas bordas da placa (Rostirolla *et al.* 2000 e 2003a e Soares 1991).

Segundo Soares (1991), as reativações com direção NE, de caráter transcorrente dextral, controlaram a deposição dos Grupos Itararé e Guatá durante o Carbonífero e início do Permiano. Entre as estruturas reativadas, a Zona de Falha da Jacutinga - ZFJ, ou a Faixa PT3, indica a atividade mais intensa.

Para Cordani *et al.* (1984) a ZFJ, é uma das mais importantes e foi interpretada como uma faixa estrutural de escala litosférica. Constitui um divisor geotectônico considerável, que separa os terrenos do Maciço de Guaxupé e Faixa Brasília, a norte, das faixas Ribeira e Dom Feliciano, a sul.

Soares *et al.* (1996) caracterizaram a ZFJ como uma faixa de 15 Km de largura, composta por um conjunto alinhado de falhas em feixe ou localmente “*en echelon*”, onde se alternam altos e baixos alinhados a N50-60E. No domínio desta faixa, existem falhas mestras como a Falha Joaquim Távora e Quatiguá (Rostirolla *et al.* 2000).

Rostirolla *et al.* (2000) descrevem como o primeiro evento tectônico, pós-deposicional e anterior ao magmatismo Eo-Cretáceo, a deformação transcorrente mais intensa nos estratos neopaleozóicos. Pela ocorrência de diques nas falhas NE, que se apresentam pouco ou nada deformados, com relação à zona de falha encaixante, os autores supõem uma deformação anterior ao Eo-cretáceo. Para eles, as falhas NE de caráter sinistral, anteriores ao magmatismo básico, podem estar relacionadas ao reflexo da propagação de tensões da colisão da Patagônia com a América do Sul, conhecida como Orogenia *La Ventana* (Ramos, 1988, Tankard *et al.* 1996, Milani 1997). Esta orogenia, com tensão máxima ( $\sigma_1$ ), na direção aproximada de sul - norte, condicionou a reativação da ZFJ com direção N55E.

O evento magmático do Eo-cretáceo foi gerado na época de abertura do Oceano Atlântico Sul, cuja anomalia termal, efeito do estiramento litosférico e da ascensão da pluma, promoveram um grande volume de basaltos toleíticos, configurando uma atividade ígnea associada a tectônica distensional (Rostirolla *et al.* 2000).

O Arco de Ponta Grossa, gerado neste evento, é uma das estruturas regionais mais proeminentes da Bacia do Paraná e seu eixo orientado segundo NW é acompanhado pelos alinhamentos estruturais-magnéticos Guapiara, Rio Piquiri, São Jerônimo - Curiúva e Rio Alonzo. Na área estudada ocorrem estes dois últimos alinhamentos que são caracterizados por delimitarem a charneira do arco.

Para alguns autores o Arco de Ponta Grossa é o produto da reativação de planos de fraqueza do embasamento e sua direção, NW - SE, está

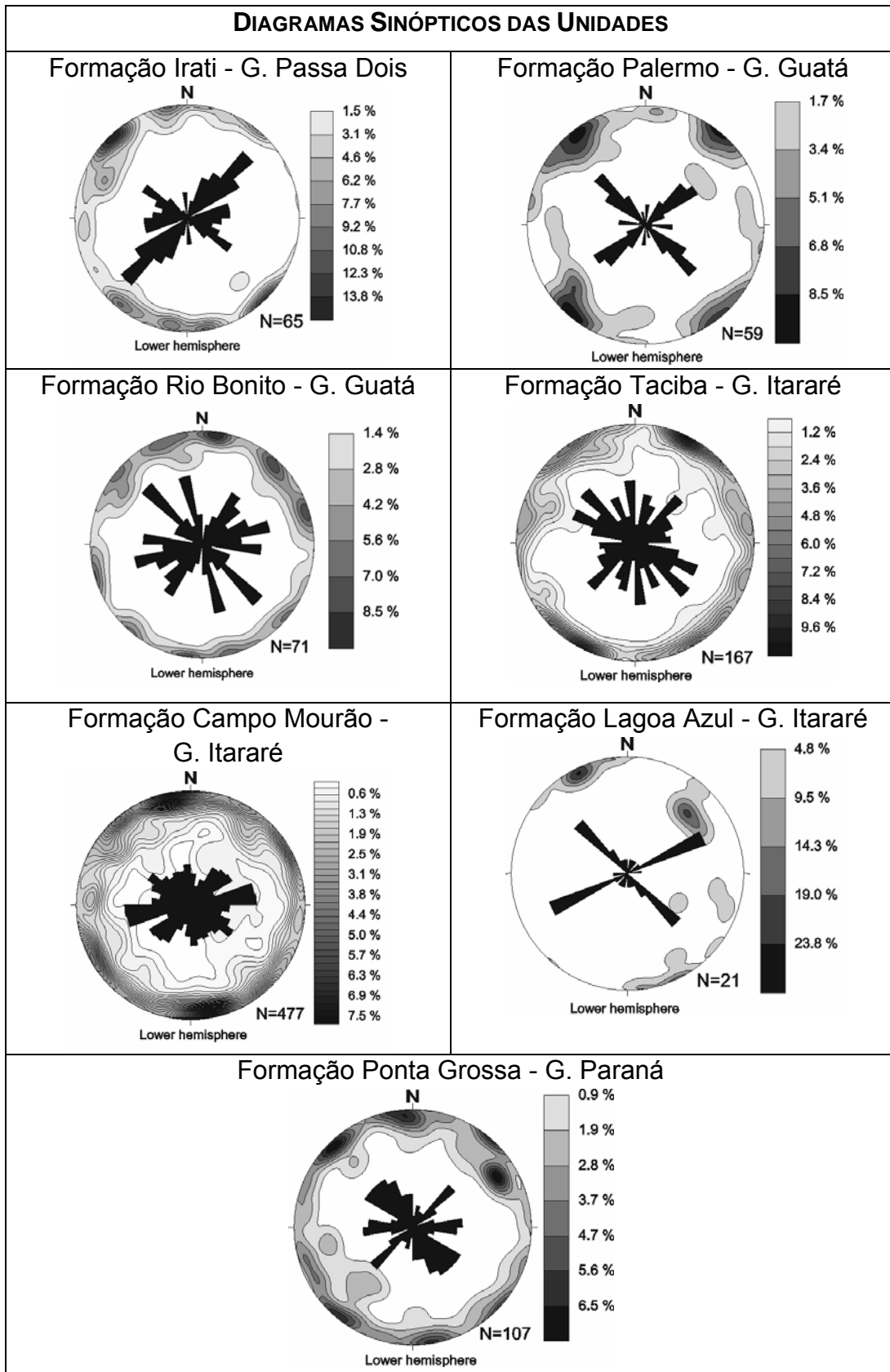
posicionada paralelamente ao  $\sigma_1$  do Evento Brasileiro (Ferreira 1982 e Zalán *et al.* 1990). No entanto, sua principal deformação registrada deve refletir eventos mesozóicos e cenozóicos.

## 5.1 ANÁLISE DESCRITIVA DE DADOS DE CAMPO

O tratamento e análise das informações provenientes tanto da observação indireta (imagens de satélite, MDE e fotografias aéreas), quanto da observação direta (campo), proporcionaram o entendimento das propriedades geométricas derivadas da morfologia, cinemática, arranjo e a quantificação das falhas e estruturas de juntas.

Dentre as diversas estruturas encontradas, as juntas isoladas são mais abundantes. No geral a geometria das juntas é plana, podendo ocorrer também formas onduladas ou irregulares. Podem apresentar-se tanto fechadas quanto abertas. Verificam-se feições escalonadas nas zonas fraturadas, tanto em escala regional, pela análise de imagens de satélite e MDE, quanto em afloramento.

Para um melhor entendimento da configuração dos planos de fraturas verificados nos afloramentos, foram confeccionados diagramas de rosetas e estereogramas de cada unidade estratigráfica (fig. 18).



**Figura 18:** Diagramas de rosetas e de contorno das fraturas divididas pelas unidades estratigráficas. (N= número de medidas).

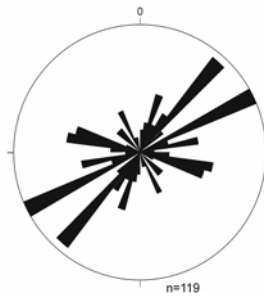
Os diagramas sinópticos das fraturas mostram direções preferenciais variáveis para cada unidade. As fraturas da Formação Ponta Grossa apresentam modas principais entre N40-60W, N50E e E-W. Os afloramentos da Formação Lagoa Azul, encontram-se em uma porção restrita da área ocasionando a concentração em dois padrões de fraturas bem definidos. A distribuição das fraturas na Formação Campo Mourão apresenta-se difusa mas com sutil tendência para a direção N70E – E-W. As fraturas das formações Taciba e Rio Bonito apresentam-se disseminadas não revelando uma direção preferencial, já na Formação Palermo ocorrem direções de fraturas bem definidas nas modas N45W e N45E. Na Formação Irati predomina a moda N45E para a distribuição das fraturas.

#### 5.1.1 Tipo de Preenchimento

Quando as fraturas ocorrem abertas podem estar preenchidas por argila, quartzo, calcita, óxido de manganês e hidróxido de ferro ou podem ocorrer apenas abertas e não preenchidas. O diagrama sinóptico das fraturas abertas de todas as unidades revela a moda entre N50E e N70E, como mostra o diagrama da figura 19.

Os preenchimentos encontrados na Formação Ponta Grossa são de hidróxido de ferro. Na Formação Lagoa Azul o preenchimento se dá por óxido de manganês e na Formação Campo Mourão ocorrem preenchimentos de hidróxido de ferro, argila, carbonato de cálcio e óxido de manganês. Preenchimentos de óxido de manganês também são verificados na Formação Taciba e localmente preenchimento de quartzo.

Na Formação Rio Bonito os preenchimentos são de calcita, arenito e hidróxido de ferro, sendo que este último também foi encontrado na Formação Irati. Na Formação Serra Geral encontrou-se predominantemente preenchimento de calcita e secundariamente pirita e zeólitas.



**Figura 19:** Diagrama sinóptico de todas as fraturas abertas e preenchidas encontradas na área de estudo.

### 5.1.2 Bandas de Deformação

Segundo Aydin, 1978 (*apud* Strugale, 2002), as bandas de deformação são geradas por processos de cisalhamento em arenitos porosos, onde a progressão da deformação é acomodada por colapso de porosidade, fraturamento em escala de grão, redução da granulometria por cominuição e fluxo cataclástico.

Trzaskos-Lipski *et al.* (2003) investigando a faixa de afloramentos da Formação Campo Mourão, com enfoque na microtectônica, dividiu as bandas de deformação em duas classes: as bandas de deformação silicificadas - BDS e as bandas de deformação caracterizadas pela cominuição do tamanho dos grãos – BDC. Para estes autores as BDS apresentam um nível silicificado definido com empacotamento fechado por sobrecrecimento de grãos de quartzo. Este



empacotamento estaria relacionado à remobilização e à precipitação da sílica em consequência do aumento do fluxo de fluidos na zona de falha.

Para as bandas tipo BDC, Trzaskos-Lipski *et al.* (op cit.) os grãos encontram-se cominuídos e associados a um fraturamento irregular dos grãos na borda da zona de falha e um pequeno sobrecrescimento dos grãos, provavelmente associado a menor circulação de fluidos.

As bandas de deformação, BDS e BDC teriam sido originadas com as mesmas tensões regionais, verificadas através da regularidade na distribuição e orientação das fraturas, porém sob condições de pressão de poros, pressão de confinamento e permeabilidade da rocha pontualmente distintas. Naquele estudo os autores definem que na época da nucleação das fraturas as BDS apresentavam características de conduto ao fluxo de fluidos, mas, atualmente em função do processo de silicificação, apresentam-se como barreiras. Já as BDC teriam gerado cominuição incipiente dos grãos, sendo atualmente os principais condutos ao fluxo de fluidos.

As ocorrências de bandas de deformação em afloramento são restritas aos arenitos da Formação Campo Mourão (fig. 20).

O diagrama sinóptico realizado com as atitudes das bandas de deformação indica a moda N70E.



**Figura 20:** Bandas de deformação encontradas nos arenitos da Formação Campo Mourão no Morro do Jacaré (ponto 78), e o diagrama de rosetas, ao lado, com as direções das bandas de deformação em geral.

### 5.1.3 Estrias

As estrias, que são estruturas lineares geradas por atrito ou lineações minerais desenvolvidas a partir de plano de falha, não foram observadas na maioria dos afloramentos. Dos 115 afloramentos descritos, em apenas 12 foram encontradas as estrias e dentre esses os mesmos, poucas estavam associadas à *steps*.

A figura 34, apresentada no final deste capítulo, mostra também os pontos de ocorrência das estrias e a projeção delas nos seus planos.

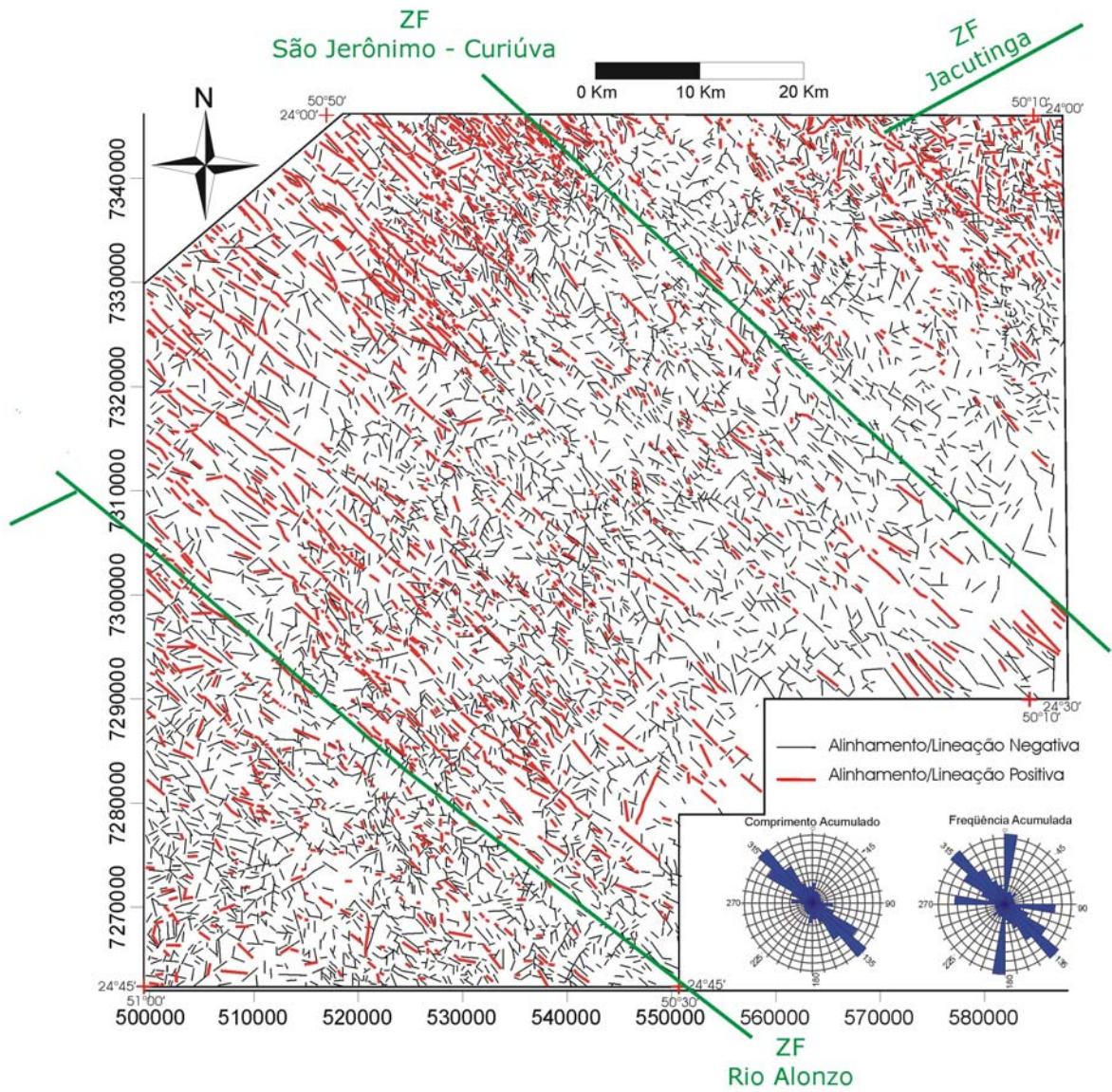
## 5.2 LINEAMENTOS

Alinhamentos e lineações de relevo correspondem a feições retilíneas ou levemente curvas representadas por cristas e vales. A diferença entre ambos

consiste em sua dimensão, maior nos alinhamentos e menor nas lineações. O conjunto das feições que foram extraídas das imagens de satélite, fotos aéreas e do MDE, resultou no mapa de alinhamentos e lineações (fig. 21).

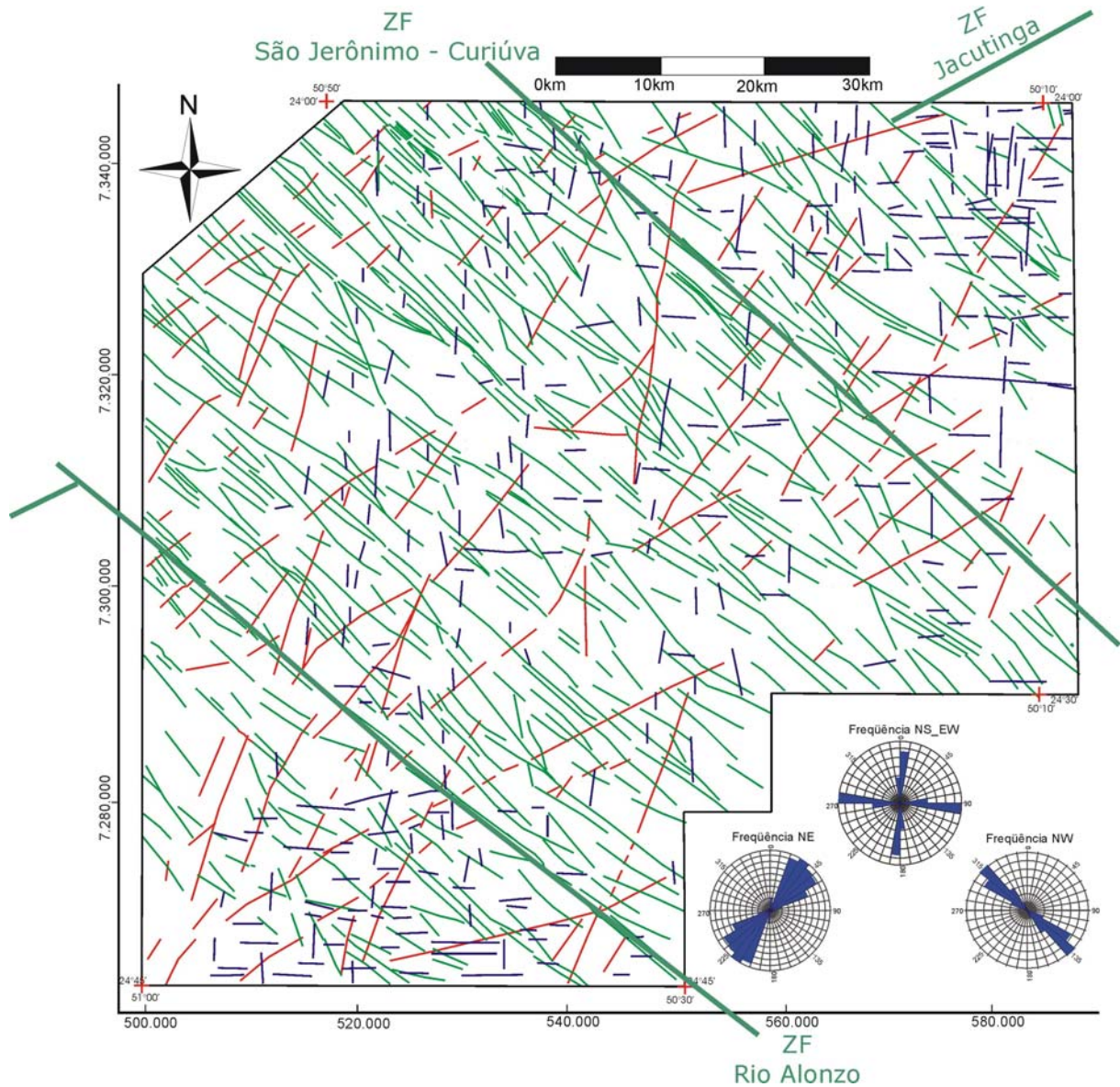
Durante o traçado procurou-se não duplicar os elementos, ou seja, no caso de ocorrerem feições lineares negativas e positivas um ao lado da outra e com a mesma direção, admitiu-se apenas um dos traços, que no geral, foram os elementos negativos.

Através do mapa de feições lineares iniciou-se a interpretação, com base na continuidade e na frequência de cada traço ao longo de feixes estruturais, que resultou no mapa dos lineamentos filtrados neste caso, os lineamentos são definidos através da interpretação de alinhamentos ou conjuntos de lineações estruturais que apresentam controle geológico. Inicialmente traçaram-se os lineamentos com direção NW (figs. 22 e 23), posteriormente aqueles com direção NE e finalmente os lineamentos com direção N-S e E-W. Os diagramas de rosetas da figura 21 mostram as principais direções de lineamentos distribuídas entre N40-60W, N20-70E e N-S e E-W.

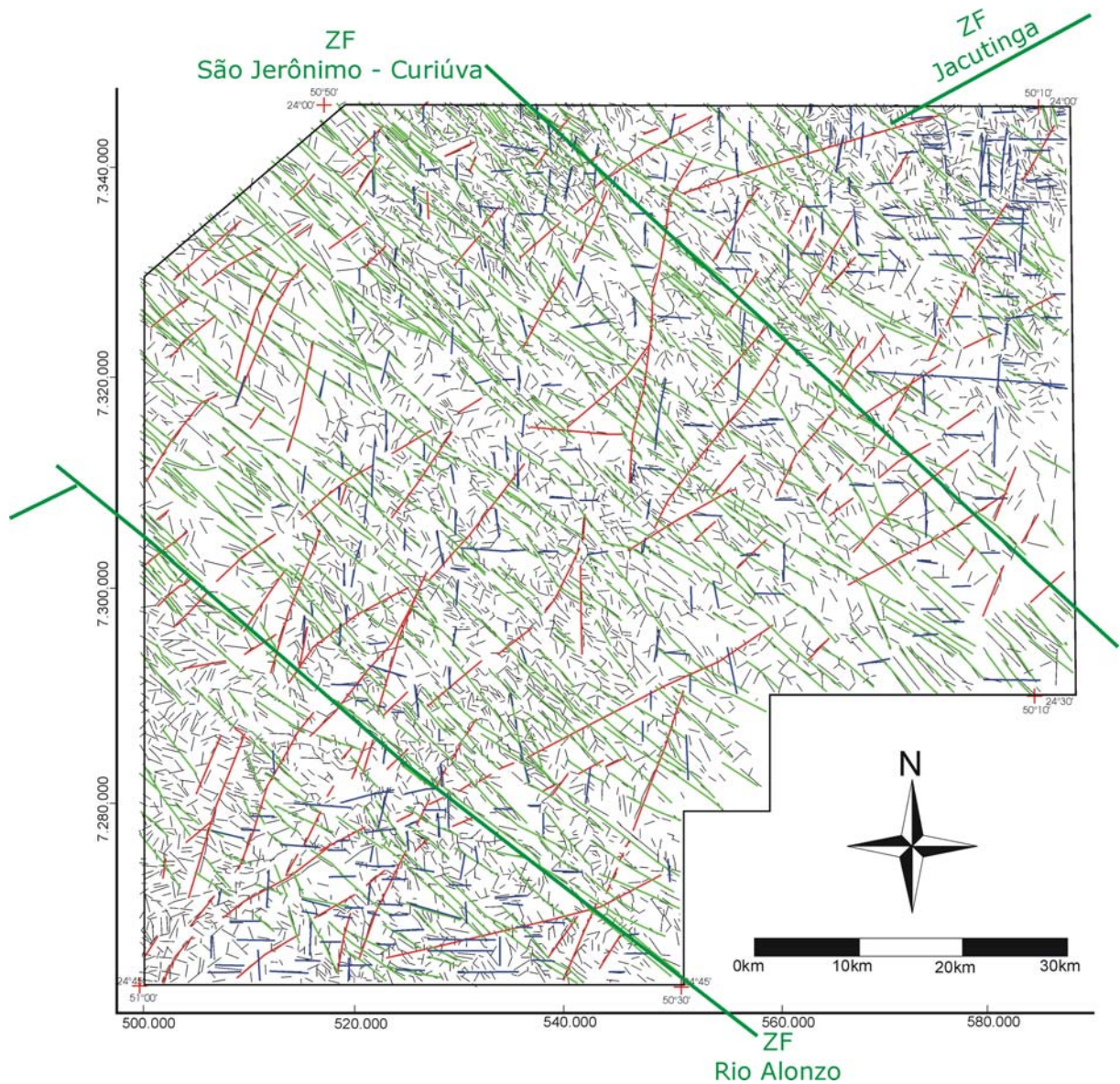


**Figura 21:** Mapa das feições lineares extraídas de imagem de satélite, MDE e fotografias aéreas. As feições positivas correspondem às cristas e as negativas aos vales.





**Figura 22:** Mapa de lineamentos interpretados com base na continuidade e freqüência dos alinhamentos e lineações de relevo, com diagramas da freqüência dos lineamentos das direções NW, NE e NS-EW.



**Figura 23:** Mapa de feições lineares traçadas e lineamentos sobrepostos. A interpretação dos lineamentos iniciou-se com os lineamentos com direção NW, seguido dos NE e finalizando com NS-EW.

### 5.2.1 Direções NW

Os lineamentos NW, com moda entre N40-60W, são os mais evidentes tanto nas imagens de satélite quanto no MDE e correspondem principalmente às falhas associadas ao enxame de diques do Arco de Ponta Grossa.

A ocorrência destes lineamentos está concentrada principalmente na faixa entre as Zonas de Falha São Jerônimo – Curiúva e Rio Alonzo onde, alguns destes lineamentos, apresentam-se mais contínuos chegando a comprimentos na ordem de 60 Km.

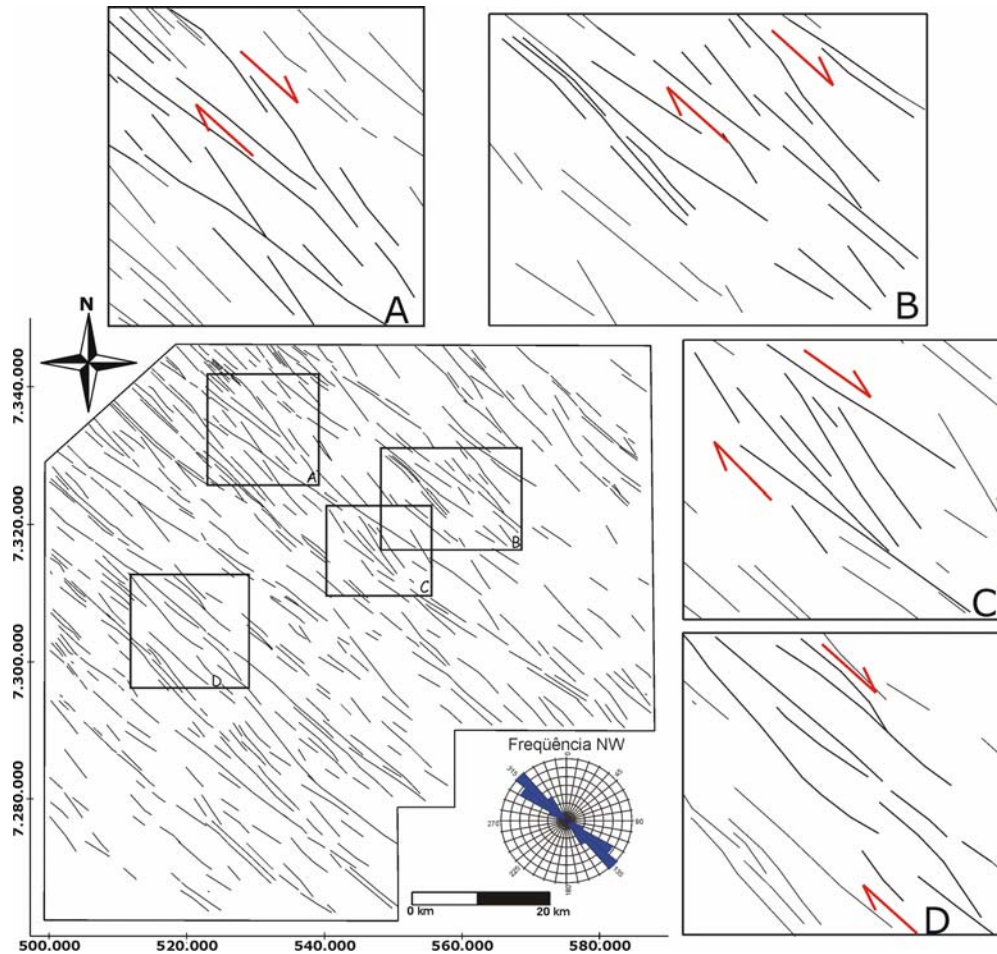
As Zonas de Falha São Jerônimo – Curiúva e Rio Alonzo são os principais *trends* estruturais encontrados na direção NW. No domínio da Zona de Falha São Jerônimo – Curiúva as estruturas foram caracterizadas, em imagem, predominantemente por traços contínuos e retilíneos e localmente arranjados em forma de feixes. Os traços estão dispostos em formas escalonadas, que indicam uma movimentação de caráter dextral, conforme mostra a figura 24 nos blocos A, B, C e D. O bloco D, localizado nas proximidades do domínio da Zona de Falha Rio Alonzo, também apresenta um caráter dextral embora algumas falhas tenham revelado caráter sinistral.

Ambos os domínios apresentam-se destacados no relevo e seus lineamentos são contínuos e no geral, retilíneos.

O diagrama de rosetas composto dos lineamentos NW, figura 24, revela a moda entre N40-60W.

Nas porções NE e SW da área diminui-se a frequência e o comprimento dos lineamentos NW, o que é visto tanto na figura 24 abaixo, quanto nos mapas de contorno das figuras 28 O e P, apresentados do decorrer do capítulo.





**Figura 24:** Detalhe do mapa de lineamentos com direção NW que apresentam formas escalonadas e revelam uma movimentação estrutural de caráter dextral.

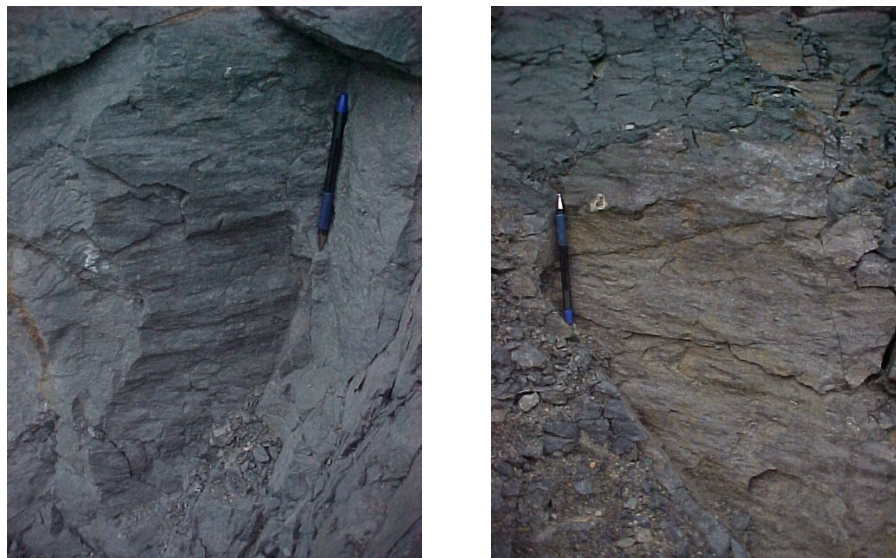
Dentre as falhas NW encontradas, prevalecem os registros com cinemática transcorrente dextral como pode ser verificado na figura 34, apresentada no final do capítulo. No geral apresentam geometria retilínea seguida de ondulada e as fraturas são penetrativas e sistemáticas. São caracterizados por uma deformação distensional pois parte destas fraturas apresentam-se abertas e na sua maioria preenchidas.





**Foto 14:** Sigmóide que em planta apresenta movimentação dextral nos folhelhos da Formação Ponta Grossa e ao lado direito a visualização do sigmóide e suas atitudes.

As falhas de direção NW com cinemática sinistral não são muito frequentes nos afloramentos descritos e apresentam geometria irregular.



**Figura 25:** Plano N74W/85NE com estrias 112/10 com indicação de movimento sinistral evidenciado pelos *steps* à esquerda. A direita o plano irregular com medida N57W/87SW.

### 5.2.2 Direções NE

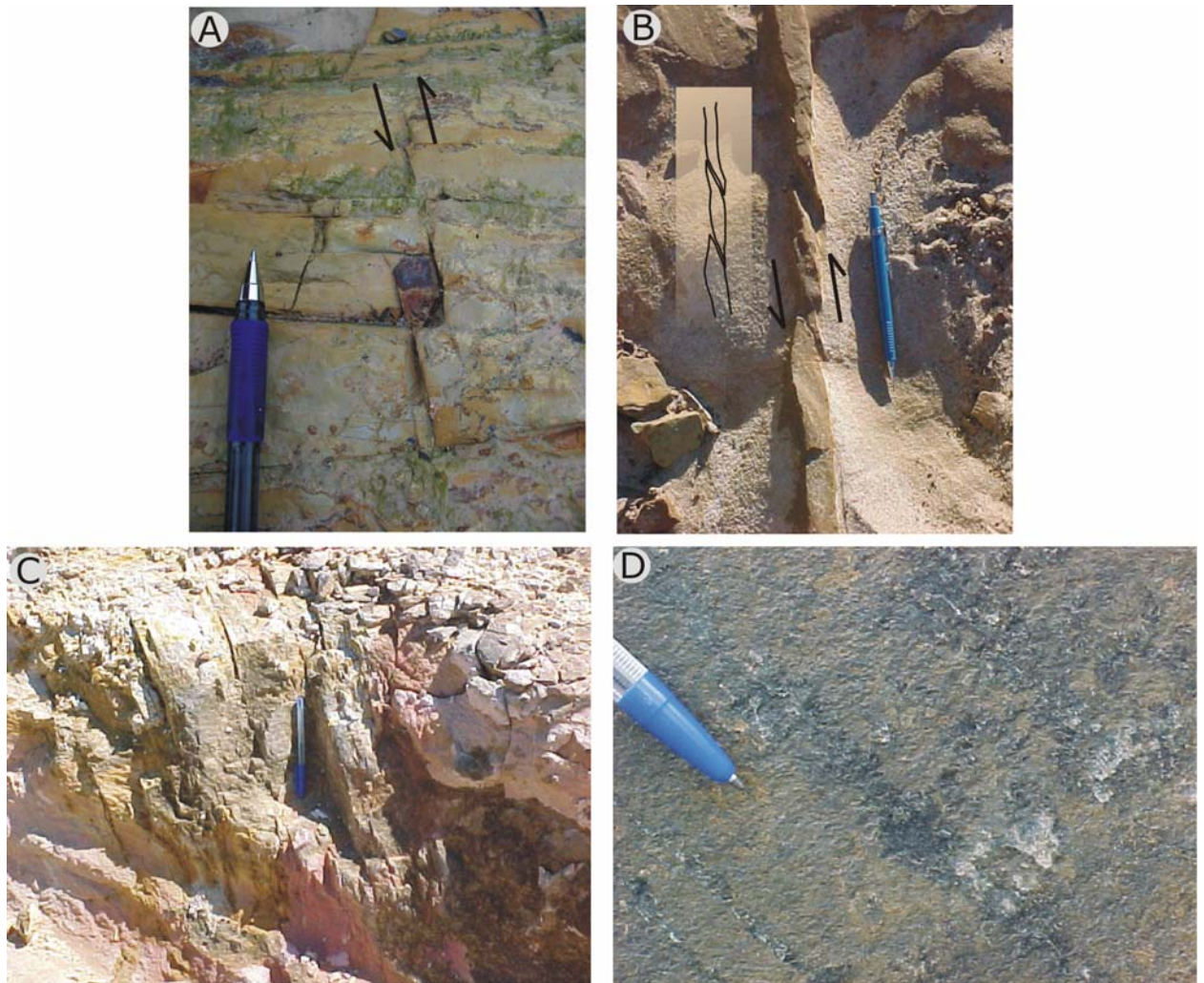
Na área de estudo os lineamentos com direção NE apresentam traços mais segmentados e espaçados, conforme mostra a figura 22, sendo esta

direção bem definida entre N20-70E. Já na porção SE a direção dos lineamentos apresenta-se condicionada ao trende N60E - S.

Os mapas de contorno do comprimento e freqüência acumulada (figs. 28 A e B), mostram que a direção NE é bem evidente na porção central da área e, se analisados junto ao mapa de freqüência acumulada, é possível definir que tal direção, marcante à NE, representa a Zona de Falha da Jacutinga.

Nas estruturas NE encontradas observa-se cinemática tanto de caráter transcorrente sinistral quanto dextral.

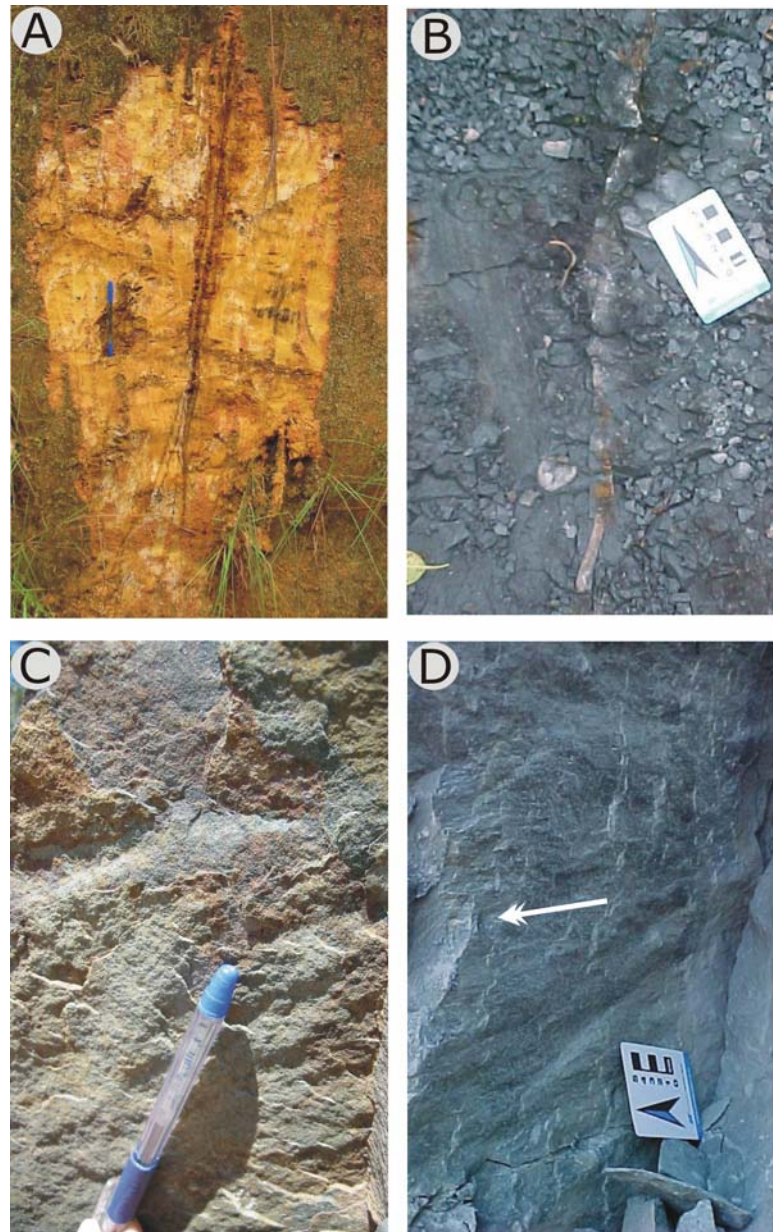
Os registros encontrados em afloramentos indicam que as transcorrentes sinistrais apresentam geometria anastomosada e seus traços são mais segmentados e pouco contínuos ocorrendo também estruturas retilíneas e sistemáticas, as quais localmente apresentam-se abertas e preenchidas. Esses registros foram encontrados em rochas pertencentes das Formações Ponta Grossa, Campo Mourão, Taciba, Serra Alta e Serra Geral (fig. 26).



**Figura 26:** Falhas com direção NE e caráter sinistral. a) Fraturas riedel escalonadas (N12E/85SE) nos folhelhos da Formação Ponta Grossa; b) Escalonadas na Formação Campo Mourão, com cinemática sinistral (N83E/85SE); c) Cinemática sinistral e planos anastomosados com direção N66E/87NW; d) Falhas com estrias no carbonato de cálcio com plano N20E/87NW da Formação Serra Geral.

A deformação com cinemática transcorrente dextral foi encontrada em afloramentos das Formações Taciba, Irati e Serra Alta. A geometria apresenta-se variada entre retilínea e anastomosada e a fratura pode encontrar-se aberta e até preenchida por quartzo (fig.27).





**Figura 27:** Falhas com direção NE e caráter dextral. a) Fratura preenchida por hidróxido de ferro com direção N32E/70SE, Formação Taciba; b) Fratura preenchida por quartzo com plano N27E/65SE; c) Plano de falha na formação Serra geral com caráter normal dextral no plano N74E/74SE; d) Plano de falha com *steps* nos diamictitos da Formação Taciba com plano N48E/76NE.

### 5.2.3 Direções N-S e E-W

Estes lineamentos apresentam-se no geral mais espaçados e seus traços são retilíneos e descontínuos.

Na porção central da área entre o domínio das Zonas de Falha São Jerônimo-Curiúva e Rio Alonzo, os feixes com direção N-S ocorrem de forma dispersa e os lineamentos com direção E-W, concentram-se nas extremidades da porção NE e SW. A figura 22 e os mapas de contorno apresentados no item seguinte, nas figuras 28 I e J, mostram que estas direções estão bem marcadas na porção NE da área.

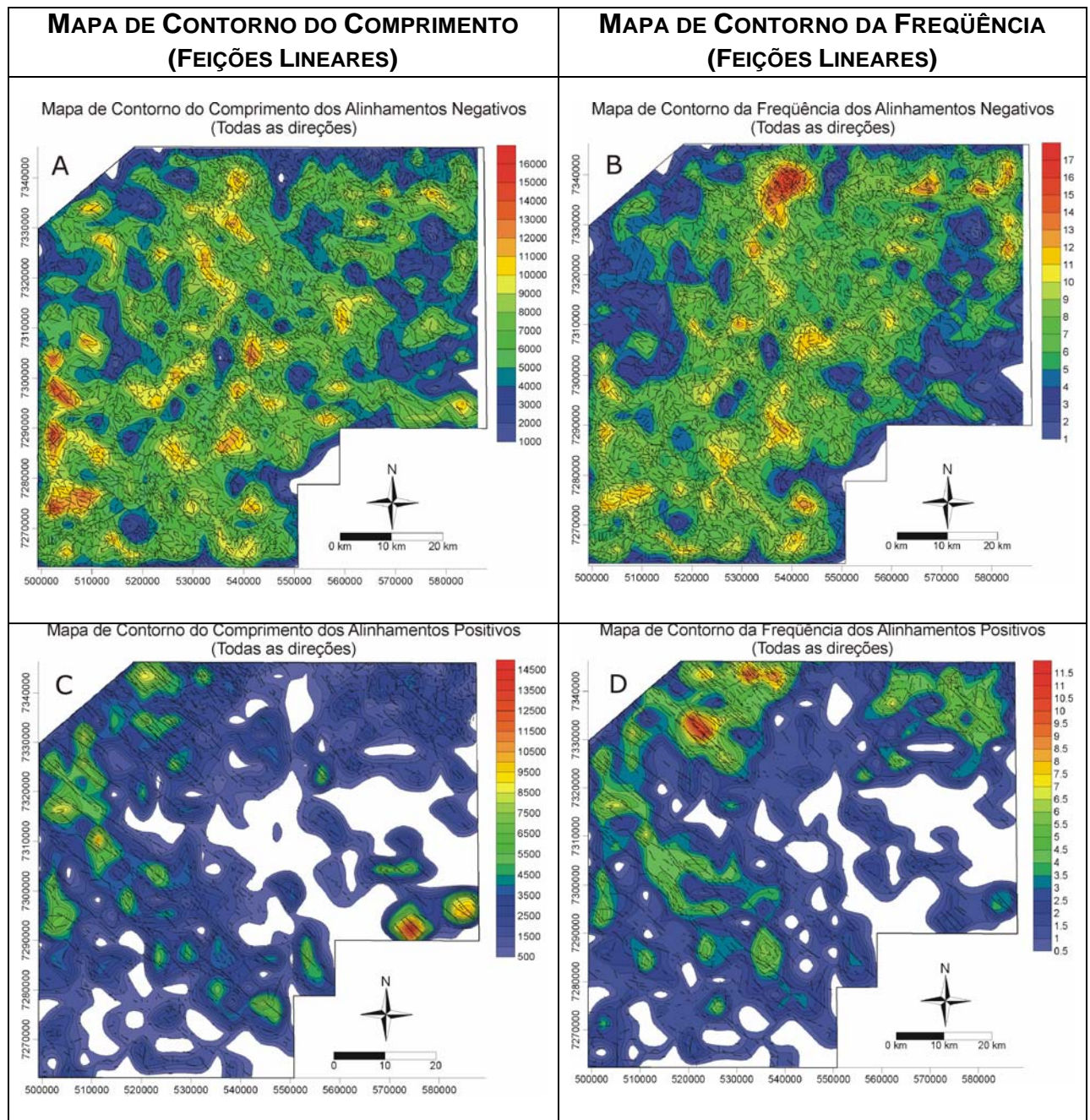
### 5.3 MAPAS DE CONTORNO

Com base nos mapas das figuras 21 e 22 foram gerados mapas de contorno da frequência e do comprimento acumulado através do programa Rockworks ®. A geração destes mapas teve como objetivo auxiliar a visualização e a quantificação dos lineamentos, que traduzem o grau de deformação da região.

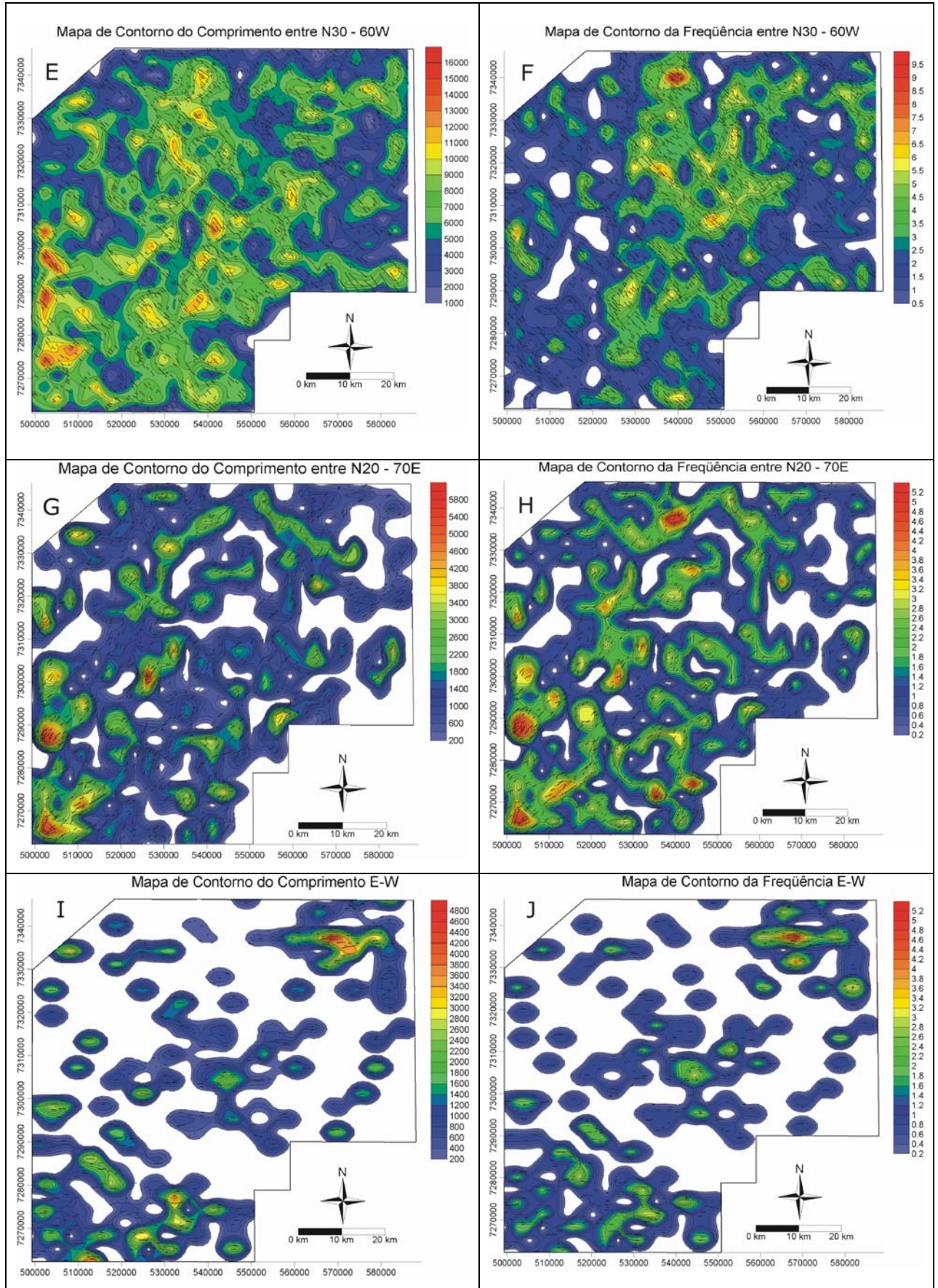
A metodologia utilizada para todos os mapas de contorno, consistiu em interpolar, a partir de uma malha de 3 Km x 3 Km, a quantidade de traços, bem como a somatória de seus comprimentos, resultando respectivamente nos mapas de frequência acumulada e de comprimento acumulado.

Os vários mapas de contorno referem-se à filtragem dos diferentes *trends* estruturais e caráter de lineamentos positivos ou negativos, que estão apresentados nas figuras 28 e 29 e discutidos na seqüência das figuras. A individualização destas informações teve o objetivo de visualizar a disposição das porções mais deformadas em separado.

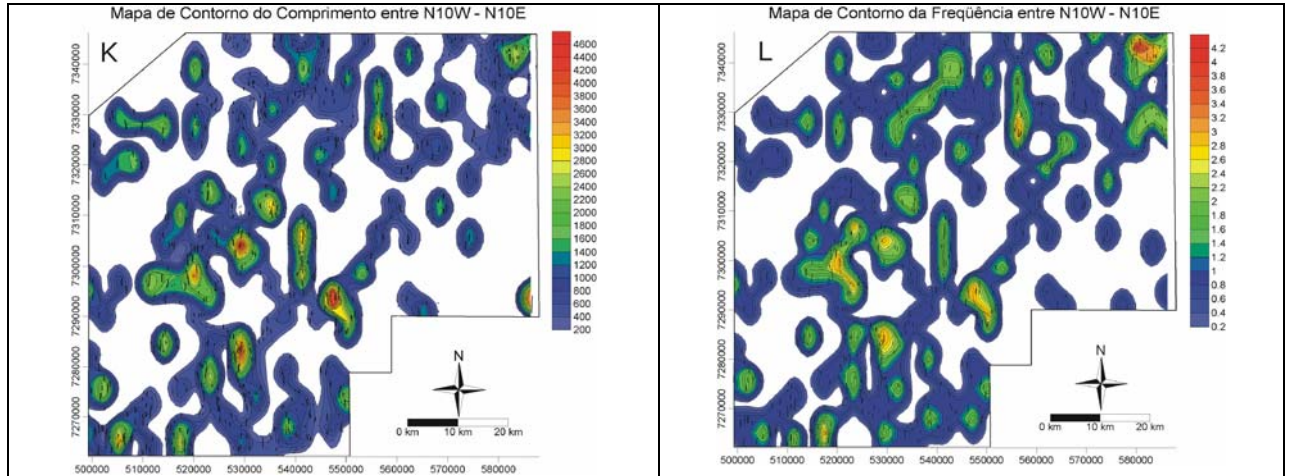
É notável a resposta nestas figuras que mostram núcleos bem definidos onde as rochas estão mais fraturadas, correspondendo às regiões de cruzamento das estruturas NW com as NE. É possível visualizar também nestes mapas, a assinatura dos vários *trends* estruturais mapeados.



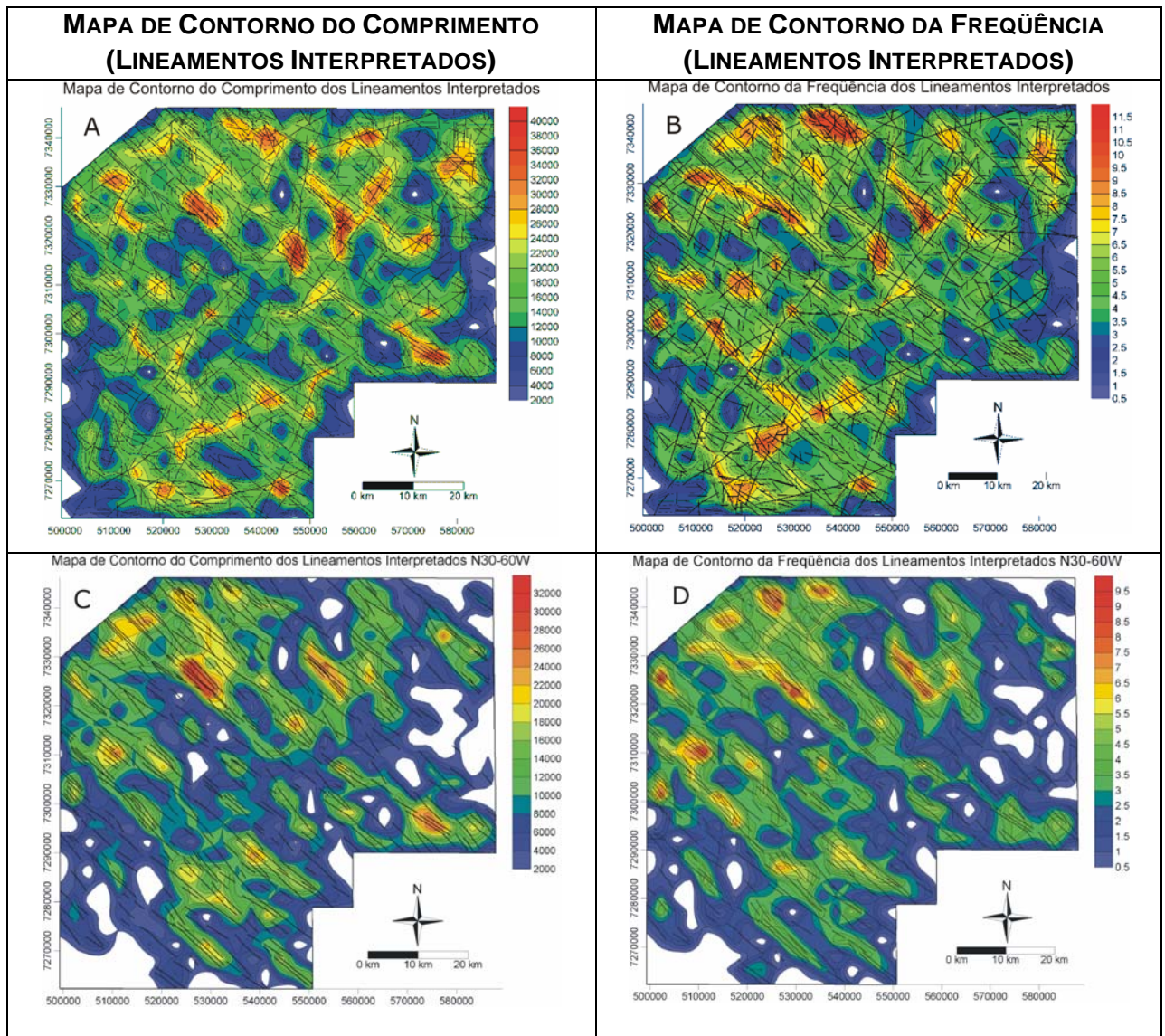




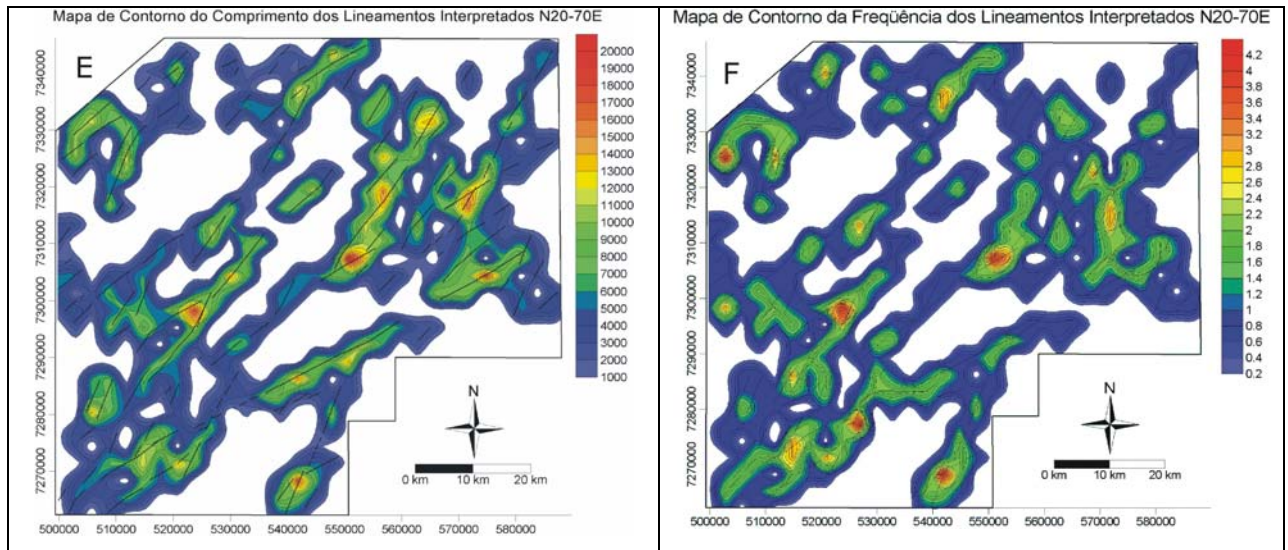




**Figura 28:** Mapas de contorno do comprimento, coluna da esquerda e da frequência acumulada, coluna da direita. Estes mapas foram gerados a partir do mapa das feições lineares. A legenda dos mapas de contorno do comprimento significa que o intervalo da cor correspondente refere-se à somatória dos elementos em km.







**Figura 29:** Mapas de contorno do comprimento, coluna da esquerda e da frequência acumulada, coluna da direita. Estes mapas foram gerados a partir do mapa dos lineamentos interpretados. A legenda dos mapas de contorno do comprimento significa que o intervalo da cor correspondente refere-se à somatória dos elementos em km.

Nos mapas de contorno dos alinhamentos negativos (figs. 28 A e B) observa-se que a maior concentração do comprimento dos lineamentos, figura 28 A, encontra-se na porção SW. Também são observados feixes com direção NW na porção central da área. Já o mapa de frequência acumulada indica concentrações na porção norte e uma incipiente orientação para NE que demonstra que os lineamentos negativos apresentam-se segmentados nesta direção, mas frequentes.

Nos mapas dos alinhamentos positivos (figs. 28 C e D) as direções das cristas, indicam que os lineamentos ocorrem preferencialmente na direção NW e revelam concentrações ao longo da Zona de Falha Rio Alonzo. No mapa de contorno da figura 28D foram verificadas as maiores concentrações da frequência dos alinhamentos na porção NW da área, que coincide com a porção aflorante dos estratos do Neo-Permiano ao Eo-Triássico.

Os mapas de contorno das feições lineares com direção NW (figs. 28 E e F) mostram os maiores valores de comprimento na porção central da área que corresponde ao domínio entre as Zonas de Falhas São Jerônimo – Curiúva e Rio Alonzo e também na porção sul. Já no mapa da figura 28 F são observados, na porção central da área, os maiores valores da frequência dos traços que por se tratar de uma região de cruzamento estruturas NE-SW com NW-SE, apresentam-se mais segmentados.

A distribuição dos comprimentos e da frequência das feições lineares com direção NE-SW, por apresentarem-se mais segmentados, mostram feixes incipientes orientados na direção N40 - 60E.

Os mapas com direção E-W (figs. 28 I e J), como já descritos anteriormente, apresentam as maiores concentrações nas porções NE e SW e sua ocorrência entre o domínio entre as zonas de falhas acima referidas é mais incipiente. Uma provável conclusão desta direção ser menos frequente e apresentar-se mais segmentada neste domínio é que durante a geração da deformação E-W esta pode ter reativado as falhas com direção NW com cinemática sinistral, que foi identificada em alguns afloramentos como mostra a figura 34 no final deste capítulo e também identificada por outros autores (e.g. Strugale 2002 e 2003).

As feições lineares com direção N-S (figs. 28 K e L) estão distribuídas por toda a área sem uma concentração definida.

Foram também confeccionados mapas de contorno de todos os lineamentos interpretados (figs. 29 A a F). Os mapas da figura 29 A e B mostram a distribuição dos comprimentos e da frequência para todas as direções e os maiores valores tanto para o comprimento quanto para a frequência encontram-se na região de

cruzamento das direções NW e NE. Quando os mapas estão separados por intervalos de direção NW, como por exemplo as figuras 29 C e D, verificou-se que os feixes ocorrem principalmente no domínio entre as Zonas de Falhas São Jerônimo – Curiúva e Rio Alonzo e os maiores valores encontrados (cores quentes), situam-se no canto NW da área estudada.

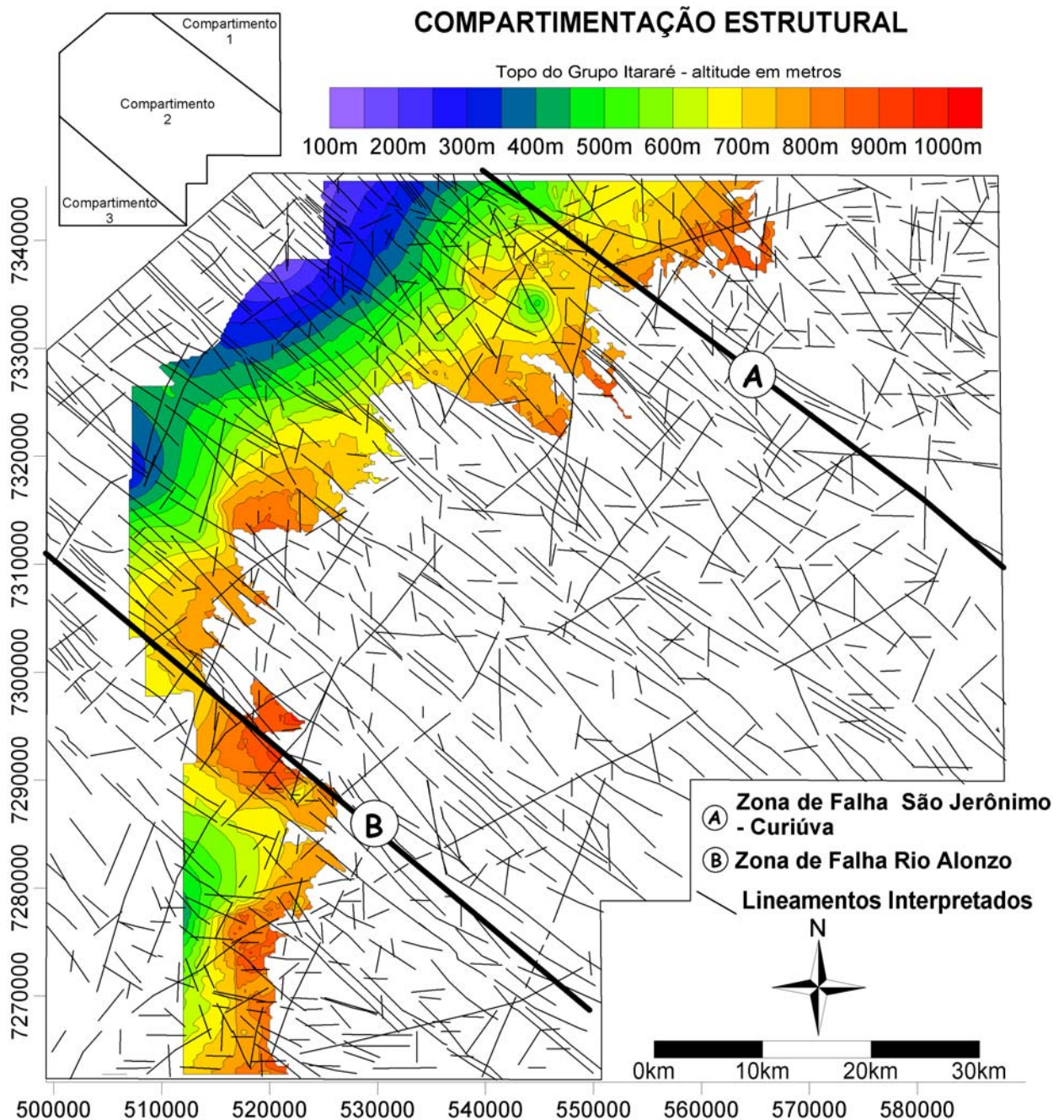
Os lineamentos interpretados entre as direções N20-70E (figs. 29 E e F) mostram concentrações maiores tanto no comprimento quanto na freqüência que juntamente com a análise coletadas em dados de campo e com informações de bibliografias, representam o domínio da Zona da Falha da Jacutinga.

#### 5.4 COMPARTIMENTAÇÃO ESTRUTURAL

A área em estudo apresenta características morfo-estruturais distintas, que justificaram uma subdivisão em três compartimentos estruturais. Os critérios utilizados para esta subdivisão basearam-se no mapa de contorno do topo do Grupo Itararé e na configuração e distribuição dos lineamentos.

A obtenção deste mapa de contorno foi realizada através da interpolação da profundidade adquirida através de dados de poços, obtidas por sondagens realizadas pela Mineropar, CPRM e PETROBRAS, com a intersecção dos contatos com as curvas de nível (fig. 30).

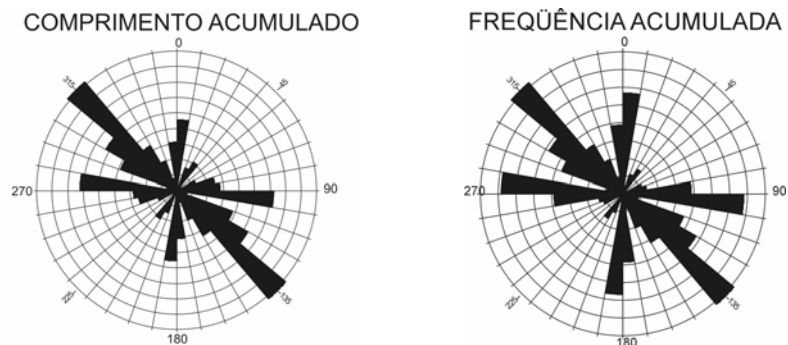
A sobreposição dos lineamentos interpretados sobre este mapa de contorno, permitiu a visualização da distribuição destes lineamentos, em relação ao contorno estrutural.



**Figura 30:** Mapa de contorno do topo do Grupo Itararé, confeccionado através do método de krigagem com a interpolação da profundidade de poços, e a sobreposição dos lineamentos interpretados. Foram definidos 3 compartimentos morfotectônicos, baseado na distribuição destes lineamentos, sobre o mapa de contorno.

As principais características do compartimento 1 são: (i) abundância das direções de lineamentos nos *trends* E-W e N-S, que são representados por traços retilíneos e segmentados comparado ao compartimento 2; (ii) menor frequência e

comprimento na direção NE, (iii) predomínio de lineamentos com direção NW (fig. 31), tanto no comprimento quanto na frequência acumulada.



**Figura 31:** Diagrama de roseta dos lineamentos do compartimento 1 com a presença das principais direções NW, N-S e E-W.

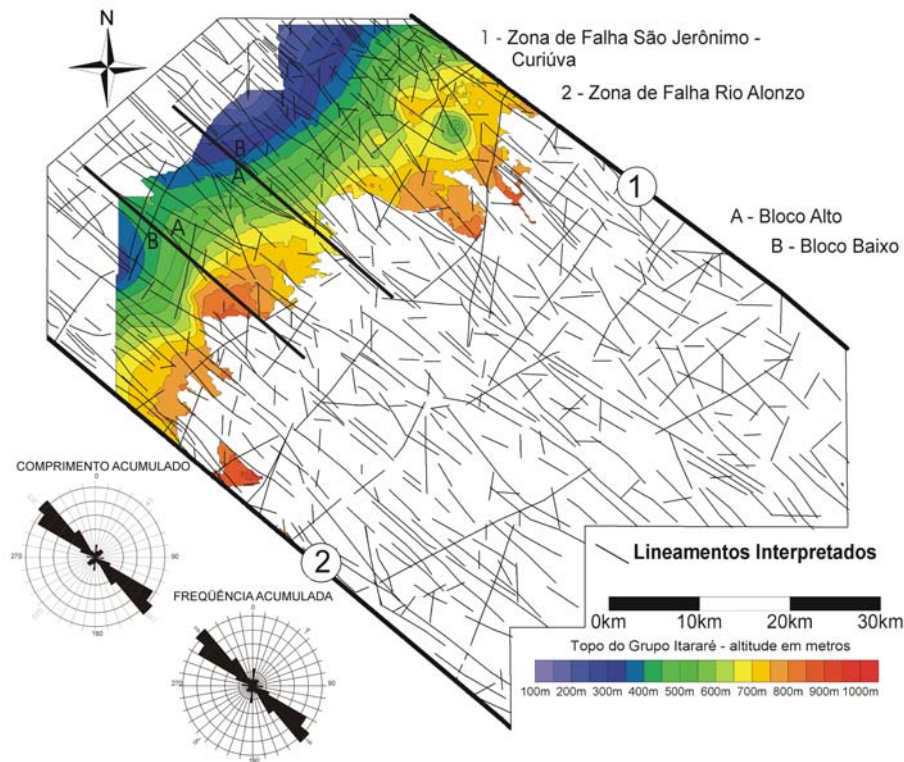
Já o compartimento 2, localizado na porção central, é caracterizado principalmente pelas estruturas geradas por diversas deformações onde predominam traços com comprimento acumulado na moda N40-60W e frequência acumulada na moda N40-50W (fig. 31), que ocorrem dispostos na forma de feixes cuja geometria é contínua e retilínea.

Localmente estes lineamentos apresentam formas escalonadas, que configuram uma cinemática transcorrente dextral, compatíveis com a zona de influência das Zonas de Falhas São Jerônimo-Curiúva e Rio Alonzo. Os lineamentos com direção NE estão presentes neste compartimento e na porção aflorante de rochas do Grupo Itararé, os traços são retilíneos e localmente contínuos. À medida que avançam sobre os arenitos da Formação Rio Bonito e as unidades estratigraficamente dispostas acima, estes traços diminuem de comprimento e ocorrência.

Através do mapa de contorno (fig. 30), verificou-se que este compartimento, apresenta um recuo para NW em relação ao compartimento 3, discutido a seguir e

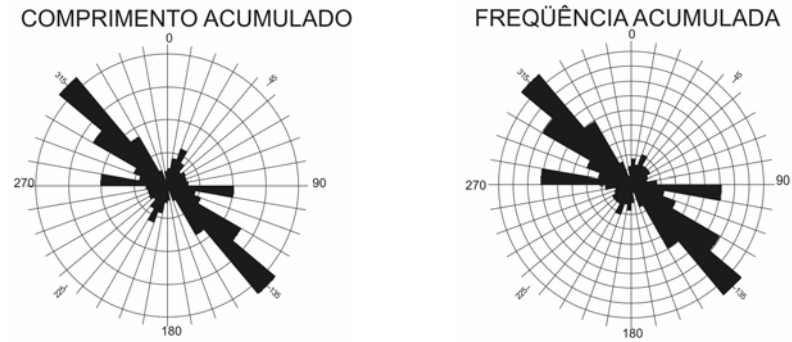


também, um bloco alto na porção central, como mostra a figura 32, que está delimitado por uma zona de falha, representada pelo traço mais espesso.



**Figura 32:** Diagrama de roseta, do compartimento 2, com modas entre N40-60W. Na figura da direita, nota-se um bloco alto na região central, que é delimitada por uma zona de falha.

O compartimento 3, situado na porção SW da área, é caracterizado por lineamentos contínuos e ocorrem em maior frequência na moda N40-50W. Difere do compartimento 2 devido à presença de lineamentos na direção E-W e NE que apresentam-se segmentados (fig. 33). A característica distintiva e marcante, com relação aos outros compartimentos, baseia-se no fato de que o contorno estrutural do topo do Grupo Itararé apresenta-se mais baixo em relação ao compartimento 2, indicando que a Zona de Falha Rio Alonzo funciona como falha normal com bloco baixo a SW.



**Figura 33:** Diagrama de roseta dos lineamentos do compartimento 3 com a presença das direções NW, E-W e NE.

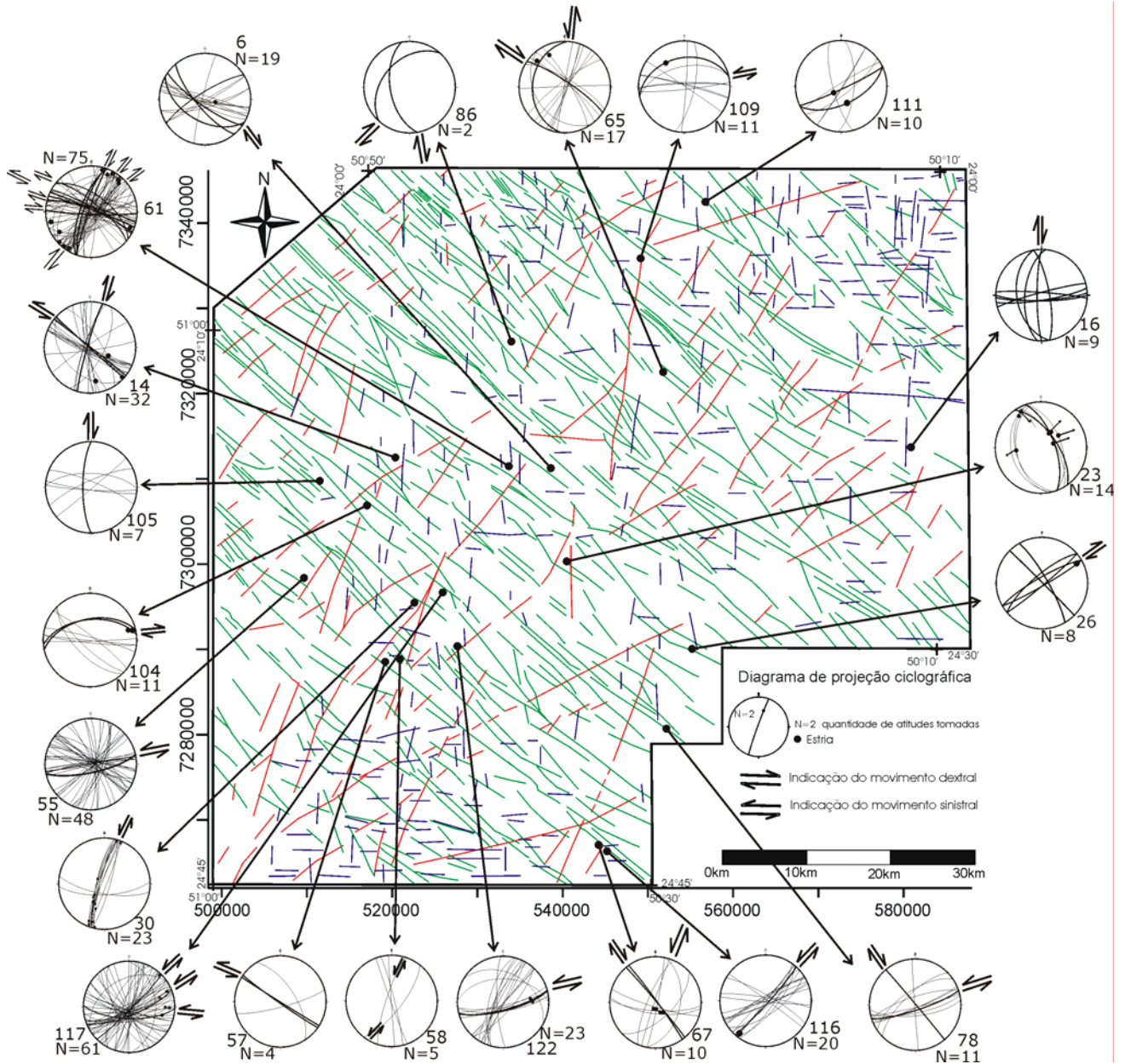
A figura 34 representa a síntese da análise estrutural dos pontos descritos em campo, com a projeção ciclográfica das falhas. Estas projeções basearam-se no conjunto de atitudes dos planos destas falhas e quando presentes, indicadores cinemáticos como estrias e direção de movimento, falhas escalonadas, feições sigmoidais e *steps*.

A análise integrada dos diagramas ciclográficos permitiu verificar que tanto para a direção NW, quanto para a NE, existem indicadores que evidenciam movimentos dextrais e sinistrais. Entretanto a obliteração causada pela superposição de mais de um evento deformacional, não permitiu discriminar estas cinemáticas em fases deformacionais.

No ponto 23 ocorrem falhas normais e reversas e nos pontos 111 e 67, falhas normais. Ocorrem também pares conjugados como nos pontos 14, 58 e 86. No ponto 55 ocorrem falhas escalonadas com movimentação sinistral. Falhas transcorrentes foram observadas nos pontos 26, 30, 104, 116, 117 e 122 com direção NE que encontram-se sob domínio da Zona da Falha da Jacutinga e no ponto 14 e 65 falhas transcorrentes com direção NW. Nos diamictitos da Formação Taciba do ponto 61 ocorrem também falhas transcorrentes, mas com superposição de eventos

deformacionais, representados por falhas com direções semelhantes com cinemáticas diferentes.

Nos outros pontos descritos ocorrem tanto deslocamentos de camadas ou de fraturas com rejeitos centimétricos a decimétricos onde não foram observadas estrias.



**Figura 34:** Diagramas de projeção ciclográfica, com análise cinemática, das falhas medidas em campo.



As falhas foram plotadas como grandes círculos e distribuídas espacialmente na área de estudo como apresentados na figura 34, através do programa Stereonett (by Johannes P. Duyster). Todas as estrias foram plotadas manualmente com intuito de determinar o paleotensor para cada uma, através do modelo de Anderson. Através deste modelo foram plotadas as paleotensões  $\sigma_1$ ,  $\sigma_2$  e  $\sigma_3$  para as formações Campo Mourão, Taciba, Rio Bonito e Serra Geral que foram as unidades cujos afloramentos apresentaram indicadores cinemáticos.



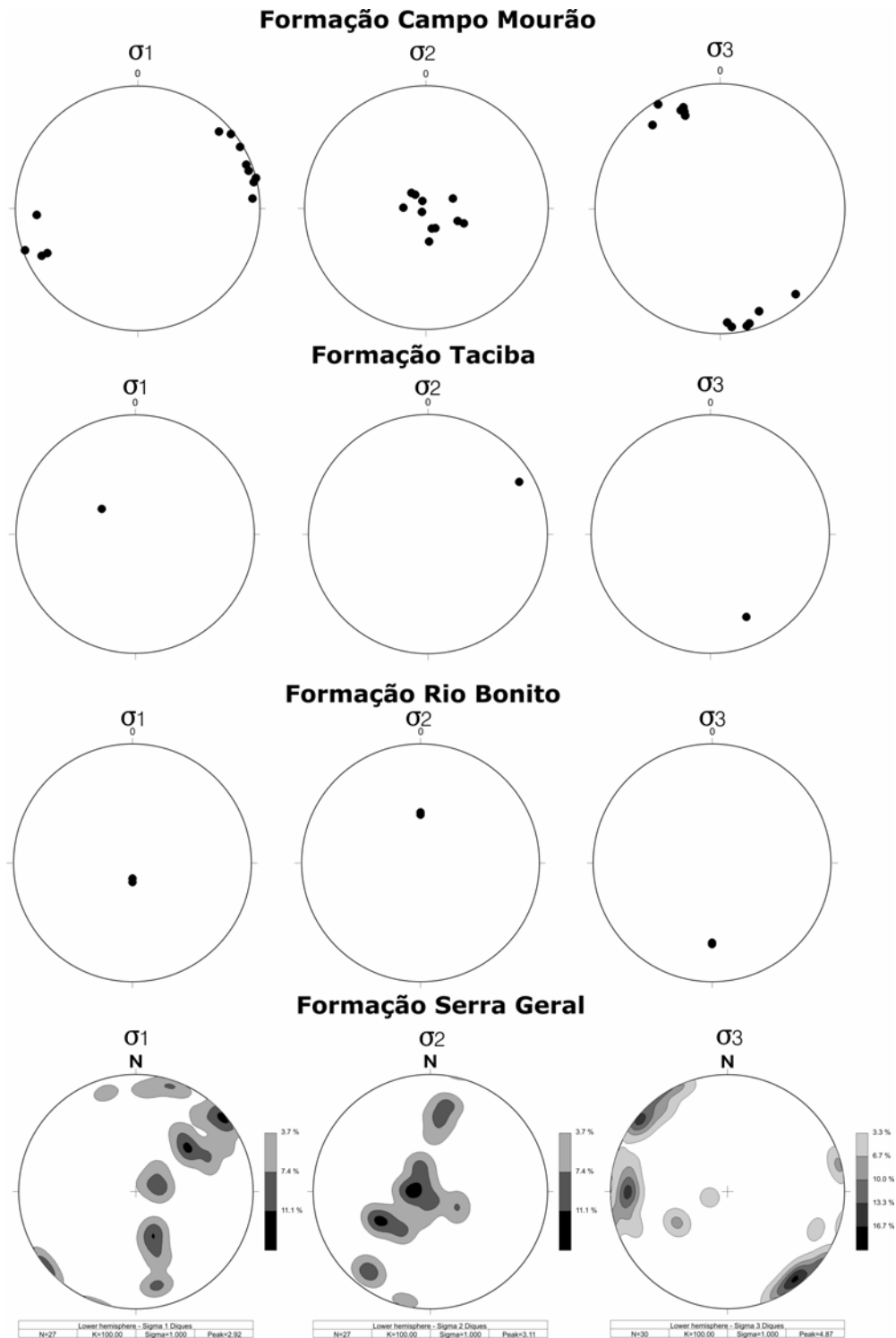
**Figura 35:** Método utilizado na determinação das paleotensões máxima ( $\sigma_1$ ), intermediária ( $\sigma_2$ ) e mínima ( $\sigma_3$ ) através do método de Anderson.

Através dos diagramas das paleotensões, determinadas individualmente para cada plano/estria e separadas por unidade (fig. 36), verificou-se que a tensão máxima,  $\sigma_1$  encontra-se à NE e a tensão mínima à NW. Já nas formações Taciba e Rio Bonito, os resultados não foram significativos devido à pouca quantidade de atitudes.

Na Formação Serra Geral o grande número de atitudes de planos/estrias evidenciou uma dispersão nas direções de paleotensões que indicam, falhas transcorrentes oblíquas.

A análise em conjunto dos diagramas ciclográficos com os diagramas de paleotensões evidencia mais de um evento deformacional. As informações obtidas

através dos dados de campo e na análise em imagens, devido à superposição de eventos na mesma direção bem como em direções de intersecção, foram obliteradas e dificultaram a hierarquização destes eventos.



**Figura 36:** Paleotensões obtidas através da análise de planos de falha com estria e cinemática definida, referentes às formações mapeadas. Determinação do  $\sigma_1$ ,  $\sigma_2$  e  $\sigma_3$  através do método de Anderson.

A análise estrutural realizada por Strugale (2002) em área contígua à área estudada definiu dois eventos deformacionais definidos como D1 e D2. As estruturas precoces do evento D1 relacionam-se às falhas extensionais de caráter sistemático e regional, que controlaram a colocação dos diques de diabásio à N40-55W e estão correlacionados aos processos tectônicos que deram origem à segmentação morfotectônica do Arco de Ponta Grossa no Cretáceo. Estes diques apresentam como indicadores locais de movimentação dextral durante a intrusão. Um segundo momento do evento D1 afetou principalmente os arenitos do Grupo São Bento com a geração de falhas rúpteis, em níveis crustais superiores e após a silicificação promovida pelos derrames da Formação Serra Geral.

As falhas relacionadas ao evento D2 definido por Strugale (*op cit*) evidenciaram um componente distensivo nos diques e derrames da Formação Serra Geral onde são melhor caracterizados. Este evento gerou, no estudo apresentado pelo autor, a maior quantidade de falhas medidas em campo por serem abundantes nas rochas básicas, sendo comum a presença de estrias e *steps*.

Comparando a análise estrutural realizada no estudo em questão, àquela realizada por Strugale, (*op cit.*) através da descrição dos eventos deformacionais D1 e D2, inferiu-se que, provavelmente, a deformação mais evidente em campo correlaciona-se ao evento D1 do referido autor. A deformação do evento D2 também foi encontrada na área, mas, em menor proporção.

A integração entre o estudo realizado na área em questão com os resultados apresentados por Strugale (*op cit*) mostra que a deformação Eo-Cretácea (D1), ocorre principalmente nos substratos do Permo-Carbonífero e a deformação do Neo-Cretáceo a Terciário (D2) é mais notável nos substratos do Neo-Permiano ao Triássico.

## **6 AVALIAÇÃO DE ALVOS**

A delimitação das áreas-alvo teve como base os estudos que se iniciaram a partir da escala regional e finalizaram na escala de campo.

A definição de um modelo preditivo de reservatório análogo para o detalhamento, foi realizada em função da avaliação técnica, operacional e científica.

A avaliação técnica fundamentou-se em modelos de reservatórios de hidrocarbonetos propostos por Zalán *et al.* (1990), França e Potter (1989), Milani & Catto (1998), e o de migração e retenção de hidrocarbonetos de Rostirolla *et al.* (2003b), realizados na Bacia do Paraná, bem como nos estudos realizados na área em questão. Os estudos realizados tiveram como base a caracterização estrutural e estratigráfica da região estudada.

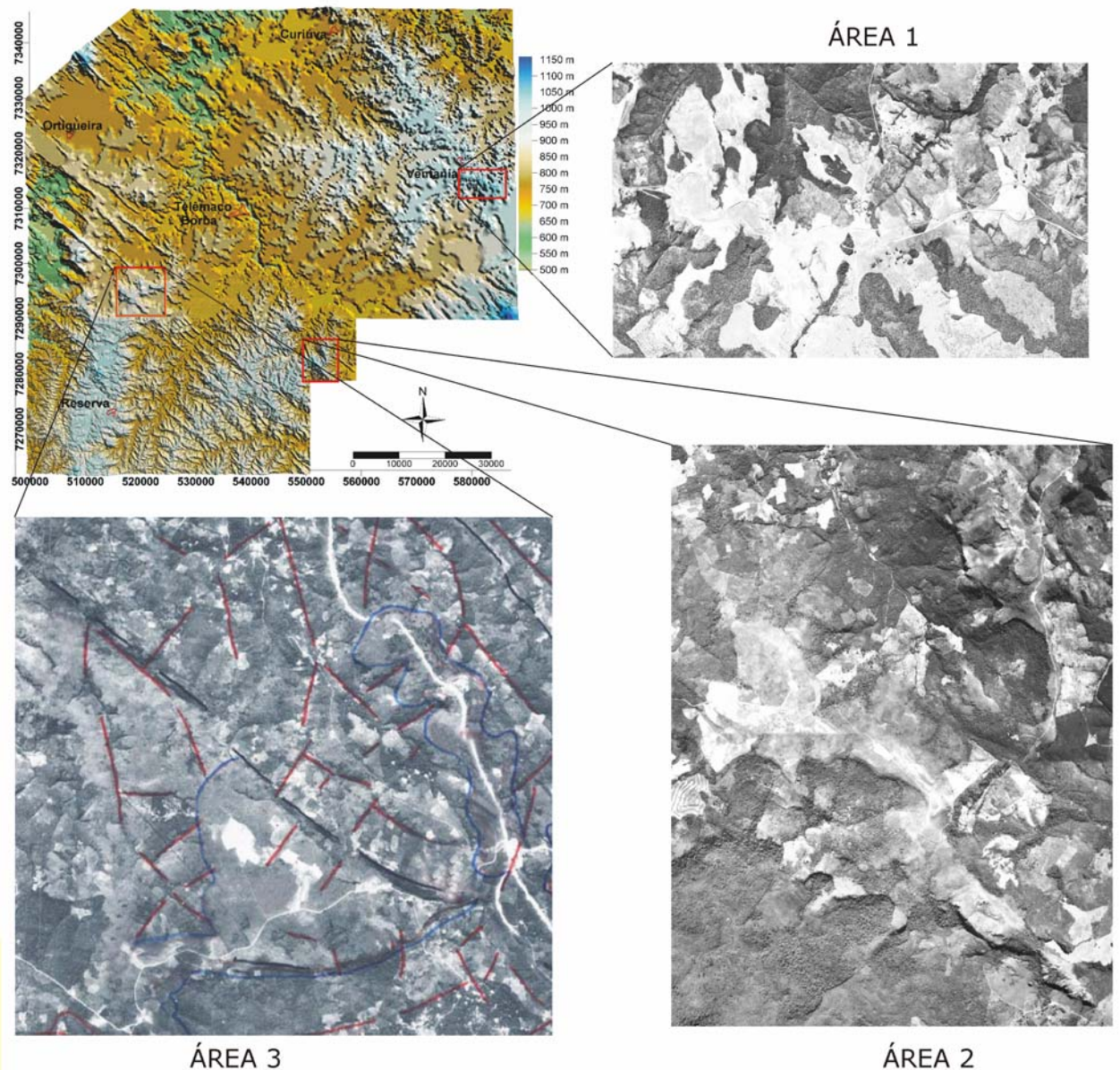
A avaliação operacional contou com informações quanto ao acesso à região, qualidade da exposição das rochas, geomorfologia local e viabilidade para a aquisição geofísica (método de geofísica de reflexão).

Finalmente na avaliação científica foram abordadas questões com relação ao nível estratigráfico aflorante, ou seja, as características da rocha com relação à porosidade / permeabilidade e o grau de fraturamento.

Com base nestas avaliações, definiu-se a seleção de três áreas-alvo (fig. 37). Estas áreas foram definidas segundo alguns critérios que foram levados em consideração, como mostra, de forma sintética, a tabela 1.

ÁREAS	CRITÉRIOS				
	Acesso	Aspectos Estratigráficos	Aspectos Estruturais	Qualidade de Exposição	Relevo
1	Região de fácil acesso através da Estrada do Cerne (PR-090) e localiza-se nas proximidades da cidade de Ventania.	Arenitos e siltitos da Formação Lagoa Azul.	Esta região é afetada pela Zona de Falha São Jerônimo – Curiúva e também por estruturas com direção E-W.	Muito boa.	Suave
2	O acesso ao local, conta com estradas que levam até a porção superior do Morro do Jacaré.	Arenitos da Formação Campo Mourão.	Região afetada pela intersecção de zonas de falhas com direções NW e NE.	Excelente	Suave
3	O acesso é realizado pela BR – 376 e a região localiza-se nas imediações de Imbaú.	Formação Rio Bonito.	Região influenciada pela Zona de Falha Rio Alonzo onde os arenitos da Formação Rio Bonito estão em contato com o dique.	Encoberto por plantações com algumas porções aflorantes.	Suave

**Tabela 1:** Descrição dos critérios utilizados para a seleção das 3 áreas-alvo.



**Figura 37:** MDE da área estudada com a localização das 3 áreas-alvo e suas respectivas fotografias aéreas.

Com base na avaliação das 3 áreas-alvo, através dos critérios utilizados (tab. 1) e do reconhecimento de campo, a área 2 apresentou as melhores características dentre as demais, e foi selecionada para se realizar levantamentos geofísicos, visando a visualização da geometria das camadas, estudos mais detalhados das unidades estratigráficas e a caracterização estrutural.

A área-alvo 2 localiza-se no município de Tibagi, encontra-se inserida na porção SE da Serra do Roncador e é conhecida pelos moradores da região como Morro do Jacaré (fig. 38).

O nível estratigráfico aflorante neste local, pertence à Formação Campo Mourão e é caracterizado por arenitos, arenitos conglomeráticos, conglomerados e diamictitos. A porosidade aparente destas rochas em escala de mão chega até 8%.

Os estudos de campo mostraram que esta região encontra-se em uma região de intersecção de zonas de falha e seus planos apresentam-se, no geral, retilíneos. Em alguns planos verificados em campo, foram verificadas estruturas como estrias, *steps*, fraturas escalonadas e bandas de deformação. Os lineamentos traçados a partir da imagem de satélite e fotografias aéreas apresentam-se, no geral, retilíneos.

Um dos fatores que também contribuiu para a escolha desta área foi a qualidade de exposição dos afloramentos. Estes apresentam pouca cobertura vegetal e boa extensão da porção aflorante. Um outro fator importante foi a presença de um relevo tabular que ocorre na porção superior do Morro do Jacaré (foto 15) e também a facilidade de acesso ao local, cujas estradas levam até a porção superior deste morro. Estes fatores facilitaram os trabalhos de aquisição sísmica.

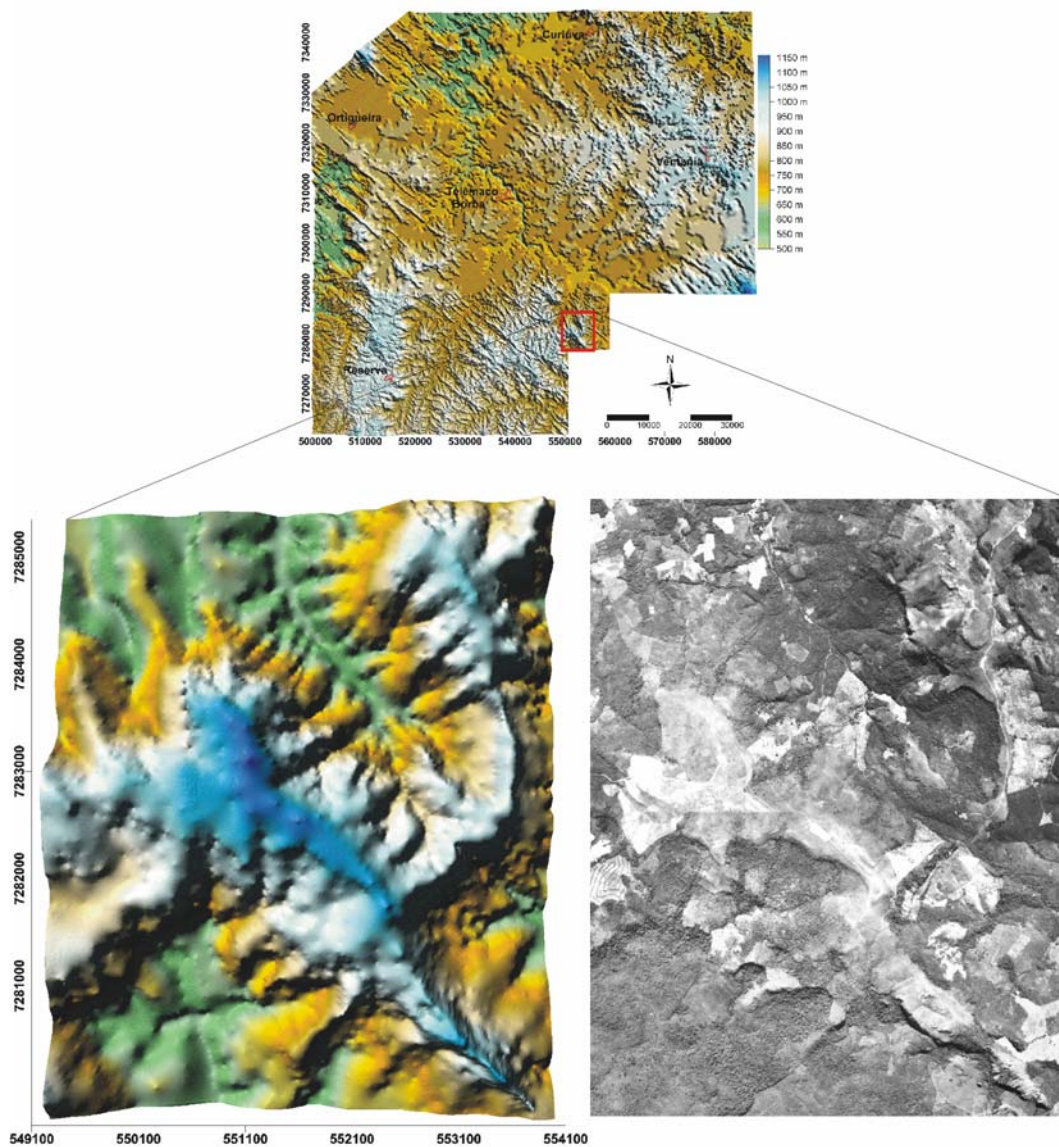


**Foto 15:** A porção superior do Morro do Jacaré apresenta um relevo tabular que permite até de estradas de acesso.

Para o detalhamento desta região foram selecionadas fotografias aéreas na escala 1:25.000, cujos métodos de transformação em meio digital, georreferenciamento através de coordenadas UTM, interpretação e análise das informações, foram os mesmos descritos no capítulo 3.

Parte dos estudos realizados nesta área de detalhe contou com o auxílio de informações coletadas e processadas por outros integrantes do Projeto Modres (CTPETRO-FINEP/PETROBRAS). O perfil estratigráfico realizado na escarpa do Morro do Jacaré e a linha sísmica gerada contaram com o auxílio destes integrantes.





**Figura 38:** Localização da Área-alvo dentro da área estudada a partir do MDE e os quadros abaixo mostram a ampliação desta área-alvo à esquerda com a figura do MDE e a direita a fotografia aérea na escala 1:25.000.

## 6.1 ESTRATIGRAFIA DA ÁREA ALVO

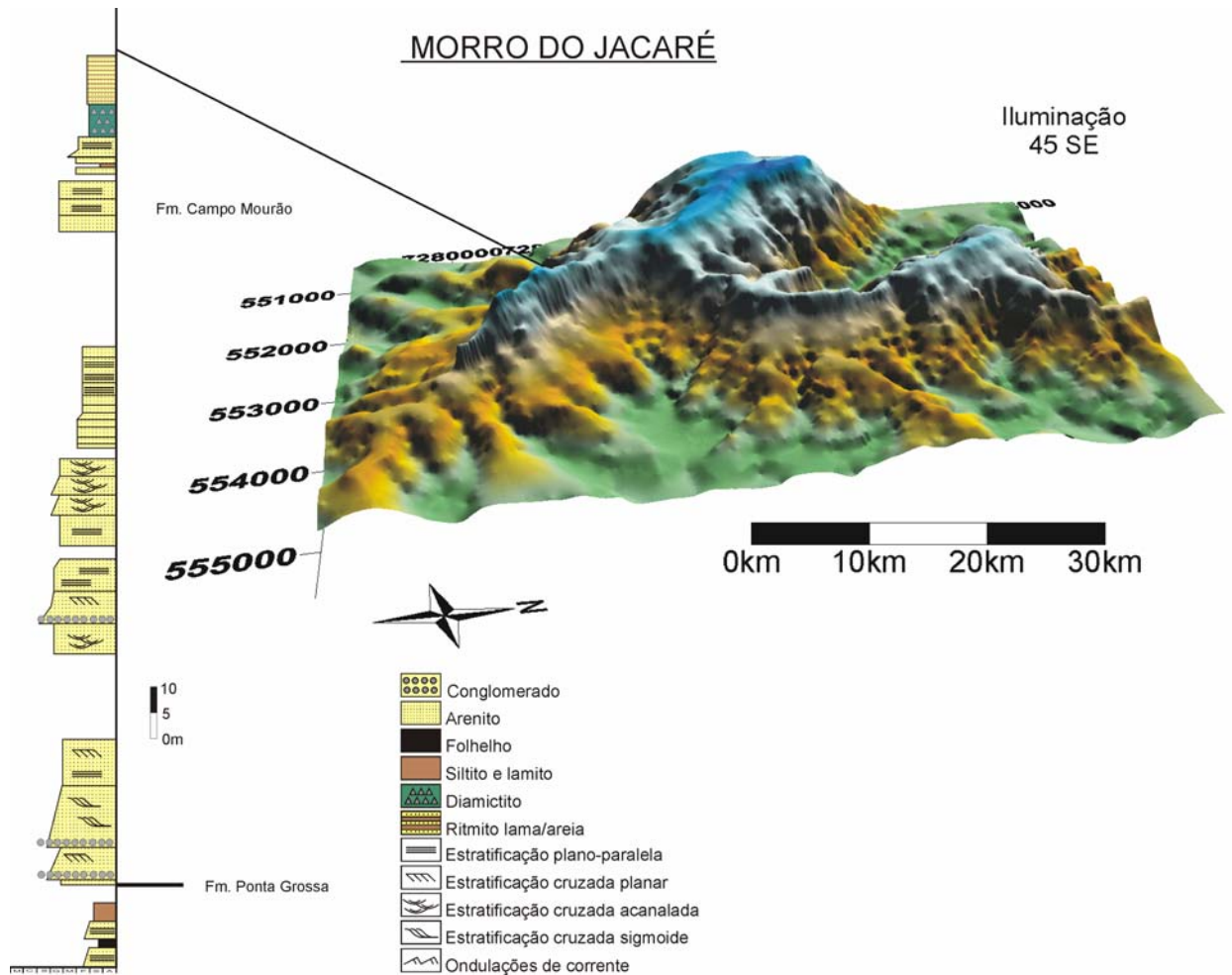
Os níveis estratigráficos que ocorrem na área-alvo em questão, correspondem às formações Ponta Grossa e Campo Mourão, respectivamente da base para o topo.

Nesta região a Formação Ponta Grossa é caracterizada basicamente por siltitos, ritmitos e folhelhos. Na Formação Campo Mourão ocorrem arenitos finos a médios, arenitos conglomeráticos, níveis de conglomerados e diamictitos.

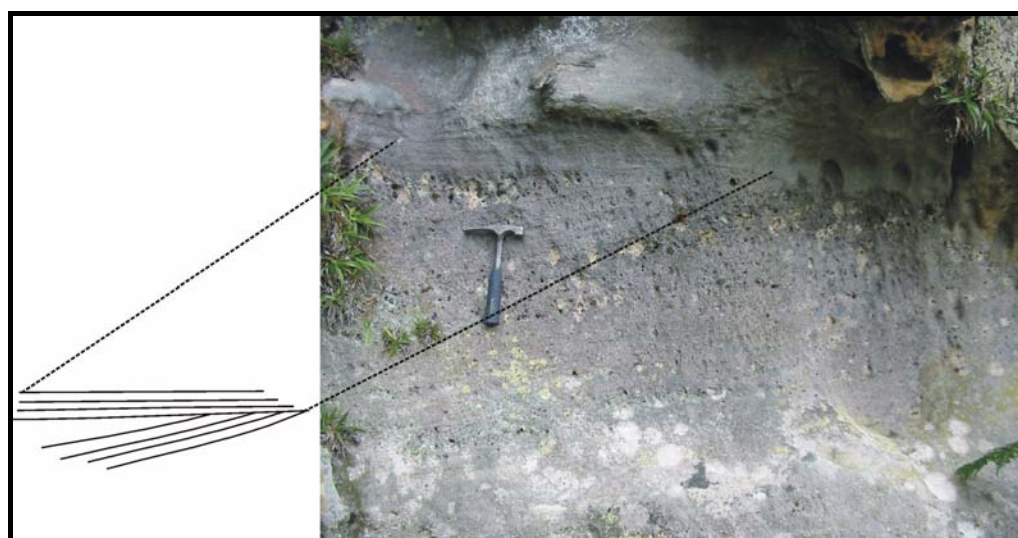
Os arenitos encontrados apresentam uma granulometria de fina a média, grãos sub-arredondados e seleção pobre. Foram verificadas algumas estruturas como gradação normal, laminação horizontal e pequenas estratificações cruzadas planares (foto 16). Entre as rochas aflorantes desta formação os arenitos ocorrem em maior proporção e em determinadas regiões, como a região do Morro do Jacaré, ocorrem em uma grande exposição aflorante ao longo da escarpa.

A presença de arenitos conglomeráticos e conglomerados é localizada e a disposição dos grãos é geralmente caótica. Os diamictitos encontrados apresentam uma coloração amarelada e a matriz é siltico-arenosa. A ocorrência de diamictitos também é localizada aos níveis estratigráficos.

Foi levantada uma seção estratigráfica ao longo da escarpa do Morro do Jacaré como mostra a figura 39. As linhas a partir do MDE indicam esquematicamente a posição de onde foram coletadas as informações representadas no perfil.



**Figura 39:** Perfil estratigráfico realizado no Morro do Jacaré e sua localização esquemática do MDE a direita. Neste MDE pode-se visualizar a configuração geral do relevo.



**Foto 16:** Detalhe do afloramento onde se pode visualizar a estratificação cruzada de pequeno porte bem como alguns seixos dispersos.



## 6.2 CARACTERIZAÇÃO ESTRUTURAL DA ÁREA ALVO

Duas direções principais de fraturas foram verificadas nesta área, as NE-SW e NW-SE. Entre os planos de fraturas verificados, os de direção NE-SW apresentam-se mais freqüentes (fotos 17 e 18). No geral são caracterizados por planos retilíneos e são sistemáticos (mapa geológico, fig. 42, e no decorrer do texto) configurando que esta região encontra-se em uma zona de falha. É comum a presença de fraturas escalonadas, de tamanhos que variam desde amostras centimétricas até planos métricos como mostra a figura 41-C. Ocorrem também planos de falhas com a presença de estrias e *steps* e fraturas “*en echelon*” (fig. 41-B). Estas estruturas indicam uma zona de falha transcorrente com cinemática sinistral.



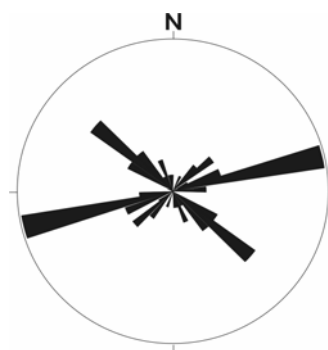
**Foto 17:** Porção aflorante do Morro do Jacaré com visualização dos planos de falha que se apresentam sistemáticos e retilíneos. Estes planos apresentam uma direção média de 75NE.



**Foto 18:** Uma outra visão da mesma região da foto anterior que mostra os planos NE.

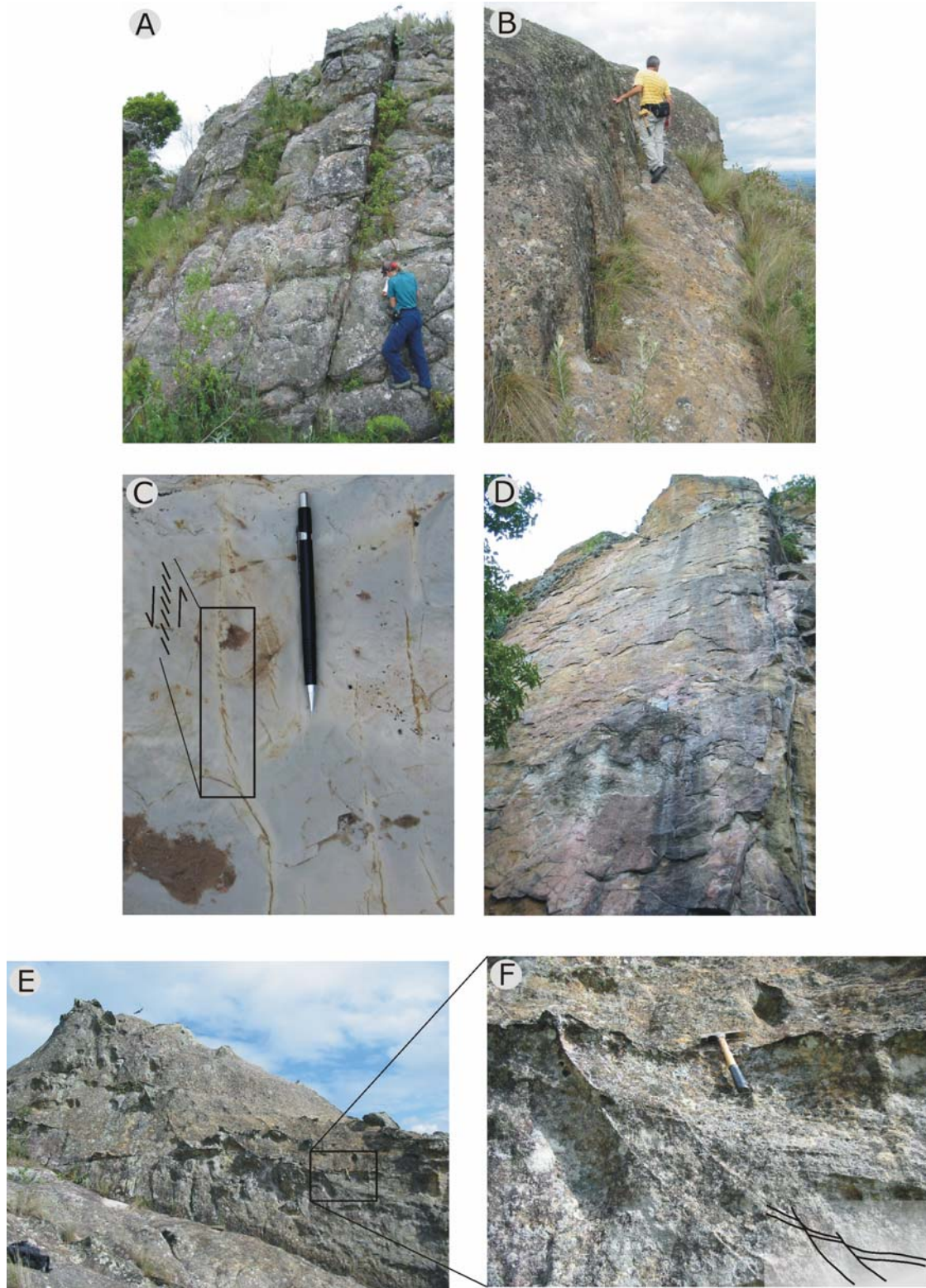
Os planos de fratura com direções NW-SE, em comparação com a direção NE-SW, não são muito evidentes na área. A direção dos cortes dos afloramentos encontrados dificultou a visualização de seus planos. Os planos de fraturas encontrados nesta direção apresentam-se como falhas normais com rejeitos métricos como pode ser visto na figuras 41-E e F, ou como planos verticais com *steps* que também indicam a mesma cinemática (fig. 41-D).

O diagrama de roseta confeccionado com dados das atitudes dos afloramentos descritos (fig. 40) auxiliou a visualização das direções dos planos de fratura e indicam as modas entre N50-70E e N40-60W.



**Figura 40:** Diagrama de rosetas obtido com atitudes verificadas nos afloramentos na área-alvo. Este diagrama mostra modas entre as direções N50-70E e N40-60W.

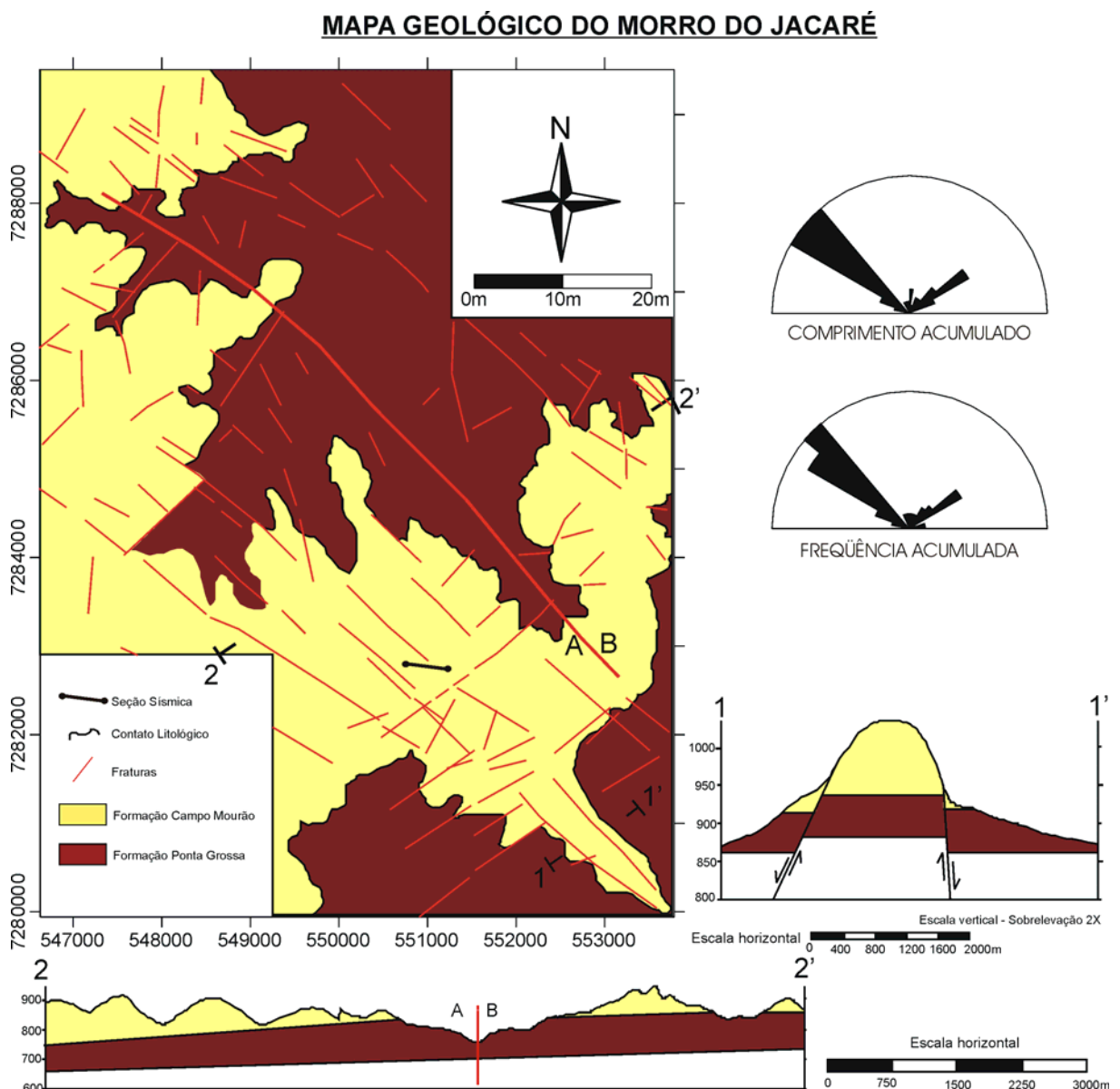




**Figura 41:** Fraturas retíneas e indicadores cinemáticos encontrados nos afloramentos do Morro do Jacaré no município de Tibagi: (a) Fratura retínea e penetrativa na direção N70E/80NW; (b) Fraturas escalonadas de cinemática sinistral no plano N78E/80SE; (c) Fraturas escalonadas com cinemática sinistral no plano N80E/84SE; (d) *Steps* indicando a falha com movimentação normal no plano N60W/55SW; (e) Falhas normais com rejeitos decimétricos encontrados no plano N60W/55SW.

### 6.3 MAPA GEOLÓGICO DA ÁREA ALVO

A geração do mapa geológico contou com as informações obtidas em campo e também das interpretações das fotografias aéreas na escala 1:25.000, que permitiram a visualização mais detalhada, bem como do MDE e imagens de satélite das imagens.



**Figura 42:** Mapa geológico da área-alvo que mostra a porção aflorante das formações Ponta Grossa e Campo Mourão, bem como a disposição das fraturas. O perfil 1-1' mostra a configuração das falhas normais identificadas em campo e a distribuição das camadas. O perfil 2-2' mostra a distribuição das camadas no geral.



## 6.4 IMAGEAMENTO 2D POR SÍSMICA DE REFLEXÃO

Uma das ferramentas utilizadas no detalhamento desta área foi o imageamento 2D através de sísmica de reflexão rasa. Neste método a energia sísmica é refletida nas superfícies de contato entre camadas que apresentem um contraste de impedância acústica. Quando o meio apresenta níveis e feições com contraste de impedância acústica, são detectados refletores que podem ser correlacionados a feições estratigráficas e estruturais.

A aquisição da linha sísmica, bem como seu processamento e interpretação, contaram com equipamentos adquiridos pelo projeto MODRES e com a especialidade de integrantes que desenvolvem suas pesquisas no Laboratório Análise de Bacias e Petrofísica criado na UFPR.

### 6.4.1 Equipamentos

O sistema de aquisição utilizado é composto por uma fonte sísmica, geofones, unidades Geode e um computador especialmente desenhado para condições de campo. O sistema utilizado contou com 120 geofones, dos quais 96 foram mantidos ativos, permitindo uma boa flexibilidade na escolha dos parâmetros de aquisição, resultando em um levantamento 2D com grande densidade de amostragem, a ponto de o levantamento poder ser chamado de imageamento sísmico 2D.

A fonte sísmica utilizada foi a queda de peso acelerada (foto 19) e se mostrou muito eficiente, uma vez que provê alta repetibilidade na soma de registros de repetidos impactos. O mecanismo consiste de um peso que é erguido a certa altura, esticando um elemento elástico que acelera a queda quando o peso é

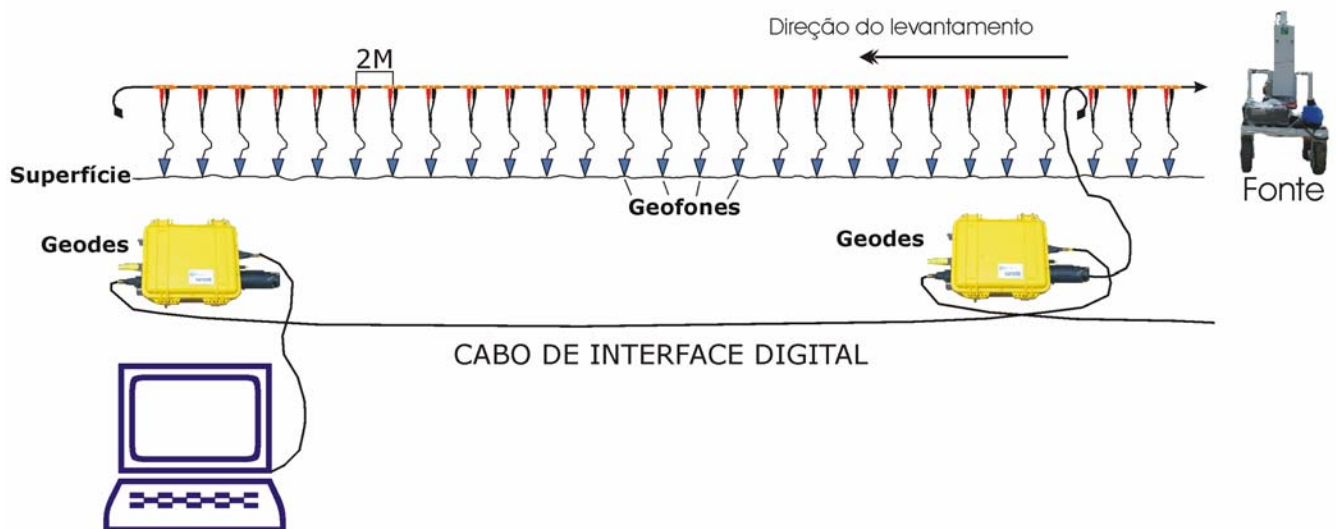
liberado por um controle remoto. Na queda, o peso atinge uma chapa de duralumínio no solo. O impacto gera ondas acústicas que se propagam no subsolo na forma de transmissão direta, reflexão, refração e difração, retornando à superfície e sendo captadas pelos geofones.

Os geofones com frequência fundamental de 14 Hz e resposta plana acima desta frequência, como indicados para registro de altas frequências requeridas na sísmica rasa de alta resolução e são cravados no solo através de ponteiros com 7,5 cm de comprimento. No processo da aquisição notou-se que o sinal dos geofones era mais fraco quando o solo apresentava-se mais fofo. O espaçamento entre geofones foi de 2 metros, como mostram as figuras 43 e 44-A. Um cabo multicondutor (*spread cable*) conecta um conjunto de 24 geofones a um sismógrafo modelo Geode de fabricação Geometrics (fig. 44-C). Vários Geodes são conectados entre si por um cabo de comunicação e o conjunto é conectado a um computador tipo laptop que faz o gerenciamento da aquisição.

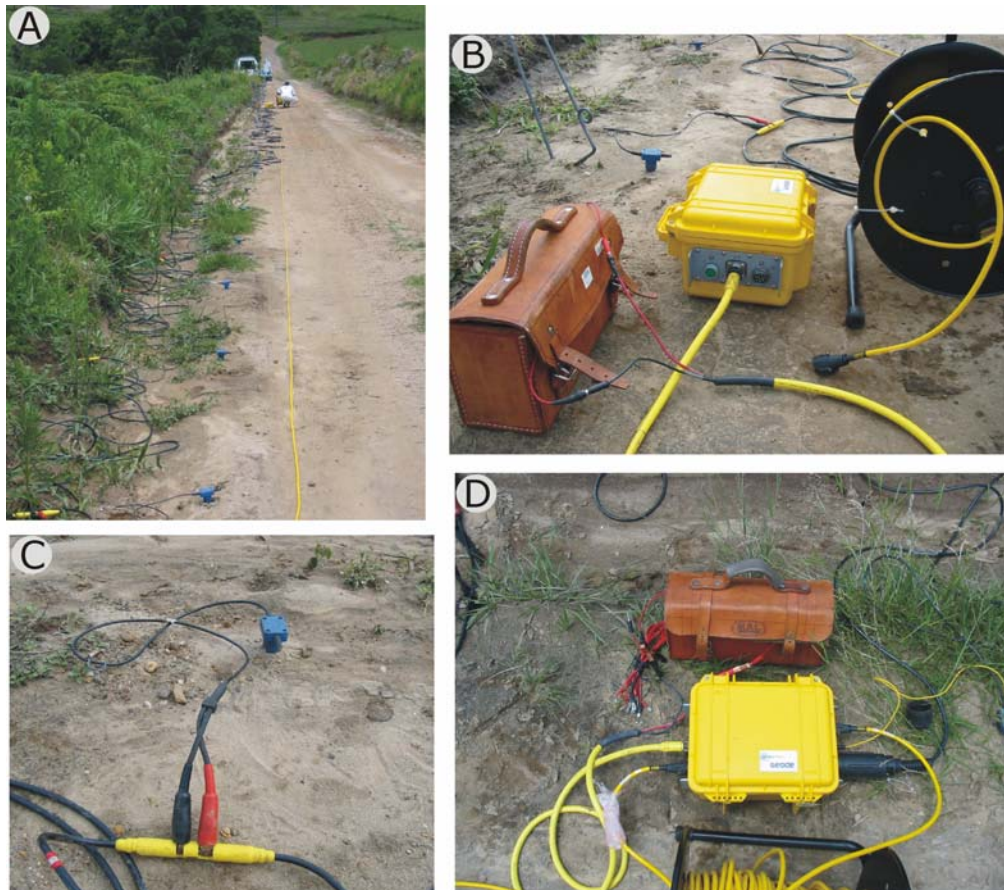
O geode é um sismógrafo com 24 canais, fabricado pela Geometrics e é controlado pelo sistema MGOS (também Geometrics). Suas características são: alcance dinâmico de 144 dB, *bandwidth* que vai de 1.75 Hz a 20 kHz e conversão A/D de 24 *bits*.



**Foto 19:** Fonte sísmica utilizada – queda de peso acelerada. O peso é liberado por um controle remoto e cai sobre uma placa metálica gerando a energia sísmica que se propaga no subsolo e retorna aos geofones gerando os sismogramas ou registros sísmicos.



**Figura 43:** Arranjo esquemático dos geofones, geodes e o *laptop*. Os geofones estão conectados a um cabo que, neste arranjo, a cada 24 unidades, se conectam ao geode. Os geodes estão interligados através do cabo de interface digital (cabo de comunicação) e enviam os dados para o computador.



**Figura 44:** Estas fotos mostram os equipamentos utilizados e alguns detalhes de como estão conectados : (a) Montagem da linha sísmica com geofones espaçados a cada 2m; (b) Detalhe do geode que é alimentado por uma bateria (caixa de couro); (c) Detalhe da conexão do geofone com o cabo; (d) Configuração de como os cabos estão conectados ao geode.

#### 6.4.2 Investigação

A linha do levantamento sísmico 2D foi posicionada considerando a disposição dos níveis estratigráficos já mencionados, a orientação das estruturas e também a possibilidade de acesso e relevo. Uma vez conhecidas as características estratigráficas e estruturais da área a ser investigada, planejaram-se os parâmetros de aquisição.

A resolução vertical está relacionada à frequência final da onda sísmica, derivada do conteúdo espectral produzido pela fonte, das propriedades de filtragem

do meio e da capacidade de amostragem do sistema. A seção sísmica, com uma boa resolução vertical pode evidenciar interfaces entre estratos com diferentes impedâncias acústicas, que se refletem em eventos sísmicos nos sismogramas registrados.

Com o intuito de investigar os primeiros 100 metros de profundidade, determinou-se o arranjo *end-on* com 96 canais ativos espaçados a cada 2m. A distância da fonte sísmica (queda de peso) até o primeiro geofone foi de 8 metros. A geometria do arranjo foi determinada pela equipe do projeto MODRES.

#### 6.4.3 Levantamento de Reflexão

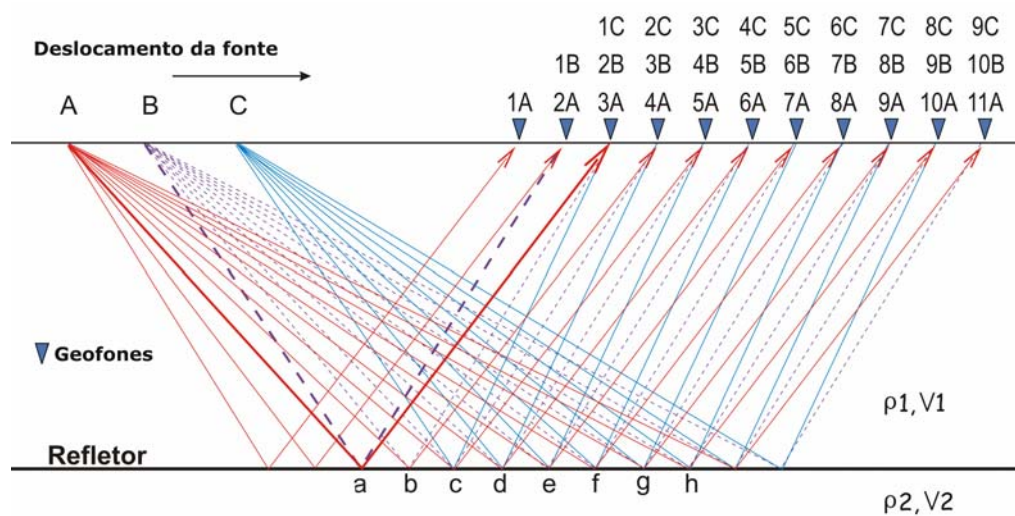
O método sísmico de reflexão está fundamentado no princípio que uma onda acústica é gerada no solo, a partir da liberação brusca (para gerar altas freqüências) de uma fonte (mecânica ou explosiva) de energia, que incide em uma superfície refletora. Uma superfície refletora apresenta um valor de impedância acústica que é caracterizada pelo produto da densidade pela velocidade em uma determinada camada. É o contraste de impedância acústica que determina a quantidade da energia sísmica que se propaga na forma de reflexão e refração de ondas elásticas (Martins, 2001).

A presença de falhas ou camadas inclinadas alteram a geometria dos eventos e o contraste de impedância acústica, que pode mascarar totalmente ou parcialmente os refletores subjacentes.

O princípio do método utilizado, CMP (*Common Mid Point*) tem o propósito de amostrar um mesmo ponto no horizonte refletor a partir de vários ângulos, ou seja, o ponto de tiro é deslocado até o ponto seguinte iluminando os refletores mais

de uma vez. Este procedimento está ilustrado na figura 45. O termo original CDP (*Common Depth Point*) é válido somente em casos de refletores planos que não apresentem nenhuma variação lateral de velocidade.

A grande vantagem desta técnica utilizada é de que a razão sinal/ruído é aumentada à medida que repetidas respostas de um mesmo intervalo e nível são somadas. O sinal coerente, com origem geológica é ampliado, enquanto que o sinal proveniente de ruído aleatório é decrescido.



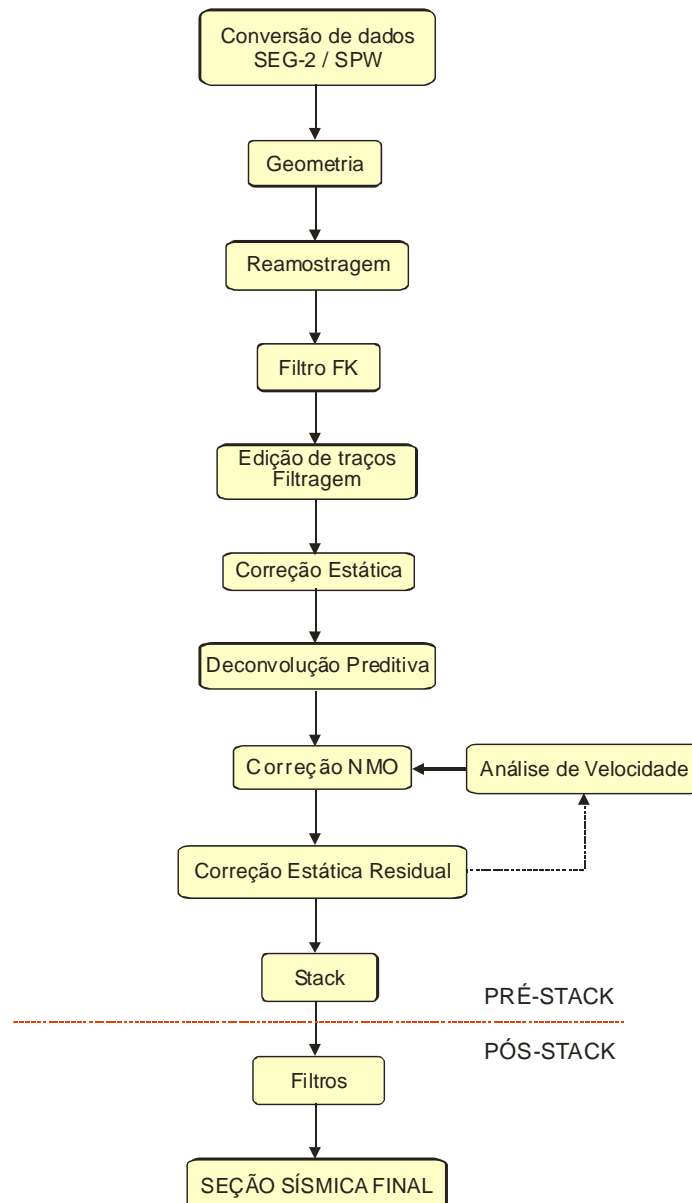
**Figura 45:** Esquema da amostragem na técnica CDP que mostra como cada ponto, ao longo do refletor, foi amostrado mais de uma vez. O exemplo, realçado por linhas mais espessas, mostra o refletor na posição – a. Este foi amostrado pelo geofone 3 quando a fonte se encontrava na posição A e pelo geofone 1 quando a fonte estava em B (mod. Martins 2001).

#### 6.4.4 Processamento

Descrevem-se neste item, sucintamente, as etapas realizadas no processamento dos dados uma vez que, como já mencionado anteriormente, tanto a aquisição, quanto o processamento, foram realizados pelos integrantes do projeto MODRES que adaptaram a metodologia aplicada.



Após a etapa da aquisição geofísica, iniciou-se uma segunda fase que consistiu no processamento através das etapas mostradas no fluxograma da figura 46.



**Figura 46:** Fluxograma simplificado da seqüência do processamento dos dados da sísmica de reflexão. Fonte: Rigoti *et al.* 2004.

Inicialmente fez-se a conversão dos arquivos no formato SEG-2 para o formato *spw* que contaram com alguns dados coletados durante a aquisição.

Na seqüência fez-se a entrada da geometria e a verificação do *header* para uma primeira análise, se tudo está correto. Estes dados foram reamostrados para



um intervalo maior, ou seja, passou de uma amostragem de 0,25ms para 0,625ms. Este procedimento serve para eliminar ruídos de muito alta frequência.

A edição dos traços consistiu na filtragem do dado, eliminando os traços que ainda permaneceram ruidosos. Em seguida foi utilizado o filtro FK, que consiste em eliminar ruídos coerentes, como a onda aérea e *Ground Roll*. Na seqüência aplicou-se o filtro passa-banda para a retirada das frequências que não interessam e uma equalização de amplitudes.

Como correção estática, foi adotada a topografia que levou em consideração a profundidade dos tiros, normalizando a seção sísmica para um datum topográfico de 1000 metros.

A última etapa de filtragem consistiu na aplicação da Deconvolução Preditiva, que teve como função remover a intensa reverberação das ondas sísmicas, principalmente a refração, para evidenciar os refletores.

Com os dados filtrados satisfatoriamente, a etapa seguinte foi a análise de velocidade. Esta etapa consistiu em efetuar a correção NMO (*normal move out*), onde um refletor, em um registro sísmico, aparece como uma hipérbole. Através desta análise de velocidade, tentou-se horizontalizar esta hipérbole utilizando o método de mínimos quadrados. Quando mais exato este ajuste, mais o refletor irá se aproximar da sua inclinação real.

Após a correção NMO, foi aplicada a correção estática residual, que fundamentou-se em corrigir pequenas distorções em tempo geradas durante a análise de velocidade e também realizar um ajuste fino do datum, uma vez que nem sempre a correção estática por elevação é totalmente eficaz. Após esta correção, foi realizada uma nova análise de velocidade e também uma correção estática residual.

Com isso, obteve-se um *looping* até que o processador julgasse que os resultados eram satisfatórios. No caso desta linha, este *looping* só foi realizado uma vez.

Através das etapas descritas até aqui, denominada fase *pré-stack*, os dados foram organizados em famílias CMP para o empilhamento da seção. Desta forma, já foi possível uma interpretação da seção sísmica, embora ela ainda apresentasse alguns resíduos do processamento. Seguiu-se então para a fase *pós-stack*.

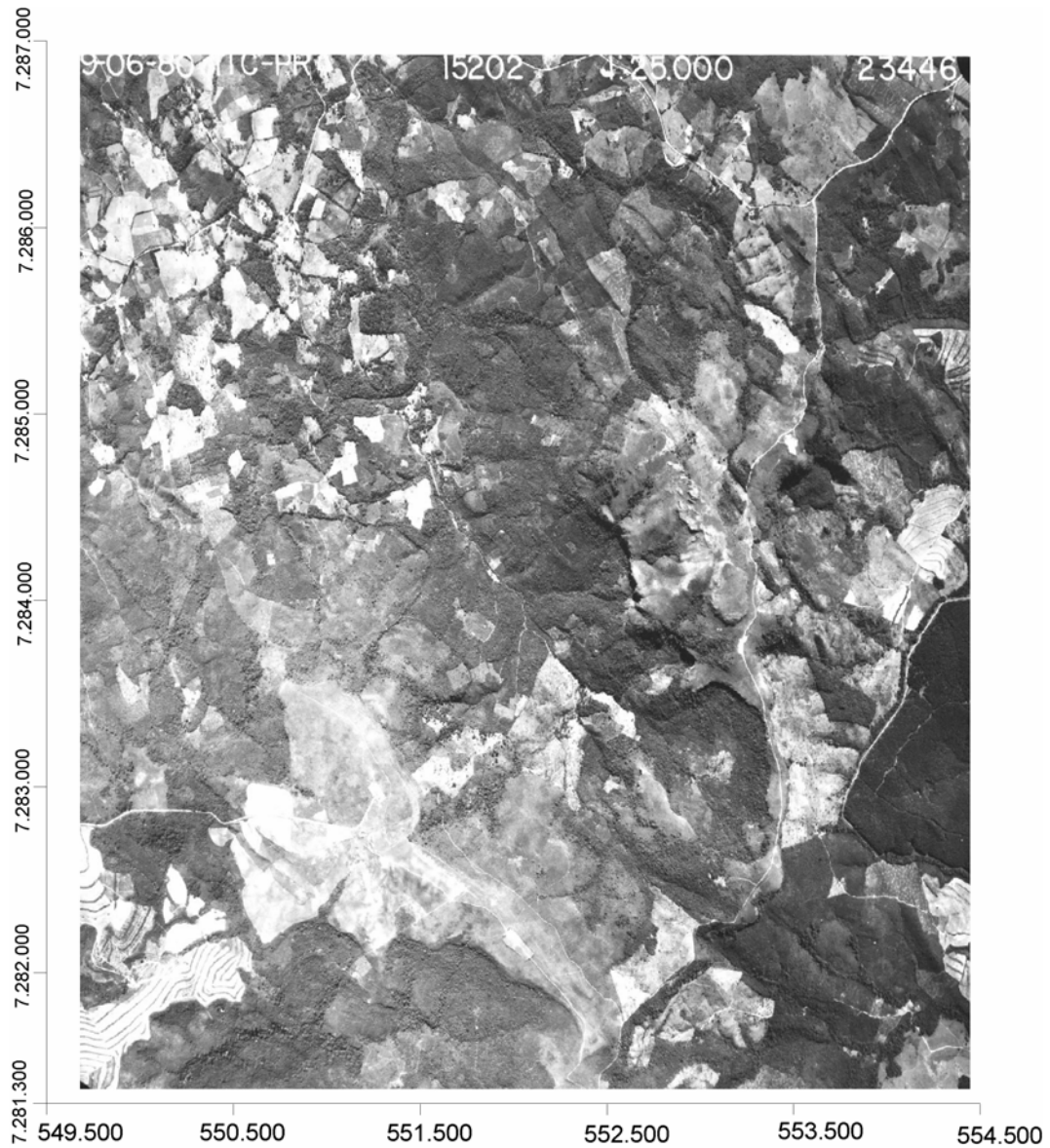
A fase *pós-stack* teve como objetivo a limpeza de pequenos ruídos, sejam eles resíduos do processamento ou artefatos criados matematicamente. Para isto, aplicou-se uma seqüência de passos que contou com uma nova equalização de amplitudes, filtro para a retirada de ruídos aleatórios e um filtro de frequência. O cuidado nesta fase foi crítico para que não se criassem refletores, de maneira forçada, e muito menos mascarasse possíveis estruturas geológicas, como fraturas, acunhamento de camadas, estratificações, etc.

## 6.5 SEÇÃO SÍSMICA

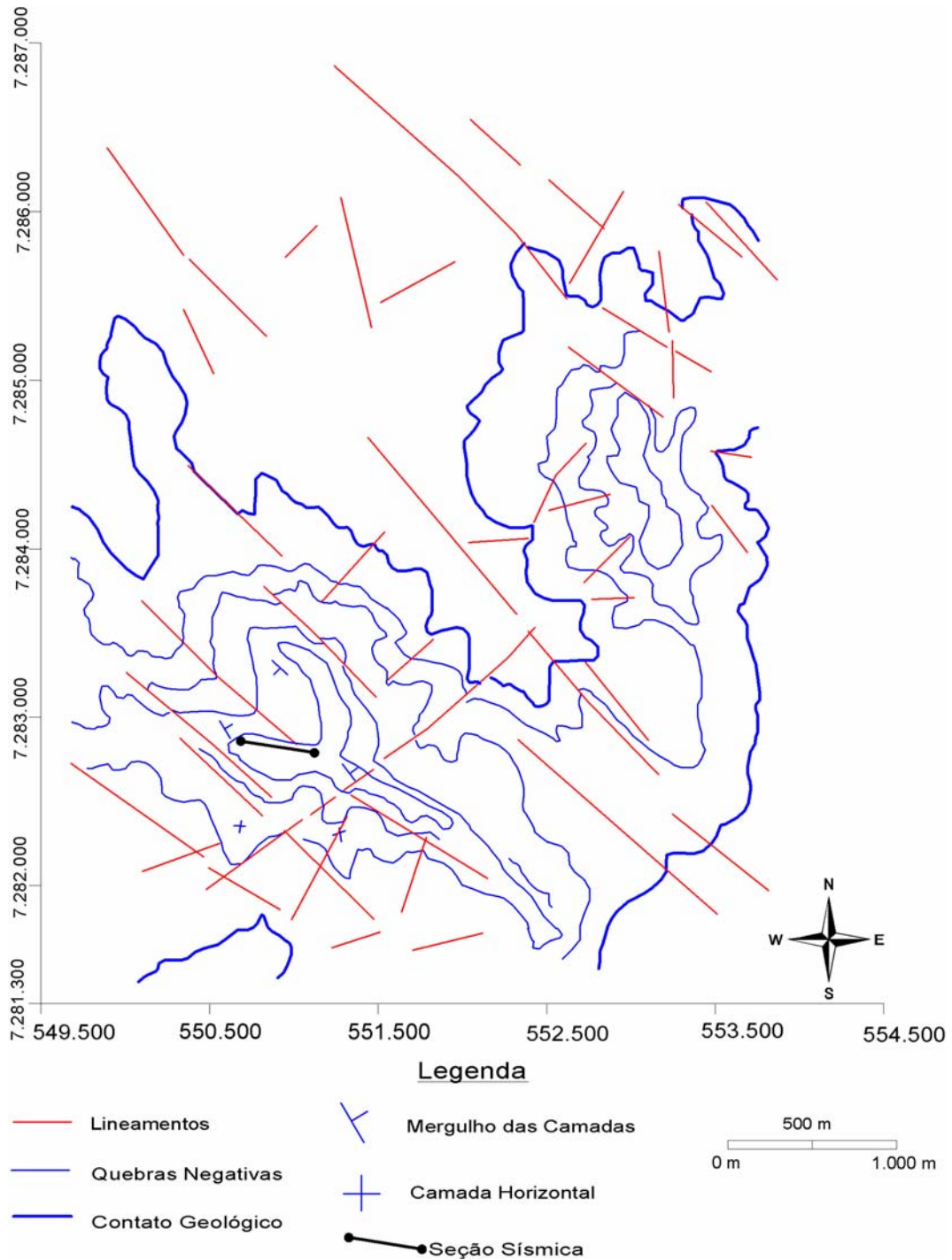
A seção sísmica foi realizada na região do Morro do Jacaré, com uma extensão de 435 m. Para o posicionamento da seção em campo foram levados em consideração, como já mencionado anteriormente, o acesso, relevo e também o estudo do arcabouço estrutural-estratigráfico realizado por estudos em campo e interpretação de fotografias aéreas na escala 1:25.000.

O principal par fotográfico utilizado foi o 23445 / 23446 do ITC (fig. 47) onde foram traçados os lineamentos e as quebras negativas do relevo que traduzem a mudança na litologia que por vezes dentro de uma mesma unidade pode variar e também podem representar o contato litológico entre unidades. Esta interpretação foi

realizada com intuito de auxiliar a interpretação da seção sísmica para correlacionar um refletor marcante com as quebras de relevo. A interpretação encontra-se na figura 48.

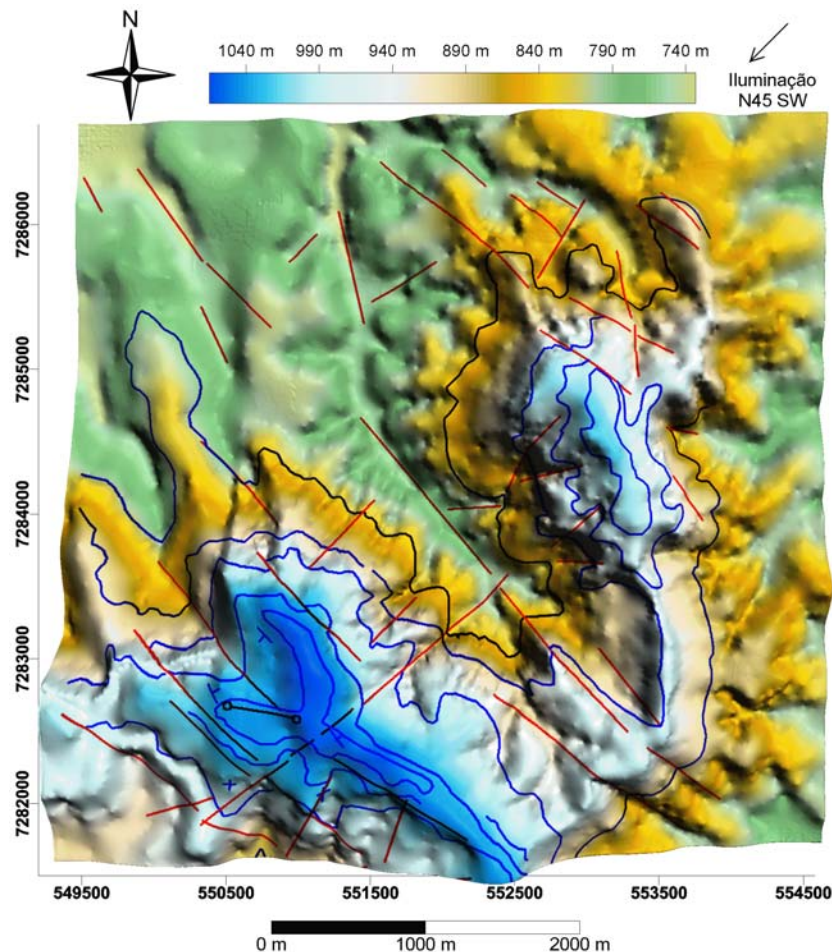


**Figura 47:** Fotografia aérea na escala 1:25.000 do ITC utilizada para o auxílio da projeção da seção sísmica e para a fotointerpretação.



**Figura 48:** Interpretação da fotografia aérea, figura anterior, onde foram destacadas as quebras negativas de relevo que representam variações litológicas com traço azul mais fino e o contato litológico entre a Formação Ponta Grossa e a Formação Campo Mourão, com traço azul mais espesso. Os lineamentos foram traçados em vermelho.

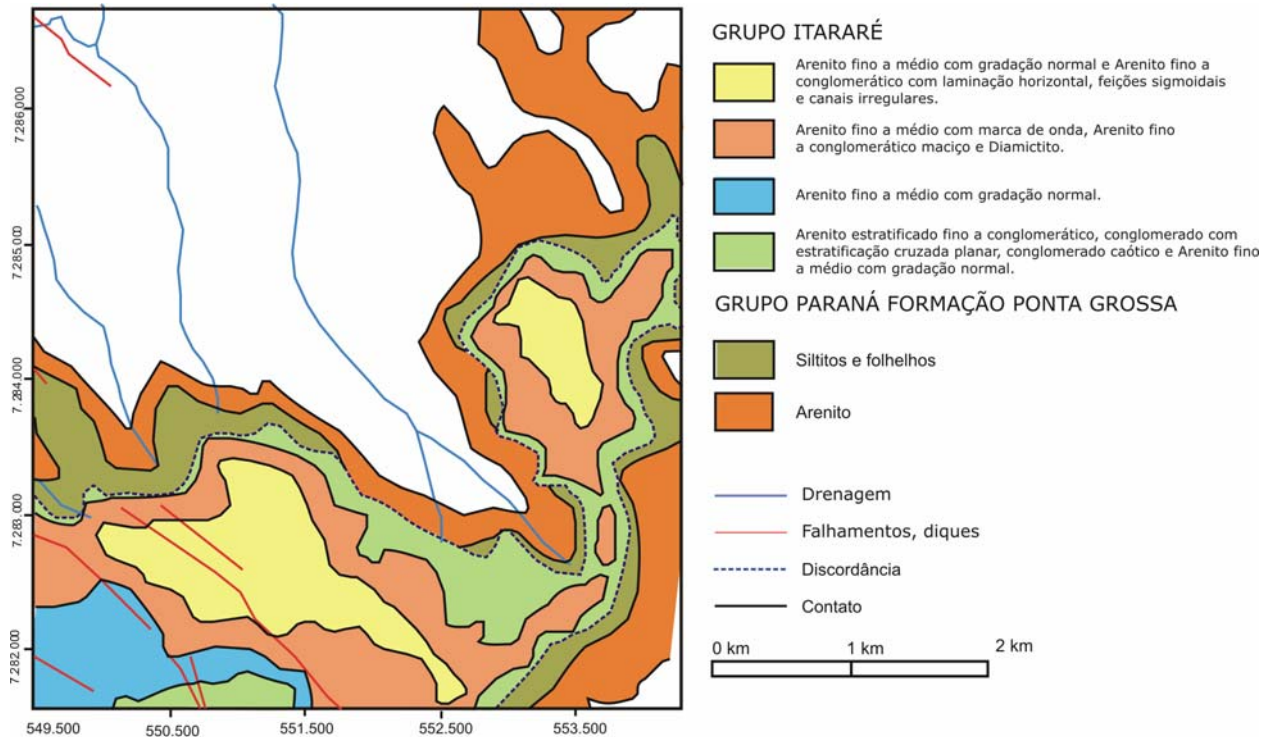
A interpretação da fotografia aérea foi sobreposta ao modelo digital de elevação gerado para a área correspondente, de forma a visualizar melhor a distribuição das quebras de relevo bem como a disposição dos lineamentos (fig. 49)



**Figura 49:** MDE gerado para a área correspondente da fotografia aérea 23446 (esc 1:25.000) com a sobreposição dos lineamentos e quebras negativas.

A integração entre a interpretação da fotografia aérea com o MDE auxiliou o entendimento estrutural da área alvo selecionada. Os estudos realizados na área em questão, com caráter mais estrutural, aliado ao mapeamento litofaciológico (fig. 50) realizado por Perdoncini (1997) que abrange parte da Serra dos Borges, Serra do Barreiro e Serra do Roncador, auxiliaram a interpretação da seção sísmica (fig. 51).





**Figura 50:** Parte do mapa litofaciológico confeccionado por Perdoncini (1997). As fácies foram classificadas utilizando-se o código de fácies proposto por Eyles *et al.* (1983). As informações litofaciológicas apresentadas neste mapa, juntamente com os trabalhos de campo realizados na área em questão permitiram a interpretação da seção sísmica.

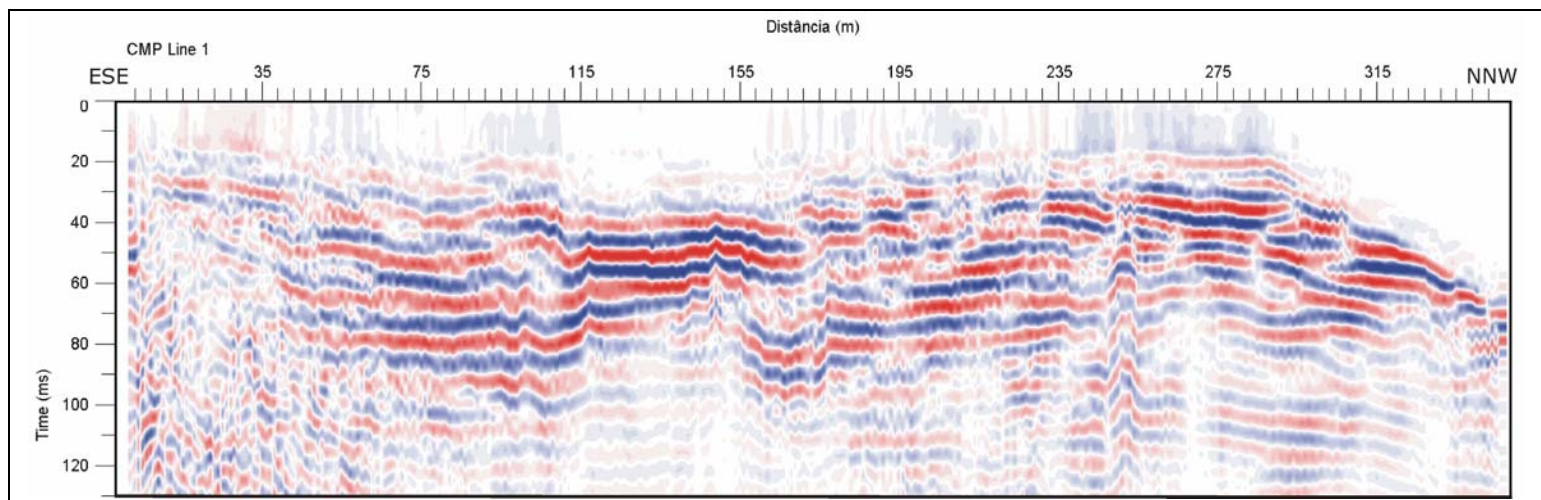
A seção sísmica (fig. 51) com comprimento de 435 metros apresenta a profundidade em tempo, que representa, aproximadamente, o mesmo valor em metros ou seja, se o tempo é de 80 ms, representa 80 metros. Esta equivalência ocorre em função das velocidades determinadas para a seção.

Diversas falhas foram observadas ao longo da seção sísmica, conforme mostra a interpretação da figura 52, que provocam deslocamentos locais em alguns dos refletores. Na interpretação da seção ocorrem porções mais fraturadas e outras menos fraturadas que são condizentes aos lineamentos identificados na fotografia aérea (figs. 47 e 48). Na interpretação da fotografia pôde-se visualizar lineamentos com direção NW, sendo que alguns destes encontram-se nas proximidades da seção sísmica. Uma das falhas identificadas em foto (fig. 48), intercepta a seção sísmica e

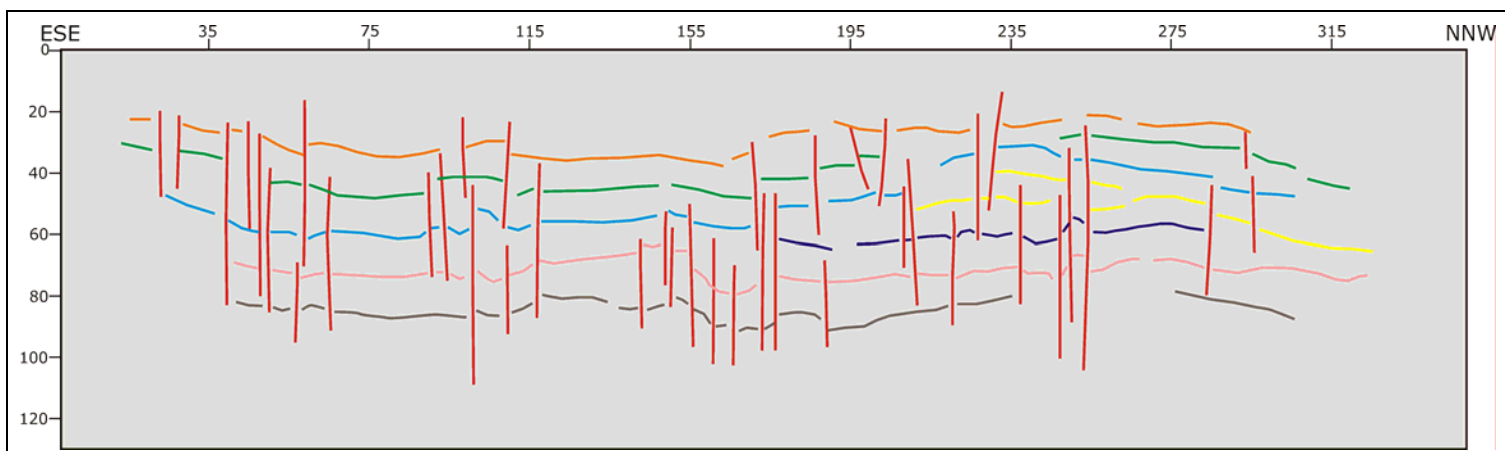
bascula as camadas. As falhas com direções NE também estão presentes na foto interpretada, mas quando comparadas às de direção NW são menos freqüentes.

Com relação à estratigrafia o intervalo amostrado pela seção sísmica (fig. 51), compreende rochas da Formação Campo Mourão. Tendo como base o mapa litofaciológico (fig. 50), do topo para a base, ocorrem arenitos finos a médios, arenitos conglomeráticos e canais irregulares, passando para arenitos finos a médios com marcas de onda, arenitos conglomeráticos e diamictitos e finalizam com arenitos estratificados, conglomerados com estratificação cruzada e arenitos com graduação normal.





**Figura 51:** Seção sísmica gerada na região do Morro do Jacaré com a profundidade medida em tempo (ms) que aproximadamente equivale o mesmo valor em metros. Os refletores na cor vermelha são negativos e os azuis positivos.



**Figura 52:** Interpretação da seção sísmica onde se pode visualizar a disposição das falhas e os refletores.

## 7 CONCLUSÕES

A região estudada é marcada pela intersecção da Zona de Falha da Jacutinga, com direção NE com as Zonas de Falhas São Jerônimo – Curiúva e Rio Alonzo, com direção NW. Nesta porção ocorre a exposição de rochas da Formação Ponta Grossa, Grupo Itararé, Grupo Guatá e Passa Dois pertencentes à Bacia do Paraná.

Os métodos aqui apresentados, tiveram como objetivo principal, a caracterização estrutural para subsidiar o entendimento de acumulação de hidrocarbonetos em reservatórios fraturados, em áreas subaflorantes, tendo como base, estudos em áreas expostas.

Desta forma este estudo baseou-se em uma metodologia para a caracterização detalhada do arcabouço estratigráfico - estrutural da área estudada, conforme os passos descritos a seguir e foi indicada para o propósito do trabalho.

1) A geração do MDE, a partir de informações planialtimétricas, auxiliou a visualização da configuração do arcabouço do terreno;

2) O reconhecimento de feições lineares positivas e negativas, a partir da correlação entre o MDE e imagens de satélite, resultou no mapa de feições lineares. Neste mapa, pode-se observar que os principais feixes estão orientados a N40-60W secundados pelas direções N20-70E, N-S e E-W.

3) A filtragem das feições lineares positivas e negativas, com base na continuidade e frequência de cada traço, resultou no mapa de lineamentos filtrados;

4) Foram gerados mapas de contorno tanto do comprimento acumulado quanto da frequência dos mapas dos itens 3 e 4, que auxiliaram a visualização do padrão e densidade do fraturamento;

5) Através do controle de campo bem como da interpretação de imagens foi gerado o mapa geológico. A melhor ferramenta utilizada para o traçado dos contatos geológicos foi a fotografia aérea;

6) A superposição espacial dos mapas gerados resultou no reconhecimento do arcabouço estrutural-estratigráfico da área em questão;

7) Devido a área de estudo apresentar características morfo-estruturais distintas, foi realizada a subdivisão em 3 compartimentos estruturais distintos;

8) Através da interpretação das imagens e dos dados de campo foi realizado o agrupamento de elementos estruturais em *trends* estruturais das direções NE-SW, NW-SE, N-S e E-W observadas.

9) Avaliação e seleção de áreas alvo com base em estudos realizados a partir de escala regional até escala de campo.

10) Realização de uma seção sísmica na área alvo selecionada e correlação da seção com a interpretação da fotografia aérea e o mapa faciológico.

Com base nos resultados obtidos foi possível concluir que a região apresenta-se principalmente condicionada por estruturas com sentido NW-SE , as quais são associadas ao enxame de diques do Arco de Ponta Grossa. A

ocorrência destas estruturas está concentrada na faixa entre as Zonas de Falhas São Jerônimo - Curiúva e Rio Alonzo.

As falhas com direção NW com cinemática transcorrente dextral apresentam geometria principalmente retilínea seguida de geometria ondulada e são penetrativas e sistemáticas. As falhas nesta direção com cinemática sinistral são pouco freqüentes em afloramentos e a geometria, no geral, é irregular.

As estruturas com direção NE apresentam traços mais segmentados e espaçados e são presentes entre as direções N20-70E. Os registros das falhas encontradas nesta direção com cinemática sinistral, apresentam geometria anastomosada com traços pouco contínuos ocorrendo também estruturas sistemáticas com geometria retilínea que localmente ocorrem abertas e preenchidas. Em alguns afloramentos das Formações Taciba, Irati e Serra Alta ocorrem deformações com cinemática transcorrente dextral com geometria retilínea e anastomosada.

Secundariamente as direções N-S e E-W apresentam lineamentos mais espaçados com traços retilíneos e descontínuos. Estas estruturas são mais freqüentes na região fora do domínio entre as Zonas de Falhas São Jerônimo – Curiúva e Rio Alonzo.

Com base na caracterização do arcabouço estrutural e também estratigráfico, foram selecionadas áreas-alvo de reservatórios análogos para o detalhamento. Esta seleção contou com a avaliação técnica, operacional e científica.

A área-alvo eleita localiza-se no município de Tibagi e é conhecida como Morro do Jacaré. O nível aflorante nesta porção, pertence à Formação Campo Mourão e apresenta uma boa qualidade de exposição de afloramentos. Estudos detalhados através da interpretação de fotografias aéreas na escala 1:25.000 aliado ao controle de campo mostram duas direções de fraturas marcantes de N40-60W que apresentam falhas normais e direções entre N50-70E com planos de falhas que indicam uma zona de falha transcorrente com cinemática sinistral.

Neste local foi realizada a aquisição de uma seção sísmica através do imageamento 2D por sísmica de reflexão que contaram com equipamentos adquiridos pelo projeto MODRES e também, contou com a especialidade de integrantes que desenvolvem suas pesquisas no projeto.

A interpretação da seção sísmica foi auxiliada com a análise da fotografia aérea e do mapa faciológico onde foi identificada uma zona de falha no início da seção, falhas menores ao longo da seção. Feições sismo-estratigráficas observadas como *onlaps* e truncamentos, pertencem ao contexto da Formação Campo Mourão que apresenta canais irregulares, progradações e retrogradações.

O entendimento do arcabouço estrutural e estratigráfico realizado através da metodologia “zoom” onde foram utilizados métodos diretos e indiretos foi de fundamental importância na definição de uma metodologia para auxiliar trabalhos que enfoquem a compreensão e comparação de reservatórios fraturados, principalmente no que se refere à migração e acumulação de hidrocarbonetos, pois estas estruturas podem servir tanto como condutos quanto barreiras.

## 8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Appi C.J., Rostirolla S.P. 2004. Modelagem da anisotropia em sistemas fraturados a partir de estudos de alta resolução na Bacia do Paraná, Brasil. Boletim de Geociências da PETROBRAS, Rio de Janeiro. V.12 n.1, p.125-147.

Cava, L. T. 1983. Programa de Integração e Avaliação Regional Área Telêmaco Borba – Ipiranga – Mineropar S/A. Curitiba - PR.

Cordani U.G., Brito Neves B.B., Fuck R.A., Porto R., Thomaz Filho A., Cunha F.M.B. 1984 Estudo preliminar de integração do Pré-Cambriano com os eventos tectônicos das bacias sedimentares brasileiras. Boletim Ciência Técnica Petróleo, Seção Exploração de Petróleo, n. 15, 70p.

Demaison G., Huizinga B.J. 1991 Genetic classification of petroleum systems. *AAPG Bulletin*, 75:1626-1643.

Eyles, N. C., Eyles, C. H., Miall, A. D. 1983. Lithofacies types and vertical profile models: an alternative approach to the description and environmental interpretation of glacial diamict and diamictite sequences. *Sedimentology*, Oxford, v. 30, p. 393-410.

Ferreira F.J.F. 1982. Integração de dados aeromagnéticos e geológicos: configuração e evolução tectônica do Arco de Ponta Grossa. Inst. de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, Dissertação de Mestrado, 170p.

França, A. B., Potter, P. E. 1988. Estratigrafia, ambiente deposicional e análise de reservatório do Grupo Itararé (Permocarbonífero), Bacia do Paraná (Parte 1). Boletim de Geociências da PETROBRAS, Rio de Janeiro. . V.2 n.2/4, p.147-191.



- França, A. B., Potter, P. E. 1989. Estratigrafia e ambiente deposicional do Grupo Itararé (Permocarbonífero), Bacia do Paraná (Parte 2). Boletim de Geociências da PETROBRAS, Rio de Janeiro. v.3 n.1/2, p.17-28.
- Gordon Junior, M. 1947. Classificação das formações Gondwânicas do Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul. Bol. Div. Geol. Min. DNPM, 234:1-71.
- Maack, R. 1947. Breves notícias sobre os estados de Santa Catarina e Paraná. Arquivo de Biologia e Tecnologia, Curitiba, v.2, p.65-154.
- Martins J. L. 2001. Noções do Método Sísmico e de Resolução Sísmica. Capítulo 4 Estratigrafia de Seqüências fundamentos e aplicações. UNISINOS.
- Milani, E. J.; França, A. B. Schneider, R. L. 1994 Bacia do Paraná. Boletim de Geociências da Petrobrás, 8-1:69-82.
- Milani E.J. 1997. Evolução Tectono-Estratigráfica da Bacia do Paraná e seu relacionamento com a Geodinâmica Fanerozóica do Gondwana Sul-Occidental. Tese de Doutorado. UFRGS. 254p.
- Milani E. J. e Catto E. 1998. Petroleum Geology of the Paraná Basin, Brazil. AAPG International Conference e Exhibition. P. 442-443.
- Milani E.J., Ramos V.A. 1998. Orogenias Paleozóicas no domínio sul-occidental do Gondwana e os ciclos de subsidência da Bacia do Paraná. Revista Brasileira de Geociência, 24(4): 473-484.
- Milani, E.J.; Thomaz Filho, A. 2000. Sedimentary Basins of South América. In: U.G. Cordani; E.J. Milani; A. Thomaz Filho; D.A. Campos. Tectonic Evolution of South America, Edição Especial do 31<sup>st</sup> International Geological Congress, p. 389-449.

- Oliveira, G. P. 1927. Geologia de recursos minerais do Estado do Paraná. Rio de Janeiro, SGM, monografia 6.
- Paulipetro 1981. Relatório de Atividades 1979/1981, 59 pp.
- Perdoncini L. C. 1997. Diamantes do Rio Tibagi, Paraná: Fonte no Grupo Itararé?. UFPR, Dissertação de Mestrado.
- Ramos V. 1988. Late Proterozoic - Early Paleozoic of South America: a collisional history. *Episodes*, v., p. 168-174.
- Rigoti A., Brunetta R., Nascimento J. 2004. Relatório interno do Projeto Modres. PETROBRAS
- Rostirolla S.P. Assine M.L. Fernandes L.A. Artur P.C. 2000. Reativação de Paleolineamentos durante a Evolução da Bacia do Paraná – O Exemplo do Alto Estrutural de Quatiguá. *Revista Brasileira de Geociências*, 30(4): 639-648.
- Rostirolla S.P. Mancini F. Rigoti A. Kraft R.P. 2002 Structural styles of intracratonic reactivation of the Perimbó Fault Zone, Paraná Basin, Brazil. Accepted to the *J. South Am. Earth Sci.*, Dec 2002.
- Rostirolla S.P.; Appi C.J.; Vesely F.F.; Trzaskos-Lipski B.; Mancini F.; Kraft R.P. 2003 Análise Preliminar das rotas de migração de gás no Sistema Petrolífero Ponta Grossa – Itararé (!) na Bacia do Paraná. IX SNET, III International Symposium on Tectonics Búzios – RJ.
- Schneider, R. L.; Mühlmann, H.; Tommasi, E.; Medeiros, R. A.; Daemon, R. F.; Nogueira, A. A. 1974. Revisão estratigráfica da Bacia do Paraná. In: SBG, Congresso Brasileiro de Geologia, 28, Porto Alegre, Anais, 1:41-65.

- Soares P.C. 1991. Tectônica sinsedimentar cíclica na Bacia do Paraná: Controles. Departamento de Geologia, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, Tese de professor titular. 148p.
- Soares P.C., Landim P.M.B., Fúlfaro V.J. 1978. Tectonic cycles and sedimentary sequences in the brazilian intracratonic basins. GSA Bulletin, 89:181 -191.
- Soares P.C., Barcellos P.E., Csordas S.M. 1982. Lineamentos em Imagens de Landsat e Radar e suas Implicações no Conhecimento Tectônico da Bacia do Paraná. II Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Brasília, V.1, 143-167.
- Soares P.C., Rostirolla S.P., Ferreira F.J.F., Stevanato R. (1996). O alto estrutural Pitanga- Quatiguá-Jacutinga na Bacia do Paraná: Uma Estrutura Litosférica. In: Cong. Brás.Geol., 39 Salvador 1996. Anais...Salvador, SBG. V.5 (411-414).
- Strugale M. 2002. Arcabouço e evolução estrutural do Arco de Ponta Grossa no Grupo São Bento (Mesozóico): Implicações na hidrodinâmica do Sistema Aquífero Guarani e na migração de hidrocarbonetos na Bacia do Paraná. UFPR, Dissertação de Mestrado.
- Strugale M., Rostirolla S.P., Mancini F., Portela Filho C.V., Ferreira F.J.F., Freitas R.C. 2003. Structural framework an structural evolution or Ponta Grossa Arch and its implications to Piramboia and Botucatu formations (Mesozoic of Paraná Basin), South Brazil. *Accepted to the Journal of South America Earth Sciences.*
- Tankard, A.J., Suarez S., R., and Welsink, H.J., eds., 1996, Petroleum basins of South America, American Association of Petroleum Geologists Memoir 62: U.S.A., American Association of Petroleum Geologists, Yacimientos

Petrolíferos Fiscales Bolivianos, and Academia Nacional de Ciências de Bolivia, 792 p.

Trzaskos-Lipski B.; Rostirolla S.P.; Vesely F.F.; Bocardi L.B.; Mancini F.; Appi C. 2003 Microtectônica e sua importância no estudo da circulação de fluidos em reservatórios fraturados do Grupo Itararé – Bacia do Paraná. IX SNET, III International Symposium on Tectonics Búzios – RJ.

Zalán P. V, Wolff S., Astolfi M.A.M., Vieira I.S., Conceição J.C.J., Appi V.T., Neto E.V.S., Cerqueira J.R., Marques A., 1990. The Paraná Basin, Brazil. In: M. W. Leighton; D. R. Kolata; D.F. Oltz; J.J. Eidel (eds) Interior cratonic basins. Tulsa: AAPG Memoir 51, p. 681-708.

White R., McKenzie D. 1989. Magmatism at Rift Zones: The Generation of Volcanic Continental Margins and Flood Basalts Journal of Geophysical Research, 94(B6):7685-7729.