

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA

INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

E CIÊNCIAS EXATAS

ANÁLISE ESTRUTURAL DO NÚCLEO BETARA

RIO BRANCO DO SUL - PR

EDUARDO SALAMUNI

Orientador: Prof. Dr. Eberhard Wernick

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

Curso de Pós-Graduação em Geociências

Área de Concentração: Geologia Regional

UNESP - CAMPUS DE RIO CLARO

1991

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA

INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

E CIÊNCIAS EXATAS

ANÁLISE ESTRUTURAL DO NÚCLEO BETARA

RIO BRANCO DO SUL - PR

EDUARDO SALAMUNI

Orientador: Prof. Dr. Eberhard Wernick

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

Curso de Pós-Graduação em Geociências

Área de Concentração: Geologia Regional

UNESP - CAMPUS DE RIO CLARO

1991

AO MEU PROFESSOR

RIAD SALAMUNI

AGRADECIMENTOS

É preciso reconhecer que trabalhos dessa natureza envolvem um recompensador sacrifício de tempo. Este sacrifício é compartilhado por pessoas que se encontram próximas. Sem elas o trabalho não seria possível, ou então seria muito mais difícil.

A essas pessoas amigas, desejo neste espaço, prestar sinceros agradecimentos:

Em especial ao Professor **Eberhard Wernick**, que aceitou sair de sua linha de trabalho, inclusive em sacrifício pessoal e de seu grupo de pesquisa, para me acompanhar por diversos meios a melhor trilha a seguir para a prática da ciência geológica, além de oferecer valiosas sugestões para a melhoria da forma e conteúdo do texto final.

Aos Professores **Alberto Pio Fiori** e **Yociteru Hasui**, que pacientemente retificaram por mais de uma vez, as idéias colocadas neste trabalho, adequando sua linguagem a uma linha moderna de pensamento, que possibilitou-me atingir o objetivo inicial. Ao Professor **Fiori**, agradeço em particular, por ser o grande incentivador do início de minha carreira acadêmica.

Igualmente agradeço aos Professores **Hans Dirk Ebert**, **Elias Carneiro Daitx** e **Paulo César Soares** pelas discussões, sugestões valiosas e leitura crítica do texto, contribuindo decisivamente para o desenvolvimento do trabalho.

Aos Geólogos **Gil Francisco Piekarz** e **Luiz Tadeu Cava**, pela ajuda em vários momentos de dúvida.

Sou grato, igualmente, às instituições que colocaram infraestrutura à minha disposição e/ou possibilitaram ajuda financeira. São elas a FAPESP, à MINEROPAR, UFPR, à CIMENTOS RIO BRANCO, na pessoa do amigo e Geólogo **Daniel Luís Gomes** e especialmente a UNESP, que me acolheu com profissionalismo no período em que desenvolvi o trabalho.

Amigos não faltaram. Meu obrigado ao pessoal da república, pela partilha dos bons momentos e pela serenidade em atravessar os maus: **Celso, Pedro, Oscar, Orgival, Solange, Elton, Ticiano, Carlos, Merico, Maniesi, Ângelo, César, Fabio, Paulo, Julio, Issa e Manoel**.

Agradeço os colegas profissionais de convivência diária **Cláudio, Paulo, Sérgio, Eliane, Nara, Daniel, Adriana, Emilia, Cecília, Francisco, Marcio, Irmã, Petta,**

Christiano, Walter, Denise, César (II), Marcelo, Adolfo (Rita), Ene, Suzana, Rosa, Silvia, Sônia, Vera, Elaine, Leila, Elisa, Célia e em particular a **Eleonora**, o apoio recebido em diversas ocasiões.

Agradeço em especial a **Elton Luis Dantas, Elvo Fassbinder** e a **Luis Gaspar** pelo incentivo e sugestões que foram bastante proveitosas, além da boa vontade e amizade que sempre demonstraram em relação a este trabalho.

A **Adriana Baggio**, à **Magui, Ticiano** e **Ana Eugênia**, pela inestimável ajuda final e à **Marta** na ajuda em seu começo.

Às bibliotecárias **Suzi** (UNESP), **Estela** e **Cida** (USP), **Dulcinéia** e **Eliane** (UFPR) e **Marlene** (MINEROPAR), agradeço pela disposição e boa vontade de sempre.

Quero agradecer ainda à **Denise**, ao **Juca**, à **Adriana Vasques**, à **Marcela**, à **Marli** e ao **Luis** e à **Ana Rocha**, pela compreensão da constante ausência, com que lhes "brindei", cada um a seu tempo, cada um a seu modo.

Agradeço também, ao **Marcelo**, à **Yara**, à **Sofia** pela atual convivência estimulante, que faz do ambiente caseiro um prazer.

Em especial à minha família, agradeço o compartilhar em cada etapa do trabalho. **Riad, Hôda, Paulo, Rogério** e a **Maria Beatriz**, e também a **Isaura**, sem vocês todo este trabalho não teria sentido.

Carinhosamente, sou grato especialmente à **Isabelle**, que me faz viver melhor.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	iv
LISTA DE FOTOS	v
LISTA DE QUADROS	vii
LISTA DE TABELAS	vii
LISTA DE ANEXOS	viii
ABSTRACT	ix
RESUMO	xi
CAPÍTULO 1: INTRODUÇÃO	1
1.1 Considerações Gerais	1
1.2 Objetivos	2
1.3 A Área Estudada	3
CAPÍTULO 2: METODOLOGIA DE TRABALHO	9
CAPÍTULO 3: GEOLOGIA REGIONAL – REVISÃO DOS TRABALHOS ANTERIORES	14
3.1 CONTEXTO REGIONAL	14
3.2 UNIDADES LITO-ESTRATIGRÁFICAS ADJACENTES AO COMPLEXO SETUVA	16
3.2.1 Complexo Costeiro	16
3.2.2 Grupo Açungui	16
3.2.3 Granitóides	19
3.2.4 Intrusivas Básicas	20
3.3 O Complexo Setuva e seu Embasamento	21
3.3.1 Ocorrência	21
3.3.2 Nomenclatura Estratigráfica	21
3.3.3 Unidades Integrantes	22
3.3.4 Relações de Contato e Posição Estratigráfica ..	26
3.3.5 Litologias e Metamorfismo	27
3.3.6 Padrão Estrutural	28
3.3.7 Geocronologia	32
3.3.7 Considerações Complementares	33
3.4 Evolução Tectônica do Cinturão Ribeira no Escudo Paranaense	34

CAPÍTULO 4: ASPECTOS LITO-ESTRATIGRÁFICOS DO NÚCLEO BETARA.....	38
4.1 Aspectos Gerais do Mapa Geológico	38
4.2 Posicionamento Tectono-Estratigráfico	42
4.3 Caracterização Litológica	45
4.3.1 Complexo Meia Lua	46
4.3.2 Formação Betara	55
4.3.3 Grupo Açungui: Formações Votuverava e Capiru ..	74
4.3.4 Granito Rio Abaixo	76
 CAPÍTULO 5: ANÁLISE DE ELEMENTOS ESTRUTURAIIS MACROSCÓPICOS	 78
5.1 Estruturas Sedimentares ou Superfície Original - S_0	78
5.2 Foliação S_{n-1}	79
5.3 Foliação S_n	83
5.4 Foliação S_{n+1}	97
5.5 Foliação S_{n+2}	97
5.6 Lineação do Tipo "a" (La): La_n e La_{n+2}	100
5.7 Lineação do tipo "b" (Lb): Lb_n , Lb_{n+1} e Lb_{n+2}	106
5.7.1 Lineação Lb_n	106
5.7.2 Lineações Lb_{n+1} e Lb_{n+2}	112
5.8 Clivagem de Fraturas e Juntas	118
5.9 Indicadores do Sentido de Movimento	119
 CAPÍTULO 6: GEOMETRIA DAS MEGAESTRUTURAS DA ÁREA.....	 121
6.1 Zona de Cisalhamento Betara	121
6.2 Zona de Cisalhamento Transcorrente Lancinha - Cubatão	125
6.3 A Estrutura Antiformal do Betara	129
 CAPITULO 7: TECTÔNICA LOCAL.....	 131
7.1 Aspectos Gerais	131

7.2 Os Sistemas Deformacionais	134
7.2.1 Sistema F_n : Os Cavalgamentos.....	134
7.2.2 Sistema F_{n+1} : Dobramentos Intermediários - Uma Resultante Tectônica Coaxial?	141
7.2.3 Sistema F_{n+2} : Tectônica Transcorrente	146
CAPÍTULO 8.....	153
CONCLUSÕES.....	153
8.1 Geologia do Núcleo Betara	153
8.2 Evolução Tectônica e Alçamento da Antiforma do Betara	155
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	159
ANEXOS	

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Mapa de Situação Geográfica da Área.....	6
Figura 2: Articulação das Fotografias Aéreas.....	12
Figura 3: Articulação das Cartas Base do Exército.....	13
Figura 4: Contexto Tectônica/Geológico.....	15
Figura 5: Blocos Diagramas Esquemáticos do Núcleo.....	41
Figura 6: Correlação entre Profundidade e Geração.....	46
Figura 7: Diagrama R1/R2 de De La Roche.....	68
Figura 8: Campo em que se Encontram os Tectonitos.....	86
Figura 9: Esquema do Padrão S-C.....	86
Figura 10: Cisalhamento Riedel Aplicado à Foliação.....	87
Figura 11: Localização dos Estereogramas de Sn.....	91
Figura 12: Estereograma de Pólos de Sn, Área 1.....	92
Figura 13: Estereograma de Pólos de Sn, Área 2.....	92
Figura 14: Estereograma de Pólos de Sn, Área 3.....	92
Figura 15: Estereograma de Pólos de Sn, Área 4.....	93
Figura 16: Estereograma de Pólos de Sn, Total.....	93
Figura 17: Estereograma de Pólos de Sn, Área 5.....	93
Figura 18: Estereograma de Pólos de Sn, Área 6.....	94
Figura 19: Estereograma de Pólos de Sn, Área 7.....	94
Figura 20: Esquematisação a partir de Foto 17.....	99
Figura 21: Localização dos Estereogramas de Lineações....	108

Figura 22: Estereograma de Estiramento, Áreas 1 e 2.....	109
Figura 23: Estereograma de Esrimento, Áreas 3 e 4.....	109
Figura 24: Estereograma de Estiramento, Total.....	110
Figura 25: Estereograma de Máxima Concentração, Total...	110
Figura 26: Deformação de Elementos Planares.....	111
Figura 27: Estereograma de Eixos de Dobras, Áreas 1 e 2.....	114
Figura 28: Estereograma de Eixos de Dobras, Áreas 3 e 4.....	114
Figura 29: Estereograma de Eixos de Dobras, Total.....	115
Figura 30: Estereograma de Máxima Concentração.....	115
Figura 31: Experimento de Riedel.....	127
Figura 32: Relação entre Eventos e Estruturas Geradas...	133
Figura 33: Duplex de BOYER & ELLIOT (1.982).....	136
Figura 34: Exemplo de Acomodação Através de Duplex.....	136
Figura 35: esquema Demonstrando Provável Arquitetura....	136
Figura 36: Parte Destacada do Mapa Tectônico, com Eixos de Grande Dobra	145
Figura 37: Elementos Estruturais Gerados por Transcorrência.....	149
Figura 38: Segmento de Zona de Cisalhamento Transcorrente Lancinha - Cubatão.....	151

LISTA DE FOTOS

Fotos 1 e 2: Vista Parcial da Vertente Sul da Serra do Betara.....	8
---	---

Foto 3: Paragnaisse Típico do Complexo Meia Lua.....	48
Foto 4: Ortognaisse Retrabalhado do Embasamento.....	48
Foto 5: Intercalação Tectônica de Diferentes Tipos Litológicos.....	52
Foto 6: Contato Tectônico de Baixo Ângulo.....	52
Foto 7: Clorita Quartzito Intercalado.....	59
Foto 8: Aspecto Cisalhado de Xisto-Quartzoso.....	59
Foto 9: Metarritimito de Formação Betara.....	79
Foto 10: Bloco de Mármore com Bandamento Composicional.....	82
Foto 11: Quartzito com Estratificação Cruzada.....	82
Foto 12: Foliação Sn, em Escala Microscópica.....	89
Foto 13: Foliação Sn, em Quartzitos do Complexo Meia Lua.....	89
Foto 14: Metarritimito com Estruturação Complexa.....	99
Foto 15: Ortognaisse Retrabalhado do Embasamento.....	102
Foto 16: Quartzito Estirado com Sombras de Pressão.....	102
Foto 17: Aspecto Microscópico do Ortognaisse Estirado.....	105
Foto 18: Estiramento Mineral, com padrão S-C.....	105
Foto 19: Dobras Dn Geradas pelo Cisalhamento.....	107
Foto 20: Dobra-Falha na Formação Ferrífera.....	107
Foto 21: Dobra D n+1, Parasitas.....	116
Foto 22: Dobramento D n+2.....	116
Foto 23: Cisalhamento Rúptil em Mármore da Fm. Betara.....	118
Foto 24: Forte Lenticularização do Pacote.....	124
Foto 25: Cavalgamento em Gnaisses do Complexo Meia Lua.....	124

Foto 26: Desenvolvimento de Gashes.....	127
Fotos 27 a 29: Cavalgamento de Quartzitos da Fm. Betara.....	138
Foto 30: Observação de Textura S-C e Pequenos Duplexes nos Quartzitos.....	140
Foto 31: Ocorrência de Várias Estruturas Relacionadas à Transcorrência.....	149

LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Coluna Estratigráfica de POPP et al. (1.979).....	24
Quadro 2: Coluna Estratigráfica de PIEKARZ (1.984).....	24
Quadro 3: Evolução das Idéias sobre a Tectônica.....	31
Quadro 4: Idades Radiométricas para o Complexo Setuva...	32
Quadro 5: Coluna Tectonoestratigráfica do Núcleo Betara.....	43
Quadro 6: Sinopse da Tectônica Atuante no Núcleo Betara.....	132

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Relação do Desenvolvimento de Minerais com os Respectivos Eventos Metamórficos.....	55
--	----

Tabela 2: Análise Química de Amostra de Quartizito.....	64
Tabela 3: Análise Química de Amostra de Quartzo-Xisto...	64
Tabela 4: Análise Química de Amostra de Metavulcânica...	68
Tabela 5: Relação do Desenvolvimento de Minerais com os Respectivos Eventos.....	73

LISTA DE ANEXOS

Anexo 1: Mapa Geológico-Estrutural da Região do Núcleo Betara - Rio Branco do Sul (PR)	
Anexo 2: Mapa de Pontos	
Anexo 3: Mapa de Estruturas Planares	
Anexo 4: Mapa de Estruturas Lineares	
Anexo 5: Mapa de Diagramas Estruturais	

ABSTRACT

The "Núcleo Betara" is situated to the SW of the Rio Branco do Sul city (about 20 km North of Curitiba) showing a roughly elliptical shape, trending NE-SW.

This paper describes the results of a lytho-structural mapping with an area of 300 km², which also includes an adjacent portion of the Votuverava and Capiuru formations.

The core is an antiformal structure of more ancient rocks of the Setuva Complex, consisting by Betara formation, overlaying, and by Meia Lua Complex underlying. The NNW limit with Votuverava formation is made a short extension thrust zone, the Betara Shear Zone, of the low angle. The SSW limit the Capiuru formation is the Transcurrent Shear Zone Lancinha-Cubatão, of the high angle, which is the more extensive linear structure of the region.

The map described in this paper shows that, in the Betara formation it is rather common the occurrence of the metavolcanic sedimentary sequence (clastic-chemical or pelitic-carbonatic), but also an occurrence of the iron formations and Intrusive metabasites, besides of a stock granitic (Rio Abaixo Granite) with an exposition area of 1.5 km², as well as basic dykes intruding NW-SE fractures, which direction is N40° - 60°W.

The Meia Lua Complex is formed for gneiss as rule derived of the sedimentary rocks, but also other types of rocks imbricates tectonicment (quartzites and schists), characterizing a tecton-facies of Setuva Complex:

a. Non-coaxial shearing event (low angle ductile to ductile-brittle deformation), originating thrust faults in several scales, commonly in shape of duplex. A typical milonitic foliations occurs (S_n), or S-C mylonites, in almost all the lythologies. The probable tectonic transport was from NW to SE (or from WNW to ESE);

b. Late to this first system a generalized folding takes place, affecting in great scale the Betara antiformal structure, which axial inclination shows undulations to the NE and SW. In the geological map it is possible to see that this structure is a true anticlinorium including the

subsidiary folds. There is no evidence of an pervasive axial-plane foliation. It is possible that this folding is related to the thrust system through a progressive deformation of the whole area.

The antiformal structure of the "Núcleo Betara" is closed monoclinical fold, of inverse limb in its NE part, turning into progressively more open, with normal limb to SE. The vergence of the axial plane is SE.

c. The last deforming event, regionally importante, is the transurrence which movement produced a more brittle than ductil deformation, wich production of local protomylonitic foliation (S_{n+2}) with lenticularization of high angle, that cut the surfaces anteriorly produced. Are also developd a stretching-lineation (L_{n+2}), various style foldings and faults. Their lateral extension of the fault zone, as well as the anastomosing of its segments suggest its transpressive movement in the area. This moviment originat the refolding or arching of the "Núcleo Betara", and caused rotation at the previous structures, too.

The trend of the main movement of the fault is dextral, with evidences of the sinistral movement.

Finally, a light ondulation is associates to the transcurrent movement, with a normal dip to N-S. This feature affect all the above mentioned structures, and is detected in the structure stereograms and in some points of the geologic map.

Although registering a complex tectonism, rocks of the Betara formation preserve signals of primary structures that define an original surface denominated S_0 , parallel or subparallels to the S_n , in the quatzites are observated, cross stratifications and acanaleted parallel plans. In the pelitic sediments there is granulometric gradation and it the carbonatic sequences occur bedding with composition differences.

The primary structures preserved in higly deformed zones, demonstred the heterogenic character of the "Núcleo Betara" finite deformation.

The field data obtained permit to interpretated an area as a product of a progressive deformation.

RESUMO

O presente trabalho apresenta os resultados do mapeamento geológico e análise estrutural de uma área de cerca de 300 km² a sudoeste da cidade de Rio Branco do Sul (a 20 km a norte de Curitiba), abrangendo um núcleo antiformal, denominado Betara, e áreas a ele adjacentes ocupadas pelas Formações Votuverava, a norte, e Capiru, a sul.

Neste núcleo de forma grosseiramente elíptica, alongado na direção NE-SW; são reconhecíveis duas unidades litológicas, pertencentes ao Complexo Setuva. A primeira, denominada de Formação Betara, se posiciona tectonicamente no topo e aflora na porção N-NE da estrutura, sendo formada por seqüência metavulcano-sedimentar (clasto-química ou pelítico-carbonática). Têm sido denominada de Formação Perau por outros autores.

A seqüência inferior, exposta na porção S-SW do núcleo, foi considerada como um tectono-fácies do Complexo Setuva, e inclui essencialmente paragneisses (com intercalação de quartzitos e xistos), e restritos ortogneisses, havendo imbricação tectônica destes litotipos entre si. É denominada de Complexo Meia Lua, contrastando com o nome "Complexo Pré-Setuva", que têm sido utilizado, mas cujo significado estratigráfico é confuso.

O Grupo Açungui, a norte do Núcleo Betara, é representado pela Formação Votuverava, formada por metassedimentos pelíticos, além de corpos metabásicos e pacote de mármore calcítico. Ao sul, na Formação Capiru, ocorrem mármores dolomíticos, quartzitos e metassedimentos argilo-arenosos.

Imediatamente a noroeste do Núcleo Betara, as litologias da Formação Votuverava são intrudidas pelo "stock" granítico Rio Abaixo, com 1,5 km² de área aflorante. Ocorrem ainda, intrusões de diques de diabásio, cuja direção é N40-60W.

A tectônica, que modula a geometria e as relações de contato entre as unidades litológicas, é complexa, em conseqüência da combinação da interrelação dos diferentes sistemas de deformação a seguir resumidos:

a. Sistema de cisalhamento não-coaxial, resultando deformação dúctil a dúctil-rúptil, de baixo ângulo. Caracteriza-se por falhas de empurrão e cavalgamentos

estruturados em duplex. O provável transporte tectônico foi de NW para SE (ou de WNW para ESE).

Associa-se a esta fase o desenvolvimento de uma foliação milonítica, de ocorrência heterogênea, denominada de S_n , de natureza progressiva, mais intensa em zonas de concentração da deformação finita e associada à superfície C do par S-C e a lineações de estiramento mineral La_n . Esta foliação foi precedida por uma superfície denominada de S_{n-1} gerada através de pulsos iniciais em resposta aos incrementos da deformação.

Este sistema produziu um generalizado metamorfismo retrógrado de baixo grau, fácies xisto verde - zona da clorita - denominado de M_n , que evolui a partir de um metamorfismo mais intenso de fácies anfíbolito - zona da granada - resultante dos pulsos iniciais, e denominado de M_{n-1} .

Como resultado dos cavalgamentos e imbricações tectônicas e conseqüente aloctonia dos estratos, o presente empilhamento estratigráfico, é considerado como de natureza tectônica, com relativa preservação da estratigrafia original. Além deste aspecto se observa freqüente lenticularização dos estratos em escala variável de micro e megascópica.

b. sistema de deformação através de virgação e/ou empinamento do Núcleo Betara, provavelmente como resultado da continuidade dos movimentos iniciais de cavalgamento através da estrutura duples antiformal associados aos dobramentos proporcionados pelo sistema transcorrente.

Esta virgação é caracterizada pela estrutura anticlinorial do Betara, cujo eixo virtual se encontra ondulado, mergulhando ora para NE ora para SW e cuja vergência está para SE.

c. sistema de transcorrência com direção NE-SW, cuja estrutura principal é denominada de Zona de Cisalhamento Transcorrente Lancinha-Cubatão, com movimento transpressivo, fruto de deformação dextral, não-coaxial. As deformações impostas são mais rúpteis do que dúcteis, com geração de uma foliação milonítica local (S_{n+2}), e lenticularizações de alto ângulo, que seccionam as superfícies geradas anteriormente. Desenvolve-se ainda uma lineação de estiramento mineral La_{n+2} , dobramentos de estilos variados e falhas, além de conspícua rotação de estruturas pré-existentes.

Apesar de registrar um tectonismo complexo, rochas da Formação Betara preservam sinais de estruturas primárias que definem a superfície de acamamento original denominada aqui de S_0 , paralelas ou sub-paralelas à S_n . Nos quartzitos se observa, estratificação cruzada, plano paralela acanalada. Nos metassedimentos pelíticos há gradação granulométrica e nas seqüências carbonáticas ocorrem acamamentos com diferenças composicionais.

As estruturas primárias preservadas em zonas altamente deformadas, a ponto de praticamente não se reconhecer o protólito, é mais um indício do caráter heterogêneo da deformação finita no Núcleo Betara.

Os dados obtidos em campo permitem interpretar a área como produto de uma deformação progressiva.

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO

1.1 Considerações Gerais

No contexto da estruturação geológica e tectônica do Pré-Cambriano dos estados do Paraná e São Paulo, chama a atenção a ocorrência de numerosas e expressivas zonas de cisalhamento quer de baixo quanto de alto ângulo, marcadas por lineamentos com centenas de quilômetros de extensão. Estas faixas são em sua maioria grandes zonas de descontinuidades crustais por colocarem lado a lado blocos de características litológicas, tectônicas, metamórficas e geocronológicas distintas.

No estado do Paraná, particularmente, é notável a presença da Zona de Cisalhamento Transcorrente Lancinha-Cubatão (ou Z.C.T. Lancinha-Cubatão) referida comumente como Falha da Lancinha, cuja direção geral é NE-SW. Este lineamento coloca lado a lado rochas metassedimentares de diferentes ambientes deposicionais e tectônicos do Grupo Açungui.

A influencia lateral desta zona de cisalhamento é caracterizada pela ocorrência de uma série de estruturas antiformais com destaque para os Núcleos Alto Açungui, Setuva e Betara. São caracterizados pela exposição de conjuntos de rochas de médio grau metamórfico e deformação finita relativamente alta, compondo o Complexo (ou Grupo) Setuva.

No decorrer dos últimos anos alguns destes núcleos têm sido objeto de estudos sistemáticos, principalmente sob o

ponto de vista estratigráfico e estrutural, visando explicar sua gênese e evolução em relação aos sistemas de cisalhamento não-coaxial, de baixo ângulo de natureza dúctil-rúptil e alto ângulo de natureza rúptil-dúctil. O primeiro sistema é caracterizado por cavalgamentos e empurrões associados, enquanto que o segundo encontra expressão na Z.C.T. Lancinha-Cubatão. Subordinadamente estes estudos também objetivam contribuir para melhor definição litológica, estratigráfica, metamórfica e estrutural do Complexo Setuva.

Neste contexto, efetivou-se o estudo do Núcleo Betara (designação derivada de serra homônima localizada no interior da estrutura), através de mapeamento litoestrutural na escala 1:20.000, totalizando área de cerca de 300 km².

1.2 Objetivos

Em resumo os principais objetivos deste estudo são:

a. contribuir para o melhor conhecimento geológico do Pré-Cambriano do estado do Paraná através da geração de um mapa geológico de detalhe de uma área limítrofe entre as ocorrências do Grupo Açungui e Complexo Setuva, ou seja, o Núcleo Betara, complementando os trabalhos de maior detalhe da área, feitos por POPP et al. (1.979) e PIEKARZ (1.981 e 1.984);

b. caracterizar, através de uma análise estrutural, a origem e evolução da estrutura antiformal do Betara,

visando a obtenção de um modelo genérico de possível aplicação regional;

c. refinar as características estruturais, principalmente, bem como as litológicas, estratigráficas, metamórficas do Complexo Setuva e comparar os resultados com aqueles de mesma natureza obtidos através de trabalhos prévios não só no Núcleo Betara, mas também com os das outras estruturas semelhantes já estudadas.

d. trazer um conjunto de informações, através de mapas que possam facilitar futuros trabalhos de prospecção de recursos minerais (Pb e Cu), cuja ocorrência já foi anteriormente mencionada no Núcleo Betara;

e. discutir a gênese do Núcleo Betara e da Z.C.T. Lancinha-Cubatão, no contexto dos modelos geotectônicos recentemente propostos para a evolução do Pré-Cambriano Médio a Superior, na região sudeste e sul do Brasil.

1.3 A Área Estudada

1.3.1. Localização e Acessos

O Núcleo Betara é uma estrutura antiformal, grosseiramente elíptica, com o eixo maior na direção NE-SW, localizada imediatamente a sudoeste da cidade de Rio Branco do Sul (PR), e dista aproximadamente 20 km a norte de Curitiba (Figura 01) ligadas pela Rodovia dos Minérios (PR - 092).

O acesso principal à área de abrangência do Núcleo se faz por estrada vicinal, não pavimentada, que liga Rio

Branco do Sul às localidades Itaperussu, Pombas e Meia Lua dos Freitas, além de Bateias que está situada mais a sudoeste, fora da área de interesse. Esta estrada vicinal acompanha toda a borda sudoeste do Núcleo Betara e, a partir dela, estradas secundárias e caminhos intersectam transversalmente o mesmo, ligando pequenas vilas tais como as comunidades Betara e Baltazar.

1.3.2 Aspectos Fisiográficos

O Núcleo Betara é constituído por diversos tipos litológicos, os quais respondem diferentemente aos processos morfoclimáticos.

Os quartzitos são fortemente ressaltados na topografia (ver fotos 01 e 02) e formam cristas alongadas na direção NE-SW com vertentes íngremes e desníveis relativamente altos (serra do Betara, morros do Pires e da Antena). As maiores altitudes destas elevações atingem até 1.200 m. As seqüências xistosas e filíticas que normalmente sustentam as cristas quartzíticas mostram relevos alongados de menor envergadura, igualmente direcionados NE-SW. Gnaisses apresentam uma morfologia de morros arredondados e vertentes mais suaves. Por sua vez, os diques de diabásio, alongados na direção NW-SE, são ressaltados como cristas de envergadura média quando atravessam litotipos pouco resistentes, tais como xistos e filitos, ou então formando vales quando cortam litologias mais resistentes tais como quartzitos. Relevo cárstico típico ocorre nas áreas de domínio das rochas metacarbonáticas.

A morfologia dos vales é variável, podendo se apresentar em forma de "V" em rochas mais resistentes, por

exemplo quartzitos, até em forma de "U", no caso dos xistos e filitos.

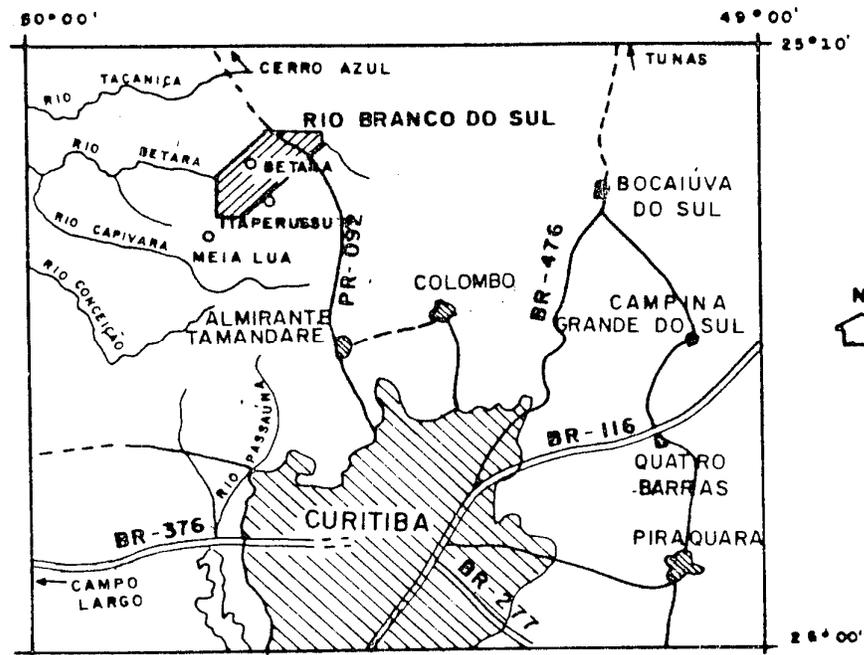
A área apresenta uma drenagem bem desenvolvida com padrão sub-retangular e dentrítico. O seu controle é nitidamente tectônico seguindo fraturas principalmente na direção NE-SW e NW-SE, ocorrendo rios de médio porte encaixados em vales profundos. As principais drenagens da área são os rios Betara e Meia Lua, afluentes do rio Açungui, o qual pertence à bacia hidrográfica do rio Ribeira do Iguape.

A vegetação primitiva predominante é típica da Mata Atlântica, com capões preservados principalmente nas encostas das vertentes mais íngremes e também como matas ciliares ao longo dos rios de maior porte. É comum a presença de gramíneas principalmente sobre o litossolo das áreas quartzíticas. As matas secundárias também ocorrem em quantidade razoável, bem como pequenos reflorestamentos de bracatinga.

1.3.3 Aspectos Sócio-Econômicos

As condições sócio-econômicas da área considerada assentam-se em atividades agrárias e na exploração e transformação de insumos minerais. As primeiras incluem a agricultura de subsistência, extração de bracatinga reflorestada, a bataticultura e ainda a suinocultura em pequena escala. As outras se baseiam na extração e beneficiamento de mármore como corretivo de solo, e principalmente no fabrico de cimento, este a cargo das Companhias de Cimento Rio Branco e Itaú (Grupo Votorantim). A influência econômica deste complexo industrial é muito grande na região de tal modo que boa parte da população

trabalha ou nas jazidas fornecedoras da matéria prima para o cimento, ou nas fábricas onde o mesmo é produzido.



LEGENDA

	RIOS		CIDADES
	RODOVIA PAVIMENTADA		LOCALIDADES
	RODOVIA DUPLICADA		ÁREA MAPEADA
	RODOVIA NÃO PAVIMENTADA		

FONTE: INSTITUTO DE TERRAS, CARTOGRAFIA E FLORESTAS - PARANÁ - 1990.

FIG. 1: MAPA DE SITUAÇÃO GEOGRÁFICA DA ÁREA TRABALHADA E VIAS DE ACESSO



Fotos 1 e 2: Vista parcial da vertente sul da serra do Betara.
Observa-se a mais alta elevação da área, sustentada
Pelos quartzitos da Formação Betara, vale que se
Observa no sopé do morro é constituído de paragnaisses.

CAPÍTULO 2

METODOLOGIA DE TRABALHO

A evolução e a materialização dos trabalhos envolveram as seguintes etapas:

1. Revisão Bibliográfica, na qual foi consultada e criticamente revista a quase totalidade dos trabalhos publicados que versam sobre aspectos geológicos, petrográficos, estruturais, geotectônicos e geocronológicos do Pré-Cambriano paranaense, com ênfase para o Complexo Setuva e Formação Perau.

2. Fotointerpretação, mediante a utilização de 25 fotos na escala 1:25.000 (Aerosul, voo 1.980) das faixas D 76-VI, D 77-V e D 78-V, constantes do fotoíndice e folha SG-22-X-D-I, conforme a Figura 02, e 8 fotos na escala 1:70.000 (Cruzeiro do Sul, voo 1.962). Foi utilizada a metodologia sugerida por SOARES & FIORI (1.976), com traçado das principais zonas homólogas, quebras negativas de relevo, elementos menores como lineações de relevo e alinhamentos de cristais, além de lineamentos fotogeológicos.

3. Revisão de material prévio, com análise crítica dos dados existentes sobre a área tais como seções delgadas, descrições de campo e diagramas estruturais, utilizados e gerados no âmbito de relatório interno da MINEROPAR (MINERAIS DO PARANÁ, 1.981) e dos relatórios de graduação

dos alunos do Curso de Geologia (formandos de 1.979, 1.981, 1.982 e 1.989) da UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ. Também foram analisados testemunhos de sondagem e perfis pertencentes à própria MINEROPAR e também à CIA. DE CIMENTO PORTLAND RIO BRANCO.

4. Trabalhos de campo, consistindo na elaboração de um mapa lito-estrutural na escala 1:20.000 de uma área de 300 Km². Utilizou-se como bases cartográficas as cartas plano-altimétricas A-87, A-90 e A-97, de igual escala da COORDENAÇÃO DA REGIÃO METROPOLITANA DE CURITIBA (COMEC, 1976), inclusas nas Folhas SG-22-X-D-I-1 e SG-22-X-D-I-3 do Exército, cuja escala é 1:50.000 (ver articulação na Figura 03). O mapa final resultou do exame de 1116 pontos, 940 dos quais contidos nos relatórios mencionados na etapa 3.

A técnica de mapeamento baseou-se essencialmente na elaboração de perfis perpendiculares ao alongamento maior do Núcleo Betara e envolveu descrições geológicas, através de caracterizações petrográficas, coleta de dados estruturais através de medidas de orientação com a bússola tipo CLAR. Quando possível, foram coletadas amostras orientadas além de terem sido obtidas fotografias de aspectos elucidativos dos afloramentos, sempre procurando-se a perpendicularidade entre o aspecto fotografado e a linha de focalização da máquina. Esta etapa foi desenvolvida em 50 dias de atividades de campo.

5. Trabalhos de laboratório e de análise de dados, nos quais foram executados estudos petrográficos através de microscopia de transmissão em 20 novas lâminas, orientadas, confeccionadas no laboratório de laminação da UFPR além de revisão de 30 lâminas pré-existentes referentes aos trabalhos mencionados na etapa 3. Para esta análise foi utilizado microscópio polarizador binocular da marca ZEISS (UNESP e UFPR) e aparelho de projeção de lâminas

polarizadas, o qual possibilitou a obtenção de fotografias das mesmas.

Adicionalmente, foram tratados os dados estruturais coletados na etapa 4. Tal tarefa contou com o auxílio de programas específicos para a análise estatística de dados geo-estruturais via computador: programa GELI, que tem por princípio a auto-mação da plotagem de dados planares e lineares em um diagrama de Schimdt - hemisfério inferior - e conseqüente análise com traçado das isolinhas que reúne áreas de mesma concentração de dados: programa GEOLÓG, que analisa dados planares através de diagramas de rosetas. Para tanto foram utilizados computadores tipo PC_XT, compatível com IBM, do setor de informática da MINEROPAR e UFPR.

Para a execução desta análise, a área em foco foi tentativamente subdividida em áreas homogêneas e eventualmente distintas entre si com base em critérios subjetivos que emergiram tanto da fotointerpretação quanto do exame do mapa litoestrutural final. Tais critérios levaram em consideração principalmente o domínio e a orientação dos diferentes elementos estruturais considerados na análise estrutural.

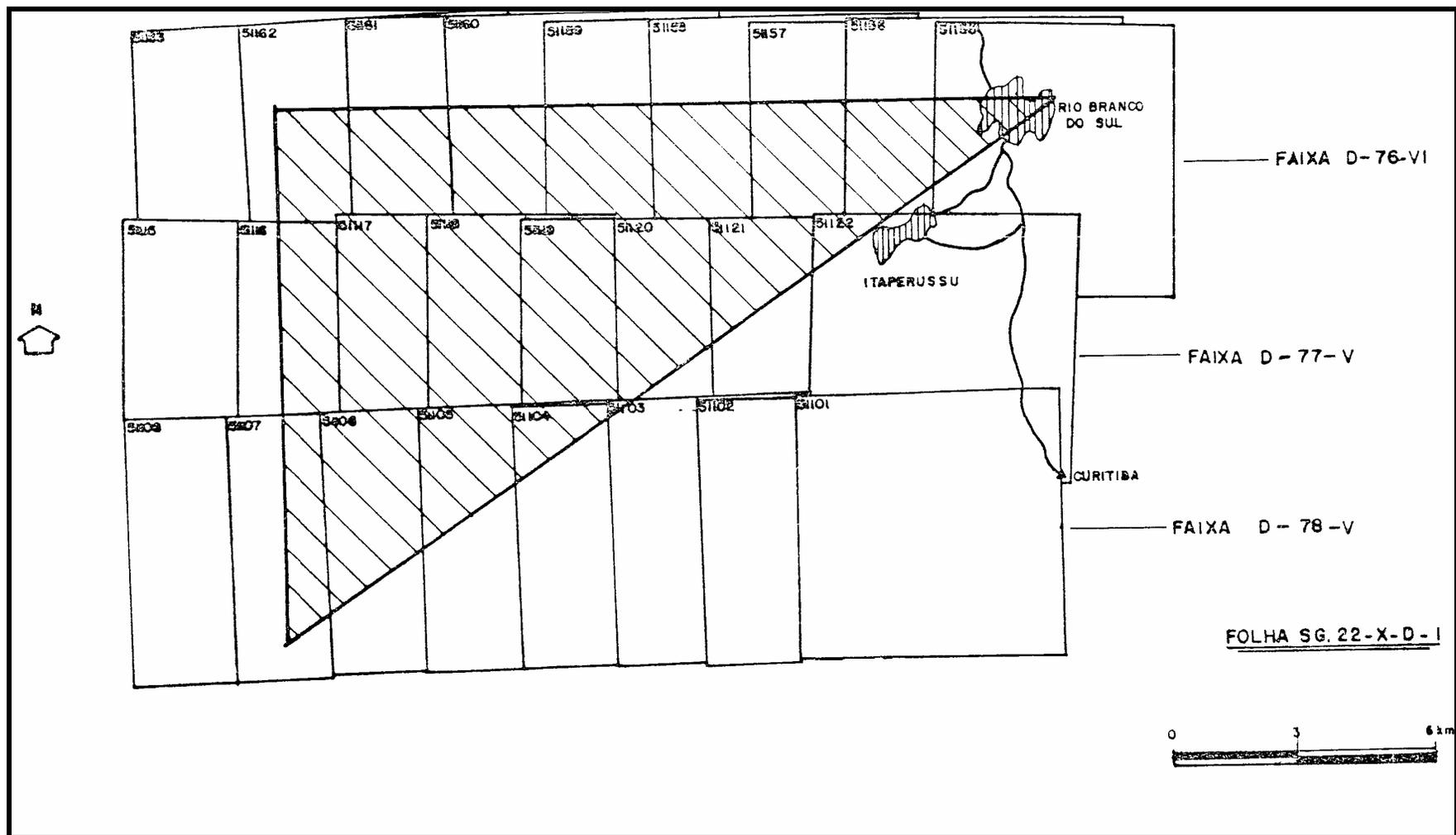


FIG. 2: ARTICULAÇÃO DAS FOTOGRAFIAS AÉREAS (1:25000) USADAS PARA FOTOINTERPRETAÇÃO DA REGIÃO DO NÚCLEO DO BETARA. A REGIÃO ACHURIADA LIMITA A ÁREA ESTUDADA.

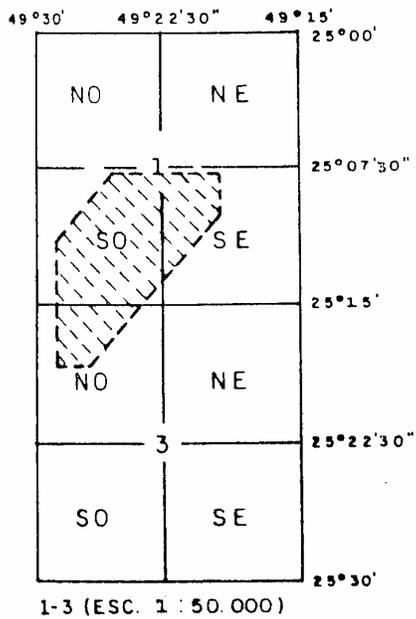
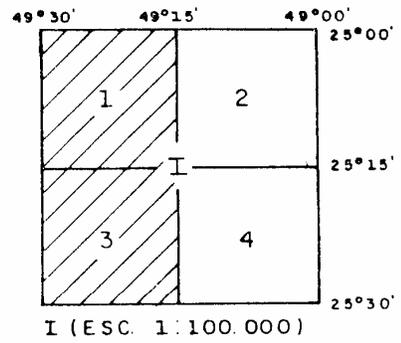
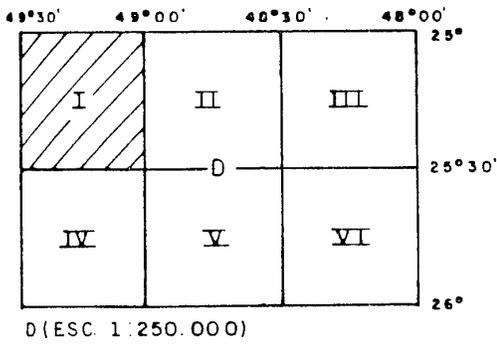
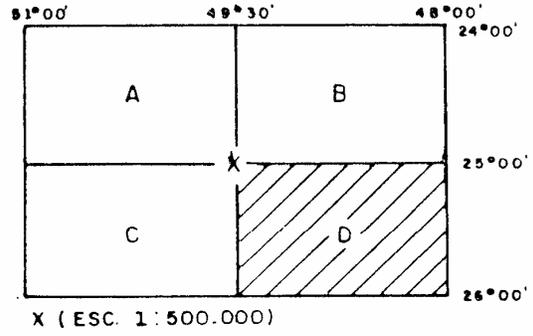
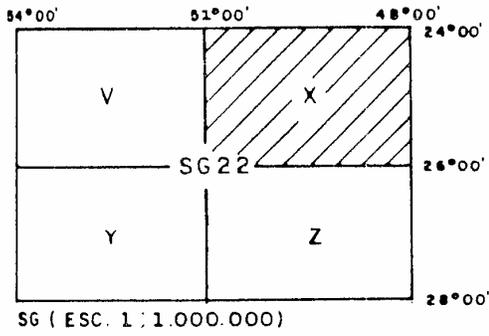


FIG. 3: ARTICULAÇÃO DAS CARTAS BASE DO EXÉRCITO (DSG) RELACIONANDO-SE COM A ÁREA MAPEADA.

CAPÍTULO 3
GEOLOGIA REGIONAL
REVISÃO DOS TRABALHOS
ANTERIORES

3.1 CONTEXTO REGIONAL

A área estudada está inserida no Cinturão Ribeira, onde ocorrem metamorfitos diversos desde alto grau até anquimetamórficos. É formado, no Paraná, por terrenos pertencentes principalmente ao Grupo Açungui Complexo Setuva e à unidade denominada em trabalhos prévios de Complexo Pré-Setuva, além de intrusões graníticas diversas, exposição de rochas retrabalhadas do Complexo Costeiro (ou Complexo Gnáissico-Migmatítico) e, secundariamente, diques de diabásio e sedimentos recentes inconsolidados.

Este capítulo objetiva a revisão bibliográfica de unidades cuja caracterização é relevante para o estudo do Núcleo Betara, dando-se ênfase para o Complexo Setuva e rochas ocorrentes em sua base. A Figura 04 situa o Núcleo Betara em contexto geológico regional da porção mais estudada do Proterozóico do leste paranaense.

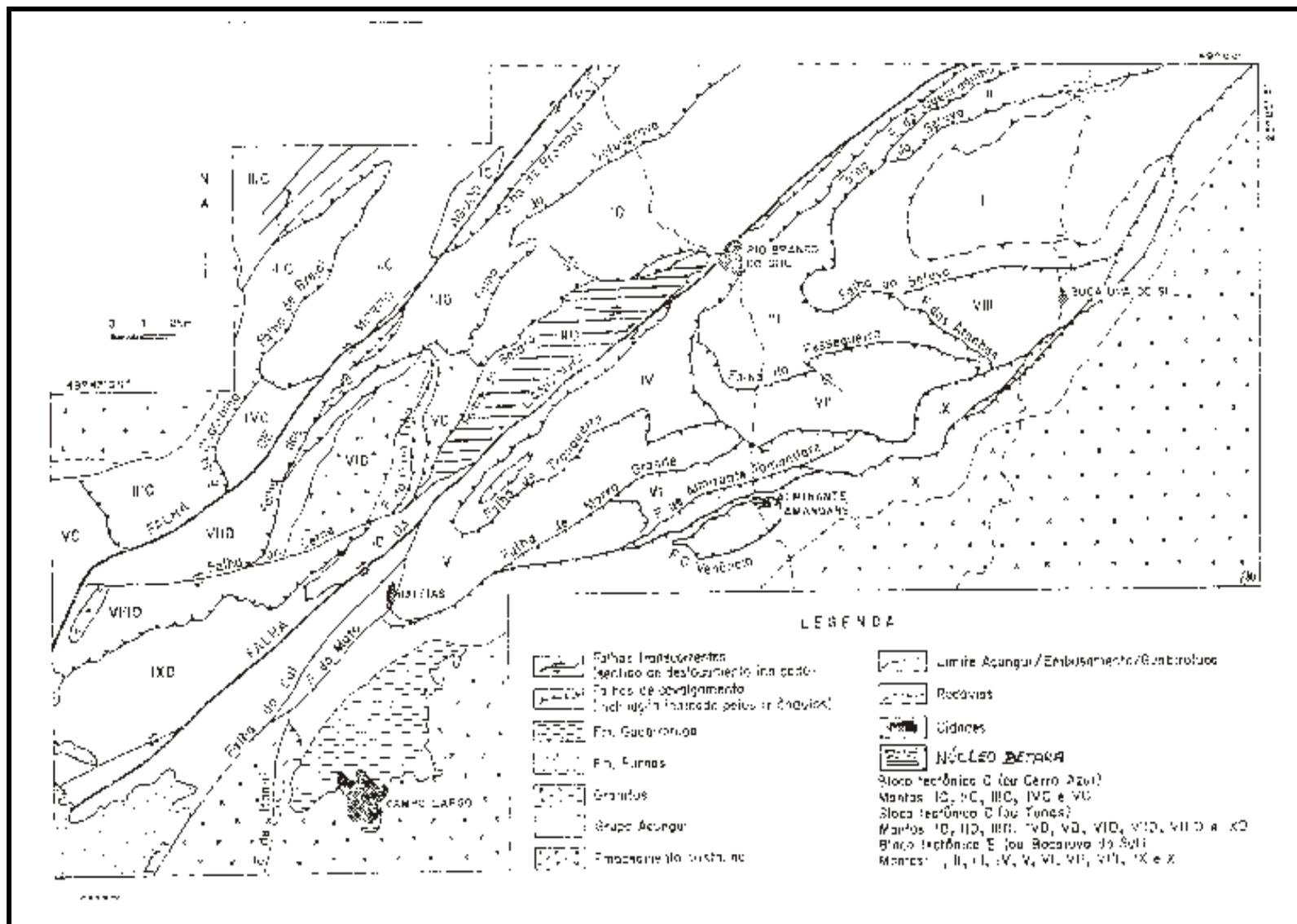


FIG 04: Contexto tectônico/geológico de parte do Proterozóico do Estado Paranaense, onde o Núcleo Betara está inserido (Bloco IID - ver legenda). Os Blocos tectônicos são baseados na subdivisão do Escudo, sugerida por FIORI et al. (1.985).
 Fonte do Mapa: FIORI (1.991).

3.2 UNIDADES LITO-ESTRATIGRÁFICAS ADJACENTES AO COMPLEXO SETUVA

3.2.1 Complexo Costeiro

O Complexo Costeiro ou Complexo Gnáissico-Migmatítico, constitui o embasamento do Complexo Setuva e Grupo Açungui, sendo limitado a NW por essas unidades e intrudido a SE pelos maciços graníticos da Serra do Mar. É formado essencialmente por migmatitos, porém KAEFER & ALGARTE (1.972) observaram ocorrências de quartzitos, quartzoxistos, mica-xistos e anfibolitos. BATOLA JR. Et al. (1.981), caracterizaram nesta unidade granulitos, em parte migmatizados e com sinais de retrometamorfismo.

Este Complexo é considerado como Arqueano a Proterozóico Inferior, porém a presença de rochas geradas em ciclos tectono-metamórficos mais recentes é freqüente, de acordo com MELO et al. (1.980), com remobilizações no Ciclo Brasileiro. SOARES (1.987) considerou o Complexo Costeiro como isócrono ao "Complexo Pré-Setuva".

3.2.2 Grupo Açungui

Está sobreposto ao Complexo Setuva através de contatos tectônicos. Quando ainda "Série Açungui", foi dividido por BIGARELLA & SALAMUNI (1.956) nas Formações Capiru (superior) e Setuva (inferior). ALMEIDA (1.956) definiu a Formação Itaiacoca na região homônima e BIGARELLA &

SALAMUNI (1.958) acrescentaram a Formação Votuverava no topo da série.

A unidade foi elevada a Grupo por MARINI et al. (1.967), porém MELFI et al. (1.965) já a haviam hierarquizado desta forma, ao estudarem regiões correlatas no Estado de São Paulo.

MARINI et al. (1.967) individualizaram a Formação Água Clara como unidade superior do grupo, e MARINI (1.970) questionou a posição basal da Formação Setuva, propondo que a mesma deveria estar individualizada do conjunto por considerá-la pertencente a um ciclo tectono-metamórfico mais antigo. Esta idéia foi contestada por EBERT (1.971).

FRITZSONS et al. (1.982), interpretaram a Formação Água Clara, como unidade pré-Açungui e HASUI (1.982), igualmente, questionou o posicionamento estratigráfico da Formação Votuverava.

SOARES (1.987), utilizou o termo Complexo Votuverava-Itaiacoca-Capiru, para se referir ao Grupo Açungui.

- Formação Capiru

Ocorre na porção SE do Grupo Açungui (MARINI et al. 1.967, MARINI 1.970 e SCHOLL et al. 1.980). Segundo SOARES (1.987) esta formação compreende da base para o topo, três associações litológicas: metarenito-pelítica, metapelito-dolomítica e metapelítica. MARINI (1.970) caracterizou as litologias desta formação como da fácies xisto-verde (zona da clorita e/ou biotita).

FIORI et al. (1.985), baseado nas características estruturais da unidade, sugeriu uma estruturação em duplex para a mesma, com cisalhamento de baixo ângulo. FIORI (1.991) subdividiu-a informalmente nas seqüências Juruqui, Rio Branco, Morro Grande e Bocaina.

- Formação Votuverava

Ocorre na porção NW do Grupo Açungui, a W da zona de Cisalhamento Transcorrente Lancinha-Cubatão (ou Z.C.T. Lancinha Cubatão). Tida inicialmente por BIGARELLA & SALAMUNI (1.958) como mais jovem que a Formação Capiru, ambas as formações têm sido consideradas como contemporâneas com contatos originais interdigitados entre si (SOARES 1.987). Encontram-se grosseiramente separados ao longo da Z.C.T. Lancinha-Cubatão. Este último autor, sintetizando as descrições de vários outros, tais como BIGARELLA & SALAMUNI (1.958), MARINI et al. (1.967), MARINI (1.970), FUCK et al. (1.971) e SCHOLL et al. (1.980), definiu a Formação Votuverava como constituída por três associações litológicas: metarenitos grosseiros a finos, metadolomitos e metarritmitos pertencentes à fácies xisto verde. FIORI (1.991), subdividiu-a, também informalmente, nas seqüências Bromado, Coloninha e Saivá.

- Formação Itaiacoca

Corresponde a uma faixa de metamorfitos de baixo grau situada entre os complexos graníticos Três Córregos e Cunhaporanga e que adentra, a NE, pelo Estado de São Paulo.

A presença de estromatólitos tanto na Formação Itaiacoca quanto na Formação Capiru justificou, a princípio, a correlação entre ambas na interpretação de autores como SALAMUNI & BIGARELLA (1.967), MARINI et al. (1.967) e MARINI (1.970); porém FAIRCHILD (1.977) ressaltou diferenças fundamentais nos seus conteúdos fossilíferos, descartando tal aspecto como critério de correlação.

CHIODI FILHO (1.984), baseado principalmente na localização espacial da unidade, sugere sua inclusão no Complexo Setuva. Esta idéia não é adotada em trabalhos posteriores.

SOARES (1.987) reúne as litologias da Formação Itaiacoca em associações metapelítica; associação metacalcária-dolomíticas; metarenito-feldspáticas e. associação metavulcânicas, descritas inicialmente por TREIN et al. (1985).

3.2.3 Granitóides

No Estado do Paraná são conhecidos pelo menos 42 corpos graníticos e/ou granitóides (FRITZONS JR. & BIONDI 1.983), atribuídos em sua maioria ao Proterozóico Superior. Descrições detalhadas dos mesmos, podem ser encontrada em FIORI et al. (1.984).

Os maciços mais importantes são os Complexos Cunhaporanga e Três Córregos, localizados respectivamente a noroeste e a sudeste da Faixa Itaiacoca, ambos alongados na direção NE-SW e extremidades recobertas por sedimentos da Bacia do Paraná.

A estruturação polidiapírica dos mesmos juntamente com a deformação presente, levou HASUI et al. (1.984), a interpretarem o maciço Três Córregos como derivado da tectônica de articulação de blocos crustais, considerando-o como integrante do Maciço Catas Altas.

WERNICK et al. (1.990), caracterizam-nos petrogeneticamente de sienogranitos, monzogranitos, granodioritos e até quartzo-tonalitos e dioritos.

Para esses autores a diferença da continuidade entre os maciços Cunhaporanga e Três Córregos, tendo o segundo uma maior sucessão de diápiros caracterizáveis, sugere que este tenha se alojado sob maiores condições compressivas.

Este aspecto, de acordo com os autores, aliado ao fato do Cunhaporanga ser mais aluminoso e mais cálcio-alcalino,

com base na tipologia do zircão; permite a interpretação do mesmo como um corpo mais raso e com pouca participação de material mantélico em relação ao Três Córregos (WERNICK et al. 1990).

A sudoeste, próximo da área de estudo, se encontra o granito do Cerne; um "stock" de forma alongada limitado pela Z.C.T. Lancinha-Cubatão. Adjacente ao Núcleo Betara há um pequeno corpo granítico, de forma levemente elíptica, denominado de Rio Abaixo (MARINI, 1.970), cuja área aproximada é de 1,5 Km².

Esse autor descreve uma composição deste granito à base de cristais de feldspato, quartzo, biotita, plagioclásios, microclina, esfeno, pirita, molibdenita e fluorita.

PINTO-COELHO & SIEDLECKI (inédito), caracterizaram no Granito Rio Abaixo as fácies graníticas, álcali-feldspato granítica, quartzo-álcali-feldspato sienítica e quartzo sienítica, além de fácies monzonítica e mencionaram a existência de duas fases feldspáticas individualizadas (plagioclásio e feldspato potássico), quimismo cálcio-alcalino e elevados teores em sílica.

Segundo as autoras, o padrão de distribuição dos elementos de terras raras, relaciona o granito Rio Abaixo a zonas de subducção com derivação mantélica (SIEDLECKI & PINTO-COELHO, inédito).

Para MARINI (1.970) este "stock" poderia estar ocupando o centro de uma anticlinal pouco evidente.

3.2.4 Intrusivas Básicas

O enxame de diques básicos, com direção geral N50-60W, de idade Juro-Cretácea (117 a 147 m.a. - AMARAL et al.

1.966) está concentrado no eixo principal do Arco de Ponta Grossa.

Segundo MARINI et al. (1.967), estas intrusivas se alojaram em fraturas ou falhas. O autor indicou quatro tipos petrográficos distintos: diabásio, diorito pórfiro, diorito e quartzo-pórfiro.

3.3 O Complexo Setuva e seu Embasamento (O Chamado Complexo "Pré-Setuva")

3.3.1 Ocorrência

O Complexo Setuva está exposto de maneira descontínua, ocupando os núcleos de uma sucessão de estruturas antiformais, relacionadas a Z.C.T. Lancinha-Cubatão. Estes núcleos foram denominados por MARINI et al. (1.967) respectivamente de Anta Gorda (com continuidade para o Núcleo do Tigre) e Ouro Fino, a leste da localidade de Tunas; Alto Açungui a norte da cidade de Campo Largo; Setuva a nordeste da cidade de Rio Branco do Sul, e Betara a sudoeste da mesma cidade. Também ocorrem exposições na região do rio São Sebastião, na Serra Branca, na Serra da Bocaina, e nas localidades de Palmeirinha e Barra Bonita.

3.3.2 Nomenclatura Estratigráfica

A denominação de Formação Setuva foi dada por BIGARELLA & SALAMUNI (1.956) para a unidade mais antiga da

“Série Açungui”. Foi utilizada também por SALAMUNI & BIGARELLA (1.967), MARINI et al. (1.967), MARINI (1.970), FUCK et al. (1.971), SCHOLL et al. (1.980), SCHOLL (1.981), VEIGA & SALOMÃO (1.980), SILVA et al. (1.981), PIEKARZ (1.981) e CAMPANHA et al. (1.987). Estes últimos sugeriram o retorno à sua definição original como “Formação”, devido problemas de denominações estratigráficas.

“Grupo Setuva” é denominação introduzida por POPP et al. (1.979), e igualmente utilizada por BATOLLA JR. (1.981), PIEKARZ (1.984), FRITZONS JR. et al. (1.982), SCHOLL et al. (1.982), LOPES (1.983), CHIODI FILHO (1.984) e FIORI (1.987).

Finalmente coube a HASUI & OLIVEIRA (1984) a utilização da designação “Complexo Setuva”, seguidos por HASUI et al. (1984), HASUI (1986), SOARES (1987) e HASUI et al. (1989).

O termo “Pré-Setuva”, por sua vez, foi usado informalmente por EBERT (1971) para se referir a rochas espacialmente posicionadas na base do conjunto litológico da Antiforma do Setuva. O termo é inadequadamente utilizado para designar unidade litológica individualizada com o “status” de Complexo.

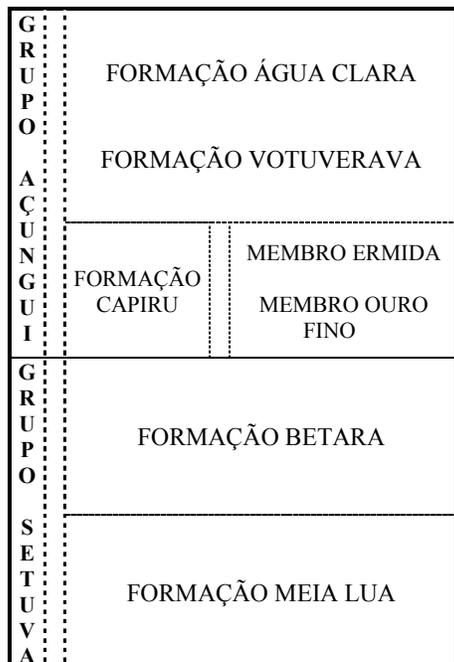
3.3.3 Unidades Integrantes

A princípio, POPP et al. (1.979) subdividiram o Grupo Setuva, na região do Núcleo Betara, nas Formações Betara e Meia Lua (Quadro 1).

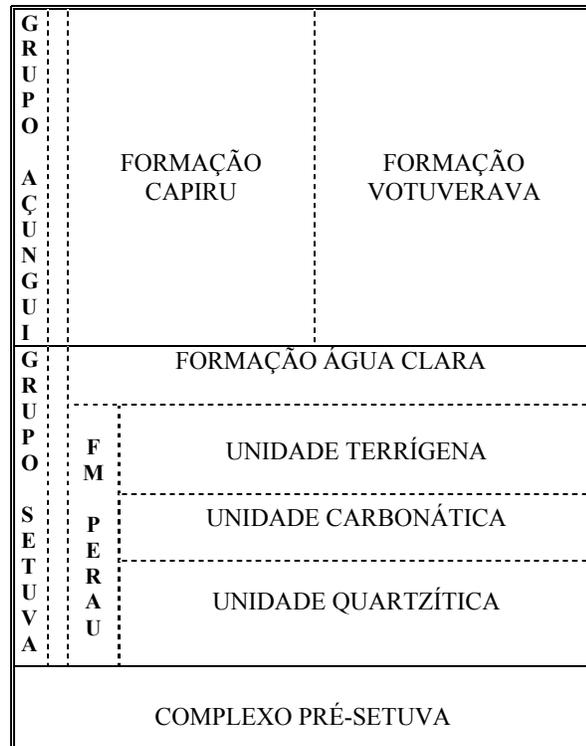
FRITZONS JR. et al. (1.982) incluíram as Formações Água Clara e Perau como integrantes desta unidade. Tal proposta foi aceita por SILVA & SCHOLL (1.982), PIEKARZ (1.984) e CHIODI FILHO (1.984). Este último incluiu também a Formação Itaiacoca, porém PONTES (1.982) se referiu à Formação Água Clara como unidade basal do Grupo Açungui.

Para melhor compreensão dos conceitos sobre o Complexo Setuva, foram detalhados a seguir os conjuntos litológicos atribuídos a esta unidade pelos diversos autores.

a. Formação Betara e/ou Formação Perau. A porção NNE do Núcleo Betara incluída na Formação Setuva por LOPES (1.966) e MARINI (1.970), foi denominada por POPP et al. (1.979), de Formação Betara. SCHOLL (1.981) considerou o "Anticlinório do Betara" como parte de um compartimento singular onde os quartzitos, a norte da serra homônima, seriam a base de uma seqüência carbonatada.



QUADRO 1: Coluna estratigráfica proposta por POPP et al. (1.979) para a região do Núcleo Betara.



QUADRO 2: Coluna estratigráfica sugerida por PIEKARZ (1.984), para os Núcleos considerados como pertencentes ao "Grupo" Setuva, incluindo-se o Núcleo Betara.

PIEKARZ (1.981), correlacionou esta porção do Núcleo Betara à Sequência Perau, definida por SILVA et al. (1.981), por sua vez correlacionável à Formação São Sebastião de VEIGA & SALOMÃO (1.980).

Posteriormente FRITZONS JR. et al. (1.982), em estudos no Núcleo Betara, elevou a unidade Perau ao status de Formação, incluindo-a no Grupo Setuva. Este posicionamento estratigráfico é também aceito por SCHOLL et al. (1.982), SILVA & SCHOLL (1.982), CHIODI FILHO (1.984) e PIEKARZ (1.984) (Quadro 2). Não é discutida por esses autores a precedência do nome "Formação Betara" em relação ao nome "Formação Perau", ao menos na região do Núcleo Betara.

b. Formação Meia Lua. O pacote litológico exposto a sul da Serra do Betara, foi considerado como parte do Complexo Gnáissico-Migmatítico por LOPES (1.966) e MARINI (1.970). POPP et al. (1.979) consideraram-no pertencente ao Grupo Setuva, denominando-o de Formação Meia Lua. Também a denominação Meia Lua foi abandonada sem a adoção de critérios estratigráficos para tanto.

c. Formação Água Clara. Anteriormente interpretada como unidade superior do Grupo Açungui por MARINI et al. (1.967) e MARINI (1.970), foi deslocada por PONTES (1.982) para a base do referido grupo e, concomitantemente, posicionada por FRITZONS JR. et al. (1.982) e SCHOLL et al. (1.982), dentro do Grupo Setuva.

d. Gnaisses Setuva. EBERT (1.971) individualizou os pacotes de paragnaisses superiores e ortognaisses inferiores do grupo Setuva (região da antiforma homônima), designando os últimos, informalmente, de "gnaisses pré-Setuva". A designação foi adotada por SCHOLL et al. (1980) ao individualizar o "Complexo Pré-Setuva", e posteriormente por SILVA et al. (1.980), PIEKARZ (1.981), FRITZONS JR. et al. (1.982), SCHOLL et al. (1.982) e PIEKARZ (1.984).

No Núcleo Betara a denominação "Complexo Pré-Setuva" foi empregada por PIEKARZ (1.981, 1.984), para o pacote a sul da serra do Betara. Na Antiforma do Setuva esta idéia têm sido revista, sendo considerada a hipótese de que o conjunto represente um "tectono-fácies" entre as rochas sobrejacentes do Complexo Setuva e subjacentes do Complexo Costeiro (FIORI 1.989, 1.991) e ALTHOFF (1.989).

3.3.4 Relações de Contato e Posição Estratigráfica

Para o correto posicionamento estratigráfico do Complexo Setuva é necessária a caracterização de seus contatos com o Grupo Açungui, seu embasamento tectonizado e o Complexo Costeiro.

BIGARELLA & SALAMUNI (1.956) julgaram que a discordância entre as formações Setuva e Capiuru seria de cunho deposicional, porém MARINI et al. (1.967) ressaltaram a semelhança entre o padrão estrutural da Formação Setuva e a parte adjacente do Complexo Costeiro, considerando isto um fator limitante para a separação estratigráfica entre ambas.

POPP et al. (1979) interpretaram os contatos entre as Formações Betara e Meia Lua, e entre estas e o Grupo Açungui, através de falhas.

SCHOLL et al. (1.980) definiram o contato entre a Formação Setuva e o Complexo Pré-Setuva, na região do Anticlinal do Setuva, por falhas de baixo ângulo, enquanto o contato entre o Grupo Setuva e o Grupo Açungui, seria através de falhas de médio e alto ângulos.

FRITZONS et al. (1.982), também se referiram a existência de discordâncias tectônicas entre os contatos das Formações Perau e Água Clara e entre esta última e o Grupo Açungui.

HASUI (1.986), definiu os contatos entre o Complexo Setuva e o Grupo Açungui como eminentemente tectônicos através de cisalhamento dúctil, como consequente mascaramento do empilhamento estratigráfico original. Isto foi ratificado por FIORI et al. (1.987c), FIORI (1.991), CAMPANHA et al. (1.987), SOARES (1.987) e EBERT et al. (1.988).

A natureza dos contatos tectônicos explicam, em parte, a razão de diferentes propostas excluírem ou incluírem

unidades no Complexo Setuva, além de resultarem, sugestões de nomenclaturas compostas, caso do "Complexo Água Clara-Perau-Setuva" de SOARES (1.987).

3.3.5 Litologias e Metamorfismo

Para BIGARELLA & SALAMUNI (1.956), a Formação Setuva seria composta por sericita quartzitos e metassiltitos e notável ausência de rochas carbonáticas. MARINI et al. (1.967) descreveram a parte inferior desta formação como constituída por paragneisses com intercalações de xistos, quartzitos e metabasitos. MARINI (1.970), detalhou esta descrição citando a ocorrência de mica xistos, filitos, quartzo filitos e quartzitos da fácies anfíbolito baixo e/ou xisto verde e texturas cataclásticas, além de milonitização nos ganisses.

FUCK et al. (1.969) posicionaram, pela primeira vez, lentes de mármore dolomítico e itabiritos na Formação Setuva, porém EBERT (1.971) e POPP et al. (1.979) reafirmaram a ausência das rochas carbonáticas. Estes últimos descreveram conglomerados oligomíticos com seixos deformados na Formação Betara, além de quartzo xistos, quartzitos e quartzo filitos, enquanto a Formação Meia Lua seria constituída por paragneisses, quartzitos, mica xistos e metabasitos.

SCHOLL et al. (1.980), SCHOLL (1.981) e SCHOLL et al. (1.982), descreveram da base para o topo do Grupo Setuva, no Núcleo Betara, seqüências clástica (quartzítica) a clástica-carbonatada; química inferior (metacherts); química a clasto-química superior e vulcano-sedimentar. PIEKARZ (1.984), ao detalhar a área, mencionou seqüência carbonatada com cálcio-xistos, mármore, xistos carbonosos,

formações ferríferas e manganesíferas, além de metavulcânicas félsicas.

Para SOARES (1.987) o Complexo Água Clara-Perau-Setuva, embasado por ortognaisses, migmatitos e granitos deformados, é constituído por cinco associações metassedimentares, da base para o topo:

a. quartzitos, sericita e muscovita quartzitos, biotita xistos; b. cálcio xistos, clorita e granada xistos e mármore; c. associação metavulcânica-sedimentar com biotita xistos e formações ferríferas; d. unidade carbonática e e. associação terrígena imatura e clorita xistos.

Em termos metamórficos SCHOLL et al. (1.982) definiu, no Núcleo Betara, retrometamorfismo da fácies xisto verde (zona da clorita) sobre rochas na fácies anfibolito. Isto foi observado também por PIEKARZ (1.984) e REIS NETO & SOARES (1.987).

3.3.6 Padrão Estrutural

O reconhecimento da complexidade tectônica para o Complexo Setuva, coincide com os primeiros trabalhos sobre a unidade. Inicialmente LOPES (1.966) e SALAMUNI & BIGARELLA (1.967) observaram, na estruturação do Complexo Setuva, duas grandes fases tectônicas, ou fase plástica e fase rígida.

Coube a MARINI (1.970) definir o padrão estrutural básico da Formação Setuva e caracterizar os vários eventos deformacionais atuantes no mesmo. EBERT (1.971) reconheceu a aloctonia dos conjuntos litológicos desta unidade,

relacionando sua evolução estrutural e processos de nappismo, associados a movimentos verticais.

Posteriormente, outros autores como SCHOLL et al. (1.980), SCHOLL (1.981), SCHOLL et al. (1.982), PIEKARZ (1.981, 1.984), FRITZONS JR. et al. (1.982), PONTES (1.982) e SILVA et al. (1.982), através de levantamentos em áreas restritas, associaram o padrão estrutural geral a uma evolução polifásica regional.

A partir de HASUI (1.984) implantou-se uma interpretação tectônica onde as deformações do Complexo Setuva seriam resultado de cisalhamento dúctil, com desenvolvimento progressivo ligado à movimentos crustais mais abrangentes. Esta proposição foi adotada por HASUI (1.986), SOARES (1.987, 1.988), FIORI et al. (1.987c), FIORI (1.991), EBERT et. al (1.988) e HASUI et al.(1.989).

O quadro 03 resume a evolução das idéias formuladas sobre a tectônica do Complexo Setuva, comparando-se o ponto de vista de autores que trabalharam em suas exposições diversas.

Especificamente no Núcleo Betara, foram realizados trabalhos de reconhecimento estrutural, relacionados abaixo:

a. LOPES (1.966), denominou o alto estrutural local de "horst" da Meia Lua, limitado por "duas grandes falhas";

b. MARINI (1.970), designou o Núcleo Betara por "janela tectônica", ao se referir aos gnaisses do sul da serra do Betara e citou a supressão tectônica da porção ocidental do Anticlinal do Betara. Observou plano axial mergulhando para NNW e "repetição de camadas devido a falhamentos inversos resultando estruturas em escamas, nos contatos de camadas competentes e incompetentes";

c. POPP et al. (1.979), reconheceram direções para NE e mergulhos para NW tanto da Formação Meia Lua quanto da Formação Betara, além de extensas anticlinais desta última;

d. SCHOLL et al. (1.980), publicou pela primeira vez o nome Lancinha para a falha, embora o mesmo já tivesse sido mencionado em relatórios internos do CPRM - DNPM (Projeto Leste do Paraná);

e. SCHOLL (1.981), reconheceu no Núcleo Betara uma tectônica compressiva com esforços NW-SE que geraram isoclinais com transposição até dobras abertas, foliação plano axial e eixos de direção NE-SW, além de falhas inversas menores;

f. PIEKARZ (1.981, 1.984), relatou uma estruturação proveniente de uma fase isoclinal com transposição e vergência para SE, evidenciada pela foliação S_0 . Observou um intenso fatiamento que dificulta o estabelecimento de topo e base das camadas, e também uma crenulação que transpõe localmente a S_1 .

AUTOR	PADRÃO TECTÔNICO	ESTRUTURAS CARACTERÍSTICAS	ELEMENTOS GERADOS	ORIENTAÇÃO GERAL
LOPES 1.966	Tectônica Plástica – dois ciclos orogênicos	Anticlinais simétricos e assimétricos Dobras de Arrasto e Isoclinais	Eixos de Dobras	N40-60W N40-60E, N-S
SALAMUNI & BIGARELLA 1.967	Tectônica Rígida	Dois Sistemas Principais de Falhamentos e um Terceiro Subsidiário	Planos de Falhas	Direção E-W Até N30-50E
MARINI 1.970	Tectônica Plástica	Geração dos Anticlinais do Setuva e Betara – Dobramentos em Menor Escala	Eixo de Dobras	Direção ENE-WSW
	Tectônica Rígida	Falhas Direcionais Inversas – “Grande Falha que Passa p/ Rio Branco do Sul” Denso Sistema de Fratura	Estruturas em Escamas, Fatias Tectônicas e Falhas Normais – Enxame de Diques	N20 – 60 E, NNE – SSW, N50 – 60W
EBERT 1.971	Tectônica Vertical (Levantamento e Abaixamentos de Blocos Crustais),	Nappes de Deslizamento	Falhamentos Longitudinais	NE – SW
SCHOLL et al. 1.980;	???	???	Foliação Preexistente S ₁	???
SCHOLL 1.981 e SCHOLL et al. 1.982	Tectônica Compressiva ou Plástica Polifásica (Compressão NW – SE)	Dobras Abertas ate Isoclinais com Transposição, Duas Superfícies de Crenulação	Foliação S ₂ Paralela a S ₀ Foliação Plano – Axial S ₃	N40 – 60E, N20 – 60W, N – S
	Tectônica Transcorrente	Falhamentos de Grande Extensão– Falha da Lancinha, Arqueamento do Embasamento, Falhas de Empurrão e/ou Inversas	Plano de Falhas e Micro – estruturas Miloníticas	NE - SW
BATOLLA JR. 1.981	Tectônica Compressiva (Esforços NNW – SSE)	Transposição, Bandamento Metamórfico Dobramento Antiformais	Foliação Gnáissica, Acamamento Reliquiar	N60 – 80E, E – W
FRITZONS JR. et al. 1.982; E PONTES 1.982 (em parte)	Tectônica Compressiva Polifásica	Isoclinais com Transposição (1 Fase) Dobras Suaves (2 Fase), Anticlinais e Sinclinais de Extensão Regional (3 Fase), Arqueamentos Suaves com Braquianticlinais (4 Fase)	Xistosidade S ₁ paralela S ₀ Eixos Paralelos a S ₁ Eixos não Caracterizados	N50 E, caimentos p/ NE ou SW ???
SILVA et al. 1.982	Tectônica Compressiva Polifásica	Dobras Abertas e de Amplitudes Variadas, ???	Foliação Plano-Axial S _n e Lineação (L _B), Foliação Cataclástica S _{n+1}	NE – SW, N45/10-20 ???
PIEKARZ 1.981 e PIEKARZ 1.984	Tectônica Polifásica	Isoclinal com Transposição e Fatiamento Intenso (1 Fase) Dobramento Assimétrico	Xistosidade S ₁ Paralela S ₀ Xistosidade S ₂ (Pl. Axial)	??? ???
HASUI et al. 1.984,	Tectônica de Cavalgamento (Cisalhamento Dúctil Progressivo de Baixo Ângulo),	Superfície de Transposição Paralelizada ao Bandamento Composicional Xistosidade Penetrativa, Estiramento Mineral, Dobras Intrafoliares Dobras em Bainha (Binário Sub-Horizaontal)	Foliação Milonítica S ₁ Lineação de Esiramento Mineral L _A	NNE – SSW NNE (Caim. Sub- Horiz.) Paralelos a Lin. Mineral
HASUI 1.986 e HASUI et al. 1.989	Tectonia Transcorrente (Cisalhamento de Alto Ângulo) Articulação de Blocos Crustais	Lineamento Lancinha – Cubatão com Processos de Cisalhamento de Alto Ângulo	Eixos de Dobras Foliação Milonítica de Alto Ângulo, Lineação de Estiramento Mineral	NNE - SSW
SOARES 1.987	Tectônica de Cisalhamento Progressivo	Dobramento Isoclinal a Fechado, associado com um Cisalhamento Dúctil com Transposição	Xistosidade Plano Axial S ₁ Achatamento Mineral (L _A)	NE - SW
EBERT 1.988	Tectônica de Deformação Progressiva (Articulação de Blocos Crustais)	Cisalhamento Não-Coaxial Dúctil, Heterogêneo, Foliação Penetrativa, Estiramento Mineral. Dobramentos Intermediários Tectônica Transcorrente e Transpressiva	Foliação Milonítica S., Estiramento Mineral em níveis profundos Eixos Regionais, Dobramentos da Foliação Rotação, Inflexão, Deformação e Dobramento de Estruturas Pré-existentes. Cisalhamento ductil	NE - SW N – S NE - SW NE - SW
FIORI 1.987 e FIORI 1.991	Tectônica com Deformação Progressiva	Sistema de Cavalgamentos com Lenticularização das Rochas Sistemas de Dobramentos Intermediários Sistemas Transcorrentes com Lenticularização dos Pacotes	Foliação S ₁ , Milonítica Paralela a S ₀ , Lineação de Estiramento Mineral (L _A) Eixos Regionais Foliação Milonítica	NE –SW com mergulho p/ SE ou p/ NW NE – SW N45 – 50 E

Quadro 03: Evolução das idéias sobre a tectônica do leste paranaense.

3.3.7 Geocronologia

Os dados geocronológicos disponíveis para a unidade Seuva (K/Ar, Rb/Sr, Pb/Pb), encontram-se sumarizados no Quadro 04.

Este quadro confrontado com as características das relações de contato do Complexo Setuva; com dados ads unidades sobre/sotopostas e com seus próprios aspectos metamórficos, litológicos e estruturais levou a maioria dos autores a atribuírem ao Complexo Setuva uma idade entre o Proterozóico Inferior (Ciclo Transamazônico) e Proterozóico Médio (Ciclo Uruçuano) com rejuvenescimento termal no Proterozóico Superior (Ciclo Brasileiro).

AUTOR	UNIDADE	MÉTODO	IDADE ISOCRONICA (x m.a.)
SALAMUNI & BIGARELLA 1.967	SETUVA (Antiforma do Setuva)	K/Ar	783 +- 018
EBERT – USP 1.971	Setuva (Antiforma do Setuva)	K/Ar	582 +- 031
CORDANI et al. 1.971	Granitóides (Grup. Açungui)	Rb/Sr	600 +- 020
BATOLLA JR. et al. 1.971	Complexo Migmatítico/Setuva	Rb/Sr	1.395 +- 145
BATOLLA JR. et al. 1.977	Setuva (Metabasitos)	K/Ar	780
BATOLLA JR et al. 1.977	Setuva/Perau	Rb/Sr	1.200 a 1.300
JICA/MMAJ 1.982	Setuva/Perau	Pb/Pb	1.400 a 1430
JICA/MMAJ 1.982	Setuva/ Turvo-Cajati	K/Ar	1.380
CHIODI FILHO 1.984	Setuva – Perau	Rb/Sr	1.330
CHIODI FILHO 1.984	Setuva – Perau	Rb/Sr	1.170

QUADRO 04: Idades radiométricas obtidas em exposições diversas do Complexo Setuva, através de métodos convencionais.

HASUI (1.986), no entanto, concluiu pela não consistência dos dados geocronológicos. Seus principais argumentos forma a ausência de isócronas verdadeiras calcadas em rochas cogenéticas; idades Rb/Sr tipo convencional, cujos valores dependem da razão inicial Sr^{87}/Sr^{86} utilizada; falta de preocupação com a caracterização estrutural das amostras datadas e com a limitação dada pelos eventos deformacionais atuantes.

3.3.7 Considerações Complementares

As relações de contato, metamórficas e estruturais da unidade Setuva, revelam a posição conflitante dos diferentes autores quanto a sua caracterização e sua hierarquia estratigráfica. Isto é refletido na determinação das unidades que de fato a compões. Um "Grupo" é a reunião de duas ou mais "Formações" com uniformidade de feições litológicas em comum (I.S.S. 1.976). Não há certeza se esta exigência é satisfeita em relação à unidade Setuva, já que a posição da Formação Água Clara não é claramente definida.

A denominação que parece ser a mais adequada para a unidade Setuva, no atual estágio de conhecimento é a de "Complexo", pois este termo pode ser equivalente a um "Grupo", a uma "Formação" e até a um "Membro", sem comprometimento de sua classificação, (I.S.S. 1.976) A unidade Setuva é assim designada neste trabalho, seguindo as idéias de HASUI & OLIVEIRA (1.984) e SOARES (1.987).

Outro ponto a saleientar é o emprego das designações "Formação Betara", para a porção NNE do Núcleo Betara, e "Complexo Meia Lua", para sua porção SSW. De acordo com discussão precedente, as mesmas foram reutilizados tendo por base os preceitos dos códigos estratigráficos vigentes.

O emprego do termo "Complexo" para a unidade Meia Lua, ao invés de "Formação", segue o mesmo raciocínio do emprego do "Complexo" para a unidade Setuva.

3.4 Evolução Tectônica do Cinturão Ribeira no Escudo Paranaense

ALMEIDA et al. (1.973) propuseram para o Pré-Cambriano Superior do Brasil modelo tectônico, constituído por Faixas de Dobramentos metassedimentares, separadas por blocos crustais (maciços medianos), de idade pré-Brasiliana, e remobilização no Pré-Cambriano Superior. O contato, entre os maciços e as faixas de dobramento é dado por falhas transcorrentes.

Esse modelo, de cunho ensiálico, foi retomado por HASUI et al. (1.975), com a definição de dois maciços (Joinville e Pelotas) e três faixas de dobramentos (Apiaí, Tijucas e Uruguai Oriental). O conjunto integraria o segmento meridional do Cinturão Dobrado Ribeira ("Ribeira Folded Belt"), com base nas proposições de COUTINHO (1.971) e ALMEIDA et al. (1.973). Nesta situação a Z.C.T. Lancinha-Cubatão representaria, na região, a transcorrência que limitaria o Maciço Joinville e a Faixa de Dobramento Apiaí.

Para HASUI et al. (1.975), as zonas transcorrentes seriam responsáveis pela estruturação, fundamentais para a evolução destes conjuntos. BITTENCOURT & WERNICK (1.976) reforçaram a aplicação do modelo ao discutirem correlações entre os Grupos São Roque e Açungui (no Estado de São Paulo), através da Falha de Taxaquara.

Propostas relativas ao desenvolvimento das bacias Açungui e Setuva, através de fase tafrogênica com passagem

para "miogeossinclinal", ou através de "rifts ou grabens", baseadas em ALMEIDA et al. (1.973) e HASUI et al. (1.975), foram sugeridas por PONTES (1.980), SILVA et al. (1.982) e CHIODI FILHO et al. (1.983).

PORADA (1.979), sugeriu colisão continental e subducção, de leste para oeste, da placa Africana sob a Sul-Americana. A evolução do "orógeno Damara-Ribeira", também aceita por KAUL (1.979), iniciaria com rifteamento e abertura oceânica, seguida de fechamento do "proto-oceano", originado o "Cinturão Ribeira". Assim as Bacias Açungui e Setuva seriam formadas, em um sistema aulacogênico.

CHIODI FILHO (1.984) baseu seu modelo de evolução aulacogênica para as referidas bacias nas propostas acima. O sistema "rift" ocorreria posteriormente, e a Z.C.T. Lancinha-Cubatão seria um dos grandes falhamentos do mesmo.

BATOLLA JR. et al. (1.981), no Grupo Açungui (no Paraná) e CAMPOS NETO & "BASEI (1.983) nos Grupos São Roque e Açungui (em São Paulo), levantaram a hipótese de evolução através de colisão continental.

KAUL (1.985) propôs igualmente evolução tectono-colisional para o Pré-Cambriano de São Paulo, Paraná e Santa Catarina. O desenvolvimento oceânico do Sistema Dobrado Apiaí, seria indicado por "magmatismo toleítico". Seu posterior desaparecimento serai devido à subducção de N e NW, cuja linha de sutura seria representada pela Falha de Taxaquara, podendo extendida para a Z.C.T. Lancinha-Cubatão.

Os modelos propostos posteriormente são mais detalhados, com tectônica baseada na utilização de novos dados petrográficos, estruturais e geofísicos.

HASUI (1.986) e HASUI et al. (1.989) propuseram uma articulação de blocos, baseados na proposição de HARALYI & HASUI (1982) e KRONER (1.984) onde o bloco Vitória a leste cavalgaria sobre o Bloco São Paulo a oeste. Neste contexto

o Complexo Setuva e o Grupo Ribeira redefinido seriam bacias ensiálicas típicas de distensão litosférica.

A articulação entre os blocos demarcaria uma descontinuidade crustal, vinculando-se à mesma uma generalizada deformação por cisalhamento dúctil de baixo ângulo. A rotação continental posterior é acomodada pela geração de zonas de cisalhamento rúptil de alto ângulo e transcorrências como a Z.C.T. Lancinha-Cubatão, considerada por HASUI (1986) a zona de sutura entre os dois blocos.

EBERT et al. (1.988), neste contexto, definiram o Cinturão Móvel Costeiro, cuja estruturação caracterizaria um evento de delaminação profunda da crosta e posterior colisão com cavalgamento oblíquo de E ou SE para W ou NW, sem subducção de crosta oceânica. Após o equilíbrio geodinâmico, os movimentos tangenciais cessaram, prosseguindo tectônica mista do tipo rampa lateral e deslocamentos transcorrentes, que explicam as estruturas geradas por cisalhamentos de alto ângulo. A Z.C.T. Lancinha - Cubatão, segundo os autores, se comportaria de forma transpressiva.

CAMPANHA et al. (1.987) descreveram um modelo geotectônico baseado em microcolisões, idéia próxima à de BASEI et al. (1990), e diversas subducções da placa oceânica de SE para NW. Neste cenário o Maciço Catas Altas (de HASUI et al. 1.984), representaria o arco magmático, a Formação Capiuru as rochas da margem continental oposta, e a Formação Perau a zona de sutura.

SOARES (1.987, 1.988 e 1.990) considerou as faixas brasileiras como resultado de um mega-ciclo mesoproterozóico (sedimentação e vulcanismo oceânico) e transporte sobre crosta continental, além de um mega-ciclo neo-proterozóico. Para o autor o escudo leste paranaense evolui através de uma colisão arco-continente e posterior colisão continente - arco - continente.

Sugeriu também a existência de blocos maiores ou microcontinentes, tais como o Paraná e o Luiz Alves, e faixas intermediárias como a Apiaí, onde a bacia Setuva seria uma bacia retro-arco ativa, deformada pela subducção, e a bacia Açungui o resultado do estiramento litosférico. O transporte seria para sudeste, com intensa imbricação tectônica em cinturão de cavalgamento rúptil-dúctil. Neste arcabouço a Z.C.T. Lancinha Cubatão, representa a zona de sutura que acomodou, o ajuste de saliências.

WERNICK (1.990), determinou o zoneamento magmático de maciços graníticos do sul e parte do sudeste brasileiro, confirmando as conclusões de SOARES (1.988) e SOARES et al. (1.990). O autor interpretou uma aproximação de massas cratônicas (Paraná e Kalaari), indicadas pelas expressivas zonas transcorrentes, com subducções tanto para leste quanto para oeste. Neste contexto a Z.C.T. Lancinha-Cubatão representaria uma dessas transcorrentes tal como sugerido por SOARES (1.988).

FIORI (1.991) sugeriu um modelo de colisão tipo continente/arco-de ilha onde a Bacia Açungui seria do tipo retro-arco, estando o continente original a sudeste, subductando para noroeste ao encontro do arco magmático, hoje representado pelos maciços graníticos.

CAPÍTULO 4

ASPECTOS LITO-ESTRATIGRÁFICOS

DO NÚCLEO BETARA

4.1 Aspectos Gerais do Mapa Geológico

Os aspectos geológico-estruturais do mapeamento realizado no Núcleo Betara, podem ser visualizados mais detalhadamente nos Anexos 1, 2, 3, 4 e 5; que representam respectivamente, o Mapa Geológico-Estrutural da Região do Núcleo Betara, o Mapa de Pontos, o Mapa de Foliações, o Mapa de Lineações e o Mapa de Estereogramas Estruturais. Também a Figura 05, mostra uma esquematização de interpretação geológica dada para a área neste trabalho.

A serra do Betara, aproximadamente no centro geográfico do Núcleo, delimita duas unidades lito-estratigráficas de diferentes naturezas.

A partir desta elevação para o norte foi mapeada a Formação Betara, que é uma seqüência de rochas metavulcano-sedimentares (clasto-químicas), onde se encontra uma alternância de rochas xistosas, filíticas (filoníticas), silicáticas, carbonáticas e carbono-silicatadas. Nestas rochas ocorre uma estruturação típica por uma foliação milonítica a proto-milonítica, bem demarcada, além de uma estruturação secundária, que incluem dobras, fraturas e lineações, além de uma foliação secundária oblíqua a primeira. Em escala maior se observa estes tipos litológicos com padrão lenticular. Seus limites geográficos são a Formação Votuverava a nor-noroeste, e a Formação

Capiru a este-sudeste. Com estas unidades o contato é tectônico.

A sul foi mapeado o Complexo Meia Lua, também circundado pelas formações que limitam a Formação Betara e com uma estruturação tão ou mais complexa do que a mesma. As rochas desta porção do núcleo são em sua maioria paragneisses, ocorrendo também quartzitos, quartzos xistos, metabásicas na forma de xistos anfíbolíticos, restritos ortogneisses, por vezes migmatizados, além de cataclastos quartzo-feldspáticos.

É conspícuo o imbricamento tectônico nesta região, o que torna difícil caracterizar limites entre os diferentes tipos litológicos, na escala proposta. Por este motivo se optou pela denominação genérica de "gneisses", para a definição do conjunto litológico do Complexo, já que "lato sensu", pode-se considerar que a textura das rochas ali observadas é gnáissica.

Grandes alinhamentos estruturais delimitam o Núcleo Betara, como pode ser observado no arcabouço tectônico do Anexo 1 (ou Figura 05). A sul-sudeste o mesmo é limitado pela Zona de Cisalhamento Transcorrente Lancinha Cubatão (Z.C.T. Lancinha-Cubatão), de forma anastomosada mas com um trend geral de N50°E. Na sua porção nor-nordeste foi mapeada a Zona de Cisalhamento (cavalgamento) Betara., de médios a baixos ângulos.

Tanto uma como outra estrutura representam zonas de cisalhamento não-coaxial, diferindo essencialmente no seu ângulo de mergulho, na sua dinâmica e conseqüentemente no sentido de transporte que imprimem aos pacotes rochosos.

Cada um desses lineamentos de maior porte é seguido por outros, de menor extensão e espacialmente ligados aos primeiros. Assumem variadas direções, desde subparalelas até aproximadamente ortogonais como no caso de alguns lineamentos ligados ao sistema Lancinha-Cubatão.

O Núcleo Betara, em seu conjunto, apresenta-se como uma estrutura antiformal. Esta morfologia do Núcleo, pode ser visualizada nos perfis selecionados no Anexo 1, que mostram sua porção setentrional como uma dobra de flanco invertido e de padrão fechado, enquanto que sua porção meridional é mais suave, e de flancos normais.

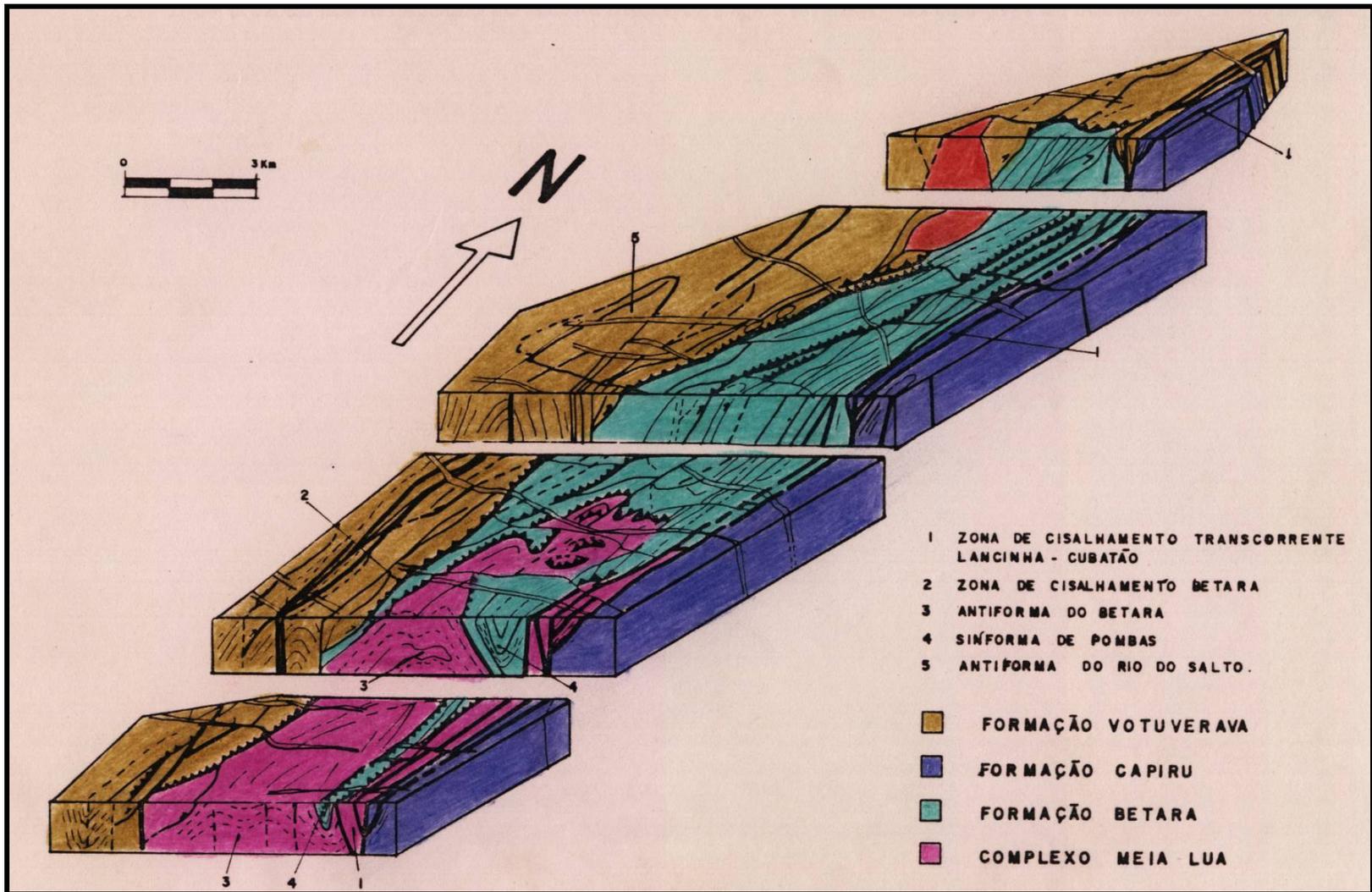


Fig. 05: Blocos diagramas esquemáticos do Núcleo Betara, mostrando as principais estruturas mapeadas na região, bem como as unidades geológicas que ocorrem no local. As simbologias deste quadro resumido e a mesma apresentada no Anexo 1.

A exposição de rochas de seu embasamento, a sul da serra do Betara, possivelmente seja caracterizada pelo arqueamento acentuado desta porção do núcleo, facilitando a erosão das rochas sobrejacentes.

Características estruturais são observadas nos Anexos 3 e 4. O primeiro fornece o padrão geral da foliação principal, que apresenta textura lenticular, e caracteriza o comportamento espacial dos planos e a variação de sua tendência estrutural. Observa-se que estas linhas de tendência obedecem as direções dos grandes lineamentos, além de representarem locais de maior concentração da deformação finita. O padrão lenticular dos planos estruturais é a projeção, em superfície, da forma tridimensional da maioria dos pacotes rochosos.

O Anexo 4 é um mapa que contém as tendências estruturais de lineações, tais como estiramento mineral e outros indicadores de transporte tectônico. O padrão é variável obedecendo também em sua maioria os grandes alinhamentos estruturais. O Anexo 5 mostra a distribuição estatística das diversas estruturas, através dos estereogramas estruturais, mostrando principalmente o padrão dobrado do Núcleo Betara.

4.2 Posicionamento Tectono-Estratigráfico

Os estudos realizados na Antiforma do Betara e adjacências, permitiram a individualização de quatro unidades lito-estratigráficas maiores (Figura 05 e Anexo 1):

- Formações Capiro e Votuverava (Grupo Açungui)

- Formação Betara (Complexo Setuva);
- Complexo Meia Lua e porções retrabalhadas do embasamento, ou Complexo Costeiro.

A terminologia adotada para as unidades segue as normas dos códigos estratigráficos vigentes, os quais sugerem que denominações mais antigas devam prevalecer sobre as mais recentes. Assim o nome "Betara" de POPP et al. (1.979) é preferível ao nome "Perau" dado por PIEKARZ (1.981, 1.984).

A correlação existente, de acordo com o último, entre a porção sobrejacente do Núcleo Betara e a região da Mina do Perau, foi determinada apenas com base na similaridade litológica. As áreas carecem de estudos de correlação estrutural de detalhe.

UNIDADES		LITOLOGIAS	REAÇÕES DE CONTATO
GRUPO ACUNGUÍ	V F O F F O T O C R U R A M V R A A E M P Ç A C A A V A U O A O	METASSEDIMENTOS SILTICO ARGILOSOS (FILITOS EM GERAL), COM ESPARSOS, METABASITOS E QUARTZITOS. MÁRMORES DOLOMÍTICOS METASSEDIMENTOS SILTICO - ARGILOSOS. (FILITOS EM GERAL) COM MEGALENTES DE QUARTZITOS	TRANSCORRENTE TRANSPRESSIVA (ZONA DE CISALHAMENTO ALTO ÂNGULO LANÇINHA-CUBATÃO)
	FORMAÇÃO BETARA	MÁRMORES CALCÍTIOS IMPUROS, METAMARGAS, SEQÜÊNCIA FERRÍFERA E MANGANESIFERA, METAVULCANICAS INTERMEDIARIAS, METASSEDIMENTOS, XISTOS CLÁSTICOS, CARBONATO-SILICATADAS, QUARTZITOS BASAIS E METABASITOS INTRUDIDOS	CAVALGAMENTO OU EMPURRÃO (ZONA DE CISALHAMENTO BAIXO ÂNGULO BETARA)
COMPLEXO SETUVA	COMPLEXO MEIA LUA	GNAISSES "LATO-SENSU" (PARAGNAISSES) COM INTERCALAÇÃO DE QUARTZITOS, ANFIBÓLIO XISTO (METABASITOS?) E XISTOS CLÁSTICOS	CAVALGAMENTO OU EMPURRÃO NA BASE DOS QUARTZITOS (ALOCTONIA ENTRE PACOTES LITOLÓGICOS)
?	?	?	IMBRICAMENTO TECTÔNICO ENTRE LITOTIPOS
?	?	?	IMBRICAMENTO TECTÔNICO E POSSIVEL DESLOCAMENTO BASAL
COMPLEXO COSTEIRO		ORTOGNAISSES MIGMATIZAÇÃO (?)	RETRABALHAMENTO

QUADRO 05: Coluna tectonoestratigrafica representando o posicionamento espacial dos pacotes litológicos ocorrentes no Núcleo Betara e adjacências.

Em relação à porção subjacente do Núcleo, sugere-se a designação de "Complexo Meia Lua" pelo mesmo motivo acima exposto, em contraste com a designação que se têm utilizado de "Complexo Pré-Setuva".

A mudança do estatus da unidade Meia-Lua para "Complexo", que é mais genérico e aplicável à faixas bastante tectonizadas, é aqui sugerida por ser mais adequada do que o conceito usual de "Formação".

Em relação à posição espacial, os pacotes litológicos da Formação Betara estão sobrepostos aos do Complexo Meia Lua através de uma zona de cisalhamento de baixo ângulo, localizada na base da serra do Betara (ver Anexo 1), ou base dos quartzitos da Formação Betara, que apresentam deslocamento diferencial em relação aos paragneisses do Complexo Meia Lua. Os contatos com o Grupo Açungui e estas unidades, são igualmente tectônicos.

Estas relações de contato geraram dúvidas quanto à natureza da sucessão estratigráfica original. A relativa contemporaneidade das rochas ocorrentes no Núcleo Betara, é assumida em função das características estruturais e metamórficas, porém podem ser consequência das deformações impostas. Estas sugerem significativas alterações do posicionamento lateral, através de uma generalizada aloctonia, ou movimentação relativa dos pacotes rochosos, com modificação da natureza dos contatos entre as unidades geológicas.

Em razão disto a montagem de uma coluna estratigráfica formal para a área é dificultada, posto que a posição dos estratos não é original.

O problema de uma coluna estratigráfica usual para as rochas tectonizadas do Núcleo Betara, é que a mesma não refletiria com clareza a relação entre as unidades e os eventos deformativos. A coluna apresentada (Quadro 05), caracteriza a posição espacial dos pacotes litológicos, na qual são considerados o empilhamento tectônico atual e a relação de contato entre as unidades, assumindo uma

cronologia relativa entre as mesmas e também entre os eventos tectônicos.

Como o Complexo Meia Lua é considerado como um tectonofácies, é possível que reúna, em seu conjunto, rochas que anteriormente rochas constituíam o substrato do mesmo.

Isto é conseqüência do tectonismo sofrido nesta porção, suficientemente forte para individualizar uma faixa entre o embasamento e as rochas acima depositadas, através da deformação e reestruturação de pacotes nesta faixa.

A cronologia relativa entre os sistemas deformativos também pode ser caracterizada na coluna apresentada. Cada sistema gera uma série de estruturas, de ocorrência nos diversos tipos litológicos. Observou-se que estruturas geradas por um sistema, foram afetadas pelos outros, considerados mais tardios. Isto definiu a cronologia relativa entre os mesmos. Exemplos disto são freqüentes em rochas da Formação Betara. Xistos pelíticos apresentam a superfície planar de cisalhamento (S_n) de baixo ângulo, dobradas suavemente e/ou seccionadas por planos de cisalhamento secundários de alto ângulo.

4.3 Caracterização Litológica

A descrição e conceituação estrutural dos tipos litológicos encontrados na área de estudo, principalmente no Núcleo Betara, segue a classificação de SIBSON (1.977) para zonas de cisalhamento, onde o limite rúptil-dúctil e também a temperatura de recristalização são funções da profundidade do nível estrutural. Igualmente está de acordo

com a esquematização de SHIMAMOTO (1.989) (Figura06), que demonstra o locus tectônico onde os milonitos S-C ocorrem.

4.3.1 Complexo Meia Lua

Esta unidade é formada generalizadamente por paragneisses ("lato sensu"), interdigitados tectonicamente por diferentes tipos litológicos. Em sua maioria são xistos quartzo-feldspáticos, ocorrendo também quartzitos, xistos anfibolíticos ou prováveis metabasitos, xistos clásticos e esparsos afloramentos de ortogneisses, por vezes migmatizados, que representam porções aflorantes do embasamento.

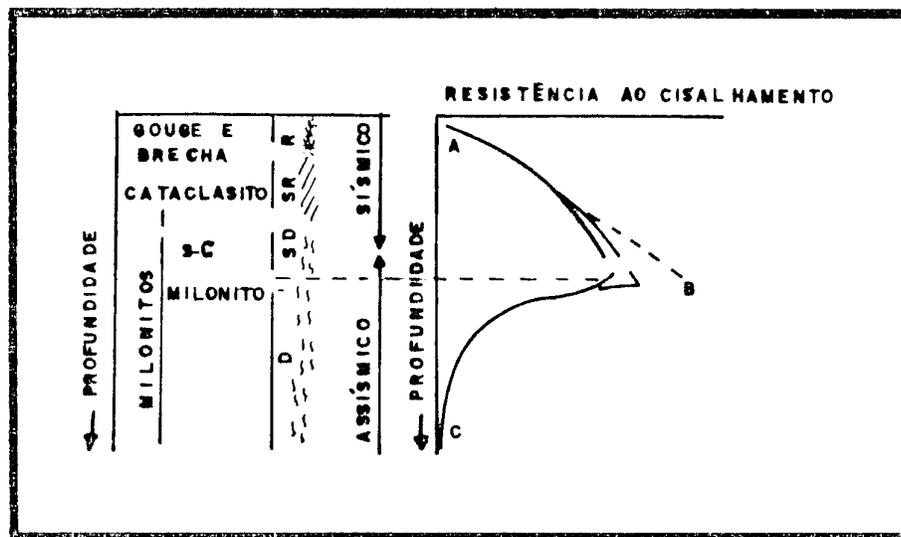


FIG. 06: Correlação entre profundidade, geração de litotipos estruturais e regimes tectônicos (rúptil = R; semirúptil = SR; semidúctil = SM e dúctil = D), com localização da faixa de produção de milonitos e padrão S-C.

Fonte: SHIMAMOTO (1.989)

O Complexo Meia Lua ocupa a porção WSW do Núcleo Betara (Figura 05 e Anexol).

- Gnaisses

São rochas de composição variável, normalmente com predominância micácea, mas também quartzo-feldspática. Frequentemente se apresentam alterados, com caulinição dos feldspatos e oxidação intensa dos constituintes ferro-magnesianos. Sua granulação é média a grossa e a colorção apresenta tom rosa esbranquiçado. Ocupam cerca de 30% de todo o Núcleo Betara.

Em virtude destas rochas se apresentarem bastante deformadas e recristalizadas, foram caracterizadas como gnaisses miloníticos.

Em geral, elas apresentam bandamento tectônico, com espessuras milimétricas até decimétricas. A interdigitação tectônica é definida na área de abrangência dos ganisses, pela observação freqüente de camadas e/ou macrolentes de metabasitos, quatzitos e xistos clásticos (Foto 03).

Os tipos litológicos, de mineralogia aluminosa, sugerem para a área uma origem sedimentar, o que definiria estas rochas como paragnaisses (possíveis arcóseos, intermeados por camadas areno-argilosas e ígneas básicas).

Ortognaisses são observados de maneira esparsa na área em discussão. São exposições pouco freqüentes de rochas granitóides, que representam o embasamento retrabalhado (Foto 04), igualmente interdigitados tectonicamente.

Neste conjunto litológico é observada a alternância de feições deformacionais, podendo a mesma se apresentar dúctil a dúctil-rúptil, com atuação característica dos processos de cisalhamento em deformação não-coaxial. Ressalta-se a heterogeneidade da deformação, ocorrendo áreas em que há concentração da mesma e outras onde esta deformação é pouco intensa.

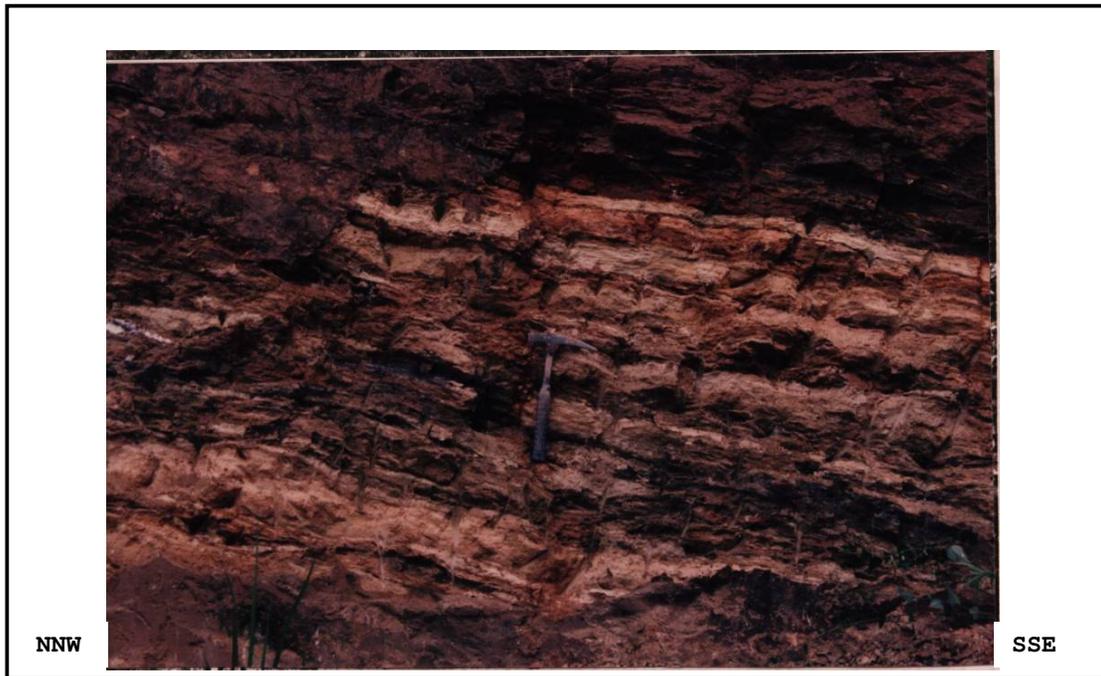


FOTO 3: Paragneisse típico do Complexo Meia Lua, na porção intermediária do afloramento, intercalado a quartzitos acima e abaixo do mesmo, além de xistos anfibolíticos na parte superior da exposição (Afloramento na parede - Pto. E - 162).



FOTO 4: Ortogneisse retrabalhado do embasamento (Complexo Costeiro) com estiramento de quartzo e feldspato, caracterizando o cisalhamento dúctil que o afetou (afloramento no chão - Pto. E - 173).

Estruturalmente o gnaisse é caracterizado por apresentar uma foliação S_n milonítica ou protomilonítica, de aspecto anastomosado, irregular (não - contínua ou do tipo "flaser"). Esta forma lenticular demarca o fluxo de minerais micácios e quartzo, enquanto o feldspato em geral se encontra menos estirado, porém geralmente com feições de quebramento. A superfície apresenta, neste litostipo, um "trend" geral de $N30^\circ - 60^\circ E$, com mergulhos relativamente altos entre 60° e 70° , ora para NW ora para SE, e pode ser classificada como a superfície C do par S-C.

As lineações de estiramento mineral ocorrem subparalelamente à direção da foliação e são caracterizadas por filmes de feldspatos, quando a rocha é milonítica: por "ribbons" de quartzo: por "augens" feldspáticos das porções porfíriticas dos ortognaisses, quando a rocha é protomilonítica, e também por minerais micáceos orientados através da superfície planar. Estas lineações apresentam baixos caimentos (10° a 20°) ora para NE ora para SW, porém proximamente às maiores estruturas de cavalgamento, apresentam sentido NW ou NNW.

No paragnaisse ocorrem dobras esparsas de escalas e estilos variados, mas com maior freqüência dobras intrafoliais centimétricas a milimétricas. Igualmente são observadas fraturas caracterizadas pela cominuição das porções mais arenosas das rochas ou então microfraturamento nos seus constituintes mineralógicos, interpretadas como produto típico da tectônica rúptil.

-Xistos Quartzo-Feldspáticos

Este conjunto de rochas está localizado próximo à Z.C.T.Lancinha-Cubatão, encontrando-se cataclasado e por vezes protomilonitizados. São rochas predominantemente compostas de quartzo, feldspatos potássicos e também plagioclásios, além de ocorrência esparsa de minerais

micáceos e intercalações de porções essencialmente quartzíticas. As rochas estão bastante alteradas e suas melhores exposições estão próximas à localidade de Pombas, e acompanha o limite sudeste da área mapeada (ver anexo 1).

Este corpo quartzo-feldspático apresenta forma lenticular com direção concordante à estruturação geral do Núcleo Betara (NE-SW). A foliação S_n é bastante interrompida pelo cataclasmamento, não sendo normalmente marcante. Todavia feições dúcteis aparecem, devido ao próprio cisalhamento de alto ângulo que gera localmente até milonitos (superfície S_{n+2}).

- Quartzitos e Xistos Clásticos, Xistos Anfibolíticos (Metabasíticos?)

Estes três tipos litológicos estão intercalados ou interdigitados com os paragnaisses. Fazem parte do pacote rochoso denominado de gnaisses (latu sensu), para efeitos de mapeamento, na escala proposta. Assim foi procedido pela dificuldade de separação e delimitação de cada uma dessas litologias dentro do pacote gnáissico (Foto 05).

Localmente, estas litologias apresentam texturas gnaissicas como resultado da deformação que as afetou.

O aspecto interdigitado dos contatos pode ocorrer em diversas escalas, desde microscópico (dimensão centimétrica) até macroscópica (dimensão hectométrica) não sendo observados de forma contínua no campo. As características estruturais destas interdigitações são semelhantes às do paragnaisse, tanto no que concerne ao plano S_n quanto as lineações de estiramento mineral.

Os xistos anfibolíticos são de diferentes naturezas e apesar da alteração da maior parte delas, algumas exposições permitiram inferir a ocorrência de metabasaltos e metagabros, classificados desta forma como metabasitos (Foto 06). Sua natureza milonítica e/ou protomilonítica é

demonstrada pela recristalização de quartzo, que caracteriza o estiramento mineral (L_n), observadas inclusive macroscopicamente e também pela foliação S_n , gerada por cisalhamento não-coaxial heterogêneo.



FOTO 5: intercalação tectônica de diferentes tipos litológicos
Tais como xistos anfibolíticos e quartzitos do Complexo
Meia Lua (afloramento na parede - Pto. E - 155)

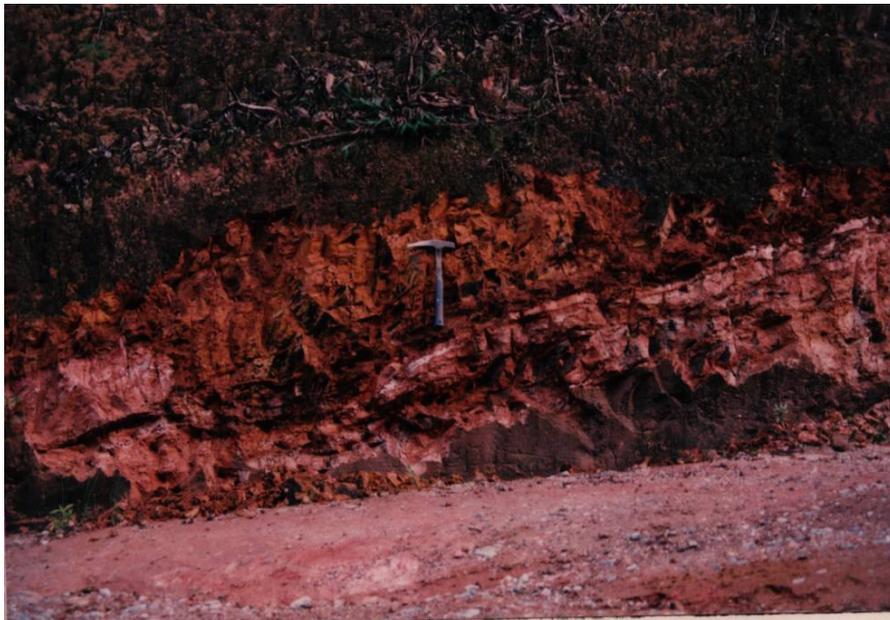


FOTO 6: Contato tectônico de baixo ângulo entre rocha
migmatizada do embasamento retrabalhado (Complexo
Costeiro) e anfibólio xisto (provável metabasito) do
Complexo Meia Lua. (Pto. E - 173)

Os quartzitos intercalados nos gnaisses, mostram feições protomiloníticas de um sistema inicial de deformação e também cataclástica a julgar pela cominuição da rocha, devido a uma deformação posterior. É interessante a preservação, mesmo que localizada, de feições sedimentares reliquiares, caracterizadas pela alternância de coloração somada à granodecrescência.

Os xistos clásticos são representados por micaxistos e quartzo micaxistos, além de quartzo xistos.

Estes tipos litológicos ocorrem penetrativamente no pacote gnaissico, e são facilmente confundidos com as porções quartzíticas e quartzo feldspáticos citadas anteriormente. Suas características estruturais são as mesmas daquelas descritas para os xistos anfibolísticos, confirmando a ocorrência de deformação não-coaxial heterogênea de natureza dúctil-rúptil. Nessas rochas são ressaltadas com maior destaque os planos de foliação S_n e seu anastomosamento, representados por fino fatiamento lenticular; assim como as lineações minerais (La_n e La_{n+2}), devido ao quartzo e à mica.

A composição dos xistos clásticos é localmente variável, ocorrendo porções psamíticas e também pelíticas, quase sempre intercaladas através de bandamentos centimétricos a milimétricos.

- Metamorfismo do Complexo Meia Lua

Foram detectadas paragêneses minerais que caracterizam primeiramente um metamorfismo de grau intermediário, xisto verde alto (zona da biotita) a anfibolito baixo (zona da almandina) e são representantes de um evento térmico cedo-tectônico. Para este metamorfismo inicial foi designada a simbologia M_{n-1} .

Estas paragêneses sofreram posteriormente um metamorfismo retrógrado (M_n) para as fácies xisto - verde,

zona da clorita, determinado pela alteração química de minerais como a biotita e a hornblenda e também pelo retrometamorfismo da granada para biotita, além da sericitização de plagioclásios e microclina.

Estas características foram observadas em lâminas delgadas dos vários tipos litológicos do Complexo Meia Lua, mas principalmente nas intercalações de xistos clásticos, rochas quartzo feldspáticas e paragnaisses, bem como ortognaisses.

Desta forma as paragêneses metamórficas desta unidade foram analisadas como um todo, refletindo tanto o metamorfismo M_{n-1} , quanto o metamorfismo retrógrado M_n .

Algumas paragêneses principais vão a seguir relacionadas:

- a. Plagioclásio + Microlino + Qz + biotita + Epidoto + Clorita
- b. Sericita + Clorita + Qz + Turmalina
- c. Ortoclásio + Plagioclásio + Qz + Epidoto + Hornblenda + Clorita
- d. Epidoto + Clorita + Plagioclásio + Qz + Granada
- e. Ortoclásio + Oligoclásio + Qz + Hornblenda + Biotita + Esfeno
- f. Qz + Plagioclásio + Ortoclásio + Muscovita + Epidoto + Biotita

Nestas paragêneses algumas características são marcantes, tais como a neoformação de minerais, desenvolvimento de forte estrutura de fluxo e estiramento do quartzo em "ribbons".

A tabela 01, relaciona a gênese dos principais constituintes mineralógicos, observados nos litotipos do Complexo Meia Lua, e os eventos termais ocorridos no núcleo.

MINERAL CRISTALIZADO	EVENTO METAMÓRFICO Mn - 1	EVENTO METAMÓRFICO Mn	EVENTO METAMÓRFICO Mn + 2
PLAGIOCLÁSIO			
MICROCLINA			
BIOTITA			.....
QUARTZO			.....
GRANADA		.....
MUSCOVITA			
EPIDOTO	.....	
CLINOZOISITA			
ORTOCLÁSIO	.....	
HORNBLENDA		.....
ESFENO	.....	
CLORITA			
TURMALINA			
OPACOS			
GRAU METAMÓRFICO	XISTO VERDE ALTO (ZONA DA BIOTITA) A ANFIBOLITO BAIXO (ZONA DA ALMANDINA)	XISTO VERDE ALTO (ZONA DA BIOTITA) A XISTO VERDE BAIXO (ZONA DA CLORITA)	XISTO VERDE BAIXO (ZONA DA CLORITA) BAIXO → METAMORFISMO
	RETROMETAMORFISMO →		

TABELA 01: Relação do desenvolvimento de minerais com respectivos eventos metamórficos no Complexo Meia Lua.

4.3.2 Formação Betara

Esta unidade é constituída por quartzitos basais, xistos clásticos e carbonato xistos, filitos metassedimentares, filitos metavulcânicos, formação ferrífera /manganesífera, uma seqüência carbonatada superior e também por rochas básicas anfibolíticas metamorfisadas, aqui denominadas de metabasitos.

Seus conjuntos litológicos apresentam continuidade física, apesar de se encontrarem lenticularizados, apresentando limites mais ou menos definidos entre si.

A Formação Betara ocupa a porção NNE do Núcleo Betara, abrangendo cerca de 40% da área total mapeada (anexo 1). Está limitada espacialmente com a Formação Capiru a ESE através da Z.C.T. Lancinha - Cubatão e com a Formação Votuverava a NNW através da Z.C.C. Betara. O contato com seu embasamento, Complexo Meia Lua, também é tectônico.

- Quartzitos Basais

O pacote quartzítico, considerado como base da unidade litoestratigráfica em questão, é representado no relevo por duas grandes cristas: uma que se estende da porção nordeste até a centro-leste da área mapeada, ligando o morro da Antena (localidade de Itaperussu) até o morro do Pires (localidade de Pombas); e uma segunda situada no centro-oeste da área denominada morro Betara (localidade de Betara-Baltazar).

Caracteristicamente o quartzito se apresenta com uma coloração amarela - esbranquiçado, à branca, por vezes tendo coloração de oxidação. É composto essencialmente por quartzo, clorita e localmente muscovita. É mais ou menos friável com granulação variando de fina a grossa e com freqüentes intercalações de camadas de filitos de espessuras centimétricas a decimétricas.

Estruturas sedimentares como granodecrescência, estratificações cruzadas, cruzadas acanaladas e plano-paralelas (Fotos 09, Capítulo 5), além de bandamento composicional indicam a origem sedimentar deste pacote. As mesmas se encontram preservadas em algumas exposições contínuas e desaparecem em locais mais deformados. Pela análise efetivada das estratificações há indicação de que o topo do pacote onde as mesmas estão preservadas está

invertido, servindo de argumento para a determinação da inversão do flanco oriental da porção nordeste da megantiforma do Betara.

As estruturas sedimentares possibilitaram a determinação da superfície de deposição S_0 , a qual está disposta subparalela a paralela à foliação metamórfica principal.

Próximo ao morro do Betara, tanto no seu flanco sul quanto no seu flanco norte, foram observados matações de quartzito conglomerático com seixos de quartzo e quartzito, centimétricos a decimétricos, bastante estirados porém ocorrendo níveis preservados.

A foliação principal S_n reflete um bandamento tectônico evidenciado por microlitons milimétricos a centimétricos, caracterizando uma zona de cisalhamento de espessura variável. Esta por sua vez é definida por uma lenticularização generalizada na rocha, tanto em suas bandas mais espessas quanto nas mais finas. É freqüente se encontrar evidências de milonitização, inclusive com ocorrência de superfície S-C.

À nível microscópio há sinais de fluxo interno de grão com a ocorrência de "ribbons" paralelos ao trend da foliação principal, além de subgrãos, recristalização e estiramento mineral do quartzo, podendo em certos casos haver intensa cataclase associada. A paragênese observada em seção delgada revelou a presença de quartzo e como acessórios magnetita, hematita, clorita e até turmalina com uma textura granoblástica.

Normalmente, a orientação geral da foliação S_n nos quartzitos é N40-60°E apresentando variações até N0°-10°E ou por outro lado E-W. O mergulho desses planos é médio a alto, entre 40° e 70°, chegando localmente até a verticalização.

A deformação nos quartzitos é heterogênea, apresentando a rocha um comportamento dúctil-rúptil, onde é

menos pelítica, até exclusivamente dúctil onde há maior concentração pelítica (Foto 07). Lineações minerais e de estiramento, além de microdobras observáveis nas zonas mais intensamente milonitizadas, onde a S_n se apresenta ondulada, são conspícuas das zonas pelíticas.

- Xistos Clásticos e Carbonato Xistos

Ocupam cerca de 15% da superfície do Núcleo Betara. Estão em contato tectônico através de prováveis zonas de cavalgamento, com quartzitos, filitos, xistos da formação ferrífera e metabasitos principalmente. Ocorrem como corpos lenticulares de expressão megascópica até lentes macroscópicas não mapeáveis na escala utilizada neste trabalho (Foto08).



Foto 7: Clorita quartzito, intercalado com camadas preservadas essencialmente quartzíticas. A deformação é heterogênea com aspecto dúctil em porções pelíticas do pacote. Formação Betara (afloramento na parede - Pto E - 14 a.)

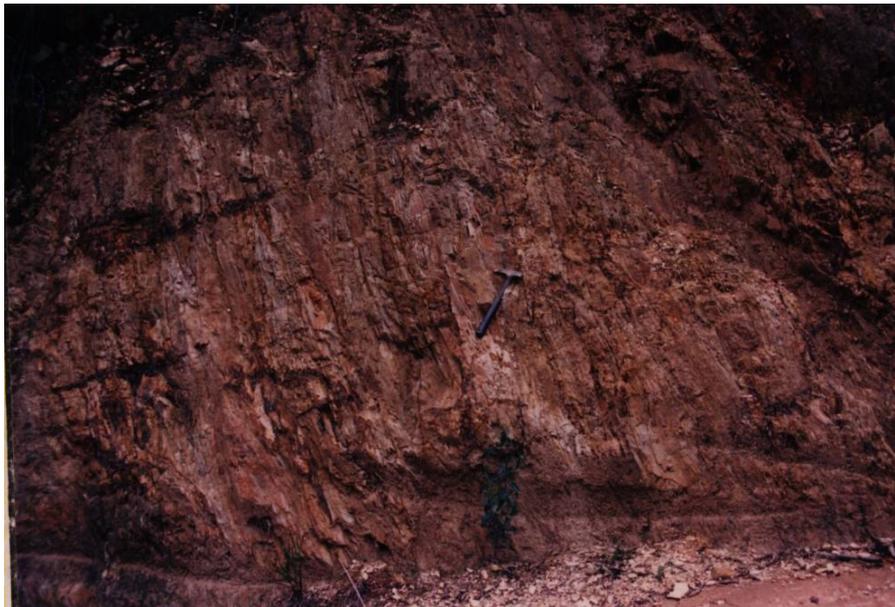


FOTO 8: Aspecto cisalhado de xisto quartzoso milonítico, com intenso fatiamento e estiramento mineral. Notar a foliação S_n heterogênea de aspecto lenticular ou anastomosada. Formação Betara (afloramento na parede - Pto. E - 65)

É possível subdividi-los em micaxistos, quartzo micaxistos e quartzo xistos. Apresentam-se alterados com tonalidades amarelas e vermelhas e sua granulação é média. Seus constituintes principais são muscovita, biotita, clorita e quartzo, ocorrendo ainda estauroлита, granada almandina, raramente hornblendas, e também plagioclásio, titanita cloritóides, zoisita e turmalina. Sua textura a nível microscópico é pofiroblástica e granolepidoblástica, ou ainda exclusivamente lepidoblástica.

Os minerais micáceos são a muscovita e a biotita, esta última gerada tanto nos estágios iniciais do metamorfismo como resultado do retrometamorfismo da granada e das raras hornblendas. A clorita ocorre como alteração da biotita, também como resultado de metamorfismo retrógrado. A granada, principalmente, é indicativa de uma paragênese de temperaturas mais elevadas, estando entre xisto verde alto e anfibolito e retrometamorfisada até a fácies xisto verde baixa.

O quartzo está recristalizado em forma de "ribbons" milimétricos, ou então na forma de subgrãos, estando contornado por biotita e/ou muscovita e assumindo um aspecto lenticular característico dos microlitons que representam a S_n . Também há cataclase nos grãos de quartzo.

Esses microlitons, cuja espessura varia de milimétrica a centimétrica, apresentam direções entre $N30^\circ-50^\circ E$, com mergulhos de 50° a 70° para NW. A foliação S_n secciona uma primeira superfície oblíqua gerada em estágios iniciais da deformação denominada de S_{n-1} , esparsamente preservada.

A lineação mineral neste pacote litológico apresenta caimentos variáveis e até opostos. É possível que esta variação do caimento represente diferentes estilos tectônicos de deformação (cavalgamentos e transcorrências, por exemplo).

Microdobras e /ou crenulações da superfície S_n são freqüentes e têm seus eixos paralelos a subparalelos à

direção da superfície principal. Como não representam uma estruturação penetrativas na área, essas microdobras foram relacionadas à anisotropias locais, ou ainda à diferença de competência entre as litologias.

Em meio aos xistos ocorrem lentes de pequena espessura de quartzitos e também metachertes. Estas lentes podem se apresentar dobradas (comuns dobras intrafoliares e embainhamento dos seus eixos) principalmente em locais onde não ocorreu a transposição.

Os xistos clásticos são originários de sedimentos psamopelíticos aluminosos, enquanto que sedimentos margosos resultam em xistos carbonatados. Estes por sua vez apresentam genericamente características estruturais e metamórficas semelhantes aos xistos clásticos, com a diferença de que contém alta concentração de sílica e carbonatos.

Nos carbonato-xistos ocorrem também horizontes sulfetados, com concentração de pirita, horizontes hematíticos e de xistos carbonosos. Esta intercalação, foi constatada através de furos de sondagens no pacote carbonático-silicático de ocorrência imediatamente acima dos quartzitos basais.

- Formação Ferrífera (Xistos Ferríferos)

Este conjunto litológico ocupa menos de 15% do núcleo Betara e apresenta-se em dois pacotes rochosos distintos: um essencialmente quartzítico o qual foi denominado de quartzito hemalítico e outro de natureza xistosa que acompanha de maneira descontínua a direção do corpo quartzítico basal até o centro geográfico do núcleo.

Esta formação é caracterizada pela ocorrência de xistos clásticos e carbonatados com alta concentração localizada de porções ferríferas e manganesíferas sob a forma de leitos centimétricos ou ainda concreções maciças.

Também chertes, igualmente ferríferos além de porções itabiríticas dos quartzitos, são característicos desta formação. As bandas ferríferas normalmente estão rompidas devido ao tectonismo sofrido pelo pacote rochoso. Este tectonismo também é responsável pelos contatos com as rochas sotopostas (quartzitos basais), e com as rochas sobrepostas (unidade carbonática da própria Formação Betara).

A nível mineralógico se observa um estiramento intenso do quartzo, que assume a forma de pequenos "charutos" milimétricos, estando contornados pela biotita. Este aspecto é melhor observado nos xistos ferríferos, enquanto que nos itabiritos dos quartzitos hemalíticos é freqüente a recristalização do quartzo. Esta diferença da intensidade da deformação caracteriza-a como heterogênea.

As Tabelas 02 e 03, mostram a concentração de óxidos, respectivamente do quartzito hematítico próximo ao morro Betara e de porção quartzítica dos xistos ferríferos próximo à localidade de Itaperussu. Em ambas é possível se observar a alta concentração de Fe, devido à presença alta de hematita na rocha.

A foliação S_n é a estrutura mais conspícua desta seqüência, contendo com freqüência lineações de estiramento mineral. Apresenta um caráter anastomosado ou "flaser", dado pelo aspecto lenticular dos microlitons gerado pelo fluxo de minerais durante o cisalhamento. Estas feições juntamente com a recristalização caracterizam a milonitização dos pacotes. O "trend" da foliação S_n está entre $N30^\circ-50^\circ E$ com mergulhos entre 40° e 60° para NW. Foi observada uma foliação S_{n-1} , pré-existente, com direção NW-SE, preservada somente nos locais em que a S_n é pouco desenvolvida. Neste pacote ocorrem dobras métricas a decimétricas sem raiz ("rootless folds"), ou dobras intrafoliares.

A deformação que gerou a foliação principal está ligada a um cisalhamento dúctil ou dúctil-rúptil, mostrando que estes litotipos foram afetadas em níveis estruturais rasos a intermediários.

A característica rúptil é indicada por cataclase ou fraturamento dos grãos de quartzo; tardia ao cisalhamento, já que afeta feições geradas pelo mesmo.

A formação ferrífera apresenta as mesmas características petrográficas e metamórficas dos quartzitos basais e xistos clásticos. Em seção delgada observa-se que os óxidos deste pacote litológico ou estão em forma de minerais opacos (magnetita e hematita) ou percolam entre os grãos minerais como o quartzo e a biotita.

CONCENTR	%	CONCENTR	%
SiO ₂	27.11	SO ₃ - ST	0.00
Al ₂ O ₃	0.40	FSC	0.60
Fe ₂ O ₃	60.92	Si - Mod	0.44
CaO	0.71	Al - Mod	0.01
MgO	0.46	DF*	< 140.80
K ₂ O	0.41	MS*	< 120.06
Na ₂ O	< 0.91	MA*	< 54.43

LITOLOGIA: Quartzito Hematítico

PERDA AO FOGO: 9.40 %

NORMALIZAÇÃO: 89.10%

LOCAL: Baltazar - Betara (Pto. E - 107)

LABORATÓRIO: Cia. Cimento Rio Branco

TABELA 02: Análise Química, de amostra de quartzito hematítico de afloramento próximo a localidade Baltazar (Betara - Pto. E - 107). Notar a alta concentração de Fe, devido a hematita ocorrente no quartzito, mais alta do que aquela observada no "Filito Itaú".

CONCENTR	%	CONCENTR	%
SiO ₂	46.47	SO ₃ - ST	0.00
Al ₂ O ₃	0.61	FSC	0.60
Fe ₂ O ₃	50.03	Si - Mod	0.92
CaO	1.00	Al - Mod	0.01
MgO	0.26	DF*	< 198.27
K ₂ O	0.43	MS*	< 75.06
Na ₂ O	< 1.19	MA*	< 44.42

LITOLOGIA: Quartzito - Xisto Hematítico

PERDA AO FOGO: 0.90 %

NORMALIZAÇÃO: 97.60%

LOCAL: "Filito Itaú" (Pto. E - 28)

LABORATÓRIO: Cia. Cimento Rio Branco

Tabela 03: Análise química, de amostra do quartzito-xisto hematítico de afloramento próximo a localidade de Itaperussu (Pto. E - 28), em saibreira conhecida como "Filito Itaú". Notar a alta concentração de Fe, devido a hematita presente no quartzito.

É provável que este conjunto litológico, com aporte significativo de ferro e manganês, tenha sido originariamente formado por forte deposição química, confirmada pela presença do cherte, associada aos episódios vulcano - sedimentares no mesmo paleo-ambiente.

- Filitos Metassedimentares e Metavulcanicânicos

Estas litologias compõem cerca de 20% do Núcleo Betara, ocorrendo com maior frequência na sua porção norte-noroeste. Os filitos, de maneira geral, englobam os metassedimentos pelíticos (meta-ritmitos e meta-argelitos) (Foto10) e metavulcânicas félsicas. Os corpos filíticos apresentam formas lenticulares e espessuras métricas a hectométricas, quando interdigitados em outros litotipos. Seus contatos com os quartzitos basais ou xistos clásticos são tectônicos, através de zonas onde há concentração da deformação, ressaltadas pelo imbricamento e/ou interdigitação entre os estratos.

Os filitos normalmente estão intemperizados, adquirindo colorações avermelhadas, amarronadas e até amarelo-esbranquiçadas e sua granulação é fina a muito fina, eventualmente grossa. A composição principal apresenta quartzo finamente recristalizado e sericita, podendo ocorrer grânulos maiores de feldspatos potássicos dissimulados nos metavulcanitos.

Em algumas exposições destes últimos são observadas lentes de feldspatos caolinizados, lembrando feições amigdaloidais milimétricas estiradas. Outra característica é a presença localizada das chamadas concreções em "pó-de-café" (cavidades de material alterado de composição carbonática e/ou manganésifera), tais como aquelas citadas por TREIN et al. (1.985) para as metavulcânicas próximas à localidade de Abapã, na Faixa Itaiacoca.

Estas características petrográficas, juntamente com a proximidade dos chertes, ocorrência de formações ferrífericas, composição mineralógica dos referidos filitos e texturas vulcânicas traquíticas reliquiárias (vesículas milimétricas preenchidas com quartzo e/ou feldspato potássio) observadas em seções delgadas, permitem classificá-los geneticamente como rochas metavulcânicas.

A Tabela 04, com análise da composição de óxidos da rocha, possibilita a determinação de sua natureza félsica a intermediária. Os dados ali apresentados foram plotados no diagrama $R_1 - R_2$ de DE LA ROCHE et al. (1980), para a classificação de rochas vulcânicas (Figura 07). Através de cálculos apropriados se constatou que a rocha vulcânica original era um traquito, tal como aventado por PIEKARZ (1984). Há porém um enriquecimento em K e Si da mesma, ou devido a um efeito hidrotermal no sistema (DAITX, informação verbal) ou ainda pela percolação de fluídos devido ao cisalhamento, o que é mais provável nesta região.

A perfeita determinação da natureza vulcânica destas rochas na maioria das exposições filíticas, no entanto, é dificultada pelo forte tectonismo sofrido pelos mesmos, se mostrando em grande parte filonitizados.

Esta filonitização é também observada nos metassedimentos a ponto de haver, quase sempre, uma completa descaracterização das estruturas sedimentares. O bandamento composicional, freqüentemente observado nestas rochas, é quase sempre resultado da transposição gerada pelo tectonismo, sendo temeroso defini-lo como superfícies originais, sem a caracterização de verdadeiras estruturas sedimentares.

O cisalhamento não - coaxial, de baixo ângulo, é responsável pela milonitização da rocha (superfície S_n), e geração da lineação mineral e de estiramento mineral (La_n). Como nas outras litologias da Formação Betara, também nesta a foliação se apresenta finamente fatiada, com microlitons

milimétricos a centimétricos e padrão lenticular ou anastomosado.

CONCENTR	%	CONCENTR	%
SiO ₂	55.79	SO ₃ - ST	0.00
Al ₂ O ₃	23.29	FSC	1.30
Fe ₂ O ₃	0.90	Si - Mod	2.31
CaO	2.46	Al - Mod	25.79
MgO	1.37	DF*	< 222.35
K ₂ O	12.07	MS*	< 2.28
Na ₂ O	< 0.78	MA*	22.48

LITOLOGIA: Metavulcânica
Ácida - Traquito

PERDA AO FOGO: 3.40 %
NORMALIZAÇÃO: 95.10%
LOCAL: Baltazar - Betara
(Pto. E - 633)
LABORATÓRIO: Cia. Cimento
Rio Branco

Tabela 04: Análise química de amostra de metavulcânica intermediária ou ácida da localidade de Betara (Pto. 633), Notar o possível enriquecimento de K e Si (hidrotermalismo ou cisalhamento).

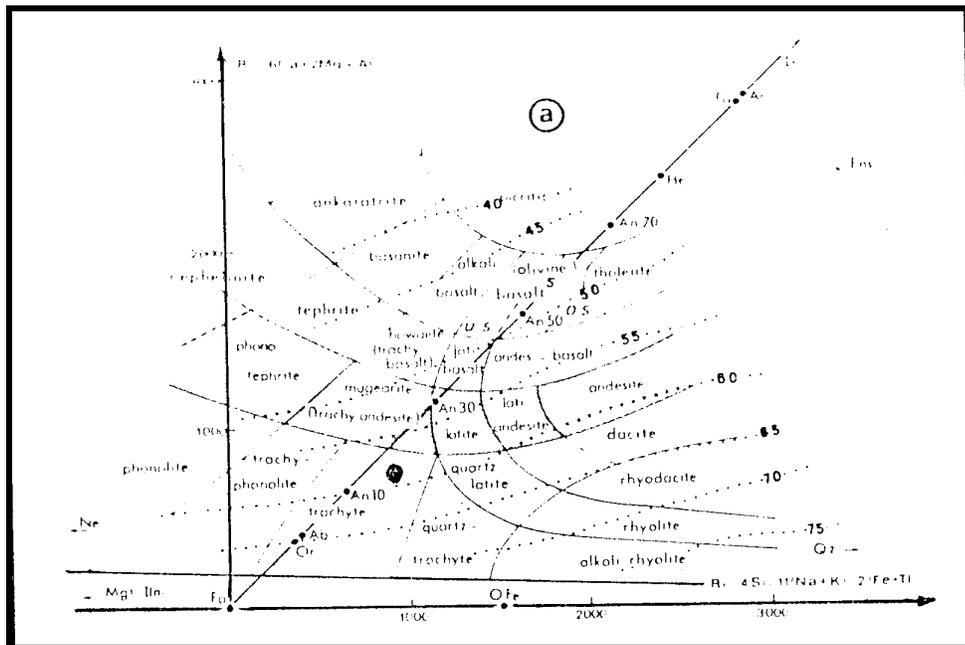


FIG. 07: Diagrama R1/R2 de De La Roche para a caracterização das rochas vulcânicas segundo seus óxidos constituintes. O ponto assinala o campo dos traquitos, onde se situa o resultado da análise da metavulcânica coletada na localidade de Betara-Baltazar. Ver tabela 04.

Confinado ao interior dos microlitons, ocorre uma superfície oblíqua à primeira, observada também em locais onde a deformação parece ter sido menor. Uma análise estrutural de campo, revela se tratar da superfície S do par S-C de cisalhamento (Tipo "b", segundo LISTER & SNOKE, 1.984). Este fato, juntamente com a ocorrência variável do grau de milonitização da rocha, caracteriza a deformação heterogênea.

Foram observadas microdobras milimétricas a decimétricas, abertas a fechadas com eixos de caimentos variáveis, mas com uma tendência a apresentar baixos ângulos, e cuja direção é NE-SW. Crenulação é outra característica observada nas rochas filoníticas, porém não encontrada penetrativamente em toda a região. Da mesma forma, dobras intrafoliares estão presentes em locais onde houve transposição, sendo definidas como dobras geradas pela deformação não - coaxial.

A observação macroscópica da lineação de estiramento, por seu turno, é dificultada pela granulação muito fina da rocha adicionada ao grau de filonitização. Além disso há, neste caso, o desenvolvimento de tectonitos "S", cuja componente de achatamento é mais forte do que a de estiramento.

Em relação ao metamorfismo, a análise microscópica dos filitos metavulcânicas através das seções delgadas possibilitou a determinação da seguinte paragênese:

Quartzo + Plagioclásio + Ortoclásio (?) + Sericita + Epidoto + Biotita

ocorrendo ainda, como minerais acessórios, flogopita, turmalina, zircão, cloritas e opacos.

Quando ocorrem vesículas preenchidas a textura é porfiroblástica. Nas porções mais deformadas dos pacotes

filíticos a textura é granolepidoblástica a até exclusivamente lepidoblástica.

O metamorfismo é essencialmente de baixo grau (fácies xisto verde, zona da biotita). O retrometamorfismo não pode ser assumido como um fato incontestável, porém foi observada a alteração química de biotitas para cloritas, além de sericitização de feldspatos, podendo estes serem indícios do mesmo.

- Metabasitos

Constituem cerca de 5% das rochas do Núcleo Betara. Além de outros corpos menores, são representados por um corpo de forma alongada, localizado na porção NNW da Formação Betara e cuja área aflorante é de aproximadamente 5 km².

As exposições mostram graus variáveis de alteração, derivando daí a coloração verde a cinza esverdeado e também ocre. A granulação é normalmente fina. Sua composição é essencialmente anfibolítica, ocorrendo secundariamente biotita e plagioclásio. No corpo situado na porção NNW, foi observada uma fácies pegmatóide, com a ocorrência acentuada de cristais de hornblenda, alguns atingindo mais de 5 cm.

De maneira geral a feição estrutural mais evidente é um intenso fraturamento com tendências NE-SW e NW-SE, portanto compatíveis com o fraturamento gerado pelo sistema de cisalhamento de alto ângulo (transcorrente). Ocorre também uma foliação incipiente na rocha, mais fortemente marcada nas regiões de contato com as outras litologias (xistos clásticos, por exemplo) ou então na zona de cisalhamento Betara.

Petrograficamente o metabasito foi analisado através de seções delgadas observando-se a seguinte paragênese:

Tremolita/Actinolita + Hornblenda + Cummingtonita +
Epidoto + Zoisita + Titanita + Plagioclásio + Clorita
+ Biotita

Ocorrem ainda minerais acessórios tais como quartzo, apatita e hematita.

Esta paragênese revela uma temperatura de formação entre 600° e 700° C, com ação posterior de um metamorfismo na fácies xisto verde, zona da biotita. A textura é granoblástica ou granonematoblástica, estando os minerais pouco orientados segundo uma incipiente superfície planar e, com bordas corroídas na maioria dos casos.

- Mármore e Seqüência Carbonática

Os mármore da Formação Betara ocupam menos de 5% do núcleo homônimo, aflorando em corpos de formas lenticulares na porção centro-oeste e noroeste.

Estão em contato com os filitos metassedimentares através de uma zona de cisalhamento provável e, da mesma forma, em contato com os xistos clásticos e os quartzitos hemalíticos.

O mármore apresenta uma coloração cinza azulada a esbranquiçada. Em grau avançado de alteração mostra uma coloração ocre, confundindo-se facilmente com metabasitos alterado. É dolomítico com ocorrência de porções calcíticas; sua textura é microcristalina e normalmente mostra um bandamento dado pela diferença composicional entre camadas mais ou menos silicosas, consideradas como característica da superfície original S_0 . A espessura dessas bandas é variável, de centimétrica a métrica.

Na porção SSW ocorre um corpo de metamarga com uma área de aproximadamente 2 km², limitado pela zona de cisalhamento Betara e também por falhas direcionais. As

rochas se encontram em estado avançado de alteração, pois praticamente todo o carbonato foi lixiviado.

Cálcio xistos ou carbonato-xistos, interdigitam-se nos outros tipos litológicos e nos próprios mármores da Formação Betara.

Os mármores apresentam uma foliação bem demarcada nos locais de maior concentração silicosa, tendo sido relacionada à superfície S_n por apresentar o mesmo "trend" estrutural e mesmas características do que aquelas descritas anteriormente. É paralela ao bandamento composicional. Entre os planos de foliação, em locais de menor deformação, observa-se uma foliação pré-existente S_{n-1} , oblíqua à S_n (Foto 11). A visualização de lineações é difícil, visto que os corpos silicosos são tectônicos tipo "S", e também porque o mármore absorve a maior parte da deformação através da recristalização, como pode se constatar em lâminas delgadas. A presença de pequenas dobras intrafoliares foi relacionada à grande plasticidade do pacote carbonático.

A seguinte paragênese é determinada através de estudo de seções delgadas:

- Calcita + Quartzo + Sericita + Opacos

MINERAL CRISTALIZADO	EVENTO METAMÓRFICO M_{n-1}	EVENTO METAMÓRFICO M_n	EVENTO METAMÓRFICO M_{n+2}
PLAGIOCLÁSIO			
ESTAUFOLITA			
BIOTITA			.....
QUARTZO			.....
GRANADA			
MUSCOVITA			
EPIDOTO	.....	
DIOPSÍDIO	.....	
ACTINOLITA	.....	
HORNBLENDA			
CLORITA			
TURMALINA			
OPACOS			
GRAU METAMÓRFICO	XISTO VERDE ALTO (ZONA DA BIOTITA) A ANFIBOLITO (ZONA DA ESTAUFOLITA)	XISTO VERDE ALTO (ZONA DA BIOTITA) A XISTO VERDE BAIXO (ZONA DA CLORITA)	XISTO VERDE BAIXO (ZONA DA CLORITA)
	RETROMETAMORFISMO →		BAIXO METAMORFISMO →

Tabela 05: Relação do desenvolvimento de minerais com os respectivos eventos metamórficos na Formação Betara.

O metamorfismo situa-se na fácies xisto-verde, podendo ter havido retrometamorfismo. Os mármore são derivados de calcário impuros.

As paragêneses minerais dos diversos litotipos da formação Betara, demonstram a geração de minerais ligados tanto ao evento metamórfico M_{n-1} quanto ao evento M_n e localmente ao evento M_{n-2} . Esta relação é simplificada na Tabela 05.

4.3.3 Grupo Açungui: Formações Votuverava e Capiru

- Mármore e Filitos (formação Votuverava)

Estes tipos litológicos estão situados na porção noroeste da área mapeada (Anexo 1 e Figura 5). Seu contato com as unidades que formam o Núcleo Betara é tectônico, através da Z.C.C. Betara, enquanto que o contato com as rochas da Formação Capiru, a norte da área mapeada se faz através da Z.C.T. Lancinha - Cubatão, ao passo que o contato com o Granito Rio Abaixo é intrusivo.

Os mármore dessa unidade são em geral dolomíticos, de coloração cinza escuro, maciços e finamente cristalizados (ou recristalizados) Quando intemperizados também apresentam uma coloração ocre a acastanhada. É normal o bandamento composicional devido a intercalações de níveis menos ou mais silicosos. A foliação S_n , de caráter retilíneo e pouco anastomosado, é observada de maneira mais incipiente.

O cataclasamento destas rochas é localmente intenso.

Os filitos são metassedimentos pelíticos (metargilitos), de granulação fina a muito fina, intemperizados, com colorações avermelhadas e esverdeadas. Seus planos de foliação apresentam uma grande quantidade de sericita.

Estruturalmente a rocha apresenta a foliação S_n , paralela a subparalela ao bandamento acima descrito. Os microlitons produzidos por esta foliação são milimétricos a centimétricos com lineações pouco definidas. Além da foliação, observa-se crenulação e microdobras de maneira não penetrativa.

-Filitos, Mármore e Quartzitos (Formação Capiçu)

Correspondem a estreita faixa de rochas aflorantes imediatamente ao sul-sudeste da Z.C.T. Lancinha - Cubatão, a qual marca o contato entre as mesmas e as rochas do Núcleo Betara. Caracteriza-se pela presença de filitos metassedimentares e mármore dolomíticos, além de intercalações de quartzitos.

Os filitos estão geralmente alterados, apresentando colorações com tons cinza-claro e cinza escuro. Frequentemente são rítmicos, alternando bandas de espessuras submilimétricas a milimétricas. Podem ocorrer frações sílticas e arenosas, nas quais é possível a observação de gradação granulométrica.

Estruturalmente apresentam foliação S_n normalmente tabular ou levemente anastomosada. O quartzo demarca uma lineação de estiramento horizontal. Nos locais mais próximos ao traçado principal da zona de cisalhamento transcorrente, a foliação se encontra bastante lenticularizada e localmente uma crenulação destes planos afeta as porções mais pelíticas da rocha. Feições como cataclase e/ou fraturamento de grãos maiores, além de esfarelamento dos componentes psamo/pelíticos são comuns, demonstrando a atuação de processos rúpteis.

Os contatos dos mármore com as outras litologias da Formação Betara e Complexo Meia Lua são tectônicos, através de cisalhamento de alto ângulo. Este litotipo exhibe colorações esbranquiçadas a acinzentadas até cinza azuladas. É criptocristalino, em regra recristalizado e freqüentemente maciços. Podem apresentar bandamento composicional caracterizado por alternância de faixas claras e escuras. Na área em apreço a característica estrutural mais conspícua é a cataclase. Em porções não catacladas, todavia, se observa uma foliação principal paralela ao bandamento composicional.

Os quartzitos são restritos na área mapeada e intercalados aos filitos metassedimentares sob a forma de pequenas cristas ou ainda camadas lenticulares geralmente friáveis. Exibem colorações em tons esbranquiçadas e sua granulação é fina à média. Em alguns pontos mais preservados, ficou constatada a granodecrescência.

Veios de quartzo leitoso, com espessuras centimétricas estão dispostos subparalelamente à foliação principal. Suas características estruturais são semelhantes às dos mármore e filitos.

4.3.4 Granito Rio Abaixo

Trata-se de um corpo intrusivo na Formação Votuverava de área aproximada de 1,5 km² e forma levemente elíptica, com o eixo maior direcionado para NE-SW. Está situado na porção norteda área mapeada.

O granito é equigranular, fanerítico e composto por feldspato potássico (microclineo), plagioclásio, quartzo e biotita, podendo ocorrer titanita. Os constituintes mineralógicos encontram-se fraturados, de uma maneira geral, inclusive com bordas irregulares (quartzo e feldspatos, por exemplo) devido à cataclase.

A rocha tem uma coloração vermelho esbranquiçado e se encontra pouco alterada, com exceção de suas regiões de contato.

Estruturalmente a rocha é afetada por dois sistemas de fraturas com um ângulo de aproximadamente 60°, entre si, correspondente ao ângulo de cisalhamento Riedel, produzido pelos movimentos transcorrentes. Nos planos de fraturas se observam estrias de atrito e degraus escalonados que indicam uma movimentação sinistrógiro das pequenas falhas.

Não há estruturação planar ou linear na rocha, permitindo que a mesma seja definida como um protocataclasito.

CAPÍTULO 5

ANÁLISE DE ELEMENTOS ESTRUTURAIS MACROSCÓPICOS

5.1 Estruturas Sedimentares ou Superfície Original - S_0

Nos vários conjuntos litológicos mapeadas, principalmente na Formação Betara, há preservação de estruturas sedimentares ou vulcanogênicas reliquiárias, onde a deformação foi menos intensa.

Estas estruturas são melhor observadas em quartzitos, mármore e filitos metavulcânicos e metassedimentares. Caracteristicamente as superfícies originais foram definidas pela ocorrência de estratificação plano-paralela e cruzada (Fotos 09), além de granodecrescência nos quartzitos e filitos metassedimentares (Foto 10). Camadas de diferentes composições em porções aparentemente preservada nos mármore, também sugeriram que o bandamento apresentado é o acamamento original (Foto 11).

As metavulcânicas apresentam vesículas preenchidas, observadas em porções menos deformadas. A textura vulcânica está mais ou menos preservada, com progressivo estiramento das vesículas em direção às zonas de cisalhamento.

Os planos formados por estas estruturas foram denominados de S_0 , ou planos de acamamento original. O "trend" dos mesmos é NE-SW, indicando um paralelismo aproximado com a estruturação tectônica mais conspícua da

região que é a superfície S_n . O local de melhor preservação de estruturas sedimentares é o Ponto E-55 (ver Anexo 2).

Neste ponto, as estruturas apresentam direção de topo invertido, com mergulhos dos planos de estratificações cruzadas para NW, estando a camada mais recente sotoposta em relação às camadas mais antigas. Estes dados confirmam a inversão local do flanco da Antiforma do Betara.



FOTO 09: Quartzito da Formação Betara, aflorante em saibreira próxima a localidade de Itaperussu. Nesta exposição foi possível a visualização de estratificação cruzada, caracterizando a S_0 e a inversão local do flanco da Antiforma do Betara. A seta indica o topo da camada (afloramento no chão - Pto. E - 55).

5.2 Foliação S_{n-1}

Os estudos de campo possibilitaram a visualização de foliação formada anteriormente à foliação principal S_n .

É uma foliação de difícil recuperação, tanto macro quanto microscopicamente por ser observada esparsamente em xistos clásticos, nas metavulcânicas e nos mármore (ver Foto 11), e apenas em locais onde a continuidade da deformação não chegou a mascarar a estrutura.

Sua superfície planar está levemente anastomosada ou crenulada pela superfície S_n . É de natureza dúctil e apresenta desenvolvimento de biotita em seus planos.

REIS NETO & SOARES (1.987) chamaram-na de "Sst1" e interpretaram sua gênese como ligada a um evento metamórfico na fácies anfibolito, zona da estauroлита.

Os estudos concluídos com o mapeamento do Núcleo Betara e adjacências, revelaram a pouca preservação desta superfície, seja na Formação Betara seja no Complexo Meia Lua. Este fato dificulta a caracterização exata do evento termo-tectônico responsável pela geração desta foliação.

Uma hipótese em discussão, devido às características dos planos de foliação, se refere ao fato de que tenham se originado a partir de dobramentos isoclinais e/ou cavalgamentos que marcariam os pulsos iniciais da deformação caracterizada pelos duplexes, geradores por sua vez da superfície principal S_n .

Neste contexto a superfície S_{n-1} seria considerada "cedo-tectônica", dentro de um evento deformativo maior, e de natureza progressiva.

A questão do desenvolvimento de planos ou foliações secundários no momento de geração do plano de foliação principal, é tratada por PLATT (1.984) e SHIMAMOTO (1.989). Estes autores, com base no comportamento físico do material, sugerem a possibilidade de haver desenvolvimento de clivagens e planos de foliação, inclusive com orientação de minerais, através do modelo de cisalhamento Riedel. De acordo com o mesmo, os planos de deslocamento gerados, seriam antitéticos à superfície principal, o que explicaria o rotacionamento antihorário de granadas, em xistos

clásticos da Formação Betara, também observada por REIS NETO & SOARES (1.987).



FOTO 10: Metarritmito da Formação Betara. A superfície S_0 está paralela a S_n , com ocorrência do par S-C e pequenas dobras de cisalhamento D_n . As setas indicam a movimentação relativa dos estratos (Pto. E - 117)

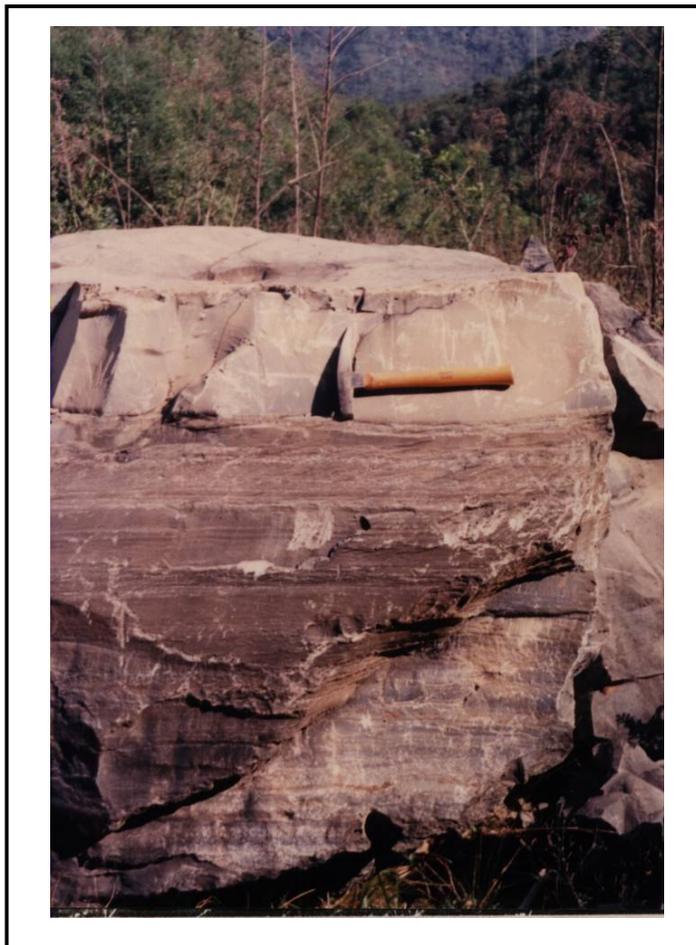


FOTO 11: Mármore da Formação Betara, observar a foliação S_{n-1} , geradas em pulsos iniciais da deformação principal, cortando e sendo cortada pela foliação S_n . Este aspecto demonstra a contemporaneidade da geração destas superfícies. Outro aspecto a salientar é o paralelismo entre a superfície original S_0 e a superfície S_n . (Pto. E - 09)

5.3 Foliação S_n

É definida como uma estrutura penetrativa regional, que ocorre em todos os tipos litológicos da Formação Betara e Complexo Meia Lua. Pode se apresentar bem demarcada ou não, dependendo de proximidade da rocha a locais cuja concentração da deformação é maior. Assim é caracterizada sua ocorrência heterogênea, pois esta superfície pode estar bem demarcada em alguns locais e outros não.

REIS NETO & SOARES (1.987) denominaram esta foliação de "Sal", ligada ao "Evento de Deformação Açungui" e FIORI (1.985) e FIORI et al. (1.987c) de Foliação Açungui.

No Núcleo Betara, a S_n foi caracterizada como uma superfície de cisalhamento de baixo ângulo, apresentando-se normalmente com morfologia anastomosada e desenvolvimento de microlitons submilimétricos a centimétricos, definindo por vezes um intenso fatiamento da rocha, pois os planos gerados se interceptam de forma que um corte perpendicular à foliação revela uma textura semelhante à textura "flaser" (Foto 12).

No interior dos microlitons, quando a rocha é pelítica, a granulação muito fina mascara o possível fluxo de material, enquanto que nas rochas de granulação grossa, a deformação finita do conjunto de minerais, quartzo por exemplo, definem tectonitos L, S mas em sua maioria L/S (Figura 08), principalmente nos paragneisses do Complexo Meia Lua. O fluxo de material, proveniente da recristalização dos minerais, caracteriza a superfície S_n miloníticas e/ou protomiloníticas.

Os minerais formados durante a geração da S_n , tais como a clorita, a sercita e a biotita, são representantes de uma paragênese de baixo grau, ou metamorfismo na fácies xisto verde. Esta associação mineralógica, em parte, é

produto de retrometamorfismo, com transformação da estauroлита para biotita e/ou clorita, granada para biotita e biotita para clorita.

A intensidade da deformação varia, ora acentuando o fatiamento da rocha e a presença da foliação, deformação: ou então permitindo espaçamento maior entre os microlitons. Deformações posteriores afetam a superfície S_n de maneira localizada, porém marcadamente: há micro e macrodobras abertas até fechadas afetando esta foliação e que são observadas também em estereogramas. Neste caso é comum haver também uma granulação da S_n associada à cataclase.

Regionalmente, a superfície S_n está rotacionada no sentido horário, devido a movimentação do Núcleo ter se processado neste sentido, em função do sistema transcorrente superimposto.

A superfície S_n é produto de um cisalhamento de baixo a médio ângulo e regime tectônico dúctil a dúctil-rúptil (Foto 13). Isto é baseado na presença, tanto na Formação Betara quanto no Complexo Meia Lua, de minerais com sombras de pressão assimétrica e/ou simétricas: estiramento e achatamentos de minerais: outras estruturas de fluxo tais como lenticularização acentuada, foliação "S-C" (Figura 09), "quartzo-ribonn" dobras-falhas, dobras intrafoliares macro e microscópicas: além da ocorrência generalizada de milonitos e protomilonitos que constituem, em si, a própria superfície planar de S_n .

LISTER & SNOKE (1.984), com base em trabalhos anteriores, definiram a superfície S do par S-C, como relacionada à acumulação de deformação finita e a superfície C relacionada a altas deformações cisalhantes. Estes autores definem também duas classes de milonitos S-C. O Tipo I ocorre principalmente em granitóides e augen-gnaisses e o Tipo II se desenvolve em rochas quartzo-micáceas. No primeiro a superfície predominante é a S e no segundo é a C.

No Núcleo Betara a superfície S_n representa na verdade a superfície C do par S-C, principalmente nos metassedimentos e metavulcânicas da Formação Betara e paragnaisses do Complexo Meia Lua, sendo difícil a visualização da superfície S, pelo menos a nível macroscópico nos metassedimentos pelíticos. Já nos ortognaisses retrabalhados do embasamento a visualização tanto da superfície S quanto da C é possível, inclusive macroscopicamente.

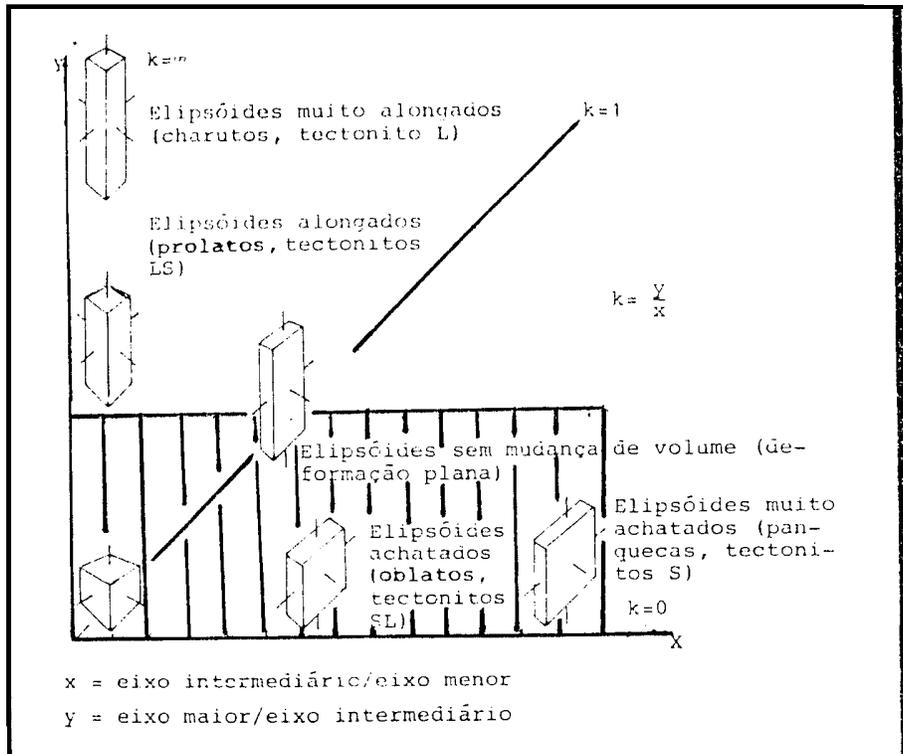


FIG. 08: Campo em que se encontram os tipos mais frequentes de tectonitos nas diversas litologias tanto da formação Betara quanto do Complexo Meia Lua. Diagrama da Flinn, modificado por HASUI & COSTA (1.991)

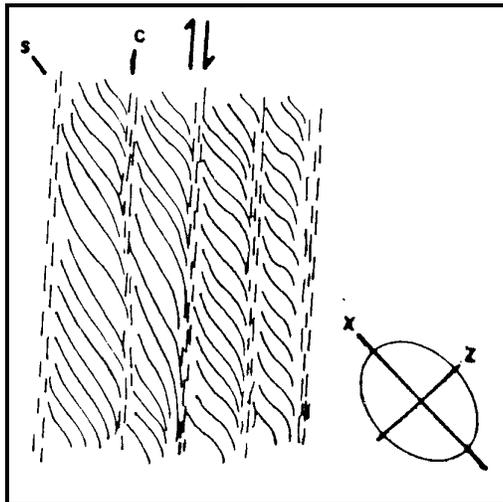


FIG 09: Esquema do padrão S-C e o plano XZ do elipsóide de deformação, Segundo LISTER & SNOKE (1.984); compatível com os milonitos observados na Formação Betara e Complexo Meia Lua.

O modelo de Riedel empregado por SHIMAMOTO (1.989) aos planos formados pelo cisalhamento não-coaxial é mostrado na Figura 10. Por este modelo, depende-se que há possibilidade de formação de outros planos de descontinuidade, além das superfícies S-C, como resultado da mesma deformação.

Nos metassedimentos da Formação Betara, a nível microscópico, é possível a visualização de elementos do modelo de Riedel como sugerido por SHIMAMOTO (1.989). A Foto 12, mostra um exemplo relativamente bom deste conceito.

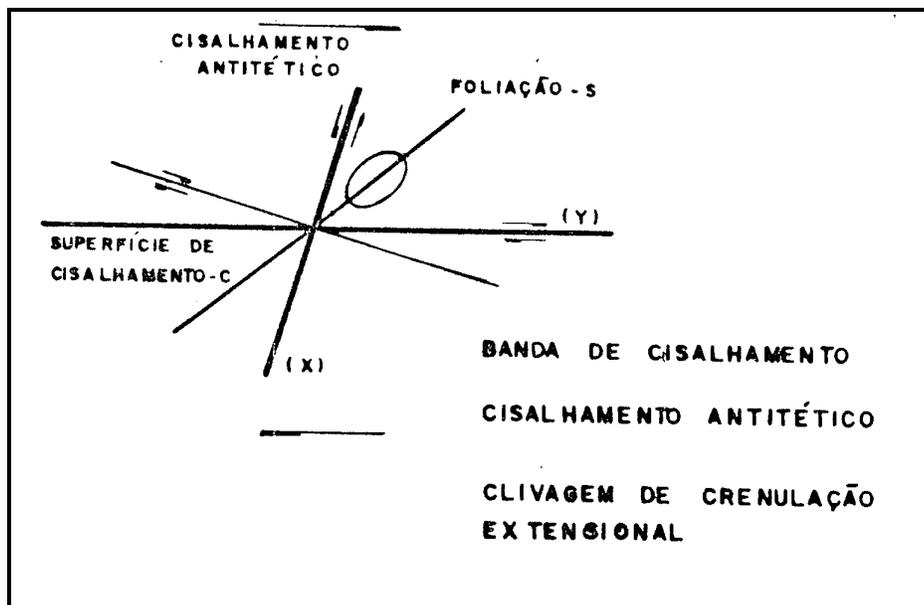


FIG. 10: Cisalhamento Riedel, aplicado ao desenvolvimento de foliação não-coaxial, permitindo explicar a ocorrência de superfícies secundárias, concomitantes, inclusive, com movimentos antitéticos ao principal.
Fonte: SHIMAMOTO 1.989.

A relação entre os planos de S_n e S_{n-1} torna-se mais clara. Neste trabalho se considera que a S_{n-1} é produzida pelos pulsos iniciais da deformação cisalhante de baixo ângulo. Se a superfície S também é considerada como de geração anterior à C, então é possível que, em parte, a S_{n-1} represente a superfície S do conjunto todo, ou então mais provavelmente o plano de cisalhamento antitético à

superfície de cisalhamento principal de acordo com o estudo de SHIMAMOTO (1.989).

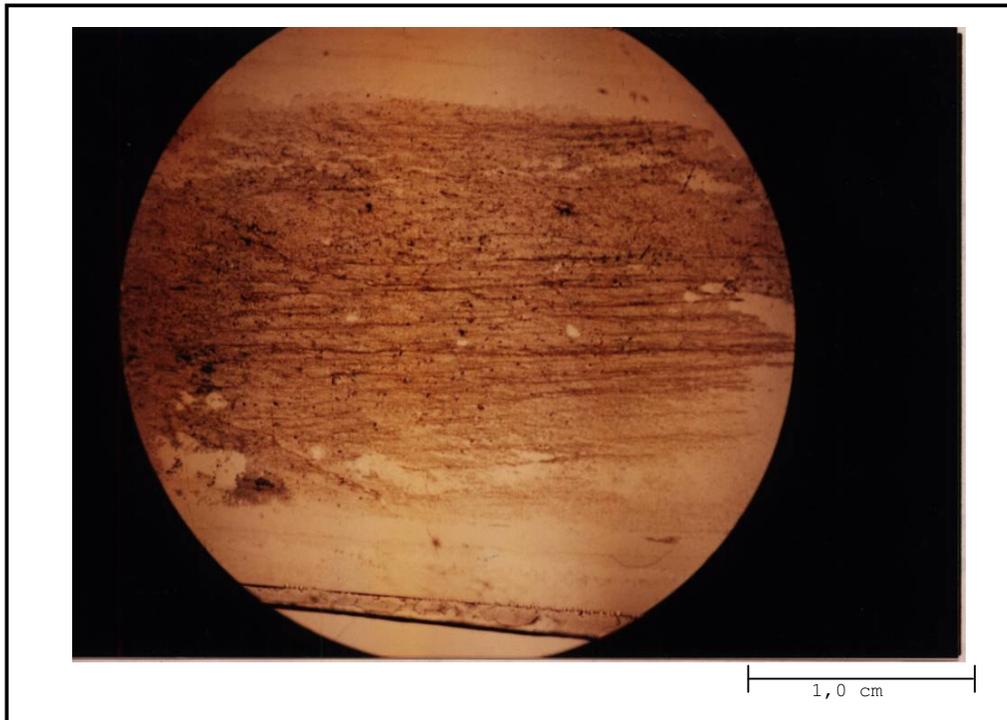


Foto 12: Foliação milonítica Sn, em escala microscópica de metargilitos da Formação Betara com desenvolvimento de microlitons lenticulares ou anastomosados. Observa-se, o par S-C, onde a superfície C, mais predominante limita os microlitons e onde a superfície S, mais incipiente esta no interior dos mesmos. (Pto. E -07)

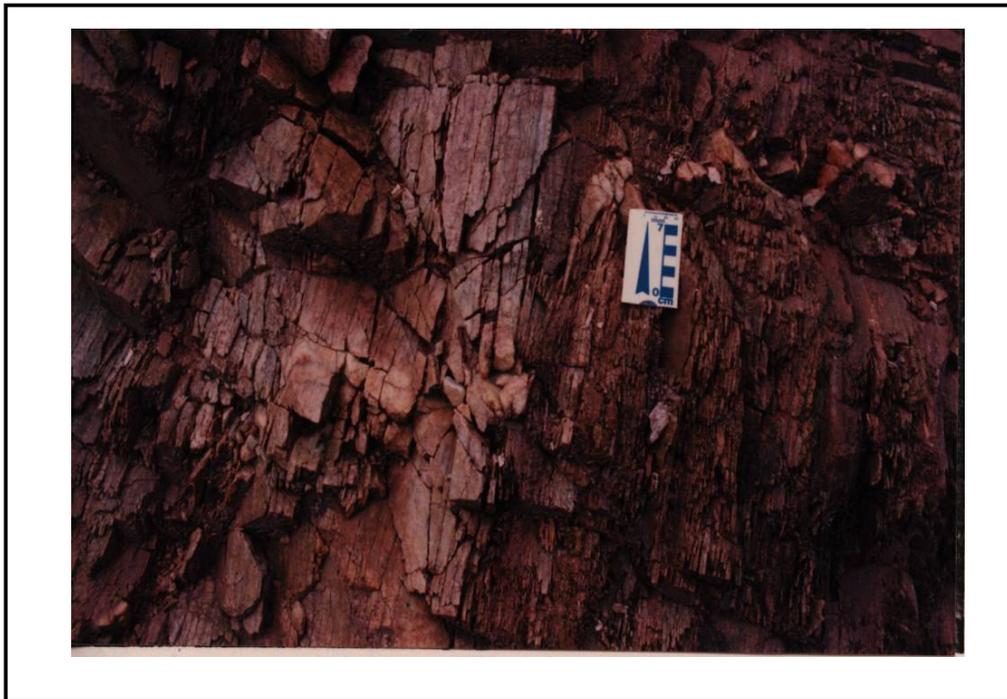


FOTO 13: Foliação Sn em quartzitos do Complexo Meia Lua, a partir da geração de cisalhamento dúctil rúptil não coaxial. A deformação é heterogênea, ocorrendo com maior intensidade em porções mais pelíticas da rocha (afloramento na parede - Pto. E - 165)

Os planos da foliação S_n apresentam uma direção média entre $N 30^\circ$ e $60^\circ E$ com mergulhos variáveis de baixos ângulos, entre 10° e 20° até próximo da verticalidade.

A figura 11 mostra um esquema do mapa tectônico apresentado no Anexo 1, e a localização dos estereogramas estruturais construídos a partir dos pólos de S_n .

As figuras 12 a 19 mostram o comportamento das atitudes dos planos da superfície S_n nos litotipos da Formação Betara (ver Anexo 5). Cada um dos estereogramas reúne os dados de um setor predeterminado do Núcleo, individualizados pelas suas características litológicas específicas e em parte por suas características estruturais, devido se encontrarem limitados por zonas de cisalhamento maiores.

A representação estatística através dos estereogramas é relativamente limitada, pois a complexidade estrutural da área ocasiona distorsão nos resultados. As deformações superimpostas à superfície S_n , mas que podem apresentar direções e mergulhos dos planos diferentes desta.

Os estereogramas das Figuras 12 e 13, que reúnem informações da porção norte do Núcleo Betara mostram concentrações de pólos de planos nos quadrantes NW e SE, havendo contudo uma dispersão acentuada de pólos para o quadrante SW. Esta dispersão está relacionada ao sistema transcorrente superimposto aos planos pré-existentes de S_n , cujo movimento principal é dextral, ocasionando uma rotação dos elementos pré-existentes.

Pelos estereogramas é possível interpretar uma maior vergência dos planos no sentido SE, já que o mergulho da maioria desses planos está para NW.

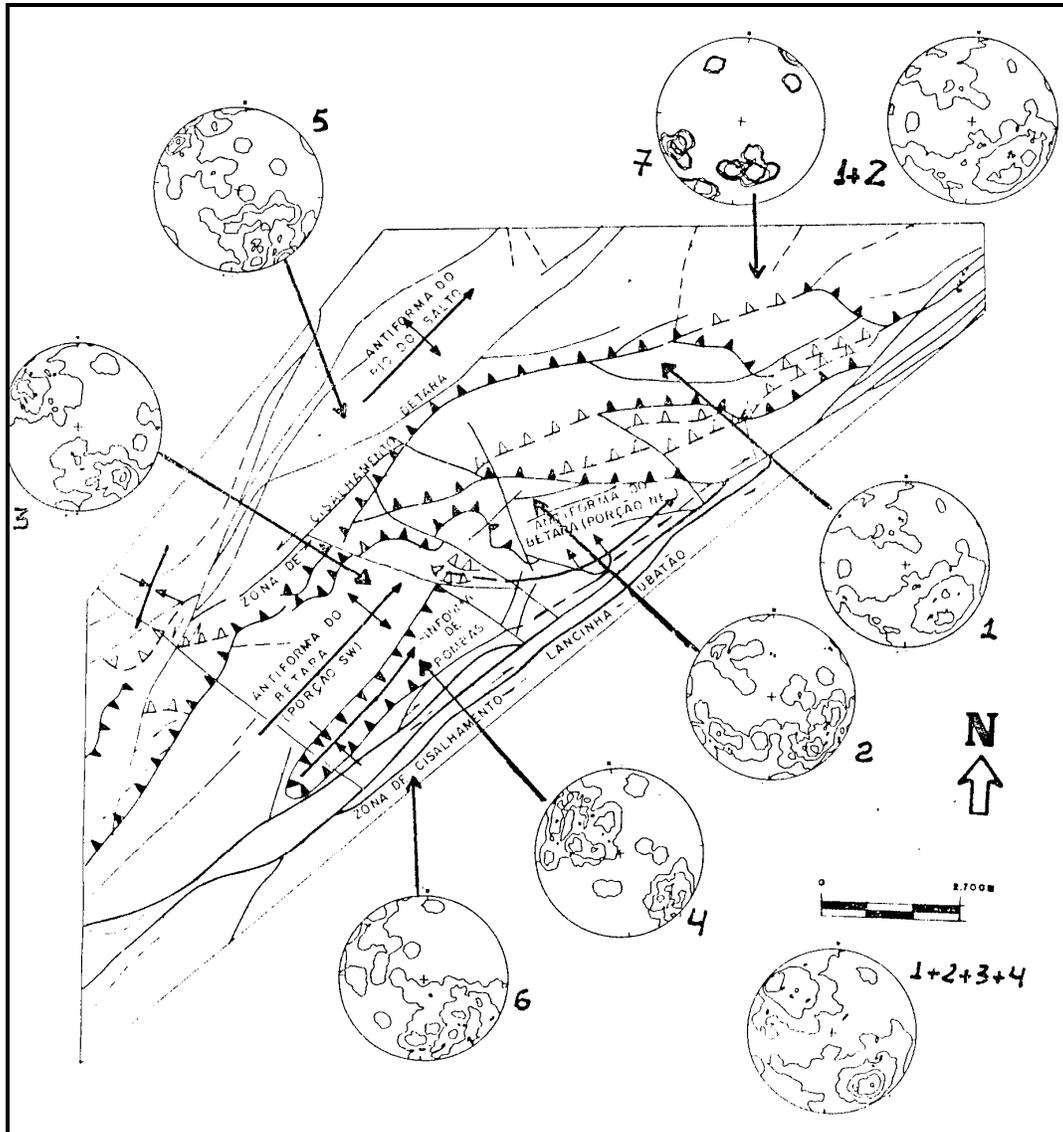


FIG. 11: Localização dos estereogramas obtidos através das atitudes estruturais de Sn, na região do Núcleo Betara (ver também Anexo 5)

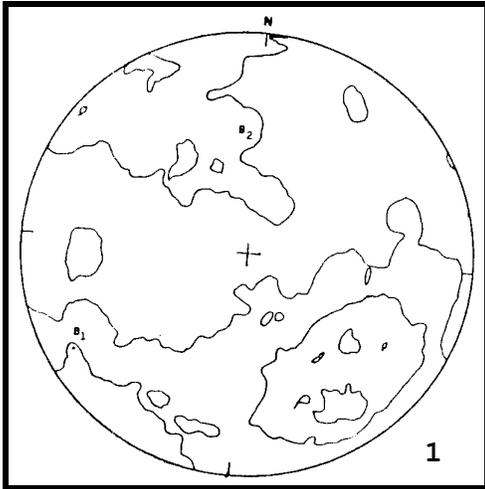


FIG. 12: Estereograma de Pólos de foliação Sn da área de análise 1 (ver anexo 5). Formação Betara (porção norte).
 - 347 polos de Sn
 - Concentração de Isolinhas 0,5 - 3 - 6 - 9 %
 - hemisfério inferior da Rede de Schimdt

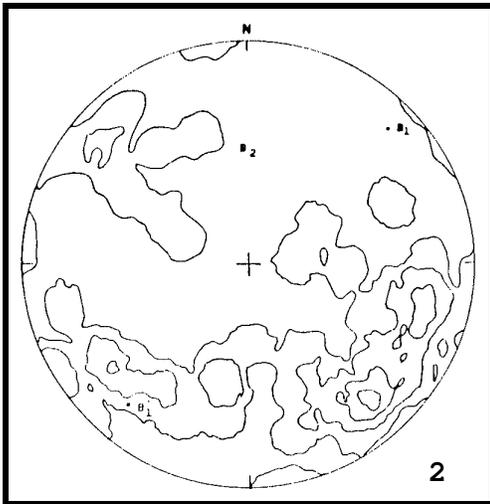


FIG. 13: Estereograma de Pólos de foliação Sn da área de análise 2 (ver anexo 5). Formação Betara (porção sul).
 - 86 polos de Sn
 - Concentração de Isolinhas 0,5 - 3 - 6 - 9 %
 - hemisfério inferior da Rede de Schimdt

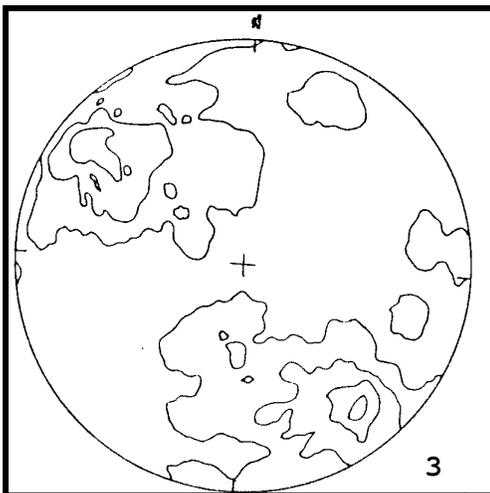


FIG. 14: Estereograma de Pólos de foliação Sn da área de análise 3 (ver anexo 5). Complexo Meia Lua.
 - 145 polos de Sn
 - Concentração de Isolinhas 0,5 - 3 - 6 - 9 %
 - hemisfério inferior da Rede de Schimdt

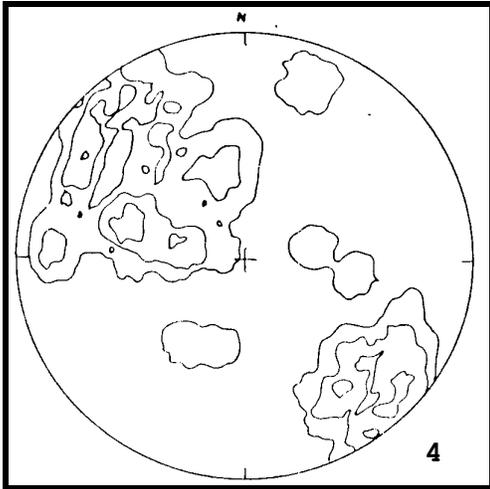


FIG. 15: Estereograma de Pólos de foliação Sn da área de análise 4 (ver anexo 5). Sinforma de Pombas.

- 82 polos de Sn
- Concentração de Isolinhas 0,5 - 3 - 6 - 9 %
- hemisfério inferior da Rede de Schimdt

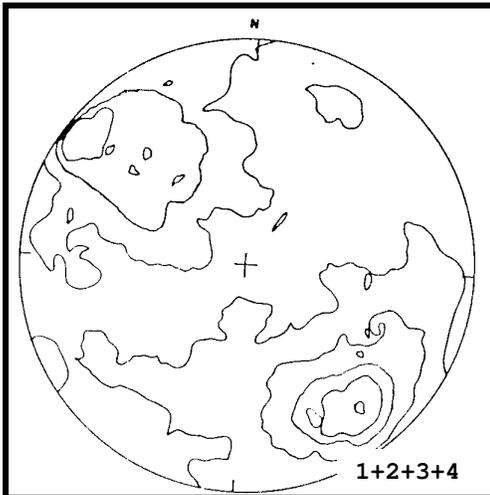


FIG. 16: Estereograma de Pólos de foliação Sn do Núcleo Betara como um todo. Formação Betara + Complexo Meia Lua.

- 662 polos de Sn
- Concentração de Isolinhas 0,5 - 3 - 6 - 9 %
- hemisfério inferior da Rede de Schimdt

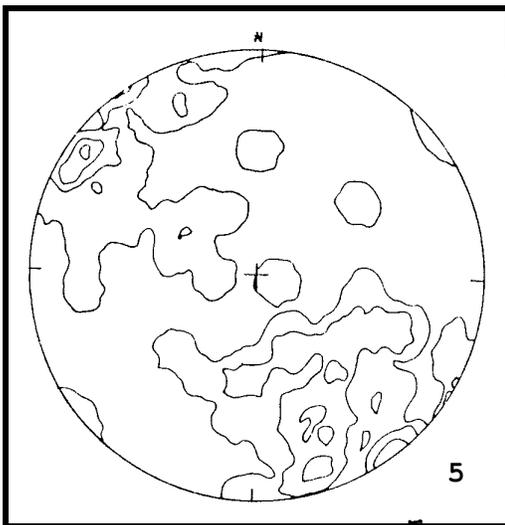


FIG. 17: Estereograma de Pólos de foliação Sn da área de análise 5 (ver anexo 5). Formação Votuverava

- 43 polos de Sn
- Concentração de Isolinhas 0,5 - 3 - 6 - 9 %
- hemisfério inferior da Rede de Schimdt

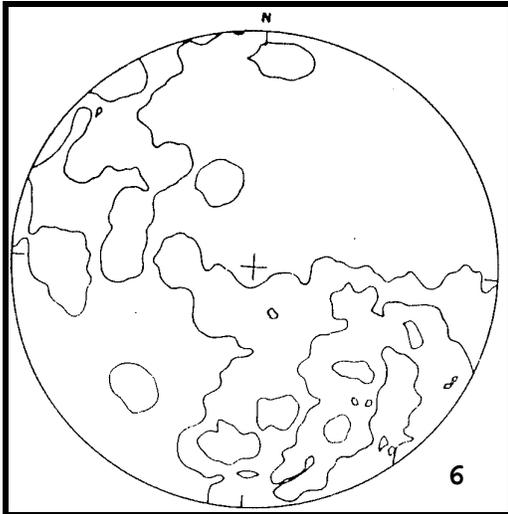


FIG. 18: Estereograma de Pólos de foliação Sn da área de análise 6 (ver anexo 5). Formação Capiru.

- 105 polos de Sn
- Concentração de Isolinhas 0,5 - 3 - 6 - 9 %
- hemisfério inferior da Rede de Schimdt

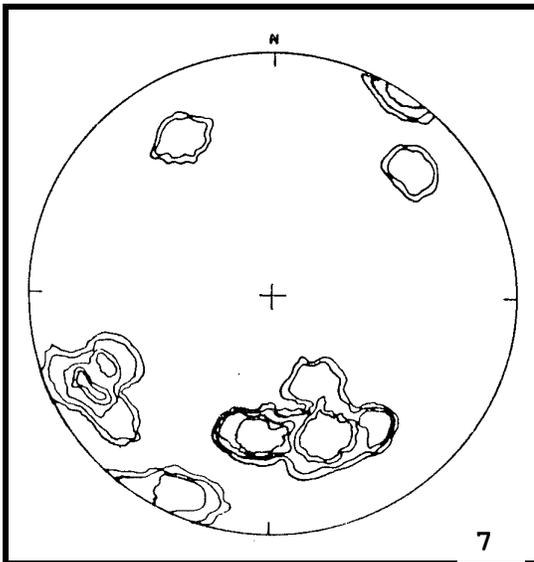


FIG. 19: Estereograma de Pólos de foliação Sn da área de análise 7 (ver anexo 5). Formação Votuverava, em torno do Granito Rio Abaixo.

- 18 polos de Sn
- Concentração de Isolinhas 0,5 - 3 - 6 - 9 %
- hemisfério inferior da Rede de

Os estereogramas mostrados nas figuras 14 e 15, da porção central do Núcleo Betara (ver Anexo 5) mostram uma maior homogeneidade estatística nas atitudes dos pólos da foliação S_n , com concentração de dados tanto no quadrante SE quanto no quadrante NW. Há também pequena dispersão nas atitudes, observada no estereograma da figura 14, provavelmente devido aos mesmos motivos expostos para as porções mais a norte. Nesses estereogramas as tendências da megantiforma do Betara, no caso dos estereogramas das figuras 12 e 13, e da estrutura sinformal de Pombas, no caso do estereograma da figura 15, são ressaltadas, pois planos mergulham em sentido contrário possibilitando a interpretação da ocorrência da estrutura dobrada.

A tendência observada até aqui é respeitada para as porções situadas mais a sul. Assim o estereograma para as superfícies S_n ocorrentes nas litologias do Complexo Meia Lua, também forenece o mesmo padrão dos anteriores, ou seja, principais concentrações nos quadrantes NW e SE. Neste caso há dispersão das atitudes dos pólos dos planos no sentido N-S, com uma concentração relativamente maior para S e SW. É possível que isto ocorra igualmente devido a movimentação transcorrente superimposta. A vergência estrutural, neste caso, também está para SE e respeita a tendência já observada para o restante do Núcleo.

Os estereogramas das figuras 17 e 18 e figura 19, representam respectivamente as áreas adjacentes do Grupo Açungui e do Granito Rio Abaixo. Os primeiros demonstram que os planos de S_n das Formações Votuverava e Capiru são correlacionáveis geometricamente com os planos de S_n observados no Núcleo Betara, já que a tendência estrutural de concentrações nos quadrantes NW e SE e vergência para SE continuam válidos.

O estereograma representando os planos de foliação das rochas metassedimentares situadas imediatamente próximas ao granito Rio Abaixo, demonstra como esta intrusão afetou as

superfícies planares ali ocorrentes, distorcendo a geometria inicial.

A estruturação dos planos de S_n , como mostrada nos respectivos estereogramas, permite duas interpretações. A primeira é relacionada a dobramentos e ondulações geradas por um evento maior de cisalhamento, seja de baixo ou alto ângulo, ou ainda a ambos. A favor desta possibilidade estaria a própria caracterização morfológica da megantiforma do Betara, além de meso e microdobras, observadas a nível de afloramento e lâminas. Neste caso o eixo de dobramento estaria com um baixo ângulo de mergulho até a subhorizontalidade e com caimento para NE, o que corroboraria com a postulação de SOARES (1.987) e FIORI et al. (1.987 a,c e 1.991).

A segunda interpretação se relaciona à possibilidade de que os caimentos de pólos em quadrantes opostos nos estereogramas, caracterizem lenticularizações dos estratos. Cada lente desta, possibilitaria que houvesse mergulhos opostos da superfície S_n sem que necessariamente os estratos estejam dobrados.

No mapa de tendências estruturais da foliação (ver Anexo 3), a segunda idéia é sobressaltada. Esta hipótese a nível regional é sugerida por HASUI (1.986 e informação verbal). Neste trabalho sugere-se que haja uma conjunção das duas geometrias acima descritas, fornecendo uma dimensão da complexidade tectônica do Núcleo Betara.

5.4 Foliação S_{n+1}

Esta superfície foi raramente observada tanto nos tipos litológicos do Complexo Meia Lua, quanto nos da Formação Betara. Encontra-se associada a dobras abertas a fechadas, com raiz e constituem uma foliação plano-axial, retilínea, bastante incipiente de difícil visualização e de importância apenas local, pode representar ainda, crenulações associadas com o sistema de dobramentos, generalizados, pós-cavalgamentos.

O problema de correlacionar superfícies planares observadas em campo à S_{n+1} é a coincidência do "trend" estrutural desta com os outros planos, principalmente a S_n .

5.5 Foliação S_{n+2}

Esta superfície planar é observada de forma mais evidente na Zona de Cisalhamento Transcorrente Lancinha - Cubatão, e é produzida por este movimento direcional.

Caracteristicamente assume um padrão lenticular espaçado, seccionando a superfície S_n de forma oblíqua a esta, através de planos de cisalhamento de alto ângulo até verticais (Foto 14 e Figura 20). Este padrão foi observado em superfície e também superfície, através de testemunhos de sondagem na zona de cisalhamento de alto ângulo.

Os planos de cisalhamento variam de rúptil-dúctil (na localidade de Pombas isto é observado com frequência) até exclusivamente rúptil (próximo aos quartzitos basais em Rio Branco do Sul). Características de ductibilidade, normalmente associados aos litotipos do Complexo Meia Lua,

são dadas por feições de fluxo de minerais, através de estiramento e recristalização, gerando milonitos e protomilonitos. Por outro lado, características mais conspícuas de cisalhamento rúptil são observadas nos pacotes da Formação Betara, sendo observados pequenas falhas e fraturamento de maneira geral, além de um cataclasmamento nos constituintes mineralógicos e cominuição das partes afetadas das rochas.

Nas porções miloníticas é possível se observar uma cloritização gerada nestas zonas de cisalhamento de alto ângulo, que foi associada a um metamorfismo de baixo grau, localizado, produzido pela movimentação transcorrente.

Um dos problemas da diferenciação em campo dos planos S_{n+2} dos planos S_n , é que normalmente ambas apresentam direções paralelas à S_n , em função do movimento transcorrente, que rotaciona a foliação S_n , complicando a individualização de ambos. Isto é frequente nos paragnaisses do Complexo Meia Lua.



FOTO 14: Metarritimito da Formação Betara com estruturação complexa: há uma foliação S_n paralela ao bandamento composicional e dobras intrafoliares D_n geradas concomitantemente a esta foliação. Estas estruturas são cortadas pela foliação S_{n+2} milonítica quase vertical gerada pelo cisalhamento de alto ângulo, dúctil-ruptil (afloramento no chão - Pto. E 65).

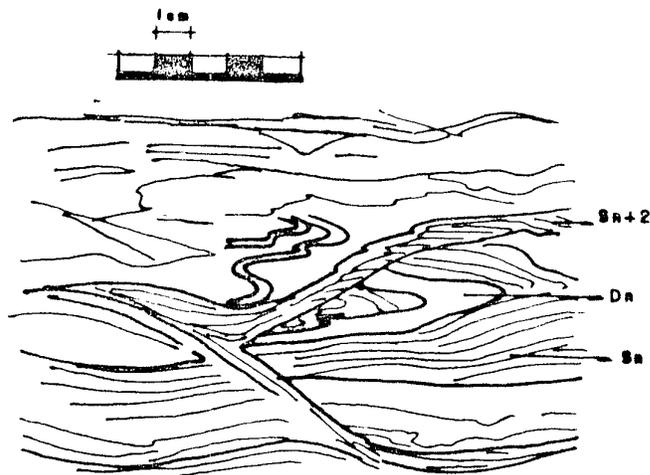


FIG. 20: Esquematisação a partir da Foto 14, mostrando a relação entre as diversas superfícies.

5.6 Lineação do Tipo "a" (L_a): L_{a_n} e $L_{a_{n+2}}$

Os dados obtidos em campo, relacionam o estiramento mineral a pelo menos dois sistemas de deformação.

O mais antigo gerou lineações com direção em torno de NW-SE, com variação para N-S ou para W-E geralmente com caimentos médios a altos tanto para NW ou para SE. Estão geneticamente ligadas ao cavalgamento e denominadas de L_{a_n} .

O segundo sistema, ligado à transcorrência, produziu lineações de estiramento com direção NE-SW, com baixos caimentos para NE ou horizontalizados denominados de $L_{a_{n+2}}$ (Foto 15).

As atitudes destas estruturas, tanto L_{a_n} quanto $L_{a_{n+2}}$ foram melhor observadas em grãos de quartzo em meio à massa pelítica de xistos (Foto 16). Ou "ribbons" de quartzo nos xistos clásticos, quartzitos e gnaisses, além de microvesículas estiradas das metavulcânicas. Normalmente os grãos são submilimétricos a centimétricos, ocorrendo raramente grãos maiores (foram anotados alguns eixos "X" de boudins).

As lineações de estiramento, no Complexo Meia Lua, são de difícil recuperação, pois o achatamento pode se mostrar, em certos casos, tão intenso que mascara o eixo "X" do objeto deformado ao confundí-lo com eixo "Y", em função da proximidade de seu tamanho; ou então não ocorrem feições que permitam determinar o estiramento nos pacotes filíticos. Em outros, tais como nos quartzitos, o cataclasamento dificulta a visualização dos grãos estirados.

As lineações observadas, macro e microscopicamente, são formadas a partir de minerais pré e/ou sincinemáticos.

O primeiro caso é comumente descrito nos ortognaisses do Complexo Meia Lua. A Foto 17 mostra um

exemplo representativo, onde o feldspato potássico euhedral foi bastante estirado enquanto quartzo em "ribbons" o está contornando.

O segundo caso se refere a minerais sincinemáticos formados a partir de neomineralização e/ou recristalização geradas por processos deformativos de cisalhamento não-coaxial. Normalmente é o quartzo remobilizado que ao formar um neomineral, fornece indicações do sentido de cisalhamento. Neste caso as sombras de pressão simétricas dificultam a obtenção do correto sentido de transporte tectônico (PASSCHIER & SIMPSON 1.986).

Um exemplo que envolve a problemática da análise cinemática dos litotipos encontrados no Núcleo Betara, é representado pelo afloramento do Ponto E-66 (ver Anexo 2), cujo detalhe é mostrado pela Foto 16 de uma lineação do tipo L_{a_n} .

Uma análise estrutural, determinou o seguinte desenvolvimento local:

a. Deformação de baixo ângulo por cisalhamento não-coaxial, dúctil a dúctil-rúptil;

b. Geração de foliação e neominerais por remobilização do quartzo (sílica);

c. Concomitante deformação desses neominerais;

d. Dobramento ou basculamento dos estratos, alterando o mergulho da foliação.

Esta análise envolveu os seguintes aspectos, considerando hipoteticamente que não há variação de volume:

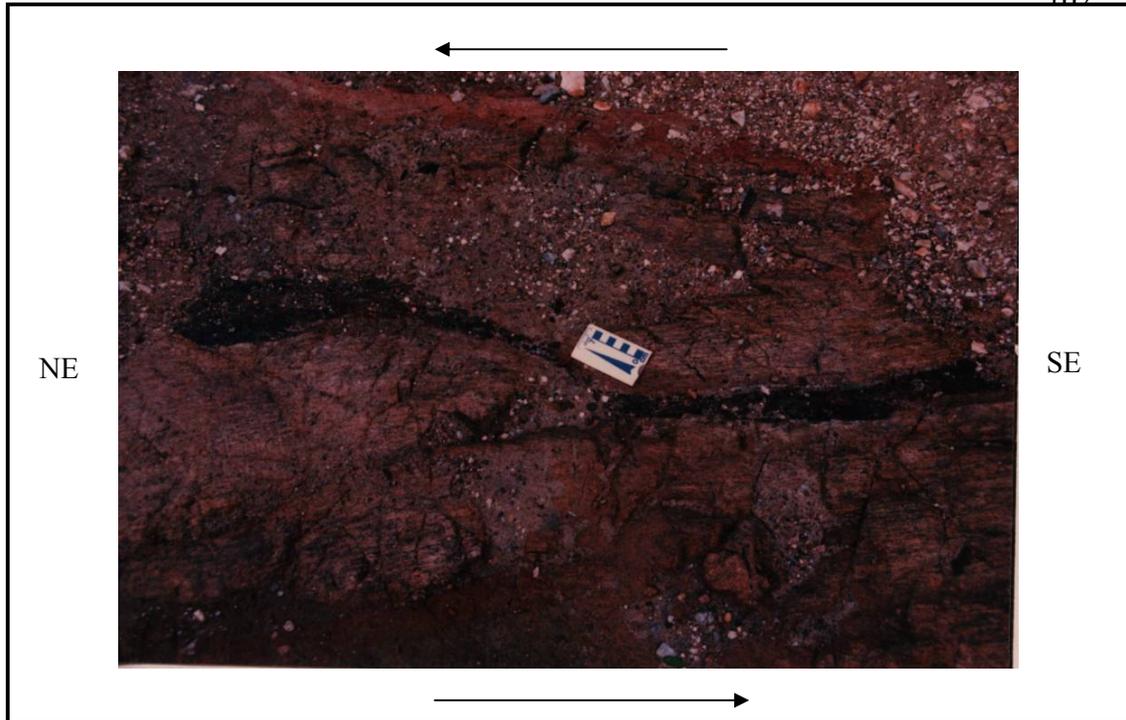


Foto15: Ortognaisse retrabalhado do embasamento. Na porção inferior da foto se observa estiramento mineral Lan+2 com baixos caimentos, através de filmes feldspáticos e máficos. No centro, o material escuro milonítico, caracteriza o cisalhamento dúctil de alto ângulo, apresentando um padrão S-C. As setas indicam o sentido de movimento relativo. Complexo Meia Lua (afloramento no chão - Pto. E 176)

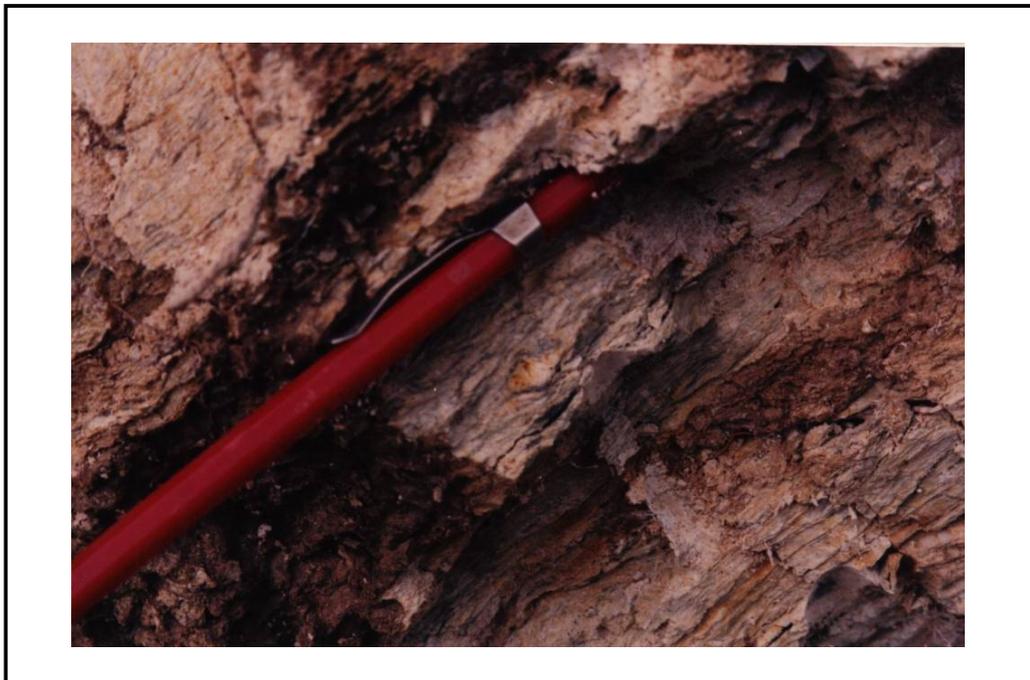


FOTO 16: Quartzo estirado com sombra de pressão assimétrica caracterizando a lineação Lan em meio aos xistos quartzosos da Formação Betara. (Afloramento na parede. Pto. E - 66)

- a. Determinação em campo de que o plano observado é o "XZ" do grão estirado;
- b. Determinação em campo e através da fotografia da sombra de pressão, levemente assimétrica do grão deformado;
- c. Retorno da foliação à posição sub-horizontal, através da rotação do quadro fotografado;
- d. Determinação da posição aproximada do elipsóide, coincidente com o estiramento do grão.

A deformação caracterizada, demonstra o forte estiramento no sentido NE da área. Deve-se levar em conta, no entanto, que o grau de deformação do grão de quartzo pode ter sido menor devido à observação da deformação pela matriz pelítica. Exemplo disto pode ser observado na Foto 18, que representa a feição de uma lâmina delgada de filito do Ponto E-03.

Além das lineações minerais típicas de ocorrência nas diversas litologias do Núcleo Betara, há budinagem e micro budinagem, que também caracterizam as lineações do tipo "a".

A figura 21 apresenta a localização dos estereogramas para as lineações La_n e Lb_n , no mapa tectônico do Núcleo Betara.

Observa-se na figura 22, em estereograma representativo das lineações de estiramento para a porção norte do Núcleo (Formação Betara) que há dispersões nas lineações La_n e La_{n+2} . Nos quadrantes NW e SE são observadas lineações do tipo La_n , relacionadas aos cavalgamentos. Estas se apresentam dispersas até o sentido E-W, podendo ser o efeito das deformações superimpostas. Para a porção sul, há uma maior homogeneidade na tendência das direções de La , apesar de haver poucas medidas (Figura 23).

As lineações do tipo La_{n+2} se concentram, por sua vez nos quadrantes NE e SW, acentuando-se o caimento das

mesmas, além de dispersão também no sentido E-W (Figuras 24 e 25).

O mapa de lineações minerais (ver Anexo 4) ilustra a variação de atitudes destas estruturas. A possibilidade das mesmas estarem relacionadas a um mesmo ciclo tectônico com diferentes tipos de movimentação é aventada devido à mudança gradativa de atitudes, desde a direção E-W até a direção NE-SW passando pelos quadrantes NW e SE.

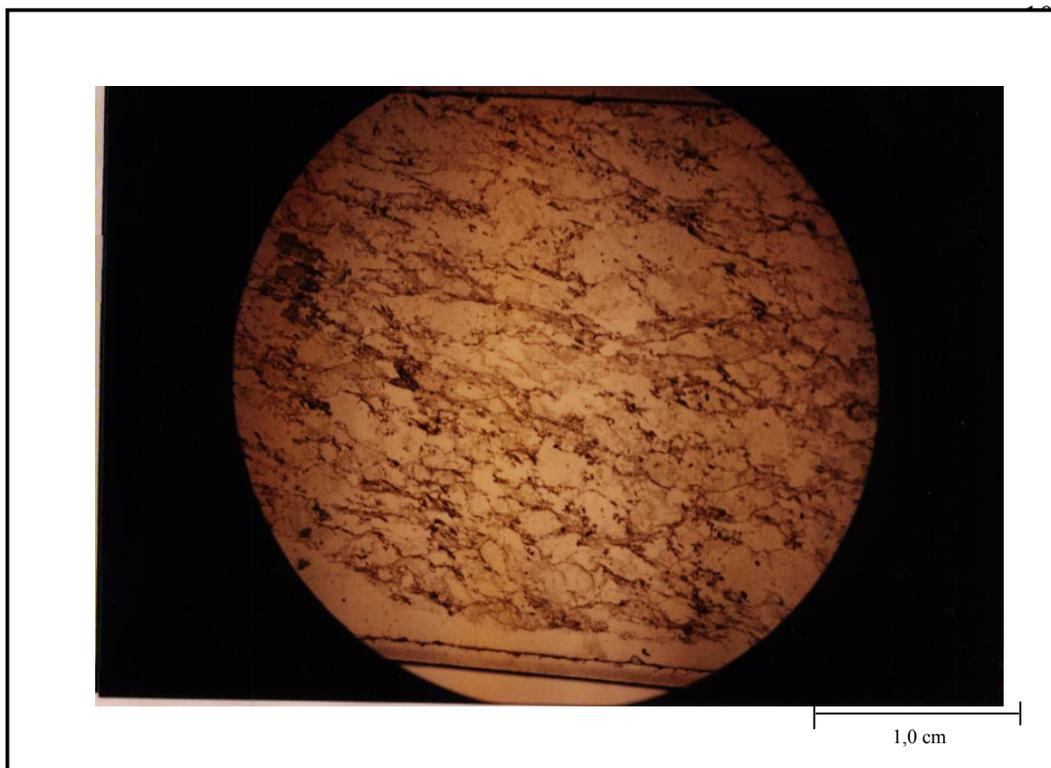


FOTO 17: Outro aspecto da recristalização e estiramento mineral em ortognaisses do Complexo Meia Lua. Observar a lenticularização dos feldspatos (FK) e o padrão S-C dado também pelo quartzo. O eixo "x" neste caso está sub-horizontalizado e apresenta direção NE-SW. (Pto. E - Luz natural)

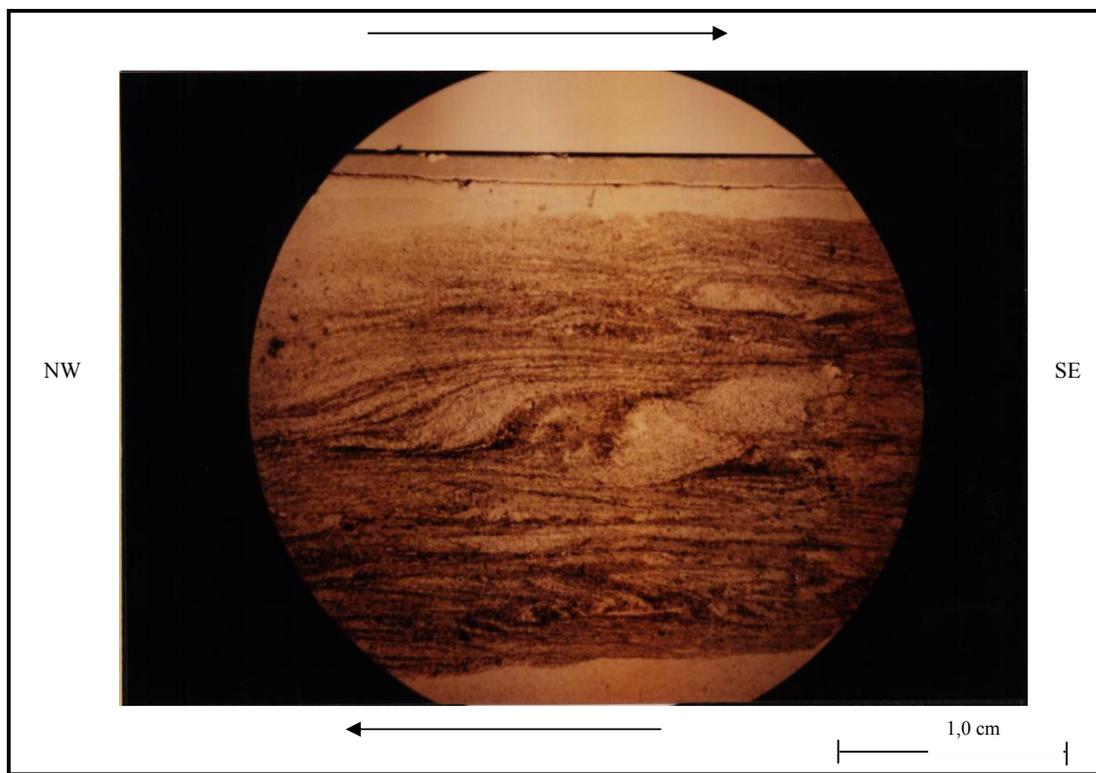


FOTO 18: Estiramento mineral, com padrão S-C da foliação, gerado por cisalhamento não-coaxial.

5.7 Lineação do tipo "b" (Lb): Lb_n , Lb_{n+1} e Lb_{n+2}

As lineações do tipo "b", representam os eixos de dobras D , relacionadas geneticamente a cada um dos eventos deformativos ocorrentes na região. Desta forma os eixos Lb_n , Lb_{n+1} e Lb_{n+2} são respectivamente os eixos das dobras, ou dos conjuntos de dobras, D_n , D_{n+1} e D_{n+2} .

Microdobras (milimétricas a centimétricas) e mesodobras (decimétricas a métricas), foram observadas em todos os tipos litológicos do Núcleo Betara e adjacências, predominantemente em camadas mais pelíticas.

Mesmo sendo descritos os três conjuntos de dobras, associadas aos sistemas deformativos na área, dobras de diferentes estilos podem, contudo, estar ligados a um mesmo sistema de deformação.

5.7.1 Lineação Lb_n

O cisalhamento não-coaxial de baixo ângulo, que gerou a superfície S_n , foi responsável pela formação concomitante de dobramentos de estilos variados, desde a escala microscópica até megascópica (BELL 1.978).

As litologias mais afetadas são as pelíticas (filíticas e/ou filoníticas) (Foto19), apesar de se considerar que estas feições estruturais são relativamente pouco penetrativas em um contexto geral do Núcleo Betara, devido ao processo de deformação progressivo que descaracteriza em parte estes dobramentos.

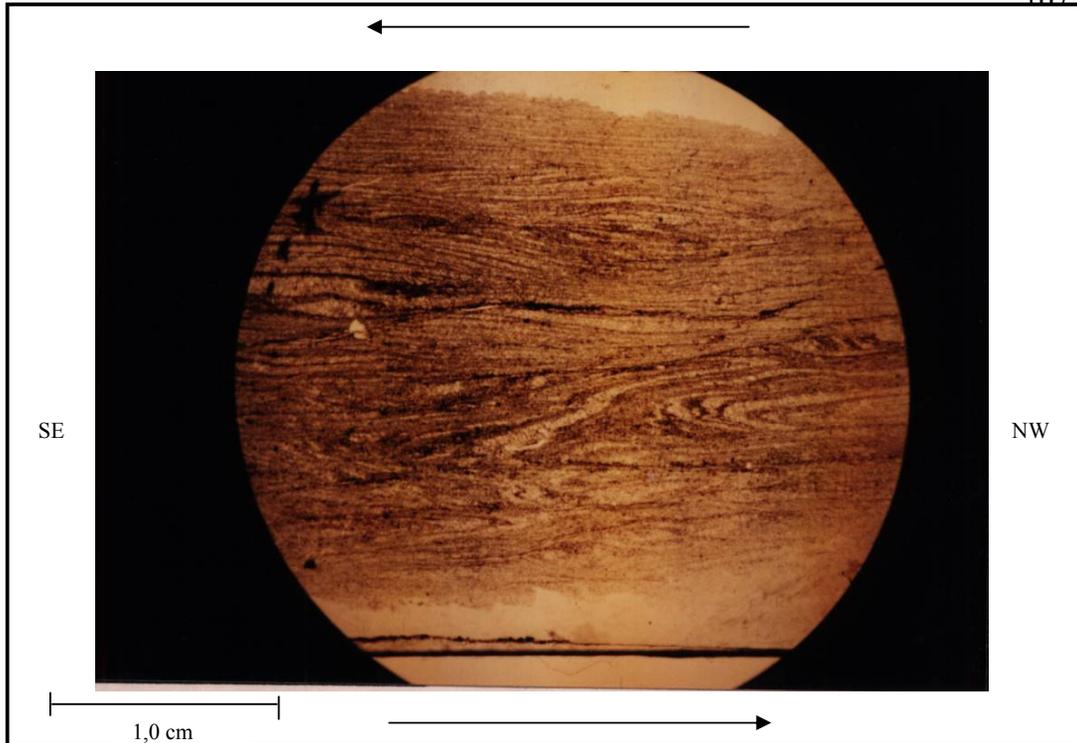


Foto 19: Dobras Dn geradas pelo cisalhamento não-coaxial de baixo ângulo (dúctil). Ocorrem dobras-falha (arrasto) e intrafoliares em metargilitos da Formação Betara. As setas indicam o sentido de movimento relativo (Luz natural) - Pto. E - 03).

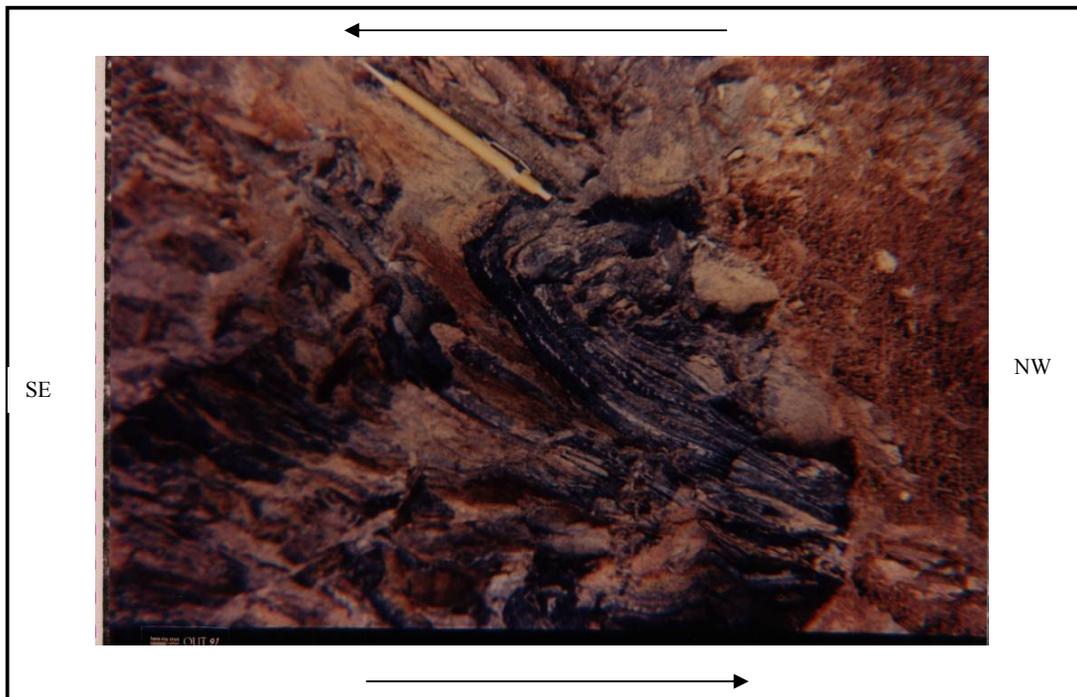


FOTO 20: Dobra-falha na formação ferrífera da Formação Betara. Observa-se que o flanco superior não se encontra desenvolvido devido a progressividade do cisalhamento não-coaxial. As setas indicam o sentido de movimento relativo (afloramento na parede - Pto, E - 28).

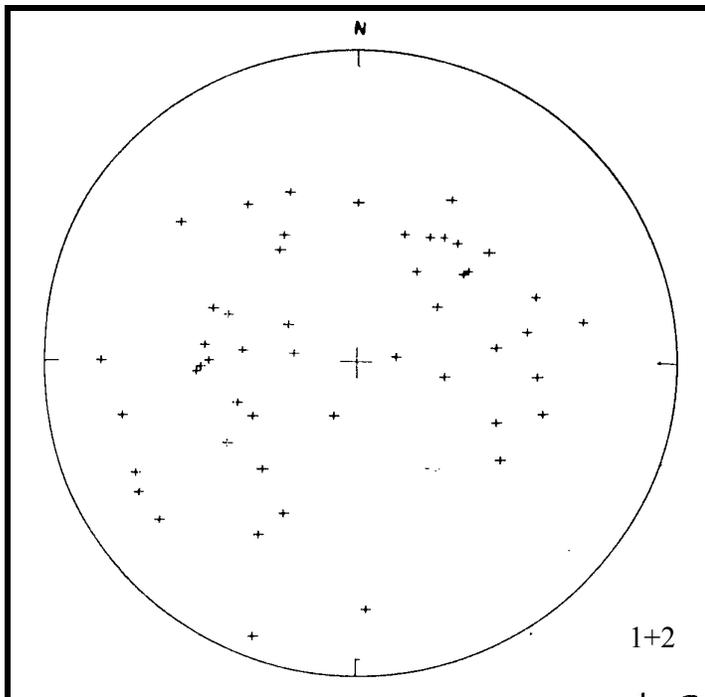


FIG. 22: Estereogramas Estiramento Mineral (Lan) da porção norte da Antiforme do Betara (ver Figura 21 e Anexo 5).
 - 67 atitudes de La
 - Hemisfério inferior da Rede de Schimdt

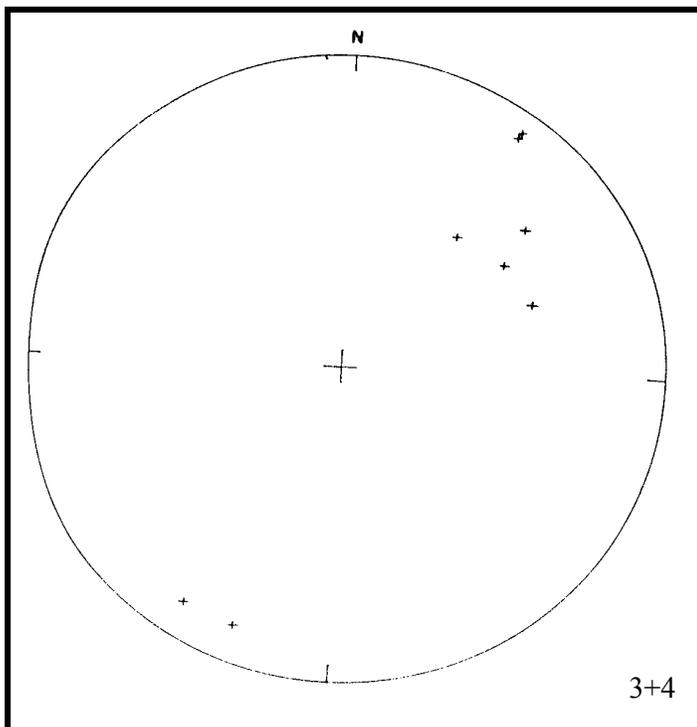


FIG. 23: Estereogramas Estiramento Mineral (Lan) da porção sul da Antiforme do Betara (Complexo Meia-Lua ver Figura 21 e Anexo 5).
 - 8 atitudes de La
 - Hemisfério inferior da Rede de Schimdt

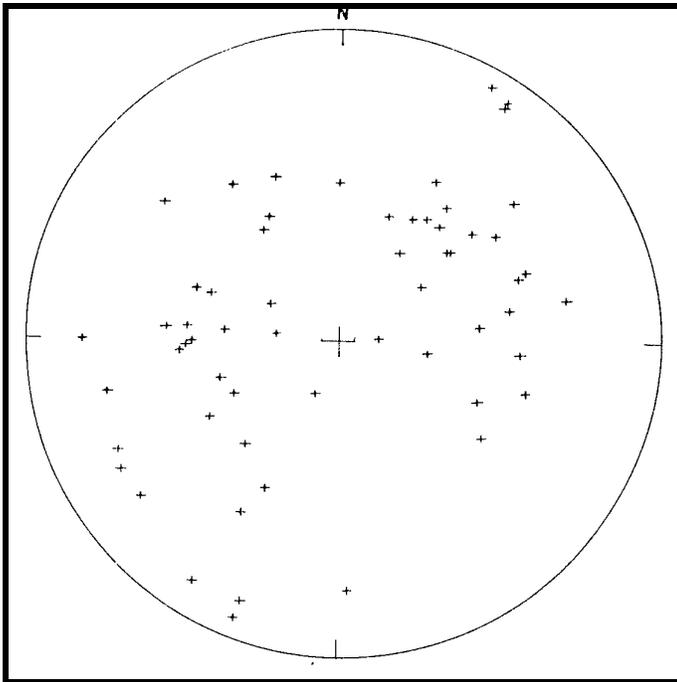


FIG. 24: Estereogramas Estiramento Mineral (Lan) total da Antiforme do Betara (Complexo Meia-Lua ver Figura 21 e Anexo 5).
 - 75 atitudes de La
 - Hemisfério inferior da Rede de Schimdt

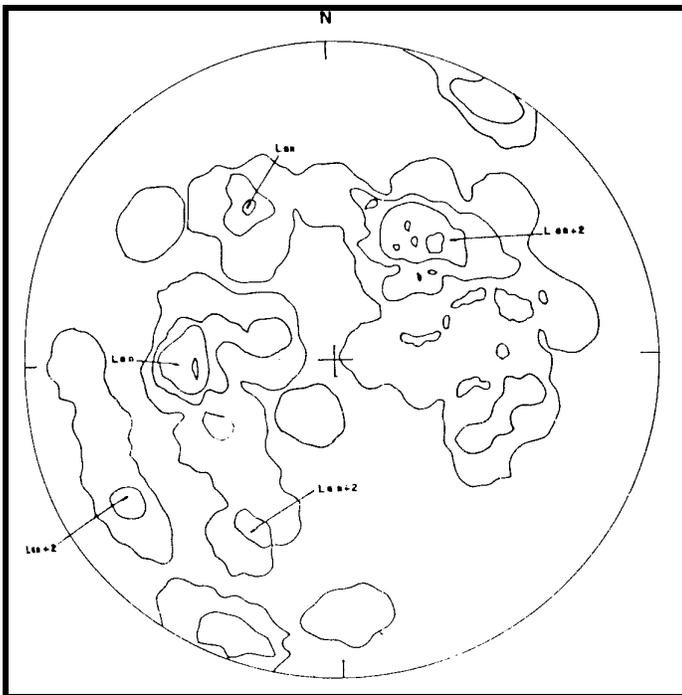


FIG. 25: Estereogramas Estiramento Mineral (Lan) total da Antiforme do Betara, através de representação dos máximos (ver Figura 21 e Anexo 5). Os máximos nos quadrantes NE e SW, foram interpretados como de Lan+2, enquanto os máximos nos quadrantes NW e SE e o eixo E-W foram relacionados a Lan
 - 75 atitudes de La
 - Hemisfério inferior da Rede de Schimdt

Os estilos destas dobras são variados, sendo frequentes as intrafoliares, fechadas a isoclinais as quais podem ser observadas tanto em lâminas quanto em afloramentos: dobras sem raiz que afetam a própria foliação S_n e também dobras-falhas. Foram descritas, em lâmina, pequenas "bengalas", que caracterizam instabilidade local e início de formação de dobras de cisalhamento ("shear folds").

De acordo com RAMSAY (1.980), os elementos planares incompetentes, em zonas de cisalhamento, deformam-se por apresentarem comportamento passivo, podendo produzir dobras similares (Figura 26).

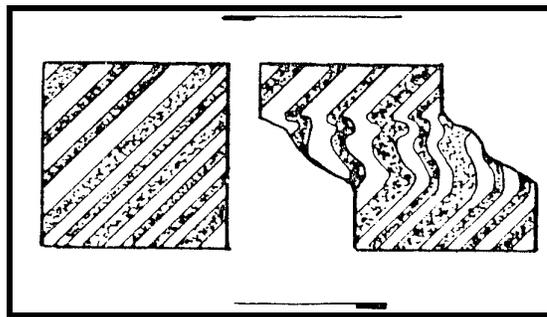


FIG. 26: deformação de elementos planares incompetentes, numa zona de cisalhamento, gerando dobras por deformação não-coaxial. Fonte: RANSAY (1.980)

Este tipo de dobramento foi observado em vários pontos do Núcleo Betara, e pode ser bem exemplificado nas Fotos 19 e 20.

São feições estruturais que caracterizam o sentido do transporte tectônico dos estratos, porém as fotografias tomadas dos afloramentos devem ser analisados com cuidado, já que nem sempre correspondem ao plano cinemático principal "XZ".

O valor do caimento dos eixos é variável de acordo com as próprias atitudes dos panos de foliação S_n , apresentando

valores baixos (10° a 20°) até verticais, refletindo a heterogeneidade da deformação. Como os flancos se apresentam rompidos, em sua maioria, é difícil a determinação do estilo da dobra.

Os dados de eixos de dobras observados em afloramentos da porção norte do Núcleo Betara, revelam em estereograma (Figura 27), uma dispersão nas atitudes, apesar de haver pequena concentração de eixos no quadrante NE e nas direções NS e EW. Isto revela domínios estruturais não totalmente homogêneos ou, ainda, a possibilidade de que a progressividade da deformação tenha gerado diferentes conjuntos de dobramentos.

Na porção central do Núcleo (Figura 28) há uma maior concentração de eixos no quadrante NE, com relativa dispersão, porém obedecendo em termos gerais o padrão mapeado da Antiforma do Betara.

5.7.2 Lineações Lb_{n+1} e Lb_{n+2}

Com a evolução dos processos deformativos e a tendência de passagem local de cisalhamento não-coaxial para cisalhamento puro, pacotes litológicos do Núcleo Betara sofreram inflexão, ajudando a formar, em parte, a megantiforma do Betara. Em megascale são as grandes estruturas (Antiforma do Betara, a Sinforma de Pombas e a Antiforma do Rio do Salto), que caracterizam o padrão dobrado megascópico que caracterizadas pelas lineações Lb_{n+1} , observadas em afloramento através de dobras parasitas (Foto 21).

Os eixos de Lb_{n+1} apresentam um caimento variado ora para NE ora para SW, normalmente com baixos valores (entre

10° e 30°), podendo ocorrer, esporadicamente, caimentos mais altos (Figura 30).

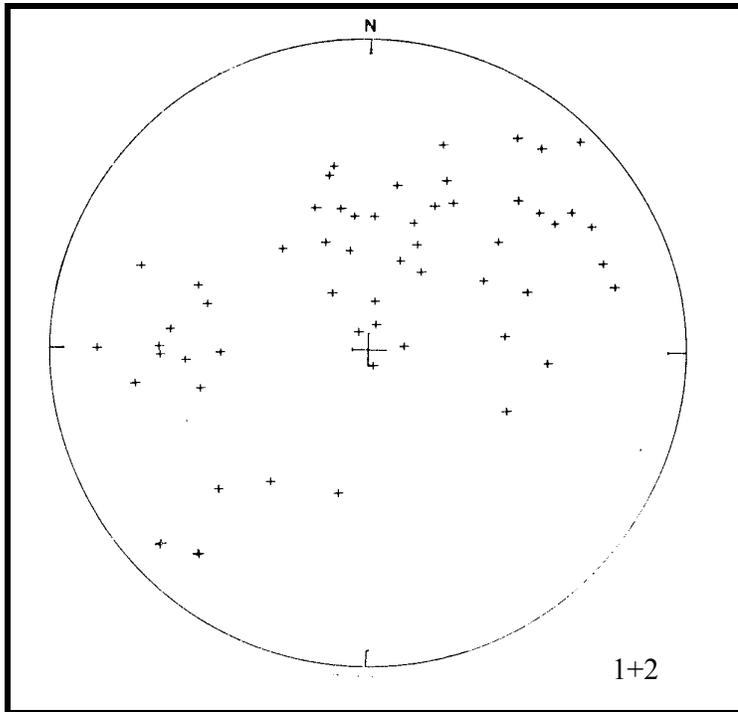


FIG. 27: Estereogramas de Eixos de Dobras (Lbn, Lbn+1 e Lbn+2) da Formação Betara (ver Anexo 5).

- 56 atitudes de Eixos
- Hemisfério inferior da Rede de Schimdt

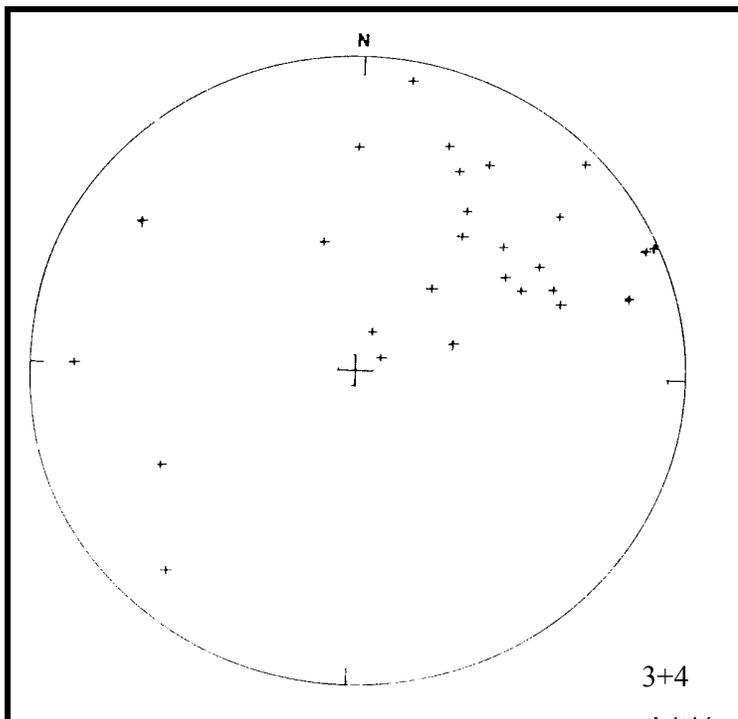


FIG. 28: Estereogramas de Eixos de Dobras (Lbn) da porção sul da Antiforma do Betara (Complexo Meia Lua e Sinforma de Pombas - Anexo 5).

- 26 atitudes de Eixos
- Hemisfério inferior da Rede de Schimdt

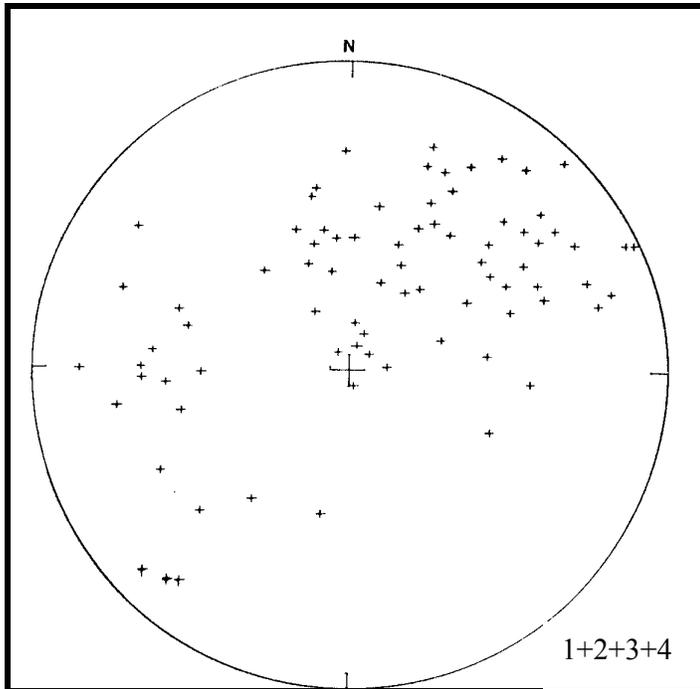


FIG. 29: Estereograma de Eixos de Dobras (Lbn, Lbn+1 e Lbn+2) total da Antiforma do Betara (ver Anexo 5).

- 02 atitudes de Eixos
- Hemisfério inferior da Rede de Schimdt

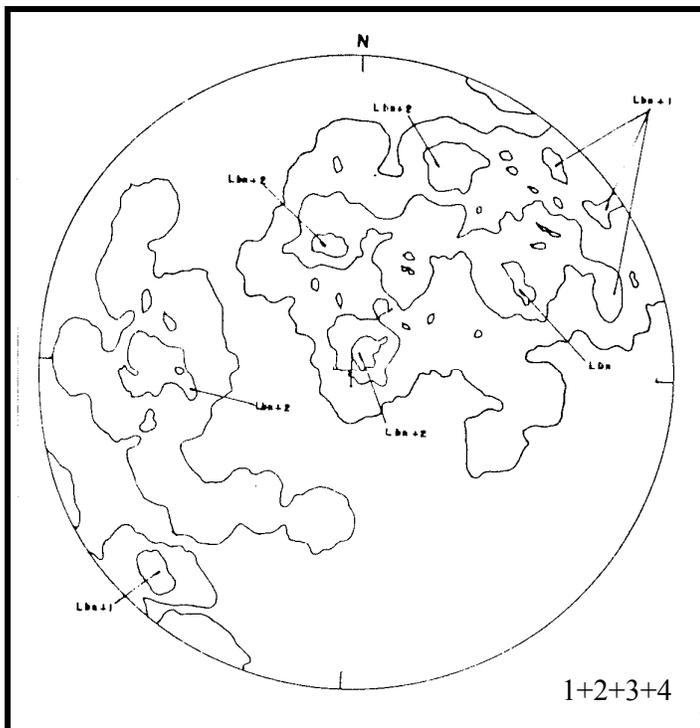


FIG. 30: Estereograma de Eixos de Dobras total da Antiforma do Betara, analisado através dos máximos. Interpretou-se que nos quadrantes NE e SW, as atitudes são de Lbn+1 e subparalelamente Lbn. As tendências de atitudes próximas a norte e no eixo E-W as atitudes são relacionadas a Lbn+2.

- 82 atitudes de Eixos
- Hemisfério inferior da Rede de Schimdt

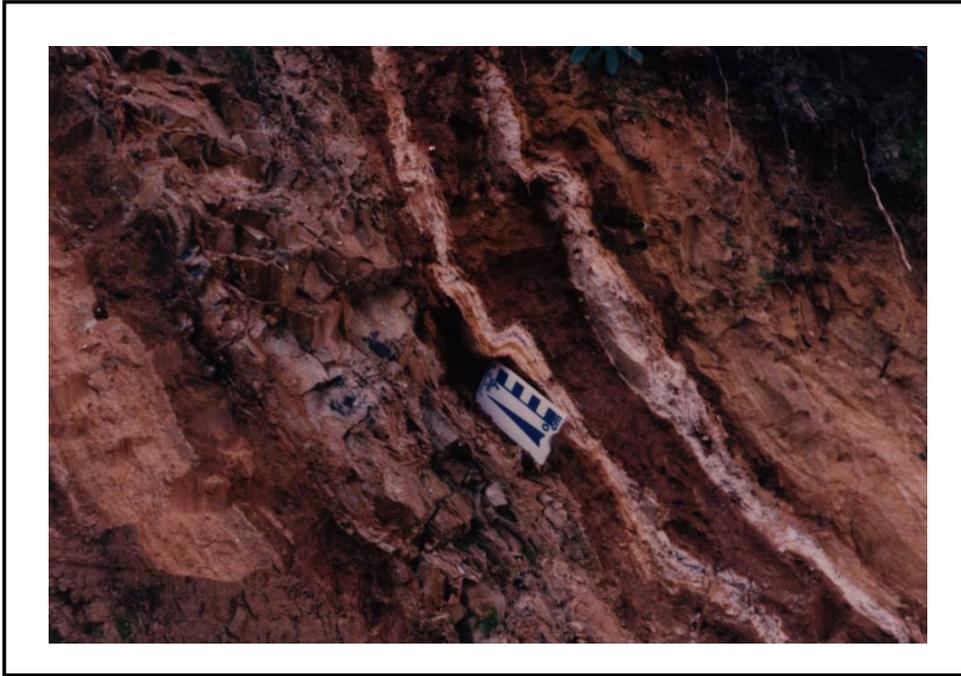


FOTO 21: Dobras D+1, parasitas, relacionadas ao sistema Fn+1, observadas nos flancos da Antiforma do Betara, no Complexo Meia Lua.
(Afloramento na parede. Pto. E-123)

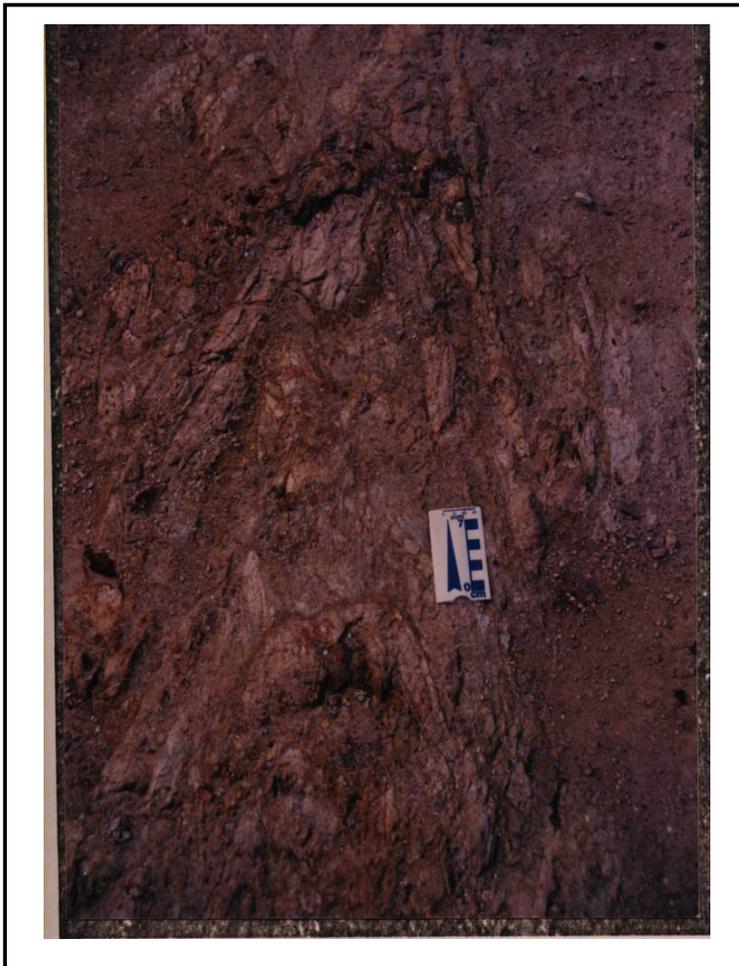


FOTO 22: Dobramento Dn+2 do sistema Fn+2, com eixo em alto ângulo de mergulho, quase vertical, afetando milonitos da zona de cisalhamento Lancinha – Cubatão na localidade de Pombas. (Pto. E – 126)

As estruturas relacionadas às lineações Lb_{n+2} são de três tipos, ligadas geneticamente ao sistema transcorrente: dobras de arrasto, crenulações e dobras "en échelon".

As dobras de arrasto são observadas a nível macroscópico apenas na zona de cisalhamento, apresentando normalmente eixos com altos ângulos de caimento e tamanhos métricos a decimétricos (Foto 23).

As crenulações variam de milimétricas a decimétricas, podendo ocorrer ondulações métricas localizadas e afetando a foliação S_n . As atitudes dos eixos destas dobras são variáveis, caindo em quadrantes opostos.

Esta feição é observada de maneira não penetrativa, principalmente nos xistos e porções pelíticas da Formação Betara. A crenulação é fina, determinando um plano foliar definido e fatiando esparsamente a rocha.

São observadas onde a deformação de baixo ângulo foi pouco intensa, não possibilitando o desenvolvimento da transposição e conseqüente geração dos planos de S_{n+2} .

As dobras "en échelon" são as mais representativas do sistema deformacional transcorrente na área. Estão caracterizadas, em parte, pela inflexão do Núcleo Betara, e pelo arqueamento da estrutura como um todo. Nas Figuras 29 e 30, há concentração de eixos plotados no sentido norte. Supõe-se que os mesmos sejam resultado da deformação transcorrente. No mapa geológico (Anexo 1) é clara a ocorrência de dobras "en échelon" afetando a estrutura com um todo. Também as concentrações para W podem ser resultantes de reativações tardias da transcorrência.

5.8 Clivagem de Fraturas e Juntas

As observações de campo no Núcleo Betara permitiram a identificação de diversas famílias de fraturas, sendo as mais frequentes de direção NW-SE e NE-SW.



FOTO 23: Cisalhamento rúptil em mármore da Formação Betara, deslocando camada de xisto intercalado. Este fraturamento é decorrente do sistema Fn+1. Pelo modelo de Riedel esta fratura seria o cisalhamento R', antitético em relação ao cisalhamento transcorrente principal. (Afloramento no chão. - Pto. E - 75)

Correspondem, na realidade, a diaclasamentos ocorridos nos diversos tipos litológicos, principalmente naquelas mais competentes, sem a geração de minerais recristalizados em seus planos.

O padrão de direção NW-SE, coincide com as fraturas nas quais houve intrusão dos diques de diabásio e apresentam uma maior regularidade, criando macrolitons espaçados decimétricos a centimétricos. São geralmente

retilíneos e posteriores às clivagens de crenulação direcionadas para NE-SW.

Há dispersão nas direções dos planos das mesmas, porém com maiores concentrações NW-SE e NE-SW.

Pelo modelo de Riedel, se observou que famílias de fraturas, como as que são observadas na Foto 23, correspondem à direção 'T' ou à direção 'R' do mesmo, estando ligadas geneticamente ao movimento transcorrente. Isto foi devido estas fraturas, antitéticas ao movimento principal do cisalhamento.

5.9 Indicadores do Sentido de Movimento

Na realidade os indicadores do sentido de movimento são as macroestruturas descritas anteriormente, com características que indicam uma movimentação relativa das mesmas em relação ao meio que estão inseridas. Esta indicação de movimento, por sua vez, deve espelhar a movimentação generalizada sofrida pelo pacote a nível local.

Assim, seguros indicadores da direção de movimento para os sistemas não-coaxiais, respectivamente de baixo e alto ângulo, foram observados nos diversos litotipos, tanto da Formação Betara quanto do Complexo Meia Lua.

As lineações minerais como um todo, indicam a direção do movimento, porém geralmente não fornecem o sentido do transporte tectônico local. Em função disto estas estruturas foram tomadas apenas como base da movimentação geral. As estruturas que foram anotadas como indicativas do sentido de transporte, foram dobras-falhas ou de arrasto, sombras de pressão assimétricas, superfícies miloníticas do

tipo S-C e deslocamentos diferenciais de pequenas zonas de cisalhamento (ver Fotos 10, 12, 15, 16, 17, 18,19 e 20, neste capítulo).

O Anexo 4 resume as ocorrências mais significativas de elementos que caracterizam a movimentação dos pacotes. Em relação As zonas de cisalhamento de baixo ângulo, a deformação finita foi interpretada como apresentando um transporte tectônico de NW para SE, ou W para E.

Em relação à zona de cisalhamento transcorrente, os indicadores de transporte sugerem uma movimentação principal dextral, onde o bloco N se deslocou para NE e o bloco S para SW.

CAPÍTULO 6

GEOMETRIA DAS MEGAESTRUTURAS DA ÁREA

6.1 Zona de Cisalhamento Betara

A Zona de cisalhamento Betara (Z.C. Betara), limita o núcleo homônimo na sua porção oeste, colocando-o em contato com os filitos metassedimentares da Formação Votuverava. Apresenta um traçado curvilíneo, com uma grosseira disposição segundo a direção NNE desde a porção sul do Núcleo até a porção central da área, onde se inflete na direção de Rio Branco do Sul desaparecendo de encontro à Zona de Cisalhamento Transcorrente Lancinha-Cubatão.

O mergulho está voltado para NW, com valores médios em torno de 60° e 70° . Esta Z.C., representa uma região de concentração da deformação e provoca truncamentos de camadas de quartzitos, gnaisses, metabasitos, mármore, xistos e quartzitos hematíticos do Núcleo Betara. Define uma zona de deslocamento diferencial, onde o pacote choso da Formação Votuverava cavalgou sobre o conjunto litológico do Complexo Meia Lua e também sobre a Formação Betara, através de uma possível descontinuidade deposicional pré-existente.

A Z.C. Betara foi considerada o lineamento que demarca um cavalgamento por apresentar estruturas compatíveis com este tipo de movimentação; descritas a seguir:

a. frequência das lineações do tipo "a" caindo concordantemente com os mergulhos dos planos de foliação, isto é, para NW;

b. foliação S_n , com características de intenso cisalhamento não-coaxial, dúctil, com desenvolvimento de milonitos (ou filonitos quando se trata de pelitos);

c. fatiamento bastante forte nas litologs mais pelíticas;

d. interdigitação tectônica bem visível de diferentes litotipos, tais como gnaisses, quartzitos e anfibolitos (r Foto 24).

Esta zona é a maior estrutura, na área, gerada pelo sistema de deformação não-coaxial, cuja natureza dúctil a dúctil-rúptil é decorree da movimentação tangencial ou de baixo ângulo.

A expressão da Z.C. Betara, na superfície, apresenta um mergulho relativamente alto. Esta característica estrutural pode ter sido ocasionada pelo virgato geral do Núcleo, que empinou estruturas originalmente de baixo e médios ângulos, relacionado aos dobramentos de ocorrência tardia aos cavalgamentos e, em parte, ao sistema transcorrente posterior.

Além do virgamento, o movimento transcorrente rotacionou as estruturas, tais como os indicadores cinemáticos, geradas nos locais onde se concentra a deformação.

Deste modo o sentido NW para SE (Figura 25), para o transporte tectônico dos cavalgamentos (ver Anexo 4), com base nestes indicadores, deveria ser originalmente de W para E, ou próximo a este azimute.

Neste sentido, se observa e campo o resultado de uma deformação finita, como consequência de movimentos diferenciados, porém possivelmente ligados ao mesmo processo tectônico.

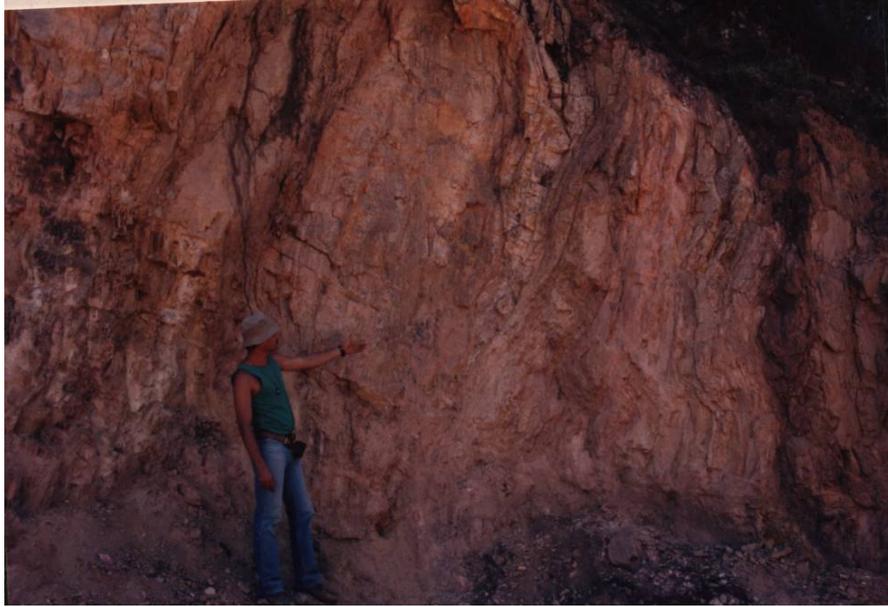


FOTO 24: Forte lenticularização do pacote, resultando na interdigitação tectônica de quartzitos e gnaisses na Zona de Cisalhamento Betara, devido a deformação imposta pelo sistema Fn. Há mudanças de atitude da foliação Sn, dependendo da intensidade da deformação Complexo Meia Lua (Pto. E - 139).



FOTO 25: Cavalgamento em gnaisses do Complexo Meia Lua. Neste caso ocorrem pacotes quartzo-feldspáticos sobre anfibolito xistos. Na parte superior da zona cavalgada a estrutura duplex é caracterizada pela repetição dos estratos quartzo-feldspáticos. As setas indicam o sentido de movimento relativo (afloramento na parede Pto. E - 157).

6.2 A Zona de Cisalhamento Transcorrente Lancinha - Cubatão

A denominação, aqui adotada, para a estrutura corriqueiramente designada de "Falha da Lancinha", teve por objetivo a adequação da terminologia empregada para designar este lineamento, cuja expressão é continental.

HASUI (1.986) já havia sugerido que o Lineamento Lancinha fosse uma zona de cisalhamento de alto ângulo e FASSBINDER (1.990), ao detalhar partes desta estrutura, corroborou com esta caracterização.

Na área estudada esta zona de cisalhamento é a estrutura tectônica maior, colocando em contato na porção sul-sudeste os pacotes litológicos do Núcleo Betara com a Formação Capiuru (Grupo Açungui).

Está orientada segundo uma direção média de $n 50^{\circ} - 55^{\circ} E$, com traçado aproximadamente retilíneo, em consequência de seu mergulho vertical a sub - vertical. Sua expressão morfológica consiste em uma depressão linear, ramificada em vários traçados paralelos entre si, na porção nordeste da área. Mais ao sul, tais traçados se unem e se afastam sucessivamente determinando uma zona lateral de cisalhamento relativamente extensa, podendo chegar a centenas de metros.

Produz lenticularização marcante das rochas, observável desde a escala microscópica e macroscópica até a megascópica. Os critérios adotados para a determinação do sentido de movimento foram marcadores macroscópicos a nível de afloramentos tais como dobras de arrasto, boudins e feições cataclásticas deslocadas.

Também se observa indicadores esparsos de movimentação sinistrógira, relacionadas à uma reativação dos movimentos transcorrentes.



FOTO 26: Desenvolvimento de "gashes" na Zona de Cisalhamento Lancinha-Cubatão. Estrutura típica de zonas de cisalhamento não coaxial, que neste caso foram geradas pelo sistema F_{n+2} . Formação Betara (Pto. E - 123). As setas indicam o sentido de movimento relativo.

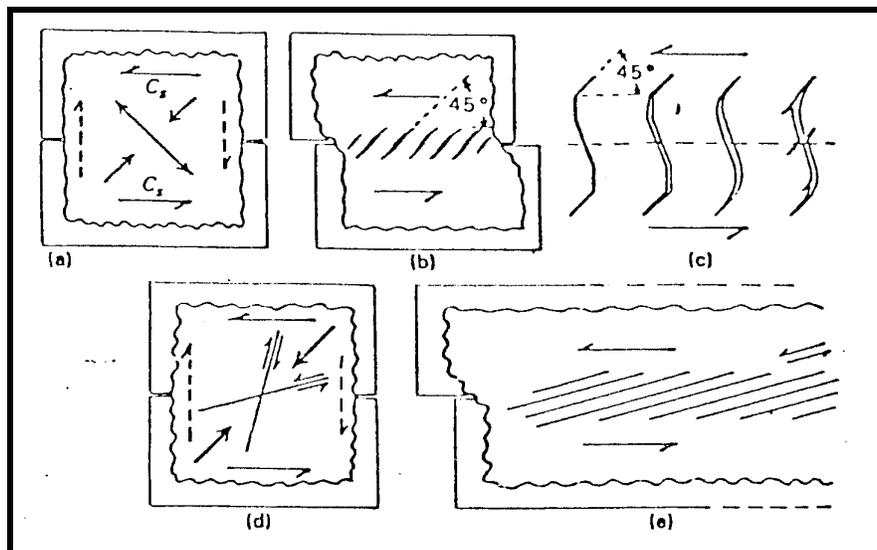


FIG. 31: Experimento de Riedel, exemplificando o desenvolvimento de fraturas e "gashes", tal como observado na Foto 33. Notar que o movimento relativo é contrário a forma em "S" da estrutura. Segundo WILSON (1.982).

A Foto 26, analisada à luz do experimento de Riedel, esquematizada por Wilson (1. 982) na figura 31, demonstra que os "gashes" observados, se gerados pela transcorrência são oriundos de uma movimentação lateral esquerda, diferente portanto da movimentação direcional desta zona de cisalhamento. Isto confirmaria a reativação anti - horária do movimento transcorrente em dado período de sua evolução tectônica.

Na zona de cisalhamento ocorrem produtos de deformação finita de natureza rúptil, isto é, brechas, protocataclasitos, cataclasitos e intenso fraturamento, com cominuição das rochas.

Não raro, porém, são observados protomilonitos associados aos cataclasitos, evidenciando a natureza, em parte dúctil das rochas desta zona de cisalhamento.

Foram identificadas, próximas à localidade de Pombas feições eminentemente plásticas, em rochas quartzo-feldspáticas, tais como percolação de fluidos, lenticularizações e cisalhamento exclusivamente dúcteis, ligados ao movimento transcorrente, corroborando com observações de FASSBINDER (1.990).

Estas zonas de cisalhamento de alto ângulo, podem ser confundidas com aquelas formadas por evento deformacional anterior ou "cedotectônico", devido à morfologia dos planos, estruturalmente semelhantes. Todavia, é normal que estes planos seccionem estruturas pré-existentes, tais como dobras intrafoliares e a própria superfície S_n .

Os planos de cisalhamento formados pela transcorrência são as superfícies S_{n-2} , cujas atitudes médias estão em torno de N 40° E/ 70° NW. Igualmente estas características foram em profundidade, através de testemunhos de sondagem do pacote carbonato-silicatado, posicionando sobre os quartzitos próximos à localidade do Betara.

Nos planos de cisalhamento foram observados estiramentos minerais, em metassedimentos e metavulcânicas da Formação Betara e ortognaisses do Complexo Meia Lua, produzido pela movimentação direcional, os quais apresentam baixo caimento em relação ao referencial horizontal. As atitudes médias do estiramento na área de Pombas, estão em torno de N 30° /10° e N 225° /05°.

6.3 A Estrutura Antiformal do Betara

O Núcleo Betara é uma estrutura de comportamento misto: ao sul ocorre como uma antiforma aberta com flancos normais e leve vergência para SE, ao passo que na porção nordeste se encontra progressivamente mais fechada e até cerrada, com flancos mergulhando para NW (o flanco oriental se encontra invertido) e vergência mais acentuada para SE.

Este comportamento sugere que a porção setentrional do Núcleo, principalmente onde se encontra a Formação Betara, está afetada ou por um redobramento devido ao arqueamento posterior dado pela transcorrência, ou por ter sofrido mais intensamente os efeitos do sistema de deformação que gerou a própria megantiforma.

A estrutura, no conjunto, se comporta como um anticlinório com planos de foliação dobrados, mergulhando ora para NW ora para SE em toda a extensão lateral do Núcleo. Através da análise de estereogramas, observou-se que o caimento médio do eixo virtual apresenta valores entre 10° e 20°, direções entre N 40° -50° E. As interpretações sugerem que os eixos estejam ondulados, podendo apresentar caimentos para SW também (ver Anexo 5) e

também em direção N-S, como resultado do próprio movimento transcorrente.

Eixos com esta tendência, plotados em estereograma confirmam esta ondulação. Sugere-se que a mesma seja o resultado das dobras "en échelon" já citadas anteriormente.

No interior do Núcleo Betara ocorre o sinforme de Pombas. Trata-se de um estruturação localizada na porção sul-sudeste e com dimensões reduzidas em relação ao próprio Núcleo, compondo parte do anticlinório do Betara.

A dobra é fechada, com leve vergência estrutural para SE e eixo caindo para NW. Também se encontra ondulada, obedecendo às mesmas características do Núcleo como um todo. "Sinforma de Pombas" é denominação informal, servindo apenas para melhor referência geográfica da estrutura.

A "Antiforma do Rio do Salto", também de nome informal, é a terceira estrutura de dobramento relevante na área mapeada e se encontra imediatamente a WNW do Núcleo Betara, na Formação Votuverava. Apresenta a forma de um "V" aberto, com fechamento voltado para nordeste e traço axial irregular, mostrando-se suavemente ondulado e direção aproximada de N 45° E.

Tanto a Sinforma de Pombas quanto a Antiforma do Rio do Salto estão ligadas aos mesmos eventos que estruturam a própria Antiforma do Betara.

CAPITULO 7

TECTÔNICA LOCAL

7.1 Aspectos Gerais

A análise do comportamento dos elementos estruturais, da interdependência entre os mesmos e de sua relação com o substrato rochoso onde ocorrem, permitiu a caracterização dos sistemas deformacionais (F), que agiram no Núcleo Betara. Como consequência, foi possível a interpretação da geometria e da cinemática individual destes sistemas, bem como a relação cronológica entre os mesmos (Figura 33 e Quadro 06).

O objetivo foi traçar o quadro tectônico evolutivo para a área e relacioná-lo a estudos regionais mais abrangentes.

Pelo menos três sistemas deformacionais foram definidos, através de padrões geométricos específicos.

O conceito de "Sistema" aqui utilizado, caracteriza um conjunto de deformações evoluídas progressivamente a partir de um único evento geotectônico. Cada sistema deformacional, ligado à esse evento, impõe uma estruturação particular, devido às mudanças geométricas progressivas dos eixos de esforços aplicados. Essa mudança, por sua vez, implica na ocorrência de diferentes respostas físicas do substrato.

A evolução de um sistema a partir do outro é, quando possível, abordada através das implicações tectônicas intermediárias.

	Simbologia Evento De-fo- rmativo (Caracter.)	Superfície Característica	Características	Lineação	Característica	Eixos	Característica	Eventos Metamórficos	Característica	Direção de Transporte	Estrutura	
SISTEMA TRANSFORMANTE	F ₁₀₁₂ Cisalhamento não-coaxial localizado na zona de transcorrência	S ₁₀₁₂ Par S-C ?	Lenticular	L ₁₀₁₂	Caimentos baixos para NE direção NE-SW	Lb ₁₀₁₂ (dobras DN)	Dobras "em echelon"	N ₁₀₁₂	Xisto Verde (zona da clorita) aspecto local da zona de cisalhamento transcorrente	Dextral (bloco noroeste se deslocou para NE, bloco sudeste se deslocou para SW), na posterior reativação sinistral em pequenos pulsos.	ZONAL ANCIENCHA CUBATAITO	
			Ruptil-ductil a ruptil									
			Alto ângulo									
			Heterogênea									
			Protomilonítica									
Direção NE-SW com mergulho subvertical a vertical	Ocorrência na Zona transcorrente	Estilos Variados										
Recristalização/Estiramento	Associadas a transcorrência											
	Visível na zona transcorrente											
SISTEMA DNE DR OMBE RD AL MA ER NI TO	Fu+1 Coaxialidade local no Núcleo Betara	SN+1 (?) Incipiente foliação plano-axial	Pouco representativa	(?)	(?)	LbN+1 (dobras DN+1)	Dobras abertas a fechadas	(?)	(?)	Vergencia Para SE	ANTI-FORMA DO BETARA	
			Visível em algumas dobras que afetam a superfície SN, sem transposição				Eixos subhorizontais de direção NE-SW, com caimentos tanto para NE quanto para SW					
			Mesmo "trend" da superfície SN				Dobras com raiz					
SISTEMA CAVALGAMENTO	FN Cisalhamento não coaxial, pervasivo em todo o Núcleo Betara	S _N Par S-C	Lenticular	L _N	Caimentos médios a altos para NW ou W	L _{DN} (dobras D _N)	Dobras de estilos variados	M _N	Xisto verde (zona da clorita) produto de retrometamorfismo, pervasivo por toda a área	Cavalgamento de NW ou de W para E	ZONA DE CAVALGAMENTO	
			Ductil a ductil -ruptil				Dobras de cisalhamento, intrafoliares, dobras falhas, sem raiz (fechadas e isoclinais)					
			Baixo ângulo progressivamente empinada				Direção W-E a NW-SE, posteriormente rotacionada para NE-SW					
			Heterogênea				Ocorrência em zonas de maior concentração da deformação					
			Milonítica a protomilonítica				Quartzo-ribbon recristalização, estiramento e achatamento					
	Direção dos planos NE-SW e mergulho para NW		Direção do eixo NE-SW, (quando há enbaixamento, eixo esta para E-W)									
	Mais visível em zonas de concentração da deformação -cavalgamento		Caimentos tanto para NE quanto para SW									
	Pulsos Iniciais do cisalhamento de baixo ângulo	S _{N-1} Preservada em locais de baixa deformação	(?)	Lenticular	(?)	Rotação Antitéticas das Granadas	(?)	(?)	M _{N-1}	Xisto verde (zona da biotita) anfibolito (zona da estaurolita), ocorrência em locais preservados	(?)	BETARA
				Ductil(?)								
				Heterogênea								
Milonítica												
"Trend" (?)												

QUADRO 06: Sinopse da tectônica atuante na região do Núcleo Betara.

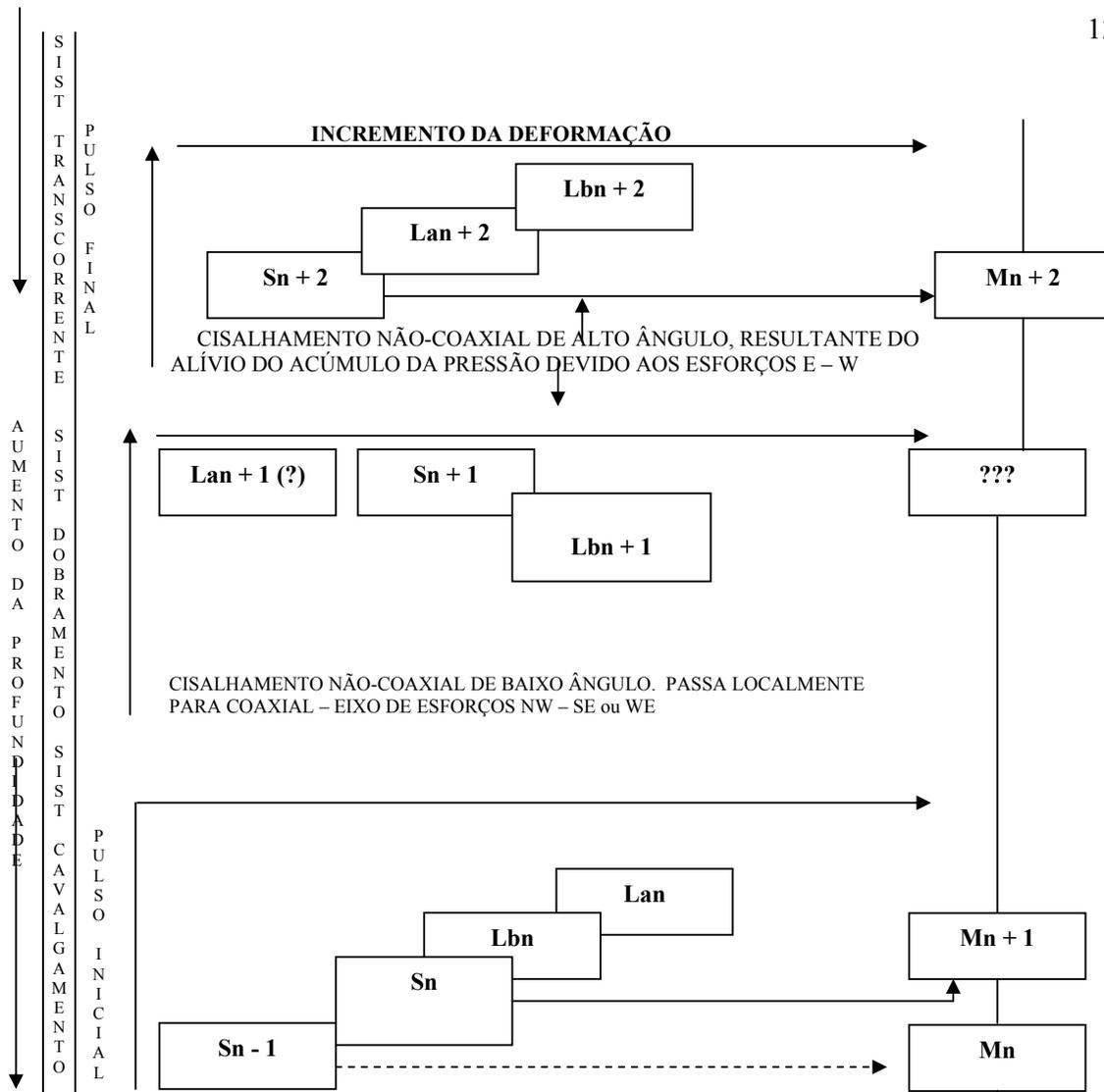


FIG. 32: Relação entre os eventos de deformação e as principais estruturas geradas, com uma conotação de progressividade entre estas. O grau metamórfico também muda em relação a profundidade, bem como o grau de deformação. O Quadro mostra igualmente uma cronologia relativa entre o aparecimento da estrutura. Aquelas sobrepostas são as mais marcantes, em relação ao seu sistema de deformação.

7.2 Os Sistemas Deformacionais

7.2.1 Sistema F_n : Os Cavalgamentos

É representado pela tectônica tangencial não-coaxial de baixo ângulo. Acha-se bem caracterizado nos pacotes litológicos tanto da Formação Betara, quanto do Complexo Meia Lua, sendo mais conspícuo neste. É relativamente menos acentuado nas formações Votuverava e Capiçu, na região.

Postula-se aqui, que a diferença no grau de deformação finita entre as unidades acima descritas, é diretamente relacionada à sua localização na bacia sedimentar. Como as rochas da Formação Betara e do Complexo Meia Lua, deveriam estar posicionadas em profundidades maiores, sofreram transformações estruturais e metamórficas, igualmente maiores (com base em LUCAS 1.990).

O cisalhamento aconteceu em regime dúctil, em sua maior expressão, comprovado pela milonitização generalizada dos litotipos e da recristalização mineralógica nos mesmos. Ocorreu uma paraloctonia dos estratos metassedimentares e metavulcânicos da Formação Betara, e imbricamente tectônico de paragneisses, quartzitos e xistos clásticos no Complexo Meia Lua. As zonas de cisalhamento e/ou miloníticas são demarcadas, em campo, por regiões onde há concentração da deformação.

A deformação finita relativa ao sistema F_n está ligada ao metamorfismo retrógrado da fácies xisto verde (zona da clorita). Em seus pulsos iniciais, contudo, o metamorfismo ocorrido nas rochas mais profundas da bacia, onde os pacotes metavulcâno-sedimentares foram formados, atingiu a fácies anfíbolito, zona da almandina.

O registro cinemático, obtido através de lineações e outros indicadores, forneceu a direção média NW-SE do transporte tectônico. Por outro lado, algumas indicações possibilitaram a determinação do sentido de transporte, como pode ser observado no Anexo 4, estimando-se que os pacotes litológicos encontrados no Núcleo Betara se moveram de NW para SE ou aproximadamente de W para E.

É importante observar que os indicadores de movimento, se encontram na atual posição graças ao último incremento da deformação, ou seja, estão representando a deformação finita de sistemas superimpostos ao F_n , podendo haver alguma variação na direção de transporte, observados nos elementos de deformação finita, tais como lineações minerais.

O último incremento é caracterizado pela rotação dos marcadores de sentido de transporte tectônico e respectivos planos de foliação, com deslocamento de sua posição original. Isto é visualizado na interpretação dada ao estereograma da Figura 25, onde se observou que as lineações apresentando máximos em diversos quadrantes pode ser o resultado de incrementos posteriores da deformação ligadas aos sistemas F_{n+1} e F_{n+2} . Tal aspecto é igualmente observado no estereograma da Figura 16, quando se trata dos planos de foliação.

A geometria apresentada pelos cavalgamentos foi interpretada como a de um duplex (Figura 34). Na área é sugestiva a ocorrência de empilhamento de estratos obedecendo, aproximadamente a forma de uma "pilha antiformal" ou "antiformal stack" (Figuras 35 e 36), segundo o modelo de BOYER & ELLIOT (1.982) e MITRA (1.986). Modelos de duplex para o Grupo Açungui e Complexo Setuva foram indicados por FIORI (1.985, 1.987 e 1.991) para explicar a geometria da Bacia Açungui, no Proterozóico Paranaense (Ciclo Brasileiro).

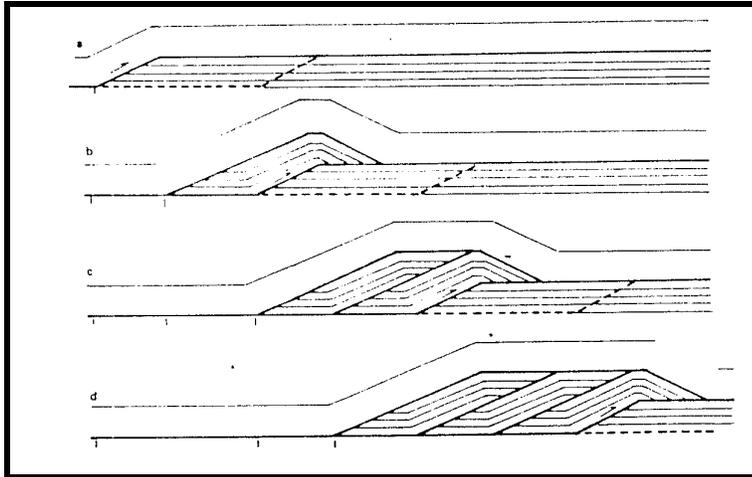


FIG. 33: Duplex de BOYER & ELLIOT (1.982). Notar o conseqüente acúmulo de massas no estágio final, facilitando a evolução do conjunto, num dado momento, através de dobramentos.

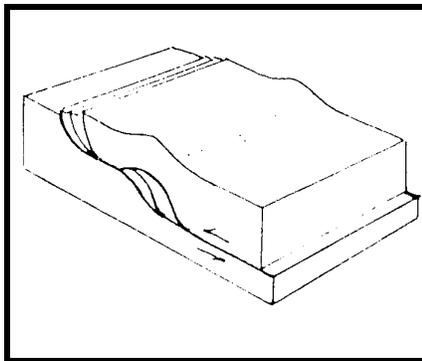


FIG. 34: Exemplo de acomodação através de duplex de um sistema de cavalgamento. Segundo WOOSCOCK & FISCHER (1.989)

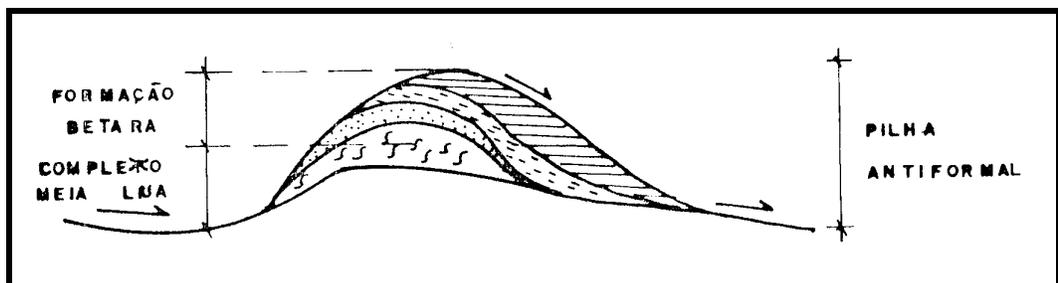


FIG. 35: Esquema demonstrando uma provável arquitetura para o duplex atuante no Núcleo Betara. Neste caso o arcabouço antiformal já criaria condições para a posterior formação da megantiforma.

No Núcleo Betara, o modelo de duplex é baseado nos seguintes dados:

a. há deslocamento diferencial entre os diversos pacotes litológicos e internos a eles, com forte lenticularização no contato entre os mesmos e milonitização neste locais (Formação Betara);

b. há imbricação tectônica a partir de lascas de diferentes litologias, gerando uma tectono-estratigrafia, na porção exposta do Complexo Meia Lua, não totalmente mapeável na escala proposta;

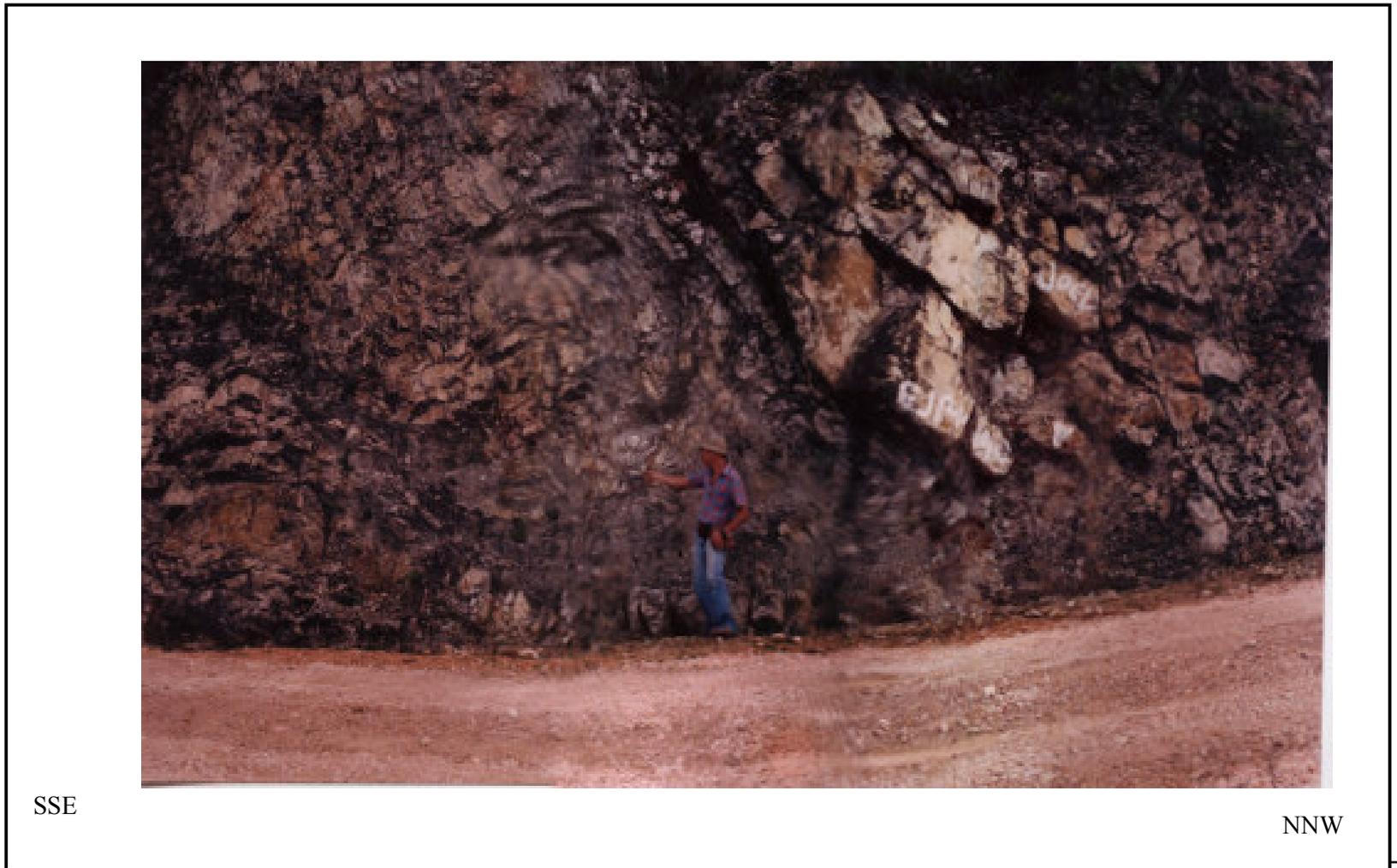
c. na Formação Betara, estratos de litologias semelhantes (xistos em geral, mármore e outros carbonatos ou filitos metassedimentares) posições lado a lado podem caracterizar repetições de camadas. Os quartzitos, também tiveram seus estratos duplicados, e esta repetição é representada por acamamentos com espessuras hectométricas a decamétricas (Fotos 27 e 29);

d. o padrão geral é lenticular dos litotipos ocorrentes no Núcleo Betara (ver Anexo 3), corroborando com a proposta da estruturação em "antiformal stack", visto que o resultado final destes pode ser uma geometria em forma de lentes;

e. constatação em afloramento, devido à repetição de camadas, de ocorrência de duplexes de escalas métricas a decamétricas, tanto na Formação Betara (Fotos 27 a 30) quanto no Complexo Meia Lua (Foto 26);

f. o Mapa Lito-Estrutural do Núcleo Betara mostra uma morfologia compatível com as áreas estruturadas por

duplexes. Isto é constatado pelas seções geológicas em diversos pontos do Núcleo.



FOTOS 27, 28 e 29: Cavalgamento de quartzitos da Formação Betara com estruturação em duplex. Há repetição das camadas maciças na porção superior do afloramento e lenticularização geral dos estratos cavalgados. Na porção inferior, o geólogo Luis Gaspar aponta um ápice de dobra, cujo flanco superior esta invertido devido as compressões geradas pelo sistema de deformação Fn.

O sistema, como um todo, controla a tectônica de baixo ângulo inicial, tanto dos pacotes da Formação Betara quanto os do Complexo Meia Lua, determinando uma aloctonia ou paraloctonia dos litotipos do primeiro e uma imbricação tectônica responsável pela estruturação do segundo.

Esta aloctonia é observada pela movimentação diferencial entre as litologias, caracterizada pela concentração da deformação nos contatos tectônicos entre os diversos tipos litológicos, gerando lineações de estiramento, feições de cisalhamento dúctil mais intensas e feições de interdigitação de diferentes estratos.

É responsável igualmente pela geração de outras zonas de cisalhamento (onde há concentração da deformação) de menor ordem tais como a que põe em contato os quartzitos basais da Formação Betara com os paragnaissees do Complexo Meia Lua; ou como a da estrutura sinformal próxima a localidade de Pombas.

O sistema F_n no Núcleo Betara, é o mesmo sistema característico denominado de Sistema de Cavalgamento Açungui por FIORI (1.987 c, 1.991) ao se referir ao sistema de deformação ocorrente nas Formações Capiiru e Votuverava. O "trend" estrutural é o mesmo, os produtos do cisalhamento nas rochas são semelhantes e a diferença observada no grau da deformação e metamórfico é explicada pelo posicionamento tectônico das unidades.



FOTO 30: Nos quartzitos da Formação Betara é comum a observação de superfície S-C geradas por cisalhamento dúctil-ruptil não coaxial. A superfície "S" apresenta uma agularidade de 30° com a superfície "C", que neste caso se encontra empinada e com atitude de N50 E/85NW. As setas indicam o sentido de movimento relativo. Nesta foto é possível a caracterização de pequenos duplexes gerados pelo sistema de deformação F_n e que posteriormente foram verticalizados. (Afloramento na parede Pto. E -14).

A análise estrutural efetivada no Núcleo Betara sugere que a superfície S_{n-1} ; a geração de paragêneses de grau metamórfico mais alto; as feições que caracterizam rotacionamento de minerais como a granada; e a maior intensidade do cisalhamento representem na verdade o pulso inicial do sistema de deformação F_n em rochas situadas numa posição inferior da bacia, representadas pelo conjunto metavulcânico - sedimentar e metassedimentar químico da Formação Betara, embasados pelos paragneisses do Complexo Meia Lua.

A idéia de um pulso inicial para o sistema F_n , que pode ser caracterizado com progressivo, já foi sugerida por HASUI (1.986) e EBERT et al. (1.988).

Isto posto não se considera a existência de um sistema de deformação anterior à F_n nas rochas do Complexo Setuva, sendo o mesmo correlacionável ao sistema de deformação que afetou o Grupo Açungui como um todo, já que as semelhanças tectônicas são mais conspícuas do que suas diferenças.

7.2.2 Sistema F_{n+1} : Dobramentos Intermediários - Uma Resultante Tectônica Coaxial?

FIORI et al (1.987 b) sugerem a existência de um sistema de dobramento regional, localizado temporalmente entre o sistema de cavalgamento e o sistema transcorrente. Para tal FIORI (1.991) reutilizou, com uma outra conotação, a designação de Sistema de Dobramento Apiaí, emprestada da literatura a partir de HASUI et al. (1.975). Relaciona ao mesmo as grandes dobras ocorrentes no Proterozóico Paranaense. EBERT et al (1.988) propugnaram que o mesmo estaria ligado a um regime compressivo atuante na direção

NW-SE, enquanto SOARES (1.987), sugere que as grandes estruturas dobradas estejam ligadas às faixas transcorrentes.

Na região do Núcleo Betara, ocorrem dobras de vários estilos, desde a escala microscópica. Normalmente os eixos estão orientados para NE-SW, porém com caimentos variados. Foram descritas dobras geradas pelo sistema de cavalgamento, normalmente localizadas próximas às zonas de cisalhamento ou onde há concentração da deformação. Igualmente, próximo à zona de cisalhamento transcorrente, foram observadas dobras e microdobras com eixos de alto ângulo de caimento.

As dobras, a nível de afloramento, apresentam estilos variados e normalmente a foliação S_n encontra-se afetada. As estruturas apresentam continuidade física na rocha (são dobras com raiz, em contraposição àquelas do sistema F_n). Esta estruturação é detectada nos estereogramas dos pólos de S_n , tanto no Complexo Meia Lua, quanto na Formação Betara, mostrando vergência para SE.

A megaeestrutura da Antiforma do Betara, e as outras dobras associadas (Sinforma de Pombas e Antiforma do Rio do Salto) revelam, por si só, a existência de forças plicativas exercidas sobre o Núcleo Betara.

A questão que se coloca, frente à caracterização da tectônica proveniente destes dobramentos intermediários (F_{n+1}), é se realmente ela constitui um sistema de deformação regional independente dos sistemas F_n e F_{n+2} .

Em trabalhos recentes sobre a evolução estrutural da região, é discutida a possibilidade dos dobramentos e/ou arqueamentos terem sido originados pelo sistema transcorrente, que por sua vez produziu dobras escalonadas megascópicas originando o Núcleo Betara em porções localizadas, através de dobras "en échelon". Porém a direção do eixo das megascópicas originando o Núcleo Betara não corresponde, pelo menos na sua porção nordeste, àquela

esperada de uma dobra desta natureza, resultante de uma estrutura com o "trend" da Z.C.T. Lancinha - Cubatão.

Isto só seria possível se se considerasse a diferença, entre a direção do eixo existente e a direção do eixo esperado de uma dobra "en échelon", como resultado da rotação dada pelo próprio movimento Transcorrente. Esta hipótese, no entanto, deve ser considerada com cuidado, visto que há uma concentração de eixos Lb para a direção aproximada N-S.

Os eixos Lb_{n+2} , por sua vez, direcionados aproximadamente no eixo N-S (ver Figura 30, Capítulo 5), poderiam ser considerados como representantes destas dobras "en échelon". Afetam a estrutura antiformal como um todo após ela já ter sido formada (Figura 36), acusando um redobramento das megaestruturas, tais como a Z.C.Betara.

Neste trabalho, outra possibilidade foi considerada para a evolução da Antiforma do Betara, ou seja a mudança local de regime tectônico de não-coaxial para coaxial, em resposta física ao acúmulo de massas através do empilhamento antiformal dado pela estruturação em dúplex e conseqüente aumento de resistência aos processos de deslocamento tangencial. EBERT et al.(1.988), sugeriram esta possibilidade para evolução das antiformas na região do Núcleo Perau.

Na área trabalhada esta hipótese encontra respaldo em micro e macroescala, a partir de dobras desenvolvidas sin e/ou tardiamente ao sistema de cavalgamentos.

Dados obtidos neste trabalho são sugestivos desta última possibilidade. Há uma concentração elevada de eixos Lb na direção NE-SW. Se esta geração de eixos for analisada num contexto exclusivamente de aplicação de forças, é possível deduzir que exista uma resultante física, compressional, de direção NW-SE, coincidente, portanto com as forças tangenciais que propiciaram os cavalgamentos iniciais e que produziram as dobras de cisalhamento.

Este é o motivo das dobras geradas devido aos movimentos cisalhantes não-coaxiais do sistema F_n apresentarem seu eixo coincidentemente na mesma direção e com o mesmo "trend" das dobras com raiz, geradas pelo sistema F_{n+1} , e que mais propriamente podem ser classificadas como "buckling", as quais empinaram os planos S_n e outras estruturas geradas pelo sistema F_n .

Entretanto, se considerada apenas a análise geométrica sem conotação genética é possível se referir aos dobramentos intermediários como um sistema deformacional (F_{n+1}) singular, com feições ligadas exclusivamente à uma compressão NW-SE.

Como no núcleo, a atuação dos esforços de tectônica tangencial e transcorrentes foram efetivos. Sugere-se, desta forma, que a estruturação antiformal tenha ocorrido devido à uma conjunção destes regimes.

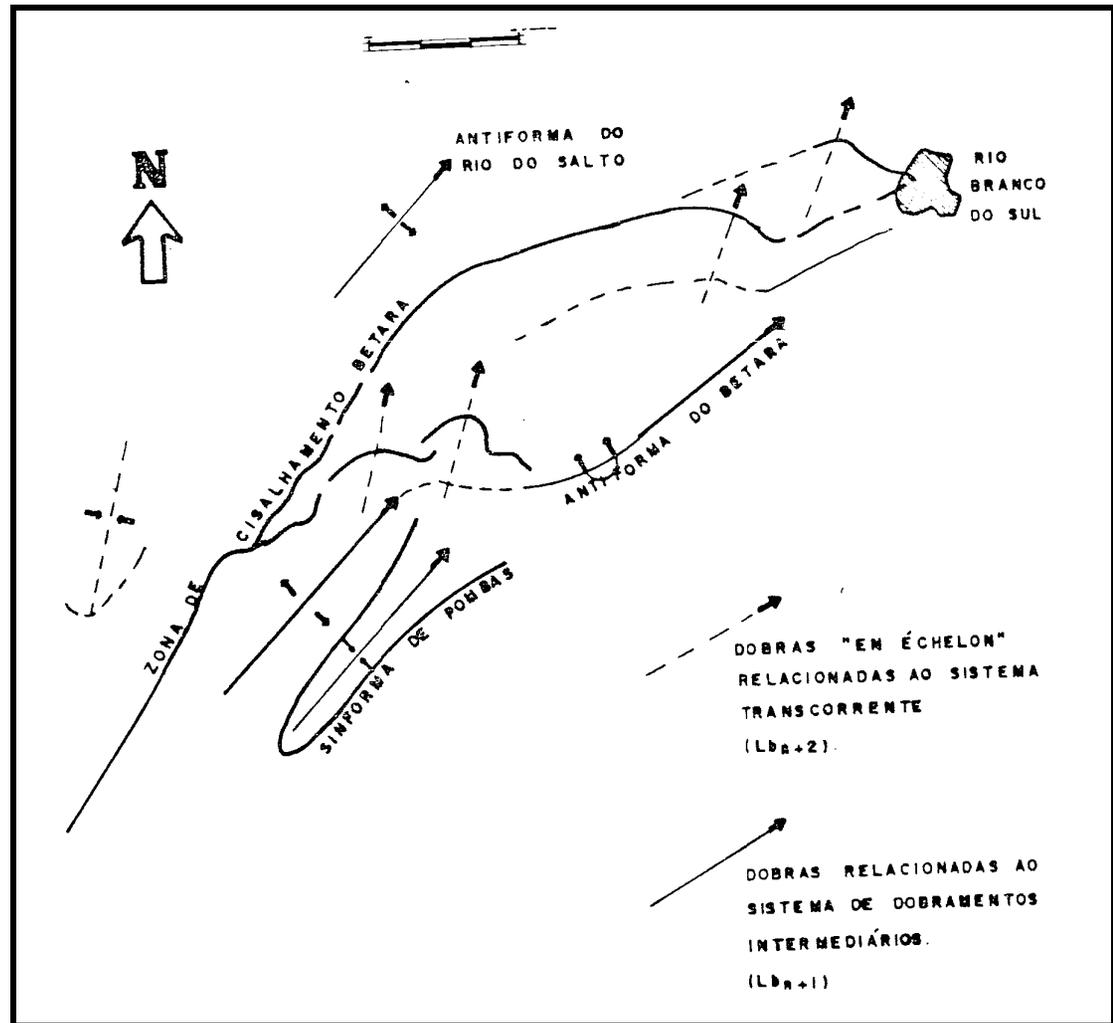


FIG. 36: Destaque do Mapa Tectônico do Núcleo Betara e adjacências, onde são observados os eixos das grandes dobras ocorrentes na área. Observar que a progressividade da movimentação propiciou um início de redobramento, já que o eixo da antiforma principal não se encontra em sua posição original. Junto aos traços axiais são observados os elipsóides de deformação, com eixos indicando direção de maior extensão e também a direção da resultante física da compressão.

7.2.3 Sistema F_{n+2}: Tectônica Transcorrente

O sistema transcorrente é representado na área pela "Zona de Cisalhamento Transcorrente Lancinha - Cubatão", que secciona o Núcleo Betara em sua porção oriental.

Apresenta-se com alto ângulo de mergulho e gera lineamentos direcionados para NE-SW.

É mais rúptil do que dúctil, porém ocorrendo feições dúcteis-rúpteis a nível local, principalmente nos litotipos do Complexo Meia Lua com geração de protomilonitos nos planos de cisalhamento. Nas rochas da Formação Betara, propiciou cataclasamento mais acentuado com brechação, microbrechação e cominuição.

O cisalhamento transcorrente provocou um metamorfismo da fácies xisto verde, nas porções milonitizadas, ligado à recristalização e reorientação mineralógica de quartzo e minerais micáceos.

Lateralmente esta zona de cisalhamento chega até a centenas de metros para o interior do Núcleo Betara, afetando os seus estratos em maior ou menor grau de forma heterogênea.

Em um contexto regional, o modelo de Riedel se aplica à Z.C. Lancinha - Cubatão, da forma como proposto por SYLVESTER (1.988) (Figura 37).

O sistema de deformação F_{n+2} não apenas gerou a mega estrutura Lancinha - Cubatão, cuja direção N50° -55°E coincide com as fraturas Y ou D do modelo de Riedel, mas também lineamentos Paralelos a subpararelos à mesma, dentro do Núcleo, caracterizados como estruturas sintéticas ao megalineamento.

Estes falhamentos sintéticos foram constatados, a nível de afloramento e fotogeologicamente, com maior ou menor expressão na área. São falhas que interceptam o lineamento maior da Z.C.T. Lancinha - Cubatão, com

angularidade variável, afetando indistintamente as litologias locais, e produzindo esmagamento e microbrechação das rochas, sendo este aspecto frequente nos quartizitos da Formação Betara e em parte das quartzo - feldspáticas, do Complexo Meia Lua.

Pelo modelo de Riedel estas sintéticas correspondem às são chamadas de fraturas de cisalhamento e são representadas pelas fraturas P, cuja direção no Núcleo Betara é $N30^{\circ} - 40^{\circ}E$ e/ou fraturas R, cuja direção é $N70^{\circ} - 80^{\circ}$ (Figura 38).

As falhas antitéticas são representadas por uma clivagem de fratura que gera microlitons relativamente bem espaçados entre si, sem desenvolvimento micáceo em seus planos de clivagem. Estas clivagens ocorrem nos vários tipos litológicos do Núcleo Betara. É possível que crenulações observadas localmente, bem como ondulações dos pacotes litológicos sejam também resultantes das falhas antitéticas associadas ao movimento transcorrente.

A família de fraturas antitéticas R ou conjugadas de Riedel, são demonstradas no "trend" de fraturas cuja a direção é $N40^{\circ} - 60^{\circ}W$, coincidente com a direção dos diques de diabásio ocorrentes na região. Como essas fraturas são de distensão, elas já apresentariam um requisito para o alojamento destes diques em tempos mais recentes. Da mesma forma, fraturas extensionais ou T, foram geradas e apresentam direção aproximada E-W.

As falhas sintéticas e antitéticas estão orientadas segundo a base física colocada no modelo de Riedel, ou seja cisalhamento transcorrente de alto ângulo.

Com a evolução e a continuidade da movimentação transcorrente principal, no entanto, as fraturas sintéticas, tendem a se paralelizar ao lineamento principal, direção Y ou D, enquanto que as antitéticas acentuam ainda mais seu ângulo de incidência, tendendo à ortogonalidade. Isto é bem exemplificado através do

diagrama de rosáceas da figura 38, onde o fraturamento Riedel, com certa variação angular de suas componentes, é bem caracterizado pelos elementos medidos em campo.

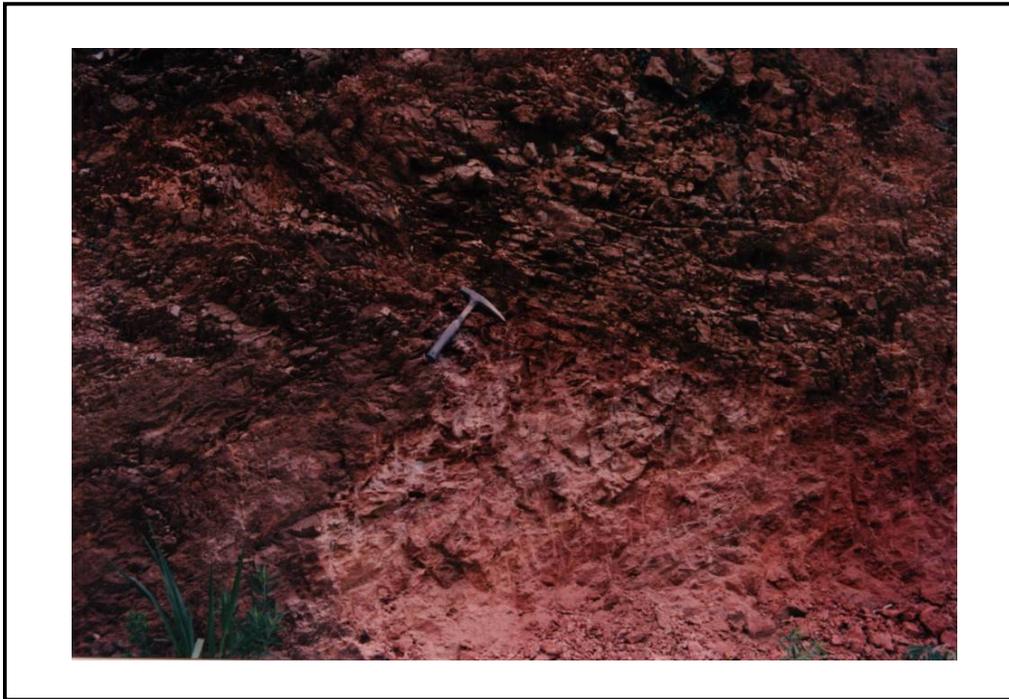


FOTO 31: Neste afloramento, no Complexo Meia Lua, na zona de cisalhamento transcorrente, e possível se observar a maioria das estruturas apontadas na Figura 37: a) Fraturas R; b) Fraturas de extensão e c) Falhas de empurrão. Estas últimas podem estar representando a natureza transpressiva da Zona de Cisalhamento Lancinha - Cubatão (Pto. E - 160).

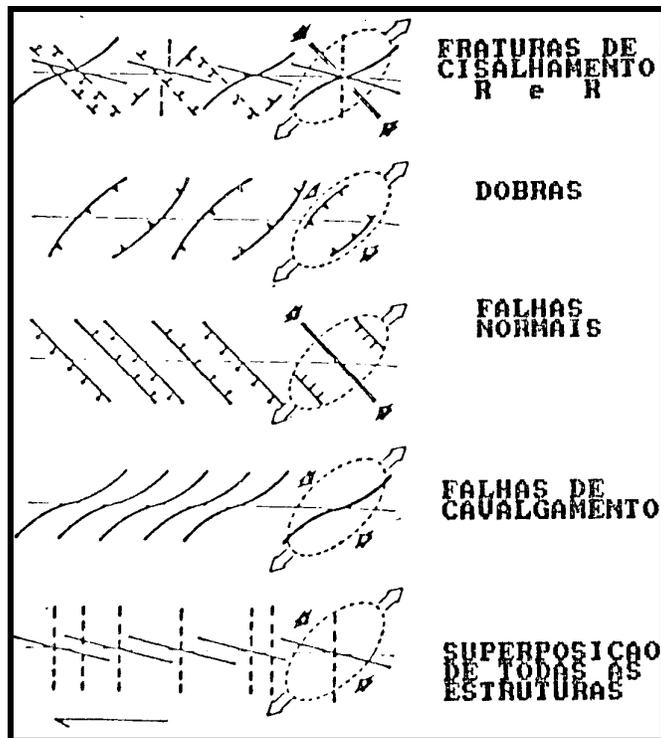


FIG. 37: Elementos estruturais gerados em uma zona transcorrente lateral direita, de acordo com a orientação do plano XZ do elipsóide de deformação. Fonte: SYLVESTER (1.988)

A movimentação principal do sistema foi dextrógira, tendo o bloco NNW se deslocado para NE e o bloco SE se deslocado para SW. Esta cinemática foi caracterizada partir da própria morfologia do Núcleo como um todo, através de fotointerpretação e no campo através de dobras de arrasto e lineações minerais.

Há, contudo, reativação do movimento da zona de cisalhamento em sentido inverso, ou seja deslocamento anti-horário dos blocos, gerando estruturas de distensão (ver Foto 29, Capítulo 6). FIORI (1.985), observou que diques de diabásio na zona de cisalhamento, estão deslocados levogirantemente devido a esta reversão de movimentos.

A geração teórica de estruturas secundárias, segundo este o modelo de Riedel, é compatível portanto, com a estruturação da zona de cisalhamento em questão, já que ocorrem dobras associadas, fraturas de extensão como os "gashes" e fraturas de cisalhamento.

As relações esquematizadas na Figura 38, provenientes da deformação gerada pela transcorrência, são na verdade uma representação do momento inicial da deformação. A continuidade da progressão do movimento transcorrente ocasionou rotacionamento das feições geradas anteriormente, e também daquelas estruturas, formadas pelos pulsos iniciais do próprio movimento transcorrente.

Próximas à localidade de Pombas, foram observada falhas inversas, ligadas ao movimento transcorrente (Foto 31). São falhas que produziram, cataclasamento das rochas afetadas, tais como quartzitos e gnaisses do Complexo Meia Lua. Mergulham para SE, com médios ângulos. Estas características são relativas a um movimento transcorrente - transpressivo (com base em SANDERSON & MARCHINI 1.984), que possivelmente ocorreu nesta zona de cisalhamento, como sugerido por EBERT et al (1.988) para a região do Núcleo Perau.

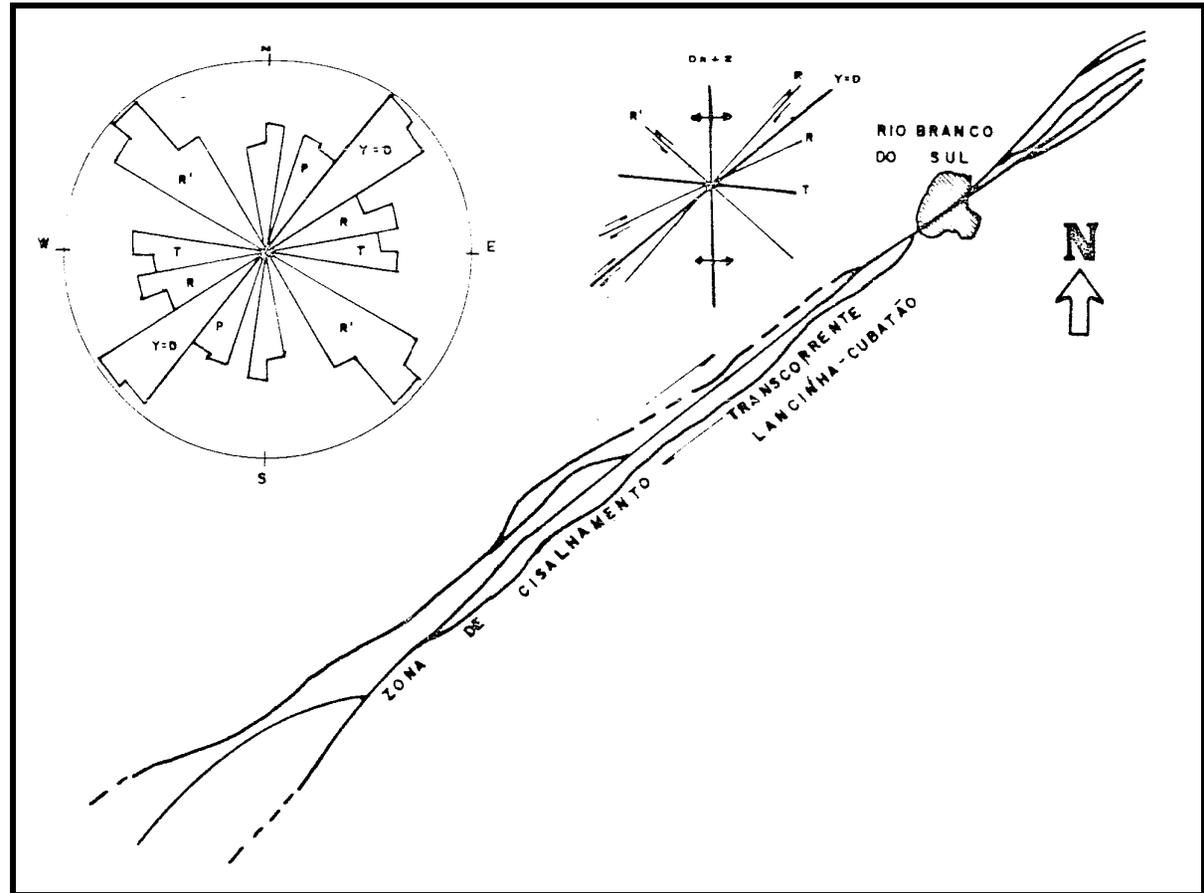


FIG. 38: Segmento da Z.C.T. Lancinha-Cubatão na região do Núcleo Betara. No elipsóide de deformação a direita se encontram elementos estruturais esperados em tais zonas de cisalhamento (segundo CHRISTIE-BLICK & BIDDLE (1.985)). No canto esquerdo superior, observa-se o diagrama de rosetas obtido a partir de 323 atitudes de fraturas em rochas do Núcleo Betara. Observar que há coincidência entre as famílias de fraturas anotadas em campo e as direções teóricas Y, T e R', do modelo. As fraturas R' correspondem aos diques de diabásio.

Desta forma, movimentos direcionais, juntamente com as componentes de movimentação transpressiva, entre outras estruturas, originam lineações de estiramento que não são perfeitamente horizontais, mas que apresentam ângulos de caimento variáveis de médios a baixos (em torno de 15° e 20°), como pode ser observado no Mapa de Estruturas Lineares (Anexo 4).

Esta movimentação perpendicular das massas, no sentido do lineamento transcorrente caracteriza tipicamente uma estruturação de rampa lateral para a área.

Comprovação desta hipótese é feita através da observação de estruturas, lineações de estiramento, que se encontram rotacionadas e que se interrompem entre si: as La_{n+2} podem tanto cortar como ser cortadas pelas La_n . Isto é visível próximo à Pombas.

Esta característica fornece mais um indício de progressividade das deformações, ao que pese a Z.C.T. Lancinha - Cubatão ser considerada como uma descontinuidade profunda (FIORI 1.985 e HARALYI, inf. verbal).

CAPÍTULO 8

CONCLUSÕES

8.1 Geologia do Núcleo Betara

Com base nos estudos realizados na região do Núcleo Betara, as seguintes conclusões foram obtidas:

a. Compõem o Núcleo Betara a Formação Betara, constituída essencialmente por rochas metavulcânicas (metatraquitos), metassedimentos terrígenos e clasto - químicos (metargilitos, rochas mármores e quartzitos) e o Complexo Meia Lua constitído por uma imbricação tectônica de paragneisses, xistos, quartzitos e rochas granitórias do embasamento retrabalhado;

b. A Formação Betara está sobreposta ao Complexo Meia Lua através de contato eminentemente tectônico, caracterizado por uma zona de cisalhamento não - coaxial de baixo ângulo, com deslocamento diferencial entre os pacotes das duas unidades;

c. As denominações "Formação Betara" e "Complexo Meia Lua" foram adotadas por terem sido as primeiras utilizadas para a designação dos pacotes litológicos locais;

d. Especificamente para os pacotes aqui designados de "Formação Betara", têm sido utilizada na literatura à denominação "Formação Perau". É necessária, no entanto,

a integração dos dados existentes dos diversos Núcleos e mais especificamente os dados estruturais e estratigráficos, para que esta correlação seja realmente definida;

e. Em relação ao Complexo Meia Lua, sugere-se que esta denominação passe a designar os pacotes tectônicos, ou os tectonofácies, que se encontram na base do Complexo Setuva (Formação Betara), na região do Núcleo Betara. Na região estudada, propõe-se pela não mais utilização do nome "Pré-Setuva", em primeiro lugar por não coincidir com os tectonitos assim designados por EBERT (1.971) e em segundo lugar devido a designação, em si, apresentar um significado estratigráfico confuso.

f. O metamorfismo, em termos genéricos, atingiu a fácies xisto verde alto (zona da biotita) a anfibolito baixo (zona da estauroлита) nos pulsos iniciais da deformação cisalhante de baixo ângulo (sistema F_n) e quando as massas não haviam, ainda, sido alçadas. Após este momento, e com a continuidade da deformação cisalhante, houve uma regressão no grau metamórfico para a fácies xisto verde baixo (zona da clorita), quando o empilhamento antiformal alçou os pacotes litológicos. Na continuidade da movimentação o sistema transcorrente (F_{n+2}), gerou, localizadamente, na zona de cisalhamento um segundo evento metamórfico na fácies xisto verde (zona da clorita);

g. A área sofreu pelo menos três sistemas de deformação, como resultado de uma tectônica progressiva, iniciando com um cisalhamento não - coaxial de baixo ângulo, dúctil a dúctil - rúptil, cujo sentido de transporte tectônico foi de NW para SE ou WNW para ESE, produzindo cavalgamentos com geometria em dúples (F_{n+1}) e

gerando estruturas bem reconhecíveis no campo: uma foliação de cisalhamento, penetrativa, denominada de S_n ; lineações de estiramento La_n e dobras de estilos variados D_n , com eixos caindo com baixo ângulo, normalmente intrafoliares e/ou com flanco rompido.

O segundo sistema (F_{n+1}) é representado por dobramentos generalizados, gerando caracteristicamente dobras D_{n+1} e o terceiro (F_{n+2}) por cisalhamento de alto ângulo, dúctil - rúptil a rúptil, cujo movimento relativo principal é horário e que produziu as zonas transcorrentes, e estruturas localizadas, dobras D_{n+2} , de arrasto de eixos com ângulos de mergulho e dobras "en échelon" e foliação S_{n+2} ;

h. Estudos estratigráficos devem ser orientados objetivando especificamente o detalhamento do paleoambiente do Grupo Açungui, e sua respectiva correlação com o Complexo Setuva. Neste trabalho infere-se a possibilidade de que ambos pertençam a diferentes ambientes de deposição em uma mesma bacia.

8.2 Evolução Tectônica e Alçamento da Antiforma do Betara

A primeira hipótese de evolução tectônica do Núcleo se refere à progressividade da deformação onde o sistema de cavalgamento F_n evoluiu para o sistema F_{n+1} , resultando posterior rasgamento representado pelo sistema

transcorrente F_{n+2} . Dentro deste complexo haveria uma contemporaneidade de eventos deformativos, já que a tectônica tangencial ainda estaria atuando no início da tectônica direcional de alto ângulo.

A hipótese mais provável em relação à progressividade da deformação é à ocorrência de geometria semelhante à rampa lateral na cobertura supracrustal onde a transcorrência seria resposta física de alívio da pressão exercida na direção NW-SE, constituindo zona de cisalhamento de alto ângulo, com feições transpressivas.

A comprovação da atuação de rampa lateral, tem por base a ocorrência de rotação de lineações de estiramento (La), em função da análise da deformação finita.

Deste modo o alçamento do Núcleo Betara pode ser explicado da seguinte forma:

a. Instabilidade dos pacotes rochosos situados no fundo da bacia, devido a esforços tangenciais (cisalhamento não - coaxial) resultado de uma compreensão NW-SE ou aproximadamente W-E , e início da formação de cavalgamentos através de geometria em duplex;

b. Formação de duplex com morfologia antiformal, caracterizando uma "pilha antiformal" ou "antiformal stack";

c. Mudança no regime tectônico local de cisalhamento não - coaxial para coaxial, devido ao empilhamento de extratos e consequente aumento da resistência à deformação tangencial, gerando dobramentos generalizados e acentuando ainda mais a morfologia megantiformal do Núcleo Betara;

d. Com a implantação do sistema transcorrente, e ocorrência de dobras "en échelon", a Antiforma do Betara já pré-desenvolvida, foi evidenciada ainda mais e a estrutura como um todo, rotacionada no próprio sentido da zona de cisalhamento, havendo leve empinamento da porção sul da estrutura;

e. Exposição do núcleo através da erosão das rochas sobrejacentes, possivelmente rochas da Formação Votuverava.

A Segunda hipótese de evolução do Núcleo Betara é a ocorrência de uma tectônica onde haveria progressivamente apenas nos primeiros estágios da deformação.

O sistema F_n evoluiria igualmente para o sistema F_{n+1} , atestando a deformação continuada. Cessado esta movimentação tangencial NW-SE, ou W-E, o sistema transcorrente seria posteriormente implantado, seccionando a megantiforma do Betara. Este sistema seria o reflexo, nas supracrustais, de descontinuidades profundas do embasamento, provavelmente reativadas por causas tectônicas a nível global, portanto mais amplas.

A hipótese foi levantada devido sistema F_{n+2} gerar em porções do Núcleo Betara, estruturas que seccionam outras previamente formadas, principalmente devido ao sistema F_n . Além disso, é observado metamorfismo M_{n+2} , gerado pelo sistema, nos planos de S_{n+2} , não representando a continuidade do retrometamorfismo M_n ligado ao sistema F_n .

Não haveria neste caso a geometria em rampa lateral.

Uma conjunção das duas hipóteses é a mais provável:

a. Zona de Cisalhamento Transcorrente Lancinha - Cubatão é reflexo, na superfície, de descontinuidade profunda da crosta (discussão de FIORI 1.985), cuja

movimentação é contínua desde o Proterozóico Inferior (ou Arqueano), com pulsos de reversão dextral e sinistral;

b. cobertura supra-crustal sofre deformação através de movimentos tangenciais, não-coaxiais, dúcteis a dúcteis - rúpteis os quais provocam empilhamento antiformal dos estratos (sistema F_n);

c. aumento de massa litostática e geração de instabilidade local, com alternância local de movimentos não-coaxiais para coaxiais (sistema F_{n+1});

d. alívio da pressão tectônica pela movimentação da base das grandes descontinuidades de alto ângulo (Z.C.T. Lancinha - Cubatão) e conseqüente rasgamento da cobertura através do cisalhamento rúptil ou rúptil -dúctil;

e. movimentos conjuntos da tectônica tangencial e de cisalhamento transcorrente transpressivo, com movimento oblíquo dos pacotes supracrustais, gerando tectônica semelhante à rampa lateral ou mesmo oblíqua;

f. geração de estruturas (fraturas, arqueamentos e dobras "en échelon") ligados aos movimentos transcorrentes.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALMEIDA, F.F.M - 1956 - Novas ocorrências de fósseis no Pré - Cambriano brasileiro. Rio de Janeiro. Anais Acad. Bras. Ciênc. 28(4): 44-45
- ALMEIDA, F.F.M. de AMARAL, G.; CORDANI, U . G. and KAWASHITA, K. - 1973 - The Precambrian evolution of the South American cratonic margin south of the Amazon River. In the Ocean Basin and Margins. 1:411-446. A.E.M. Nairn and F.G. Stehli (eds.), Plenum Publ. Co.
- ALTHOFF, F.J. - 1989 - Geologia estrutural da Antiforma do Setuva - Pr. Dissertação de Mestrado Depto. De Geologia -UFPA Belém (inédito) 147 p.
- BASEI, M.A.S.; SIGA JR., O.; MACHIAVELLI, A. - 1990 - Tectônica de Nappes do Proterozóico Superior e Eopaleozóico da Porção Sul - Brasileira. III REUNIÃO INTERNACIONAL DE PROJETO 270 - PICG, Atas da São Paulo - IUGS.
- BATOLLA JR., F., HAMA, M.; LOPES JR., I. - 1977b - Idades radiométricas Rb/Sr e K/Ar em rochas cristalinas pré - brasileiras da região leste do Paraná. In: SIMP. REG. GEOL., 1, São Paulo, 1977. Atas ...São Paulo, SBG. p. 324-337.
- BELL, T.H. - 1978 - Progressive deformation and reorientation of fold axis in a ductile mylonite zone. J. Struct. Geol., 1:31-42.
- BETTENCOURT , J. & WERNICK, E. - 1976 - Contribuição à geoquímica do Sr das rochas calcárias dos Grupos São Roque e Açungui (SP e Pr) In: Congr. Bras. Geologia, 29, Belo Horizonte, 1976, Resumos p.166.
- BIGARELLA, J.J.; SALAMUNI, R. - 1956 - Estudos preliminares na Série Açungui, V: Estruturas orgânicas nos dolomitos da Formação Capiru (Estado do Paraná). Curitiba. Dusenía. 7: 317-323.
- -1958 - Estudos preliminares na Série Açungui, VIII: A Formação Votuverava. Inst. Hist. Nat. Geol., Curitiba. 6p. (Boletim 2).

- BIGARELLA, J.J. & SALAMUNI, R. - 1959 - Planta Geológica (provisória) de partes dos Municípios de Rio Branco do Sul, Bocaiúva do Sul, Almirante Tamandaré e Colombo Univer. Paraná, Inst.Geol. /Secr. Agric., Cons. Defesa Patrim. Nat. Paraná, escala 1:50.000.
- BIONDI, J.C.- 1983 - Mapa Geológico da área do Embasamento do Estado do Paraná. Secret. Est. Ind. Com. - MINEROPAR, Curitiba.
- BOUCHEZ, J.L.; LISTER, G.S.; NICOLAS, A. - 1983 - Fabric asymmetry and shear sense in movement zones. Geol. Rudschau 72:401-419.
- BOYER, S.E.; ELLIOT, D. - 1982 - Thrust systems. Am. Assoc. Petr. Geol. Bull. 66: 1196-1230.
- CAMPANHA, G.A. da C.; BISTRICHI, C.A.; ALMEIDA, M.A. de - 1987 - Considerações sobre a organização litoestratigráfica da Faixa de Dobramentos Apiaí. In: SIMPÓSIO SUL - BRASILEIRO DE GEOLOGIA 3. Curitiba, 1987 Atas... Curitiba SBG. V.2., p.725-742.
- CAMPOS NETO, M. da C. & BASEI, M.S. - 1983 - Evolução estrutural Brasileira do nordeste de São Paulo: dobramentos superpostos e esboço estratigráfico e tectônico. In: SIMPÓSIO REGIONAL DE GEOLOGIA, 4 São Paulo, 1983. Atas... São Paulo SBG vol. único: 61-7.
- CHIODI FILHO, C. - 1984 - Contribuição à geologia das regiões sul paulista e leste paranaense - Grupos Açungui e Setuva. In: CONGR. BRAS. GEOL. , 33. Rio de Janeiro, 1984. Anais...Rio de Janeiro , SBG v. p. 2394-2405.
- CORDANI, U. G. & KAWASHITA, K. - 1971 - Estudo geocronológico pelo método Rb/Sr de rochas graníticas intrusivas no Grupo Açungui. In: CONGR. BRAS. GEOL., 25. São Paulo, 1971. Anais. São Paulo, SBG. v.1, p. 105-109.
- ; & BITTENCOURT, I. - 1967 - Determinações de Idade potássio-argônio em rochas do Grupo Açungui. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 21, Curitiba, Soc. Bras. Geol., Anais... p. 218-233.
- COUTINHO, J.M.V. - 1971 - Estado atual de conhecimento do Pré - Cambriano Superior sul brasileiro; uma síntese. In: CONGR. BRAS. GEOL., 25, São Paulo. Anais... São Paulo, SBG. v.1, p. 83-91.
- CHRISTIE - BLICK, N. & BIDDLE, K.T. - 1.975 - Deformation

- and basin formation along strike - slip faults. In: BIDDLE, K.T. & CHRISTIE - BLICK, N (Editors) Strike-Slip deformation, basin formation and sedimentation. Society of Economic Paleontologist and Mineralogistis. Special Publication v. 37:1-34.
- DAITX, E.C.; TAKAHASHI, A.T.; FERREIRA, J.C.G.; SILVA, C.R. da; MAEYAMA, O. - 1983 - Projeto Anta Gorda, fase III. Mapeamento Geológico da área norte. DNPM/CPRM, São Paulo.
- ; - 1985 - Uma análise crítica dos chamados grupos Setuva e Açungui na Região do Vale do Ribeira (Pr e SP). Exame de qualificação apresentado no curso de Pós -Graduação de Geociências - USP (inédito) 125p.
- DAVIS, G.H. - 1984 - Structural Geology of rocks and regions. Johan Wiley & Sons. New York 492 p.
- DE LA ROCHE, H.; LETERRIER, J.; GRANDCLAUDE, P e MARCHAL, M. - 1980 - A classification of volcanic and plutonic rocks using R1R2 - Diagram and Major - Element Analyses - its relationships with current nomenclature. Chemical Geology. vol. 29:183-210.
- EBERT, H. - 1971 - Observações sobre a litologia e subdivisão do "Grupo Setuva" no Estado do Paraná, com sugestões à tectônica geral do "Geossinclínio Açungui". In: CONGR. BRAS. Geol., 25 São Paulo, 1971 Anais... São Paulo, SBG. P.131-146.
- EBERT, H.D.; HASUI, Y.; QUADRE, H. - 1988 - Aspectos da evolução estrutural do cinturão móvel costeiro na região da Mina do Perau, Vale do Ribeira - Pr. In: CONGR. BRAS. GEOL., 35, Belém - SBG. p. 2318- 2331.
- EBERT, H.D.; HASUI, Y. - 1989 - Tectônica transpressiva no sub - bloco Tunas, Vale do Ribeira - Pr. In: SIMP. NACIONAL DE ESTUDOS TECTÔNICOS, 2, Fortaleza, 1989. Bol. 11 Fortaleza - SBG. p. 255-257
- FAIRCHILD, T.R. - 1977 - Conophyton and other columnar stromatolites from the upper pre-cambrian Açungui Group near Itapeva, SP, Brazil. In: SIMP. REG. GEOL., 1, São Paulo, 1977. Atas...São Paulo, SBG. p.179-198.
- FASSBINDER, E. - 1990 - Análise estrutural da Falha da Lancinha - Estado do Paraná. Dissertação de Mestrado I.G. USP - São Paulo (inédito) 165.
- FIORI, A.P. (coordenador) - 1985 - Lineamentos tectônicos e

possíveis mineralizações no Pré - Cambriano paranaense.
Paraná. Rel. Conv. UFPr/MINEROPAR, 2 v. 261 p.

- FIORI, A.P. - 1991 - Tectônica e estratigrafia do Grupo Açungui a norte de Curitiba. Tese de Livre - Docência I.G. USP - São Paulo (inédito) 261 p.
- - 1985a - A Falha da Lancinha no Pré - Cambriano paranaense: reflexo de uma falha profunda? Bol. Paran. de Geoc. UFPr. Curitiba, (36): 3-14.
- - 1985b - Avaliação preliminar do deslocamento dúctil das falhas da Lancinha e de Morro Agudo no Estado do Paraná. Bol. Paran. Geoc. UFPr. Curitiba (36): 15-30.
- ; FASSBINDER, E.; GÓIS, J.R. de; FUMAGALLI, C.E. - 1987a - Compartimentação tectônica do Grupo Açungui a norte de Curitiba. In: SIMP. SUL-BRAS. GEOL., 3, Curitiba, 1987. Atas... Paraná - SBG. v. 1, 183-196.
- ; FUMAGALLI, C.E.; GÓIS, J.R. de; SALAMUNI, E. - 1987b - As principais estruturas dobradas do Grupo Açungui na região de Rio Branco - Bocaiúva do Sul. In: SIMP. SUL-BRAS. Geol., 3, Curitiba, 1987. Atas... Paraná -SBG. v.1, p. 281-301.
- ; SALAMUNI, E.; FASSBINDER, E. - 1987b - Geologia da região de Bateias - Bocaiúva do Sul. In: SIMP. SUL - BRAS. GEOL., 3, Curitiba, 1987. Atas... Paraná - SBG. v.1, p.773-787.
- FRITZSONS JR., O.; PIEKARZ, G.F.; FALCADE, D. - 1982 - Geologia e potencial mineral do Grupo Setuva (Pr). In: CONGR. BRAS. GEOL. , 32, Salvador, 1982. Anais... Salvador, SBG. v.3, p. 987-1001.
- ; BIONDI, J.C. - 1983 - Relatório, Compilação e síntese sobre as rochas graníticas no Estado do Paraná. Gerência de Integração e Avaliação Regional da MINEROPAR S/A.
- FUCK, R.A.; TREIN, E.; MURATORI, A.; RIVEREAU, J.C. - 1969 - Mapa Geológico preliminar do litoral, da Serra do Mar e parte do primeiro planalto no Estado do Paraná. Bol. Paran. De Geoc. UFPr, Curitiba, (27): 124-152.
- ; MURATORI, A. - 1971 - Geologia do leste paranaense. In: CONG. BRAS. GEOL., 25 ,São Paulo, SBG. p. 121 - 130. GOIS, S. R.; SALAMUNI, E.; FIORI, A.P. - 1985 - Lineamentos e compartimentos tectônicos do

Pré - Cambriano paranaense. In: SIMP. SUL - BRAS. GEOL., 2, Florianópolis, 1985. Anais... Florianópolis, SBG. p.159-171.

- HARALYI, N.L.E.; HASUI, Y. - 1982 - The gravimetric information and the Archean - Proterozoic Structural framework of eastern. Brazil. Rev. Bras. Geoc. São Paulo, 12: 160-166.
- HASUI, Y. - 1982 - The Mantiqueira Province: Archean Structure and Protezoic. Evolution. Rev. Bras. Geociências - SBG 12(1-3): 167-171.
- ; - 1986 - Novo Modelo geológico do Vale do Ribeira. IPT. Relatório Interno (inédito) 67 p.
- ; CARNEIRO, C.D.R.; COIMBRA, A.M. - 1975 - The Ribeira Folded Belt. Rev. Bras. Geociências - SBG 5 (4): 247-266.
- ; OLIVEIRA, M.A.F. - 1984 - Província Mantiqueira setor central. In: ALMEIDA, F.F.M. de; HASUI, Y. - O Pré-Cambriano do Brasil. São Paulo. Edgard Blucher Ltda. p. 308-344.
- ; SENA COSTA, J.B. - 1991 - Zonas e cinturão de Cisalhamento. Universidade Federal do Pará, Belém 1991. 144p.
- ; CARNEIRO, C.D.R.; COIMBRA, A. M. - 1980 - Estruturas e Tectônica do Pré - Cambriano de São Paulo e Paraná. An. Ac. Bras. Cienc., 52(1): 61-76.
- ; CREMONINI, D. A.; BORN, H. - 1984 - O granito Três Córregos revisado e o Maciço Catas Altas. In: CONGR. BRAS. GEOL. 33, Rio de Janeiro, 1984. Anais... Rio de Janeiro, SBG. v.7, p. 3023-3031.
- ; EBERT, H.D.; QUADE, H. - 1984 - Aspectos geológicos da Megantiforma da Serra do Cadeado, Pr. In: CONGR. BRAS. GEOL., 33, Rio de Janeiro, 1984. Anais... Rio de Janeiro, SBG. v.7, p. 2380-2394.
- ; RODRIGUES, E. P.; OLIVEIRA, M.C.B. O.; ENS, H.H.; MORALES, N.; ZANARDO, A.; QUADE, H.; NYK, R.; KULLER, M.L.; FRASCA, M.H.B.O. - 1988 - (inédito). Deformação por cisalhamento dúctil: modelo de transformações em rochas pré - cambrianas antigas do leste de São Paulo - Fase I. IPT - São Paulo (Relatório Interno) vol.1 157p.

- ; HARALY, N.L.E.; MIOTO, J.A.; SAAD, A.R.;
 CAMPANHA, V.A.; HAMZA, V. M.; GALLI, V.A.; FRANGIPANI,
 A. & PULEGUINI F., P. - 1989 - Compartimentação
 Estrutural e Evolução Tectônica do Estado de São Paulo.
 IPT - São Paulo (Relatório Interno) v. 2, 289 p.
- HOBBS, B.E.; MEANS W.D.; WILLIAMS, P.F. - 1976 - An outline
 of structural geology. Wiley Int. Edition, 571 p.
- JICA - JAPAN INTERNATIONAL COOPERATION AGENCY 1981 - 1984
Report on geological survey of Anta Gorda. Phase 1,
 Phase 2, Phase 3 and Phase 4. Conv. DNPM/Metal Mining
 Agency of Japan.
- KAEFER, L.Q.; ALGARTE, J.P. - 1972 - Maciço Alcalino do
 Banhado - estudos preliminares. In: CONGRE. BRAS. GEOL.,
 26 Atas... Belém 1972 v. 1, p.57-64.
- KAUL, P.F.T. - 1979 - Pré - Cambriano e Eo - Paleozóico do
 Nordeste de Santa Catarina e leste do Paraná:
 reavaliação de dados e correlações com a África. In:
 SIMPÓSIO REGIONAL DE GEOLOGIA, 2, Rio Claro, 1979.
 Atas... São Paulo SBG. I vol. P.1-16.
- KRONER, A. - 1982 - Archean to early Proterozoic tectonics
 and crustal evolution: a review. Anais... do ISAP SBG -
 Salvador. Rev. Bras. de Geocências, 12 (1-3): 15-31.
- - 1984 - Dome structures and basement
 reactivation in the Pan - African Damara belt of Namibia.
 In: KRONER, A.; GREILING, R. - 1984 - Precambrian
 Tectonics Illustrated International Union of Geological
 Sciences E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung
 191-206.
- LISTER, G.S.; SNOKE, A .W. - 1984 - S-C Mylonites. Journal
 of Structural Geology, 6: 617-683.
- LOPES, J.A.U. - 1966 - Nota explicativa da folha geológica
 de Curitiba. Bol. Univ. Fed. Paraná, Curitiba - UFPr 20,
 20 p.
- LOPES, O.F. - 1983 - Faixa do Perau: uma unidade
 faciológica e tectonometamórfica do Grupo Açungui. Rev.
 Bras. Geoc. 13(3): 180-203.
- LUCAS, S.B. - 1990 - Relations between Thrust Belt
 Evolution, Grain - Scale Deformation, and Metamorphic
 Processes: Cape Smith Belt Northern Canada.
 Tectonophysics, 178: 151-182.

MARINI, O.J. - 1970 - Geologia da folha de Rio Branco do Sul (Pr). Tese de Doutorado. Fac. Fil. Ci Le. Rio Claro (SP). 190p.

-----; TREIN, E.; FUCK, R.A. - 1967 - O Grupo Açungui no Estado do Paraná. In: BIGARELLA, J.J.; SALAMUNI, R.; PINTO, V.M. - Geologia do Pré - devoniano e intrusivas subseqüentes da porção oriental do Estado do Paraná. Curitiba, UFPr. P.43-104 (Boletim 23/25).

MELFI, A.J.; BITTENCOURT, T. & CORDANI, U. - 1965 - Reconhecimento Fotogeológico de parte do Grupo Açungui. Bragantia, Campinas, 24(34): 447-474.

- MINEROPAR - 1981 - Prospecto Betara. Relatório Interno (inédito) 2 vol.
- PASSCHIER, C.W. SIMPSON, C. - 1986 - Porphyroclast Systems as Kinematics Indicators. J. of Struct. Geol. 8 (8): 831-843.
- PIEKARZ, G.F. - 1981 - Reconhecimento de unidades correlacionáveis à sequência mineralizada do Perau, Estado do Paraná. In: SIMP. REG. GEOL., 3, Curitiba, 1981. Anais... São Paulo, SBG, v.7, p.3682-3696.
- PINTO-COELHO, C.V. & SIEDLECKI, K.N. - 1989 - Aspectos Petrográficos e Petrológicos do Granito Rio Abaixo. Estado do Paraná - Brasil. MINEROPAR (inédito) 11p.
- PLATT, J.P. - 1983 - Progressive refolding in ductile shear zones. J. of Structural Geology. 5(6): 619-622.
- - 1984 - Secondary Cleavages in Ductile Shear Zones. In: Journal of Structural Geology, Londres v.6(4): 439-442.
- PONTES, J.B. - 1982 - Geologia e potencialidades econômicas da Formação Água Clara. In: CONGR. BRAS. DE GEOL., 32, Salvador, 1982. Anais... Salvador, SBG, v. 3, p.1002-1016.
- POPP, J. H.; ANGULO, R.; BIGARELLA, J.J. - 1979 - Geologia In: Região Metropolitana de Curitiba , Recursos Naturais, Folha Ouro Fino. Comec. 30p.
- PORADA, H. - 1979 - The Damara - Ribeira orogen of the Pan-African - Brazilian cycle in Namíbia (Southwes Africa) and Brazil as interpreted in terms of continental collision. Tectonophysics, Amsterdam, 57: 237-265.
- RAMSAY, J.G. - 1980 - Shear Zone Geometry: a Review. Journal of Structural Geology, Londres (2):83-89.
- ; HUBERT, M.I. - 1983 - The Technique of Modern Structural Geology. Vol.1: Strain Analysis. Academic Press, Inc. 307 p.
- RAMSAY, J.G.; HUBERT, M.I. - 1987 - The techniques of modern structural geology. Vol.2: Folds and Fractures. Academic Press. Inc.
- REIS NETO, J.M. dos; SOARES, P.C. - 1987 - Um estudo de caracterização termo-dinâmica de micro - estruturas dos Grupos Açungui e Setuva (Pr). IN: SIMP. SUL-BRAS. GEOL., 3, Curitiba, 1987. Atas... Curitiba. v.1, 147-165.

- SALAMUNI, R.; BIGARELLA, J.J. - 1967 - Contribuição à geologia do Grupo Açungui. UFPr. 28p. (boletim 23).
- SANDERSON, D.J.; MARCHINI, W.R.D. - 1984 - Transpression. J. Struct. Geol., 6:449-458.
- SCHOLL, W.U. - 1981 - Geologia do Grupo Açungui na região a noroeste de Rio Branco do Sul, Paraná. In: SIMP. REG. GEOL., 3, Curitiba, 1981. Atas... São Paulo - SBG, v.1, p. 170-184.
- ; LOPES, O.F.; SILVA, A.C.G.A.; PROZZI, C.R. - 1980 - Geologia do Pré - Cambriano na região do Anticlinal do Setuva (municípios de Bocaiúva do Sul e Rio Branco do Sul - Pr) In: CONG. BRAS. GEOL.. Camboriú, 1980. Anais... Camboriú, SBG. v. 5, p. 3003-3012.
- ; SILVA, A.C.G.A.; MONASTIER, M.S. - 1982 - A Formação Setuva do Pré - Cambriano do Estado do Paraná - uma revisão crítica. In: CONG. BRAS. GEOL. 32, Salvador, 1982. Anais... Bahia - SBG v. 1, p.55-63.
- SHIMAMOTO, T. - 1989 - The origin of S-C mylonites and a new fault - zone model. Journal of Structural Geology. vol. 11 (1/2): 51-64.
- SIBSON, R.H. - 1977 - Fault rock and fault mechanisms. J. Geol. Soc. Lond., (133) 191-213.
- SIEDLECKI, K.N. & PINTO - COELHO, C.V. - 1990 - Tipologia do Zircão Aplicada à Caracterização do Granito Rio Abaixo, Estado do Paraná - Brasil. MINEROPAR (inédito) 09p.
- SILVA, D.C. da; FELIPE, R. da S.; PONTES, J.B. - 1981 - Notas sobre as ocorrências de fluorita do Vale do Ribeira (Pr). In: SIMP. REG. GEOL., 3, Curitiba, 1981. ATAS... São Paulo - SBG v. 1, p. 21-35.
- SILVA, C.R. da; TAKAHASHI, A.T.; CHIODI FILHO, C.; BATOLLA JR., F. - 1982 - Geologia e mineralizações da Região do Perau - Água Clara, Vale do Ribeira, Pr. In: CONGR. BRAS. de GEOL., 32, Salvador, 1982. Anais... Bahia - SBG v.3, p. 1024-1036.
- SILVA, C.R.; TAKAHASHI, A.T.; CHIODI FILHO, C.; MACEDO, A.B. & BATOLLA JR., F. - 1981 - Projeto de integração e Detalhe Geológico no Vale do Ribeira. Área Mina do Perau. DNPM/CPRM, São Paulo, v.11, 162 p. (inédito).
- SIMPSON, C. - 1983 - Strain and shape - fabric variations

- associated with ductile shear zones. J. of Structural Geology, 5 (1): 61-72.
- ; SCHMID, S.M. - 1983 - As evaluation of criteria to deduce sense of movement in sheared rocks. Geological Soc. of Amer. Bull. 94:1281-1288.
- SOARES, P.C. - 1987 - Sequências tecto-sedimentares e tectônica deformadora no centro-oeste do escudo paranaense. In: SIMP. SUL - BRAS. GEOL., 3, Curitiba, 1987. Atas... Curitiba, SBG. v.2, p.743-771.
- - 1988 - Tectônica colisional em torno do bloco Paraná, Brasil. In: CONGR. LAT. AMER. GEOL., 7, Belém, 1988. Anais... Belém, SBG. v.1, 63-81.
- SOARES, P.C.; FIORI, A.P. - 1976 - Lógica e sistemática na análise e interpretação de fotografias aéreas em geologia. Notícia Geomorfológica, Campinas 16 (32): 71-104.
- SOARES, P.C.; FIORI, A.P. & CARVALHO, S.G. - 1990 - Tectônica colisional oblíqua entre o Bloco Paraná e a margem sul do cráton São Francisco, no Maciço Guaxupé. In: CONGR. BRASIL. GEOL., 36, Natal. Anais... Nordeste, v.6: 2723-2734.
- SYLVESTER, A.G. - 1988 - Strike slip faults. Geological Society of America Bull. 100:1666-1703.
- TOBISCH, O.T. & PETERSON, S.R. - 1988 - Analysis and interpretation of composite foliations in areas of progressive deformation. J. of Struct. Geol., v.10 (7): 745-754.
- TREIN, E.; REIS NETO, J.M. DOS; BIONDI, J.C. & MONASTIER, M. S. - 1985 - Revisão da Formação Itaiacoca: identificação de uma sequência metavulcano - sedimentar em Abapã (Pr.). Simp. Reg. Geol., 5. Atas do ... São Paulo, S.B.G. vol.1: 169-182.
- UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ - inédito - Relatório de Graduação do Curso de Geologia. Anos 1979, 1981, 1982 e 1989 (4 vol.)
- VEIGA, A.T.C.; SALOMÃO, E.P. - 1980 - A Formação São Sebastião e sua importância econômica. In: CONGR. BRAS. GEOL., 31, Camboriú, 1980. Anais... Camboriú, SBG, v.2. p. 826-831 .
- WERNICK, E. - 1990 - Zoneamento magmático regional de

granitóides brasileiros no sudeste/sul do Brasil: implicações geotectônicas. In: CONGR. BRAS. GEOL., 36, Natal, 1990. Anais... Nordeste, SBG, v.4 p.

WERNICK, E.; RIGO JR.; GALAMBECK, T.M.B. & WEBERDIEFENBACH, K. - 1990 - Os Complexos Granitóides Cunhaporanga e Três Córregos (Pr): Zoneamento magmático e implicações geotectônicas. Rev. Geociências - UNESP - São Paulo 9: 67-85.

WILSON, G. - 1982 - Introduction to small-scale geological structure. George Allen and Unwin Ltd. 128 p.

ZALAN, P.V.; WOLFF, S.; CONCEIÇÃO, J.J.; ASTOLFI, M.A.M.; VIEIRA, I.S.; APPI, V.T.; ZANOTTO, O.A. - 1987 - Tectônica e sedimentação da Bacia do Paraná. In: Simp. Sul. Brasil. Geologia, 3. Atas... Curitiba, 1987. S.B.G. v.1, p.441-476.

ANEXOS