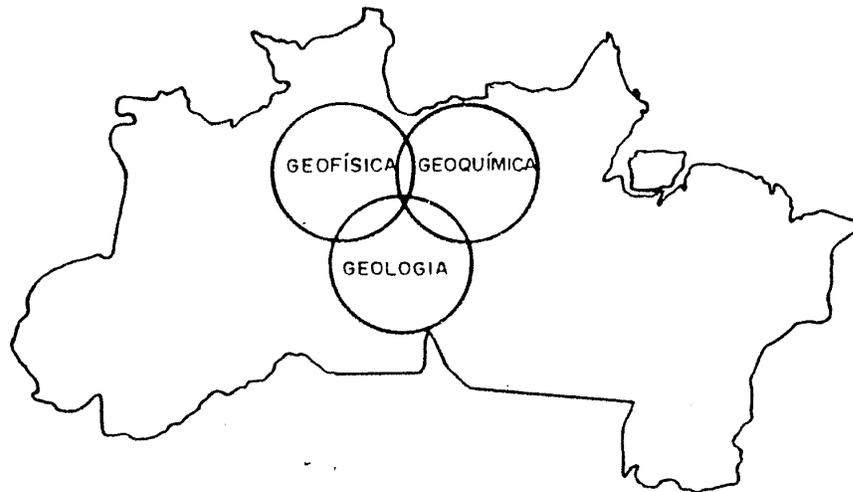




UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ  
CENTRO DE GEOCIÊNCIAS  
CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOLOGIA E GEOQUÍMICA

## TESE DE MESTRADO



**“Estudo Tectono-Sedimentar da Bacia de Jaibaras, na Região Entre as Cidades de Pacujá e Jaibaras, Noroeste do Estado do Ceará”**

Tese Apresentada por:

**MARCOS LUIZ DO ESPÍRITO SANTO QUADROS**

**BELÉM-PARÁ  
1996**



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ  
CENTRO DE GEOCIÊNCIAS  
CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOLOGIA E GEOQUÍMICA

**“Estudo Tectono-Sedimentar da Bacia de Jaibaras, na  
Região Entre as Cidades de Pacujá e Jaibaras,  
Noroeste do Estado do Ceará”**

**TESE APRESENTADA POR  
MARCOS LUIZ DO ESPÍRITO SANTO QUADROS**

**Como requisito parcial à obtenção do Grau de Mestre em  
Ciências na Área de GEOLOGIA**

**Data de Aprovação: 22 / 04 / 1996**

**Comitê de Tese:**

FRANCISCO DE ASSIS MATOS DE ABREU (Orientador)

AUGUSTO JOSÉ DE CERQUEIRA PEDREIRA DA SILVA

WERNER TRUCKENBRODT

**BELÉM-PARÁ  
1996**

A DEUS pelo dom da vida.

Ao meu pai Marcos Alonso de Quadros, pelo seu exemplo de vida e por sua incansável dedicação a minha educação.

(† *in memoriam*)

A minha mãe Terezinha de Jesus Espírito Santo Quadros e aos meus irmãos Marcos José do E. S. Quadros e Maria do Socorro E. S. Quadros.

## AGRADECIMENTOS

O autor deste trabalho contou com a colaboração de diversas instituições e pessoas aos quais expressa seus sinceros agradecimentos.

Em especial à Universidade Federal do Pará-UFPA, mediante o Centro de Geociências-CG/Curso de Pós-Graduação em Geologia e Geoquímica-CPGG pelo suporte financeiro e material; ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico-CNPq pelo auxílio financeiro através de uma bolsa de estudo a nível de mestrado; e a CPRM-Serviço Geológico do Brasil, através da Residência de Porto Velho-RO, pelo apoio material e financeiro durante a editoração final da tese.

Ao orientador Prof. Dr. Francisco de Assis Matos de Abreu pelas valiosas discussões e sugestões; ao Prof. MsC. Paulo Sérgio de Sousa Gorayeb pelo incentivo; ao geólogo Tony Carlos Dias da Costa pela ajuda durante os trabalhos de campo; e aos alunos integrantes da disciplina Estágio de Campo II (Mucambo-1993) do Departamento de Geologia da UFPA.

Aos geólogos colegas da pós-graduação Marco Aurélio Araújo Ferreira, Afonso César Rodrigues Nogueira, Lúcia Travassos da Rosa Costa, Cintia Maria Gaia da Silva, Alayde Alfaia Barbosa, Renato Oliveira Jr., Alice Helena Pinto de Oliveira, Raimundo Nonato E. Santos dos Santos e Ronaldo Silva do Nascimento, pelo incentivo e discussões.

Aos funcionários da UFPA Aluísio Marinho Barros Filho e Afonso Quaresma de Lima que se encarregaram da infra-estrutura das etapas de campo.

Ao geólogo da CPRM/Residência de Porto Velho Paulo Roberto Callegaro de Moraes pelo auxílio na elaboração do resumo e *abstract*.

# SUMÁRIO

	Pág.
<b>DEDICATÓRIA</b> .....	i
<b>AGRADECIMENTOS</b> .....	i
<b>LISTA DE ILUSTRAÇÕES</b> .....	vii
<b>RESUMO</b> .....	1
<b>ABSTRACT</b> .....	4
<b>1 – INTRODUÇÃO</b> .....	7
1.1 – APRESENTAÇÃO.....	7
1.2 - LOCALIZAÇÃO E ACESSO .....	8
1.3 – OBJETIVOS.....	8
1.4 – METODOLOGIA.....	10
<b>2 - GEOLOGIA DA REGIÃO NOROESTE DO CEARÁ</b> .....	13
2.1 - TRABALHOS ANTERIORES.....	13
2.2 - CONHECIMENTO ATUAL.....	14
2.2.1– <b>Geomorfologia</b> .....	14
2.2.2– <b>Estratigrafia</b> .....	16
2.2.2.1 - Aspectos Gerais.....	16
2.2.2.2 - Bacia de Jaibaras .....	19
2.2.3- <b>Arcabouço Estrutural</b> .....	21
2.2.4– <b>Geocronologia</b> .....	22

<b>3 - GEOLOGIA DA BACIA DE JAIBARAS</b>	29
3.1 - ASPECTOS GERAIS .....	29
3.2 - ANÁLISE FACIOLÓGICA .....	32
3.2.1 - <b>Descrição das</b> litofácies.....	32
3.2.1.1 - Formação Pacujá .....	32
3.2.1.2 - Formação Aprazível.....	46
3.2.2- <b>Associação e interpretação das litofácies</b> .....	64
3.2.2.1 - Formação Pacujá .....	64
3.2.2.1.1 - Associação A: Sedimentos lacustres ou marinhos, com tempestitos amalgamados .....	64
3.2.2.1.2 - Associação B: Atividade vulcânica penecontemporânea.....	68
3.2.2.2 - Formação Aprazível.....	68
3.2.2.2.1 - Associação C: Sedimentos de leque/planície aluvial, dominado por <i>debris flows</i> e <i>stream flows</i> .....	70
3.2.2.2.2 - Associação D: Sedimentos lacustres, com ciclos de inunditos/“turbiditos rasos” .....	70
3.3 - DESCRIÇÃO PETROGRÁFICA.....	72
3.3.1 - <b>Considerações gerais</b> .....	72
3.3.2- <b>Formação Pacujá</b> .....	74
3.3.2.1 - Litofácies arenitos finos/siltitos intercalados com pelitos (Pap) .....	74
3.3.2.2 - Litofácies brechas vulcanoclásticas (Bv) .....	76
3.3.2.3 - Litofácies rochas vulcânicas e sub-vulcânicas (Vc) .....	78

3.3.4- <b>Formação Aprazível</b> .....	79
3.3.4.1 - Litofácies arenitos maciços (Am) e arenitos associados a litofácies conglomerados com acamamento gradacional (Cg) .....	79
3.4 - ANÁLISE DE PALEOCORRENTES .....	81
3.5 - MODELO DEPOSICIONAL.....	84
3.6 - ANÁLISE ESTRUTURAL.....	91
3.6.1 - <b>Aspectos gerais</b> .....	91
3.6.2 - <b>Formação Pacujá</b> .....	92
3.6.2.1 - Sangradouro do Açude Aires de Souza.....	92
3.6.2.2 - Leito do Rio das Barreiras.....	96
3.6.3 - <b>Formação Aprazível</b> .....	107
3.6.4 - <b>Zonas de Cisalhamento Sobral-Pedro II e Café-Ipueiras</b> .....	115
<b>4 - EVOLUÇÃO TECTONO-SEDIMENTAR</b> .....	118
4.1 - PRIMEIRO PULSO DEPOSICIONAL.....	119
4.2 - INVERSÃO TECTÔNICA .....	121
4.3 - SEGUNDO PULSO DEPOSICIONAL.....	122
<b>5 – CONCLUSÕES</b> .....	124
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	127

**ANEXOS**

ANEXO A - Mapa Geológico da porção Sudoeste da Bacia de Jaibaras

ANEXO B - Aspecto geométrico da litofácies Pap da Formação Pacujá

ANEXO C - Aspecto geométrico da litofácies Pap da Formação Pacujá

ANEXO D - Aspecto geométrico da litofácies Pap da Formação Pacujá

ANEXO E - Aspecto geométrico da litofácies Cg da Formação Aprazível

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

FIGURAS	Pág.
Figura 1 - Mapa de localização da área estudada .....	9
Figura 2 - Quadro comparativo entre as diversas propostas estratigráficas para a região noroeste do Ceará.....	17
Figura 3 - Mapa Geológico da Região Noroeste do Ceará.....	18
Figura 4 - Mapa mostrando a compartimentação em Domínios Estruturais do Cinturão de Cisalhamento Noroeste do Ceará.....	23
Figura 5 - Quadro com os principais dados geocronológicos das unidades litoestratigráficas da porção noroeste do Estado do Ceará.....	24
Figura 6 - Aspecto geral dos bancos tabulares de arenitos finos/siltitos da litofácies Pap da Formação Pacujá .....	33
Figura 7 - Litofácies Pap da Formação Pacujá, constituída por intercalações rítmicas de arenitos finos/siltitos com pelitos .....	34
Figura 8 - Litofácies Pap da Formação Pacujá, caracterizada por bancos de arenitos finos/siltitos que se intercalam com pelitos .....	34
Figura 9 - Detalhe da Figura 7, mostrando a estruturação interna das camadas de arenitos. ....	35
Figura 10 - Detalhe das Figuras 7 e 16, mostrando a estruturação interna dos bancos de arenitos recobertos por pelitos .....	35
Figura 11 - A e B são detalhes da Figura 7, mostrando a estruturação interna dos bancos de arenito com laminação cruzada truncante de baixo ângulo ou laminação cruzada <i>micro-hummocky</i> .....	36
Figura 12 - Litofácies Pap da Formação Pacujá mostrando camadas de arenitos finos com laminação convoluta .....	37
Figura 13 - Litofácies Pap da Formação Pacujá mostrando arenito fino com laminação convoluta .....	37
Figura 14 - Marcas onduladas assimétricas de crista sinuosa, ocorrentes no topo dos bancos de arenito fino/siltito da litofácies Pap da Formação Pacujá .....	38

Figura 15 - Marcas onduladas simétricas de crista levemente sinuosa, observadas no topo dos bancos de arenito da litofácies Pap da Formação Pacujá .....	38
Figura 16 - Detalhe dos pelitos laminados da litofácies Pap da Formação Pacujá, que ocorrem intercalados com camadas de arenitos .....	39
Figura 17 - Gretas de contração ortogonais randômicas completa e localmente não-ortogonais .....	40
Figura 18 - Em A brecha vulcanoclástica constituída por fragmentos de arenitos e rochas vulcânicas básicas, envolvidos por uma matriz síltica bastante recristalizada, apresentando no topo arenito fino com laminação plano-paralela. Em B detalhe de A.....	41
Figura 19 - Arenito fino com laminação plano-paralela, apresentando fragmentos de basalto amigdalóidal, dispersos aleatoriamente. No topo ocorre basalto recobrando os arenitos.....	43
Figura 20 - Em A arenito fino a médio com laminação plano-paralela, exibindo fragmentos de basalto amigdalóidal e em B fragmentos de basalto amigdalóidal com granulação mais fina na borda do que no núcleo. ....	44
Figura 21 - Arenito fino com laminação plano-paralela, contendo fragmentos de rochas vulcânicas .....	45
Figura 22 - Arenito fino a muito fino laminado, contendo fragmentos de rochas vulcânicas .....	45
Figura 23 - Blocos de conglomerados da Formação Aprazível.....	47
Figura 24 - Morros isolados sustentados por conglomerados da litofácies Cg da Formação Aprazível.....	47
Figura 25 - Conglomerado polimítico maciço da litofácies Cm da Formação Aprazível.....	49
Figura 26 - Detalhe da litofácies Cm da Formação Aprazível.....	49
Figura 27 - Litofácies Cm da Formação Aprazível.....	50
Figura 28 - Detalhe dos conglomerados da litofácies Cm da Formação Aprazível.....	50
Figura 29 - Aspecto geral da litofácies Cg da Formação Aprazível.....	51

Figura 30 - Detalhe da Figura 29. Em A acamamento gradacional normal e B fragmentos de basaltos envolvidos por arenito grosseiro a microconglomerático.....	52
Figura 31 - Litofácies Cg caracterizada por conglomerado polimítico gradando para arenito médio com acamamento gradacional.....	53
Figura 32 - Detalhe da Figura 31 mostrando o acamamento gradacional.....	53
Figura 33 - Lente de arenito fino com laminação plano-paralela fluidizada, ocorrendo dentro da litofácies Cg.....	54
Figura 34 - Em A e B “lajedos” constituídos por arenitos arcossianos médios a grossos e maciços da litofácies Am.....	55
Figura 35 - Aspecto geral da litofácies Aap da Formação Aprazível.....	57
Figura 36 - Detalhes da litofácies Aap da Formação Aprazível Em B detalhe de A.....	58
Figura 37 - Em A e B detalhes da litofácies Aap, mostrando arenitos finos com ondulações cavalgantes supercrítica.....	59
Figura 38 - Detalhes do arenito fino da litofácies Aap, apresentando-se fluidizado na base e passando gradativamente para arenito com laminação plano-paralela e com ondulações cavalgantes subcrítica.....	60
Figura 39 - Detalhe da Figura 35 mostrando arenito da litofácies Aap com laminação convoluta.....	60
Figura 40 - Em A e B marcas onduladas simétricas de crista reta que ocorrem localmente no topo dos bancos de arenitos da litofácies Aap.....	61
Figura 41 - Marcas onduladas do tipo lingóide que ocorrem localmente no topo dos bancos de arenitos da litofácies Aap.....	62
Figura 42 - Gretas de contração em pelitos da litofácies Aap. Em A gretas ortogonais e não-ortogonais incompletas e em B ortogonais incompletas.....	63
Figura 43 - Associações faciológicas da Formação Pacujá.....	65
Figura 44 - Modelo de sequências de tempestitos e turbiditos arenosos.....	67
Figura 45 - Associações faciológicas da Formação Aprazível.....	69

Figura 46 - Em A as cinco divisões da sequência ideal de BOUMA (1962) para turbiditos. Em B as divisões de inundito arenoso apresentada por SEILACHER (1991) .....	73
Figura 47 - Fotomicrografia mostrando o aspecto textural do arenito fino da litofácies Pap da Formação Pacujá .....	75
Figura 48 - Classificação petrográfica dos arenitos da Formação Pacujá .....	77
Figura 49 - Fotomicrografia mostrando o aspecto textural do arenito da Formação Aprazível, relacionado a litofácies Cg.....	80
Figura 50 - Classificação petrográfica dos arenitos da Formação Aprazível.....	82
Figura 51 - Quadro de vetores de paleocorrentes da Formação Aprazível na área estudada .....	85
Figura 52 - Modelo deposicional proposto para o Grupo Jaibaras.....	87
Figura 53 - Modelo deposicional proposto para a Formação Aprazível.....	89
Figura 54 - Modelo de Fan-Delta, constituído por sedimentos de granulação grossa que progradam sobre corpos de águas confinados .....	90
Figura 55 - Estereogramas das dobras de acamamento da Formação Pacujá no afloramento do sangradouro do Açude Aires de Souza, na cidade de Jaibaras .....	93
Figura 56 - Estereogramas de Fraturas da Formação Pacujá no afloramento do sangradouro do Açude Aires de Souza, na cidade de Jaibaras .....	95
Figura 57 - Estereogramas das dobras de acamamento da Formação Pacujá no afloramento do rio das Barreiras, próximo a cidade de Pacujá .....	97
Figura 58 - Estereogramas das dobras em <i>kinks</i> desenhadas pelo acamamento dos sedimentos da Formação Pacujá no afloramento do rio das Barreiras, próximo a cidade de Pacujá .....	98
Figura 59 - Estereogramas de Fraturas da Formação Pacujá no afloramento do rio das Barreiras, próximo a cidade de Pacujá .....	100
Figura 60 - Dobras complexas semelhantes ao padrão de interferência Tipo 1 - “domos e bacias”, afetando a Formação Pacujá .....	101
Figura 61 - Dobra desenhada pelo acamamento dos sedimentos litofácies Pap da Formação Pacujá, com um padrão de interferência semelhante ao Tipo 1 - “domos e bacias” .....	102
Figura 62 - Dobras desenvolvidas nos sedimentos da litofácies Pap da Formação Pacujá, associadas as dobras das Figuras 60 e 61 .....	103
Figura 63 - Dobra aberta ou ondulação do acamamento dos sedimentos da litofácies Pap da Formação Pacujá, relacionadas a dobramentos regionais .....	104

Figura 64 - Dobras em <i>kinks</i> afetando sedimentos da litofácies Pap da Formação Pacujá .....	104
Figura 65 - Falha normal de alto que ocorre seccionando sedimentos da litofácies Pap da Formação Pacujá .....	105
Figura 66 - Falha inversa, com dobras de arrasto associadas, afetando os sedimentos da Formação Pacujá.....	106
Figura 67 - Padrão conjugado de fraturas, afetando a litofácies Pap da Formação Pacujá .....	108
Figura 68 - Esquema transcorrente dúctil-rúptil sinistral que levou a inversão da porção SW da Bacia de Jaibaras no Eopaleozóico.....	109
Figura 69 - Afloramento mostrando o basculamento do acamamento dos sedimentos da litofácies Aap da Formação Aprazível .....	109
Figura 70 - Estereogramas de acamamento da Formação Aprazível.....	110
Figura 71 - Falha normal oblíqua afetando a litofácies Am da Formação Aprazível.....	111
Figura 72 - Estereogramas de fraturas da Formação Aprazível.....	112
Figura 73 - Aspecto geral das fraturas subverticais que seccionam a litofácies Aap da Formação Aprazível.....	113
Figura 74 - Geometrias de veios de quartzo tipo <i>en échelon</i> na litofácies Cm da Formação Aprazível, indicando movimentação sinistral.....	113
Figura 75 - Esquema distensivo NW -SE atuante a partir do Ordoviciano.....	114
Figura 76 - Zona de Cisalhamento SobralPedro II de direção NE-SW .....	116
Figura 77 - Zona de Cisalhamento Café-Ipueiras de direção NE-SW .....	117
Figura 78 - Modelo esquemático da evolução tectono-sedimentar da Bacia de Jaibaras .....	120
Figura 79 - Esquema extensional/transensional no Cambro-Ordoviciano.....	123

## RESUMO

Os estudos realizados na porção sudoeste da Bacia de Jaibaras em uma área de aproximadamente 300 km<sup>2</sup>, situada entre as cidades de Pacujá e Jaibaras, região noroeste do Estado do Ceará, envolvendo mapeamento geológico de semi-detalle na escala de 1:25.000, análises faciológica, petrográfica e estrutural das formações Pacujá e Aprazível, permitiram uma melhor visualização da distribuição espacial das unidades acima referenciadas, bem como a caracterização dos seus ambientes de deposição, padrão estrutural e por fim tecer considerações acerca da evolução tectono-sedimentar da Bacia de Jaibaras.

A Formação Pacujá é caracterizada como uma seqüência vulcano-sedimentar afossilífera que foi submetida a dobramentos e falhamentos. É constituída por intercalações rítmicas de arenitos arcossianos finos a siltitos com pelitos, onde os arenitos ocorrem na forma de bancos decimétricos tabulares, contínuos lateralmente, exibindo base abrupta e gradação para siltitos em direção ao topo. Os arenitos podem apresentar-se maciços ou estratificados, exibindo laminação plano-paralela, estratificação cruzada *micro-hummocky*, cruzada *climbing wave-ripples*, lineação de partição e laminação convoluta. No topo das camadas de arenito ocorrem, por vezes, marcas onduladas assimétricas e simétricas. Os pelitos apresentam laminação plano-paralela e eventualmente gretas de contração. Intercaladas nos sedimentos da Formação Pacujá ocorrem rochas vulcânicas e sub-vulcânicas (basaltos, andesitos, dacitos e riolitos), sob a forma de *sills*, diques e derrames associados com rochas vulcanoclásticas. Tais rochas tem sido englobadas na Suite Parapuí.

O ambiente deposicional da Formação Pacujá foi caracterizado como lacustre, com vulcanismo associado, sujeito a ação de ondas de tempestades, atestada pela presença da laminação cruzada *micro-hummocky*. Entretanto, não se descarta o ambiente marinho para esta formação, haja vista que os dados obtidos no campo não são suficientes para caracterizar com segurança um destes ambientes. Nesta formação, as intercalações rítmicas de arenitos com pelitos caracterizam ciclos de tempestitos, geralmente incompletos.

No contexto geral da Bacia de Jaibaras, a Formação Pacujá representa o primeiro pulso deposicional, ocorrido no Neo-Proterozóico e estendendo-se até o Cambriano, sendo que a sua área de sedimentação estendeu-se além dos limites atuais da Bacia de Jaibaras.

A Formação Pacujá apresenta um padrão de dobramento complexo, resultado de superposição de dobramentos, com formas geométricas semelhantes aos padrões de interferência do tipo 1 - “domos e bacias” e dobras em *kinks*. Este dobramento pode estar relacionado a transpressões em regime dúctil-rúptil, ligado a um esquema transcorrente sinistral nordeste-sudoeste no Eopaleozóico, que levou a fraca inversão da Bacia de Jaibaras.

A Formação Aprazível compreende uma seqüência sedimentar delgada, falhada e basculada em geral para sudeste, que recobre discordantemente a Formação Pacujá. É constituída por conglomerados polimíticos com arcabouços fechado (*clast-support*) e aberto (*matrix-support*), maciços ou estratificados, contendo clastos de rochas vulcânicas, gnaisses, granitos, rochas calciossilicáticas, quartzo, anfibolitos, riolitos, mármore, milonitos, siltitos e arenitos, com tamanhos que variam de grânulos até matacões. A matriz é arenosa arcossiana grossa a muito grossa, localmente microconglomerática. Ocorrem, em menor proporção, arenitos arcossianos médios a grossos maciços, localmente com estratificação cruzada acanalada, e também intercalações de camadas contínuas lateralmente de arenitos arcossianos com pelitos laminados com níveis gretados. Estes arenitos apresentam laminação plano-paralela, laminação cruzada cavalgante (*climbing-ripples*), localmente estratificação acanalada de pequeno porte, lineação de partição e laminação convoluta. Na superfície das camadas de arenitos ocorrem, eventualmente, marcas onduladas simétricas e assimétricas.

O ambiente de deposição da Formação Aprazível foi caracterizado como do tipo leque/planície aluvial, dominado por *debris-flows* e *stream-flows*, progredindo distalmente sobre pequenos corpos lacustres.

O acamamento da Formação Aprazível encontra-se em geral basculado para sudeste, fato este ocasionado a partir da rotação de blocos, em função de um eixo extensional de direção noroeste-sudeste atuante no Ordoviciano, o qual controlou a deposição da Formação Aprazível no espaço compreendido entre as zonas de cisalhamento Sobral-Pedro II e Café-Ipueiras.

A Formação Aprazível representa a seqüência do segundo e último pulso deposicional ocorrido na Bacia de Jaibaras no Ordoviciano, em uma área de deposição mais restrita, controlada pelas zonas de cisalhamento Sobral-Pedro II e Café-Ipueiras. Sua deposição ocorreu no intervalo de tempo pós-seqüência Pacujá e intrusões dos granitos da Suite Meruoca, e pré-seqüência do Grupo Serra Grande da Bacia do Parnaíba.

## ABSTRACT

Studies carried out in southwestern portion of the Jaibaras Basin in the area of the 300 km<sup>2</sup>, situated between the Pacujá and Jaibaras towns, northwest region of Ceará State, including geological mapping in 1:25,000 scale, faciologic, petrographic and structural analysis of the Pacujá and Aprazível formations, allowed a better visualization of spatial distribution of these units, as well as the characterization of their depositional environment, structural pattern and, at last to take considerations about the tectono-sedimentary evolution of the Jaibaras Basin.

The Pacujá Formation is characterized by a folded and faulted volcano-sedimentary sequence without fossils, made of rhythmic interlayers of fine arkosian sandstones to siltstones with pelites, occurring in tabular decimeter thick beds, laterally continuous, showing abrupt base and upward gradation to siltstones. The sandstones could be massive or stratified, showing planar lamination, micro-hummocky cross lamination, climbing wave-ripple cross lamination, locally parting lineation and convolute lamination. On the top of the sandstone beds occur symmetrical and asymmetrical wavy-ripples. Pelites show planar lamination and mudcracks. Interlayered with Pacujá Formation sediments occur volcanic and subvolcanic rocks (basalts, andesites, dacites and rhyolites), at the form sills, dikes and flows, associated with volcanoclastic rocks, included on the Parapuí Suite.

The environment of the Pacujá Formation was characterized as lacustrine with volcanism associated, subjected to storm-wave action, proved by the occurrence of micro-hummocky cross lamination. The rhythmic interlayering of sandstones and pelites characterizes tempestites cycles, usually incomplete. However, marine environment must be associated, but unfortunately the field data is insufficient to define this environments.

In the Jaibaras Basin setting, Pacujá Formation represents the first depositional pulse that extend from Neoproterozoic era to Cambrian period. This sedimentation occurred in an area wider than Jaibaras Basin out of their present boundaries.

The Pacujá Formation shows a complex fold pattern, that resulted from superimposed folding, with geometric shapes similar to type 1 interference pattern - “domes and basins”, and kinks folds. This folding could be related to transpression in ductile-brittle regime, linked to the northeast-southwest sinistral strike-slip system in the Eopaleozoic era, that caused a weak inversion of the Jaibaras Basin.

The Aprazível Formation comprises a thin sedimentary sequence, faulted and tilted to southeastern on the whole, unconformably covering the Pacujá Formation. It is made of polymitic conglomerates, with clast-supported and matrix-supported framework, massive or stratified, with volcanic, gneiss, granite, rocks calcissilicatic, quartz, amphibolite, rhyolite, marble, mylonite, siltstone and sandstone clasts, varying in size from granules to boulders. The matrix is coarse to very coarse sandy arkosean, locally microconglomeratic. To a lesser proportion, occurs medium to very coarse grained arkosean sandstones, locally stratified, and intercalations of laterally continuous beds of arkosean sandstones and laminated pelites with mudcracks in surfaces of the beds. These sandstones show planar lamination, climbing-ripple cross lamination, and locally trough cross-bedding and convolute lamination. In the surface of sandstone beds, there are, occasionally, symmetrical and asymmetrical wave-ripples.

The depositional environment of the Aprazível Formation was characterized as alluvial fan/plain, dominated by debris-flows and stream-flows, prograding distally over small lacustrine bodies.

The tilting of the Aprazível Formation beds to southeastern, is a result from rotation of blocks, due to an extensional axis in the northwest-southeast direction, acting in Ordovician period, that controlled the deposition of Aprazível Formation in the area between Sobral-Pedro II and Café-Ipueiras shear zones.

The Aprazível Formation represents the second and last depositional pulse that occurred in the Jaibaras Basin in the Ordovician period, in a more restricted depositional area, controlled by Sobral-Pedro II e Café-Ipueiras shear zones. Its deposition occurred in a time

interval between the post-Pacujá sequence and Meruoca Suite Granites, and pre-Serra Grande Group sequence of the Parnaíba Basin.

## 1 - INTRODUÇÃO

### 1.1 - APRESENTAÇÃO

Os estudos geológicos realizados na região noroeste do Estado do Ceará nos últimos 30 anos têm demonstrado que esta área é uma das mais interessantes e complexas do país, no que diz respeito a sua evolução geológica. Os litótipos ocorrentes na região representam produtos finais de vários episódios de sedimentação, magmatismo, metamorfismo e tectonismo, ocorridos no Arqueano, Proterozóico, início do Paleozóico e manifestações magmáticas e episódios de sedimentação restritos no Meso-Cenozóico.

As seqüências metassedimentares, vulcano-sedimentares e sedimentares do Neo-Proterozóico/Paleozóico Inferior (Cambro-Ordoviciano) têm sido agrupadas, respectivamente, nos grupos Ubajara e Jaibaras, bem como na Formação Aprazível. Diversas zonas de cisalhamento seccionam e delimitam estas unidades, configurando um complexo sistema de bacias do tipo *graben*, cuja evolução geológica é ainda desconhecida.

Este trabalho foi realizado no maior destes *grabens*, denominado de Bacia de Jaibaras, tendo como abordagem o mapeamento geológico de semi-detalle da porção sudoeste da bacia e estudos faciológicos, petrográficos e estruturais das formações Pacujá e Aprazível, haja vista que tais formações possuem maior representatividade no contexto da bacia e possuem registros mais claros dos eventos. Seu objetivo principal consistiu na reconstituição da evolução tectono-sedimentar da bacia, auxiliado por bases conceituais e diagramáticas. Deste modo, trata-se de um trabalho bastante amplo, envolvendo diversos aspectos e temas diferentes, fato este que impediu o aprofundamento em muitas questões levantadas acerca da evolução da Bacia de Jaibaras. Entretanto, a partir da visão obtida neste trabalho, estudos futuros envolvendo temas específicos poderão vir a ser realizados, seja no âmbito da sedimentologia e estratigrafia, como

também, na geologia estrutural, geocronologia e na petrografia e petrologia, além de outros temas.

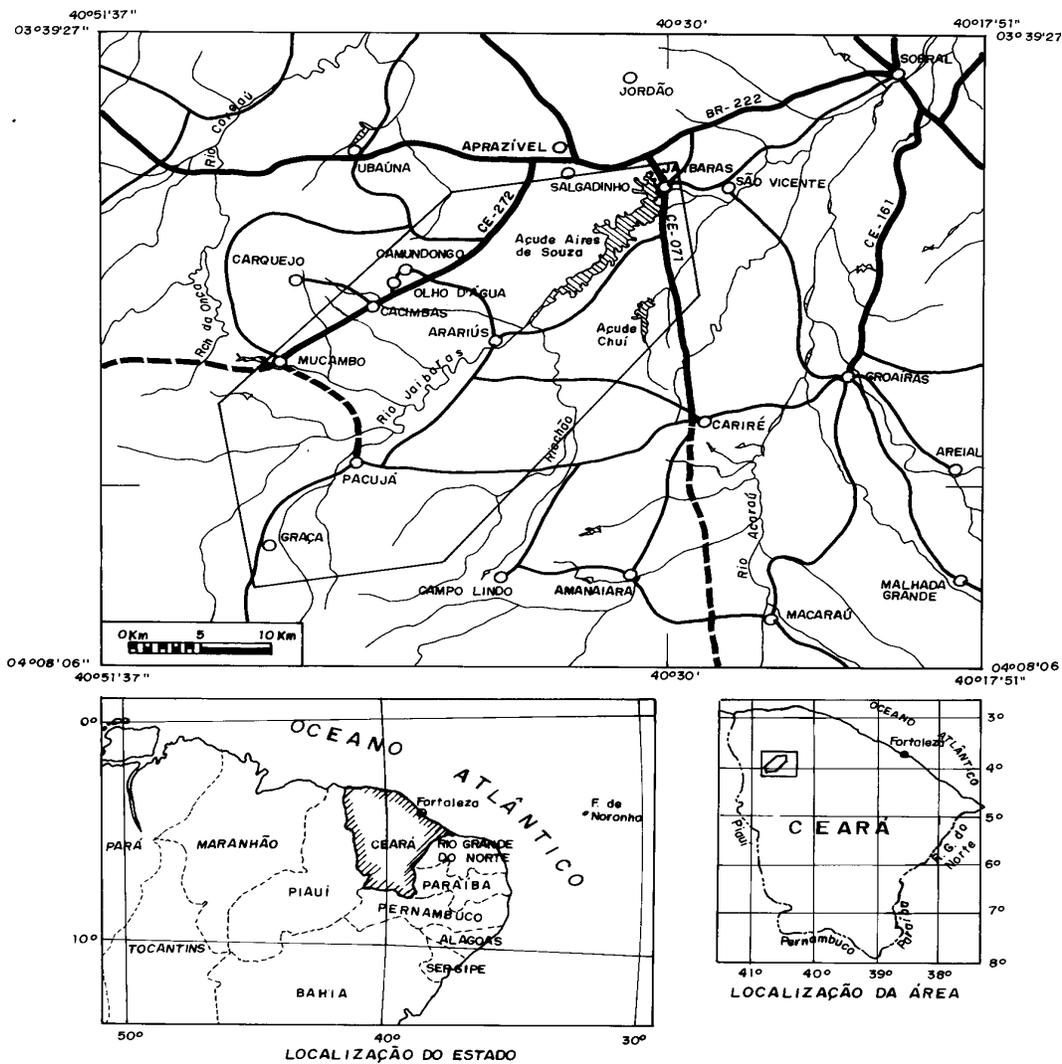
## 1.2 - LOCALIZAÇÃO E ACESSO

A área estudada localiza-se na região noroeste do Estado do Ceará, ocupando uma porção do território cearense compreendida entre as cidades de Pacujá e Jaibaras (Figura 1). Recobre um área de aproximadamente 300 km<sup>2</sup>, contíguos em partes das folhas Ipú (SB. 24-V-A-III), Frecheirinha (SA. 24-Y-C-VI) e Sobral (SA. 24-Y-D-IV).

O acesso à área pode ser feito a partir da cidade de Sobral (CE) através da BR-222, seguindo-se posteriormente pela CE-272 em direção às cidades de Mucambo, Pacujá e Graça ou pela CE-071 até as cidades de Jaibaras e Cariré. Nas porções mais internas da área estudada o acesso pode ser feito utilizando-se de diversos ramais, trilhas e “becos” que se interligam formando uma densa malha rodoviária (Figura 1).

## 1.3 - OBJETIVOS

O objetivo principal desta dissertação de mestrado é elaborar um modelo de evolução tectono-sedimentar para a Bacia de Jaibaras, sintetizada em bases conceituais ou diagramáticas. Para chegar a este modelo, diversos objetivos subordinados tiveram que ser alcançados, tais como: (a) definição, com base no mapeamento geológico de semi-detalle, da distribuição espacial das formações Pacujá e Aprazível, e suas respectivas associações faciológicas, cujos os resultados finais são apresentados na forma de um mapa geológico na escala de 1:50.000 (Anexo A); (b) determinação dos ambientes deposicionais das formações Pacujá e Aprazível; (c) caracterização petrográfica das rochas das formações Pacujá (arenitos/siltitos, vulcânicas e vulcanoclásticas) e Aprazível (arenitos); e (d)



**CONVENÇÕES**

- |       |                         |  |              |
|-------|-------------------------|--|--------------|
| ○     | CIDADE                  |  | DRENAGEM     |
| —     | ESTRADA PAVIMENTADA     |  | AÇUDE        |
| - - - | ESTRADA NÃO PAVIMENTADA |  | ÁREA MAPEADA |
| —     | ESTRADA SECUNDÁRIA      |  |              |

Figura 1 - Mapa de localização da área mapeada.

caracterização, com base na análise estrutural, dos aspectos geométricos e cinemáticos da Bacia de Jaibaras e a sua correlação com os modelos descritos na literatura.

#### 1.4 - METODOLOGIA

Para atingir os objetivos propostos no item 1.3, foram empregados os seguintes procedimentos metodológicos:

a) Mapeamento Geológico de Semi-detalle:

- Cartografia: o mapa geológico na escala de 1:50.000 foi elaborado com base em fotografias aéreas nas escalas de 1:25.000 e 1:70.000, nos mapas geológicos na escala de 1:25.000 constantes nos relatórios finais da disciplina Estágio de Campo II (Mucambo-1993) do Departamento de Geologia da Universidade Federal do Pará-UFGPA e dados de campo;

- Seções Geológicas Transversais: durante a realização das mesmas foram descritos em detalhe os melhores afloramentos individualizados durante a execução da disciplina Estágio de Campo II (Mucambo-1993). Nesta ocasião foram utilizadas as técnicas usuais empregadas em mapeamento geológico, constantes em TUCKER (1982), LINDHOLM (1987) e McCLAY (1990).

- Geologia Regional: foram realizados, a nível de reconhecimento, algumas seções geológicas e visitas a afloramentos importantes, situados além dos limites da área estudada, seja nos domínios da bacia ou do embasamento cristalino, visando uma melhor compreensão da Bacia de Jaibaras dentro do contexto regional. Nesta etapa foram feitas visitas a afloramentos de rochas pertencentes as Formações Trapiá, Caiçaras, Frecheirinha e Massapê, fora dos domínios da área

mapeada, e afloramentos do Granito Mucambo e das formações Frecheirinha e Serra Grande, os quais foram cartografados na área mapeada, mas não foram estudados porque não fazem parte dos objetivos principais deste trabalho.

b) Análise Faciológica:

A análise faciológica consistiu na: (1) individualização e descrição das litofácies das formações Pacujá e Aprazível, caracterizando principalmente suas texturas e estruturas sedimentares, utilizando-se os conceitos de Gressly apud WALKER (1992), MIALL (1984) e READING (1991); (2) agrupamento das litofácies contemporâneas e cogenéticas em associações representativas de cada ambiente e sistema deposicional reconhecido; (3) definição dos processos sedimentares que atuaram durante a deposição dos sedimentos destas formações; e (4) sintetização dos resultados através de modelos deposicionais. As descrições das litofácies tiveram como suporte os perfis estratigráficos e as seções panorâmicas.

c) Estudos Petrográficos:

Os estudos petrográficos envolveram descrições de seções delgadas das amostras de arenitos e rochas vulcânicas. Nos caso dos arenitos foram escolhidas as amostras mais representativas das formações Pacujá e Aprazível, com o objetivo de caracterizar textura e composição mineralógica destes sedimentos, bem como, classificá-los segundo o esquema de FOLK (1980), sem avançar no estudo da diagênese e metamorfismo.

d) Análise Estrutural:

Consistiu no tratamento estatístico das atitudes de acamamento, fraturas, lineações, estrias, dobras e eixos de dobras, utilizando-se a rede estereográfica de equiárea de Schmidt-Lambert, considerando o hemisfério inferior da esfera, com o objetivo de compreender os aspectos geométricos e cinemáticos da Bacia de Jaibaras e das unidades litoestratigráficas ali ocorrentes. Nesta etapa foram utilizados os trabalhos de RAMSAY & HUBER (1987) para classificar as dobras, falhas e fraturas, e o aplicativo *StereoNet for Windows* (Versão 2.07) para o tratamento estatístico automático dos dados estruturais obtidos no campo e para a elaboração dos estereogramas. A análise das dobras foi feita através da construção dos diagramas de polos,

contornos de densidade e dos diagramas  $\pi$  e  $\beta$ . O diagrama  $\pi$  é obtido a partir do diagrama de polos, através do qual é determinada uma guirlanda e o polo desta guirlanda representa o eixo  $\pi$  que é espacialmente paralelo ao eixo verdadeiro da dobra. O diagrama  $\beta$  é obtido através da plotagem dos planos dos dois flancos da dobra, os quais se interceptam segundo um ponto, que corresponde ao eixo  $\beta$ , paralelo ao eixo verdadeiro da dobra (HASUI & MIOTTO, 1992). A análise do fraturamento consistiu na definição das principais famílias de fraturas, utilizando-se dos diagramas de polo e de contorno de densidade, definindo um triângulo de interseção pelas famílias geneticamente relacionadas, a partir do qual podem ser deduzidos os eixos de tensão (BADGLEY, 1959).

## 2 - GEOLOGIA DA REGIÃO NOROESTE DO CEARÁ

### 2.1 - TRABALHOS ANTERIORES

A evolução do conhecimento geológico da região nordeste do Brasil encontra-se sintetizada nos trabalhos de NASCIMENTO & GAVA (1979), SANTOS & NEVES (1984) e SCHOBENHAUS et al. (1984). Conforme esses autores assinalam, os estudos foram iniciados já no século passado através de trabalhos pioneiros dentro do contexto das Ciências Naturais. No início deste século é que surgiram os primeiros trabalhos sobre o conhecimento geológico, os quais lançaram os primeiros conceitos básicos sobre a região.

Nas décadas de 20 e 30 pouco se avançou no conhecimento geológico do nordeste brasileiro, sendo os estudos reiniciados somente na década de 40, durante o período da Segunda Guerra Mundial, devido ao aumento na demanda de minerais para o consumo durante o conflito. A partir de 1954 ocorreu um grande impulso no conhecimento geológico, através da publicação de diversos trabalhos, a maioria na forma de sínteses regionais com enfoque geotectônico, nos quais se dava grande importância à atuação do Ciclo Brasileiro.

A partir da década de 70 iniciou-se uma série de projetos de mapeamento geológico básico, na escala de 1:250.000 e superiores, patrocinados pelo DNPM (Departamento Nacional de Produção Mineral) e executados pela CPRM (Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais), cobrindo praticamente todo o Nordeste Oriental do Brasil, com destaque para os projetos Jaibaras, Cococi, Crateús, Jaguaribe, Fortaleza, Apazível, Martinópolis e as Cartas Geológicas do Brasil ao Milionésimo reintegrando o conhecimento previamente desenvolvido.

Na região noroeste do Estado do Ceará, mais especificamente na Bacia de Jaibaras, foram realizadas diversas investigações geológicas direcionadas aos aspectos litoestratigráficos das seqüências sedimentares ali presentes, com trabalhos que enquadraram as rochas a nível de grupos e formações, alguns fazendo referências a ambientes de deposição. Destacam-se assim os trabalhos de KEGEL et al. (1958), DANNI (1972), MELLO (1978), COSTA et al. (1973), SÁ et al. (1979), NASCIMENTO & GAVA (1979), NASCIMENTO et al. (1981), HACKSPACHER et al. (1988), GORAYEB et al. (1988) e QUADROS et al. (1994).

Estudos específicos abordando aspectos geocronológicos foram realizados por NEVES (1975), NOVAIS et al. (1979), NASCIMENTO et al. (1981), ABREU & LAFON (1991), GORAYEB et al. (1991), HACKSPACHER et al. (1991), TAVARES Jr. et al. (1991) e GAUDETTE et al. (1993), e recentemente estudos com enfoque na evolução tectono-sedimentar foram feitos por GORAYEB et al. (1988), ABREU et al. (1993), NASCIMENTO & ABREU (1994), MABESOONE (1994) e QUADROS & ABREU (1995).

## 2.2 - CONHECIMENTO ATUAL

### 2.2.1 - Geomorfologia

As grandes unidades geomorfológicas da região noroeste do Estado do Ceará foram individualizadas com base na homogeneidade das formas de relevo e o seu posicionamento altimétrico relativo. Como critérios secundários utilizaram-se as características da geologia, vegetação e dos solos. A região foi assim dividida em quatro unidades, denominadas formalmente de Planície Litorânea, Superfície Sertaneja, Planalto da Ibiapaba e Planaltos Residuais (MOREIRA & GATTO, 1981).

A Planície Litorânea abrange parte do litoral do Ceará, estendendo-se aos litorais do Piauí e Maranhão. É constituída por planícies fluvio-marinhas, que se destacam nas desembocaduras dos rios Acaraú e Coreaú, propiciando o desenvolvimento de manguezais, e por dunas que formam cordões quase contínuos ao longo da costa, desenhando faixas em torno de 2,5 km de largura.

A Superfície Sertaneja corresponde ao nível mais baixo do relevo com cotas em torno de 190 m e altitude máxima de 330 m. Constitui a unidade de maior expressão territorial, estendendo-se além dos limites da região em foco. Subdivide-se em duas partes distintas: área conservada, que apresentam superfície plana e mapeada como superfície pediplanada, contendo depressões de pequenos desníveis que durante os períodos chuvosos retêm água, propiciando o aparecimento de uma cobertura de gramíneas; área dissecada, que correspondem às áreas

residuais, gradativamente mais elevadas do que a superfície pediplanada, as quais apresentam capacidade de sulcamento da drenagem.

O Planalto da Ibiapaba, representado pela borda leste atual da Bacia do Parnaíba e com altitudes superiores a 700 metros, corresponde na região em estudo à Serra da Ibiapaba. A escarpa erosiva da serra está voltada para leste e orientada segundo a direção norte-sul. O Planalto da Ibiapaba apresenta declividade alta ( $> 20^\circ$ ), topo extenso com formas arredondadas e aplainadas, localmente angulosas, e com vertentes apresentando formas côncavas, retilíneas e côncavo-convexas nas quais observam-se ravinamentos.

Os Planaltos Residuais são representados por relevos residuais de extensões variadas que se destacam em meio a Superfície Sertaneja. Subdivide-se em dois grupos: o primeiro que envolve os relevos com altitudes superiores a 700 metros, tendo como exemplo as serras da Meruoca, Pajé e da Barriga; e o segundo com altitudes que variam entre 300 e 700 metros, tais como, a Serra do Carnutum e da Penanduba.

## 2.2.2- Estratigrafia

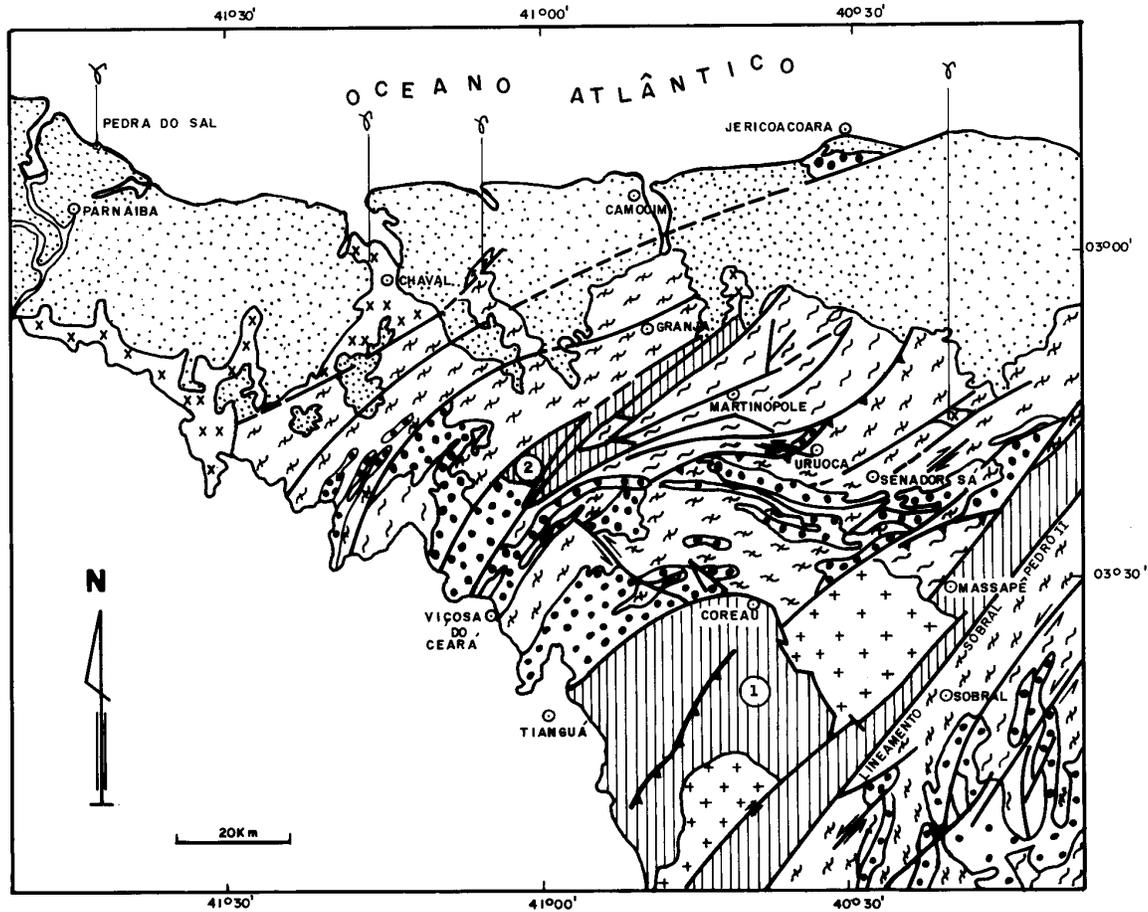
### 2.2.2.1 - Aspectos Gerais

As várias colunas estratigráficas propostas para região noroeste do Estado do Ceará, encontram-se sintetizadas na Figura 2, que apresenta as diferenças com relação ao posicionamento estratigráfico das unidades, porém, as denominações dos grupos e formações foram mantidas ao longo do desenvolvimento dos trabalhos.

As unidades litoestratigráficas mais antigas compreendem os Complexos de Granja e Nordeste (NASCIMENTO et al. 1981) e o Grupo Martinópolis (COSTA et al. 1973), metamorfizados em médio a alto-grau com importantes transformações retrometamórficas e são consideradas como tendo idades que variam do Arqueano ao Paleo-Mesoproterozóico. Confinados a bacias do tipo *grabens* estabelecidas no Neoproterozóico-Paleozóico inferior (*grabens* Jaibaras e Jaguarapi) ocorrem o Grupo Ubajara (formações Trapiá, Caiçaras, Frecheirinha e Coreáú), Grupo Jaibaras (formações Massapê e Pacujá), rochas vulcânicas a subvulcânicas da Suite Parapuí e a Formação Aprazível. Diversos *plutons* graníticos de idade cambriana ocorrem nesta região, com destaque para os granitos Meruoca, Mucambo, Serra da Barriga, Pajé, Morrinhos, São Paulo e Araras (Figura 3) (NEVES, 1973; FARINA, 1977; SÁ et al. 1979; GAMA Jr. et al. 1988; GORAYEB et al. 1988; HACKSPACHER et al. 1988; ABREU et al. 1989; GORAYEB & ABREU, 1989; GORAYEB & ABREU, 1991).

O quadro geológico da região noroeste do Ceará completa-se com os sedimentos siluro-devonianos do Grupo Serra Grande da Bacia do Parnaíba e pelas coberturas cenozóicas ocorrentes ao longo da costa cearense.





**CONVENÇÕES**

- |   |  |   |                       |
|---|--|---|-----------------------|
|  | COBERTURA QUATERNÁRIA E TERCIÁRIA                              |  | FALHAS TRANSCORRENTES |
|  | ROCHAS SEDIMENTARES DA BACIA DO PARNAÍBA                       |  | FALHAS INVERSAS       |
|  | GRANITOS INTRUSIVOS TIPO MERUOCA                               |  | CONTATO GEOLÓGICO     |
|  | SISTEMA UBAJARA-JAIBARAS (BACIAS DE: ① JAIBARAS, ② JAGUAPARI). |  | FALHA INDISCRIMINADA  |
|  | AUGEN-GRANITÓIDES TIPO CHAVAL.                                 |   |                       |
|  | CÁLCIO-SILICÁTICAS E XISTOS MILONÍTICOS, FILONITOS             |   |                       |
|  | QUARTZITOS (SILLIMANITA-CIANITA-CORDIERITA) MILONÍTICOS        |   |                       |
|  | GNAISSSES, MIGMATITOS, ANFIBOLITOS, GRANULITOS MILONÍTICOS     |   |                       |

Figura 3 - Mapa Geológico da Região Noroeste do Ceará. Modificado de ABREU et al. (1988).

### 2.2.2.2 - Bacia de Jaibaras

A Bacia de Jaibaras, delimitada primeiramente por KEGEL et al. (1958) e denominada posteriormente de *Graben* de Jaibaras por COSTA et al. (1973), encontra-se posicionada ao longo de um feixe de zonas de cisalhamento de direção nordeste-sudoeste, que quando projetadas para sudoeste sob os sedimentos da Bacia do Parnaíba, materializam o Lineamento Transbrasiliano, ao longo do qual ocorrem uma série de pequenos *grabens* preenchidos por sedimentos pré-Grupo Serra Grande (GÓES et al. 1994; SOUSA & OLIVEIRA, 1995).

A Bacia de Jaibaras caracteriza-se como uma bacia do tipo *rift* continental, segundo a classificação de Bally & Snelson apud MIALL (1984), com preenchimento de caráter molassóide, alongada segundo a direção nordeste-sudoeste, medindo 120 km de comprimento por 50 km de largura. Seus limites a noroeste são demarcados pelas zonas de cisalhamento Arapá e Massapê, a sudeste pela zona de cisalhamento Sobral-Pedro II e a sudoeste e nordeste os mesmos encontram-se encobertos, respectivamente, por sedimentos silurianos da Bacia do Parnaíba e por sedimentos cenozóicos. Diversas outras zonas de cisalhamento seccionam o seu preenchimento, com destaque para a Zona de Cisalhamento Café-Ipueiras.

As seqüências litoestratigráficas que constituem o preenchimento da Bacia de Jaibaras, encontram-se subdivididas nos Grupos Ubajara e Jaibaras, e na Formação Aprazível. Ocorrem também rochas ígneas vulcânicas incluídas na Suite Parapuí e plutônicas na Suite Meruoca.

A denominação Grupo Ubajara foi introduzida por NOVAIS et al. (1979) e NASCIMENTO & GAVA (1979) para substituir a polêmica denominação de Grupo Bambuí dada por COSTA et al. (1973). Segundo NEVES (1973) o Grupo Ubajara (Meso/Neo-Proterozóico) caracteriza o registro de um ciclo tectono-sedimentar completo em margem continental, com litofácies psamíticas proximais (Formação Trapiá), distais (Formação Caiçaras) com passagens laterais e interdigitadas. Para o topo encontra-se uma seqüência metacarbonática marinha (Formação Frecheirinha), culminando numa seqüência metarcosiana e metagrauváquica

(Formação Coreaú). Segundo HACKSPACHER et al. (1988) a Formação Caiçaras foi depositada em um ambiente de sedimentação fluvial distal meandrante, onde os metapelitos caracterizam uma planície de inundação e os metarenitos depósitos de canais de rios meandantes, enquanto que a Formação Trapiá representa um ambiente de planície de maré e a Formação Frecheirinha um ambiente marinho plataformal. Com relação à Formação Coreaú existem contradições acerca da sua existência, haja visto que, segundo GORAYEB et al. (1988), as formações Coreaú e Pacujá são muito semelhantes entre si.

O Grupo Jaibaras (Neo-Proterozóico/Cambriano) foi caracterizado como uma seqüência sedimentar de caráter molassóide, com vulcanismo fissural associado. A base do Grupo Jaibaras é caracterizada por brechas e conglomerados polimíticos intercalados a arenitos arcossianos finos, denominados de Formação Massapê. Sobre estes e em contato gradacional ocorrem arenitos arcossianos, grauvacas, siltitos e folhelhos, incluídos na Formação Pacujá. (COSTA et al. 1973); NASCIMENTO & GAVA, 1979; SÁ et al. 1979; GORAYEB et al. 1988).

O ambiente de sedimentação do Grupo Jaibaras, segundo MELLO (1978), é de cone aluvial representado pelos sedimentos grossos das formações Massapê e Aprazível (aqui incluída no Grupo Jaibaras), de canal pelos sedimentos arenosos maciços da Formação Pacujá e de planície de inundação pelos lamitos argilosos também da Formação Pacujá. GORAYEB et al. (1988) atribuíram para o Grupo Jaibaras um ambiente de leque aluvial em clima seco, onde a Formação Massapê representa fácies proximal e a Formação Pacujá fácies distal em relação às fontes dos sedimentos. Os sedimentos que constituem este grupo apresentam um grau de diagênese elevado a muito elevado (MELLO, 1978), até chegando ao campo do anquimetamorfismo (NOVAIS et al. 1979).

As manifestações magmáticas presentes fora e dentro da Bacia de Jaibaras, seccionando os Grupos Ubajara e Jaibaras, têm sido consideradas como pós-brasilianas. As de natureza intrusiva estão representadas pelos granitos Meruoca, Mucambo, Serra da Barriga, Pajé e Araras, pertencentes à Suite Meruoca de idade cambriana. As de origem extrusiva estão representadas por um conjunto de rochas vulcânicas (basaltos, andesitos, dacitos e riolitos), sub-

vulcânicas e vulcanoclásticas, que ocorrem cortando ou recobrando as formações Massapê e Pacujá, sendo denominadas de Formação Parapuí por COSTA et al. (1973) e incluída no Grupo Jaibaras e de Suite Parapuí por GORAYEB et al. (1988).

Recobrando em discordância erosiva e tectônica o Grupo Jaibaras e as rochas da Suite Meruoca e Parapuí, ocorre a Formação Aprazível (Ordoviciano) constituída por conglomerados e brechas polimíticas, contendo seixos de diversos litótipos observados no embasamento cristalino, nas formações Massapê e Pacujá, além de fragmentos de rochas vulcânicas e granitos relacionados, respectivamente, às suites Parapuí e Meruoca.

### 2.2.3- Arcabouço Estrutural

No contexto geológico regional, a região noroeste do Estado do Ceará, situada a noroeste do Lineamento Sobral-Pedro II, insere-se no sistema de dobramentos Médio Coreau (NEVES, 1975) e encontra-se incluída na Província Borborema de Almeida apud SANTOS & NEVES (1984). Nesta região distingue-se uma sucessão alternada de blocos altos e baixos, compreendendo de norte para sul o *Horst* de Granja, o *Graben* de Martinópolis, o *Horst* de Tucunduba, o *Graben* Bambuí-Jaibaras e a Plataforma de Sobral (COSTA et al., 1973).

Esta região foi enquadrada, no passado, no contexto de maciços e faixas *nóveis* por NEVES (1975) e mais recentemente, à luz dos novos conceitos da geologia estrutural e geotectônica, como um Cinturão de Cisalhamento denominado de Noroeste do Ceará por ABREU et al. (1988) (Figura 3). O cinturão encontra-se compartimentado, com base em dados litológicos e estruturais, em três domínios a saber (Figura 4): Noroeste - constituído pelos granitóides Pedra do Sal e Chaval, e localmente por rochas xistosas; Mediano - subdividido em sub-área I (gnaisses kinzigíticos, granulíticos, enderbíticos e máficos, gnaisses migmatizados, quartzitos miloníticos e corpos anfíbolíticos restritos), sub-área II (gnaisses tonalíticos, leucogranodioríticos, trondhjemíticos e monzograníticos, e localmente cálcio-silicáticas, anfíbolitos, quartzitos e xistos miloníticos), sub-área III (supracrustais diversas do Grupo Martinópolis e localmente rochas dos Grupos Ubajara e Jaibaras) e sub-área IV (constituída pelos

litótipos já descritos nas sub-áreas II e III, além de supracrustais); e Sudeste - caracterizado por rochas do Grupo Ubajara e Jaibaras, e pelos granitos Meruoca e Mucambo.

#### 2.2.4- Geocronologia

As datações geocronológicas existentes de rochas da região noroeste do Ceará, referem-se a resultados obtidos, principalmente, através do método Rb/Sr, a maioria em rocha total, e em menor escala dos métodos K/Ar, U/Pb em zircão, Sm/Nd em rocha total e Pb/Pb a partir de monocristais de zircão (Figura 5), totalizando mais de cem análises geocronológicas.

No Complexo de Granja, NEVES (1975) obteve uma isócrona de referência Rb/Sr onde a inclinação da reta forneceu uma idade recalculada de 1.190 Ma, atribuída a eventos de rehomogeneização isotópica. NOVAIS et al. (1979) analisaram em conjunto os dados disponíveis de Rb/Sr em rocha total, obtendo uma idade em torno de 1.700 Ma, assumida como referente ao Ciclo Transamazônico. NEVES (1975) e NEVES (1978) obtiveram idades K/Ar que ficaram em torno de 670 à 490 Ma, sendo estas interpretadas como produtos da atuação tectono-termal do Ciclo Brasileiro. Recentemente, ABREU & LAFON (1991) em trabalhos no Complexo de Granja, enfocando o sistema Rb/Sr em rocha total nas supracrustais granulitizadas ocorrentes em afloramentos situados entre as cidades de Granja e Camocim, obtiveram a idade de  $1.929 \pm 60$  Ma, atribuída a re-homogeneização isotópica das amostras analisadas, durante o Evento Transamazônico. HACKSPACHER et al. (1991) obtiveram uma idade Rb/Sr em rocha total de

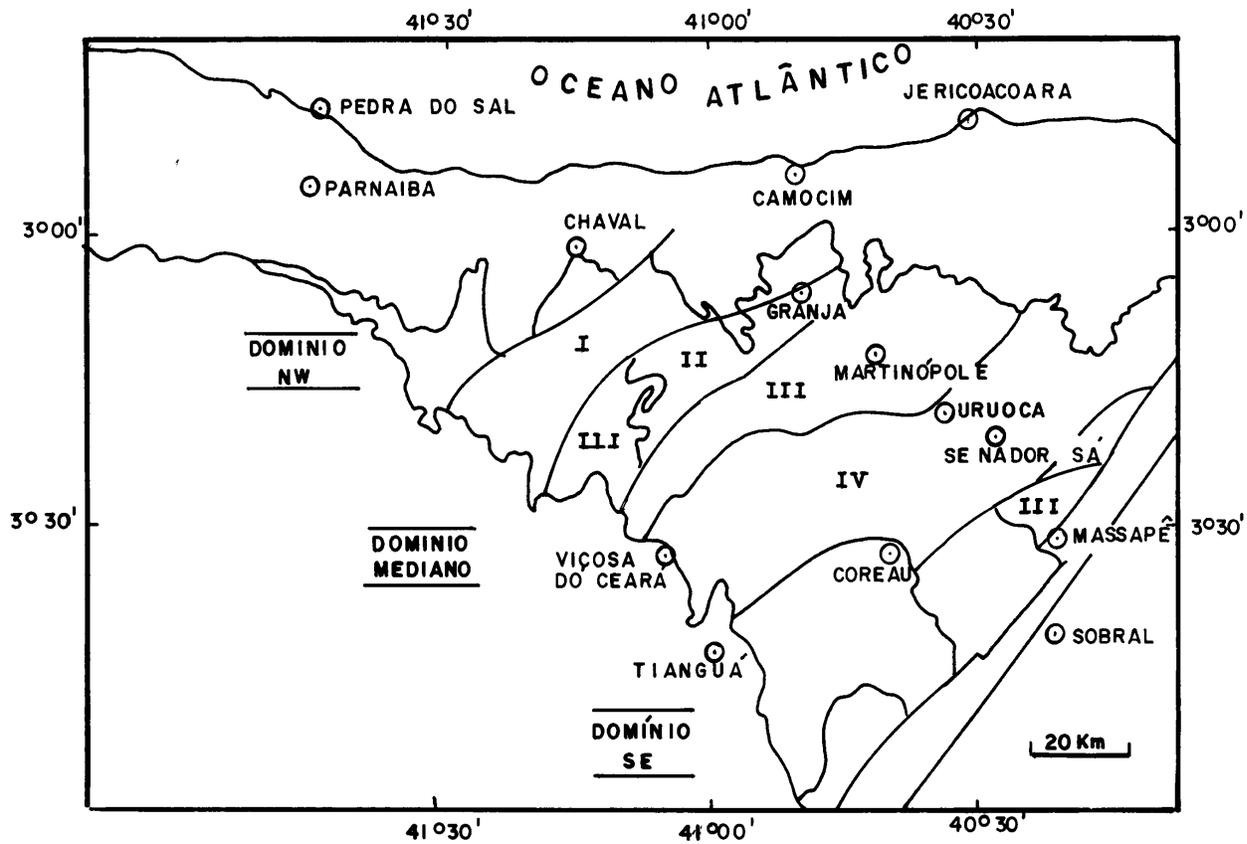


Figura 4 - Mapa mostrando a Compartimentação em Domínios Estruturais do Cinturão de Cisalhamento Noroeste do Ceará. Modificado de ABREU et al. (1988).

UNIDADES LITOLÓGICAS	MÉTODOS DE DATAÇÃO	MATERIAL UTILIZADO	IDADES (Ma)	REFERÊNCIAS
COMPLEXO DE GRANJA	Rb/Sr	isócrona de referência rocha total	1.190 1.700	NEVES (1975) NOVAIS et al. (1979)
		rocha total (ortognaisses)	3.134±94	HACKSPACHER et al. (1991)
		rocha total (migmatitos)	2.235±71	HACKSPACHER et al. (1991)
		rocha total (granulitos)	1.929±60	ABREU & LAFON (1991)
		rocha total (granulitos)	1.935±17	GAUDETTE et al. (1993)
COMPLEXO DE GRANJA	K/Ar	-----	670 à 490	NEVES (1975, 1978)
COMPLEXO DE GRANJA	Pb/Pb	zircões de granulitos	2.028±38 2.253±27 2.086±08	GAUDETTE et al. (1993)
COMPLEXO DE GRANJA	U/Pb	zircões de gnaisses	2.200 2.290 2.360	FETTER et al. (1995)
COMPLEXO DE GRANJA	Sm/Nd	rocha total (TDM)	2.610 2.380	FETTER et al. (1995)
GRUPO MARTINÓPOLE	Rb/Sr	isócrona de referência	650	NOVAIS et al. (1979)
GRUPO MARTINÓPOLE	U/Pb	zircões de metariolito	808	FETTER et al. (1995)
GRUPO MARTINÓPOLE	Sm/Nd	rocha total (TDM) (xistos)	1.340	FETTER et al. (1995)
FORMAÇÃO CAIÇARAS (G. UBAJARA)	Rb/Sr	rocha total	1.000 610 580	NOVAIS et al. (1979)
FORMAÇÃO PACUJÁ (G. JAIBARAS)	Rb/Sr	rocha total	535±27	NOVAIS et al. (1979)
SUITE PARAPUÍ	K/Ar	-----	510 à 480	NOVAIS et al. (1979)
GRANITO MERUOCA	K/Ar	-----	440	NASCIMENTO et al. (1981)
GRANITO MERUOCA	Rb/Sr	isócrona de referência rocha total	512±10 507±36	NASCIMENTO et al. (1981) SIAL et al. (1981)
GRANITO MUCAMBO	Rb/Sr	rocha total	548±24	SIAL et al. (1981)
GRANITO SERRA DA BARRIGA	Rb/Sr	idade convencional rocha total	530±22 482±08	NOVAIS et al. (1979) TAVARES Jr. et al. (1991)
GRANITO DO PAJÉ	Rb/Sr	rocha total	533±22	TAVARES Jr. et al. (1991)

Figura 5 - Quadro com os principais dados geocronológicos das unidades litoestratigráficas da porção noroeste do Estado do Ceará.

3.134±94 Ma em ortognaisses do Complexo de Granja, interpretada como o início da evolução do complexo, enquanto que GAUDETTE et al. (1993) obtiveram a idade Rb/Sr de 1.935±17 Ma em granulitos, a qual foi interpretada como o reflexo de um evento geológico que permitiu a re-homogeneização isotópica das rochas analisadas, e idades Pb/Pb em zircões de 2.028±38 Ma, 2.253±27 Ma, 2.076±12 Ma e 2.086±8 Ma, obtidas em gnaisses e granulitos próximo a cidade de Granja, interpretadas como idades de cristalização. A idade Rb/Sr acima referida representa o evento principal de estruturação do Cinturão de Cisalhamento Noroeste do Ceará. FETTER et al. (1995) conseguiram idades U/Pb em zircão entre 2.290 Ma e 2.360 Ma, em rochas gnáissicas e granulíticas da região de Granja e idades Sm/Nd que dão valores (TDM) entre 2.390 Ma e 2.610 Ma, com um valor médio de 2.470 Ma, sendo que as idades obtidas pelos dois métodos são muito próximas entre si, evidenciando que o embasamento consiste de material Sideriano juvenil (2.500 a 2.300 Ma).

Nos Grupos Martinópolis, Ubajara e Jaibaras as análises geocronológicas foram realizadas por NOVAIS et al. (1979), utilizando-se do método Rb/Sr. Os resultados obtidos foram dispersos, implicando em poucos dados conclusivos. Os diagramas isocrônicos retratam as dificuldades na obtenção de uma idade segura para estes referidos grupos, onde as mesmas são apenas de caráter especulativo. Para o Grupo Martinópolis, que reúne litótipos das mais variadas fontes (ígneas, metamórficas e sedimentares), a isócrona de referência forneceu uma idade de 650 Ma, atribuída ao metamorfismo regional Brasileiro. Recentemente, FETTER et al. (1995) obtiveram uma idade de 808 Ma, aplicando-se o método U/Pb em zircão em um metariolito que se intercala com meta-sedimentos, localizado a 24 km a nordeste de Martinópolis, e idades Sm/Nd de rocha total em um xisto, obtendo um valor (TDM) que dá uma idade de 1.340 Ma. Esta diferença entre as idades mostra que a fonte para os sedimentos foi uma mistura de material juvenil e uma fonte mais antiga.

As determinações radiométricas realizadas sobre rochas do Grupo Ubajara apresentaram problemas em função da ausência de litótipos adequados para a aplicação da metodologia Rb/Sr. Das formações que constituem este grupo, somente a Formação Caiçaras apresentou material apropriado, muito embora surgiram problemas na análise do sistema Rb/Sr, principalmente em função de alterações intempéricas. A isócrona obtida forneceu uma idade de 1.000 Ma, que foi atribuída a idade da sedimentação, e uma de 610 Ma, correspondente à fase deformacional e metamorfismo da Formação Caiçaras. O metamorfismo regional é datado em torno de 580 Ma (idade mínima), sendo o valor da idade isocrônica das intrusivas fissurais cálcio-alcalinas que recortam o Grupo Ubajara.

No Grupo Jaibaras, mais especificamente na Formação Pacujá, NOVAIS et al. (1979) executaram datações radiométricas Rb/Sr na fração argila e rocha total, a partir de amostras coletadas em afloramentos localizados entre as cidades de Sobral e Massapê. A idade obtida foi de  $535 \pm 27$  Ma (Cambriano), sendo atribuída aos processos principais de transformações termodinâmicas (diagênese alta a anquimetamorfismo). Os eventos deposicionais não foram determinados através dos métodos radiométricos, sendo os mesmos inferidos como iniciados no Neo-Proterozóico e estendendo-se até o Cambriano. Para as rochas vulcânicas pertencentes a Suite Parapuí (GORAYEB et al. 1988), as idades K/Ar forneceram valores em torno de 480 e 510 Ma (final do Cambriano), interpretados como idades de resfriamento, valores estes próximos à colocação das mesmas na crosta.

Dos granitos ocorrentes na região noroeste do Ceará a maioria das idades obtidas, através de isócronas de referência e convencionais, foram em amostras dos granitos Meruoca, Mucambo, Serra da Barriga e dos diques que ocorrem associados a estes corpos graníticos. Os granitos Meruoca, Mucambo e Serra da Barriga contam com mais de dez datações Rb/Sr e algumas K/Ar.

Uma das isócronas de referência Rb/Sr existente na literatura envolve amostras dos granitos Meruoca, Mucambo, Serra da Barriga e diques a eles associados, a qual forneceu uma idade de  $512 \pm 10$  Ma para uma razão isotópica inicial de  $0,7044 \pm 0,0011$ . As datações existentes relativas ao método K/Ar forneceram idades em torno de 440 Ma, representando idades mínimas relacionadas a processos tectônicos (NASCIMENTO et al. 1981).

As datações Rb/Sr realizadas por SIAL et al. (1981) em amostras do granito Meruoca indicaram uma idade de  $507 \pm 36$  Ma e uma razão isotópica inicial de  $0,7071 \pm 0,0015$  e para o Mucambo idade de  $548 \pm 24$  Ma, com uma razão isotópica inicial de  $0,7107 \pm 0,0011$ .

As primeiras datações efetivadas em amostras do granito Serra da Barriga forneceram uma idade convencional de  $530 \pm 22$  Ma (NOVAIS et al., 1979). Estudos recentes realizados por TAVARES Jr. et al. (1991) em um conjunto de nove amostras deste granito, analisadas pelo método Rb/Sr, forneceram um diagrama isocrônico que indicou uma idade de  $482 \pm 8$  Ma, com uma razão isotópica inicial de  $0,70963 \pm 0,00160$  e MSWD de 0,39, interpretada como a idade de cristalização.

No granito do Pajé as datações geocronológicas, utilizando o método Rb/Sr, em amostras de rocha de afloramentos situados entre os quilômetros 19 e 24 da CE-55, a norte de Santa Quitéria, forneceram a idade de  $533 \pm 22$  Ma, com uma razão isotópica inicial de  $0,70474 \pm 0,00126$  e MSWD de 0,8, interpretada como idade de cristalização (TAVARES Jr. et al., 1991).

Na Formação Aprazível não foi realizado nenhum estudo geocronológico, sendo esta posicionada no Ordoviciano em função dos clastos de rochas vulcânicas e de granitos serem similares às litologias das suites Parapuí e Meruoca, respectivamente, bem como em função dos sedimentos sobrepostos discordantemente e pertencentes ao Grupo Serra Grande da Bacia do Parnaíba, de idade siluro-devoniana.

### 3 - GEOLOGIA DA BACIA DE JAIBARAS

#### 3.1 - ASPECTOS GERAIS

Os estudos realizados na porção sudoeste da Bacia de Jaibaras, entre as cidades de Pacujá e Jaibaras na região noroeste do Ceará, envolvendo mapeamento geológico básico, análises faciológica, petrográfica e estrutural, resultaram na elaboração de um mapa geológico na escala de 1:50.000 (Anexo A). Este mapa apresenta a distribuição espacial das formações Pacujá e Aprazível, com as suas respectivas associações faciológicas, e das rochas vulcânicas as quais têm sido incluídas, em trabalhos anteriores, na Suite Parapuí. Foram cartografadas, também, as áreas de ocorrência das rochas pertencentes ao Complexo de Granja, Grupo Ubajara (Formação Frecheirinha), Granito Mucambo e do Grupo Serra Grande, que não fazem parte dos objetivos principais deste trabalho e, portanto, estão mapeadas mas não foram estudadas em detalhe (Anexo A). Rochas pertencentes a Formação Massapê (unidade basal do Grupo Jaibaras) não ocorrem na área estudada, sendo que para a elaboração do modelo de evolução tectono-sedimentar da Bacia de Jaibaras, utilizou-se os dados desta formação que estão disponíveis na literatura.

As rochas que constituem as formações Pacujá e Aprazível foram estudadas em afloramentos do tipo corte de estrada, leitos de rios e riachos, blocos, matacões e "lajedos". Vale ressaltar que, em geral, os afloramentos raramente ultrapassavam a 4 metros de altura, fato este que limitou a observação da geometria das litofácies. Outros fatores que dificultaram os estudos foram a ausência de um horizonte guia e a ocorrência de falhas e dobras que impediram o estabelecimento de correlações stratigráficas a longas distâncias.

A Formação Pacujá, na área estudada, é caracterizada como uma seqüência vulcano-sedimentar afossilífera, dobrada e falhada, composta geralmente por intercalações rítmicas de arenitos finos a siltitos com pelitos. Rochas vulcânicas básicas a ácidas e sub-vulcânicas ocorrem associadas aos sedimentos da Formação Pacujá, na forma de *sills*, diques e derrames. Relacionados aos derrames, ocorrem lentes de rochas vulcanoclásticas piroclásticas e epiclásticas, segundo a classificação de FISHER (1958), FISHER (1961) e FISHER (1963).

Este conjunto, composto por rochas vulcânicas, sub-vulcânicas e vulcanoclásticas, foi denominado por GORAYEB et al. (1988) de Suite Parapuí. Segundo estes autores, tais rochas ocorrem cortando ou recobrando os sedimentos da Formação Pacujá. Entretanto, durante os trabalhos de campo, observou-se ao longo dos perfis realizados na CE-071, entre o trevo da BR-222 e a cidade de Jaibaras, e nos arredores de Arariús, que as rochas vulcânicas ocorrem cortando, na forma de sills e diques, ou intercaladas, no caso dos derrames e das rochas vulcanoclásticas, aos sedimentos da Formação Pacujá. Estas relações de contato impediram, em geral, a separação no mapa das áreas de ocorrência de sedimentos e de rochas de natureza vulcânica, sendo individualizados somente alguns *sills*, os derrames mais expressivos e as maiores áreas de ocorrência das brechas vulcanoclásticas. Portanto, os sedimentos e as rochas vulcânicas representam variações faciológicas da Formação Pacujá.

Recobrando, em discordância erosiva e tectônica a Formação Pacujá, ocorre a Formação Aprazível, constituída por conglomerados, arenitos e intercalações arenitos/pelitos. Esta unidade, que compreende uma seqüência sedimentar pouco espessa, mostra-se falhada e basculada em geral para sudeste.

Na região estudada, o contato noroeste das formações Pacujá e Aprazível com o Grupo Ubajara e com o Granito Mucambo é tectônico, demarcado pela zona de cisalhamento Café-Ipueiras. Ao longo desta zona o granito Mucambo apresenta-se deformado, chegando até a formar milonitos e ultramilonitos, orientados segundo a direção nordeste-sudoeste. Superposto a esse quadro tectônico verifica-se a existência de uma forte foliação cataclástica orientada na mesma direção. Próxima à zona de cisalhamento Café-Ipueiras os sedimentos das formações Pacujá e Aprazível exibem, também, uma foliação cataclástica penetrativa, orientada segundo a direção nordeste-sudoeste.

Na porção sudeste da Bacia de Jaibaras, o contato dos sedimentos das formações Pacujá e Aprazível com o embasamento cristalino é tectônico e demarcado pela zona de cisalhamento Sobral-Pedro II, orientada na direção nordeste-sudoeste e caracterizada por milonitos e ultramilonitos, verticalizados e dobrados. Estes gradam em direção a sudeste para

gnaisse de orto e paraderivação, kinzigitos, granulitos e granitóides foliados, que fazem parte da Faixa de Alto Grau de Cariré definida por GORAYEB & ABREU (1989). Próximo a este limite os sedimentos das formações Pacujá e Aprazível apresentam uma foliação cataclástica penetrativa, orientada segundo a direção nordeste-sudoeste.

A sudoeste da Bacia de Jaibaras, ocorre o Grupo Serra Grande que pertence a Bacia do Parnaíba. As rochas deste grupo recobrem, em discordância erosiva e tectônica, os sedimentos das formações Pacujá e Aprazível e as rochas do embasamento cristalino. O Grupo Serra Grande é constituído por conglomerados oligomíticos e arenitos quartzosos, estratificados e bastante silicificados, os quais mergulham em torno de cinco graus para oeste. As rochas deste grupo exibem localmente uma foliação cataclástica penetrativa, de direção nordeste-sudoeste, exibindo percolações de sílica nos planos de falhas, ao longo das áreas onde elas recobrem a Zona de Cisalhamento Sobral-Pedro II.

## 3.2 - ANÁLISE FACIOLÓGICA

### 3.2.1 - Descrição das litofácies

#### 3.2.1.1 - Formação Pacujá

Na Formação Pacujá, com base nos critérios abordados no item 1.4b, foram individualizadas cinco litofácies, descritas a seguir:

##### a) **Litofácies arenitos finos/siltitos intercalados com pelitos (Pap)**

A litofácies Pap predomina em toda a área estudada e suas melhores exposições estão situadas nas redondezas das cidades de Pacujá, Graça e no sangradouro do açude Aires de Souza, na cidade de Jaibaras. É constituída por intercalações rítmicas de arenitos finos a muito finos/siltitos, com pelitos (Figuras 6, 7 e 8; Anexos B, C e D).

Os arenitos ocorrem sob a forma de bancos tabulares com espessuras decimétricas a métricas, contínuos lateralmente, exibindo base abrupta e gradação normal. Apresentam coloração marrom-arroxeadada com tons amarelados e esbranquiçados, granulação fina a muito fina/siltitos, composição arcossiana e são em geral micáceos. Na parte inferior dos bancos, os arenitos podem apresentar-se maciços, contendo localmente pequenos fragmentos de pelitos e, em direção ao topo, exibem laminação plano-paralela, laminação cruzada truncante de baixo ângulo ou cruzada *micro-hummocky*, no sentido de DOTT Jr. & BOURGEOIS (1982), laminação cruzada cavalgante (*climbing wave-ripple cross lamination*), localmente lineação de partição e laminação convoluta (Figuras 9, 10, 11, 12 e 13). No topo dos bancos de arenitos ocorrem, eventualmente, marcas onduladas assimétricas (Figura 14) e simétricas com cristas retas a levemente sinuosa (Figura 15), por vezes bifurcadas.



Figura 6 - Aspecto geral dos bancos tabulares de arenitos finos/siltitos da litofácies Pap da Formação Pacujá (sangradouro do açude Áires de Souza na cidade de Jaibaras).

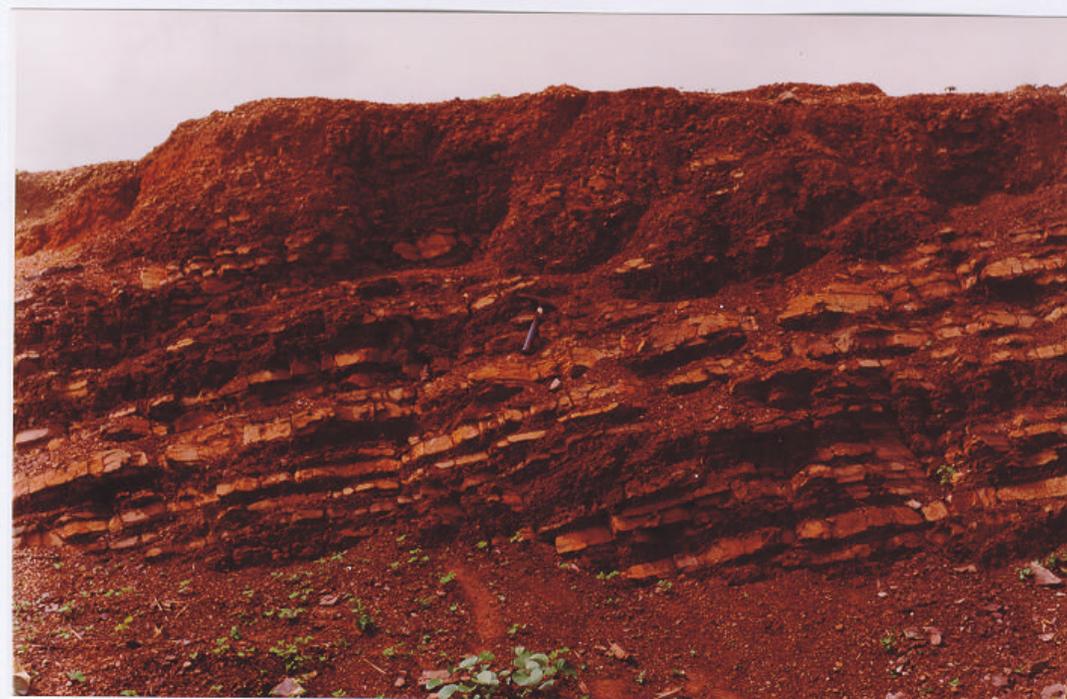


Figura 7 - Litofácies Pap da Formação Pacujá, constituída por intercalações rítmicas de arenitos finos/siltitos com pelitos (afloramento localizado na periferia da cidade de Graça).



Figura 8 - Litofácies Pap da Formação Pacujá, caracterizada por bancos de arenitos finos/siltitos que se intercalam com pelitos (riacho Poço dos Cavalos, próximo à cidade de Pacujá).

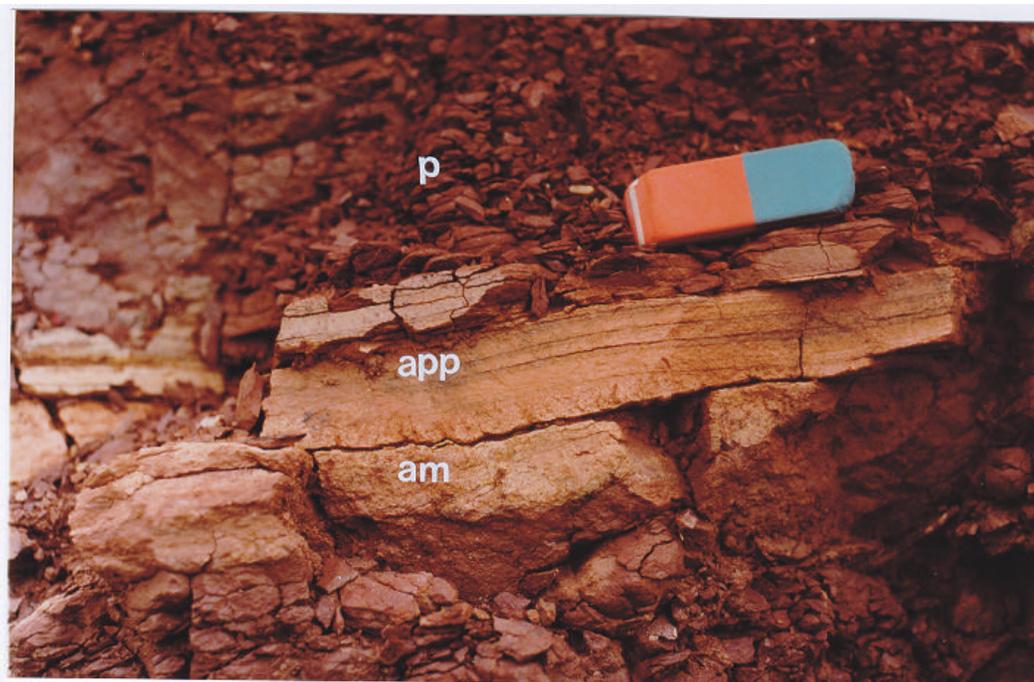


Figura 9 - Detalhe da Figura 7, mostrando a estruturação interna das camadas de arenitos. Observar na base arenito fino maciço (am), gradando para arenito muito fino com laminação plano-paralela (app), sendo recoberto por pelitos (p).

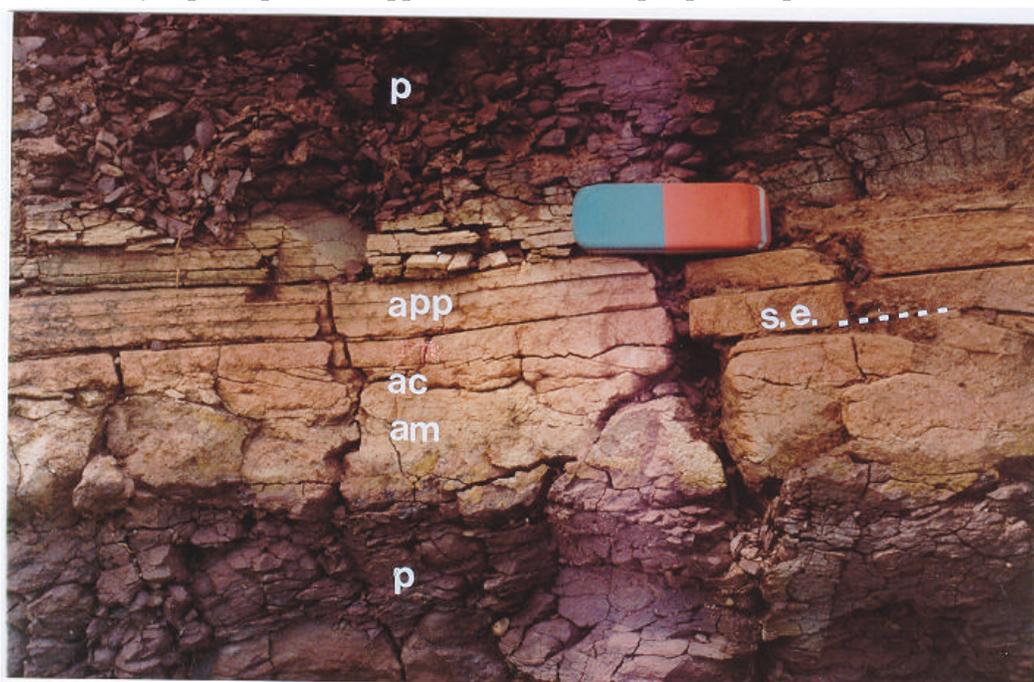


Figura 10 - Detalhe das Figuras 7 e 16, mostrando a estruturação interna dos bancos de arenitos recobertos por pelitos (p). Na base, observa-se arenito maciço (am) que grada para arenito com laminação cruzada (ac) truncada por uma superfície de erosão (se). Em direção ao topo, ocorre arenito com laminação plano-paralela (app).

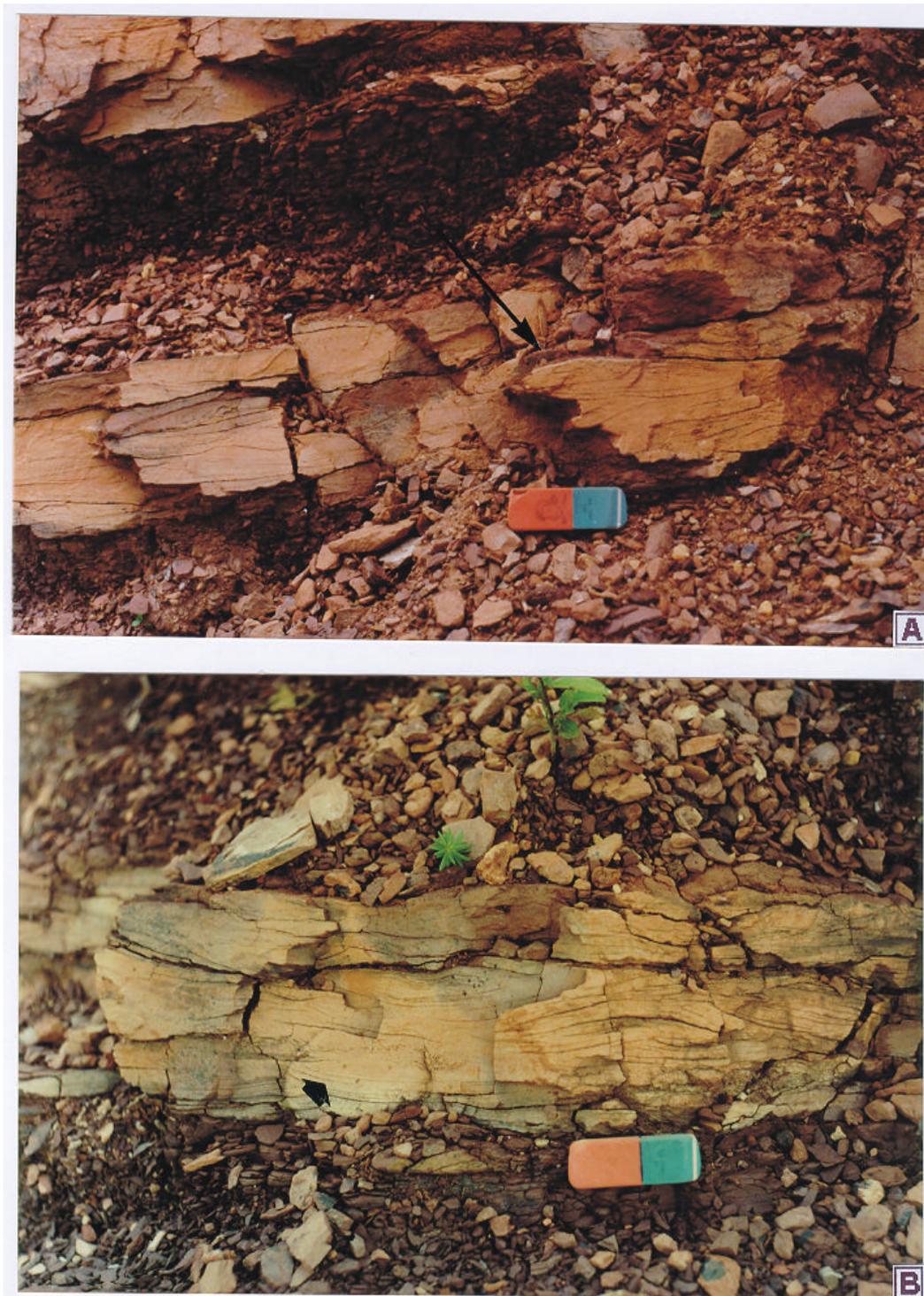


Figura 11 - A e B são detalhes da Figura 7, mostrando a estruturação interna dos bancos de arenito com laminação cruzada truncante de baixo ângulo ou laminação cruzada *micro-hummocky* (seta), no sentido de DOTT Jr. & BOURGEOIS (1982).



Figura 12 - Litofácies Pap da Formação Pacujá mostrando camadas de arenitos finos com laminação convoluta (afloramento localizado a 5 km de Pacujá em direção a Cariré).



Figura 13 - Litofácies Pap da Formação Pacujá mostrando arenito fino com laminação convoluta (afloramento localizado no Rio das Barreiras, próximo à cidade de Pacujá).



Figura 14 - Marcas onduladas assimétricas de crista sinuosa, ocorrentes no topo dos bancos de arenito fino/siltito da litofácies Pap da Formação Pacujá (seta indica sentido da paleocorrente) (afloramento no Rio das Barreiras, próximo à cidade de Pacujá).



Figura 15 - Marcas onduladas simétricas de crista levemente sinuosa, observadas no topo dos bancos de arenito da litofácies Pap da Formação Pacujá (leito da estrada que interliga Pacujá a Graça).

Os pelitos possuem coloração arroxeadada e ocorrem recobrendo os bancos de arenitos, formando camadas/lâminas contínuas lateralmente e com espessuras que variam de centimétricas a milimétricas (Figura 16). Estes apresentam laminação plano-paralela, acamamento lenticular e localmente gretas de contração (Figura 17).



Figura 16 - Detalhe dos pelitos laminados da litofácies Pap da Formação Pacujá, que ocorrem intercalados com camadas de arenitos (detalhe da Figura 7 e o retângulo encontra-se detalhado na Figura 10).



Figura 17 - Gretas de contração ortogonais randômicas completa e localmente não-ortogonais, segundo a classificação de LINDHOLM (1987). Afloramento localizado no Rio das Barreiras, próximo à cidade de Pacujá.

#### **b) Litofácies brechas vulcanoclásticas (Bv)**

Esta litofácies ocorre na forma de blocos e matacões, localizados a 5,3 km de Cacimbas em direção a Arariús e próximo a Graça. É constituída por brechas vulcanoclásticas de coloração cinza-esbranquiçada, contendo fragmentos subangulosos de rochas vulcânicas (basaltos amigdalóidais, andesitos e riolitos) e de arenitos, com tamanhos que variam de seixos até matacões, envolvidos por uma matriz arenosa fina, aspecto vítreo e intensamente recristalizada, configurando, em geral, um arcabouço *matrix-supported* e localmente *clast-supported* (Figura 18). Estas brechas estão, por vezes, recobertas por arenitos finos com laminação plano-paralela (Figura 18A).



Figura 18 - Em A brecha vulcanoclástica constituída por fragmentos de arenitos e rochas vulcânicas básicas, envolvidos por uma matriz siltica bastante recristalizada, apresentando no topo arenito fino com laminação plano-paralela (seta). Em B detalhe de A (afloramento situado a 5,8 km de Cacimbas em direção a Arariús).

**c) Litofácies arenitos finos a médios com laminação plano-paralela (App)**

Os arenitos da litofácies App foram observados em afloramentos situados ao longo da estrada que vai da BR-222 até a cidade de Jaibaras, em afloramentos localizados nas redondezas ou no centro da cidade de Arariús, ao lado da igreja central, e em exposições situadas a 5 km de Cacimbas, em direção a Arariús. São arenitos de coloração cinza-esverdeada com tons amarelados, compactos, granulação média a fina, contendo localmente fragmentos de rochas vulcânicas básicas (basaltos e/ou andesitos, maciços ou amigdalóidais). Exibem laminação plano-paralela e ocorrem geralmente associados com rochas vulcânicas básicas (Figura 19).

Estes arenitos exibem localmente fragmentos arredondados de basaltos/andesitos amigdalóidais, de dimensões centimétricas, os quais apresentam granulação fina na borda e grossa no núcleo, sendo que alguns fragmentos propiciaram a deformação dos planos de laminação (Figura 20). Estes fragmentos foram interpretados como bombas e blocos ejetados (ejetólitos) durante a erupção que deu origem as rochas vulcânicas, deformando a estrutura dos arenitos durante o impacto (Figura 20B).

**d) Litofácies arenitos com seixos vulcanoclásticos (Asv)**

Os arenitos da litofácies Asv ocorrem em afloramentos situados ao longo estrada que vai da BR-222 até a cidade de Jaibaras e em afloramentos localizados nas redondezas de Arariús. Estes arenitos, que encontram-se bastante alterados, apresentam coloração amarelada, granulação fina a muito fina, laminação plano-paralela e possuem fragmentos centimétricos a milimétricos de rochas vulcânicas básicas (Figuras 21 e 22). Localmente ocorrem, possivelmente, níveis de tufos intensamente recristalizados e alterados.

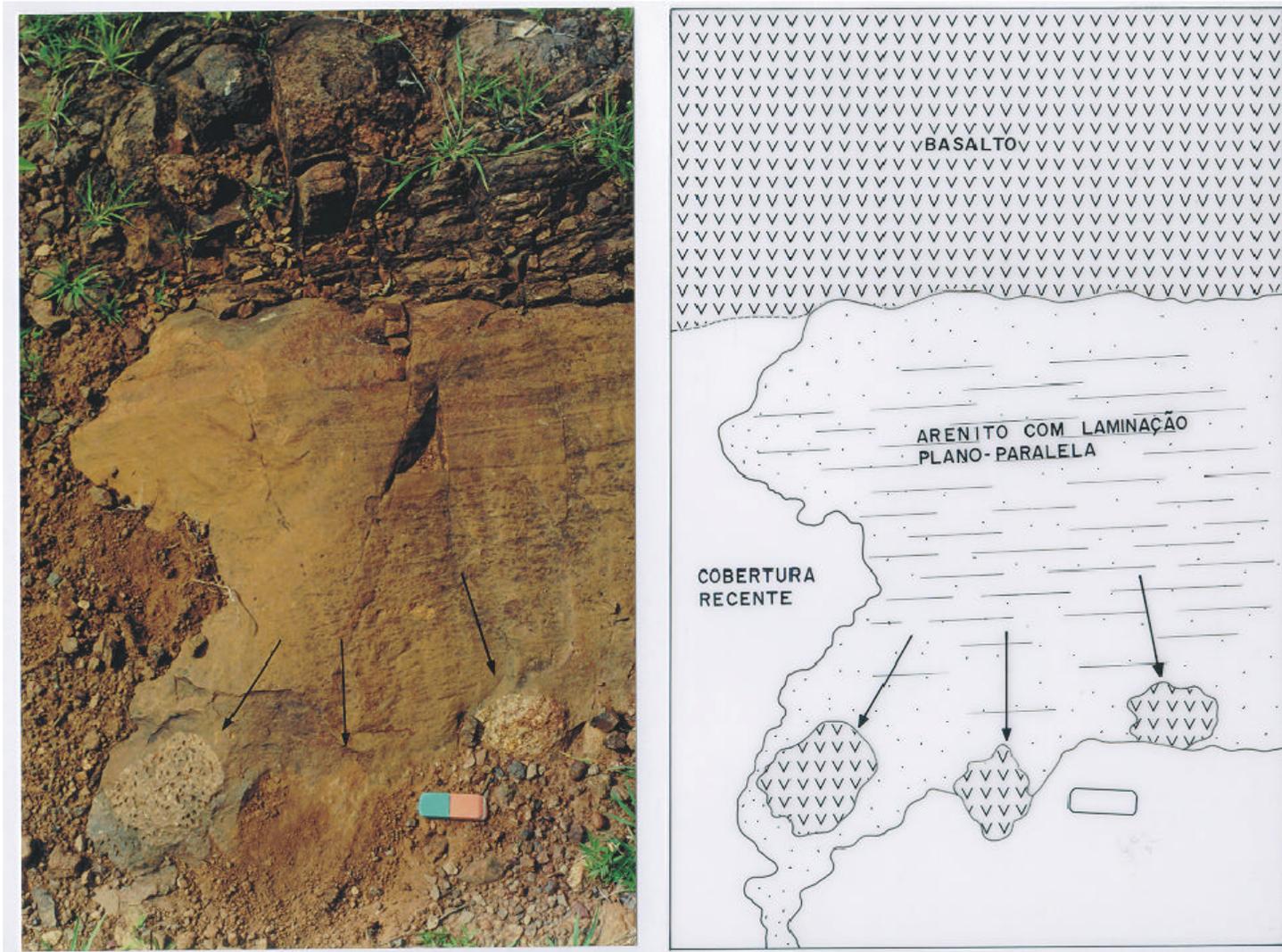


Figura 19 - Arenito fino com laminação plano-paralela, apresentando fragmentos de basalto amigdalóidal, dispersos aleatoriamente (indicado pela seta). No topo ocorre basalto recobrindo os arenitos (afloramento situado a 5,8 km de Cacimbas em direção a Arariús).



Figura 20 - Em A arenito fino a médio com laminação plano-paralela, exibindo fragmentos de basalto amigdalóidal (indicado pelas setas) e em B fragmentos de basalto amigdalóidal com granulação mais fina na borda do que no núcleo (setas). Observar que estes deformam a estruturação da rocha (seta maior indica direção de impacto). Notar, também, planos da laminação onde concentram-se fragmentos de rochas vulcânicas (afloramento localizado ao lado da Igreja em Arariús). (Obs.: a foto B está invertida para mostrar a posição correta do afloramento).



Figura 21 - Arenito fino com laminação plano-paralela, contendo fragmentos de rochas vulcânicas (indicado pelas setas) (afioramento situado a 5,8 km de Cacimbas em direção a Arariús).

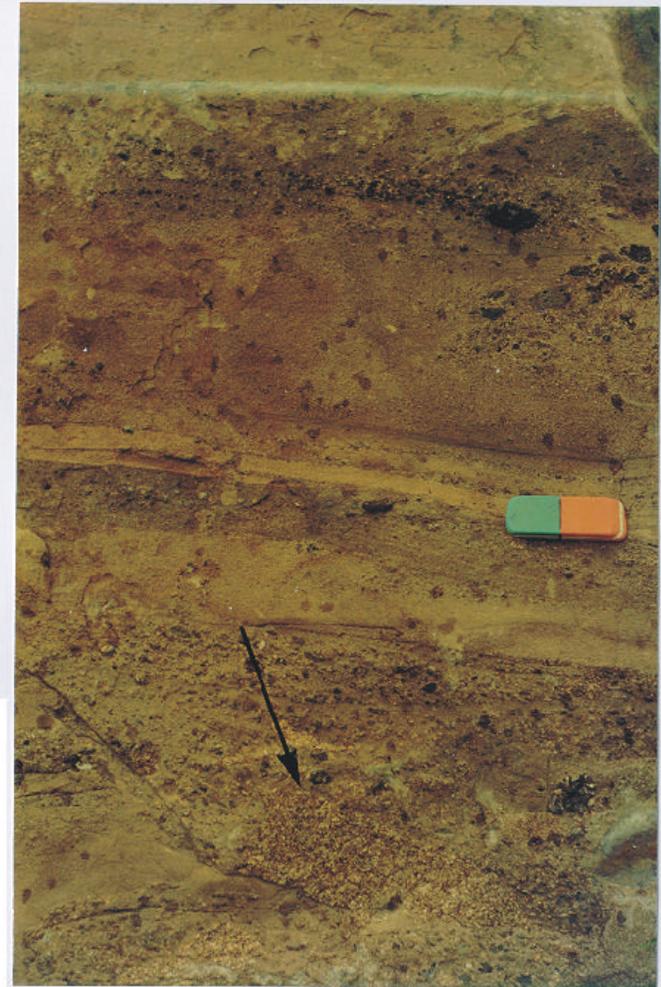


Figura 22 - Arenito fino a muito fino laminado, contendo fragmentos de rochas vulcânicas (indicado pela seta) (afioramento localizado na CE-071, próximo à cidade de Jaibaras).

### **e) Litofácies rochas vulcânicas e sub-vulcânicas (Vc)**

As rochas vulcânicas e sub-vulcânicas, que não foram estudadas em detalhe neste trabalho, ocorrem na área mapeada intercaladas ou seccionando os sedimentos da litofácies Pap da Formação Pacujá, sendo que a sua maior incidência é na porção nordeste da área mapeada, próximo à zona de cisalhamento Café-Ípueiras (Anexo A). Ocorrem sob a forma de *sills* que sustentam pequenas colinas alongadas, diques e derrames com rochas vulcanoclásticas associadas.

As rochas vulcânicas são constituídas principalmente por basaltos (maciços, fluidais e amigdalóides) e riolitos, podendo ocorrer subordinadamente andesitos e dacitos. Nos basaltos as vesículas estão preenchidas por quartzo, calcita, clorita e epidoto.

#### 3.2.1.2 - Formação Aprazível

A Formação Aprazível ocorre em afloramentos na forma de blocos e lajedos, que sustentam pequenos morrotes alinhados, em geral, paralelos às zonas de cisalhamento Sobral-Pedro II e Café-Ípueiras (Figuras 23 e 24). Esta formação é constituída por conglomerados, arenitos e intercalações arenitos/pelitos, compreendendo quatro litofácies, descritas a seguir:

### **a) Litofácies conglomerados com acamamento maciço (Cm)**

A litofácies Cm ocorre de maneira restrita, sendo melhor observada em exposições distantes 5,8 km de Mucambo em direção a Pacujá, próximo à zona de contato entre os sedimentos da Formação Aprazível e o Granito Mucambo. Esta litofácies é constituída por conglomerados polimíticos brechóides de coloração rósea-acinzentada, maciços, apresentando arcabouço tipo *clast-supported* que gradam lateralmente para *matrix-supported*.



Figura 23 - Blocos de conglomerados da Formação Aprazível (litofácies Cg), aflorantes às margens da BR-222, distante 5 km de Sobral em direção a Aprazível.



Figura 24 - Morros isolados (setas) sustentados por conglomerados da litofácies Cg da Formação Aprazível e alinhados na direção NE-SW, bordejando paralelamente a Zona de Cisalhamento Café-Ipueiras (afloramento na estrada entre Mucambo e Pacujá).

Estes conglomerados são compostos por fragmentos subangulosos a subarredondados de rochas vulcânicas básicas a ácidas, arenitos, pelitos, conglomerados, granitos, *hornsfels* (?), feldspatos e quartzo leitoso, com tamanhos que variam de seixos até matacões, dispersos aleatoriamente. A matriz é areno-argilosa fina a muito fina e de composição arcossiana (Figuras 25, 26, 27 e 28).

#### **b) Litofácies conglomerados com acamamento gradacional (Cg)**

A litofácies Cg é a mais abundante e encontra-se melhor exposta ao longo da BR-222, entre Sobral e Aprazível, e na CE-071 a 4 km de Jaibaras em direção a Cariré. É caracterizada por conglomerados polimíticos de coloração rósea-avermelhada a acinzentada, arcabouço tipo *clast-supported*, constituídos por clastos subarredondados a subangulosos de rochas vulcânicas básicas, intermediárias a ácidas, gnaiss, granito, rochas calciossilicáticas, quartzo leitoso, anfibolito, riolito, mármore, milonito, saltito e de arenitos. Estes clastos possuem tamanhos que variam de grânulos até matacões e ocorrem de maneira aleatória ou eventualmente imbricados. A matriz dos conglomerados é arenosa arcossiana grossa a muito grossa, localmente microconglomerática (Figuras 29 e 30; Anexo E).

Estes conglomerados gradam, em direção ao topo, para arenitos conglomeráticos e arenitos médios a finos, com estratificação plano-paralela e, eventualmente, com estratificação cruzada acanalada de médio porte, definindo um acamamento gradacional normal com *sets* centimétricos a métricos (Figuras 31 e 32). Localmente ocorrem lentes de arenitos finos, de coloração cinza-amarelada com tons esbranquiçados, levemente micáceos, compactos, grãos subarredondados, exibindo laminação plano-paralela (Figura 33) ou feições de canalização.



Figura 25 - Conglomerado polimítico maciço da litofácies Cm da Formação Aprazível, mostrando no centro um matacão subarredondado de basalto (B) exibindo cristais ripiformes de plagioclásio, dispostos aleatoriamente, envolvidos por uma matriz afanítica (afloramento na estrada entre Mucambo e Pacujá).

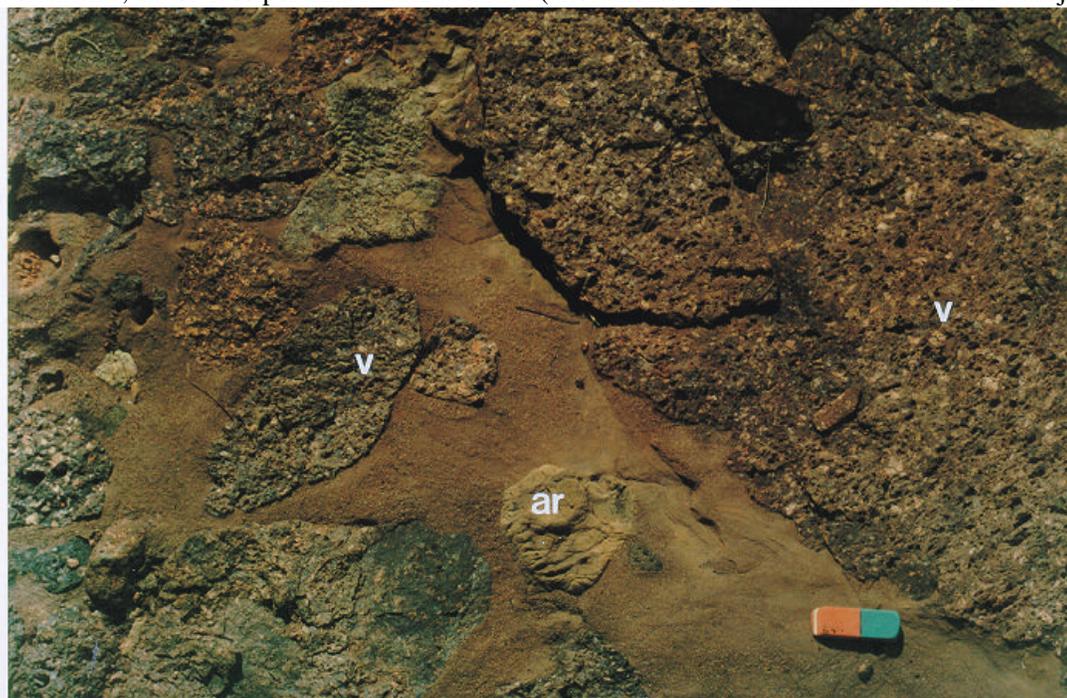


Figura 26 - Detalhe da litofácies Cm da Formação Aprazível, constituída por conglomerado polimítico maciço, contendo fragmentos de rochas vulcânicas básicas (v) e arenitos (ar), com tamanhos que variam de seixos até matacões. A matriz é arenosa fina a média (afloramento na estrada entre Mucambo e Pacujá).

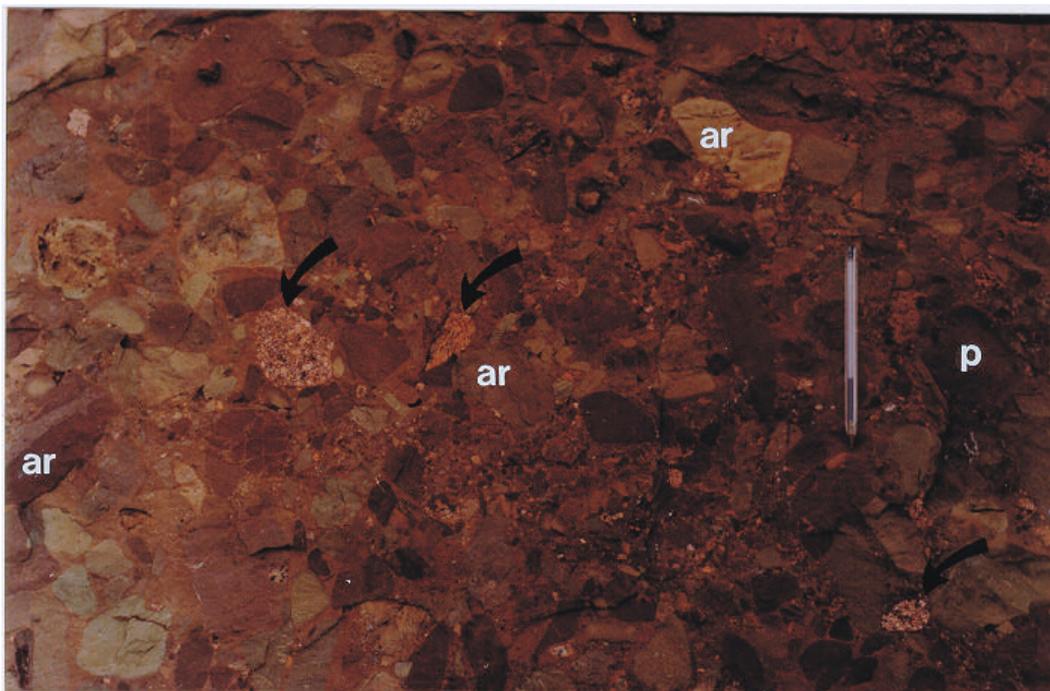


Figura 27 - Litofácies Cm da Formação Aprazível, caracterizada por conglomerado polimítico maciço, contendo essencialmente fragmentos de arenitos (ar) e subordinadamente granitos (setas) e pelito (p), envolvidos por uma matriz arenosa fina (afloramento localizado a 8 km de Pacujá em direção a Graça).

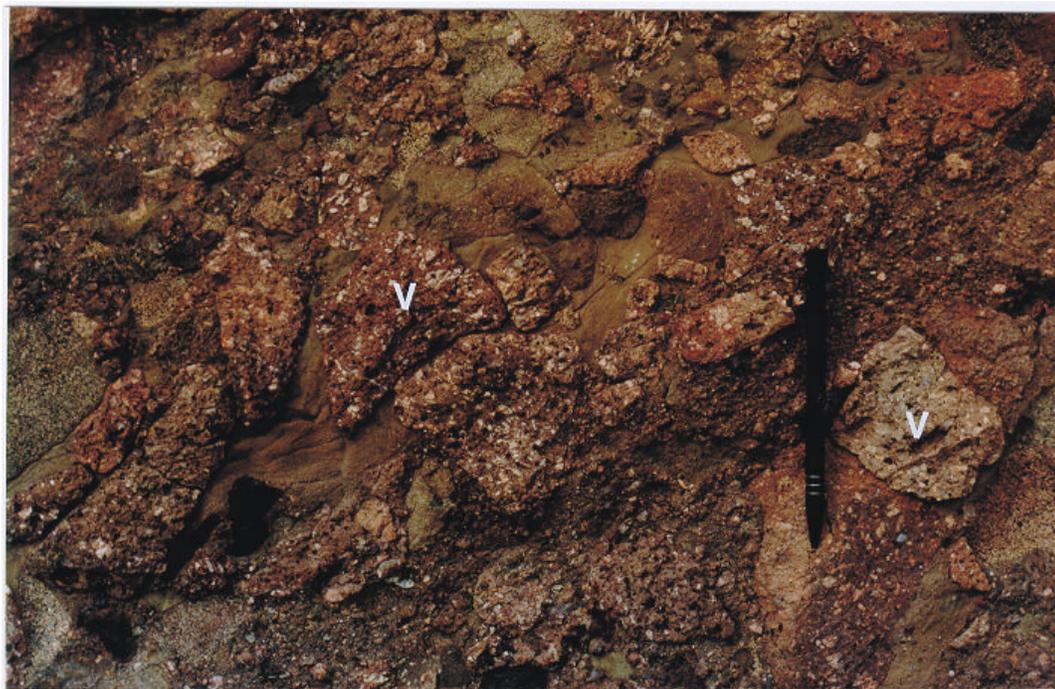


Figura 28 - Detalhe dos conglomerados da litofácies Cm da Formação Aprazível, mostrando essencialmente fragmentos de rochas vulcânicas básicas (v) e matriz arenosa fina (afloramento na estrada entre Mucambo e Pacujá).



Figura 29 - Aspecto geral da litofácies Cg da Formação Aprozível, constituída por conglomerado e arenito estratificado, contendo clastos principalmente de rochas vulcânicas básicas, com tamanho que variam de seixos até matações (afloramento localizado na CE-071, a aproximadamente 4 km de Jaibaras em direção a Cariré).

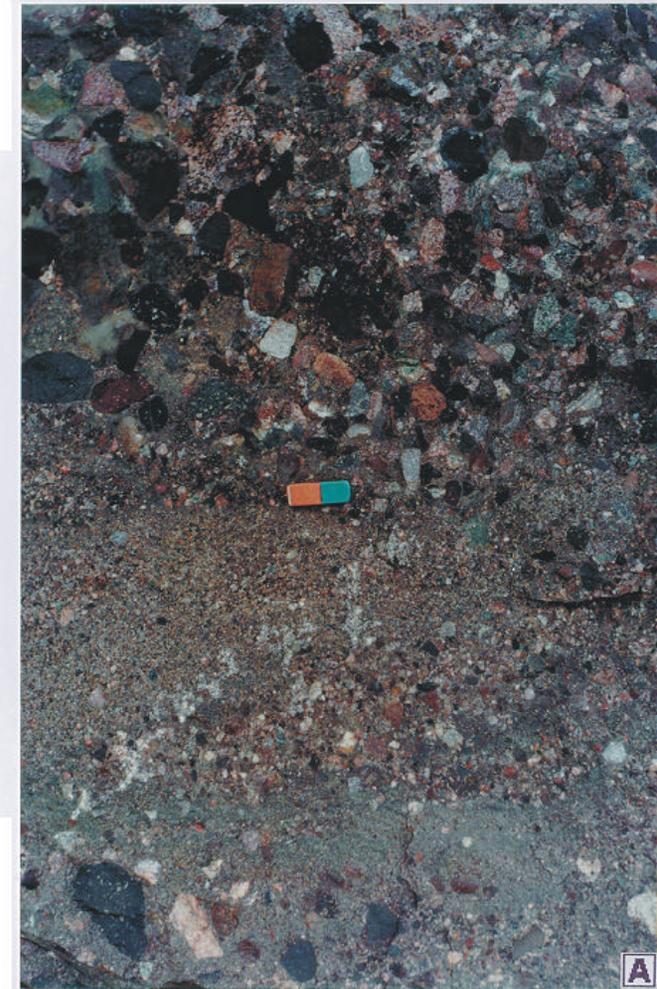
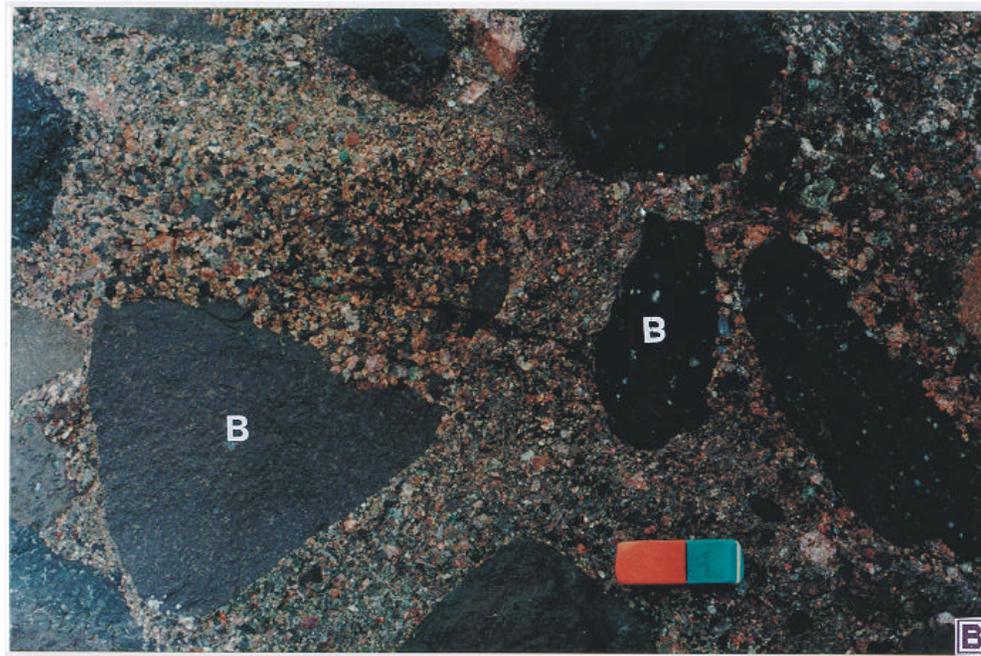


Figura 30 - Detalhe da Figura 29. Em A acamamento gradacional normal e B fragmentos subangulosos a subarredondados de basaltos (B) maciços e amigdalóidais, dispersos aleatoriamente, envolvidos por arenito grosseiro a microconglomerático



Figura 31 - Litofácies Cg caracterizada por conglomerado polimítico gradando para arenito médio, definindo *sets*, por vezes incompletos, com acamamento gradacional (afloramento localizado na CE-071, a 4,2 km de Jaibaras em direção a Cariré).



Figura 32 - Detalhe da Figura 31 mostrando o acamamento gradacional.

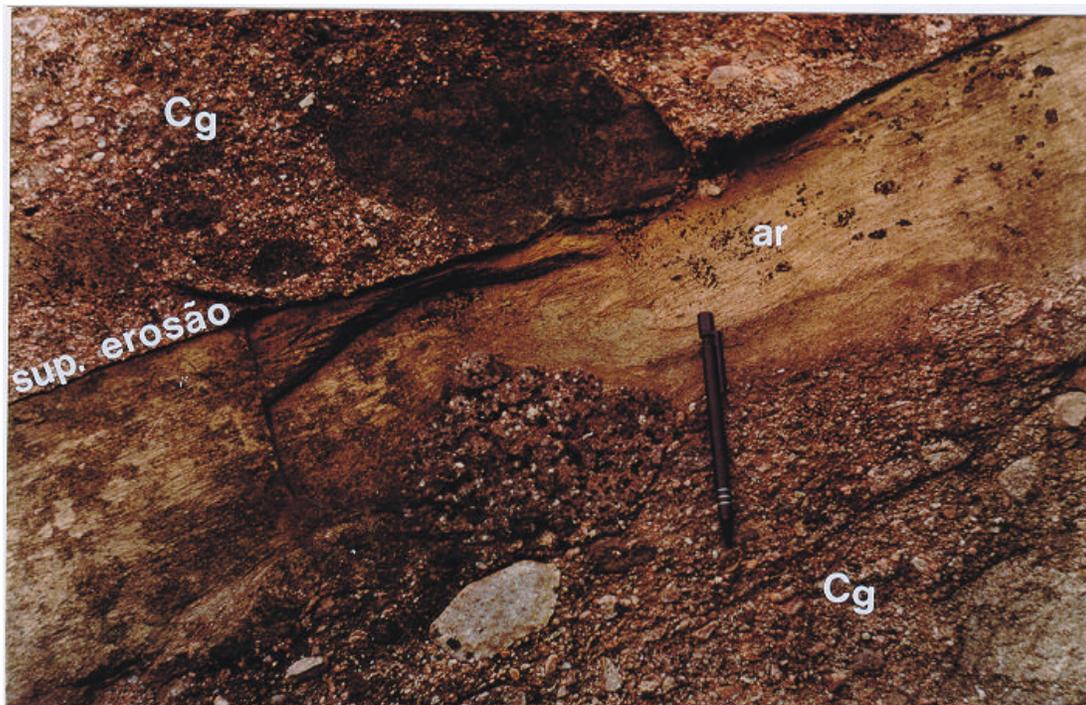


Figura 33 - Lente de arenito fino com laminação plano-paralela fluidizada (ar), ocorrendo dentro da litofácies Cg. O contato inferior é abrupto e o superior é demarcado por uma superfície de erosão (afloramento situado na BR-222, a 5 km de Sobral em direção a Apazível).

### c) Litofácies arenitos maciços (Am)

A litofácies Am foi observada em afloramentos situados a 8,4 km de Cacimbas em direção a Arariús (Figura 34). É constituída por arenitos arcossianos médios a grossos, de coloração rósea-avermelhada com tons acinzentados, levemente micáceos, contendo grãos subarredondados a subangulosos e mal selecionados. Estes arenitos apresenta-se em geral maciço, sendo que localmente exibem uma incipiente estratificação cruzada, destacada pela variação granulométrica de seus constituintes.



Figura 34 - Em A e B “lajedos” constituídos por arenitos arcossianos médios a grossos e maciços da litofácies Am (afloramento localizado a 8,4 km de Cacimbas em direção a Arariús).

#### **d) Litofácies arenitos/pe litos intercalados (Aap)**

A litofácies Aap é caracterizada pela abundância de arenitos e pelitos que ocorrem intercalados (Figura 35). Os arenitos, de coloração rósea clara, finos a médios, com grãos subarredondados a subangulosos e de composição arcossiana, apresentam camadas centimétricas contínuas lateralmente, caracterizadas geralmente pela presença de laminação plano-paralela na parte inferior e, em direção ao topo, laminação cruzada cavalgante supercrítica transladantes (*depositional-stoss climbing-ripple cross lamination*) e laminação cruzada cavalgante subcrítica transladante (*erosional-stoss climbing-ripple cross lamination*) (Figuras 36, 37 e 38), no sentido de HUNTER (1977) e HARMS et al. (1982). Podem, também, exibir localmente estratificação cruzada acanalada de pequeno porte, laminação convoluta (Figura 39) e lineação de partição, além de se apresentarem eventualmente maciços. Na superfície das camadas de arenitos ocorrem, por vezes, marcas onduladas simétricas de cristas retas bifurcadas ( $l = 3 \text{ cm}$ ,  $h = 0,5 \text{ cm}$ ) (Figura 40), assimétricas do tipo lingóide ( $l = 15 \text{ cm}$ ,  $h = 1,7 \text{ cm}$ ) (Figura 41). Os pelitos, por sua vez, apresentam coloração roxa-acinzentada e seus estratos de espessuras centimétricas a milimétricas apresentam laminação plano-paralela e ocasionalmente gretas de contração irregulares (Figura 42 A e B), segundo a classificação de LINDHOLM (1987), com os espaços de gretação preenchidos por arenitos arcossianos médios. Localmente alguns padrões destas gretas se assemelham com gretas de sinérese (*synaeresis cracks*) (Figura 42A)

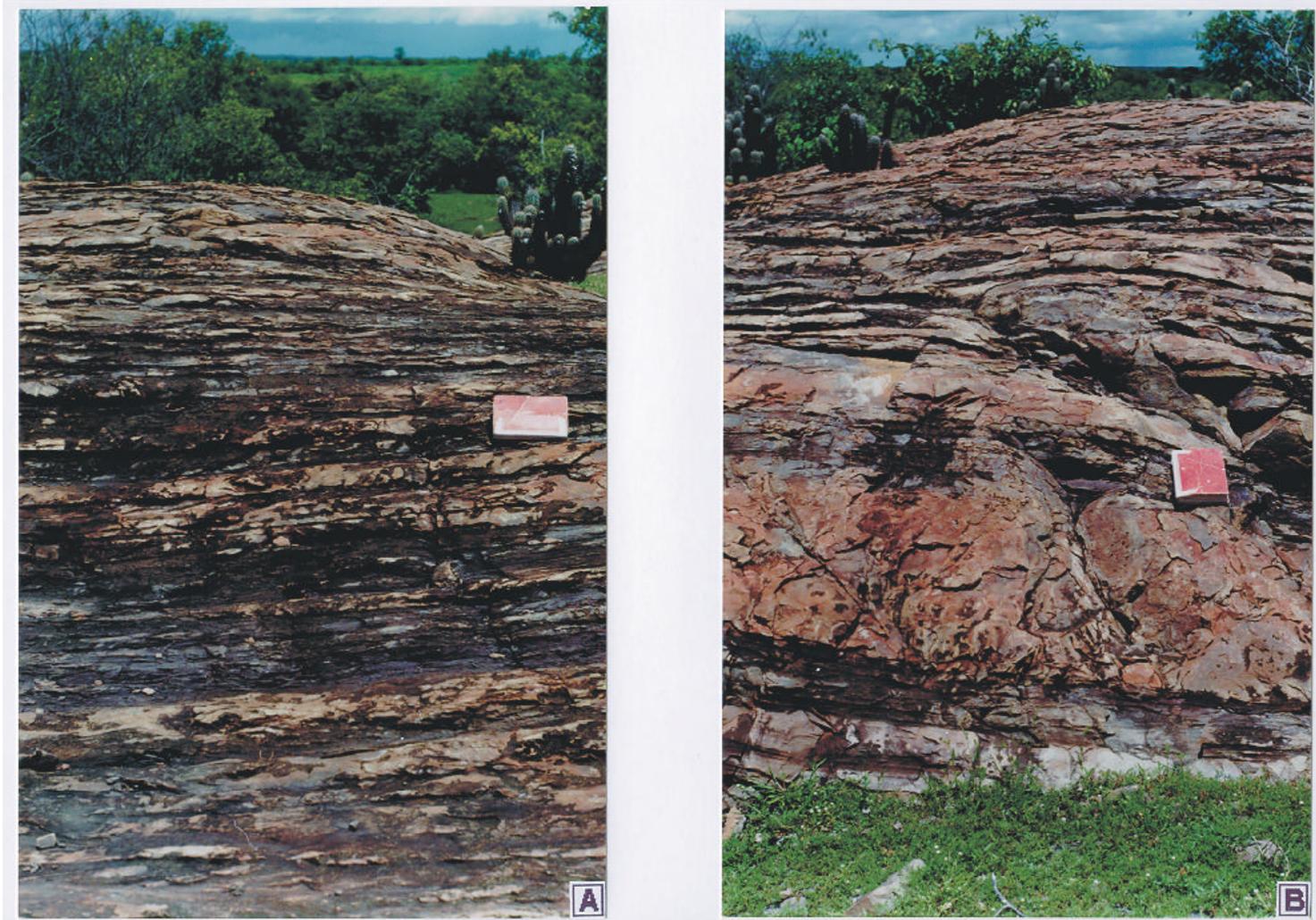


Figura 35 - Aspecto geral da litofácies Aap da Formação Aprazível mostrando, em A e B, camadas centimétricas/decimétricas, contínuas lateralmente, de arenitos arcosianos finos a médios que se intercalam com pelitos laminados (afloramento localizado a 8,3 km de Cacimbas em direção a Arariús).

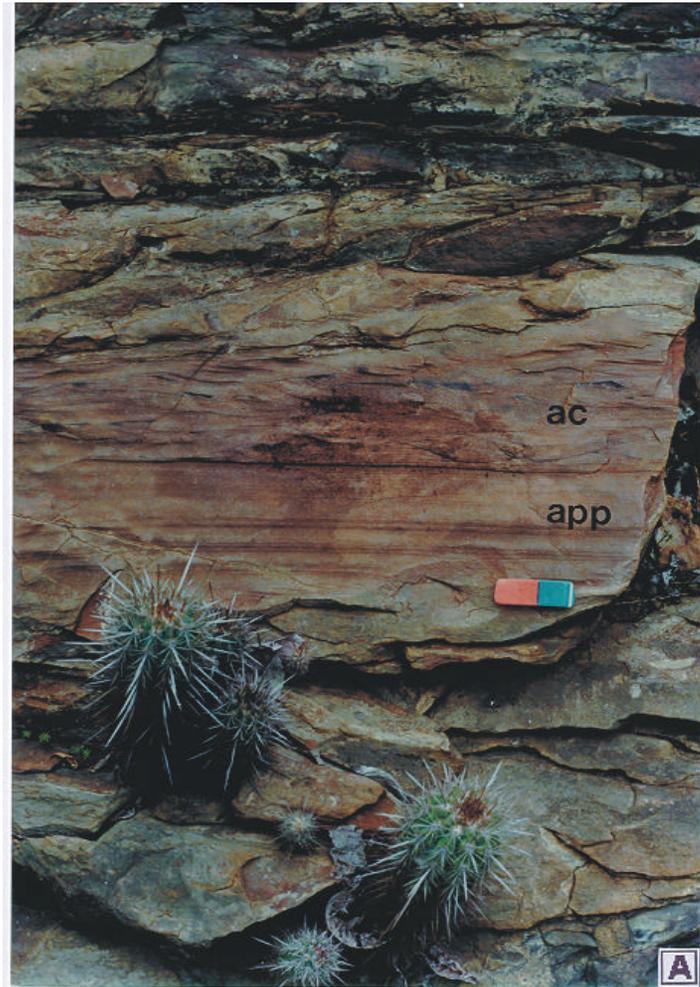


Figura 36 - Detalhes da litofácies Aap da Formação Aprazível. Internamente em A os arenitos apresentam na base laminação plano-paralela (app), passando em direção ao topo para arenitos com ondulações cavalgantes (ac) (*climbing-ripples*). Em B detalhe de A (afloramento localizado a 8,3 km de Cacimbas em direção a Arariús).



Figura 37 - Em A e B detalhes da litofácies Aap, mostrando arenitos finos com ondulações cavalgantes (*climbing-ripple*) supercrítica, no sentido de HUNTER (1977). Afloramento localizado a 8,3 km de Cacimbas em direção a Arariús.



Figura 38 - Detalhes do arenito fino da litofácies Aap, apresentando-se fluidizado na base (am) e passando gradativamente para arenito com laminação plano-paralela (app) e com ondulações cavalgantes (*climbing-ripple*) subcrítica (ac), no sentido de HUNTER (1977), destacada por níveis com minerais pesados (afloramento situado a 8,3 km de Cacimbas em direção a Arariús).



Figura 39 - Detalhe da Figura 35 mostrando arenito da litofácies Aap com laminação convoluta.

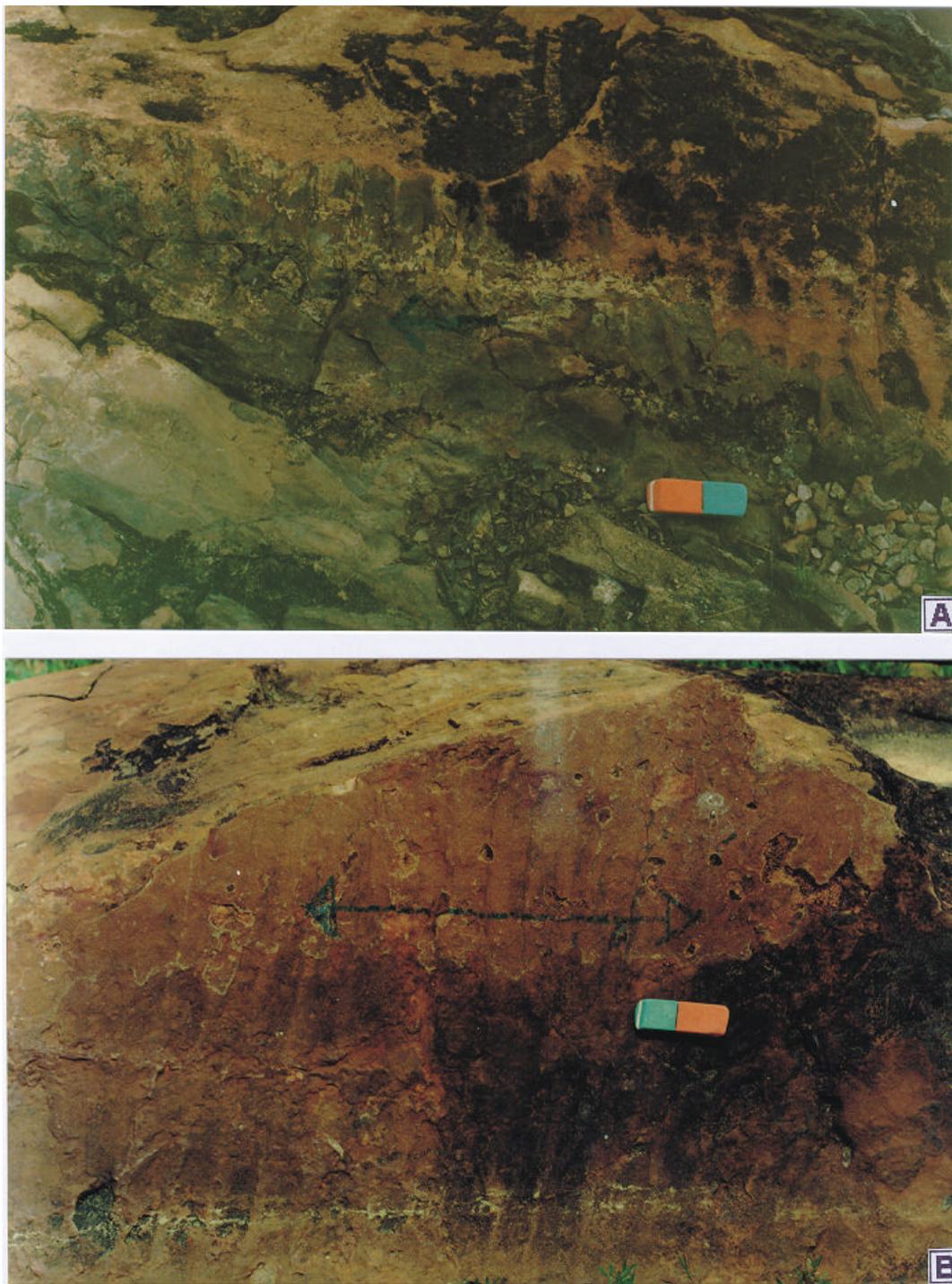


Figura 40 - Em A e B marcas onduladas simétricas de crista reta que ocorrem localmente no topo dos bancos de arenitos da litofácies Aap (afloramento localizado a 8,3 km de Cacimbas em direção a Arariús).



Figura 41 - Marcas onduladas do tipo lingóide que ocorrem localmente no topo dos bancos de arenitos da litofácies Aap (seta indica a paleocorrente) (afloramento localizado a 8,4 km de Cacimbas em direção a Arariús).

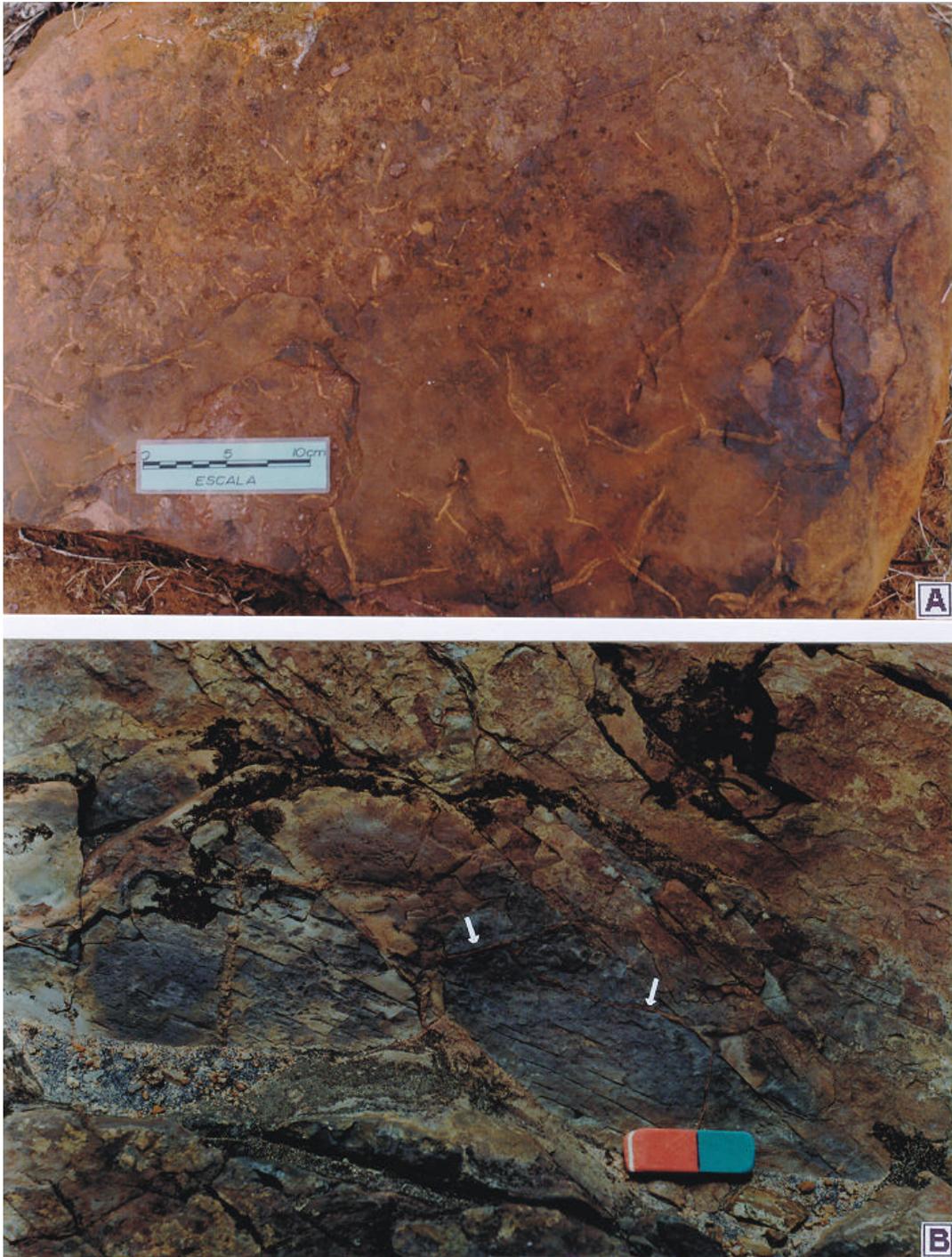


Figura 42 - Gretas de contração em pelitos da litofácies Aap, onde os espaços de gretação estão preenchidos por arenitos médios. Em A gretas ortogonais e não-ortogonais incompletas e em B ortogonais incompletas (seta), segundo a classificação de LINDHOLM (1987) (afloramento localizado a 8,3 km de Cacimbas em direção a Arariús).

### 3.2.2 - Associação e interpretação das litofácies

#### 3.2.2.1 - Formação Pacujá

As diferentes características apresentadas pelas rochas da Formação Pacujá permitiram a individualização e o agrupamento das litofácies em duas associações faciológicas, denominadas informalmente de Associação A e Associação B (Figura 43).

##### 3.2.2.1.1 - Associação A: Sedimentos lacustres ou marinhos, com tempestitos

###### amalgamados

Esta associação predomina em toda a área de ocorrência da Formação Pacujá, sendo constituída principalmente pela litofácies Pap (arenitos finos/siltitos intercalados com pelitos) e subordinadamente pela litofácies App (arenitos finos a médios com laminação plano-paralela).

Os sedimentos que constituem a Associação A foram interpretados como produtos formados em um ambiente do tipo lacustre, não descartando-se ainda a possibilidade de ser marinho plataformal raso, haja vista que as feições descritas no item 3.2.1.1 a) não são suficientes para diferenciar um destes ambientes. A litofácies Pap exhibe feições que indicam a atuação de fluxo oscilatório de alta energia produzido pela ação de ondas de tempestades, atestada pela presença da laminação cruzada *micro-hummocky* (Figuras 7 e 11), cujo significado e origem foram amplamente discutidos por DOTT Jr. & BOURGEOIS (1982), DOTT Jr. & BOURGEOIS (1983), KLEIN & MARSAGLIA (1987) e CHEEL & LECKIE (1993).

Com relação à laminação convoluta (Figura 12 e 13), segundo LINDHOLM (1987), a origem de tais feições pode ser atribuída a uma rápida sedimentação, motivada por processos climáticos e/ou tectônicos, levando ao escape dos fluidos por compactação rápida e

ASSOCIAÇÃO A			
LITOFÁCIES DOMINANTE	LITOFÁCIES SECUNDÁRIA	DESCRIÇÕES	INTERPRETAÇÃO
Pap	App	<p>Intercalações arenitos finos/siltitos com pelitos. Os arenitos ocorrem na forma de bancos contínuos lateralmente e apresentam-se maciços ou com laminação plano-paralela, cruzada <i>micro-hummocky</i> e laminação convoluta. Os pelitos são laminados e apresentam níveis com gretas de contração.</p> <p>Arenitos de granulação fina com laminação plano-paralela.</p>	Sedimentos lacustres ou marinho plataformal raso (?), com ciclos de tempestitos amalgamados.

ASSOCIAÇÃO B			
LITOFÁCIES DOMINANTE	LITOFÁCIES SECUNDÁRIAS	DESCRIÇÕES	INTERPRETAÇÕES
	Bv	Brechas vulcanoclásticas com fragmentos de rochas vulcânicas e arenitos, envoltos por uma matriz arenosa fina.	Depósitos relacionados a atividades vulcânicas, com retrabalhamento sedimentar.
	App	Arenitos finos a médios com laminação plano-paralela, contendo fragmentos de rochas vulcânicas que deformam o acamamento.	Retrabalhamento sedimentar de material vulcânico contemporâneo ao vulcanismo.
	Asv	Arenitos finos a muitos finos com laminação plano-paralela e fragmentos de rocha vulcânica.	Depósitos de fluxo piroclástico.
Vc		Rochas vulcânicas básicas a ácidas que ocorrem na forma de <i>sills</i> , diques e derrames.	Atividades vulcânicas e sub-vulcânicas.

Figura 43 - Associações faciológicas da Formação Pacujá.

consequentemente deformação da estruturação interna da rocha saturada em água. A associação laminação convoluta e laminação cruzada *micro-hummocky* pode, também, representar registros de atividades sísmicas penecontemporâneas, onde a laminação cruzada *micro-hummocky* foi originada a partir da atuação de ondas de tempestades, formadas imediatamente após um terremoto (KLEIN & MARSAGLIA, 1987).

Períodos “breves” de exposição subaérea estão evidenciados por níveis pelíticos com gretas de contração (Figura 17), cuja origem pode estar relacionada a variações do nível da água por mudanças climáticas e/ou tectônicas. Os pelitos foram depositados durante os períodos de quiescência na bacia.

A estruturação interna das camadas de arenitos da litofácies Pap caracteriza ciclos de tempestitos amalgamados, no sentido de SEILACHER (1991) e SEILACHER & AIGNER (1991), em geral incompletos (Figura 44) e evidenciados principalmente pela presença da laminação cruzada *micro-hummocky* (Figura 11). Associadas aos tempestitos podem ocorrer, eventualmente, finas camadas semelhantes a Sequência de Bouma para turbiditos, neste caso incompleta (Figuras 9 e 10, onde observa-se os intervalos  $T_a = am$ ,  $T_b$  e/ou  $T_d = app$ ,  $T_c = ac$ ,  $T_e = p$ ), quando analisadas isoladamente, sendo difícil separá-los porque tempestitos e turbiditos apresentam muitas feições em comum, muito embora, segundo EINSELE & SEILACHER (1991) a laminação cruzada *micro-hummocky* é um diagnóstico de tempestitos em seqüências afossilíferas.

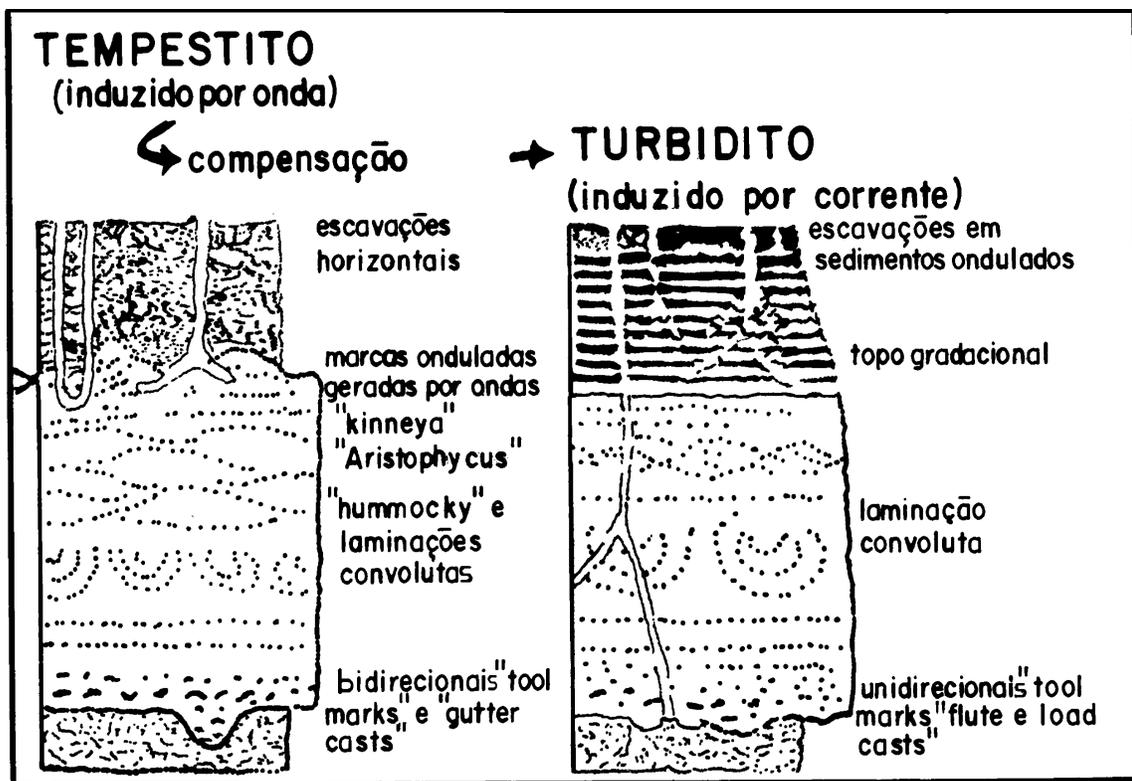


Figura 44 - Modelo de seqüências de tempestitos e turbiditos arenosos. Modificado de SEILACHER (1991).

### 3.2.2.1.2 - Associação B: Atividade vulcânica penecontemporânea

A Associação B é constituída pelas litofácies Bv (brechas vulcanoclásticas), App (arenitos finos a médios com laminação plano-paralela), Asv (arenitos com seixos vulcanoclásticos) e pela litofácies Vc (rochas vulcânicas e sub-vulcânicas), ocorrendo intercalada na Associação A. Esta associação evidencia atividades vulcânicas de natureza básica a ácida, ocorrida na Bacia de Jaibaras concomitante com a deposição dos sedimentos da litofácies Pap da Formação Pacujá, fato este que pode ser comprovado pela presença de fragmentos vulcânicos ou piroclásticos (ejetólitos) que deformam o acamamento (Figura 20). Entretanto, natureza do vulcanismo é ainda desconhecida, muito embora o seu caráter explosivo propiciou a formação de rochas vulcanoclásticas piroclásticas, além de rochas epiclásticas, possivelmente, associadas as superfícies dos derrames.

Quanto a provável origem do magma, este foi formado em zonas profundas da crosta, percolando em seguida ao longo das zonas de fraquezas pré-existentes e cristalizando próximo a superfície na forma de *sills* e diques, ou extravasando na forma de derrames subaéreos e subaquosos, onde a sua cristalização foi rápida, evidenciada pela presença de grandes quantidades de cavidades originadas pelo aprisionamento de gases e que foram preenchidas, posteriormente, por minerais que cristalizaram tardiamente, originando as amígdalas de quartzo, carbonatos, clorita e epidoto.

### 3.2.2.2 - Formação Aprazível

As quatro litofácies descritivas identificadas na Formação Aprazível foram englobadas em duas associações litofaciológicas, denominadas informalmente de: Associação C e Associação D (Figura 45).

ASSOCIAÇÃO C			
LITOFÁCIES DOMINANTES	LITOFÁCIES SECUNDÁRIA	DESCRIÇÕES	INTERPRETAÇÃO
Cg Cm	Am	Conglomerados polimíticos <i>clast-supported</i> e localmente <i>matrix-supported</i> , maciço ou com acamamento gradacional.  Arenitos arcosianos maciços.	Sedimentos de leque/planície Aluvial dominado por <i>debris flow</i> e <i>stream flow</i> .

ASSOCIAÇÃO D			
LITOFÁCIES DOMINANTE	LITOFÁCIES SECUNDÁRIA	DESCRIÇÕES	INTERPRETAÇÃO
Aap	Am	Intercalações arenitos/pelitos. Os arenitos com laminação plano-paralela, <i>climbing ripple</i> , lineação de partição e laminação convoluta. Os pelitos apresentam-se laminados e localmente com níveis com gretas de contração.  Arenitos maciços.	Sedimentos lacustre com ciclos de “turbiditos rasos” ou inunditos. (?)

Figura 45 - Associações faciológicas da Formação Aprazível.

3.2.2.2.1 - Associação C: Sedimentos de leque/planície aluvial, dominado por *debris flows* e subordinadamente *stream flows*

Esta associação, que predomina nas áreas de ocorrência da Formação Aprazível, é constituída pelas litofácies Cm (conglomerados com acamamento maciço), Cg (conglomerados com acamamento gradacional) e Am (arenitos maciços).

As características apresentadas pelas litofácies que constituem a Associação C, permitem interpretar a mesma como depositada em um ambiente do tipo leque/planície aluvial. Os principais processos deposicionais, que atuaram durante o transporte e deposição dos sedimentos, foram fluxo de detritos (*debris flow*), sugerido pelo aspecto maciço das camadas (Figuras 25 e 26), predominando próximo ao ápice do leque, e fluxo de corrente (*stream flow*) localmente canalizado, indicado pelo acamamento gradacional e localmente por estratos cruzados (Figuras 31 e 32). O transporte subaquoso tracional processou-se em pulsos, com diminuição da energia em direção ao topo das camadas. A presença de seixos e matacões, angulosos a subangulosos, de diversos litótipos encontrados nas adjacências da Bacia de Jaibaras, sugerem distâncias relativamente pequenas de transportes, com áreas fonte próximas.

3.2.2.2.2 - Associação D: Sedimentos lacustres, com ciclos de inunditos/“turbiditos rasos”

A Associação D ocorre localmente na área em estudo, sendo constituída pelas litofácies Aap (arenitos/pelitos intercalados) e Am (arenitos maciços). Suas características sugerem uma deposição rítmica, sob condições subaquosas, com diminuição da energia em direção ao topo das camadas, provavelmente geradas em um ambiente lacustre, sujeito a períodos de exposição subaérea, atestada pela presença de níveis pelíticos com gretas de contração.

As principais estruturas hidrodinâmicas observadas na litofácies Aap da Formação Aprazível, sugerem como principal mecanismo de transporte dos sedimentos, correntes de turbidez e/ou de inundação. As estruturas sedimentares presentes nas litofácies que constituem esta associação podem ser interpretadas utilizando-se o conceito de regime de fluxo. O aspecto maciço das camadas (Figura 38) é interpretado como produto de rápida deposição a partir de sedimentos em suspensão ou, alternativamente, como produto de intensa fluidização que destruiu totalmente a estrutura interna da rocha. A laminação plano-paralela e a lineação de partição caracterizam processos tracionais em regime de fluxo superior. As marcas onduladas no topo dos bancos de arenitos (Figura 40) e as laminações cruzadas cavalgantes (Figura 37) são relacionadas ao regime de fluxo inferior. No caso das laminações cruzadas cavalgantes (*climbing-ripple cross lamination*) o grande aporte de sedimentos proporcionou a desaceleração do fluxo, adicionalmente à carga de fundo, levando a deposição a partir de suspensão. A mudança no ângulo de cavalgamento das laminações cruzadas cavalgantes em uma mesma seqüência, segundo LINDHOLM (1987), pode refletir um balanço delicado entre variações na razão de sedimentação e razão de migração de marcas onduladas, causadas por mudanças nas condições de fluxo. Os pelitos são depositados em períodos de calmaria a partir da precipitação dos sedimentos finos trazidos em suspensão pelo fluxo turbulento.

A origem da laminação convoluta é incerta. Um importante mecanismo pode ser a liquefação diferencial, atribuída a rápida sedimentação, seja motivada por processos climáticos e/ou tectônicos, levando ao escape dos fluidos e conseqüentemente à deformação da estruturação interna da rocha. A laminação convoluta pode ser, também, relacionada com atividades sísmicas penecontemporâneas (KLEIN & MARSAGLIA, 1987; LINDHOLM, 1987).

As características apresentadas pela associação D são semelhantes às seqüências de inunditos, que são similares aos turbiditos, no caso “turbiditos rasos” (Figura 46). Foram reconhecidos na litofácies Aap os intervalos **Ta**, **Tb**, **Tc** (Figuras 36, 38 e 39, sendo que  $Ta = am$ ,  $Tb = app$  e  $Tc = ac$ ) e **Te** (Figura 35, onde  $Te = pelitos$ ), semelhantes aos da seqüência de BOUMA (1962) (Figura 46), ocorrendo isoladamente ou associados, mas nunca formando um seqüência completa. Entretanto, encontram-se também associadas feições de águas rasas, tais como marcas onduladas lingóides (Figura 41) e gretas de contração (Figura 42), que segundo SEILACHER (1991) e SEILACHER & AIGNER (1991) são mais comuns em seqüências de inunditos.

A caracterização de turbiditos para a porção lacustre da Formação Aprazível é ainda muito discutível, porque turbiditos são sempre tidos como formados por correntes de turbidez em águas profundas, em ambientes de leques submarinos (EINSELE, 1991), levando desta forma a uma tendência a interpretar a litofácies Aap como seqüências de inunditos, por apresentar feições de águas rasas, tais como marcas onduladas lingóides e gretas de contração (Figuras 41 e 42).

### 3.3 - DESCRIÇÃO PETROGRÁFICA

#### 3.3.1 - Considerações gerais

As investigações petrográficas foram realizadas nas rochas da Formação Pacujá, envolvendo análises dos arenitos finos, brechas vulcanoclásticas e rochas vulcânicas e nos arenitos da Formação Aprazível, tendo como enfoque principal a caracterização mineralógica, textural e a classificação dos litótipos utilizando-se o sistema de FOLK (1980), sem avançar no estudo da evolução diagenética e do metamorfismo.

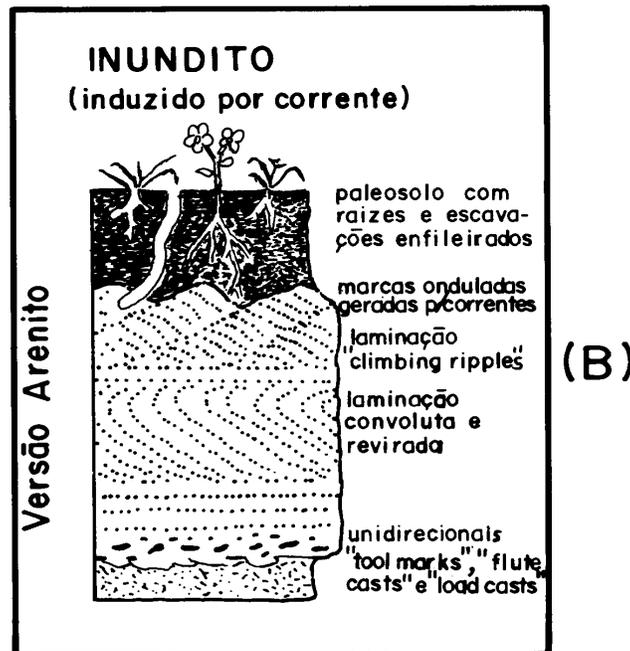
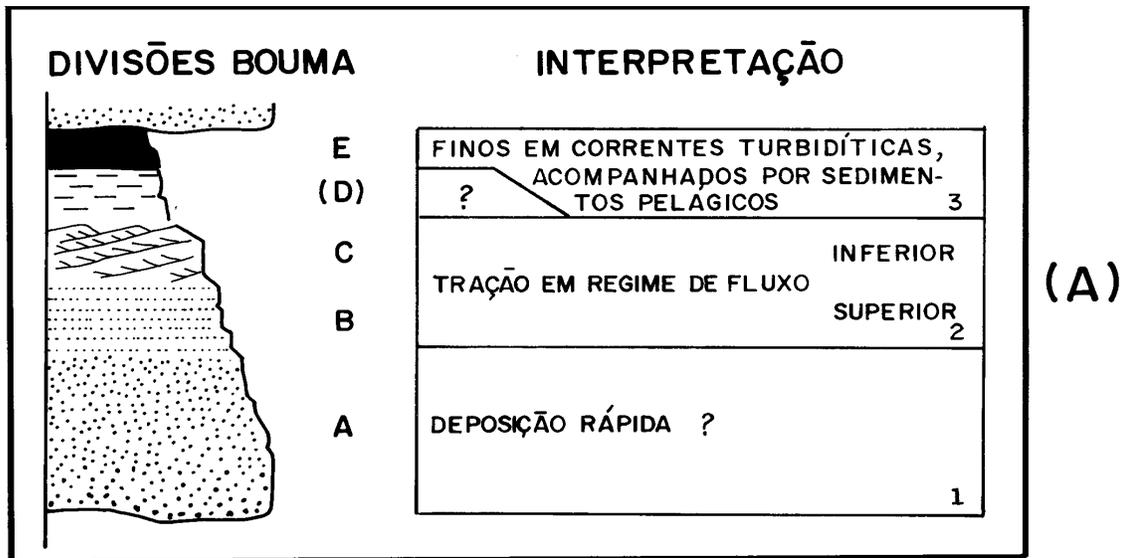


Figura 46 - Em (A) as cinco divisões da seqüência ideal de BOUMA (1962) para turbiditos: A - arenito maciço ou gradacional; B - arenito com laminação plano-paralela; C - arenito fino com laminação ondulada cruzada; D - silte e argila com laminação plano-paralela incipiente; E - pelito. Em B as divisões de inundito arenoso apresentada por SEILACHER (1991).

### 3.3.2 - Formação Pacujá

#### 3.3.2.1 - Litofácies arenitos finos/siltitos intercalados com pelitos (Pap)

Os Arenitos da litofácies Pap da Formação Pacujá geralmente apresentam-se, quando observados ao microscópio, com uma heterogeneidade textural. Em geral os seus constituintes mineralógicos, principalmente os minerais micáceos, encontram-se orientados paralelamente ao acamamento. São arenitos finos a muito finos/siltitos, bem selecionados, apresentando-se texturalmente maduros. Os grãos que compõem o arcabouço são em sua maioria angulosos a subangulosos e mostram predominantemente contatos do tipo côncavo-convexo, suturados e raramente retilíneos (Figura 47). São compostos de feldspatos (45%), quartzo (30%) e fragmentos de rochas (12%), subordinadamente minerais micáceos, anfibólio, zircão, turmalina, opacos (compondo juntos 7%), e epidoto, carbonatos e argilo-minerais (juntos correspondem a 5% da rocha). Feições de sobrecrecimento são de difícil observação na maioria das lâminas estudadas, em função da granulação fina a muito fina da rocha.

Os feldspatos são os principais constituintes da rocha e estão representados pelo plagioclásio e k-feldspato. O plagioclásio ocorre na forma de grãos subangulosos, com contatos suturados e raramente curvilíneos do tipo côncavo-convexo. Apresenta maclamento do tipo albíta e periclina, e localmente intercrecimento pertítico e antipertítico. Alguns grãos exibem subordinadamente feições de dissolução e substituição por carbonatos ou epidoto, e alterações para sericita. Os k-feldspatos são ortoclásio e microclina, ocorrendo na forma de grãos subangulosos, com contatos suturados e alterações para sericita.

O quartzo ocorre na forma de grãos do tipo monocristalino e subordinadamente policristalino, com extinção ondulante ou reta. Pode ser observado a presença de

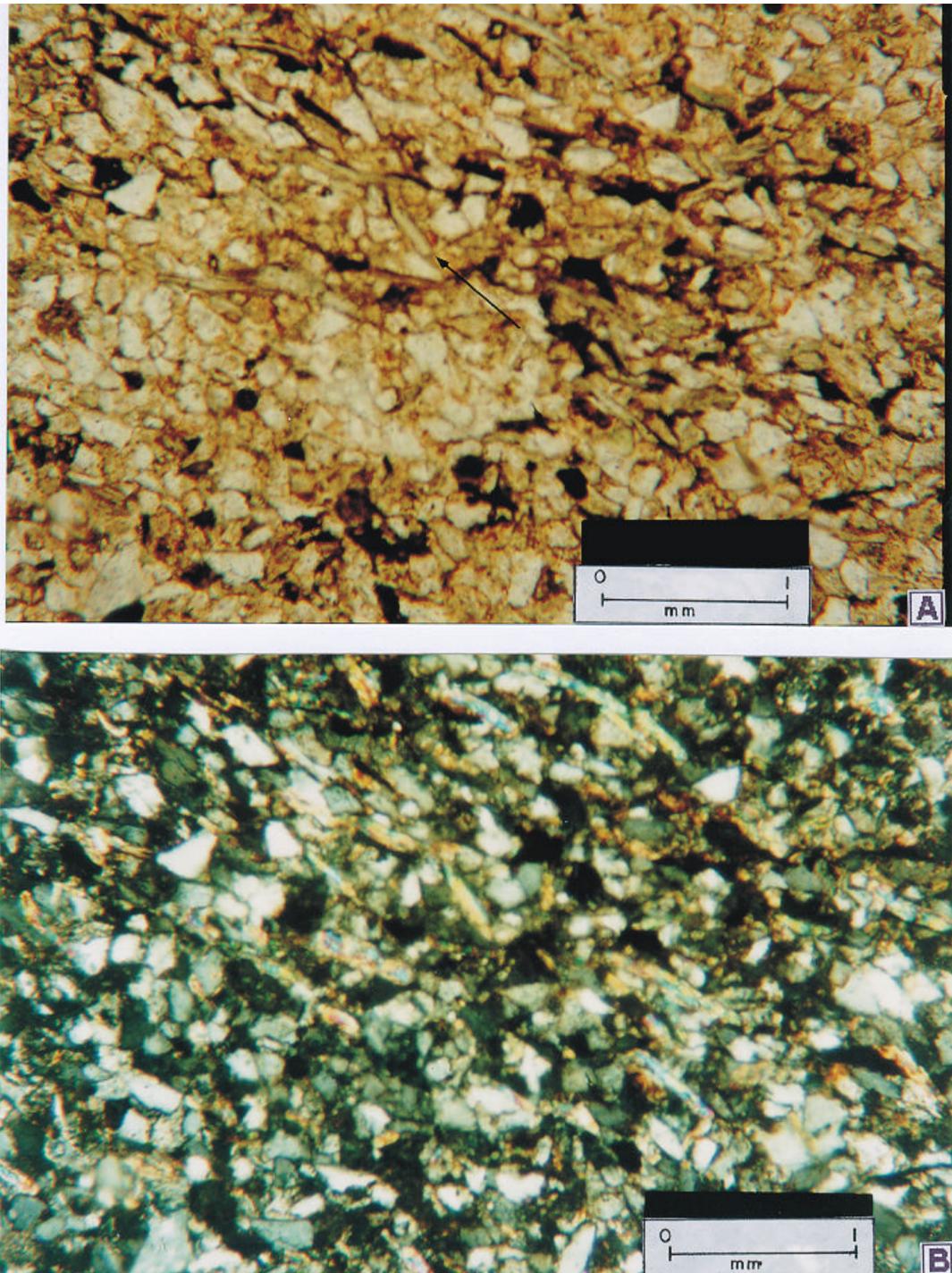


Figura 47 - Fotomicrografia mostrando o aspecto textural do arenito fino da litofácies Pap da Formação Pacujá, constituído por feldspatos, quartzo, opacos, muscovita e carbonatos. Notar a orientação dos grãos de muscovita paralela ao acamamento (seta em A). Em A nicóis paralelos e em B nicóis cruzados.

sobrecrescimentos secundários (*overgrowth*), que por sua vez mostram contatos retilíneos com os demais componentes do arcabouço.

Os minerais muscovita e clorita ocorrem em quantidades variáveis nas amostras analisadas, podendo localmente apresentar-se em grandes concentrações. Ocorrem dispostos subparalelamente aos planos de laminação, tendo contatos dos tipos curvilíneo e retilíneo.

Os fragmentos de rochas são principalmente de rochas vulcânicas básicas (basaltos e/ou andesitos) e exibem internamente cristais ripiformes de plagioclásio, envolvidos por uma matriz intensamente recristalizada.

Os minerais como anfibólio, zircão, turmalina e opacos, ocorrem na forma de grãos angulosos a subangulosos, em geral, formando níveis dispostos subparalelamente aos planos de laminação, estando concentrados em alguns deles. Destes minerais o mais freqüente é o zircão, observado em todas as amostras analisadas, enquanto que o anfibólio foi registrado em apenas duas amostras. Os carbonatos ocorrem preenchendo poros, microfraturas ou substituindo grãos de feldspatos.

Utilizando o esquema de classificação de FOLK (1980), os arenitos da Formação Pacujá foram classificados como arcósios e arcósios líticos (Figura 48).

#### 3.3.2.2 - Litofácies brechas vulcanoclásticas (Bv)

As brechas vulcanoclásticas são constituídas por fragmentos de rochas, principalmente vulcânicas básicas e em menor proporção de rochas sedimentares (arenitos finos/siltitos). A matriz é de difícil identificação, entretanto, observam-se ripas de cristais de plagioclásio dispostas aleatoriamente, envoltos possivelmente por agregados de material vítreo bastante recristalizado.

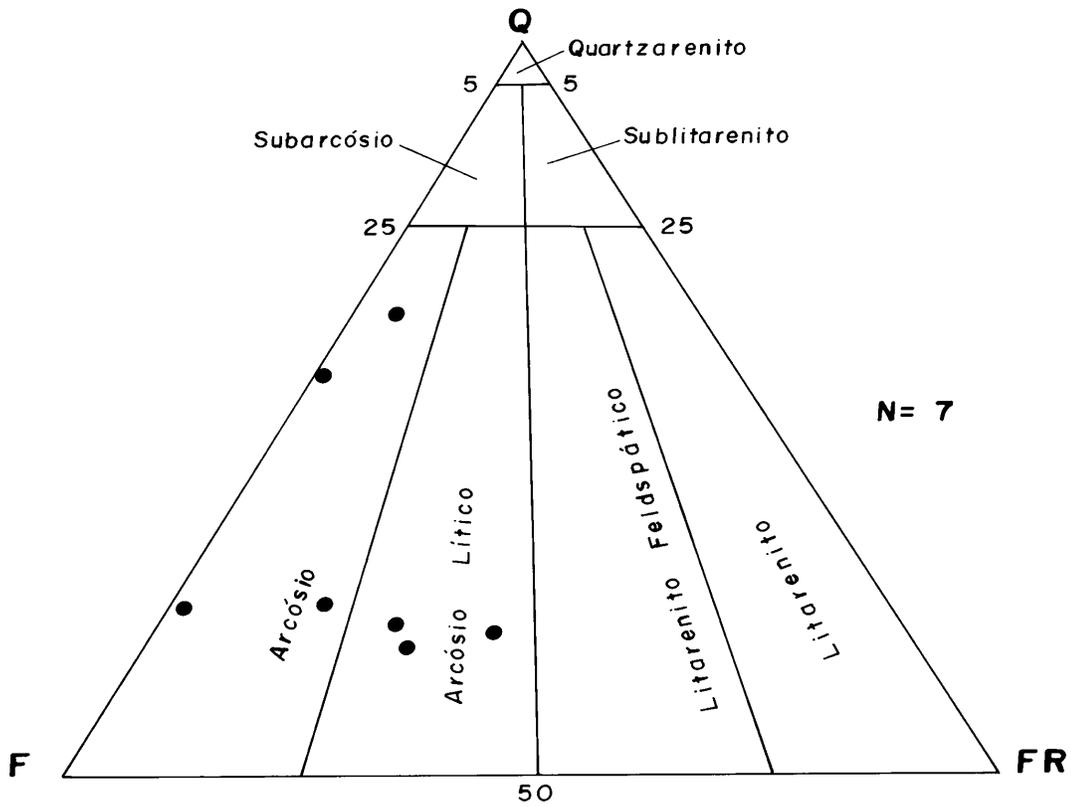


Figura 48 - Classificação petrográfica dos arenitos da Formação Pacujá na porção sudoeste da Bacia de Jaibaras, segundo o sistema de FOLK (1980). Q = Quartzo; F = Feldspatos; FR = Fragmentos de Rocha; N = n.º de amostras.

### 3.3.2.3 - Litofácies rochas vulcânicas e sub-vulcânicas (Vc)

As rochas vulcânicas e sub-vulcânicas que ocorrem na área foram classificadas como basaltos e riolitos. Em lâmina delgada os basaltos são constituídos essencialmente por plagioclásio, tendo como minerais acessórios biotita, anfibólio, olivina, opaco, apatita e titanita, e como secundários epidoto, clorita, sericita e carbonato. O arranjo espacial destes minerais define uma textura caracterizada por fenocristais de plagioclásio dispostos aleatoriamente e localmente cristais de olivina e anfibólio, apresentando nos interstícios agregados de clorita, epidoto e possivelmente material vítreo.

O plagioclásio ocorre na forma de cristais prismáticos ripiformes com maclamento albita e periclina, por vezes encurvados e fraturados, exibindo freqüentemente alterações para carbonatos, sericita e epidoto. O anfibólio ocorre sob a forma de cristais anédricos a subédricos, com bordas irregulares, apresentando alteração para clorita. A olivina, serpentinizada, ocorre localmente na forma de cristais anédricos a subédricos, geralmente fraturados. A titanita encontra-se disseminada pela lâmina, sob a forma de cristais anédricos a subédricos, possuindo por vezes bordas irregulares.

Os riolitos são compostos essencialmente por k-feldspatos, plagioclásio e quartzo, tendo como acessórios opacos e biotita, e como minerais secundários epidoto, carbonatos e sericita. O arranjo espacial destes minerais define uma textura porfírica com matriz pilotaxítica intergranular, onde os micrólitos de plagioclásio exibem, por vezes, orientação de fluxo magmático.

### 3.3.4 - Formação Aprazível

#### 3.3.4.1 - Litofácies arenitos maciços (Am) e arenitos associados a litofácies

conglomerados com acamamento gradacional (Cg)

Os arenitos da litofácies Am e os arenitos associados aos conglomerados da litofácies Cg, quando observados microscopicamente, apresentam granulometria média a grossa, com grãos subangulosos a subarredondados, seleção moderada, esfericidade baixa a alta e são texturalmente submaturados (Figura 49). São compostos e por feldspatos (35%), fragmentos de rocha (30%), quartzo (25%), biotita e muscovita (3%), calcita ferrosa (< 2%), opacos (<2%), clorita, titanita e epidoto.

Os feldspatos são do tipo plagioclásio e kfeldspato. O plagioclásio ocorre de várias maneiras, seja na forma detrítica com os grãos apresentando contatos retilíneos, côncavo-convexos e suturados ou como mineral autigênico na forma de sobrecrecimento secundário (*overgrowth*). Os tipos potássicos foram classificados como ortoclásio e microclina, e encontram-se levemente alterados para argilo-minerais.

Os fragmentos de rochas são de composição variada, predominando fragmentos de rochas vulcânicas (andesitos/basaltos), graníticas (granitos), sedimentares (arenitos feldspáticos, siltitos e pelitos) e subordinadamente fragmentos de rochas com trama milonítica.

O quartzo ocorre predominantemente como grãos monocristalinos e subordinadamente policristalinos, com extinção reta ou ondulante, os quais desenvolvem contatos côncavo-convexos, retilíneos ou suturados entre si. Ocorre, também, como mineral autigênico na forma de sobrecrecimento secundário (*overgrowth*), podendo as vezes mascarar a forma original dos grãos, que é normalmente ressaltada por linhas de sujeira. Por vezes, o sobrecrecimento foi corroído e substituído por cimento carbonático.

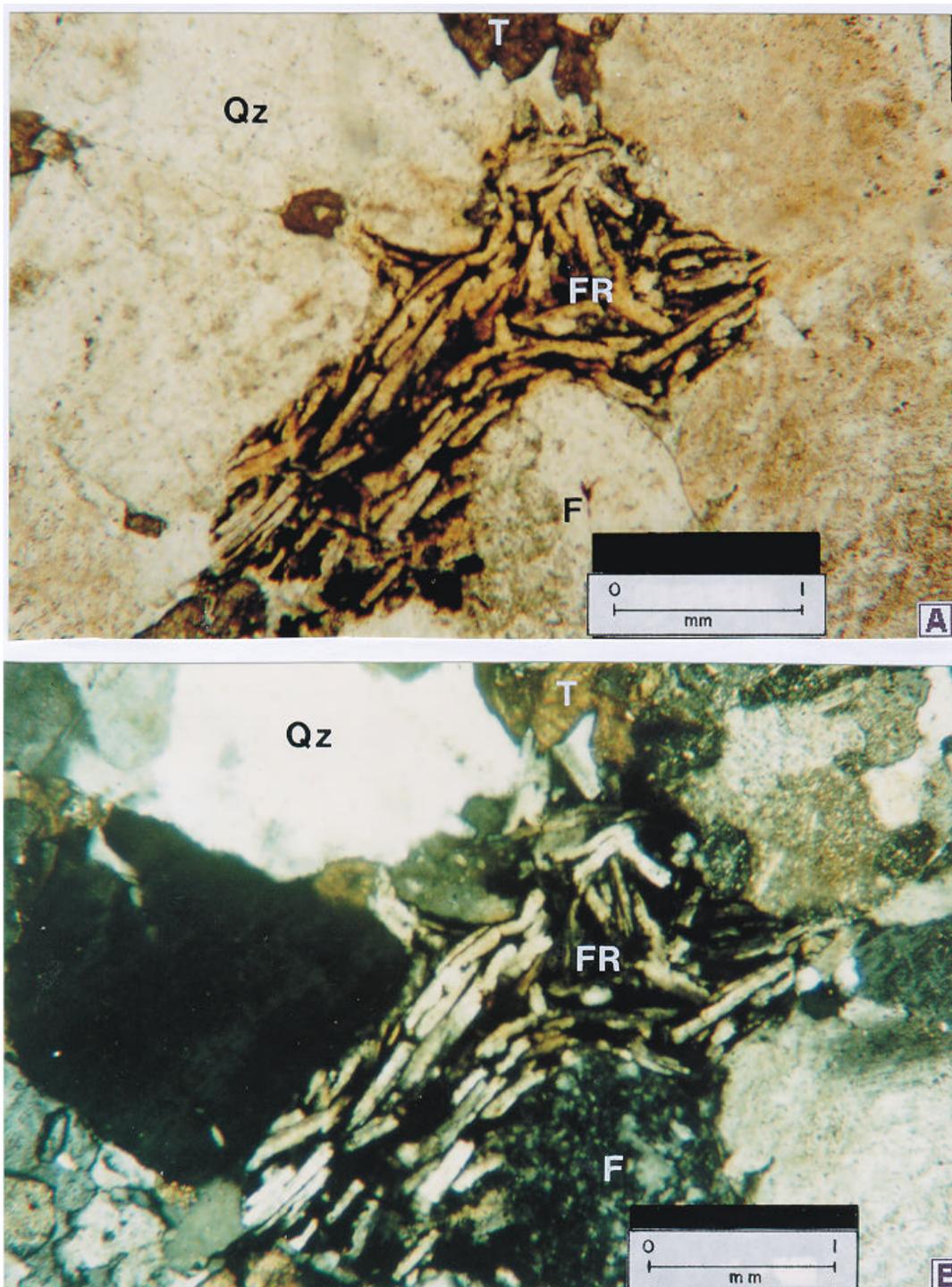


Figura 49 - Fotomicrografia mostrando o aspecto textural do arenito da Formação Aprazível, relacionado a litofácies Cg. Estes é composto por feldspatos (F), quartzo (Qz), fragmentos de rocha (FR) e titanita (T). O fragmento de rocha é de um basalto, constituído por ripas de plagioclásio envoltos por uma matriz afanítica, apresentando-se deformado pela compactação mecânica. Em A nicóis paralelos e em B nicóis cruzados.

Como minerais acessórios verificou-se a presença de clorita, muscovita e biotita.

A clorita ocorre como franjas (*pore linings*) ou como produtos secundários de alteração da biotita e subordinadamente do anfibólio. A muscovita tem orientação paralela à laminação da rocha, estando por vezes encurvada. A biotita apresenta à luz natural uma cor amarelada/amarronzada pálida, encontrando-se geralmente alterada para clorita.

Os minerais pesados observados foram principalmente epidoto, turmalina, opacos e rutílio. O cimento carbonático está representado por cristais subédricos de calcita ferrosa. A matriz é rara, encontrada localmente associada a fragmentos líticos esmagados que formam pseudomatriz.

Petrograficamente, os arenitos da litofácies Am e os arenitos associados aos conglomerados da litofácies Cg da Formação Aprazível são classificados, conforme o sistema de Folk (1980), como arcósios, arcósios lítico e litarenito feldspático (Figura 50), sem levar em consideração os efeitos diagenéticos.

### 3.4 - ANÁLISE DE PALEOCORRENTES

As estruturas sedimentares direcionais indicam direção e sentido das paleocorrentes de um sistema deposicional, tornando-as assim uma chave importante na reconstituição paleogeográfica e localização das áreas-fonte. O estudo das paleocorrentes pode também fornecer informações com relação à geometria de uma determinada unidade litológica, possibilitando prever, em seqüências sedimentares não deformadas, em que direção ocorrem as litofácies distais e as proximais de um determinado sistema deposicional.

As estruturas sedimentares que fornecem a direção e o sentido de movimento do fluxo são: estratificações cruzadas, seixos imbricados, marcas onduladas assimétricas e marcas de

soa. Algumas indicam somente a direção do fluxo, mas não o sentido, tais como: lineação de partição e marcas de sulco.

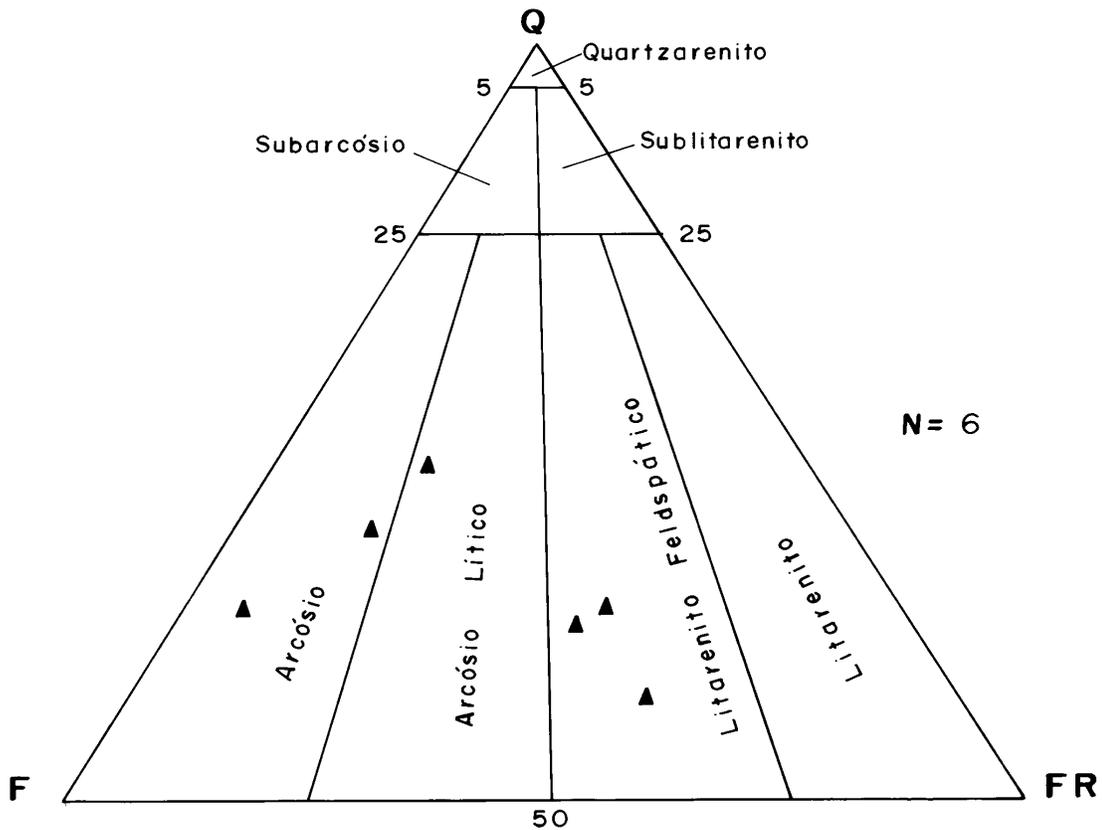


Figura 50 - Classificação petrográfica dos arenitos da Formação Aprazível na porção sudoeste da Bacia de Jaibaras, segundo o sistema de FOLK (1980). Q = Quartzo; F = Feldspatos; FR = Fragmentos de Rocha; N = n.º de amostras.

Nas seqüências sedimentares falhadas, basculadas e/ou dobradas, as medidas de paleocorrentes obtidas necessitam geralmente de correções, restaurando-se a posição horizontal inicial do acamamento. Esta correção é feita através da rotação da linha ou plano medido no campo, sobre um eixo horizontal, utilizando-se de projeção estereográfica. Quando o mergulho das camadas de uma determinada formação geológica for inferior a  $25^\circ$ , as medidas de azimute das estruturas lineares não necessitam ser corrigidas, entretanto, quando o mergulho for superior a  $25^\circ$  o efeito da inclinação das camadas deve ser removido. A situação em estruturas planares como estratificações cruzadas é diferente, porque planos com valores de mergulhos baixos (em torno de  $5^\circ$ ) podem produzir erros consideráveis. O caso é mais complicado em seqüências dobradas necessitando de correções quando o mergulho do *plunge* for maior que  $10^\circ$  e os mergulhos dos flancos forem maiores que  $45^\circ$  (LINDHOLM, 1987).

Na Bacia de Jaibaras, poucos foram os afloramentos que permitiram a obtenção dos elementos lineares capazes de fornecer a direção das paleocorrentes. A Formação Pacujá apresenta marcas onduladas assimétricas e lineação de partição, sendo que o número de medidas de paleocorrentes (total de três) foram insuficientes para se realizar uma análise estatística e por conseguinte obter o vetor principal de paleofluxo.

Na Formação Aprazível o número de medidas obtidas no campo foi relativamente maior (total de dezoito), sendo nove em marcas onduladas lingóides e quatro em marcas onduladas assimétricas de crista reta, que ocorrem na litofácies Aap, e cinco de seixos imbricados da litofácies Cg. Como o acamamento da Formação Aprazível mergulha em média  $35^\circ$  para SE, as medidas obtidas tiveram que ser corrigidas através da projeção estereográfica, restaurando-se a posição original do acamamento.

O quadro de vetores de paleocorrentes apresentados pela Formação Aprazível é ainda insuficiente para se fazer um tratamento estatístico e obter um resultado confiável com relação a migração do sistema deposicional. Entretanto, com base nos poucos dados existentes, o quadro que começa a se esboçar sugere que na porção noroeste da área estudada, onde os sedimentos da Formação Aprazível ocorrem formando uma faixa disposta paralelamente a Zona

de Cisalhamento Café-Ipueiras, a migração do sistema se deu de NNE para SSW e na porção sudeste da área, onde a Formação Aprazível ocorre formando uma faixa paralela a Zona de Cisalhamento Sobral-Pedro II, a migração do sistema foi de SSE para NNW, sugerindo que as áreas fontes se posicionavam, respectivamente, a NNE e a SSE. No centro da área as paleocorrentes obtidas indicam sentido preferencial de paleofluxo de nordeste para sudoeste (Figura 51).

### 3.5 - MODELO DEPOSICIONAL

O ambiente deposicional do Grupo Jaibaras foi caracterizado por MELLO (1978) como um sistema de cones aluviais, canais fluviais e planície de inundação, e por GORAYEB et al. (1988) como leques aluviais em clima seco. A análise faciológica realizada neste trabalho corrobora em parte a interpretação destes autores, principalmente com relação ao ambiente de leques aluviais para a Formação Aprazível. Entretanto, novas considerações são feitas com relação aos ambientes de deposição das formações Pacujá e Aprazível.

As interpretações das associações faciológicas revelaram que a Formação Pacujá foi depositada em um ambiente lacustre, não se descartando a possibilidade de marinho plataformal raso, sujeito a ação de ondas de tempestades, conforme evidenciado por seqüências rítmicas que caracterizam ciclos de tempestitos. Concomitante com a deposição dos sedimentos da Formação Pacujá ocorreram episódios de atividade vulcânica, representada pelas rochas vulcânicas, sub-vulcânicas e vulcanoclásticas. As características apresentadas pela litofácies Pap da Formação Pacujá e a sua homogeneidade ao longo da área investigada, sugere que a sua área de deposição extrapolou os limites atuais da Bacia de Jaibaras.

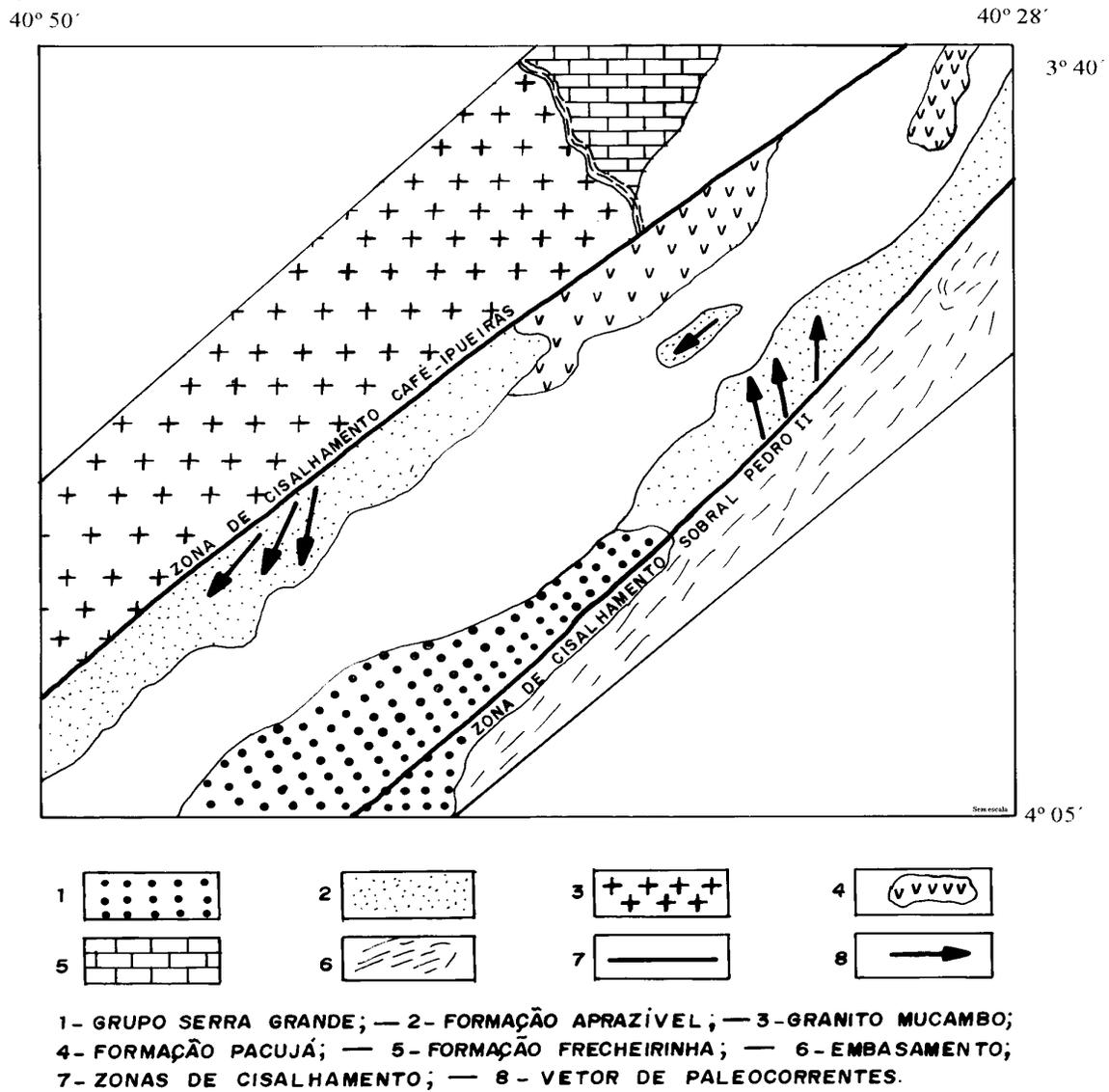
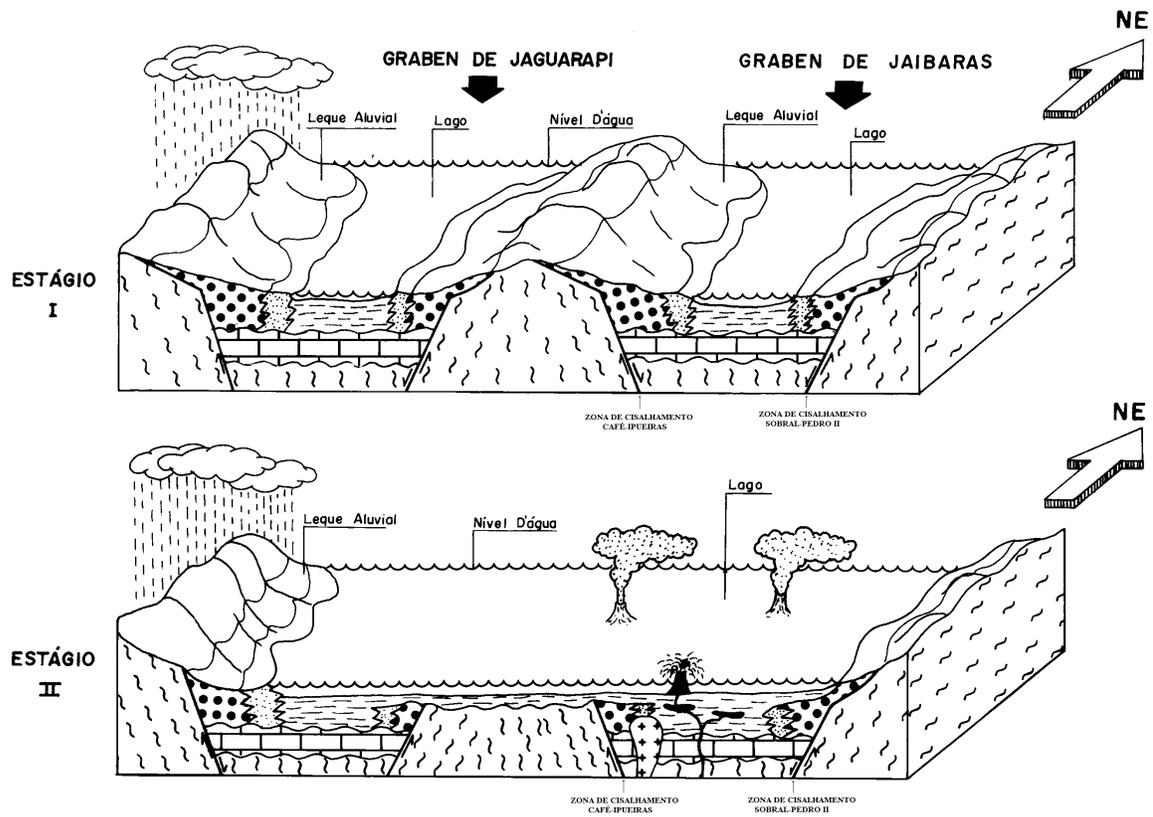


Figura 51 - Quadro de vetores de paleocorrentes da Formação Aprazível na área estudada.

Analisar isoladamente a Formação Pacujá pode propiciar erros na elaboração do seu modelo deposicional, haja vista que, as formações Massapê e Pacujá apresentam contatos gradacionais, segundo NASCIMENTO & GAVA (1979). Portanto, para se estabelecer um modelo deposicional mais completo para o Grupo Jaibaras, englobando estas duas formações, necessita-se ainda de mais estudos a nível da bacia como um todo, principalmente em relação ao entendimento da passagem da Formação Massapê (que não foi estudada, porque não aflora na área estudada) para a Formação Pacujá e a natureza do vulcanismo, ocorrido na Bacia de Jaibaras concomitante com a deposição dos sedimentos da Formação Pacujá. Entretanto, com base nos dados obtidos no campo, aliados aos dados disponíveis na literatura, um modelo deposicional que poderia ser proposto inicialmente para o Grupo Jaibaras e sujeito a várias modificações, encontra-se demonstrado na Figura 52.

O modelo proposto para o Grupo Jaibaras encontra-se representado em dois estágios: Estágio I - formação de leques aluviais (Formação Massapê), com passagens gradacionais na sua porção distal para um sistema deposicional lacustre ou marinho plataformar (Formação Pacujá); Estágio II - extensão da sedimentação lacustre em uma área de deposição mais ampla (Formação Pacujá), interagindo com um sistema de leques aluviais nas bordas da bacia (Formação Massapê). Esses sistemas foram formados em uma bacia de assoalho do tipo *horts* e *grabens*, onde o maior dos *grabens* encontra-se representado pela Bacia de Jaibaras. No Estágio II ocorreram as manifestações vulcânicas e as atividades magmáticas tardias de natureza intrusiva, representadas pelos granitos Mucambo e Meruoca, sendo que este último ocorre fora da área mapeada (Figura 52).



### CONVENÇÕES

	SUITE MERUOCA	
	FORMAÇÃO PACUJÁ	} GRUPO JAIBARAS
	FORMAÇÃO MASSAPÉ	
	GRUPO UBAJARA	
	EMBASAMENTO CRISTALINO	

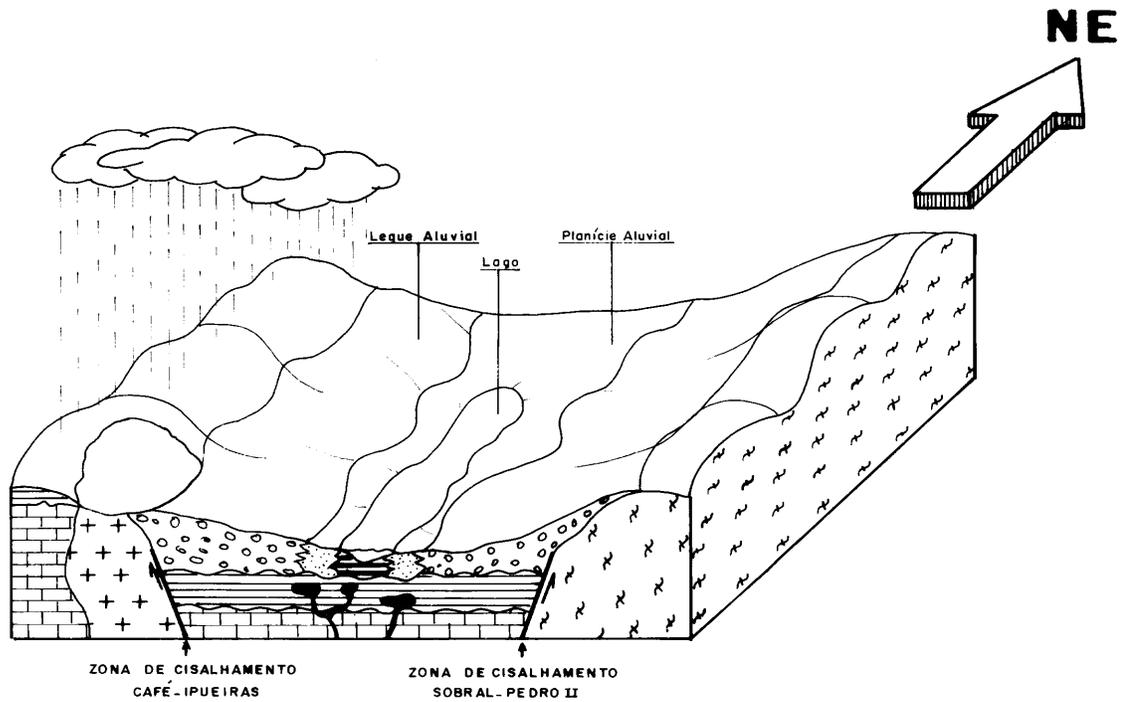
Figura 52 - Modelo deposicional proposto para o Grupo Jaibaras.

Com relação a Formação Aprazível, a associação C representa depósitos característicos de um ambiente do tipo leque/planície aluvial, dominado por *debris-flows* e *stream-flows*, relacionados a fortes gradientes topográficos de relevo. Os leques estão posicionados paralelamente às zonas de cisalhamento Sobral-Pedro II e Café-Ípueiras, e progradam distalmente sobre depósitos lacustres, situados na porção axial da bacia.

A associação faciológica D da Formação Aprazível apresenta diversas feições sedimentares (ver item 3.2.1.3), que a caracterizam como uma seqüência semelhante a inunditos/“tempestitos rasos”, provavelmente formados em pequenos lagos situados na porção axial da bacia. Existem dúvidas quanto a interpretação desta associação, sendo que a mesma pode ser, alternativamente, interpretada como depósitos pertencentes às porções distais de um leque aluvial, estando assim interdigitada com a associação C da Formação Aprazível.

O modelo deposicional proposto para a Formação Aprazível é do tipo leque/planície aluvial, cujas porções distais adentram em corpos aquosos, no caso lagos com condições variáveis na espessura da lâmina d'água (Figura 53).

Os modelos deposicionais propostos para o Grupo Jaibaras e para a Formação Aprazível são muito semelhantes entre si, principalmente com relação aos ambientes deposicionais. Apresentam, entretanto, diferenças em função da ausência ou presença de vulcanismo e pela dimensão na área de sedimentação, que no caso da Formação Aprazível foi mais restrita. Ambos assemelham-se, em parte, ao modelo de *Fan Delta* definido por Holmes apud McPHERSON et al. (1987) (Figura 54).



### LEGENDA

-  FORMAÇÃO APRAZÍVEL
-  SUÍTE MERUOCA
-  FORMAÇÃO PACUJÁ (GRUPO JAIBARAS)
-  GRUPO UBAJARA
-  GNAISSES/MILONITOS

Figura 53 - Modelo deposicional proposto para a Formação Aprazível.

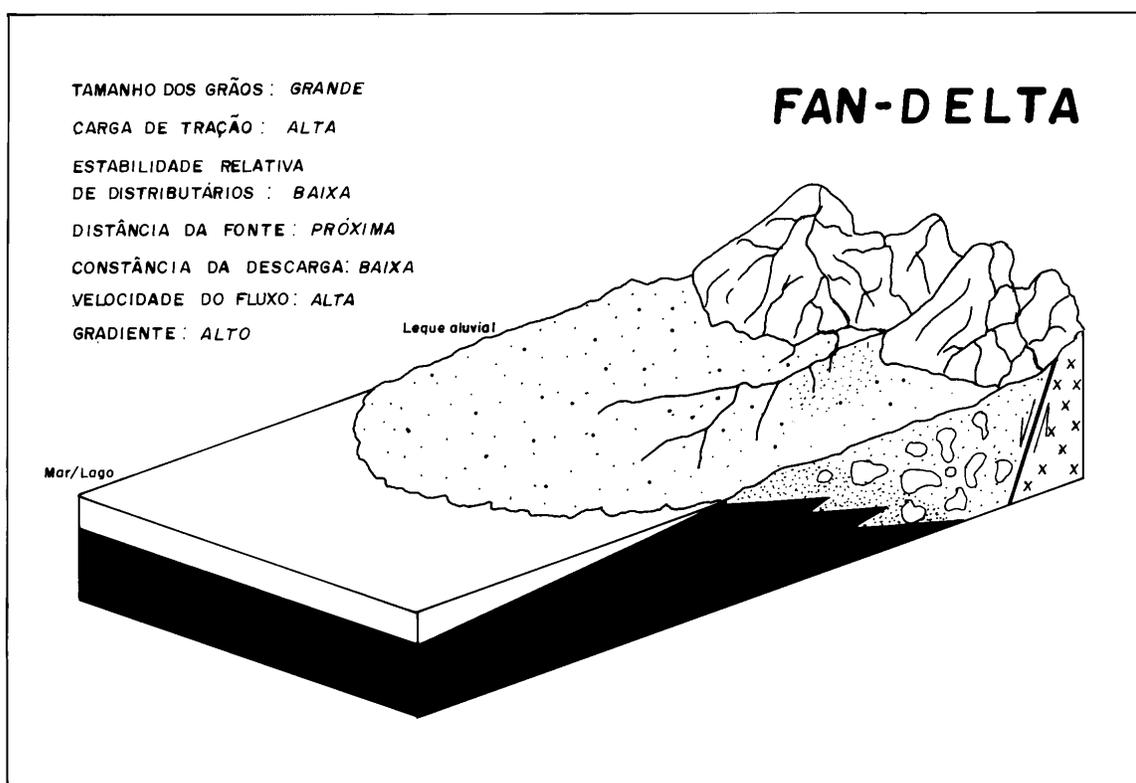


Figura 54 - Modelo de Fan-Delta, constituído por sedimentos de granulação grossa que progradam sobre corpos de águas confinados (Fonte: McPHERSON et al., 1987).

## 3.6 - ANÁLISE ESTRUTURAL

### 3.6.1 - Aspectos gerais

A nível regional a Bacia de Jaibaras encontra-se implantada concordantemente às anisotropias do embasamento cristalino, orientadas segundo o *trend* regional nordeste-sudoeste e estruturadas no contexto do Cinturão de Cisalhamento Noroeste do Ceará (ABREU et al. 1988) (Figura 3). Estas zonas de fraqueza pré-existentes foram importantes para a estruturação tectônica da bacia, como também, para o controle da sedimentação, geração e percolação de magmas que extravasaram ou que cristalizaram internamente em níveis crustais rasos.

A análise estrutural da área estudada teve como objetivo principal a caracterização geométrica das estruturas tectogênicas impressas nos sedimentos das formações Pacujá e Aprazível. Com isso visa-se obter subsídios que possam auxiliar, juntamente com os dados já existentes na literatura sobre o embasamento cristalino, a elaboração de um modelo de evolução tectono-sedimentar para a Bacia de Jaibaras.

Na Bacia de Jaibaras, mais especificamente na área estudada, diversas estruturas tectogênicas, tais como foliações, dobras desenhadas pelo acamamento, falhas, fraturas, lineações de movimentação intraestratal e estrias de falhas, estão impressas nas rochas que constituem as formações Pacujá e Aprazível. Tais feições estruturais foram originadas durante movimentações tectônicas sin a pós-deposicionais. A natureza e o arranjo espacial destas feições foram analisadas separadamente, na tentativa de se estabelecer o quadro geométrico-cinemático de cada unidade litoestratigráfica e o seu contexto a nível da evolução da bacia.

### 3.6.2 - Formação Pacujá

A Formação Pacujá apresenta estruturas curvilineares, planares e lineares, tais como: dobras desenhadas pelo acamamento, falhas, fraturas, estrias de falhas e lineação de movimentação intraestratal. Para análise estrutural desta formação foi escolhido e estudado em detalhe dois afloramentos importantes, em função da sua riqueza em elementos estruturais e a sua continuidade lateral, os quais encontram-se situados no sangradouro do Açude Aíres de Souza, na cidade de Jaibaras, e no leito do Rio das Barreiras, próximo à cidade de Pacujá (Anexo A).

#### 3.6.2.1 - Sangradouro do Açude Aíres de Souza

No sangradouro do Açude Aíres de Souza foram realizadas medidas de planos de acamamento, fraturas, eixos de dobras e lineações de movimentação intraestratal, as quais foram tratadas estatisticamente, utilizando-se a rede equiárea de Schmidt-Lambert.

Os estereogramas de polos de acamamento e contornos de densidade mostram que os polos se concentram ao longo dos quadrantes nordeste e sudeste (Figura 55A e B). Esta distribuição permitiu a construção de uma guirlanda de atitude  $71^\circ/N75^\circ E$  com eixo mergulhando  $19^\circ$  para  $S75^\circ W$  (Figura 55C). No diagrama  $\beta$  os planos de acamamento se interceptaram no quadrante sudoeste, definindo uma eixo  $\beta$  de atitude  $23^\circ/N70^\circ W$  (Figura 55D).

As lineações de movimentação intraestratal apresentam caimentos com baixos valores de mergulho, principalmente para SSE e subordinadamente para NNW e sudoeste (Figura 55E), posicionadas em geral de maneira perpendicular aos eixos de dobras. Este posicionamento espacial é característico de dobras abertas.

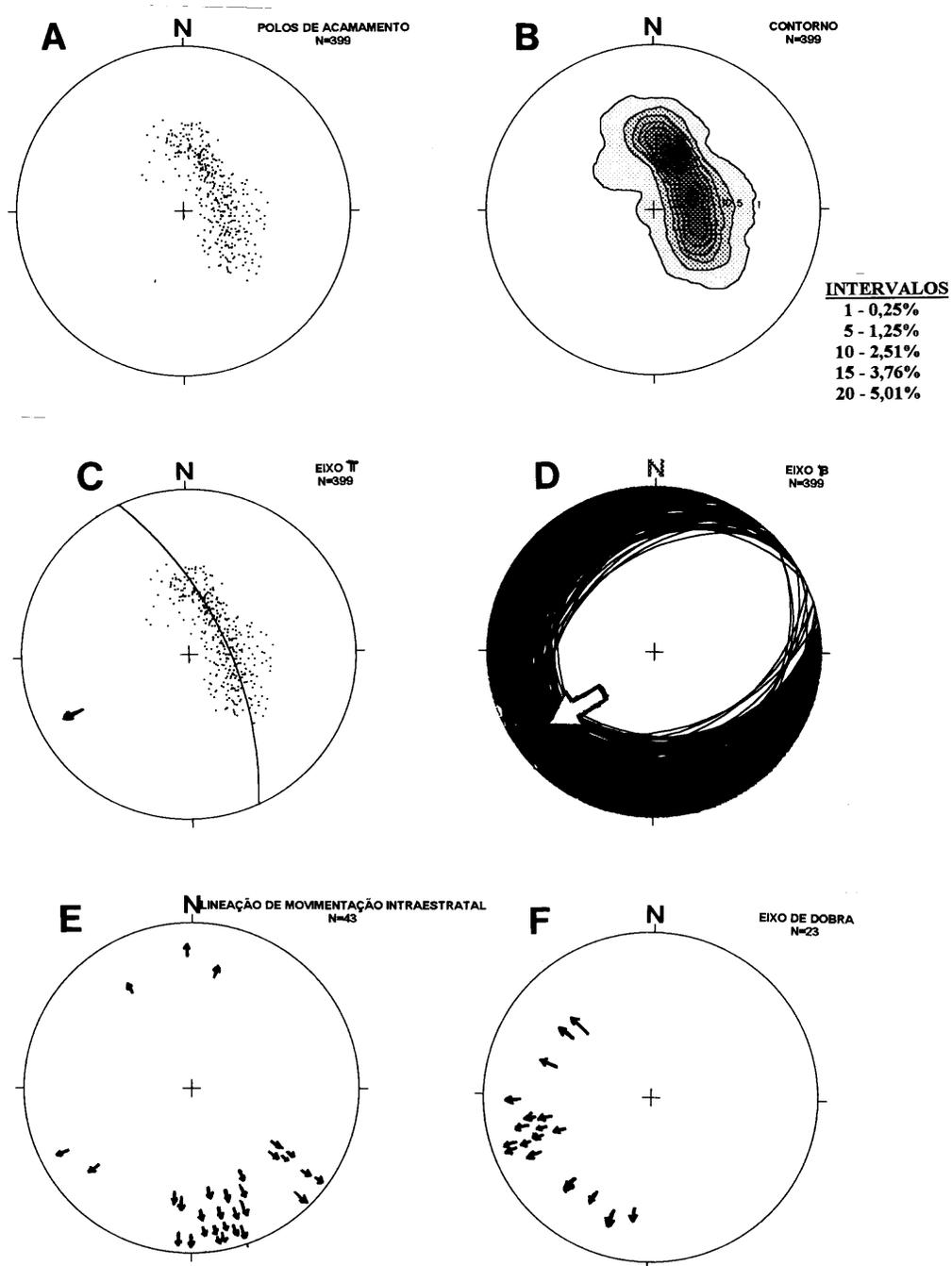


Figura 55 - Estereogramas das dobras de acamamento da Formação Pacujá no afloramento do sangradouro do Açude Aires de Souza, na cidade de Jaibaras. Em A polos de acamamento, B contornos de densidade, C eixo  $\pi$  (guirlanda), D eixo  $\beta$ , E lineação de movimentação intraestratal e F eixo de dobra medido no campo.

Os eixos de dobras se posicionam com caimentos em torno de  $15^\circ$  principalmente para o quadrante sudoeste (em torno de  $S70^\circ W$ ) e subordinadamente para o quadrante noroeste (Figura 55F).

Com base nos critérios apresentados por RAMSAY & HUBER (1987) para a classificação das dobras, a configuração apresentada pelo acamamento da Formação Pacujá nos estereogramas permitiu definir um dobramento do tipo sub-cilindrico, haja vista que a maioria das medidas situam-se nos vinte graus adjacentes à guirlanda e não estão contida em um mesmo plano.

Nos diagramas os polos de fraturas estão distribuídos por todos os quadrantes o que, a primeira vista, não permitiu chegar a nenhuma interpretação (Figura 56A). Entretanto, o diagrama de contorno de polos permitiu a individualização de quatro famílias de fraturas, denominadas de A com plano principal de atitude  $70^\circ/N20^\circ E$ , B de atitude  $68^\circ/N73^\circ E$ , C de atitude  $69^\circ/N65^\circ W$  e D de atitude  $63^\circ/S02^\circ E$  (Figura 56B e C). As famílias A, B, e C definem um triângulo de interseção, demonstrando que as mesmas pertencem a um único regime de tensão (Figura 56C). A família D aparentemente não apresenta evidências visíveis de relação com o campo de tensão que gerou as famílias A, B e C, podendo pertencer a um outro campo de tensão (Figura 56D). O triângulo de interseção formado pelas famílias A, B e C permitiu determinar a posição espacial de  $\sigma_1$ ,  $\sigma_2$  e  $\sigma_3$ , onde  $\sigma_2$  é determinada pelo triângulo de interseção,  $\sigma_1$  é definido pela bissetriz do ângulo agudo formado entre os planos das famílias A e C (par conjugado) e  $\sigma_3$  é deduzido a partir da orientação de uma reta perpendicular a um plano que contenha tanto  $\sigma_1$  como  $\sigma_2$  (Figura 56E). Deste modo as atitudes dos eixos de tensão que geraram a fraturas da Formação Pacujá são  $\sigma_1 = 30^\circ/S05^\circ W$ ,  $\sigma_2 = 60^\circ/N05^\circ E$  e  $\sigma_3 = 10^\circ/N85^\circ W$  (Figura 56E)

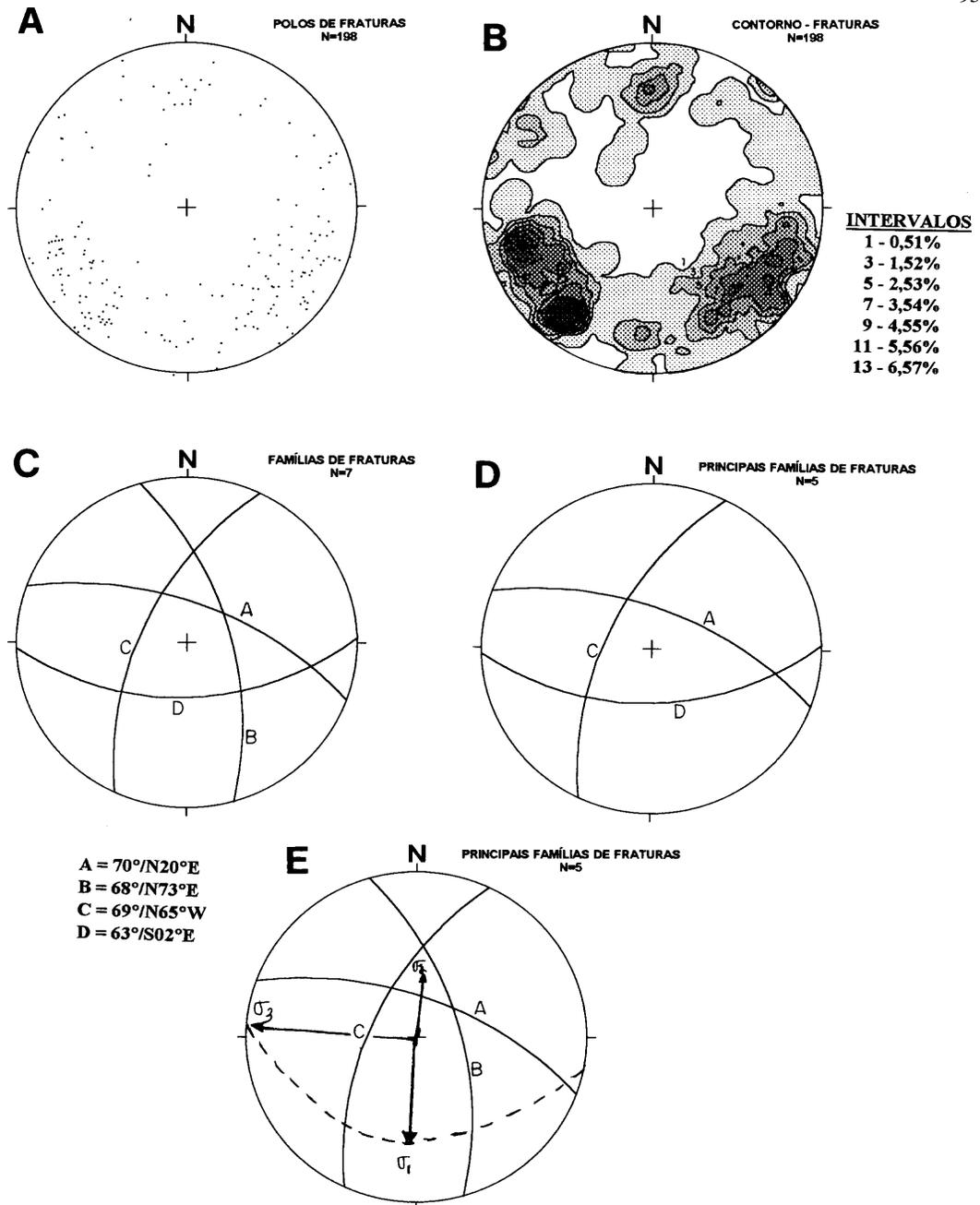


Figura 56 - Estereogramas de Fraturas da Formação Pacujá no afloramento do sangradouro do Açude Aíres de Souza, na cidade de Jaibaras. Em A polos de fraturas, B contornos de densidade, C e D principais famílias de fraturas e E eixos de tensão.

### 3.6.2.2 - Leito do Rio das Barreiras

No afloramento no leito do Rio das Barreiras foram feitas medidas de planos de acamamento e fraturas, e de eixo de dobras. A análise do acamamento nos diagramas de polos e contornos mostraram que os polos ocorrem nos quadrantes nordeste e sudeste, próximo ao centro do diagrama, em função dos baixos valores de mergulho do acamamento, com tendência a não configurar de forma clara máximos e nem de formar uma guirlanda (Figura 57A e B). Entretanto, o tratamento automático permitiu a construção de uma guirlanda, que na realidade é uma reta que indica um plano de direção N54°W com praticamente 0° de mergulho, que poderia ser tanto para S36°W como para N36°E, com eixo nas mesmas direções (Figura 57C). Observou-se também que os polos se concentram de um lado e de outro, nos quadrantes noroeste e sudeste, indicando que as dobras são abertas. No diagrama  $\beta$  os planos de acamamento se interceptaram nos quadrante NE e SW, com tendência a definir um eixo  $\beta$  com direção semelhante aos eixos encontrados nos diagramas do afloramento do sangradouro do Açude Aires de Souza e aos eixos medidos no campo (Figura 57D).

Foi analisado estatisticamente nos diagramas de polos, contornos, guirlanda e  $\beta$ , uma dobra classificada no campo como do tipo *kink*. Apesar da quantidade pequena de medidas, esta dobra apresentou nos estereogramas um padrão semelhante ao das dobras analisadas no afloramento do sangradouro Aires de Souza e , também, semelhante as demais dobras que foram analisadas no rio das Barreiras, principalmente em relação ao posicionamento espacial dos eixos de dobras (12°/N50°E), eixos  $\pi$  (10°/N40°E) e  $\beta$  (06°/N39°E), os quais apresentaram a mesma direção, entretanto, com inversão no sentido do mergulho dos eixos de sudoeste para nordeste (Figura 58A, B, C e D).

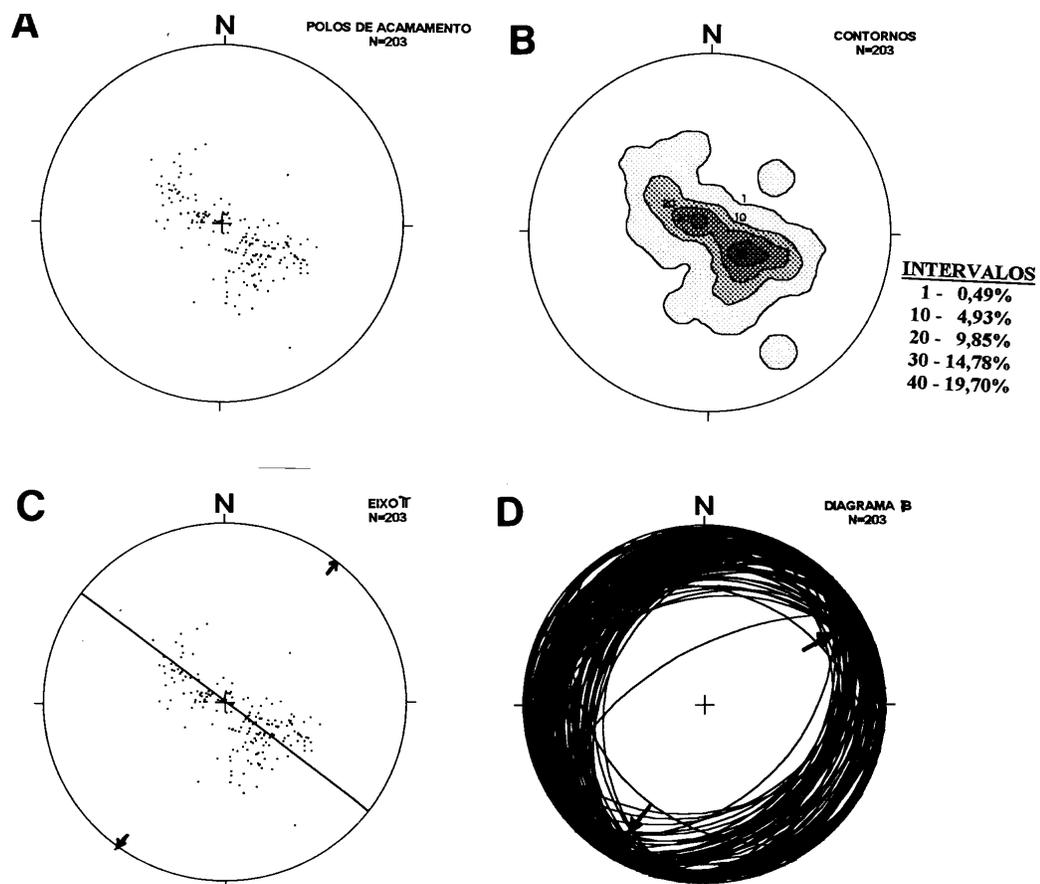


Figura 57 - Estereogramas das dobras de acamamento da Formação Pacujá no afloramento do rio das Barreiras, próximo a cidade de Pacujá. Em A polos de acamamento, B contornos de densidade, C eixo  $\pi$  (guirlanda) e D eixo  $\beta$ .

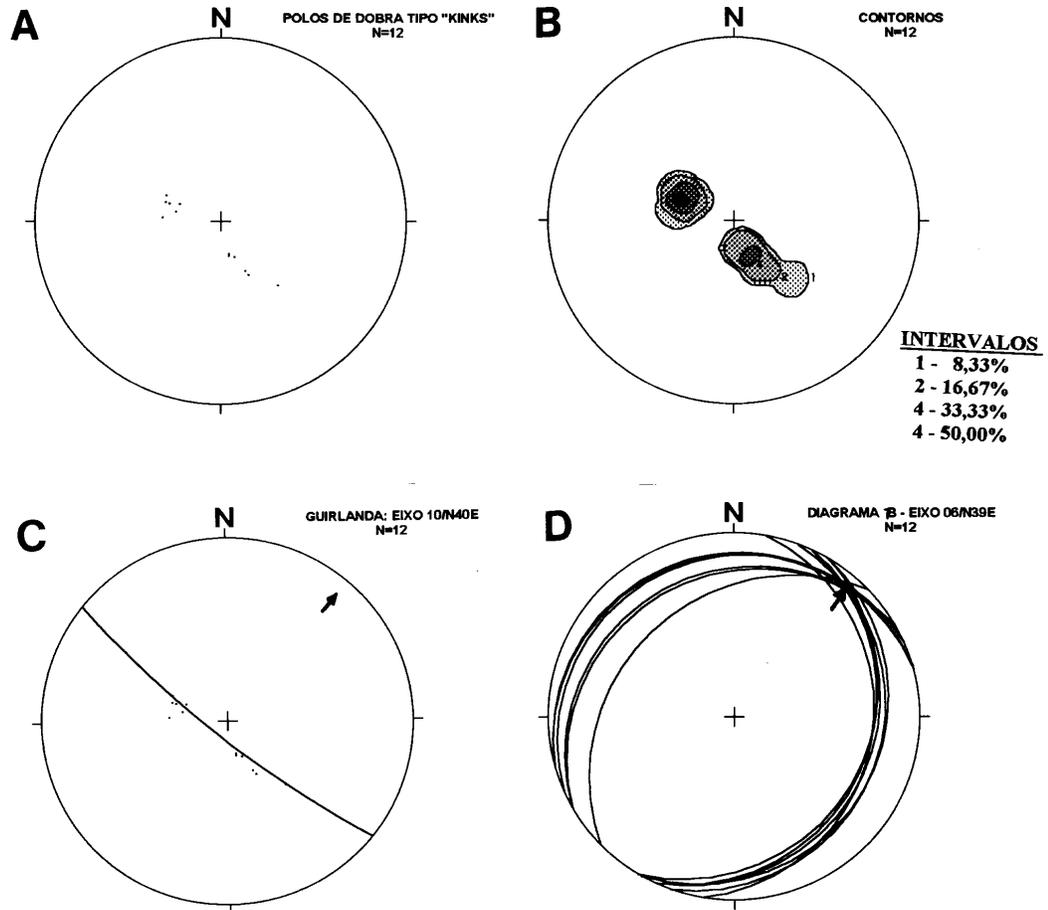


Figura 58 - Estereogramas das dobras em *kinks* desenhadas pelo acamamento dos sedimentos da Formação Pacujá no afloramento do rio das Barreiras, próximo a cidade de Pacujá. Em A polos de acamamento, B contornos de densidade, C eixo  $\pi$  (guirlanda) e D eixo  $\beta$ .

As fraturas foram, também, tratadas estatisticamente. Nos diagramas os polos estão distribuídos pelos quadrantes nordeste, sudeste e sudoeste, permitindo a identificação, no diagrama de contornos, de três famílias de fraturas denominadas de A com plano principal de atitude  $73^\circ$  para  $N15^\circ E$ , B de atitude  $58^\circ$  para  $N24^\circ E$  e C de atitude  $65^\circ$  para  $S32^\circ E$  (Figura 59A, B, C e D). Porém, em função da quantidade pequena de medidas e por não apresentarem um triângulo de interseção, não foi possível determinar os eixos de tensão responsáveis pela formação das fraturas.

No campo as rochas da Formação Pacujá se caracterizam principalmente por apresentarem dobras abertas métricas a decamétricas, por vezes complexas, desenhadas pelo acamamento, resultando da superposição de dobramentos. Apresentam formas geométricas que se enquadram no padrão de interferência do tipo 1 - “domos e bacias” da classificação de Ramsay apud RAMSAY & HUBER (1987), com planos axiais redobrados (Figuras 60, 61, 62 e 63). Alternativamente esse padrão de dobras pode, também, ser o resultado de dobramentos cruzados em um contexto no qual existiram dois eixos de encurtamento no elipsóide de deformação finita. Ocorrem também dobras em *kink* com eixos mergulhando em geral  $12^\circ$  para  $N50^\circ E$  (Figura 64) e dobras de arrasto associadas a falhas inversas e a falhas normais.

As falhas que seccionam os sedimentos da Formação Pacujá não foram analisadas estatisticamente devido ao número insuficiente de medidas. Estas podem ser tanto normais ou de gravidade (Figura 65 e 66), como inversas ou de cavalgamentos, eventualmente com dobras de arrasto associadas (*drag fold*) (Figura 66). A direção preferencial das falhas normais é nordeste-sudoeste, com mergulhos fortes para noroeste, ocorrendo ocasionalmente estrias de falhas em planos intensamente epidotizados.

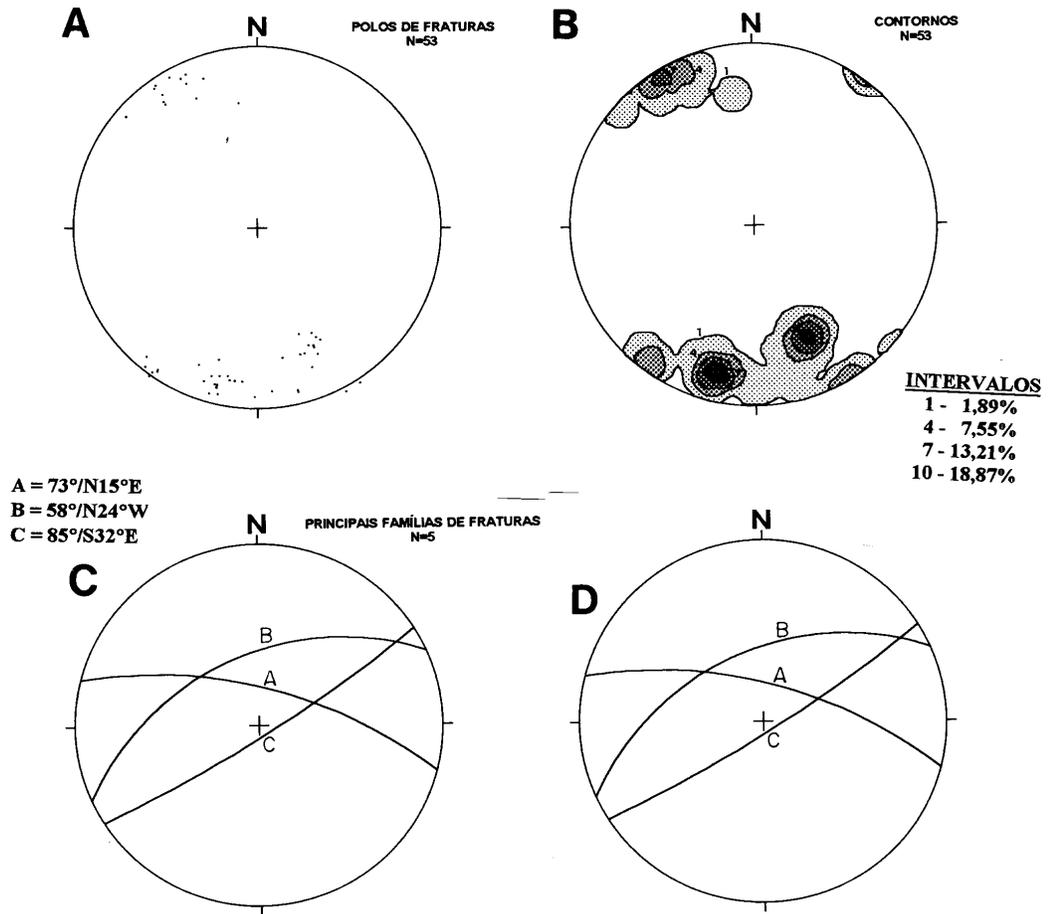


Figura 59 - Estereogramas de Fraturas da Formação Pacujá no afloramento do rio das Barreiras, próximo a cidade de Pacujá. Em A polos de fraturas, B contornos de densidade, C principais famílias de fraturas e D eixos de tensão.



Figura 60 - Dobras complexas semelhantes ao padrão de interferência Tipo 1 - “domos e bacias” de Ramsay apud RAMSAY & HUBER (1987), afetando a Formação Pacujá (afloramento no leito do rio das Barreiras, próximo a Pacujá).



Figura 61 - Dobra desenhada pelo acamamento dos sedimentos litofácies Pap da Formação Pacujá, com um padrão de interferência semelhante ao tipo 1 -“domos e bacias” de Ramsay apud RAMSAY & HUBER (1987). Observar no centro, indicado pela seta, o núcleo dômico (afloramento localizado no leito do rio das Barreiras, próximo a Pacujá).

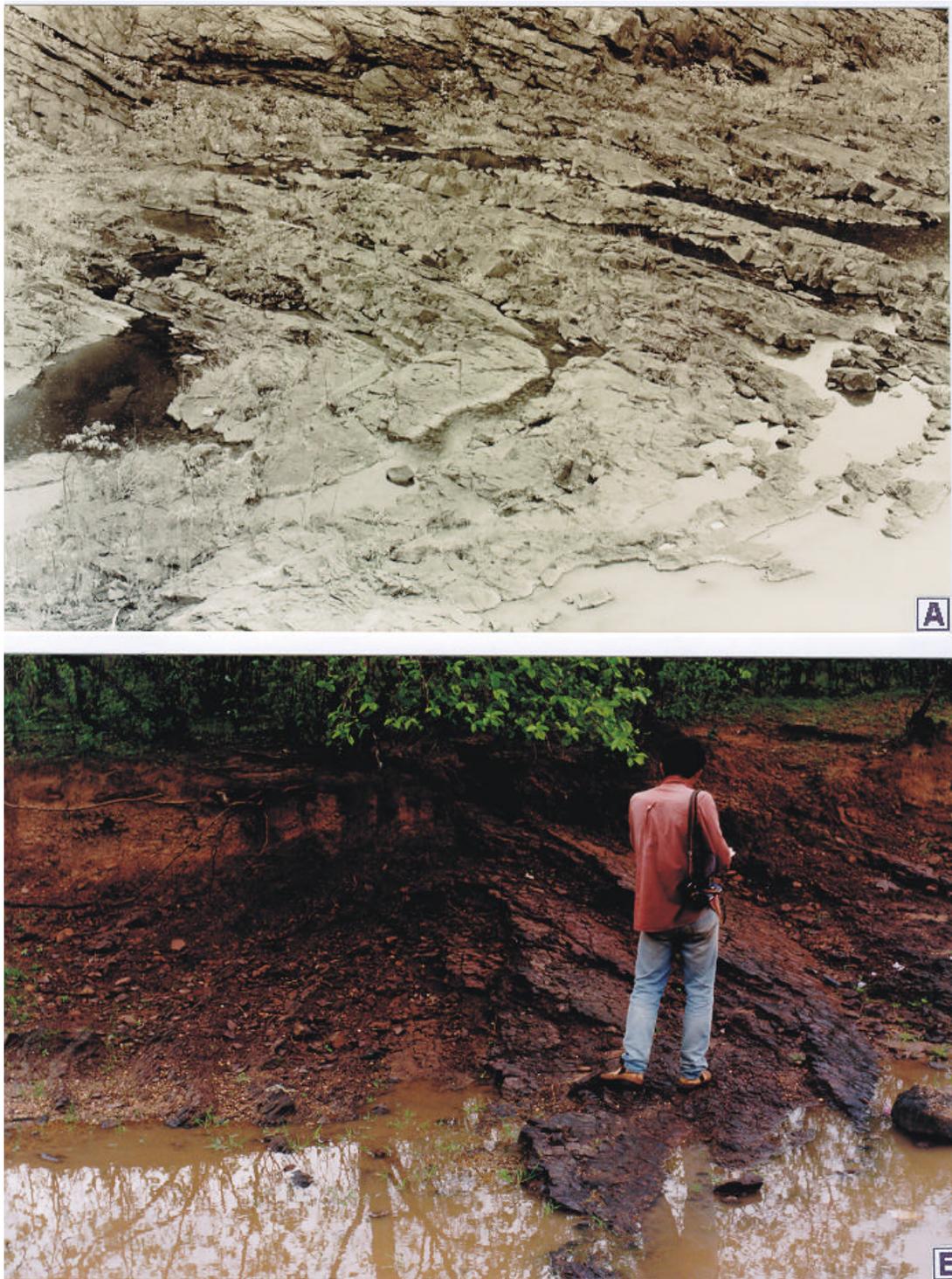


Figura 62 - Dobras desenvolvidas nos sedimentos da litofácies Pap da Formação Pacujá, associadas as dobras das Figuras 60 e 61. Em A com eixo de dobra na direção  $S50^{\circ}-60^{\circ}W$  (afloramento no sangradouro do Açude Aires de Souza na cidade de Jaibaras) e em B núcleo dômico com eixo de dobra nas direções  $N40^{\circ}-45^{\circ}E$  e  $S40^{\circ}-45^{\circ}W$  (afloramento no leito do rio das Barreiras, próximo a Pacujá).



Figura 63 - Dobra aberta ou ondulação do acamamento dos sedimentos da litofácies Pap da Formação Pacujá, com eixos na direção S45°E, relacionadas a dobramentos regionais (afloramento no leito do rio das Barreiras, próximo a Pacujá).



Figura 64 - Dobras em *kinks* com eixos mergulhando 12° para N53°E, afetando sedimentos da litofácies Pap da Formação Pacujá (afloramento no leito do rio das Barreiras, próximo a Pacujá).



Figura 65 - Falha normal de alto ângulo (seta), de atitude  $N60^{\circ}E\ 70^{\circ}/NW$ , que ocorre seccionando sedimentos da litofácies Pap da Formação Pacujá (afloramento localizado no sangradouro do açude Aires de Souza na cidade de Jaibaras).



Figura 66 - Falha inversa, com dobras de arrasto associadas, afetando os sedimentos da Formação Pacujá (afloramento localizado no sangradouro do açude Aires de Souza na cidade de Jaibaras).

As fraturas formam pares conjugados (Figura 67), onde as fraturas trativas encontram-se, por vezes, preenchidas por quartzo e carbonatos, e possuem direções preferenciais para S60°W e S30°E.

O arranjo geométrico das estruturas compressivas da Formação Pacujá é caracterizado pela relação de obliquidade dos planos axiais das dobras, eixos de dobras e falhas inversas ou de cavalgamentos, em relação as zonas de cisalhamento limítrofes da bacia. Esta relação permite inferir que a Bacia de Jaibaras sofreu uma fraca inversão relacionada a transpressões durante o cisalhamento em regime dúctil-rúptil, com eixo compressivo orientado segundo a direção NNE-SSW, possivelmente ligado a um esquema transcorrente sinistral no Eopaleozóico (Figura 68), corroborando assim com a afirmação de NASCIMENTO & ABREU (1994). Os falhamentos normais e as fraturas parecem estar relacionados a eventos posteriores de natureza rúptil.

### 3.6.3 - Formação Aprozível

A Formação Aprozível apresenta estruturas tectogênicas planares e lineares, tais como falhas com *slicken-sides* e fraturas. O acamamento encontra-se basculado, com mergulhos predominantemente para sudeste, mostrando no diagrama de polos e contornos de densidade uma concentração no quadrante nordeste, indicando um plano médio com mergulho de 35° para S35°E (Figuras 69 e 70). As falhas são geralmente do tipo normal oblíqua e de direção geral nordeste-sudoeste, com mergulhos da ordem de 35° e 40° para sudeste em toda a área de ocorrência dos sedimentos desta formação. Algumas falhas que apresentam direção N60°-65°W, mergulhando em torno de 60°-70° para NE, com estrias de falhas com caimentos de 25° para S70°-80°E, foram interpretadas como relacionadas a feixes de falhas transferentes (Figura 71).



Figura 67 - Padrão conjugado de fraturas com direções preferenciais N60°E e N20°E, e subordinadamente N80°W e N40°E, afetando a litofácies Pap da Formação Pacujá (afloramento na periferia da cidade de Pacujá).

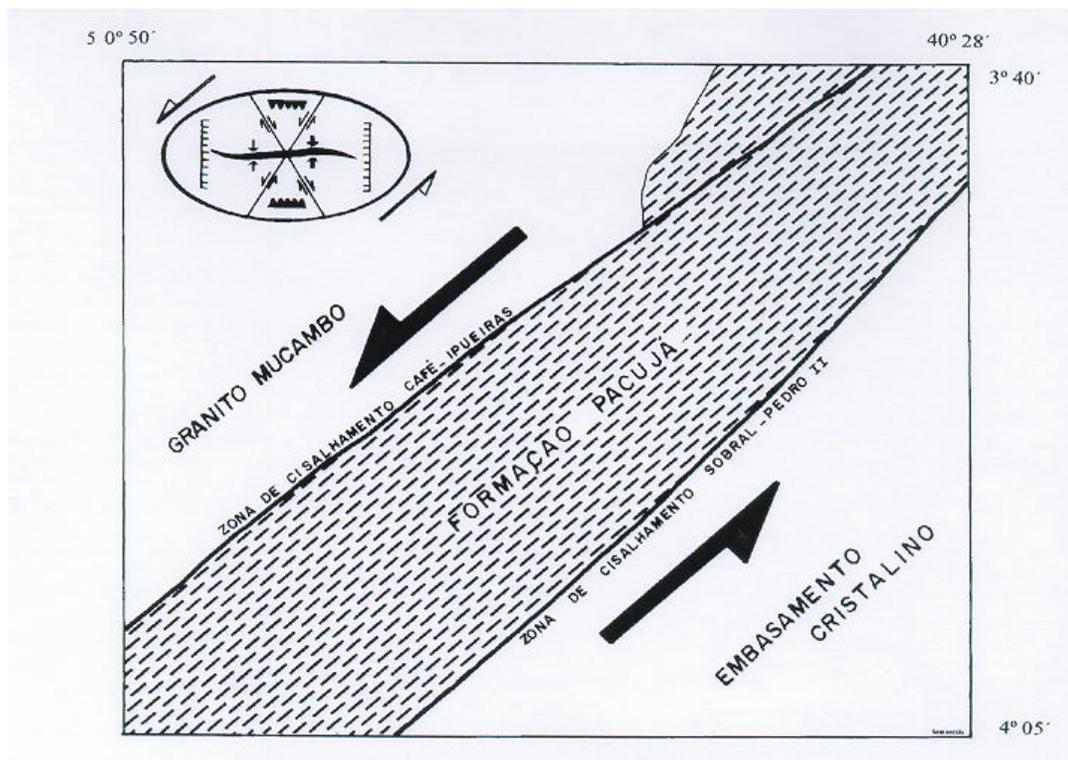


Figura 68 - Esquema transcorrente dúctil-rúptil sinistral que levou a inversão da porção SW da Bacia de Jaibaras no Eopaleozóico.



Figura 69 - Afloramento mostrando o basculamento do acamamento dos sedimentos da litofácies Aap da Formação Aprazível, mergulhando 35° para SE (estrada que liga Cacimbas a Arariús).

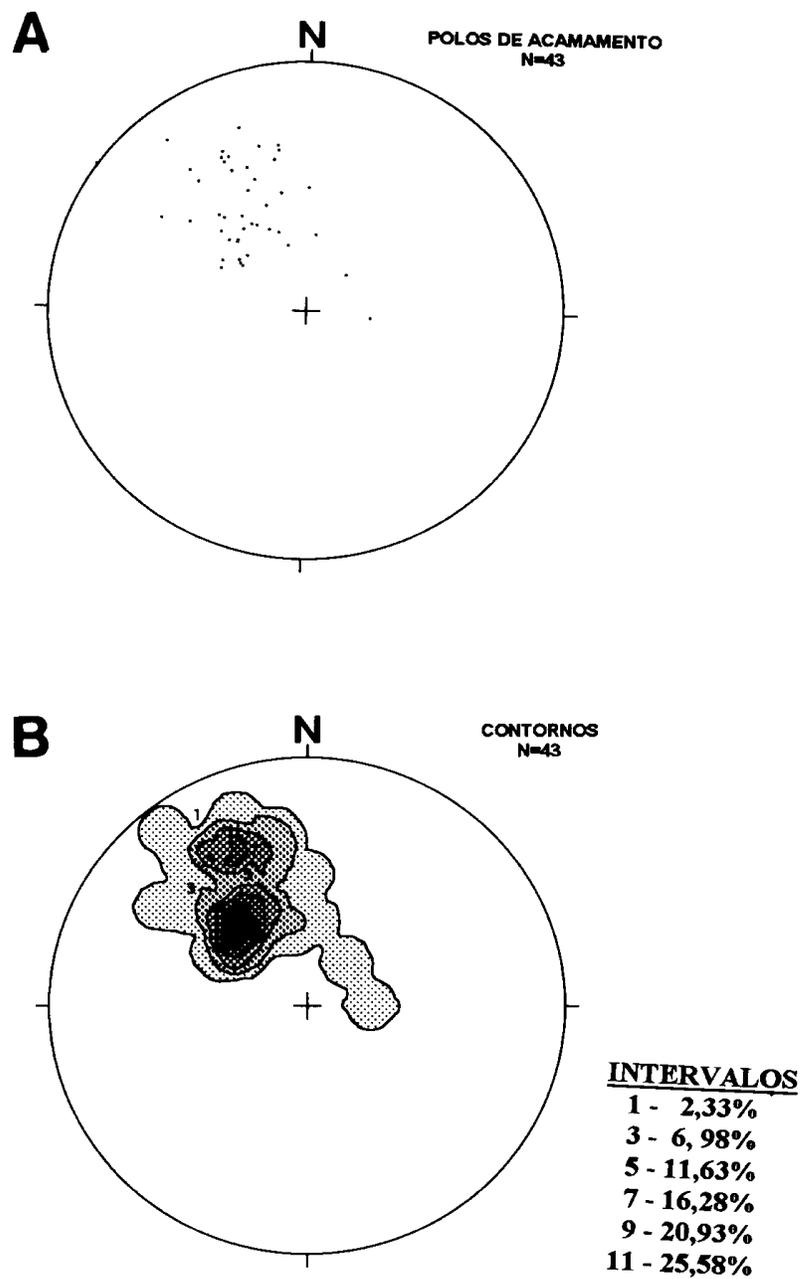


Figura 70 - Estereogramas de acamamento da Formação Aprazível. Em A polos de acamamento e em B contornos de densidade.



Figura 71 - Falha normal oblua mergulhando 65° para NE afetando a litofácies Am da Formação Aprazível. No plano da falha ocorrem estrias de falhas (seta) com mergulho de 40° para S75°E (afloramento localizado na estrada que interliga Cacimbas a Arariús).

As fraturas, num total de 27 medidas, foram consideradas poucas para um tratamento estatístico mais refinado. Entretanto, os diagramas mostraram três principais famílias de fraturas, denominadas de A com atitude de 85° de mergulho para S15°E, B com 53° para N65°W e D com 60° para N47°E (Figuras 72 e 73). Localmente algumas fraturas trativas que estão preenchidas por quartzo e configuram geometrias em arranjo do tipo *en chelon* (Figura 74).

As relações geométricas apresentadas pelas estruturas tectogênicas impressas na Formação Aprazível sugerem que o basculamento do acamamento para sudeste se deu a partir da rotação de blocos, em função de um eixo extensional de direção noroeste-sudeste (Figura 75). Este eixo extensional, atuante no Cambro-Ordoviciano, levou inicialmente a movimentos verticais reativando anisotropias antigas, gerando soerguimentos, abatimento e basculamento de blocos, situados entre as zonas de cisalhamento SobralPedro II e Café-Ipueiras, criando áreas abatidas onde se depositaram os sedimentos da Formação Aprazível. Com a continuação deste eixo extensional no Paleozóico, os sedimentos da Formação Aprazível, após a sua deposição,

foram posteriormente basculados para sudeste, onde se depositaram os sedimentos da Formação Aprazível. Com a continuação deste eixo extensional no Paleozóico, os sedimentos da Formação Aprazível, após a sua deposição, foram posteriormente basculados para sudeste.

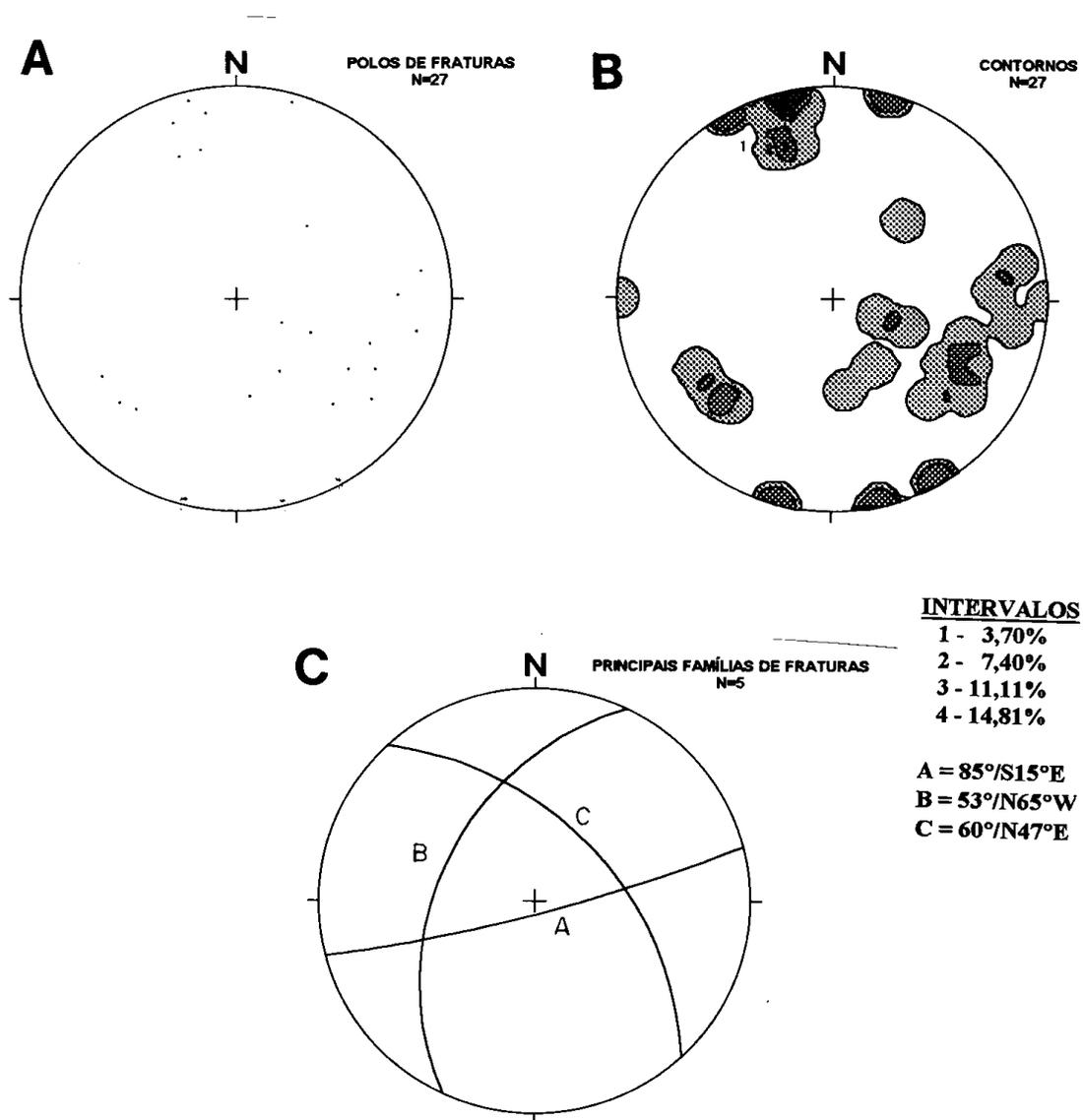


Figura 72 - Estereogramas de fraturas da Formação Aprazível. Em A polos de fraturas, B contornos de densidade e C principais famílias de fraturas.



Figura 73 - Aspecto geral das fraturas subverticais que seccionam a litofácies Aap da Formação Aprazível (detalhe da Figura 35).



Figura 74 - Geometrias de veios de quartzo tipo *en échelon* na litofácies Cm da Formação Aprazível, indicando movimentação sinistral.

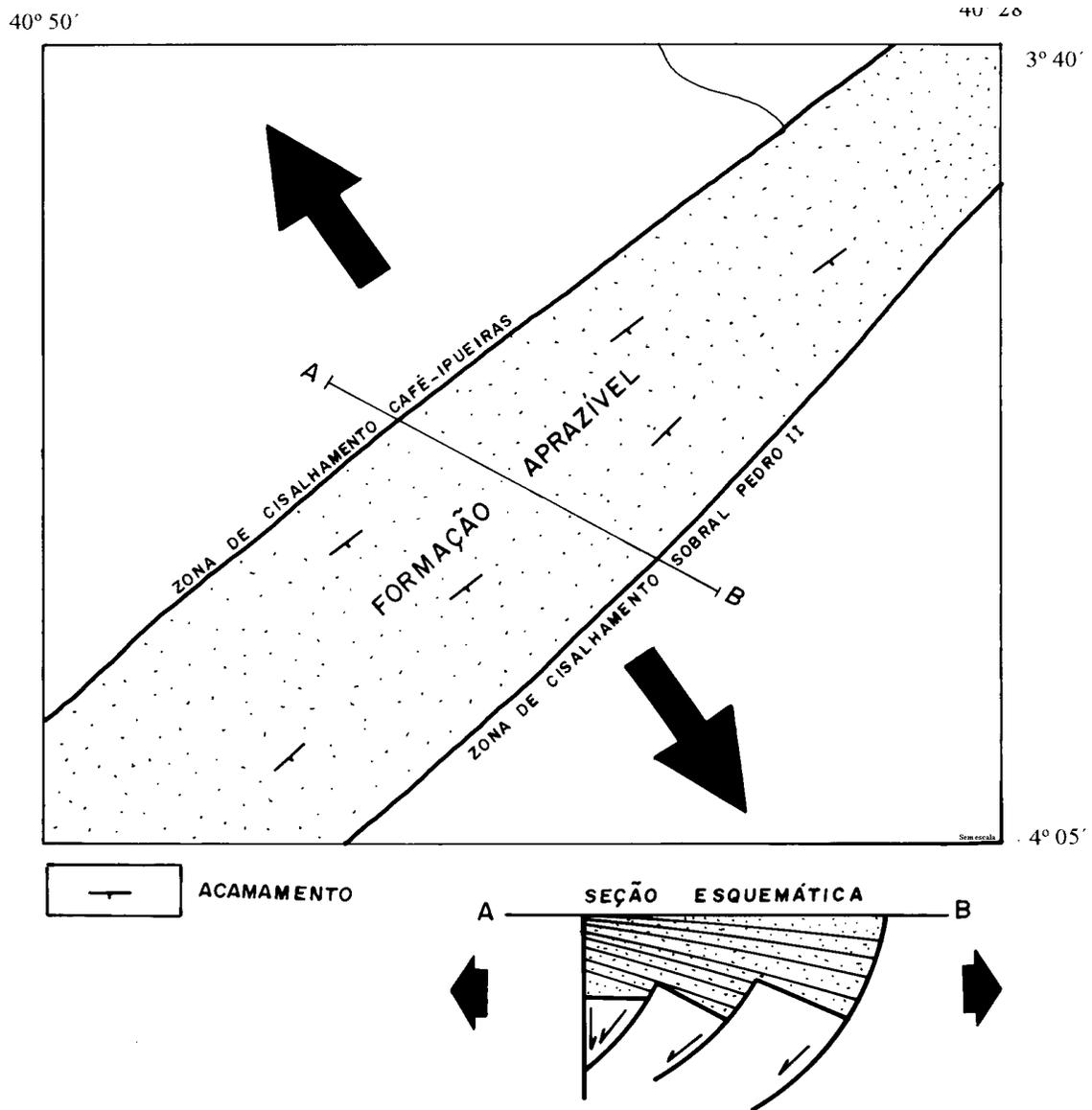


Figura 75 - Esquema distensivo NW-SE atuante a partir do Ordoviciano e que condicionou a sedimentação e o basculamento do acamamento da Formação Aprazível para sudeste.

### 3.6.4 - Zonas de Cisalhamento Sobral-Pedro II e Café-Ipueiras

As Zonas de Cisalhamento Sobral-Pedro II (ZCSP) e Café-Ipueiras (ZCCI) seccionam e delimitam as áreas de ocorrência dos sedimentos das formações Pacujá e Aprazível, tornando-se assim as feições estruturais mais importantes no contexto da Bacia de Jaibaras.

A ZCSP caracteriza-se por apresentar litótipos deformados em cisalhamento não-coaxial dúctil, desenvolvendo uma trama milonítica que vai de protomilonitos até ultramilonitos, com recorrências em condições rúpteis. A foliação milonítica encontra-se orientada segundo o *trend* regional nordeste-sudoeste, com mergulhos em alto ângulo para noroeste e sudeste, podendo por vezes estar dobrada (Figura 76). A lineação mineral é em geral de baixo ângulo (em torno de 10°), indicando que tais zonas são de natureza transcorrente..

A ZCCI é caracterizada por milonitos e ultramilonitos, verticalizados e orientados segundo a direção NE-SW, originados por cisalhamento não-coaxial de natureza dúctil, com recorrências em condições rúpteis, tendo como protólitos os granitos Mucambo e os sedimentos da Formação Pacujá (Figura 77). A foliação milonítica apresenta-se em geral verticalizada, com a lineação mineral com baixo valor de mergulho, indicando, também, movimentos transcorrentes.



Figura 76 - Zona de Cisalhamento Sobral-Pedro II de direção NE-SW. Em A milonitos a ultramilonitos subverticalizados com lineação de estiramento mineral horizontalizada (CE-071, entre Jaibaras e Cariré) e em B milonitos dobrados com a lineação de estiramento de baixo ângulo (BR-222, entre Sobral e Aprazível).

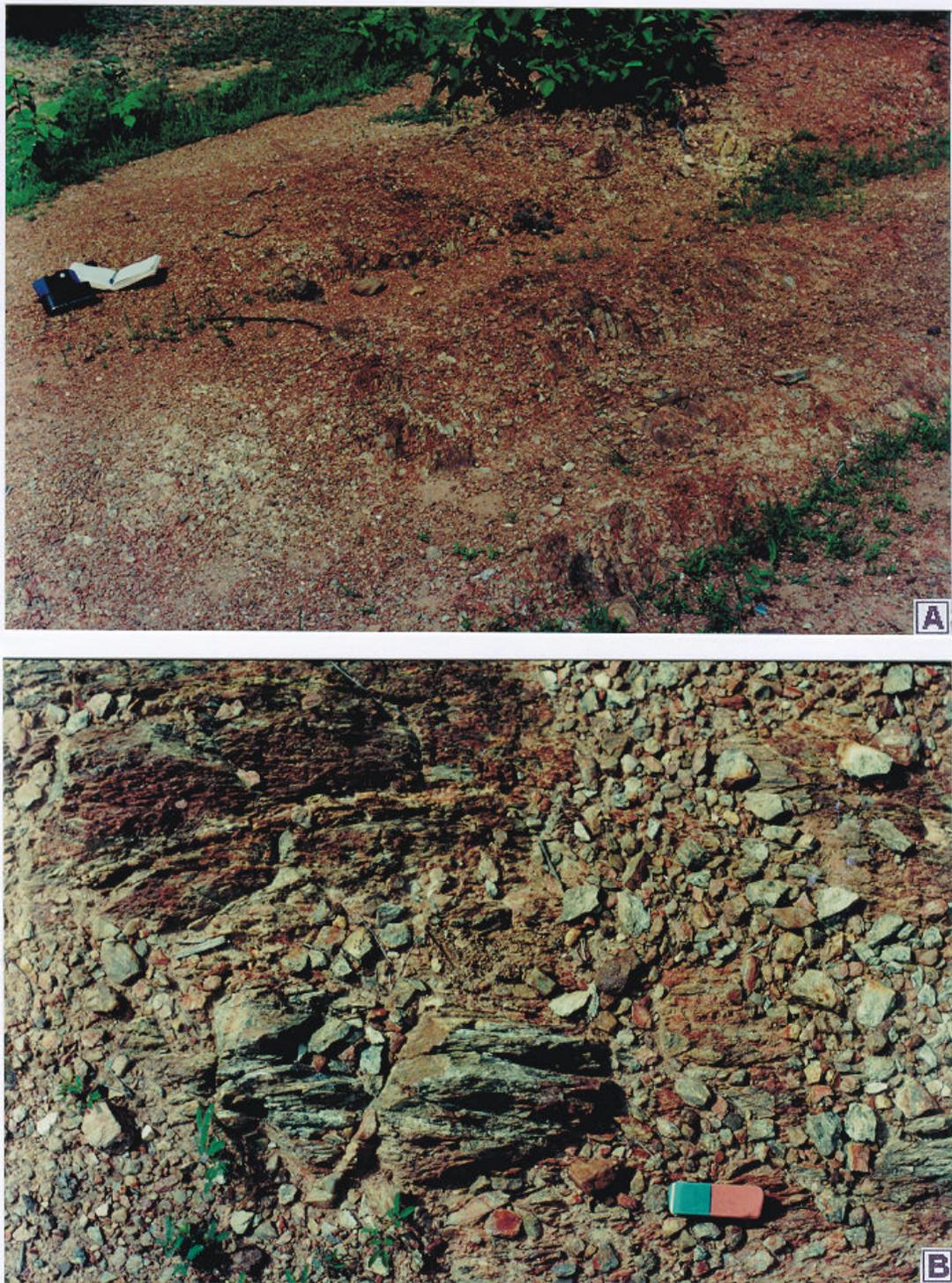


Figura 77 - Zona de Cisalhamento Café-Ipueiras de direção NE-SW. Em A milonitos a ultramilonitos verticalizados, lineação subhorizontal, tendo como protólito o Granito Mucambo, e em B detalhe de A ( afloramento na estrada que liga Cacimbas a Arariús).

#### 4 - EVOLUÇÃO TECTONO-SEDIMENTAR

A geometria e a evolução geológica de bacias do tipo *rift* continental têm sido objeto de diversos estudos e discussões, principalmente no que se refere a assimetria dos *grabens*, mudança de polaridade dos depocentros, características das falhas de borda, estruturação interna dos *rifts* e a natureza do preenchimento.

A estruturação interna da Bacia de Jaibaras é ainda desconhecida, haja vista que até o presente momento existem somente dados de superfície. As informações de geofísica existentes são de caráter regional e não têm trazido grandes subsídios para a elaboração de um modelo de evolução tectono-sedimentar mais completo. Os dados existentes até o presente momento convergem no sentido de interpretar a Bacia de Jaibaras como implantada a partir da reativação de anisotropias pré-existentes, relacionadas aos feixes de zonas de cisalhamento de *trends* regionais nordeste-sudoeste, principalmente ao longo das zonas de cisalhamento Arapá, Massapê, SobralPedro II e Café-Ipueiras, estruturadas no contexto do Cinturão de Cisalhamento Noroeste do Ceará definido por ABREU et al. (1988).

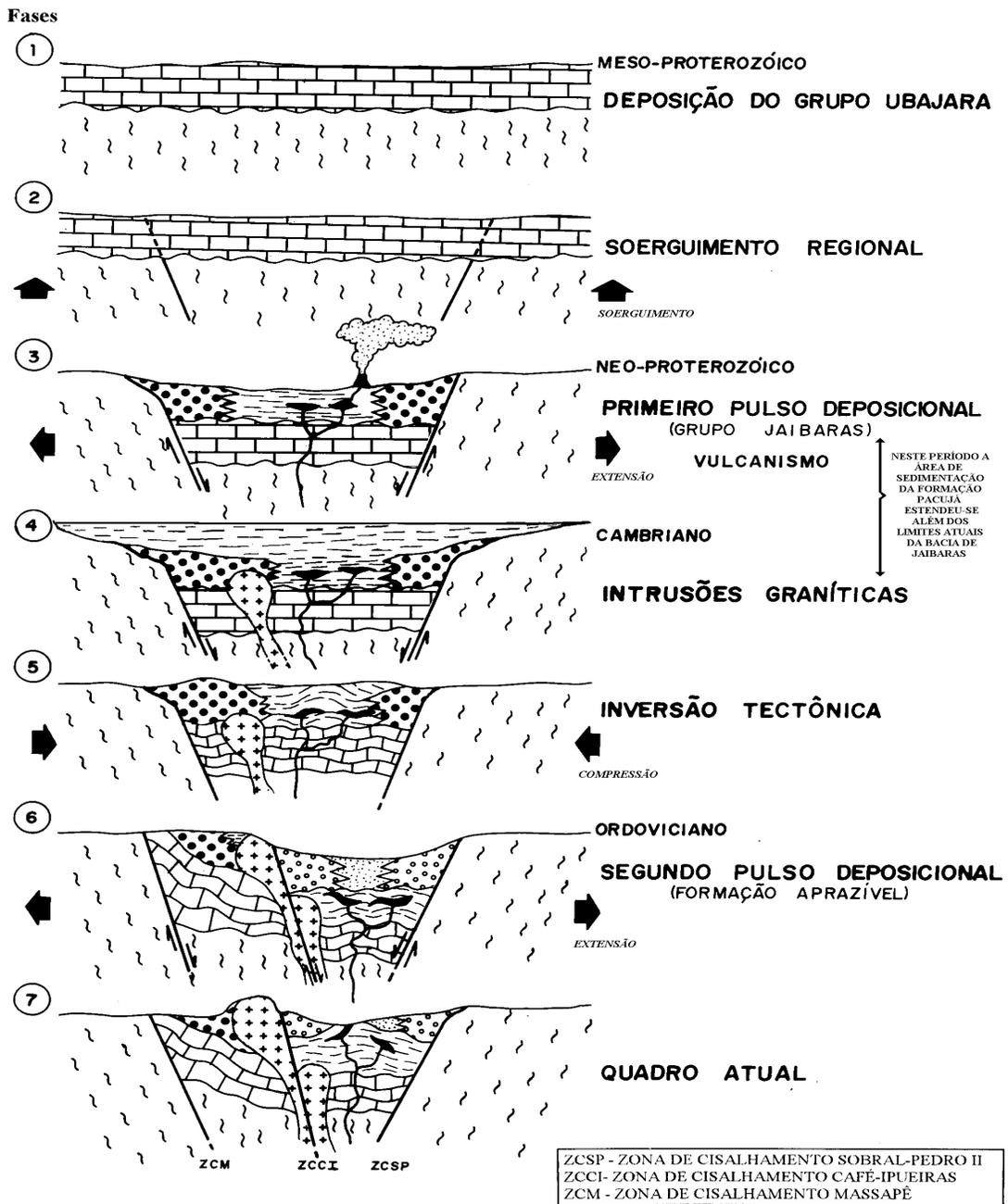
Neste segmento crustal, as movimentações tectônicas relativas entre blocos proporcionaram alternâncias entre encurtamento e estiramento, refletindo diretamente na formação e inversão de bacias do tipo *graben* assimétrico. O preenchimento destes *grabens* foi controlado principalmente por fatores alocíclicos, tais como tectônicos e subordinadamente climáticos, e autocíclicos que são intrínsecos ao próprio sistema deposicional. Até o presente momento considera-se que o preenchimento sedimentar da Bacia de Jaibaras é composto pelos grupos Ubajara e Jaibaras, e pela Formação Aprazível. Entretanto, os dados disponíveis na literatura mostram que Grupo Ubajara apresenta características particulares sugestivas de que a sua deposição ocorreu em uma área extensa, que ultrapassava em muito os limites atuais da Bacia de Jaibaras. O Grupo Jaibaras encontra-se em parte condicionado aos limites atuais da Bacia de Jaibaras, porém, a Formação Pacujá apresenta diversas feições que sugerem que sua

área de sedimentação foi mais extensa, que chegava a ultrapassar, também, os limites atuais da bacia. A Formação Aprazível apresenta características que indicam que a sua deposição foi condicionada à Bacia de Jaibaras.

As formações Pacujá e Aprazível podem ser interpretadas como as sequências de preenchimento da Bacia de Jaibaras, depositadas em dois pulsos deposicionais distintos, descritos a seguir (Figura 78):

#### 4.1 - PRIMEIRO PULSO DEPOSICIONAL

No Neo-Proterozóico, a região noroeste do Ceará foi submetida a movimentações tectônicas que propiciaram soerguimentos regionais, os quais culminaram com a expulsão do sistema marinho que deu origem aos carbonatos da Formação Frecheirinha (unidade superior do Grupo Ubajara). Aliados aos soerguimentos foram gerados esforços distensivos que reativaram anisotropias pré-existentes, levando à fragmentação da crosta e à formação de um sistema de bacias do tipo *horsts* e *grabens* assimétricos. No maior destes *grabens*, denominado de Bacia de Jaibaras, instalou-se um sistema de leques aluviais que interagiu lateralmente com corpos lacustrinos ou até marinho raso, representados pelos sedimentos do Grupo Jaibaras (Figura 78; Fase 3). Com contínua atuação de esforços distensivos, a área de sedimentação da Formação Pacujá foi ampliada, extravasando aos limites atuais da Bacia de Jaibaras (Figura 52; Estágio II).



**UNIDADES LITOESTRATIGRÁFICAS**



Figura 78 - Modelo esquemático da Evolução Tectono-Sedimentar da Bacia de Jaibaras.

O colapso da crosta e adelgaçamento litosférico levaram a subida das isothermas. Fusões foram geradas na interface manto/crosta, dando origem a magmas que migraram ao longo das zonas de fraquezas profundas e conforme o seu contraste de viscosidade em relação as rochas encaixantes, extravasaram concomitantemente com a deposição dos sedimentos da Formação Pacujá, dando origem a sequência de rochas vulcânicas, sub-vulcânicas e vulcanoclásticas. Porções do magma sofreram processos de diferenciação e fracionamento magmático e intrudiram tardiamente as seqüências sedimentares mais antigas, representadas pelos Grupos Ubajara, e nas porções inferiores do Grupo Jaibaras, cristalizando-se como granitos epizonais os quais são incluídos na Suite Meruoca, indicando que os sedimentos dos grupos acima referenciados encontravam-se a uma profundidade entre 5 a 8 Km (Figura 78; Fase 4). Desta forma, o Grupo Jaibaras representa a seqüência do primeiro pulso deposicional ocorrido na Bacia de Jaibaras.

#### 4.2 - INVERSÃO TECTÔNICA

No final do Cambriano, a Bacia de Jaibaras sofreu uma fraca inversão a partir da reativação das anisotropias pré-existentes sob a atuação de um esquema transcorrente dúctil-rúptil sinistral de direção geral nordeste-sudoeste (Figura 68), definido inicialmente por NASCIMENTO & ABREU (1994). Como consequência desta inversão as rochas da Formação Pacujá foram dobradas, redobradas e falhadas em um esquema de deformação progressiva. A nível regional, criaram gradientes topográficos que propiciaram a erosão dos sedimentos da bacia, até expor os granitos Meruoca e Mucambo, os sedimentos do Grupo Ubajara e parte da porção inferior do Grupo Jaibaras, representada pela Formação Massapê (Figura 78; Fase 5).

#### 4.3 - SEGUNDO PULSO DEPOSICIONAL

No Ordoviciano, este segmento crustal foi submetido a atuação de um regime extensional/transtensional de natureza rúptil-dúctil, ao longo de um eixo de extensão de direção noroeste-sudeste, reativando novamente as anisotropias pré-existentes. As movimentações tectônicas, principalmente ao longo das zonas de cisalhamento Sobral-Pedro II e Café-Ipueiras, propiciaram abatimentos e basculamento de blocos, que culminaram com a formação de uma nova área de deposição, agora mais restrita, caracterizada por uma bacia do tipo *graben* assimétrico, na qual se instalou um complexo sistema de leques/planícies aluviais coalescentes, desenvolvidos principalmente ao longo das escarpas de falhas em crescimento, os quais interagiram com pequenos corpos lacustrinos (Figura 53 e 79). O registro deste segundo pulso deposicional encontra-se marcado pelos sedimentos da Formação Aprazível (Figura 78; Fase 6).

A contínua atuação deste regime extensional/transtensional levou, posteriormente, ao basculamento dos sedimentos da Formação Aprazível para sudeste (Figura 75) e em seguida passou a controlar a deposição dos sedimentos paleozóicos da Bacia do Parnaíba.

Posteriormente, os movimentos tectônicos que ocorreram no Paleozóico relacionados à implantação da Bacia do Parnaíba, no Mesozóico principalmente em função da abertura do Oceano Atlântico e no Cenozóico ligados as tensões neotectônicas, as quais a placa sul-americana está sendo submetida, proporcionaram sucessivas recorrências das zonas de fraquezas pré-existentes, levando à configuração do quadro geológico atual em que se encontra a Bacia de Jaibas (Figura 78; Fase 7), onde o seu preenchimento está sendo erodido, principalmente ao longo do eixo principal da bacia onde encontra-se encaixados o Rio Jaibas e seus afluentes.

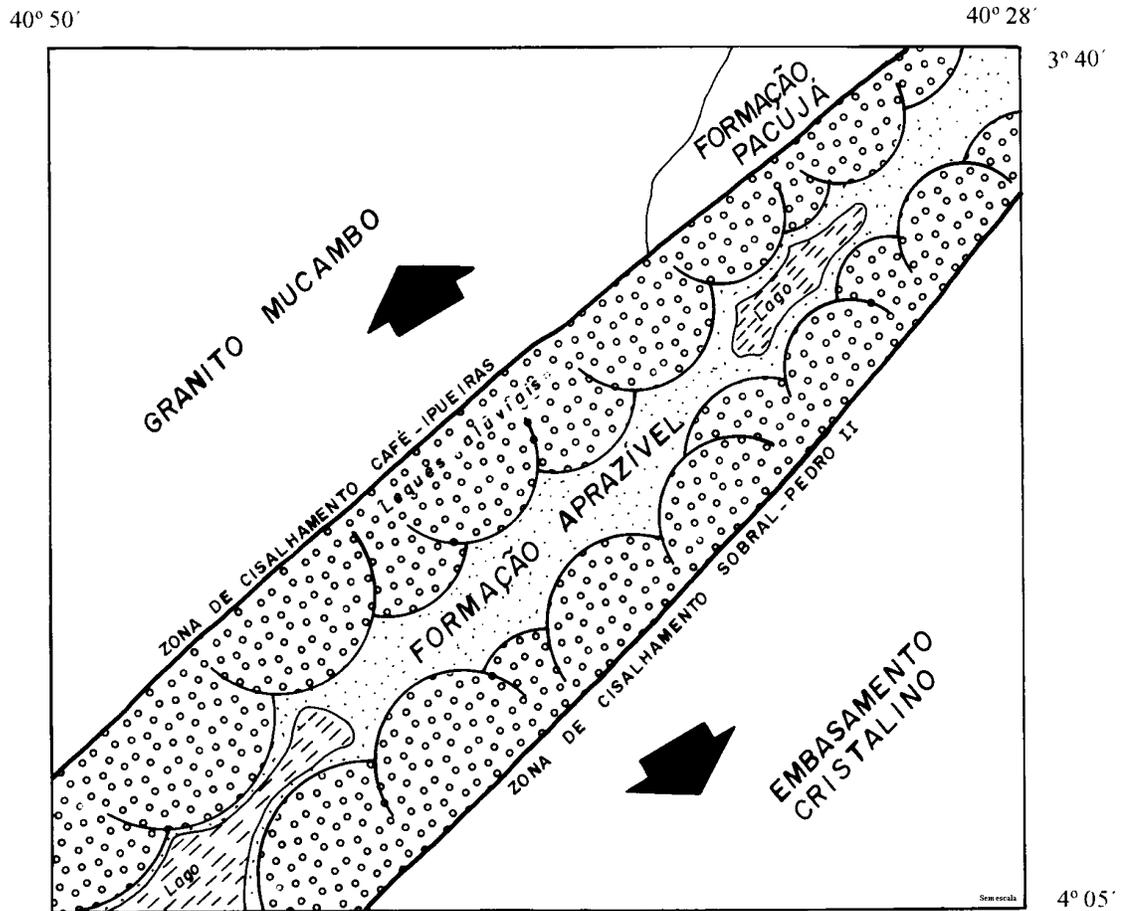


Figura 79 - Esquema extensional/transensional no Cambro-Ordoviciano que levou a extensão da Bacia de Jaibaras, propiciando a deposição da Formação Aprazível nas áreas que sofreram subsidência.

## 5 - CONCLUSÕES

Os estudos realizados no setor da Bacia de Jaibaras situado entre as cidades de Pacujá e Jaibaras envolvendo: 1) mapeamento geológico na escala de 1:25.000; 2) análises faciológica, petrográfica e estrutural; 3) execução de seções geológicas regionais na bacia e no embasamento cristalino; e 4) considerações aos dados disponíveis na literatura, permitiram chegar às seguintes conclusões:

- Na Bacia de Jaibaras ocorrem três sequências sedimentares, representadas pelos grupos Ubajara, Jaibaras e pela Formação Aprazível. O Grupo Ubajara foi depositado em ambiente marinho plataformar e, portanto, não faz parte da sequência deposicional da Bacia de Jaibaras e sim de uma bacia com área de sedimentação extensa, estando ali preservado em razão de movimentos tectônicos que levaram ao seu confinamento nas zonas que sofreram maior subsidência.
- O Grupo Jaibaras representa a sequência de preenchimento relacionada ao primeiro pulso deposicional, que se associa a um vulcanismo de natureza ácida a básica, ocorrido no final do Neoproterozóico a início do Cambriano. Sua deposição foi inicialmente controlada pelas zonas de cisalhamento Sobral-Pedro II, Arapá e Massapê, e a área de sedimentação da Formação Pacujá extrapolou os limites atuais da Bacia de Jaibaras.
- A Formação Aprazível representa a sequência relacionada ao segundo e último pulso deposicional ocorrido no Ordoviciano, em uma área de deposição mais restrita, fortemente controlada pelas zonas de cisalhamento Sobral-Pedro II e Café Ipueiras. Sua deposição, sob um clima seco, ocorreu depois da deposição da Formação Pacujá e das intrusões dos granitos da Suite Meruoca, os quais serviram de áreas-fonte, e antes da deposição dos sedimentos do Grupo Serra Grande da Bacia do Parnaíba.

- Os derrames com rochas vulcanoclásticas associadas, que se intercalam com os sedimentos da Formação Pacujá, formam mais precisamente uma sequência vulcano-sedimentar, onde os *sills* e diques representam os membros sub-vulcânicos, que seccionaram as porções inferiores do Grupo Jaibaras e serviram de condutos para que o magma chegasse até a superfície.
- Os derrames vulcânicos com rochas vulcanoclásticas piroclásticas e epiclásticas associadas necessitam de estudos detalhados, visando compreender melhor a natureza do vulcanismo.
- Na Bacia de Jaibaras foram reconhecidos três tipos de ritmitos: tempestitos e turbiditos na Formação Pacujá e inunditos (ou “turbiditos rasos”) na Formação Aprazível.
- O ambiente de deposição da Formação Pacujá foi caracterizado como lacustre com vulcanismo associado, exibindo ciclos de tempestitos amalgamados. Não se descarta ainda a possibilidade de ser marinho plataformal raso.
- O ambiente de deposição da Formação Aprazível foi caracterizado como leque/planície aluvial e lacustre. Seus sedimentos apresentam características de inunditos, que são muito semelhantes a “turbiditos rasos”, mas diferenciam-se destes pela presença de feições de águas rasas (gretas de contração e marcas de correntes). Foi reconhecido os intervalos Ta, Tb, Tc e Te, semelhantes aos descritos para a sequência ideal de turbiditos de BOUMA (1962).
- O clima atuante durante a deposição da Formação Aprazível foi provavelmente seco, baseado na grande quantidade de feldspatos preservados. Entretanto, este clima seco pode estar relacionado tanto a condições áridas a semi-áridas, como também, a condições glaciais (periglaciais). O clima foi, também, um fator importante que inibiu o desenvolvimento de organismos, haja vista que nenhum fóssil foi encontrado na Formações Pacujá.
- A Bacia de Jaibaras, na sua história evolutiva, experimentou períodos de extensão e compressão, com reflexos no controle da sedimentação, migração dos depocentros e

magmatismo, ao longo do feixe de zonas de cisalhamento que constituem em direção a sudoeste, sob a Bacia do Parnaíba, o Lineamento Transbrasiliano.

- A Bacia de Jaibaras sofreu uma fraca inversão, com formação de um padrão de dobramentos de interferência, originados durante um evento transcorrente sinistral de natureza dúctil-rúptil.
- A macrogeometria da Bacia de Jaibaras, interpretada a partir de dados de superfície, foi caracterizada por GORAYEB et al. (1988) como do tipo *pull apart*, relacionada a sistemas transcorrentes. Com base neste trabalho, verificou-se que a Bacia de Jaibaras apresenta uma evolução geológica bastante complexa, onde se verifica uma superposição de eventos extensionais/transtensionais e transpressionais, ocorridos ao longo do Neoproterozóico, Cambriano e Ordoviciano. Durante o Neoproterozóico até o Cambriano a Bacia de Jaibaras teve a sua evolução ligada a um regime extensional o qual condicionou a deposição da Formação Pacujá associada a magmatismo, em uma bacia com assoalho do tipo *horsts e grabens*. No Ordoviciano durante a fase da deposição da Formação Aprazível a Bacia de Jaibaras apresenta características de um *hemigraben* assimétrico, relacionado a um esquema extensional/transtensional.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABREU, F.A.M. de & LAFON, J.M. 1991. Granulitos Transamazônicos no Nordeste do Ceará. In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DO NORDESTE, 14., Recife, 1991. **Atas**. Recife, SBG. p.229-267.
- ABREU, F.A.M.; GORAYEB, P.S.S.; GAMA Jr. T. 1989. Aspectos tectônicos da região de Martinópolis-Massapê-CE. In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DO NORDESTE, 13., Fortaleza, 1989. **Atas**. Fortaleza, SBG. p.265-267.
- ABREU, F.A.M. de; GORAYEB, P.S.S.; GAMA Jr., T.; HASUI, Y. 1988. O Cinturão de Cisalhamento Noroeste do Ceará. In: CONGRESSO LATINO-AMERICANO DE GEOLOGIA, 35., Belém, 1988. **Anais**. Belém, SBG. v.2, p.20-33.
- ABREU, F.A. M. de; HASUY, Y.; GORAYEB, P.S.S. 1993. Grabens Eopaleozóicos do oeste cearense-Considerações sobre as sequências litoestratigráficas. In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DO NORDESTE, 15., Natal, 1993. **Anais**. Natal, SBG. p.29-31.
- BADGLEY, P.C. 1959. **Structural Methods for the Exploration Geologist**. New York, Harper & Brothers, Publishers. 280p.
- BOUMA, A. H. 1962. **Sedimentology of some flych deposits**. Amsterdam, Elsevier, 169p.
- CHEEL, R.J. & LECKIE, D.A. 1993. Hummocky cross-stratification. **Sedimentology Review**, 103-122.
- COSTA, M.J.; FRANÇA, J.B.; LINS, C.A.C.; BACCHIEGGA, I.F.; HABEKOST, C.R.; CRUZ, W.B. 1973. **Geologia da Bacia de Jaibaras, Ceará, Piauí, Maranhão**. Brasília, MME/DNPM. bol. 11. 140p. (Série Geológica Básica).
- DANNI, J.C.M. 1972. Geologia da porção sul do Grupo Jaibaras-Ceará. **Rev. Bras. Geoc.** São Paulo, 2: 85-87.

- DOTT Jr., R.H. & BOURGEOIS, J. 1982. Hummocky stratification: significance of its variable bedding sequences. **Geol. Soc. Amer. Bull.**, 93 (8): 663-680.
- DOTT Jr., R.H. & BOURGEOIS, J. 1983. Hummocky stratification: significance of its variable bedding sequences: Discussion and reply. **Geol. Soc. Amer. Bull.**, 94 (10): 1249-1251.
- EINSELE, G. 1991. Submarine Mass Flow Deposits and Turbidites. In: EINSELE, G. & SEILACHER, A. 1991. **Cycles and Events in Stratigraphy**. Verlag Berlin Heidelberg. 420p
- EINSELE, G. & SEILACHER, A. 1991. Distinction of Tempestites and Turbidites. In: EINSELE, G. & SEILACHER, A. 1991. **Cycles and Events in Stratigraphy**. Springer-Verlag Berlin. 420p
- FARINA, M. 1977. Perspectiva metalogenéticas de alguns granitos pós-orogênicos do nordeste brasileiro. In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DO NORDESTE, 8., Campina Grande, 1977. **Atas**. Campina Grande, SBG. p.121-129.
- FETTER, A.H.; SANTOS, T.J.S.; NOGUEIRA NETO, J.A.; VAN SCHMUS, W.R. 1995. Geocronologia U/Pb em zircão e Sm/Nd em rocha total do Estado do Ceará-Resultados iniciais. In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DO NORDESTE, 15., Recife, 1995. **Atas**. Recife, SBG. p. 70-85.
- FISHER, R.V. 1958. Definition of Volcanic Breccia. **Geol. Soc. Am. Bull.**, 69(5):1071-1073.
- FISHER, R.V. 1961. Proposed Classification of Volcaniclastic Sediments and Rocks. **Geol. Soc. Am. Bull.**, 72(5):1409-1414.
- FISHER, R.V. 1963. Classification of Volcanic Breccias. A Reply. **Geol Soc. Am. Bull.**, 74:87.
- FOLK, R.L. 1980. **Petrology of sedimentary rocks**. Austin, Hemphill Publishing. 182p.
- GAMA Jr., T.; GORAYEB, P.S.S.; ABREU, F.A.M. de. 1988. O Granito Pedra do Sal e suas feições de cisalhamento. **Rev. Bras. Geol.**, 18 (4): 424-432.

- GAUDETTE, H.E.; ABREU, F.A.M. de; LAFON, J.M.; GORAYEB, P.S.S. 1993. Evolução Transamazônica do Cinturão de Cisalhamento Noroeste do Ceará. Novas Evidências Geocronológicas. In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DO NORDESTE, 15., Natal, 1993. **Anais**. Natal, SBG. p.317-329.
- GÓES, A.M.O.; TRAVASSOS, W.A.S.; NUNES, K.C. 1994. Projeto Parnaíba-Reavaliação da Bacia. In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DA AMAZÔNIA, 4., Belém, 1994. **Bol. Res. Expand**. Belém, SBG. p.11-14.
- GORAYEB, P.S.S & ABREU, F.A.M. de. 1989. A Faixa de Alto Grau da região de Cariré-CE. In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DO NORDESTE, 13., Fortaleza, 1989. **Atas**. Fortaleza, SBG. p.261-264.
- GORAYEB, P.S.S. & ABREU, F.A.M. de. 1991. O Granito do Pajé-NW do Ceará. Caracterização Geológica. In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DO NORDESTE, 14., Recife, 1991. **Atas**. Recife, SBG. p.182-184.
- GORAYEB, P.S.S.; ABREU, F.A.M. de; CORREA, J.A.M.; MOURA, C.A.V. 1988. Relações Estratigráficas entre o Granito Meruoca e a Sequência Ubajara-Jaibaras. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 35., Belém, 1988. **Anais**. Belém, SBG. v.6, p.2678-2688.
- GORAYEB, P.S.S.; TAVARES Jr., S.S.; LAFON, J.M. 1991. Novos dados Geocronológicos na Região entre Forquilha e Santa Quitéria-NW do Ceará. In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DO NORDESTE, 14., Recife, 1991. **Atas**. Recife, SBG. p.260-263.
- HACKSPACHER, P.C.; SANTOS, T.C.J.S.; LAFON, J.M. 1991. Evolução geocronológica do complexo gnáissico-migmatítico de Granja -NW do Ceará. In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DO NORDESTE, 14., Recife, 1991. **Atas**. Recife, SBG. p.260-263.

- HACKSPACHER, P.C.; SOARES, J.M.; PETTA, R.A. 1988. Geologia do Grupo Ubajara-Região de Frecheirinha (CE). In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 35., Belém, 1988. **Anais**. Belém, SBG. v.6, p.2661-2677.
- HARMS, J.C.; SOUTHARD, J.C.; WALKER, R.G. 1982. **Structures and sequences in clastic rocks lecture**. Tulsa, Soc. Econ. Paleont. Miner. (Short Course, 9).
- HASUI, Y. & MIOTTO, H. 1992. **Geologia Estrutural Aplicada**. São Paulo. Associação Brasileira de Geologia e Engenharia. 460p.
- HUNTER, R.E. 1977. Terminology of cross-stratified sedimentary layers and climbing-ripple structures. **J. Sed. Petrol**, 47:697-706.
- KEGEL, W.; SCORZA, E.T.; COELHO, F.C.T. 1958. **Estudos Geológicos do Norte do Ceará**. Rio de Janeiro, MME/DNPM/DGM. 46P. (Boletim 134)
- KLEIN, G. de V. & MARSAGLIA, K.M. 1987. Discussion: Hummocky cross-stratification, tropical hurricanes, and intense winter storms. **Sedimentology**, 34 (3): 333-359.
- LINDHOLM, R.C. 1987. **A practical approach to sedimentology**. London, Allen & Unwin. 276p.
- MABESOONE, J.M. 1994. **Sedimentary Basins of Northeast Brazil**. Recife, Federal University of Pernambuco, Geology Dept., Sp. Publ. n. 2, 308p.
- McCLAY, K. 1990. **The mapping of geological structures**. England, Geological Society of London. 160p. (Handbook Series)
- McPHERSON, J.G.; SHANMUGAM, G.; MOIOLA, R.J. 1987. Fan-deltas and braid deltas: Varieties of coarse-grained deltas. **Geol. Soc. Am. Bull.**, 99 (3): 331-340.
- MELLO, Z.F. 1978. Evoluções finais do Ciclo Geotectônico Brasileiro no Nordeste Oriental. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 30., Recife, 1978. **Anais**. Recife, SBG. v.6, p.2438-2450.

- MIALL, A.D. 1984. **Principles of Sedimentary Basin Analysis**. New York, Springer-Verlag. 490p.
- MOREIRA, M.M.M.A. & GATTO, L.G.S. 1981. Geologia, geomorfologia, pedologia, vegetação, uso potencial da terra. In: BRASIL. Projeto RADAM. **Geomorfologia da Folha SA-24 Fortaleza**. Rio de Janeiro, MME/DNPM. cap. 2, p.213-252. (Levantamento de Recursos Naturais, 21)
- NASCIMENTO, D.A. & GAVA, A. 1979. Novas Considerações sobre a Estratigrafia da Bacia Jaibaras. In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DO NORDESTE, 9., Natal, 1979. **Atas**. Natal, SBG. p.9-29.
- NASCIMENTO, D.A.; GAVA, A.; PIRES, J.L.; TEIXEIRA, W. 1981. Geologia, geomorfologia, pedologia, vegetação, uso potencial da terra. In: BRASIL. Projeto RADAM. **Geologia da Folha SA-24 Fortaleza**. Rio de Janeiro, MME/DNPM. cap. 1, p.23-212. (Levantamento de Recursos Naturais, 21)
- NASCIMENTO, R.S. & ABREU, F.A.M. 1994. Inversão da Bacia de Jaibaras, Noroeste do Ceará. Exemplo de cinemática sinistral no Eopaleozóico. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 38., Camboriú, 1994. **Anais**. Camboriú, SBG. v.1, p.573-574.
- NEVES, B.B.B. 1973. Elementos da geologia pré-cambriana do Nordeste Oriental. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 27., Aracajú, 1973. **Anais**. Aracajú, SBG. v.2, p.105-128.
- NEVES, B.B.B. 1975. **Regionalização Geotectônica do Pré-Cambriano Nordestino**. São Paulo, Universidade de São Paulo, Instituto de Geociências. 198p. Tese (Doutorado em Geologia)-Instituto de Geociências, USP, 1975.
- NEVES, B.B.B. 1978. **Estudo da geocronologia da faixa pré-cambriana do Nordeste**. Recife. 13p.

- NOVAIS, F.R.G.; NEVES, B.B.B; KAWASHITA, K. 1979. Reconhecimento cronoestratigráfico da região nordeste do Estado do Ceará. In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DO NORDESTE, 11., Natal, 1979. **Atas**. Natal, SBG. p.93-110.
- PRADO, F.S.; MENDONÇA, J.G.G.S.; MORAIS, J.B.A.; MEDEIROS, M.F.; ASSUNÇÃO, P.R.S.; ANDRADE, V.A.; MEDEIROS, R.P. 1981. Geologia da Região Noroeste do Estado do Ceará. In: BRASIL... **Projeto Martinópolis**. Brasília, MME/DNPM/CPRM. 59p. (Série Geológica Básica)
- QUADROS, M.L.E.S. & ABREU, F.A.M. de. 1995. Bacia de Jaibaras-NW do Ceará: Considerações sobre a evolução tectono-sedimentar. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE ESTUDOS TECTÔNICOS, 5., Gramado, 1995. **Bol. Res. Expand.** Gramado, SBG. p.307-309.
- QUADROS, M.L.E.S.; ABREU, F.A.M. de; GORAYEB, P.S.S. 1994. Considerações sobre os ambientes deposicionais das formações Pacujá e Aprazível, Bacia de Jaibaras-NW do Ceará. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 38., Camboriú, 1994. **Anais**. Camboriú, SBG. v.3, p.240-242.
- RAMSAY, J.G. & HUBER, R.J.J. 1987. **The Techniques of Modern Structural Geology. Folds and Fractures**. London, Academy Pressing. v. 2. 700p. il.
- READING, H.G. 1991. Facies. In: READING, H.G. 1991. **Sedimentary environments and facies**. 2. ed., Oxford, Blackwell Scientific Publications. p.4-19.
- SÁ, E.F.J. de; HACKSPACHER, P.C.; NOGUEIRA, A.M.M.; MGREATH, I.; LINS, F.A.; SRIVASTAVA, N.K.I. 1979. Observações sobre a estratigrafia e sequências ígneas da Bacia de Jaibaras, Nordeste do Ceará. In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA NORDESTE, 9., Natal, 1979. **Atas**. Natal, SBG. p.30-38.
- SANTOS, F.J. & NEVES, B.B.B. 1984. Província do Borborema. In: ALMEIDA, F.F.M. & HASUI, Y. 1984. **O Pré-cambriano do Brasil**. São Paulo. Ed. Edgard Blucher. p.123-186.

- SCHOBENHAUS, C.; CAMPOS, D.A.; DERZE, G.R.; ASMUS, H.E. (coords.) 1984. **Geologia do Brasil, Texto Explicativo do Mapa Geológico do Brasil e da área oceânica adjacente, incluindo depósitos minerais, escala 1:250.000.** Brasília, DNPM. 501p.
- SEILACHER, A. 1991. Events and Their Signatures-an Overview. In: EINSELE, G. & SEILACHER, A. 1991. **Cycles and Events in Stratigraphy.** Berlin. Springer-Verlag. 420p.
- SEILACHER, A. & AIGNER, T. 1991. Storm Deposition at the Bed, Facies, and Basin Scale: the Geologic Perspective. In: EINSELE, G. & SEILACHER, A. 1991. **Cycles and Events in Stratigraphy.** Berlin. Springer-Verlag. 420p.
- SIAL, A.N.; FIGUEIREDO, M.C.H.; LONG, L.E. 1981. Rare-earth element geochemistry of the Meruoca and Mucambo plutons, Ceará, Northeast Brazil. **Chemical Geology**, 31: 271-283.
- SOUSA, M.A. & OLIVEIRA, M.F.B. 1995. Geophysical evidences of the Transbrasiliano Lineament in Parnaíba Basin. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE ESTUDOS TECTÔNICOS, 5., Gramado, 1995. **Bol. Res. Expand.** Gramado, SBG. p.260-261.
- TAVARES Jr., S.S.; LAFON, J.M.; GORAYEB, P.S.S. 1991. O Granito Serra da Barriga, Noroeste do Ceará: Características petrológicas, geoquímicas e geocronológicas Rb-Sr. In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DO NORDESTE, 12., Recife, 1991. **Atas**. Recife, SBG. p.178-181.
- TUCKER, M.E. 1982. **The Field Description of Sedimentary Rocks.** Geological Society of London Handbook. Milton Keynes, England, Open University Press. 122p.
- WALKER, R.G. 1992. Facies, Facies Models and Modern Stratigraphic Concepts. In: WALKER, R.G. & JAMES, N.P. 1992. **Facies Models: response to sea level change.** Geol. Assoc. Canada, p.1-13.

# **ANEXOS**

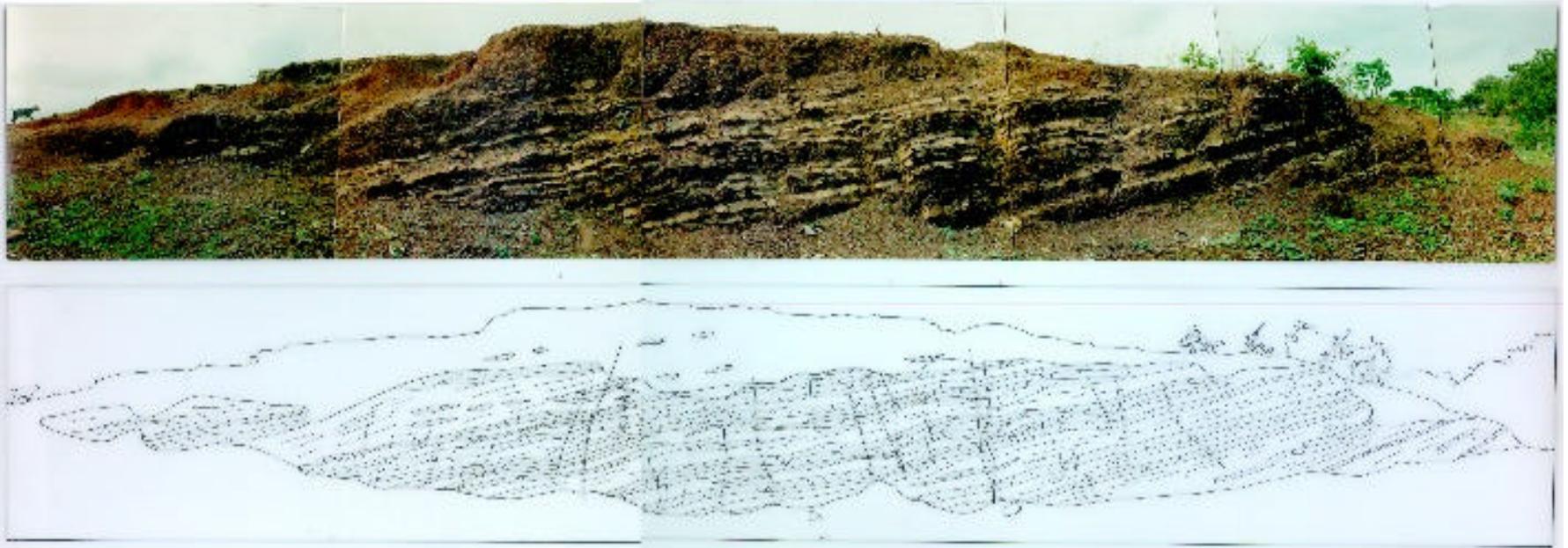


## ANEXO B



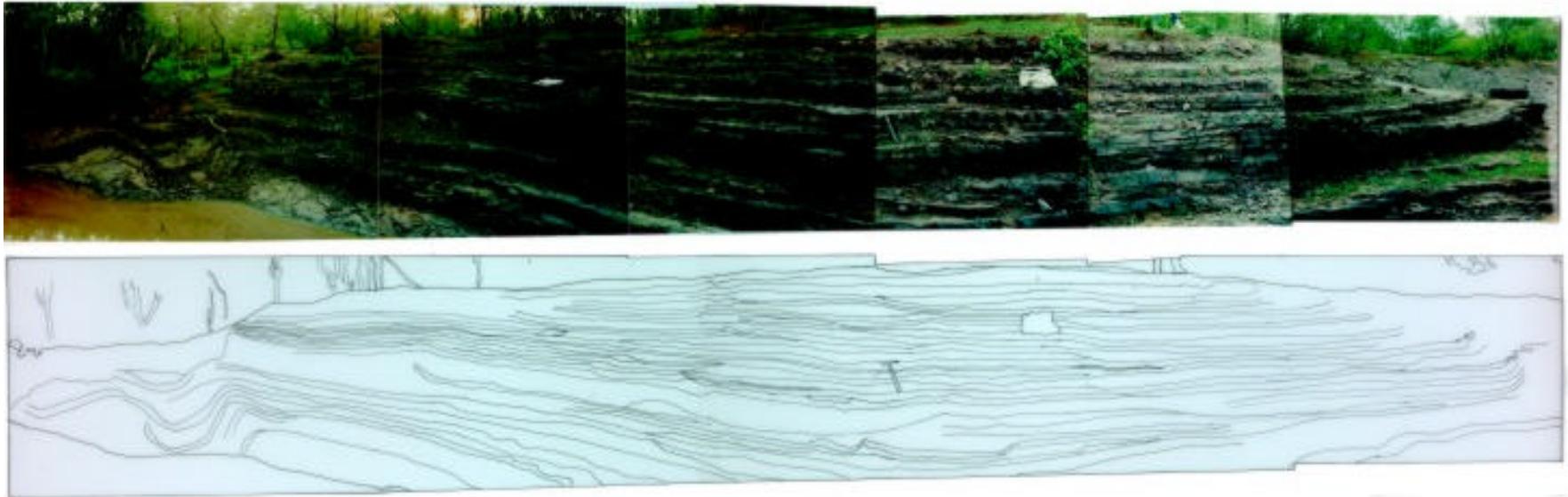
Seção panorâmica mostrando o aspecto geométrico da litofácies Pap da Formação Pacujá, constituída por bancos de arenitos finos/siltitos, de espessura centimétrica a métrica, contínuos lateralmente. Observar a inclinação e os dobramentos das camadas (afloramento localizado no sangradouro do açude Aires de Souza, na cidade de Jaibaras).

## ANEXO C



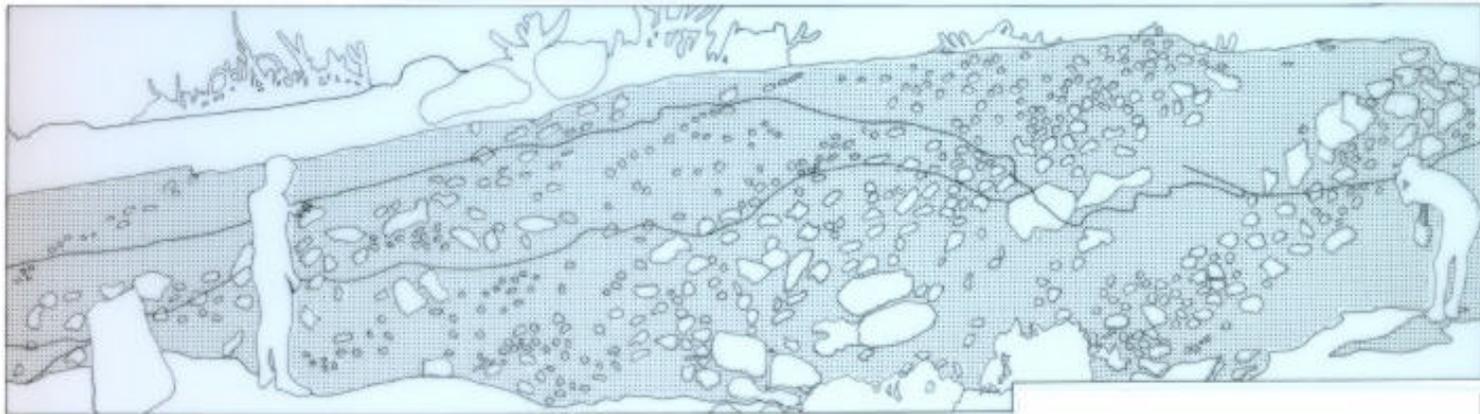
Seção panorâmica mostrando o aspecto geral da litofácies Pap da Formação Pacujá, constituída por intercalações rítmicas de arenitos finos/siltitos com pelitos (afloramento localizado na periferia da cidade de Graça).

## ANEXO D



Seção panorâmica mostrando o aspecto geométrico da litofácies Pap da Formação Pacujá, constituída por bancos centimétricos de arenitos finos/siltitos, contínuos lateralmente, que se intercalam com pelitos laminados. Observar os dobramentos das camadas (afloramento localizado no leito do rio das Barreiras, próximo a cidade de Pacujá).

## ANEXO E



Seção panorâmica mostrando o aspecto geral da litofácies Cg, caracterizada por conglomerados contendo, essencialmente, clastos de basaltos, maciços ou amigdalóidais, e subordinadamente arenitos, milonitos, gnaisses e mármore, com tamanhos que variam de seixos até matacões. Observar o acamamento gradacional normal inclinado, definido pela variação de conglomerados até arenitos conglomeráticos (afioramento localizado na CE-071, à aproximadamente 4km de Jaibaras em direção a Cariré).