

**MINISTÉRIO DE EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MINERAL
PPGEMINAS-UFPE**

**ESTUDO GEOESTRUTURAL DO MACIÇO DE GRANITO
VERMELHO FREVO SERTÂNIA-PE**

Vanildo Almeida Mendes
Geólogo

Orientador: Prof. Dr. Júlio César de Souza

Recife, 2008

**MINISTÉRIO DE EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MINERAL
PPGEMINAS-UFPE**

**ESTUDO GEOESTRUTURAL DO MACIÇO DE GRANITO
VERMELHO FREVO SERTÂNIA-PE**

Vanildo Almeida Mendes
Geólogo

Trabalho realizado no Laboratório de Planejamento de Lavra do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mineral-PPGEMinas da Universidade Federal de Pernambuco

Recife, 2008

**ESTUDO GEOESTRUTURAL DO MACIÇO DE GRANITO
VERMELHO FREVO SERTÂNIA-PE**

DISSERTAÇÃO

Submetida ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mineral da
Universidade Federal de Pernambuco - PPGEMinas, como parte dos
requisitos para a obtenção do Título de

MESTRE EM ENGENHARIA

Área de Concentração: Minerais e Rochas Industriais

por

Vanildo Almeida Mendes
Geólogo



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MINERAL

PARECER DA COMISSÃO EXAMINADORA
DE DEFESA DE DISSERTAÇÃO DE MESTRADO DE

VANILDO ALMEIDA MENDES

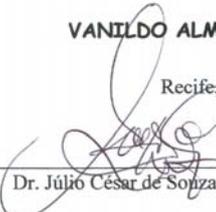
**“ESTUDO GEOESTRUTURAL DO MACIÇO DE
GRANITO VERMELHO FREVO-SERTÂNIA/PE”**

ÁREA DE CONCENTRAÇÃO: MINERAIS E ROCHAS INDUSTRIAIS

A comissão examinadora composta pelos professores abaixo, sob a presidência do
Dr. Júlio César de Souza, considera o candidato.

VANILDO ALMEIDA MENDES, Aprovado.

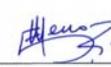
Recife, 19 de setembro de 2008.



Dr. Júlio César de Souza (Primeiro Examinador-Interno) UFPE



Dr. Francisco Wilson de Hollanda Vidal (Segundo Examinador-Externo)



Dr. Eldemar de Albuquerque Menor (Terceiro Examinador interno) – UFPE

M538e

Mendes, Vanildo Almeida.

Estudo geoestrutural do maciço de Granito Vermelho Frevo Sertânia-PE / Vanildo Almeida Mendes . - Recife: O Autor, 2008.
138 folhas, il : figs., tabs.

Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Pernambuco.
CTG. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mineral, 2008.

Inclui bibliografia e Anexos.

1. Engenharia Mineral. 2.Rocha Ornamental. 3.Mecânica de Rochas. 4.Geologia Estrutural. I. Título.

UFPE

623.26

CDD (22. ed.)

BCTG/2008-219

In memoriam

Waldemar Mendes da Silva

Meu querido pai e amigo.
O meu muito obrigado e eterna gratidão é muito pouco para expressar todo
respeito, amor e admiração, pois mais que um pai fostes um exemplo de
força de vontade e uma fonte de inspiração.

AGRADECIMENTOS

Aos membros de minha família, notadamente aos meus genitores e irmãos pelos exemplos de coragem, perseverança, determinação e abnegação, na sua luta pela minha formação moral e intelectual, sendo os grandes responsáveis pelos princípios de honradez, desprendimento e responsabilidade que pauta a minha conduta profissional.

Ao Dr. Professor Júlio César de Souza, mais que um professor e orientador, um amigo com quem pude interagir e adquirir experiência, amadurecimento e aprimoramento profissional, notadamente pelos ensinamentos, apoio e incentivo durante todo o período de realização do trabalho.

Ao corpo docente do Departamento de Engenharia de Minas da Universidade Federal de Pernambuco, especialmente aos professores e amigos José Lins Rolim Filho, Eldemar de Albuquerque Menor e Evenildo Bezerra de Melo, pelos conselhos e sugestões durante o desenvolvimento da pesquisa.

Ao corpo docente do Departamento de Geologia da UFPE, que contribuíram com os conhecimentos para a minha formação técnico-científica e em especial aos professores Hartmut Beurlen, Marcelo Reis, e Adejardo da Silva Filho por incentivarem o prosseguimento acadêmico-científico.

Aos funcionários do Laboratório de Planejamento de Lavra do Departamento de Engenharia de Minas, pela realização dos ensaios de caracterização tecnológica das rochas ornamentais estudadas durante o desenvolvimento destas pesquisas.

Aos colegas do Curso de Mestrado, pelo apoio, incentivo e informações que direta ou indiretamente contribuíram para o enriquecimento desta dissertação e também aqueles que teceram estudos sobre o assunto deixando suas contribuições.

A secretária do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mineral, Voleide Barros Ferreira Gomes e a mestrandia Suely Andrade da Silva, pelo profissionalismo, dedicação e companheirismo demonstrado.

Aos colegas da CPRM pelo companheirismo e apoio durante o transcorrer desta dissertação, especialmente ao colega de turma e amigo Adeilson Alves Wanderley, que na condição de Gerente de Recursos Minerais da CPRM-SUREG-RE permitiu o acúmulo das minhas obrigações de geólogo desta empresa, com as do mestrado de Engenharia Mineral.

Aos geólogos e colegas da CPRM Roberto Vieira de Araújo, Roberto Batista Santos e Carlos Alberto dos Santos, o primeiro pelo apoio na preparação, descrição e interpretação das análises petrográficas das rochas ornamentais, objeto do presente estudo. Aos demais pela cessão dos parâmetros concernentes a geologia e recursos minerais da Folha Sertânia, os quais foram de inestimável valor para a avaliação do potencial em rochas ornamentais da área objeto.

Ao geólogo e amigo Valdemir Cavalcanti de Souza pelo apoio nas pesquisas e fornecimento de informações técnico-científicas que ajudaram em muito a conclusão deste trabalho. Ao colega de profissão e amigo geólogo Ivo Figueirõa pelas discussões de ordem técnica e apoio na elaboração deste trabalho.

A minha esposa Elisabete e aos meus filhos Viviane e Victor, pelo amor, companheirismo, carinho, compreensão e apoio nos longos períodos de ausência. Ao meu afilhado Augusto Guilherme, pois sua alegria, ternura e amor de criança muito contribuíram para fortalecer meu espírito e rejuvenescer o meu ser, propiciando o incentivo para prosseguir nesta caminhada.

E a todas as outras pessoas que direta ou indiretamente colaboraram com a conclusão e sucesso deste trabalho.

A todos, os meus mais sinceros agradecimentos.

SUMÁRIO

AGRADECIMENTOS	
RESUMO	IX
ABSTRACT	XI
INTRODUÇÃO	1
CAPÍTULO 1 - CONSIDERAÇÕES GERAIS	3
1.1 - Justificativas e Objetivos a Serem Alcançados	3
1.2 - Metodologia Adotada e Descrição das Atividades	5
1.2.1 - Etapa Preliminar	5
1.2.2 - Obtenção de Mapas Pré-Existentes	5
1.2.3 - Base Cartográfica	6
1.2.4 - Interpretação de Fotografias Aéreas na Escala 1:70.000	6
1.2.5 - Elementos Aerogeofísicos Consultados	6
1.2.6 - Consulta a Base de Dados do GEOBANK	7
1.2.7 - Atividades de Campo, Amostragem e Análises Realizadas	7
1.2.8 - Etapa Final e Produtos Gerados	8
1.3 - Localização, Características Fisiográficas e Econômico-Sociais Sobre a Área Estudada	9
CAPÍTULO 2 - GEOLOGIA REGIONAL	14
2.1 - Trabalhos Anteriores	14
2.2 - Contexto Geológico Regional	18
2.3 - Geologia Estrutural e Compartimentação Tectônica Regional	26
2.4 - Considerações de Caráter Petrológico e Estrafigráfico	37
2.5 - Potencial em Rochas Ornamentais da Folha Sertânia	49
2.5.1 - Controle Litoestratigráfico e Estrutural dos Jazimentos	49
2.5.2 - Ocorrências Cadastradas	51
2.5.3 - Arcabouço Geológico da Folha Sertânia e os Tipos de Rochas Possíveis de Serem Detectadas	70

CAPÍTULO 3 - ÁREA OBJETO DO ESTUDO DE DETALHE	74
3.1 - Pedreira do Sítio Jaú	74
3.2 - Geologia local e Aspectos Petrográficos	74
3.3 - Levantamento Estrutural de Detalhe	81
CAPÍTULO 4 - ESTUDO DAS TENSÕES ATUANTES E O USO DO ELIPSÓIDE DE TENSÃO	97
4.1 - Dinâmica do Fraturamento e Interpretação Estrutural dos Parâmetros Obtidos	97
4.2 - Uso da Projeção Estereográfica na Interpretação dos Elementos Estruturais da Área	110
4.3 - Influência das Tensões Confinantes no Processo de Abertura de uma Frente de Lavra para Rochas Ornamentais.	112
CAPÍTULO 5 - CARACTERÍSTICAS TECNOLÓGICAS DO GRANITO VERMELHO FREVO	116
CAPÍTULO 6 - PROPOSIÇÃO DE UMA METODOLOGIA PARA PESQUISA DE ROCHAS ORNAMENTAIS	123
CAPÍTULO 7 - CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	125
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	129

LISTA DE FIGURAS

1.1- Planta de Articulação da Folha Sertânia. Fonte: Santos, 2008 no prelo	10
1.2- Planta de Situação da Pedreira do Sítio Jaú em Sertânia-PE	11
2.1- Compartimentação tectônica do território brasileiro (regiões, sistemas de falhas, faixas de dobramentos, crátons), segundo schobbenhaus et al.(1984). A província Borborema de Almeida et al. (1977 e 1981) compreende a região de dobramentos Nordeste e a Faixa Sergipana (áreas 1 e 2 da figura).	19
2.2- Faixas dobradas e maciços na Província Borborema, segundo Almeida, 1977. Fonte: Brito Neves, 1983.	21
2.3- Domínios estruturais da Província Borborema/Região de Dobramentos Nordeste, propostos por Santos et al. 1984.	22
2.4- Regiões da Província Borborema com evolução monocíclica ou policíclica e delimitação em subprovíncias estruturais, segundo Jardim de Sá et al. (1988), Caby et al. (1991) e outros representado em Jardim de Sá (1994). DCC, Domínio Ceará Central; DZT, Domínio Zona Transversal; FNC, Faixa Noroeste do Ceará; FOJ, Faixa Óros-Jaguaribe; FRP, Faixa Riacho do Pontal; FS, Faixa Sergipana; Faixa Salgueiro-Cachoeirinha; FSE, Faixa Seridó.	24
2.5 - Encarte Tectônico da Folha Sertânia. Fonte: Santos (2008), no prelo.	27
3.1 - Dobramento isoclinal apertado, inclinado a recumbente com caimento do eixo para NW.	82

3.2 - Geometria de dobra em bainha, a qual se relaciona ao evento de transcorrência que afetou a área.	86
3.3 - Crenulações geradas pelo evento de dobramento F_3 , com eixos coaxiais ao dobramento da fase F_2 .	89
3.4 - Fechamento da foliação S_n formando estruturas dômicas, tipo padrão caixa de ovos, correspondendo a figuras de interferência tipo I (Ransay, 1967).	91
4.1 - Resolução do campo de tensões, segundo três eixos cartesianos X, Y e Z, de uma força R em três componentes não coplanares F_x , F_y e F_z .	98
4.2 - Elipsóide triaxial de tensões com os eixos de tensão principais máxima, intermediária e mínima. Observam-se ainda no plano definido por π_1 e π_2 as indicações de tensões cisalhantes, máxima ($\tau_{max.}$), fazendo um ângulo teórico de 45° com a direção de π_1 (fonte: Loczy & Ladeira, 1978).	100
4.3- Desenvolvimento de fraturas de cisalhamento desenvolvidas sob ensaios de compressão.	103
1) Espécime de rocha com fraturas de cisalhamento AB e CD desenvolvidos durante os ensaios de compressão.	
2) Seções do espécime anterior mostrando as relações entre os planos de tensões cisalhantes máximas ($\tau_{máx}$) representados por AF e BE, fazendo ângulo de 45° como eixo de tensão compressiva máxima π_1 ; as linhas AC e BD constituem planos de fraturas que realmente se formam durante os testes fazendo um ângulo de 33° com o eixo π_1 (Fonte: Loczy & Ladeira, 1978).	
4.4 - Desenvolvimento de fraturas de tensão e alívio em corpos rochosos por ensaios de compressão. (A) desenvolvimento de fraturas de tensão paralelas aos lados do prisma e da direção da compressão máxima. (B) fraturas de alívio isoladas paralelamente ao topo do prisma e perpendicular à direção de compressão máxima. Fonte: Loczy & Ladeira, 1978.	105

4.5 - Desenvolvimento de fraturas de cisalhamento (inclinadas), de tensão (verticais) e as de alívio (horizontais), estabelecidas em espécimes rochosos submetidos à compressão.	107
(A) granodiorito; observam-se fraturas subsidiárias.	
(B) granito; mostra que a fratura de cisalhamento principal constitui uma microfalha. Tais testes foram realizados por Borg e Handin, 1966, os quais simularam uma situação de crosta a 17,7 km de profundidade, correspondente a uma pressão de 5 Kb e a uma temperatura de 500°C (Fonte: Loczy & Ladeira, 1978).	
4.6 - Elipsóide de tensão e o par conjugado formado por cisalhamentos de direção NE-SW (sinistral) e NNW-SSE (dextral). Tem-se ainda a direção do eixo de compressão máxima perpendicular a $S_n//B_n$.	109
4.7- Diagrama da rede de Schmidt, com os planos de fraturas (em azul) de cisalhamento, cuja bissetriz do ângulo formado entre eles representa a direção de compressão máxima.	111
4.8 - Diagrama de Schmidt, onde os planos azuis e vermelhos constituem o par conjugado de cisalhamento.	111
4.9 - Mostra o diagrama de rosetas, onde se visualiza o par conjugado de cisalhamento nas direções 50° Az e 350° Az.	111
4.10 - Modelo tridimensional das estruturas detectadas durante o mapeamento geológico de detalhe.	115

LISTA DE TABELAS

2.1 - Composição mineralógica e modal do granito Sunset Red	54
2.2 - Composição mineralógica e modal do granito Red Brown	56
5.1- Composição mineralógica e modal do granito Vermelho Frevo	117
5.2 - Mostra os dados tecnológicos comparativos dos granitos Carnaval e Samba.	121
5.3 - Apresenta os valores médios das rochas ornamentais brasileiras. (Fonte: Farjallat e Frazão, 1996).	121

LISTA DE FOTOGRAFIAS

2.1 - Cataclasitos em zona de cisalhamento transcorrente desenvolvidas sobre metassedimentos.	29
2.2 - Afloramento de migmatito paraderivado do Complexo Vertentes na Zona de Cisalhamento Cruzeiro do Nordeste.	30
2.3 - Biotita-gnaiss calcissilicáticas e mármores envolvidos em dobramentos invertidos e indicações de cavalgamento com transporte tectônico para SW.	32
2.4 - Migmatitos do Complexo Sertânea, com mesossoma de granada-sillimanita-biotita xisto e leucossoma granítico de coloração róseo-vermelha, estruturado em antiforme inclinado com caimento para NE.	34
2.5 - Chapa polida do paragnaisse migmatizado conhecido no mercado de rochas ornamentais como Granito Vermelho Frevo.	36
2.6 - Afloramento de paragnaisse migmatizados do Metatexito Lagoa da Cidade, estruturados em dobras isoclinais recumbentes.	39

2.7 - Migmatitos bandados mostrando dobras isoclinais inclinadas com vergência para NE.	41
2.8 - Vista em bancada do migmatito róseo-avermelhado aflorante em Lagoa da Cidade.	42
2.9 - Aspecto típico dos migmatitos paraderivados do Complexo Sertânia, com dobras abertas a isoclinais e superfícies de plano-axial sub-vertical.	43
2.10 - Aspecto dos migmatitos paraderivados do Complexo Sertânia, onde se observa o efeito da superfície de erosão.	44
2.11 - Paragnaisses a biotita do Complexo Vertentes mostrando indicações de zona de cisalhamento contracional com movimento para NW.	47
2.12 - Chapa polida do Granito Sunset Red. Fonte; Araújo et al., 2007.	52
2.13 - Secção delgada do granito Sunset Red	53
2.14 - Mostra detalhe da frente de exploração, em bancada, do Granito Sunset Red. Fonte: Araújo et al., 2007.	55
2.15 – Secção delgada do granito Red Brown	57
2.16 - Frente de lavra, em maciço, do Granito Red Brown. Fonte: Araújo et al., 2007.	59
2.17 - Detalhe da frente de exploração, em maciço, sob a forma de bancadas do Granito Red Brown. Fonte: Araújo et al., 2007.	60
2.18 - Chapa polida do Granito Vermelho Frevo.	62
2.19 - Afloramento, em maciço do migmatito conhecido comercialmente como Granito Vermelho Frevo.	64
2.20 - Frente de lavra do migmatito em bancada, onde se nota intensa deformação plicativa sofrida pela rocha.	66
2.21 - Frente de lavra, do migmatito em bancadas baixas, da Pedreira do Sítio Jaú.	68

2.22 - Visão da frente de lavra onde se observa a intensidade da tectônica tangencial atuante sobre a área, com sentido de transporte tectônico para sudoeste.	69
2.23 - Chapa polida do Granito Vermelho Ipanema.	72
3.1 - Frente de lavra do migmatito róseo-avermelhado da Pedreira do Sítio Jaú em Sertânia - PE.	75
3.2 - Bandas lenticulares e boudans de rocha calcissilicática, estruturadas em cisalhamento tangencial, com sentido de movimento para NE.	84
3.3 - Apresenta dobra de eixo curvo, com geometria tipo bainha.	87
3.4 - Detalhe da estruturação dos paragneisses migmatizados de Lagoa da Cidade (Sítio Jaú), com redobramentos causados pelo evento D ₃ não coaxial aos anteriores.	92
3.5 - Visão da frente de lavra do migmatito róseo-avermelhado da Pedreira do Sítio Jaú, onde nota-se a presença de fraturas horizontais geradas por alívio de carga.	95
5.1 – Secção delgada do granito Vermelho Frevo.	118

RESUMO

A finalidade deste trabalho é desenvolver uma metodologia aplicada à prospecção e pesquisa geológica de rochas ornamentais em maciço rochoso. Para tanto visa fornecer ao responsável técnico pelas futuras operações de lavra o conhecimento das características petrográficas e físico-mecânicas da rocha a ser explorada e o regime de tensões a que está submetida, para que o mesmo possa definir a melhor sistemática tecnológica no plano de aproveitamento econômico a ser adotado. Este Trabalho versa também sobre a importância do estudo regional na detecção de jazimentos de rochas ornamentais.

O estudo regional foi realizado em uma área de 3.000 km², situada na folha Sertânia, limitada pelas coordenadas geográficas: 37° a 37° 30' de longitude Oeste e 08° a 08° 30' de latitude Sul. A pesquisa de detalhe compreendeu uma área de 5 ha, localizada em terras do Sítio Jaú, município de Sertânia - PE.

Na área de estudo afloram paragneisses a biotita intensamente dobrados e migmatizados, com neossoma de cor róseo-avermelhado e paleossoma máfico rico em biotita e quartzo. Durante o transcorrer dos trabalhos de campo foi realizado o mapeamento geológico e estrutural de detalhe, incluindo a análise das deformações plicativas ⁽¹⁾. Em paralelo, fez-se o levantamento do sistema de fraturamento, dos veios e o tratamento dos mesmos através dos métodos de projeção estereográfica (rede de Schmidt), culminando com a elaboração dos blocos de partição. A aplicação de tal sistemática de trabalho teve por finalidade definir o sistema de tensões atuantes sobre o maciço e a melhor forma de realizar a lavra sem provocar o aparecimento de fraturas de alívio na rocha.

O afloramento estudado, constitui um maciço aberto nos anos 90 pela FUSTE LTDA visando a pesquisa e exploração de blocos canteirados ⁽²⁾ do Granito Vermelho Frevo, cujas dimensões correspondem a cerca de 220 m de comprimento, por 200 m de largura e uma altura média de 10 m. Posteriormente os trabalhos foram continuados pela MC LOPES, a qual recentemente enviou cerca de 15 m³ de material para a China para testes de mercado.

Notas: (1): Dobramentos gerados na rocha pela ação de esforço compressivo de amplitude regional.

(2): Constitui bloco esquadrejado, com dimensões compatíveis com as exigidas pelo mercado.

Em termos estruturais, a rocha encontra-se intensamente deformada, afetada por 03 (três) fases de deformação, onde nota-se a presença de dobras isoclinais da fase F_1 e a sua foliação ($S_1//S_0$), afetada por dobramentos inclinados a recumbentes da fase F_2 . Apresenta plano axial sub-horizontal, eixos coaxiais aos dobramentos anteriores e dispostos na direção 310° Az, com caimento entre 15° a 25° . A fase F_3 constitui dobramentos abertos de plano axial sub-vertical, que afetou as foliações $S_1//S_0$ e S_2 , além dos dobramentos das fases anteriores e dispõe-se na direção NW.

Tais deformações foram geradas em um regime tangencial, o qual foi progressivamente afetado por um regime de transcorrência, que atuou sobre os dobramentos pretéritos tendo inclusive crenulado a foliação $S_1//S_2$.

A análise do fraturamento mostrou que as fraturas de cisalhamento situam-se nas direções 50° Az e 350° Az, com $S_1//S_0$ dispostas nas direções 300° Az a 320° Az, e as fraturas de tensão orientadas nos intervalos de 20° Az a 30° Az e 300° Az a 320° a Az.

A apreciação do elipsóide de compressão mostra o σ_1 na direção 30° Az, o que explica as direções das fraturas de cisalhamento, das tensões e das foliações. Com base no exposto pode-se concluir que a melhor orientação de corte, para o desenvolvimento dos trabalhos de abertura da pedreira, de modo a provocar o alívio das tensões e evitar o aparecimento de fraturas durante os serviços de lavra, é a direção SE-NW.

Palavras Chaves: Rochas ornamentais, mecânica de rochas, tensão-deformação, geologia estrutural.

ABSTRACT

The purpose of this report is to recommend a new methodology for prospecting ornamental rocks massifs. This is why it is important to supply the technical staff, for the future operations of mining of knowledge of the petrographic and physical-mechanical features of the rock to be extracted and the regime of tensions to be submitted to define the best systems of exploitation to be adopted. This work also refers to the importance of the regional study for detecting ornamental rock deposits.

The regional study was done in a 3000 km² area located in Sertânia quadrangle limited by the following geographic coordinates: 37° to 37°30' western longitude and 08° to 08°30' southern latitude. The specific investigation included a 5 Ha area in the Sitio Jaú lands, district of SERTÂNIA, Pernambuco State.

In the examined area, emerge biotite paragneiss intensively folded and migmatized with pink and red colored neosome and mafic paleosome rich in biotite and quartz. As the field survey goes by, the detailed geological and structural mapping was performed including the active deformation analysis. In parallel the fracturing system was mapped, from the veins and their treatment through projective stereographic methods (Schmidt net) finishing with the elaboration of split blocks, and the performance of mechanical rock studies. The application of such system of work had the objective of defining an active tensions system over the massive and the best way to mine it without provoking the appearance of rock relief fractures.

The outcrop studied represents an open quarry for exploiting the mining blocks of recognized "Vermelho Frevo" Granite, which dimensions correspond to 221 m length times 200 m width and an average height of 10 m.

In structural terms, the rock is intensively deformed, affected by 03 (three) phases of deformation where it is observed the presence of phase F_1 isoclinal folds and its foliation ($S_1//S_0$) affected by inclined folds of phase F_2 . It presents axial sub-horizontal plane, coaxial axes to the foregoing folds and disposed on 310° Az direction, with a 15° to 25° fall.

Such deformations were originated in a tangential regime, which was progressively affected by a transcurrent regime, that acted over the past folds having inclusively crenulated to foliated $S_1//S_2$.

The fractures analysis showed that the shear fractures are positioned in the 50° Az and 350° Az directions, with $S_1//S_0$, disposed in the 300° Az to 320° Az directions and the tension fractures oriented in the 20° Az to 300° Az intervals and 300° Az to 320° Az.

The appreciation of the compressing elipsoide shows the π_1 in the 30° Az direction, that explains the directions of the shear fractures, of the tensions and foliations. Based on exposed it can be concluded that the best orientation of cut for the development of open quarry works, to provoke the relief of tensions and avoid the appearance of fractures during the service of mining would be SE-NW direction.

Key-words: dimensional stones, rock mechanics, strenght-strain, structural geology

INTRODUÇÃO

O emprego de rochas ornamentais, como material de piso, revestimento e de decoração, na arquitetura e principalmente na construção civil, tem avançado significativamente em todo mundo como também no Brasil.

Atualmente o setor de rochas ornamentais constitui o terceiro item da pauta de exportações de bens minerais do Brasil, com um montante, relativo a 2007, estimado em US\$ 1.140 milhões. Graças à sua diversidade geológica, o Brasil dispõe de reservas que estão consideradas entre as maiores e melhores do mundo, notadamente no que tange a rochas silicáticas, localizadas principalmente nos Estados do Espírito Santo, Minas Gerais, Bahia, Rio de Janeiro, São Paulo, Ceará, Paraíba e Pernambuco. O Estado de Pernambuco, assim como as demais unidades federativas da Região Nordeste, possui mais de 60% de sua área geográfica formada por rochas cristalinas Pré-Cambrianas, mostrando uma evolução geológica marcada por grande mobilidade tectônica, com uma alternância de regimes compressivos e distensivos. Tal contexto geotectônico propiciou o desenvolvimento de uma geodiversidade favorável à existência de excelentes jazimentos de rochas para fins ornamentais, que se insere na denominada Província Borborema, e encerra uma história geológica iniciada no Arqueano-Paleoproterozóico até o Recente.

Em termos de interpretação geológica de cunho regional, para a pesquisa de rochas ornamentais, sabe-se que fatores geológicos controlam a geração dos jazimentos de rochas ornamentais. Com base nesta assertiva, admite-se que o conhecimento destes fatores e da ambiência geológica regional permitem prever os tipos passíveis de serem detectados em uma determinada localidade e a conseqüente elaboração de cartas previsionais, que devem conter informações sobre os tipos considerados clássicos, nobres ou comuns, prospectáveis na região estudada.

Com base nesta premissa, este trabalho teve por objetivo desenvolver uma metodologia padrão de pesquisa geológica para rochas ornamentais. Primeiramente, procurou mostrar o potencial geológico da Folha Sertânia, escala 1:100.000, em rochas para a indústria de cantaria. Em seguida, desenvolveu estudos de mapeamento geológico e levantamento estrutural de detalhe, com o levantamento minucioso do fraturamento existente em pedreira situada no Sítio Jaú, município de Sertânia - PE.

Para execução de tais trabalhos foram utilizadas técnicas de projeção estereográfica, com a confecção dos planos de partição, e aplicação dos conceitos de elipsóides de tensão. Estas metodologias visam definir o sistema das tensões atuantes sobre o maciço e, conseqüentemente, o melhor plano de corte para a sua abertura, de forma a evitar o aparecimento das fraturas de alívio.

A adoção de tal metodologia propiciará, na pedreira estudada, o aumento de sua taxa de recuperação, redução no volume de rejeitos, queda nos custos de produção, menor impacto ambiental e a ampliação da margem de lucro do empreendimento mineiro.

Salienta-se que a elaboração do mapa de potencialidades para rochas ornamentais da Folha Sertânia, na escala 1:100.000, seguido do estudo das tensões residuais em maciço rochoso, visa mostrar a importância da pesquisa geológica na prospecção e abertura de novas frentes de lavra de rochas ornamentais. Sua realização propiciará o conhecimento prévio do litotipo a ser trabalhado, do regime de tensões atuantes sobre o maciço, das suas características petrológicas e mecânicas, as quais interferem diretamente na metodologia de lavra a ser adotada.

Em síntese, espera-se apresentar ao setor público e aos investidores privados, os subsídios técnicos desta sistemática de pesquisa, que deverá contemplar desde o estudo regional a pesquisa de detalhe dos jazimentos de produtos pétreos. Sua execução mostrará aos produtores a importância do conhecimento dos caracteres composicionais e físico-mecânicos da rocha a ser explorada e da melhor forma de lavrá-la com economicidade.

CAPÍTULO 1 - CONSIDERAÇÕES GERAIS

1.1- JUSTIFICATIVAS E OBJETIVOS A SEREM ALCANÇADOS

A produção e consumo de rochas evoluiu de forma contínua em praticamente todo o século XX, passando de um patamar de 1,5 milhões de toneladas/ano nos anos 20 para um patamar de 75 milhões de toneladas no início do século XXI, mais precisamente em 2003 (Chiodi Filho, 2005). Com base no percentual de crescimento do setor estima-se para 2025 uma produção mundial de cerca de 330 milhões de toneladas/ano, multiplicando por 4 os valores atuais. Com base no exposto verifica-se a importância deste trabalho para uma exploração mais adequada de rochas para fins ornamentais.

O Brasil, graças a sua geodiversidade, constitui-se hoje num dos maiores produtores e exportadores mundiais do setor, com uma produção estimada em 2004 de 6,4 milhões de toneladas, abrangendo cerca de 600 tipos de diferentes rochas oriundas de mais de 1500 frentes de exploração (Chiodi Filho, 2005). Atualmente as exportações brasileiras situam-se na faixa de US\$ 1.14 bilhão/ano. Com base no percentual médio do crescimento anual das nossas exportações (superior a 6%), o empresariado nacional estima ampliar esta pauta para US\$ 1.3 bilhão/ano até 2010.

Com a finalidade de atingir e ultrapassar a perspectiva acima se faz necessário o incremento das pesquisas geológicas, visando melhorar a metodologia de lavra, notadamente em maciço, e propiciar a descoberta e entrada em operação de novos materiais visando à conquista de novos espaços nos mercados interno e externo.

Os trabalhos desenvolvidos nesta dissertação permitiram a confecção de um Mapa de Potencialidades da região abrangida pela Folha Sertânia e o levantamento geológico de detalhe da Pedreira do Sítio Jaú.

Os resultados dos estudos de âmbito regional permitem a obtenção de informações necessárias à descoberta de novos jazimentos de materiais pétreos com fins ornamentais. A realização da pesquisa geológica de detalhe, aliada ao estudo minucioso do fraturamento e a confecção dos elipsóides de deformação, permitiu aperfeiçoar a sistemática de pesquisa para rochas ornamentais, com a definição prévia da melhor direção de corte, para abertura da pedreira em maciço, com o objetivo de evitar o aparecimento de fraturas de alívio e otimizar a produção de blocos. Nestes casos o estudo das tensões atuantes e o conhecimento dos parâmetros petrográficos e físico-mecânicos da pedreira redundará na correta orientação às futuras operações de exploração, contribuindo para o aumento da taxa de produtividade das jazidas e redução no volume de rejeitos a serem gerados.

Dentre os objetivos a serem alcançados, salienta-se:

- Desenvolver um modelo de pesquisa geológica regional, de detalhe e de orientação à lavra de rochas ornamentais em maciço a partir do conhecimento dos caracteres físico-mecânicos das rochas.
- Dotar a região a ser estudada de informações geológicas relativas ao seu potencial em rochas ornamentais de forma a subsidiar o planejamento de ações governamentais, assim como, de futuros investimentos da iniciativa privada. Tal ação propiciará o incremento do setor mineral e conseqüentemente da pauta de exportações do estado, com a geração de emprego e renda em nosso “interland”.
- Elaboração do mapa de potencialidades para rochas ornamentais da Folha Sertânia na escala 1:100.000, confecção do mapa geológico e o levantamento estrutural de detalhe na escala 1:500 da Pedreira do Sítio Jaú, além da realização dos ensaios de caracterização tecnológica e dos estudos de tensão e deformação do Granito Vermelho Frevo.

1.2 – METODOLOGIA ALCANÇADA E DESCRIÇÃO DAS ATIVIDADES

A metodologia experimental empregada nesta dissertação obedeceu à sistemática elaborada para o Programa de Pós Graduação em Engenharia Mineral como requisito para obtenção do título de mestre em Engenharia, tendo constado das seguintes etapas:

1.2.1-Etapa Preliminar

Compreendeu a integração e análise do acervo disponível utilizando-se a compilação de dados da bibliografia geológica sobre a área de estudo, consulta à base de dados sobre as ocorrências minerais do GEOBANC/CPRM, além da aquisição de material técnico, tais como bases cartográficas, imagens de satélite, fotografias aéreas, dados e mapas aerogeofísicos. Em seguida, foram elaboradas interpretações fotogeológicas a partir de aerofotos na escala 1: 70.000 e o tratamento dos parâmetros obtidos, com objetivo de elaborar o Mapa de Potencialidades para Rochas Ornamentais da Folha Sertânia na escala 1: 100.000.

Durante o transcorrer desta fase foi elaborado o planejamento dos trabalhos de campo, incluindo o levantamento topográfico e geoestrutural na Pedreira do Sítio Jaú e cadastramento das demais ocorrências de rochas ornamentais detectadas na Folha Sertânia.

1.2.2 - Obtenção de Mapas Pré-Existentes

Em relação aos mapas pré-existentes ressaltam-se mapas geológicos de projetos CPRM/DNPM, trabalhos e mapas de teses/dissertações de pós-graduação da UFPE. Dentre eles citam-se o Mapa Geológico do Estado de Pernambuco na escala 1: 500.000 (Gomes et al., 2001) e o Mapa Geológico da Folha Sertânia na escala 1:100.000 (Santos, 2008).

1.2.3 - Base Cartográfica

A base cartográfica regional utilizada foi a folha SC 24-X-B-I (Sertânia), na escala 1:100.000, elaborada pela divisão de Cartografia da Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste-SUDENE (1972), a qual foi simplificada pela Seção de Cartografia da CPRM em Recife. As bases plani-altimétricas utilizadas no estudo de detalhe, realizado na Pedreira do Sítio Jaú, foram elaboradas pela equipe de pós-graduandos do PPGEMinas/UFPE, com a utilização de GPS com precisão de 10 metros, tendo-se delimitado a poligonal da área estudada e levantadas estações com planimetria e altimetria dos locais visitados. Posteriormente estes parâmetros foram inseridos em base plani-altimétrica de detalhe na escala 1: 500 e elaborados os mapas topográfico e geológico-estrutural da área da pedreira.

1.2.4 - Interpretação de Fotografias Aéreas na Escala: 70.000

A área estudada é recoberta por fotografias aéreas na escala 1:70.000, produzidas pelo Serviço Aerofotométrico Cruzeiro do Sul S/A, tomadas em 1965, com reambulação executada em 1967. No geral, a interpretação de aerofotos apresentou definição satisfatória com as feições litológicas e tectono-estruturais fotointerpretadas e checadas após trabalhos de campo. Posteriormente, os elementos fotointerpretados foram transportados para base cartográfica 1:100.000. Durante a análise das fotografias aéreas foram traçados os principais lineamentos estruturais e zonas de cisalhamento que cortam a região, e interpretados os principais litotipos aflorantes.

1.2.5 - Elementos Aerogeofísicos Consultados

Os elementos aerogeofísicos consultados são oriundos do Projeto Aerogeofísico Baixo São Francisco (ENCAL S. A., 1978), o qual abrangeu um bloco de 55.000 km², com recobrimento de 30.593 km de perfis aeromagnéticos e aeroespectométricos, com linhas de vôo e controle espaçadas de 2.000 a 20.000 m, dispostas nas direções N-S e E-W, com altura de vôo fixada em 150 m sobre o terreno.

Para elaboração das interpretações dos parâmetros aeromagnéticos foram utilizados os mapas digitais, obtidos a partir dos dados disponíveis no Projeto Aerogeofísico Baixo São Francisco:

- a- Campo Magnético Total reduzido do IGRF
- b- Amplitude do Sinal Analítico do Campo Magnético Total reduzido
- c- Componente Residual do Campo Magnético Total reduzido IGRF

Salienta-se, que o dado disponível só permite interpretações e resoluções para trabalhos de cunho regionais. No entanto, o seu emprego permitiu observar os canais de urânio e potássio, que favorecem a delimitação de diversos corpos granitóides e dos paragneisses migmatizados do Sítio Jaú e Lagoa da Cidade onde ocorrem importantes jazimentos de rochas com fins ornamentais, entre os quais a jazida de granito Vermelho Frevo, objeto de estudo na presente dissertação.

1.2.6 - Base de Dados do GEOBANK

Através do acesso aos elementos disponíveis no GEOBANK (banco de dados da CPRM) foi possível recuperar informações sobre 08 ocorrências de rochas ornamentais catalogadas e cartografadas em trabalhos anteriores na folha em apreço, inclusive os parâmetros existentes sobre a pedreira de paragneisses migmatizados do Sítio Jaú.

1.2.7 - Atividades de Campo, Amostragem e Análises Realizadas

Após a fase de compilação bibliográfica e interpretações fotogeológicas, tiveram início os trabalhos de campo, os quais foram realizados com o objetivo de checar os elementos fotointerpretados e compilados na etapa anterior, além de coletar novos parâmetros para a elaboração final do Mapa de Potencialidades para rochas ornamentais. Constatou-se ainda do cadastramento das ocorrências conhecidas e inéditas, a coleta de amostras para elaboração de análises petrográficas e os ensaios de caracterização tecnológica. Em consonância, foi realizado o mapeamento geológico e levantamento estrutural de detalhe na Pedreira do Sítio Jaú.

Para a elaboração deste serviço foi utilizada a malha de acesso disponível, tais como estradas, ferrovias, trilhas e rede de drenagem. Durante o seu transcorrer foram cadastradas 08 ocorrências de rochas ornamentais, coletadas 08 amostras de diferentes litotipos, sendo algumas destas escolhidas para elaboração dos ensaios de caracterização tecnológica. Dentre as ocorrências estudadas destaca-se, pelas excelentes condições locais de exploração, o jazimento do Sítio Jaú, o qual além da excelência da exposição apresenta um tipo litológico de rara beleza e padrão estético compatível com as exigências do mercado internacional de produtos pétreos.

Durante os trabalhos do estudo de detalhe desta pedreira foram efetuadas 21 estações de coleta, elaborado o levantamento plani-altimétrico do setor e traçada a poligonal da área aflorante. Em paralelo, realizou-se o mapeamento geológico e estrutural de detalhe, com o estudo dos fraturamentos existentes e das deformações plicativas observadas.

No que diz respeito aos estudos petrográficos de secções delgadas de rocha, as lâminas foram elaboradas e estudadas na SECLAB da SUREG-RE da CPRM – Serviço Geológico do Brasil. Em relação aos ensaios tecnológicos, as análises foram realizadas no Laboratório de Planejamento de Lavra do Departamento de Engenharia de Minas da UFPE.

1.2.8 - Etapa Final e Produtos Gerados

Esta fase correspondeu à parte de integração e interpretação dos dados obtidos nas etapas anteriores, incluindo a reinterpretação das imagens de satélites e aerofotos, culminando com o estudo das tensões atuantes sobre a Pedreira do Sítio Jaú. Em paralelo, foi efetuado o tratamento estatístico dos fraturamentos observados e medidos, efetuada a confecção dos elipsóides de deformação e do plano de partição para o setor em epígrafe.

Como resultado dos estudos realizados na Folha Sertânia e na Pedreira do Sítio Jaú foram gerados os seguintes produtos:

- A. Dissertação de Mestrado, a qual inclui o texto conclusivo sobre os trabalhos desenvolvidos.
- B. Mapa de potencialidades para rochas ornamentais da Folha Sertânia, na escala 1:100.000
- C. Mapas Geológico e Estrutural de Detalhe da área da pedreira de granito Vermelho Frevo em Sertânia – PE na escala 1:500.
- D. Estudos de mecânica de rocha, tratamento dos fraturamentos analisados com o emprego do método de projeção estereográfica (Rede de Schmidt), acompanhado do seu bloco de partição e da análise da tensão residual atuante.
- E. Proposta de uma metodologia de pesquisa própria para jazimentos de rochas ornamentais em maciço.

1.3 – LOCALIZAÇÃO, CARACTERÍSTICAS FISIOGRAFICAS E ECONÔMICO-SOCIAIS SOBRE A ÁREA ESTUDADA

A área de estudo situa-se no sertão do Estado de Pernambuco, inserindo-se na Folha Sertânia, sendo limitada pelas coordenadas de 37° a 37° 30' longitude Oeste e 8° a 8° 30' de latitude Sul (fig. 1.1). A pedreira, objeto do levantamento geológico de detalhe, localiza-se em terras do Sítio Jaú, município de Sertânia, Sertão de Pernambuco, próximo à fronteira com o Estado da Paraíba (Fig. 1.2). A folha está localizada quase em sua totalidade no Estado de Pernambuco, onde situam-se os municípios de Sertânia, Arcoverde e Cruzeiro do Nordeste O restante engloba áreas do Estado da Paraíba, onde localizam-se os municípios de São Sebastião do Umbuzeiro e Zabelê.

ARTICULAÇÃO DA FOLHA

AFOGADOS DA INGAZEIRA SB.24-Z-C-VI	MONTEIRO SC.24-Z-D-IV	SUMÉ SC.24-Z-D-V
CUSTÓDIA SC.24-X-A-III	SERTÂNIA SC.24-X-B-I	PESQUEIRA SC.24-X-B-II
POÇO DA CRUZ SC.24-X-A-VI	BUIQUE SC.24-X-B-IV	VENTUROSA SC.24-X-B-V

Fig. 1.1- Planta de Articulação da Folha Sertânia (Santos, 2008, no prelo).

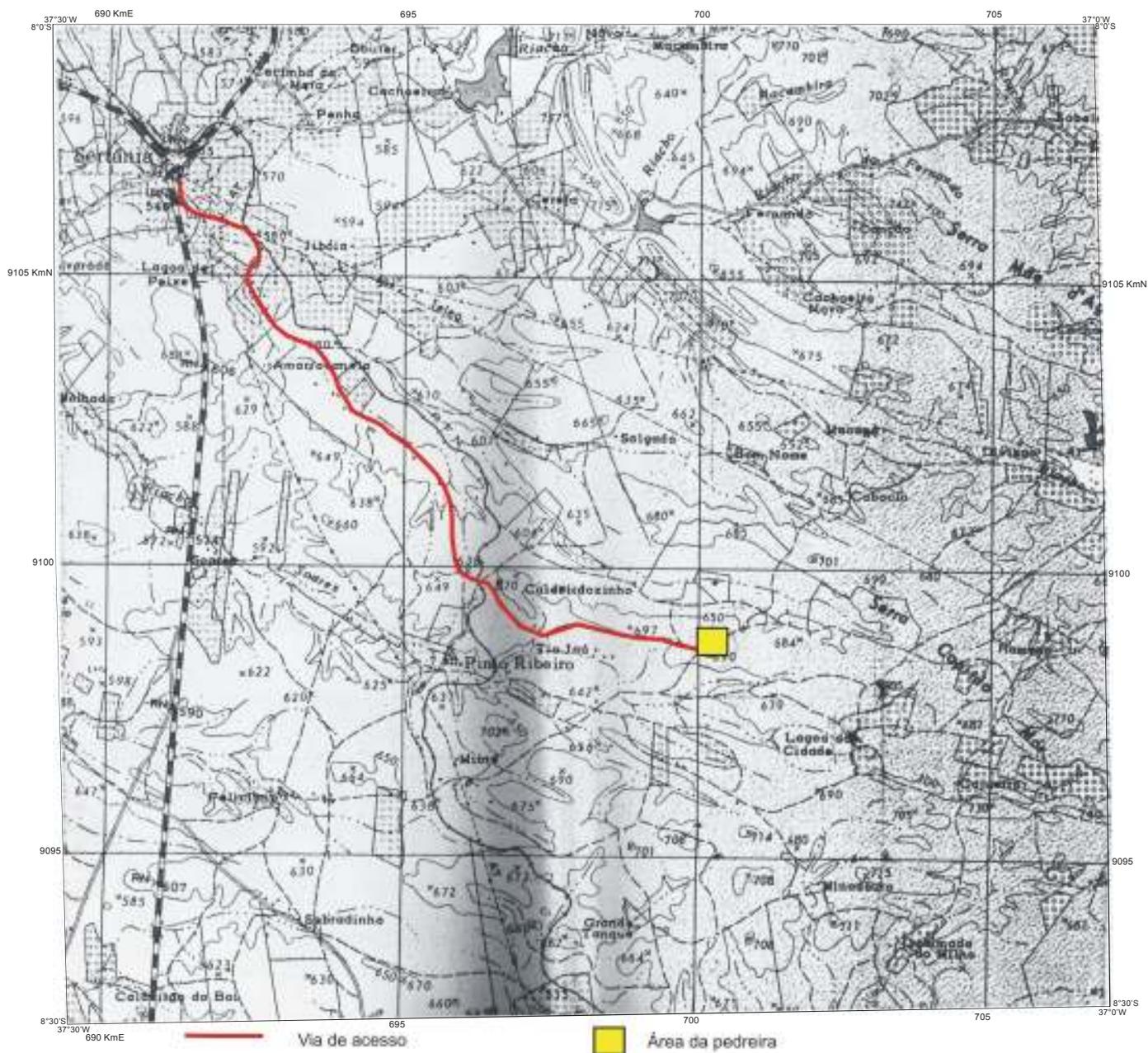


Fig. 1.2- Planta de situação da Pedreira do Sítio Jaú em Sertânia.

Folha SC. 24-Z-D-IV Sertânia

Escala: 1:100.000

No geral, a região apresenta excelentes condições de infra-estrutura. O acesso à área estudada é alcançado através de rodovias transitáveis por todo o ano, dispondo ainda de facilidades de mão de obra, com certa experiência no trabalho com pedras para fins ornamentais. O acesso é feito a partir do Recife pela BR-232 até a localidade de Cruzeiro do

Nordeste e a partir desta por via asfaltada até Sertânia, onde se segue através de via pavimentada por cerca de 15 km até o Sítio Jaú. As incursões em toda a área podem ser feitas através vias secundárias ou pela BR-110, ou ainda pelas PE-87 e PE-88, e também por estradas não pavimentadas para os diversos sítios e vilarejos. Dista cerca de 300 km dos portos do Recife e de Suape que são as vias de exportação mais próximas da área.

A região acha-se incluída no polígono das secas, possui um clima do tipo semi-árido quente e seco (Bshw), segundo a classificação de Köppen. Apresenta duas estações: uma chuvosa (inverno) e uma outra de estiagem conhecida como verão. As temperaturas são elevadas, com média anual em torno de 26° C, variando de 21° C a 31° C. Apresenta umidade baixa, chuvas esparsas, que além de irregulares são dispersas, com o período chuvoso correspondendo aos meses de março a maio.

As principais bacias hidrográficas que recobrem a Folha de Sertânia são as dos rios Moxotó, Ipanema e Ipojuca. São todas de cursos intermitentes, com a rede de drenagem controlada pelo sistema de falhas e fraturas que cortam a região. Em geral, correm para sudeste em direção ao Estado do Alagoas.

A agropecuária constitui a principal atividade econômica da região, principalmente na produção de leite e seus derivados, com destaque para a cidade de Arcoverde, que compreende também importante pólo regional de comércio e serviços. No que concerne ao município de Sertânia, além da agricultura de subsistência, possui uma caprinocultura bem desenvolvida contando inclusive com um centro de estudos mantido pelo governo federal. No geral, a atividade agrícola é fraca e devido à falta de irrigação, acha-se intimamente relacionada com a estação das chuvas. À exceção da cultura do algodão que voltou a florescer no semi-árido, da palma e capim para alimentação do rebanho bovino, a agricultura é de subsistência, plantando-se feijão, milho, mandioca, frutas e verduras.

A atividade mineira é representada pela exploração de granitos para fins ornamentais e jazimentos de mármore utilizados na fabricação de cal. A argila também é utilizada, localmente de maneira artesanal, para confecção de tijolos. A área de estudo localiza-se em uma região de crescente importância econômica tanto em termos agropecuários, quanto em terras potenciais para a descoberta de novos jazimentos de rochas ornamentais.

Quanto à geomorfologia, duas unidades estão cartografadas: Planalto da Borborema e Superfície Sertaneja. Têm-se ainda as formações em forma de tabuleiros e de mesetas constituídas pelo Arenito Tacaratu da Bacia do Jatobá.

Em termos de infra-estrutura a região é servida por energia elétrica fornecida pelo sistema CHESF/CELPE, contando ainda com serviços telefônicos de boa qualidade fornecidos pela TELEMAR, além de contar com postos de saúde, hospitais e rede de escolas públicas que fornecem educação até o nível de 2º grau. Tal fato facilita bastante à instalação de futuros empreendimentos mineiros, notadamente no setor de rochas ornamentais.

CAPÍTULO 2 - GEOLOGIA REGIONAL

2.1 - TRABALHOS ANTERIORES

A área foi palco de vários estudos geológicos regionais. A partir da década de 80, em consonância com estudos de cunho eminentemente geocientíficos, foram realizados trabalhos de prospecção acerca do potencial da área em termos de rochas ornamentais para revestimento, com o objetivo de fomentar o desenvolvimento deste setor no semi-árido nordestino.

Os estudos geológicos pioneiros nesta região se devem a Barbosa (1964), o qual englobou todas as supracrustais no Grupo Uauá, posteriormente redefinido como Complexo Cabrobó. Trabalhos mais detalhados de Santos (1971 e 1977) resultaram em revisão da cartografia e estratigrafia da área, seguindo-se a individualização de um Pré-Cambriano médio a inferior e um Pré-Cambriano Superior, dividido em 02 (dois) conjuntos: Complexo Alto Moxotó, englobando três seqüências gnáissicas mais ou menos migmatizadas, com protólitos de natureza máfico-ultramáfica (Seqüência Feliciano), metapelitos (Sertânia), e os micaxistos tipo Caroolina, datados do Neoproterozóico, com intercalações de mármore, raros anfíbolitos e quartzito basal.

Ainda nestes estudos, o autor considera granitos intrusivos apenas no Complexo Alto Moxotó, reconhecendo também os granitóides cambro-ordovicianos associados à Faixa de Cisalhamento Poço da Cruz-Cruzeiro do Nordeste, conhecidos na literatura geológica como “Granitóides Tipo Moderna”.

Com base nos conceitos de Anheusser et al. (1969), Costa et al. (1978) considerou a seqüência gnáissico-migmatítica correspondente ao denominado Complexo Cabrobó, como um provável “Mobile Belt”. Tal concepção foi resultado da semelhança entre esta unidade com as formações congêneres africanas. Com base nesta hipótese de trabalho, a porção situada ao sul do Lineamento Pernambuco foi considerada uma Área Cratogênica.

Resultados de datações geocronológicas efetuadas pelos métodos Rb-Sr e U-Pb, executados por vários autores, dentre os quais citam-se Brito Neves (1975, 1983, 1995 e 1998) e Santos (1977, 1995 e 2000), reconheceram na área de Floresta terrenos datados do Arqueano e do Paleoproterozóico (Transamazônico), retrabalhados no Meso e Neoproterozóico. Tais autores individualizaram as seguintes unidades: Complexo Floresta, representado por metaplutônicas de composição intermediária a básica, supracrustais polideformadas migmatizadas ou não, designadas como Complexo Cabrobó, Grupo Monteiro e Grupo Salgueiro-Cachoeirinha (estes não aflorantes na Folha Sertânia), suítes metamáficas mineralizadas em Fe-Ti e talco, Suíte Granítica Riacho do Navio, suítes graníticas de idade Uruaúanas e suítes graníticas datadas do Brasileiro.

Wanderley (1990) descreve na Folha Monteiro, vizinha à área em estudo, uma unidade basal gnáissico-migmatítica arqueana e uma faixa de supracrustal paleoproterozóica, representada pelos complexos Sertânia, São Caetano e Irajá. Posteriormente, a área foi reestudada por Santos (1995, 1996 e 1999), o qual propôs para a Província Borborema uma subdivisão e evolução geotectônica baseada na colagem de terrenos tectono-estratigráficos distintos, limitados por zonas de cisalhamento. Este autor postulou que os terrenos foram justapostos durante as orogêneses Cariris Velhos (idade Greenville) e Brasilianas (Pan-africana). Esta última foi a responsável pela justaposição e dispersão dos terrenos.

Medeiros (2000), em trabalhos de integração geológica referentes à Folha Aracaju-NE na escala 1:500.000, adotou as postulações de Santos (op. cit.) e baseado naqueles conceitos separou na folha os terrenos Alto Moxotó (TAM), Rio Capibaribe (TRC) e o Pernambuco-Alagoas (PEAL). O limite entre o TAM e o TRC é feito através da zona de cisalhamento Congo-Cruzeiro do Nordeste de rejeito sinistral, enquanto o TRC acha-se separado do PEAL pelo Lineamento Pernambuco de movimento dextral.

Na área em estudo, as coberturas fanerozóica estão representadas pelos sedimentos da Bacia de Jatobá, cuja origem acha-se relacionada ao processo de rifteamento do Supercontinente Gondwana ocorrido durante o Eo-Cretáceo. Segundo Rocha & Leite (1999), esta seqüência sedimentar constituiu o primeiro ciclo deposicional nas bacias intracratônicas sobre condições ortoplatasformais, quando a plataforma brasileira já se encontrava consolidada e estabilizada.

A partir da primeira metade dos anos 80, a região passou a ser foco de trabalhos de cunho prospectivo, cujo objetivo era avaliar o seu potencial em jazimentos de granito considerados passíveis de aproveitamento pela indústria de rochas ornamentais. Em 1983, editou-se o trabalho pioneiro de Zanini, o qual resultou do convênio CPRM/Minérios de Pernambuco. Este estudo foi o primeiro a destacar a vocação do embasamento cristalino de Pernambuco para a existência de jazimentos de rochas com fins ornamentais, recurso mineral, até aquela época, sem maior importância no cenário de economia regional. Em seguida, vem o trabalho sistemático de cadastramento realizado pelo governo de Pernambuco, através da antiga Minérios de Pernambuco. Como resultado dos esforços despendidos, a Minérios de Pernambuco editou, em 1987, o “Catálogo dos Granitos de Pernambuco”, o que constituiu um marco fundamental na geração de informações geoeconômicas do setor público para a iniciativa privada.

O trabalho da Minérios de Pernambuco redundou no investimento de empresários interessados em dinamizar o setor. Atualmente, Pernambuco conta com 03 (três) serrarias em atividade e cerca de 08 (oito) jazidas em funcionamento. Tal ação contribuiu para o crescimento da atividade mineral neste estado, propiciando a geração de emprego e renda no semi-árido nordestino. Enfim, dos trabalhos elaborados para edição do “Catálogo de Granitos de Pernambuco” foram destacados na folha objeto deste estudo, jazimentos dos granitos ornamentais tipo Vermelho Frevo e Vermelho Ipanema.

Segundo Mendes (1992), em palestra realizada na Federação das Indústrias do Estado de Pernambuco-FIEPE, o surto desenvolvimentista da industrialização das rochas ornamentais do Nordeste Brasileiro teve início em meados da década de 50 na Bahia, com a implantação das primeiras pedreiras mecanizadas. Durante os anos 80 este crescimento ficou marcado nos estados de Pernambuco, Ceará, Paraíba, Alagoas e Rio Grande do Norte.

Com o objetivo de fomentar a produção de rochas ornamentais em Pernambuco, notadamente na Região Agreste, onde se inclui a Folha Sertânia, o Governo Estadual, através da Gerência de Minérios da AD DIPER, criou em 1993 o Programa Pedra Bonita. Esta proposição previa o apoio financeiro do Banco de Desenvolvimento do Estado de Pernambuco-BANDEPE e do Banco do Nordeste do Brasil-BNB para a pesquisa, lavra e beneficiamento de rochas ornamentais. Tal ação previa também a concessão de incentivos fiscais, como a postergação do ICMS para as empresas que investissem no setor graniteiro local (Programa Cresce Pernambuco).

Em meados de 1993, a Gerência de Minérios da AD DIPER e o SINDIPEDRAS-PE, protocolaram, junto aos bancos acima referenciados, o programa Pedra Bonita. Sua aprovação resultou no incremento do setor extrativo fabril do estado, com a entrada em operação de 05 (cinco) novas jazidas, além da instalação de 02 (duas) serrarias em Belo Jardim, 05 (cinco) em Bezerros e 01 (uma) em Suape.

No início de 1997, ou seja, após 14 (quatorze) anos do trabalho pioneiro de Zanini (1983), a CPRM, na qualidade de Serviço Geológico do Brasil, retomou as atividades de fomento neste setor com o Projeto Rochas Ornamentais de Pernambuco, quando elaborou o Mapa de Atratividade Econômico-Geológica (MAEG). Esta atividade baseou-se na sistemática adotada por Barbosa & Paiva (1998) e no Mapa de Infraestrutura, Direitos Minerários e de Ocorrências de Rochas Ornamentais da Folha São Francisco. Em continuidade ao projeto em epígrafe, a CPRM iniciou a partir de agosto de 1998, o Mapa de Atratividade Econômico-Geológica da Folha Garanhuns. Tal trabalho (Mendes et al., 2003) apresentou em texto e no MAEG os dados sobre jazimentos inéditos e cadastrados anteriormente, incluídos no contexto regional, atualizados durante as inspeções realizadas no transcorrer da fase de campo. O projeto acima descrito prestou auxílio a todos aqueles que necessitaram de esclarecimentos econômico-geológicos, principalmente sobre a Folha Garanhuns, que continua sendo um dos palcos mais importantes para a prospecção e produção de material pétreo ornamental no Estado de Pernambuco.

Mendes (2002) teceu uma correlação entre os jazimentos de rochas ornamentais e os eventos tectônicos atuantes no território brasileiro, correlacionando-se eventos geológicos ocorrentes na Folha Garanhuns (escala 1:250.000) com jazimentos de granito tipo Vermelho Frevo, aflorantes na Folha Sertânia. Mendes et al. (2002) elaboraram texto sobre o condicionamento geológico das rochas ornamentais das folhas Belém do São Francisco e Garanhuns, incluindo também os depósitos da Folha Sertânia. Nesta última, cadastraram-se os jazimentos do Granito Frevo, tecendo-se considerações sobre a economicidade das rochas e perspectivas destas nos mercados nacional e internacional.

2.2 - CONTEXTO GEOLÓGICO REGIONAL

A Província Borborema foi caracterizada inicialmente por Almeida et al. (1977, 1981), como uma entidade geotectônica do Nordeste Brasileiro, tendo sido intensamente afetada pelo Ciclo Brasileiro/Panafricano (700-450 m.a.), o qual constitui o último evento orogênico atuante na região. Neste domínio, são característicos o volumoso plutonismo granitóide e as importantes zonas de cisalhamento de idade Neoproterozóica/Brasiliana.

Schobbenhaus et al. (1984) elaboraram uma subdivisão do território nacional em regiões, sistemas e faixas de dobramentos, associados à Orogênese Brasileira e crátons correlatos. A Província Borborema, conforme exposto na fig. 2.1, engloba a maior parte da região nordestina e limita-se ao sul com o Cráton São Francisco; a leste mostra-se recoberta pelos sedimentos das bacias costeiras, e a oeste pelas bacias interiores.

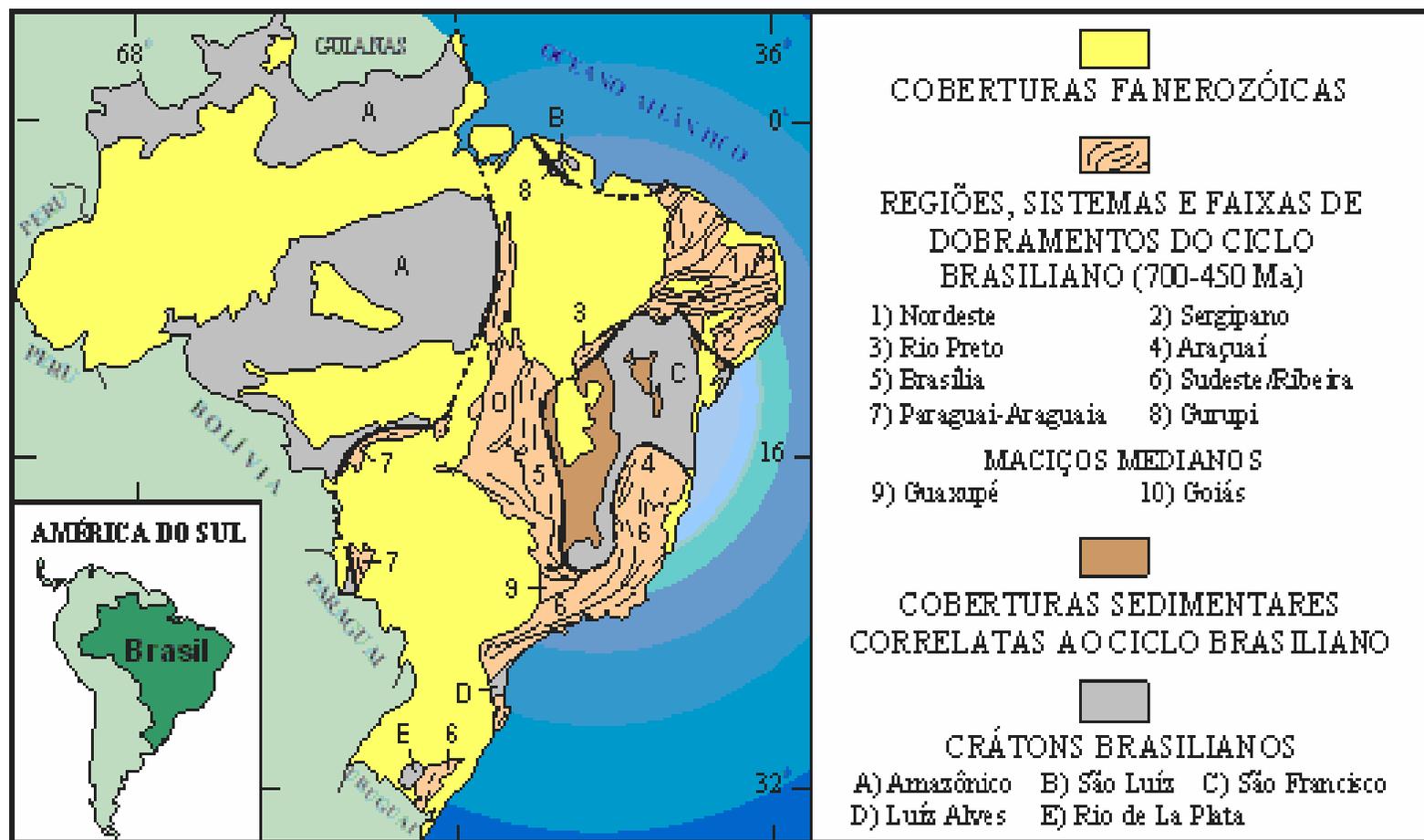


Fig 2.1- Compartimentação do território brasileiro (regiões, sistemas de falhas, faixas de dobramentos, crátons), segundo Schobbenhaus et al. (1984). A Província Borborema de Almeida et al. (1977 e 1981), compreende a região de Dobramentos Nordeste e a Faixa Sergipana (áreas 1 e 2 da figura).

O primeiro modelo tectônico para essa província foi proposto por Brito Neves (1975) o qual, com base na clássica teoria geossinclinal, definiu áreas relativamente estáveis (maciços medianos, geanticlinais) e faixas dobradas miogeossinclinais e eugeossinclinais. Este modelo tectônico vislumbrava uma evolução monocíclica, cuja história geológica se daria no Ciclo Brasileiro. Seu principal traço estrutural define uma hierarquia tectônica, constituída por sistemas ou faixas de dobramentos, maciços medianos e lineamentos. Segundo esse autor, distinguem-se as faixas de Dobramentos: Sergipana, Riacho do Pontal, Pajeú-Paraíba, Piancó-Alto Brígida, Seridó, Jaguaribe e Médio Coreau, separadas pelos maciços Pernambuco-Alagoas, Rio Piranhas, Tróia e Granja, incluindo alguns núcleos de embasamento; e os lineamentos Pernambuco, Patos, Senador Pompeu e Sobral - Pedro II, entre outros. Essa subdivisão seria aperfeiçoada posteriormente (Brito Neves, 1983; Santos et al. 1984), com a noção de “domínios tectônicos”, reconhecendo-se os domínios Médio Coreau, Cearense, Transnordestino ou Central, Extremo Nordeste e Sergipano. (fig. 2.2). Santos e Brito Neves (1984) utilizaram a designação Faixa de Dobramentos Nordeste para a província e a subdividiram em domínios estruturais (Fig.2.3).

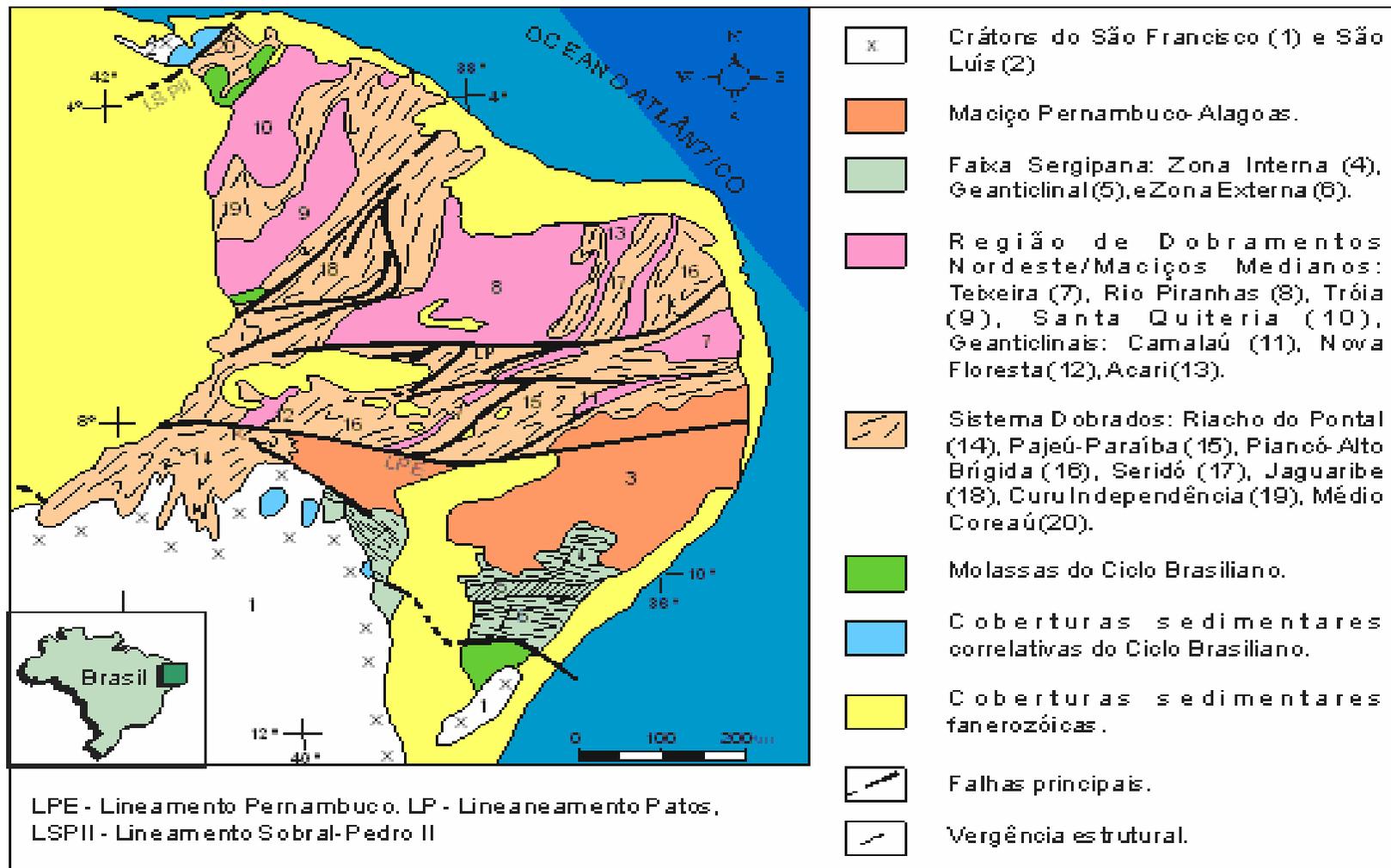


Fig. 2.2 - Faixas dobradas e maciços na Província Borborema, segundo Almeida (1977). Fonte: Brito Neves (1983).

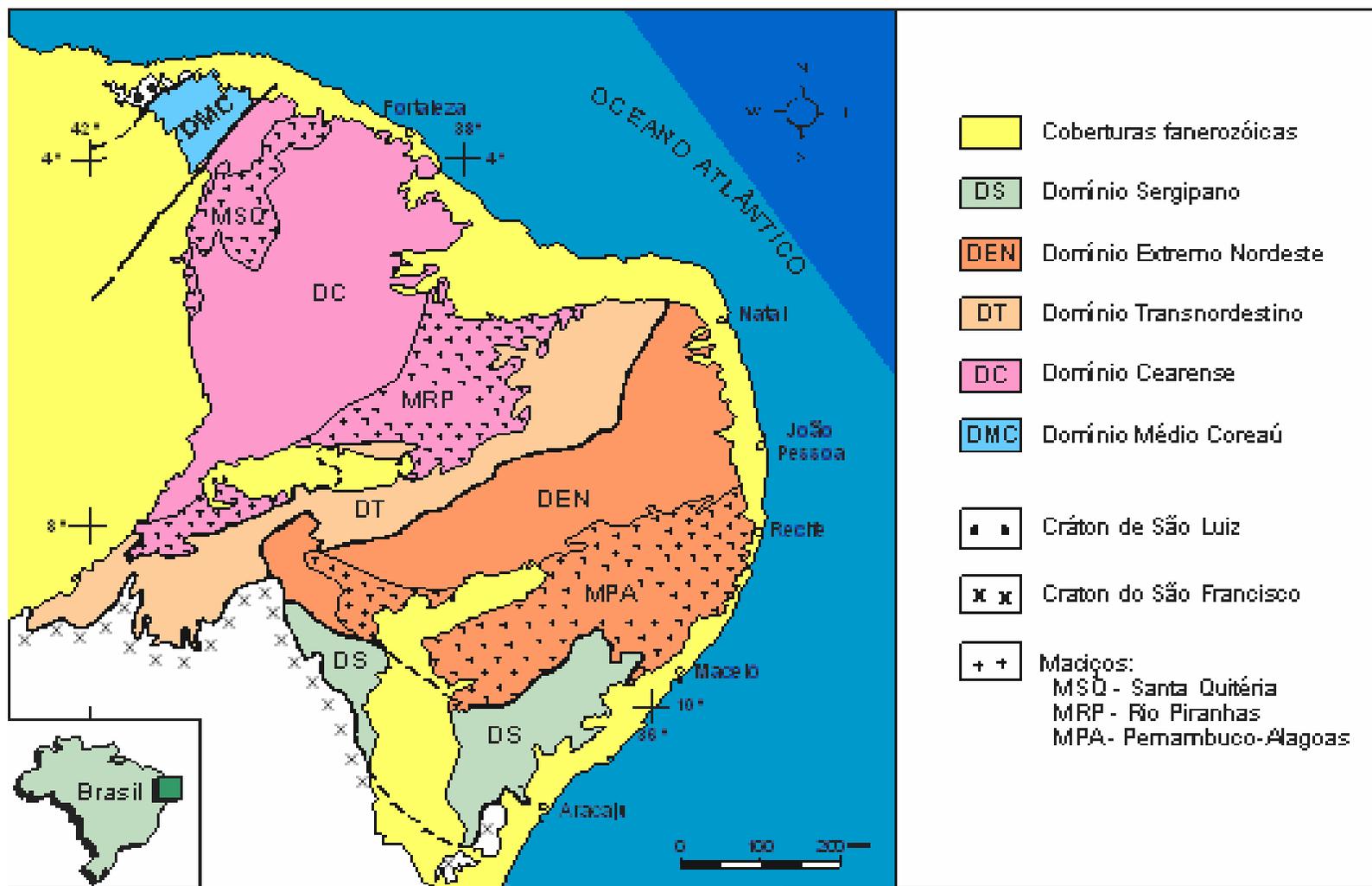


Fig. 2.3 - Domínios estruturais da Província Borborema/Região de Dobramentos Nordeste, propostos por Santos et al. (1984).

Datações K-Ar e Rb-Sr levaram Almeida (1968) e Brito Neves (1975) a considerar que o evento Brasiliano/Panafricano estaria superposto a ciclos orogênicos mais antigos (principalmente o Transamazônico), bem documentado nos maciços medianos.

Com a introdução dos métodos de análise geométrica em estudos estruturais na região, ficou evidenciada uma evolução polifásica e policíclica. A aplicação desses métodos levou Jardim de Sá et al. (1988, 1992) a proporem um novo modelo para a Província Borborema com a identificação de faixas supracrustais monocíclicas afetadas por orogêneses pré-Brasiliana, Transamazônica e Cariris Velhos (Fig 2.4). Jardim de Sá et al (1992), Jardim de Sá (1994) e Campos Neto et al. (1994) consideraram a individualização de um cinturão situado entre os lineamentos Patos e Pernambuco, denominando-o de “Domínio da Zona Transversal”, o qual inclui a antiga unidade definida por Ebert (1964), como ” Zona Transversal”.

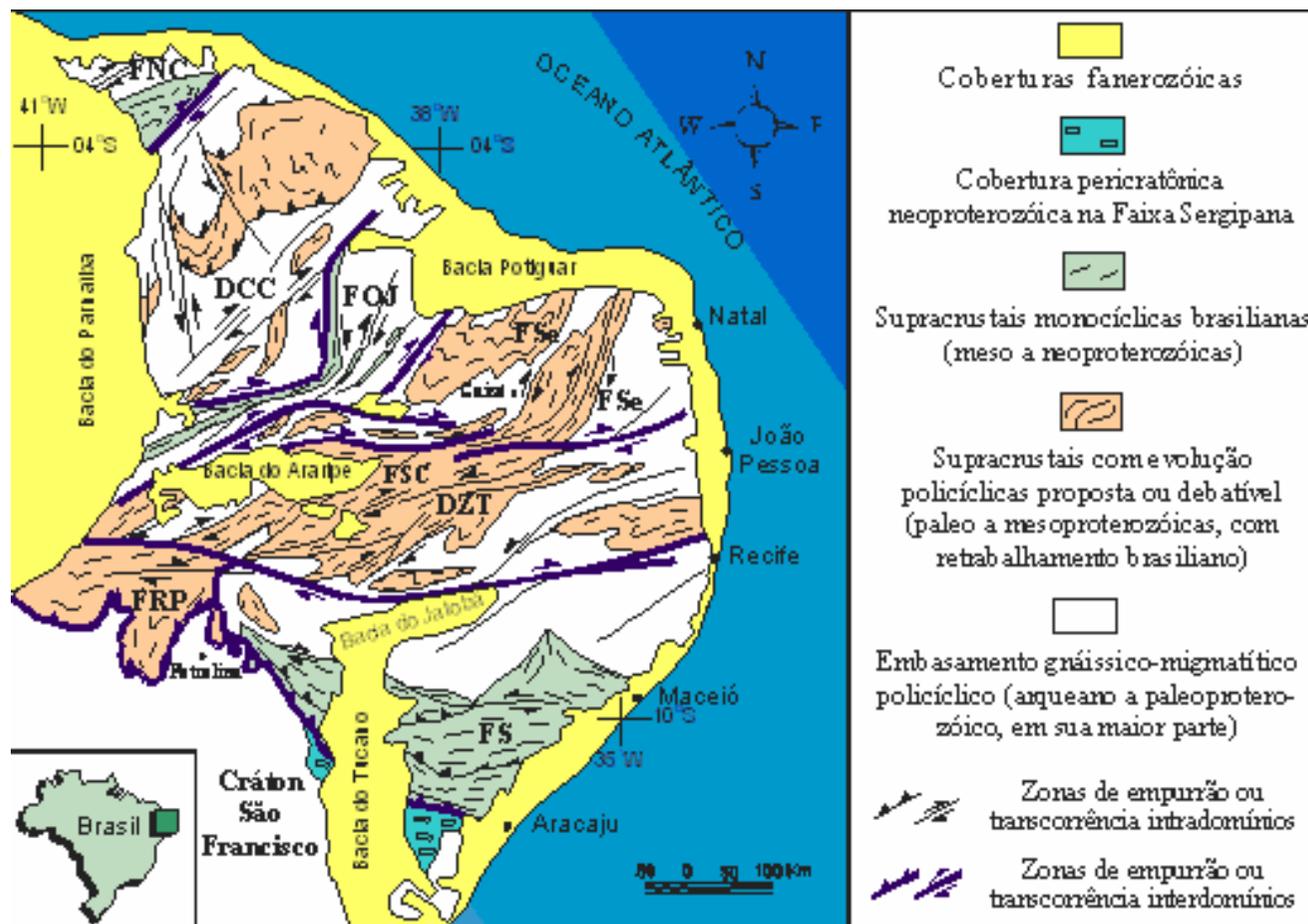


Fig. 2.4- Regiões da Província Borborema com evolução monocíclica ou policíclica, e delimitação em subprovíncias ou domínios estruturais, segundo Jardim de Sá et al. (1988), Caby et al. (1991) e outros representado em Jardim de Sá (1994). DCC, Domínio Ceará central; DZT, Domínio Zona Transversal; FNC, Faixa Noroeste Ceará; FOJ, Faixa Orós-Jaguaribe; FRP, Faixa Riacho do Pontal; FS, Faixa Sergipana; FSC, Faixa Salgueiro-Cachoeirinha; FSE, Faixa Seridó.

A obtenção de datações geocronológicas por diversos métodos, com idades em torno de 1.1 a 0.95 Ma., é interpretada por diversos autores como que indicativa de um evento Wilsoniano. Isto levou Brito Neves (1995) a formalizar a atuação de mais um evento orogênico na Província Borborema, desta feita na Zona Transversal, o denominado Evento Cariris Velhos, equivalente ao Kibariano na África, Sunsás em Rondônia e Greenville no Canadá. Entretanto, uma hipótese alternativa é postulada, por Bittar (1998), considerando um contexto anorogênico/rifte para o evento Cariris Velhos, onde algumas feições são defendidas como a de um evento mais jovem (Brasiliano). Estudos com base em determinações geocronológicas U-Pb e Sm-Nd, desenvolvidos por Van Schmus et al. (1995) e Brito Neves et al. (2000), propuseram uma subdivisão em compartimentos tectônicos das entidades descritas por Santos (1996) e Santos et al. (1999, 2000), como terrenos tectonoestratigráficos, que são segmentos crustais limitados por falhas ou zonas de cisalhamento, com estratigrafia e evolução tectônica definidas e distintas dos terrenos adjacentes.

Ao sul do denominado Lineamento Pernambuco tem-se o Domínio Meridional (ver fig. 3.2), constituído pelo Maciço Pernambuco-Alagoas e Faixa de Dobramentos Sergipana. O primeiro mostra-se constituído por paragneisses a biotita com intercalações de máficas, calcissilicáticas, mármore e quartzitos; o segundo formado por ortogneisses migmatizados de composição variando de granítica a granodiorítica, com termos tonalíticos e com paleossoma de rochas máficas de composição quartzodiorítica. A Faixa Sergipana constitui uma seqüência vulcano-sedimentar metamorfisada na fácies xistos verdes e intensamente deformadas, formada durante o Neoproterozóico, mais precisamente no evento Brasiliano.

Ainda associado ao Neoproterozóico, o domínio em questão foi palco de intenso plutonismo de composição granítica, notadamente na região ao sul de Arcoverde, mais precisamente Águas Belas, Bom Conselho e Correntes, todas no Estado de Pernambuco. Este plutonismo associa-se a possível arco magmático, separando faixas dobradas distintas. Sua composição é cálcio-alcalina com tipos alcalinos de alto potássio, incluindo termos shoshoníticos. Ocorrem também tipos peraluminosos a duas micas, resultantes de fusão parcial de metassedimentos aflorantes a sudeste de Arcoverde, mais precisamente na região de Capoeiras, onde foi catalogado interessante litotipo de coloração cinza-esbranquiçada passível de aproveitamento como rocha ornamental.

2.3 - GEOLOGIA ESTRUTURAL E COMPARTIMENTAÇÃO TECTÔNICA REGIONAL

Em termos tectônicos, a área em foco insere-se em sua maior porção na denominada Zona Transversal da Província Borborema, englobando partes dos Terrenos Rio Capibaribe (TRC), Alto Moxotó (TAM) e Pernambuco-Alagoas (TPA). Constitui um arcabouço tectônico-estrutural polideformado, sujeito as várias fases de deformação, metamorfismo regional e plutonismo granítico associado (ver fig. 2.5).

A intensa atividade tectônica atuante sobre a região influenciou de forma significativa na formação dos jazimentos de rochas ornamentais detectados na área, à semelhança do Granito Vermelho Frevo, considerado um tipo nobre dentre as rochas ornamentais, e passível de ser negociado no mercado internacional de blocos.

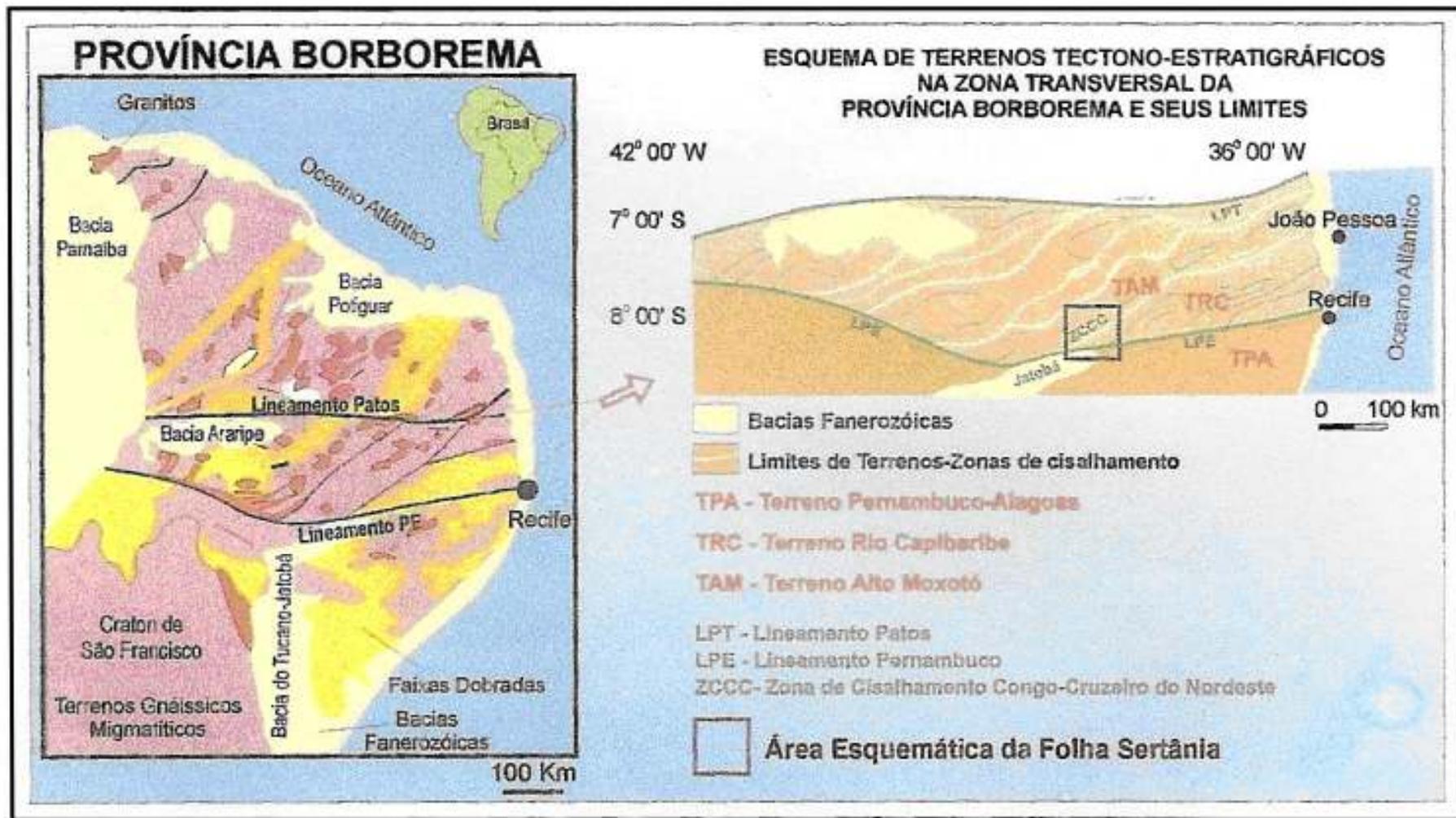


Fig.2.5- Encarte tectônico da Folha Sertânia. Fonte: Santos (2008), no prelo.

Em termos estruturais, os setores da Folha Sertânia dispõem-se nos terrenos Alto Moxotó, Rio Capibaribe e Pernambuco-Alagoas, limitados respectivamente pelas zonas de cisalhamento de Congo e do Lineamento Pernambuco. O Terreno Alto Moxotó, situado na porção centro-noroeste da folha, apresenta estruturação principal na direção noroeste-sudeste, tendo sido palco de intensa tectônica compressiva, secundada pela atuação de movimentos transcorrentes subjacentes.

Os terrenos Pernambuco-Alagoas e Rio Capibaribe mostram estruturação principal disposta na direção nordeste, com sentido de caimento para sudeste e vergência tectônica para noroeste. Em alguns setores, as lineações de estiramento observadas mostram sentido de movimento perpendicular à direção de foliação, constituindo uma feição típica de deformação tangencial com movimento inverso. Apresentam ainda uma estruturação formada por $S_1//S_0$ redobrado em dobras de estilo isoclinal invertidas a recumbentes da fase F_2 , redobradas em F_3 , as quais apresentam estilo aberto de plano axial subvertical a vertical e eixos para nordeste, coaxial aos das fases anteriores. As deformações $D_1//D_2$ foram geradas sobre a ação de uma tectônica tangencial, enquanto a fase D_3 associa-se a atuação de um evento transcorrente que sucedeu à fase anterior.

A intensa tectônica cisalhante, atuante nesta região, acha-se representada pelo Lineamento Pernambuco, de rejeito dextral, que limita os terrenos acima referenciados, seguidos pelos cisalhamentos de movimento sinistral do Cruzeiro do Nordeste e Serra dos Pinheiros, os quais modelaram o posicionamento dos granitóides tipos Moderna e Estrela d'Alva, respectivamente.

A área concernente ao Terreno Alto Moxotó constitui o setor que apresenta até o momento, as melhores ocorrências de rochas ornamentais da região estudada. Acha-se limitado aos demais terrenos pela Zona de Cisalhamento de Cruzeiro do Nordeste e dentre as diversas unidades geológicas a ele circunscritas ocorrem os Complexos Floresta, Sertânia e Surubim-Caroalina, que perfazem cerca de 50% da folha. Esta zona notabiliza-se no terreno pela intensa milonitização que afetou os litotipos pretéritos atingindo de forma indistinta metassedimentos e plutonitos associados (fotos 2.1 e 2.2).



Foto 2.1- Faixa cataclástica em zona de cisalhamento transcorrente desenvolvidos sobre metassedimentos



Foto 2.2 - Afloramento de migmatito paraderivado do Complexo Vertentes na Zona de Cisalhamento de Cruzeiro do Nordeste.

Este terreno possui uma estruturação disposta na direção noroeste-sudeste, com sentido de caimento para nordeste e vergência de movimento para sudoeste. O contexto estrutural do setor mostra uma fase de dobramento D_1 , representado por uma foliação S_1 e por dobras intrafoliais, afetadas em uma fase D_2 caracterizada por dobras invertidas a recumbentes, relacionadas a uma tectônica tangencial. Posteriormente, foram afetadas por um redobramento D_3 , de plano-axial subvertical (foto 2.3), constituindo dobras abertas e crenulações de eixos coaxiais aos eixos da fase anterior e dispostos na direção de 320° Az. Esta fase afetou as estruturas pretéritas associadas a uma tectônica tangencial, e deram origem às rampas laterais com movimentação para sudoeste, conforme visualizado nas porções centro-noroeste e nordeste, mais especificamente nos contatos entre os complexos Sertânia e Floresta e também no limite entre os complexos Sertânia e o Surubim-Caroalina. Tais rampas foram ocasionadas pelos cisalhamentos de Cruzeiro do Nordeste e Zabelê, que constituem falhas transcorrentes de rejeito sinistral.



Foto-2.3 Biotita-gnaiss, calcissilicáticas, mármore envolvidos em dobramento invertidos e indicações de cavalgamento com transporte tectônico para SW.

Inseridos nos metassedimentos do Complexo Sertânia, mais precisamente na região de Lagoa da Cidade e do Sítio Jaú, afloram metatexitos de neossoma róseo-avermelhado, os quais encontram-se estruturados no núcleo de uma antiforme de amplitude regional, de caráter invertido a recumbente, com plano mergulhando para nordeste e eixo com mergulho de 5° na direção 320° Az (foto 2.4). Esta estrutura corresponde à fase D₂, que obliterou as foliações S₁//S₀ e as dobras intrafoliais pré-existentes, redobrando-as neste novo evento de deformação plicativa, que foi posteriormente afetado por crenulações abertas de plano-axial subvertical e eixos subhorizontais com direção 10° /320° Az.



Foto 2.4 - Migmatito do Complexo Sertânia, com mesossoma de granada-sillimanita-biotita xisto e leucossoma granítico de coloração róseo-avermelhada, estruturado em antifórme inclinado com vergência para NE.

Estes metatexitos constituem exposições de paragnaisses a biotita e granada, intensamente migmatizados, com neossoma granítico rico em k-feldspato. Sofreu metamorfismo de grau alto na fácies anfíbolito, fato este evidenciado pela migmatização local. Este evento relaciona-se à fase de dobramentos D_2 , tendo posteriormente sido retrometamorfisado para a fácies xisto-verde durante a fase D_3 .

Pelo exposto, verifica-se que o intenso tectonismo tangencial atuante neste local foi responsável pela formação destes metatexitos, que constituem um litotipo interessante em termos de rocha para a indústria de cantaria. Atualmente acha-se em estudos a viabilidade de exploração como rocha ornamental, sendo conhecido no mercado como “Granito Vermelho Frevo”. Na foto 2.5 observam-se suas feições em chapa polida, onde se nota o marcante bandamento gnáissico.

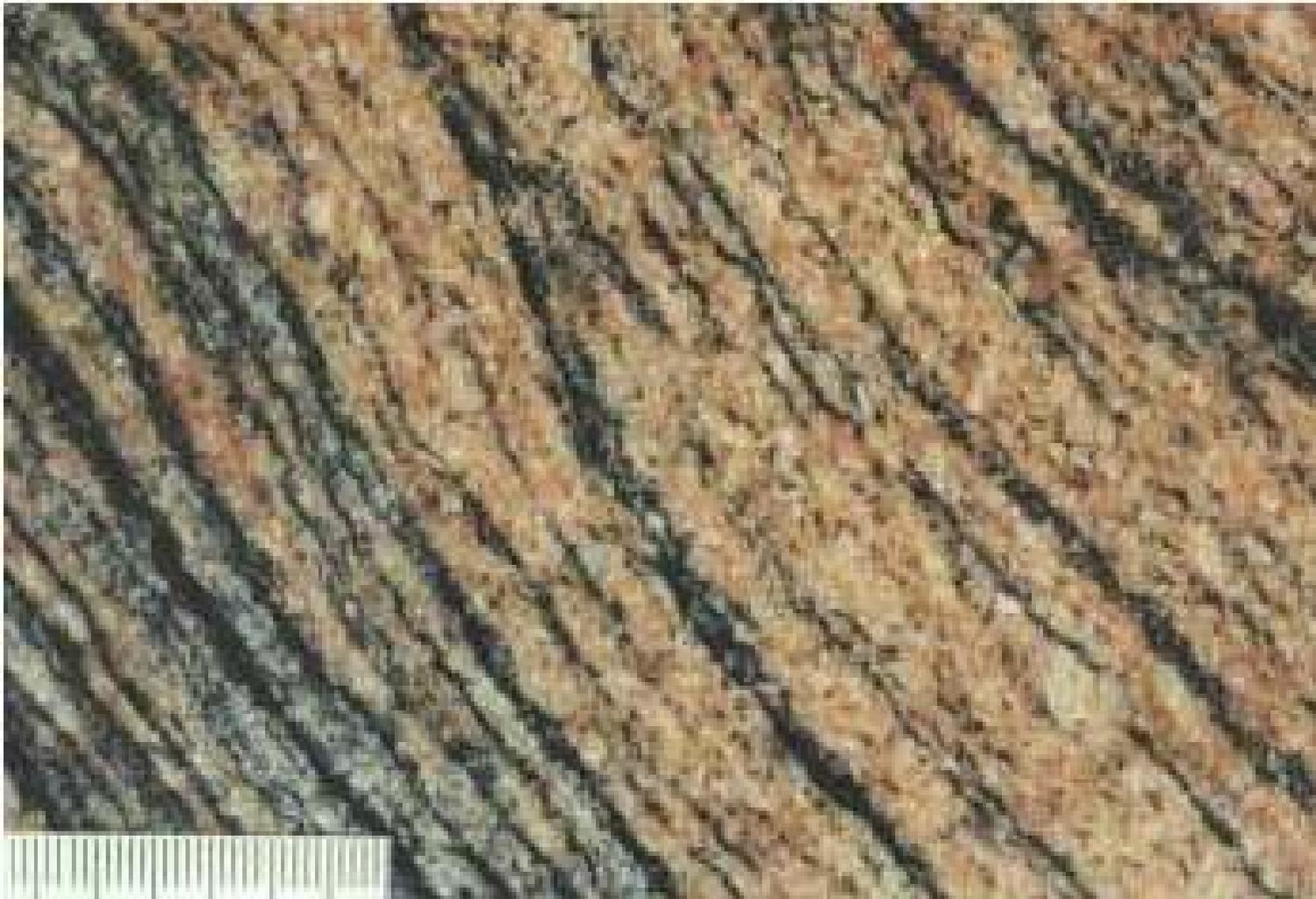


Foto 2.5 – Chapa polida do paragnaisse migmatizado conhecido como Granito Vermelho Frevo.

2.4 - CONSIDERAÇÕES DE CARÁTER PETROLÓGICO E ESTRATIGRÁFICO

Em termos geológicos, a região enfocada foi palco de uma série de eventos tectono-termais que modelaram o arcabouço tectono-estrutural da área, com uma história geológica que se estende do Paleoproterozóico ao Recente. Em termos estratigráficos, a folha em apreço encerra uma sucessão de unidades, onde a disposição das mesmas acha-se condicionada pelos denominados terrenos geológicos, que constituem entidades litoestratigráficas adjacentes, com história geológica distinta e limitada por grandes zonas de cisalhamento de caráter transcorrente.

A unidade mais antiga aflorante constitui o Complexo Rio Una formado por ortognaisses granodioríticos deformados e migmatitizados, contendo ainda metatexitos, além de granada-biotita xistos e paragnaisses migmatizados compostos essencialmente por quartzo, plagioclásio, biotita e granada. Como minerais acessórios os metassedimentos contém: apatita, clorita e opacos. Sofreram metamorfismo elevado na fácies anfibolito alto, e datação geocronológica efetuada pelo método U-Pb forneceu para o conjunto uma idade de 2.0 bilhões de anos, correspondente ao Paleoproterozóico.

O Complexo Floresta é formado essencialmente por ortognaisses de composição variando de quartzodiorítica, tonalítica, granodiorítica, passando por tipos granulitos, migmatitos, além de metagabros, metadioritos magnetita-grunerita xistos, biotita xistos, mármore e calssicilicáticas. Estratigraficamente posicionou-se no Paleoproterozóico, constituindo uma seqüência intensamente deformada, com metamorfismo na fácies anfibolito alto a granulito. Esta unidade apresenta interesse prospectivo tanto em rochas ornamentais, como em minerais metálicos, mais precisamente minério de ferro.

O Complexo Sertânia constitui uma seqüência vulcano-sedimentar também datada do Paleoproterozóico, sendo constituído por biotita-gnaiss granadífero incluindo quartzitos, mármore e calcissilicáticas intensamente deformadas, com metamorfismo alto na fácies anfibolito. Este fácies metamórfico relaciona-se ao evento de deformação plicativa D_2 de amplitude regional, o qual foi posteriormente afetado pelos dobramentos da fase D_3 , concomitante ao desenvolvimento do retrometamorfismo para a fácies xistos verdes. Nas fotos 2.6 e 2.7 observam-se nos paragneisses migmatizados o dobramento isoclinal inclinado a recumbente da fase D_2 , com crenulações das superfícies “S” durante o evento D_3 .



Foto 2.6-Afloramento em paragnaisses migmatizados do metatexito Lagoa da Cidade estruturado em dobras isoclinais recumbentes.

Em termos litológicos o Complexo Sertânia é composto por muscovita-biotita xistos, biotita gnaisse com granada e/ou sillimanita, além de mármore, quartzitos e raras metavulcânicas máficas. Contém metatexitos intensamente deformados com paleossoma constituído de paragnaises a biotita e granada, com neossoma de coloração róseo-avermelhado devido ao seu maior teor em feldspato potássico (foto 2.8). Este metatexito aflora no núcleo de uma antiforme invertida e, devido a sua estruturação intensamente dobrada e aspecto multicolorido constitui um produto de rara beleza, de comprovado interesse no mercado de rochas ornamentais.

Estes metatexitos são compostos por bandamento félsico rico em k-feldspato, plagioclásio e quartzo, em alternância com faixas máficas ricas em biotita, quartzo e granada, cortado por remobilizados quartzo-feldspáticos (fotos 2.9 e 2.10). Pertencem ao Complexo Sertânia, sendo resultado da remobilização e fusão parcial destes metassedimentos durante o evento compressivo relativo ao Brasileiro.



Foto 2.7- Migmatitos bandados mostrando dobras isoclinais inclinadas com vergência para NE.



Fig. 2.8- Vista em bancada do migmatito róseo-avermelhado aflorante em Lagoa da Cidade



Foto 2.9 - Aspecto típico dos migmatitos paraderivados do Complexo Sertânia, com dobras abertas a isoclinais e superfície de plano-axial sub-vertical.



Foto 2.10 - Aspecto dos migmatitos paraderivados do Complexo Sertânia, onde se observa o efeito da superfície de erosão.

Intrudidos no Terreno Rio Capibaribe ocorrem os metamorfitos do Complexo Pão de Açúcar, constituídos por ortognaisses de composição variando de quartzodiorítica, tonalítica a granodiorítica, contendo fácies migmatíticas e granulíticas. Mostram-se intensamente deformados afetado por metamorfismo de alto grau e provavelmente posicionados durante o Paleoproterozóico.

Inseridos no Terreno Alto Moxotó, têm-se os metagranitóides Barra da Serra e os ortognaisses Algodões. Os primeiros constituídos por biotita-hornblenda metagranodioritos e metagranitos porfiríticos. Os últimos representados por ortognaisses graníticos, migmatíticos, com enclaves e diques de anfibolitos. A unidade corta os paragnaisses do Complexo Sertânia e os ortognaisses Algodões que, por sua vez, ocorrem intrudidos no Complexo Pão de Açúcar.

O Mesoproterozóico acha-se representado pela suíte Malhada Vermelha, a qual compreende uma associação máfico-ultramáfica composta por metagabros, metadioritos, metanortositos, metamonzodioritos, com lentes de hornblendito, magnetitos com ocorrências de ferro e titânio; Suíte Camalaú, serpentinito Xilili, ortognaisses Estrela D'Álva, augen-gnaisses Mioré e metatexitos Lagoa da Cidade. A Suíte Camalaú, representa-se por ortognaisses de composição tonalítica a trondjemítica, granítica e sienítica. O corpo de Xilili compreende uma intrusão de composição serpentinitica contendo mineralizações de asbesto antofilitico. Os ortognaisses Estrela D'Alva apresentam composição peraluminosa constituindo granodioritos granadiferos. Os augen gnaisses Mioré compõe-se de granodioritos e ortognaisses migmatíticos graníticos com matriz biotítica, inseridos no Terreno Alto Moxotó. Tem-se ainda ortognaisses Estrela d'Alva e os metatexitos de cor róseo-avermelhada de Lagoa da Cidade, que constituem possivelmente migmatização **in situ** dos biotita gnaisses do Complexo Sertânia.

O Neoproterozóico foi palco da Orogênese Brasileira, representada na Folha Sertânia pelos complexos Vertentes e Surubim-Caroalina. O primeiro compreende uma seqüência vulcano-sedimentar, constituída por biotita ou anfibólio gnaisse, metavulcânica félsica a intermediária, além de metavulcanoclásticas, calcissilicáticas e metaultramáficas (foto 2.11). O Complexo Surubim-Caroalina constitui uma seqüência paraderivada, predominantemente pelítico-psamítica, com níveis psamíticos e de sedimentos químicos. Compõem-se de biotita gnaisses granadíferos e biotita xistos, além de lentes de mármore e quartzitos.



Foto 2.11 - Paragnaisses a biotita do Complexo Vertentes, mostrando indicações de zona de cisalhamento contracional com movimento no sentido NW.

O plutonismo Neoproterozóico acha-se inicialmente representado pelos granitóides da Suíte Itaporanga, de composição calcioalcalina de alto potássio, granulação grosseira, textura porfírica, variando de anfibólio monzonito, sienogranito a granodioritos porfíricos. Aflora nos quadrantes sudeste e centro-norte da área estudada.

A Suíte Moderna insere-se no Complexo Vertentes e apresenta composição peralcalina, formada por quartzo sienito e sienito a aegerina-augita e anfibólio alcalino. O magmatismo é provavelmente de sin a tardi-transcorrência, intrudido no Terreno Rio Capibaribe. Mostra-se controlado pelos cisalhamentos transcorrentes de Cruzeiro do Nordeste, Serra do Pinheiro e do Lineamento Pernambuco.

Intrudidos no Complexo Vertentes, tem-se os granitóides tipo Laje de Vaca, sin a tardi-tectônicos. Constitui metagranitóides leucocráticos peraluminosos, com pegmatitos associados. Contém biotita, muscovita, quartzo, plagioclásio e k-feldspato. Posicionados na fase Pós-tectônica do Brasiliano, mais precisamente no Paleozóico ocorrem os granitóides da Suíte Prata, de composição subalcalina a alcalina, compostos por biotita-anfibólio monzogranitos porfíricos e leucocráticos.

O Fanerozóico encontra-se representado inicialmente pelos sedimentos psamíticos da Formação Tacaratu (Paleozóico), constituída por arenitos finos a médios com estratificação cruzada e intercalações de conglomerados. Têm-se ainda coberturas Cenozóicas localmente caracterizadas pelos depósitos coluviais areno-argilosos, inconsolidados, e com porções conglomeráticas. Ocorrem ainda os sedimentos terció-quaternários, inconsolidados, de natureza aluvionar e de terraços. No geral, compõem-se de areias, bolsões argilosos e de cascalhos.

2.5 – POTENCIAL EM ROCHAS ORNAMENTAIS DA FOLHA SERTÂNIA – OCORRÊNCIAS CADASTRADAS

A Folha Sertânia apresenta uma geodiversidade e ambiência geológica favorável à existência de excelentes jazimentos de rochas ornamentais, incluindo tipos denominados nobres, de reconhecida aceitação no mercado internacional de produtos pétreos. Além disso, ocorrem outros tipos litológicos passíveis de negociação no mercado interno.

Os jazimentos cadastrados na área apresentam excelentes exposições. Foram avaliadas principalmente a cor dos litotipos, textura, aspecto estético, padrão estrutural, homogeneidade faciológica, além da densidade do fraturamento, veios, presença de xenólitos e de pontos de oxidação.

Além do levantamento das ocorrências, a presente dissertação pretende fornecer elementos para a uma melhor compreensão sobre o posicionamento geológico dos jazimentos desta região, propiciando uma correlação entre os jazimentos de rochas ornamentais e o arcabouço tectono-estrutural onde se inserem.

2.5.1 - Controle Litoestratigráfico e Estrutural dos Jazimentos

A obtenção deste controle teve por premissa estabelecer a relação entre as ocorrências estudadas com as unidades geológicas mapeáveis, incluindo a influência do seu arcabouço tectônico estrutural e do nível de deformação a que foram submetidas. Como resultado, pode-se estabelecer os controles e a continuidade geológica dos litotipos com características ornamentais semelhantes, facilitando a detecção de tipos similares aos catalogados.

Com a finalidade de desenvolver os futuros trabalhos de pesquisa de detalhe, foi colocada em mapa (em anexo), com contatos definidos e aproximados, as diferentes unidades cartografadas, notadamente as que encerram potencial para rochas ornamentais. Tal assertiva tem por objetivo propiciar, aos pesquisadores e empresários da região, informações que permitam a elaboração de um programa de pesquisa e dirigi-lo em função dos tipos litológicos que se pretende detectar.

Para exemplificar melhor este conceito foram escolhidos os granitos Vermelho Frevo e Sunset Red. O primeiro acha-se associado aos biotita paragnaisse migmatizados de neossoma róseo-avermelhado do metatexito Lagoa da Cidade, tendo como paleossoma restos de biotita gnaisse granadífero. O segundo litotipo compreende um granito vermelho milonitizado, com textura porfírica, muito rico em feldspato, constituindo um álcali-feldspato granito pertencente à suíte calcioalcalina de médio a alto potássio, tipo Itaporanga. Sua forma de aparência e os acessórios de epidoto resultam da atuação de falhas transcorrentes sinistrais que cortam o corpo e imprimem uma estruturação e texturas típicas de zonas cataclásticas, gerando um material de excelente aspecto estético-decorativo.

Com base nestas considerações pode-se programar a pesquisa de rochas semelhantes, tendo como área alvo o granito Vermelho Frevo representado por migmatitos róseo-avermelhados do metatexito Lagoa da Cidade, aflorantes a sudeste de Sertânia. Com relação ao granito Sunset Red, a área piloto para a pesquisa seria a dos granitóides da Suíte Itaporanga, nos locais onde estejam submetidos à ação de tectônica cisalhante de natureza transcorrente, notadamente nas zonas de transtração. Esta afirmação estende-se a todos os tipos cadastrados, pois sua localização e disposição geológica acham-se condicionadas tanto pelas unidades litoestratigráficas, quanto pelo contexto geotectônico em que elas se inserem. Em conseqüência, o conhecimento do arcabouço regional, com o apoio dos trabalhos de interpretação aerofotogeológica, tratamento de imagens e de dados aerogeofísicos, certamente propiciará nestes locais a descoberta de novas ocorrências de rochas para fins ornamentais.

Além das considerações de origem regional, os elementos geológicos observados **in situ**, como a frequência e o espaçamento das fraturas e veios aliados ao aspecto mesoscópico da rocha, serão extrapolados para toda a unidade rochosa.

Apesar dos corpos apresentarem variações locais de caráter faciológico, incluindo mesoscopia e composição, espera-se que as características mesoscópicas dominantes do corpo, observadas na área de estudo, tenham uniformidade e propiciem a linha de prospecção que resulte na descoberta de novos jazimentos.

2.5.2 - Ocorrências Cadastradas

Durante o transcorrer dos trabalhos de campo realizados na Folha Sertânia, foram cadastrados 08 jazimentos de rochas ornamentais, os quais compreendem tipos denominados movimentados, que se notabilizam pela alternância de cores entre as faixas. Na área em estudo esta classe de rochas ornamentais apresenta 02 (duas) tipologias:

Ao primeiro tipo relacionam-se os depósitos dos Sítios Fundão e Riacho Seco. Ambos resultam da ação de falhas transcorrentes de rejeito sinistral por sobre granitóides homogêneos de idade Neoproterozóica.

O jazimento do Riacho Fundão é constituído por rocha granitóide de textura porfírica, grosseira, de cor vermelha, muito rica em K-feldspatos, os quais constituem tanto fenocristais com até 7 cm de comprimento, como também grande parte da matriz (foto 2.12). Em secção delgada observa-se uma rocha de textura fanerítica, inequigranular, porfírica, bastante grosseira, onde os fenocristais de microclina exibem microfissuras preenchidas, algumas vezes, por quartzo. A matriz mostra-se formada por quartzo, plagioclásio e microclina. Na foto 2.13 Têm-se na secção delgada do granito Vermelho Frevo a exposição do seu arranjo intergranular.



Foto 2.12-Chapa polida do Granito Sunset Red. (Fonte: Araujo et al. 2007).

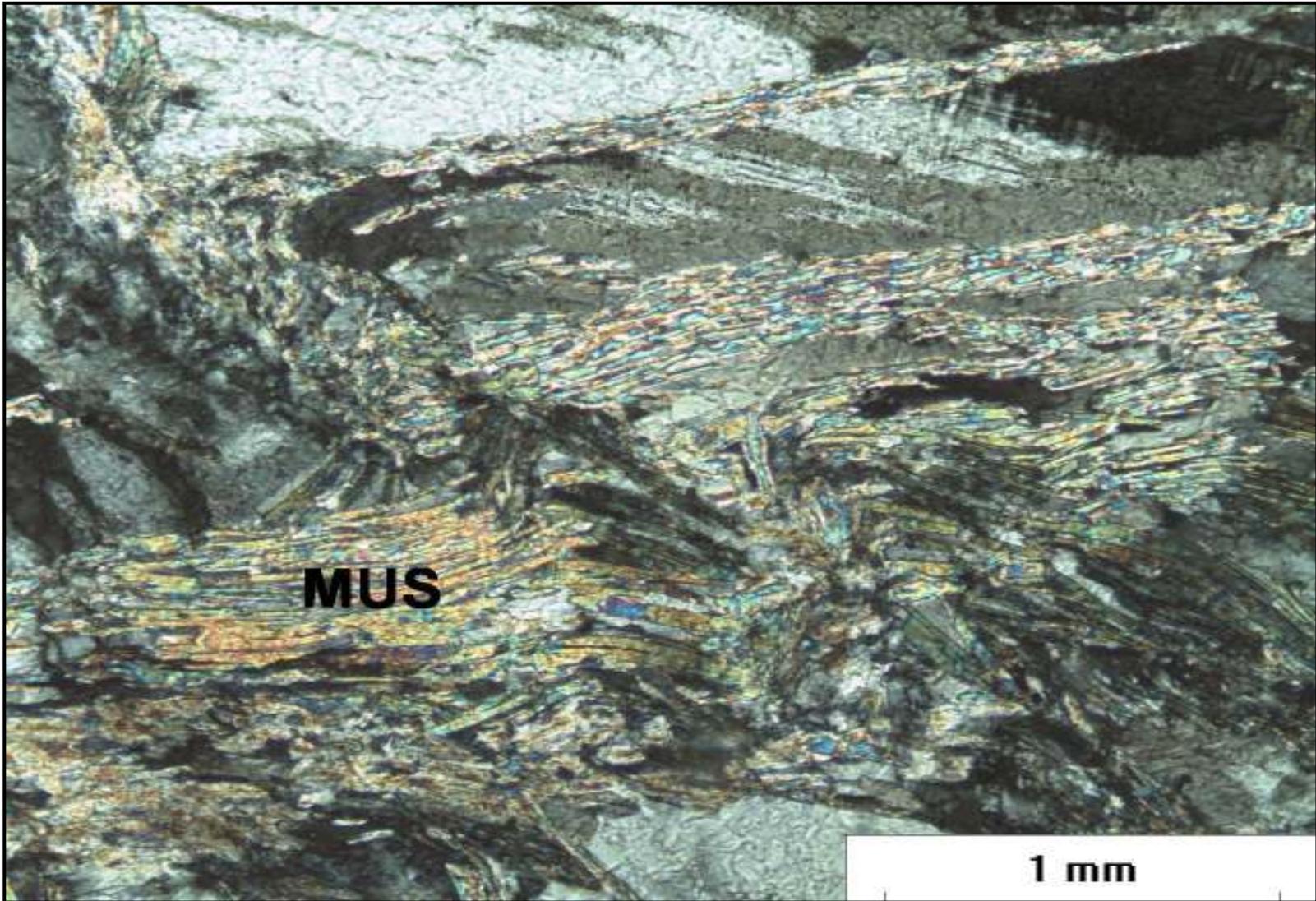


Foto 2.13- Secção delgada do granito Sunset Red.

O pequeno teor de máficos detectados é formado por quantidades acessórias de epidoto, clorita, muscovita. Na tabela 2.1 têm-se a composição mineralógica e modal da rocha. Trata-se de um álcali-feldspato granito a sienogranito porfírico pertencente à Suíte Calcioalcalina de alto K, tipo Itaporanga, cujo padrão textural foi imposto pelo falhamento transcorrente sinistral de direção NE, que corta o plutonito e constitui o condicionante tectônico que gerou o jazimento. Na foto 2.14 tem-se vista da frente de exploração do Granito Sunset Red.

Tabela 2.1 – Composição mineralógica e modal do litotipo

MINERALOGIA	%
k-feldspato (microclina)	70
Quartzo	20
Plagioclásio	10
Acessórios (clorita, muscovita, opacos, biotitas residuais)	<1



Foto 2.14 - Detalhe da frente de exploração, em bancada, do Granito Sunset Red. Fonte: Araújo et al. (2007).

Atualmente esta rocha vem sendo extraída pela “GEOLOG”, que exporta toda a produção para a Itália, através da empresa Red Granite, que o comercializa no mercado europeu com o nome comercial de “Sunset Red” ao preço FOB de US\$ 600. 00/m³.

O jazimento do Sítio Riacho Seco desenvolveu-se em rocha de composição granítica pertencente à Suíte Peralcalina Vila Moderna, a qual foi afetada por cisalhamento transcorrente sinistral de direção nordeste, que milonitizou a rocha e ocasionou a alternância de faixas de coloração marrom avermelhada, rica em K-feldspato e faixas escuras, formadas por máficos. Na tabela 2.2 observa-se a composição mineralógica e modal da rocha, enquanto na foto 2.15 o seu arranjo intergranular.

Tabela 2.2 – Composição mineralógica do granito Red Brown

MINERALOGIA	%
Matriz milonítica	50
Plagioclásio	15
Quartzo	15
Anfibólio Verde	18
Acessórios (Opacos, Titanita, Alanita, Calcita)	2

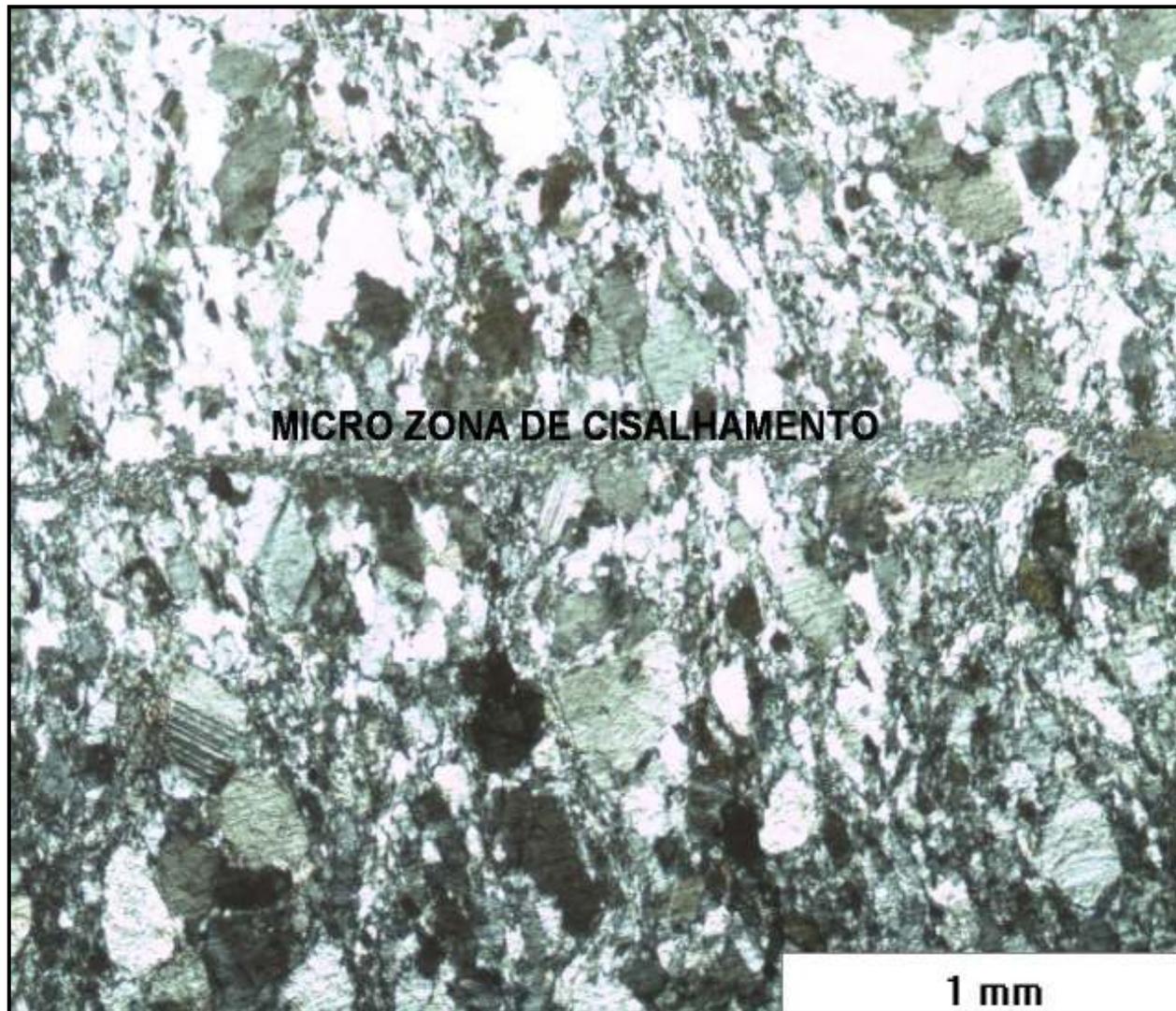


Foto 2.15-Micro zona de cisalhamento cortando perpendicularmente a foliação milonítica. No Granitóide Moderna.

Constitui um produto considerado nobre, sendo negociado no mercado internacional sob a denominação de Granito “Red Brown”. Em placa polida mostra um excelente efeito estético-decorativo, sendo considerado um produto nobre de comprovada aceitação no mercado internacional de rochas ornamentais. Nas fotos 2.16 e 2.17 observam-se diferentes feições da frente de exploração do Granito Red Brown. No momento o jazimento encontra-se em avançada fase de pesquisa, tendo sido autorgado pelo DNPM a Guia de Utilização, que permite a produção de blocos para fins de testes industriais e de mercado.



Foto 2.16 - Frente de lavra, em maciço, do Granito Red Brown. Fonte; Araújo et al. (2007).



Foto 2.17 - Detalhe da frente de exploração, em maciço elevado, do Granito Red Brown. Fonte: Araújo et al. (2007).

A segunda tipologia de rochas denominadas movimentadas é constituído por migmatitos homogêneos de neossoma róseo-avermelhado e paleossoma de coloração escura rica em biotita, quartzo e granada, o que confirma a origem paraderivada para os metatexitos em questão. Sob este controle lito-estrutural desenvolveram-se as ocorrências de Lagoa da Cidade e Muro Grande, localizadas em São Sebastião do Umbuzeiro–PB, além dos depósitos dos Sítios Jaú e Grande Tanque ambos situados em Sertânia–PE.

Tais jazimentos constituem um migmatito homogêneo do tipo metatexito (Winkler, 1977), de coloração róseo avermelhada, com estruturas variando de estromática, schlieren a flebítica, com granulação média a grossa e textura granoblástica. Apresenta leitos de leucossoma de coloração róseo-avermelhada, rico em feldspato potássico, em alternância com faixas do mesossoma formado por biotita gnaisse granadífero. Tais características proporcionam à rocha um aspecto movimentado e dobrado (foto 2.18). Este litotipo foi denominado por Santos (op. cit.) de metatexito Lagoa da Cidade.



Foto 2.18 - Placa polida do Granito Vermelho Frevo.

As pedreiras de Lagoa da Cidade e Muro Grande foram desenvolvidas sobre matacões de grandes dimensões aflorantes nas proximidades. Nas fotos 2.19 e 2.20 tem-se a visão do maciço pesquisado e da frente de lavra de lavra dos migmatitos ali explorados. Na primeira ocorrência o litotipo apresenta uma feição estromática, enquanto nas demais a feição do material extraído mostra um domínio de estruturas nebulíticas.

Nas pedreiras dos Sítios Jaú e Grande Tanque a exploração é feita em litotipo semelhante aos encontrados nos locais acima referenciados, ou seja, um metatexito róseo-avermelhado rico em K-feldspato, tendo como protólito um biotita paragnaisse granadífero.



Foto 2.19 - Afloramento, em maciço, do migmatito conhecido comercialmente como Vermelho Frevo.

Nestas frentes, o desenvolvimento dos trabalhos de lavra deu-se em maciço, notadamente no Sítio Jaú onde foram abertas 06 bancadas dispostas na direção noroeste e perpendicular a direção do esforço compressivo atuante sobre a área, o que proporcionou o alívio do regime de tensões atuantes sobre este maciço.

Nas fotos 2.21 e 2.22 tem-se a visão das diversas frentes de exploração abertas neste maciço. A pedreira de Grande Tanque teve seus trabalhos de extração paralisados devido a intenso fraturamento existente no local. No momento a jazida do Sítio Jaú encontra-se com os trabalhos de lavra suspensos devido a problemas societários do antigo detentor do alvará.



Foto 2.20 - Frente de lavra do migmatito em bancada, onde se nota intensa deformação plicativa sofrida pela rocha.

O migmatito apresenta em chapa polida um conjunto harmonioso e de notável efeito estético-decorativo, notabilizando-se pela existência de faixas claras de cor róseo-avermelhadas em alternância com níveis escuros ricos em biotita. No geral constitui leitos dobrados e intensamente deformados. Em síntese trata-se de um tipo considerado nobre dentre as rochas ornamentais, sendo designado comercialmente como granito tipo Vermelho Frevo.

As modificações de padrão estrutural do metatexito, originado em ambiente de alta plasticidade onde se deu a migmatização, resultou nas conseqüentes variações de tonalidades, proporcionando a rocha uma grande receptividade mercadológica, constituindo um produto passível de ser negociado no mercado internacional de blocos brutos e canteirados ao preço FOB de US\$ 450. 00/m³.



Foto 2.21 - Frente de lavra, em bancadas baixas, da Pedreira do Sítio Tio Jaú.



Foto 2.22- Visão da frente de lavra onde se observa a intensidade da tectônica tangencial atuante sobre a área, com sentido de transporte para sudoeste.

2.5.3 - Arcabouço Geológico da Folha Sertânia e os Tipos de Rochas Possíveis de Serem Detectadas

A consolidação e evolução tectônica da região inserida na Folha Sertânia e a conseqüente geração de jazimentos ocorreram de maneira progressiva e policíclica, em pelo menos 03 eventos tectomagmáticos distintos, relacionados ao Paleoproterozóico, Mesoproterozóico e Neoproterozóico.

O Paleoproterozóico acha-se representado pelos complexos Rio Una, Floresta, Sertânia e Pão de Açúcar. O Mesoproterozóico constitui a principal etapa de geração de rochas ornamentais na Folha Sertânia e localmente acha-se representado pela suíte intrusiva Malhada Vermelha, augen gnaisses Miore, metatexitos Lagoa da Cidade, ortognaisses peraluminosos Estrela d'Álva, serpentinitos aflorantes em Xilili e pelos plutonitos da Suíte Camalaú.

Destas unidades, a Suíte Malhada Vermelha, composta por metagabros, metadioritos e metanortositos pode encerrar granitos pretos tipo "Nero Vero" e esverdeados a semelhança do "Baltic Green". Aos migmatitos da seqüência Lagoa da Cidade, associam-se os granitos Vermelho Frevo. Nos ortognaisses Estrela D'Álva pode-se detectar jazimentos semelhantes ao tipo Arabesco detectados no Espírito Santo. Quanto às demais unidades de idade mesoproterozóica detectadas na área, não apresentam até o momento maiores interesses prospectivos para rochas ornamentais.

O Neoproterozóico, na área em estudo, acha-se representado por seqüências metassedimentares e suítes plutônicas granitóides, não deformadas e de composições químico-mineralógicas variáveis. Encerra um certo potencial em rochas ornamentais e associadas às suas unidades podem-se detectar os seguintes tipos de rochas ornamentais:

- Granitos tipo Branco Prata e Bianco Jabre – atualmente explorados na Paraíba, e que podem ser detectados na Suíte alcalina a Subalcalina Prata – formada por monzogranitos porfiríticos e leucocráticos.
- Granito tipo Ouro Branco – pode estar relacionado aos metagranitóides tipo Laje da Vaca, constituído por metagranitóides peraluminosos e leucocráticos.
- Granitos tipo Vermelho Ipanema e Royal Red – relacionados aos plutonitos da Suíte Cálcioalcalina de médio a alto potássio tipo Itaporanga, formada por sienogranitos e granodioritos porfiríticos. A esta unidade associa-se também o tipo Sunset Red, que se forma quando estes plutonitos são afetados por falhamento transcorrente de rejeito sinistral. Na foto 2.23 tem-se a visão em chapa polida do Granito Vermelho Ipanema extraído em Pedra-PE.
- Granito tipo Red Brown - relacionados aos granitóides tipo Vila Moderna, compostos por quartzo-sienito, sienogranitos e álcali-feldspato granitos de composição peralcalina. A junção do falhamento transcorrente sinistral, com os plutonitos já referenciados, produz o efeito textural que empresta à rocha uma ótima feição estético-decorativa.



Foto 2.23 – Chapa polida do Granito Vermelho Ipanema.

À luz do atual nível de conhecimento, os metamorfitos do Complexo Vertentes não apresentam interesse prospectivo para fins ornamentais. Em contraposição, no Complexo Surubim, o biotita granada xisto e os níveis de mármore devem ser prospectados, pois em futuro próximo podem ser aproveitados pela indústria de cantaria, principalmente pela semelhança com tipos congêneres, aflorantes na região do Seridó (Estado do Rio Grande do Norte), os quais têm sido aproveitados como material de revestimento e em certos casos exportados para países da Europa Ocidental, sob a forma de blocos brutos e canteirados.

CAPÍTULO 3 – ÁREA OBJETO DO ESTUDO DE DETALHE

3.1-PEDREIRA DO SÍTIO JAÚ

A Pedreira do Sítio Jaú situa-se no distrito de Lagoa da Cidade, distando cerca de 15 km de Sertânia. Constitui uma pedreira aberta em paragnaisses migmatizados, cujos direitos minerários pertencem a MC LOPES & RIBEIRO LTDA. A área de estudo já foi objeto de trabalhos de lavra, através de bancadas baixas. Durante o seu transcorrer foram empregados os métodos de corte contínuo e corte a fio diamantado, suplementados pelo emprego da argamassa expansiva.

3.2-GEOLOGIA LOCAL E ASPECTOS PETROGRÁFICOS

Os principais tipos litológicos aflorantes na área da Pedreira do Sítio Jaú são os metatexitos (dominantes) e os biotita gnaisses granadíferos eventualmente migmatizados, com neossoma cinza-esbranquiçado. Localmente, os migmatitos do tipo metatexito mostram-se bastantes deformados, constituídos por uma rocha formada de faixas de coloração cinza-escura intercaladas por leitões de tonalidades róseo-avermelhada, que se apresentam ondulados e dobrados (foto 3.1). Esses leitões de coloração róseo-avermelhada constituem o neossoma, formado essencialmente por quartzo, k-feldspato e plagioclásio, constituindo níveis mais espessos e visivelmente dominantes. As faixas de tonalidade preta a cinza-escura correspondem ao paleossoma da rocha, sendo compostas essencialmente por quartzo, biotita e granada. Tal composição rica em alumossilicatos e granada evidencia uma origem paraderivada para estes gnaisses. Enquanto o paleossoma gnáissico apresenta textura lepidoblástica, os leitões félsicos possuem textura granular e composição granítica.



Foto 3.1 - Frente de lavra do migmatito róseo-avermelhado da Pedreira do Sítio Jaú, em Sertânia-PE

A paragénese mineral acima descrita evidencia condições de metamorfismo alto, na fácies anfibolito, cujo pico ocasionou a fusão parcial dos metassedimentos inferiores, com a formação de mobilizados félsicos, que ocasionaram a migmatização da rocha. Provavelmente, a porção constituída por biotita gnaisses granatíferos pertence ao Complexo Sertânia, datado do Paleoproterozóico, com a migmatização e formação destes metatexitos relacionados ao Neoproterozóico.

O maciço rochoso, objeto da presente pesquisa, aflora no Sítio Jaú, município de Sertânia-PE e constitui uma exposição de 220 metros de comprimento por 200 m de largura, e cerca de 10 metros de altura média. Durante mapeamento de detalhe (escala 1:500), constatou-se a presença dominante dos metatexitos róseo-avermelhados e, subordinadamente, de biotita gnaisses granatíferos de cor cinza-escura. Os dois litotipos mostram-se cortados por corpos concordantes e discordantes de leucogranitos róseos de textura equigranular e granulação média, além de veios pegmatíticos ricos em quartzo e feldspato potássico de coloração rósea.

Na área de estudo, esses litotipos afloram ao longo da estrada que liga Sertânia - Lagoa da Cidade (via Pinto Ribeiro), como pequenos maciços à exceção das exposições catalogadas em Lagoa da Cidade, no Sítio Jaú e em Muro Alto. Nestas localidades existem amplas exposições em maciço rochoso, em alguns casos, constituindo morrotes com cerca de 20 metros de altura e área com centenas de metros de exposição. Em certos locais ocorrem como matacões, constituindo excelentes praças passíveis de exploração, exemplificadas pela ocorrência de Muro Alto.

É comum nestes afloramentos a presença de veios pegmatíticos e de aplíticos de leucogranito róseo cortando as exposições, com dimensões e largura variadas. A densidade destes veios percolando o migmatito mostra-se variável, ocorrendo locais com baixa incidência e outros cuja quantidade torna inviável a exploração de blocos para fins ornamentais.

No afloramento estudado do Sítio Jaú não foi constatada uma grande quantidade de fraturas, veios, enclaves, xenólitos, ou de pontos de oxidação. Em síntese, este local apresenta ótimas condições para a exploração de blocos dentro das rígidas especificações do mercado internacional de produtos pétreos. O setor já foi objeto de exploração pela FUSTE LTDA, que exportou o produto como blocos canteirados, para a França, ao preço FOB de US\$ 450.00/m³. No momento a frente de produção encontra-se paralisada devido a problemas societários. A atual detentora dos direitos minérios é a MC LOPES & RIBEIRO LTDA., que pretende oportunamente reiniciar as operações de lavra.

No maciço estudado, o metatextito róseo-avermelhado, também conhecido no mercado como “Granito Vermelho Frevo” ocupa as porções oeste e central do mesmo (ver mapa de detalhe), enquanto ao norte afloram biotita gnaisses granadíferos. O estudo *in situ* mostra que este litotipo está intensamente dobrado, afetado por vários eventos de deformação e metamorfismo, fato este que empresta ao litotipo um conjunto harmonioso e de notável efeito estético-decorativo.

A análise da atual frente de lavra mostra a existência de dobramentos apertados em estilo isoclinal variando de isoclinal a recumbente, além da presença de veios de quartzo boudinados e de cristais rotacionados de feldspatos, o que evidencia a atuação de um intenso tectonismo de caráter tangencial por sobre o conjunto. Tal fato culminou com a estruturação destes metatextitos em extensa antiforme invertida, com caimento para NE e sentido de vergência do movimento de massa para SW.

Os litotipos do Complexo Sertânia representados por biotita gnaisses e metatextitos acham-se estruturados em uma seqüência de sinformes e antiformes de direção NW (320°), com sentido de caimento para NE e vergência para SW. Este evento tectônico, de caráter nitidamente tangencial, foi responsável pelo alto grau metamórfico sofrido pelas unidades catalogadas, chegando a atingir a fácies anfíbolito alto.

Em termos macroscópicos, os metatexitos apresentam estrutura variando de flebítica a nebulítica, eventualmente com feições schlieren e bandadas. No geral, ocorrem bandas félsicas de cor róseo-avermelhada em alternância com níveis estreitos ricos em biotita e quartzo, constituintes do denominado paleossoma de coloração cinza-escura. Tal feição empresta a rocha um tipo exótico de larga aceitação na indústria de cantaria. Normalmente, ocupam as porções antiformais das exposições aflorantes (vide mapa anexo), enquanto as porções mais gnáissicas dispõem-se nas zonas sinformais.

O estudo em secção delgada deste litotipo apresenta textura lepidoblástica, evidenciada pela existência da extinção ondulante. Apresenta ainda microfissuramento restrito aos feldspatos potássicos, porém em quantidades pequenas, de forma a não prejudicar o emprego da rocha como material de revestimento. Como minerais essenciais contém: quartzo, feldspato potássico, plagioclásio e biotita. Como acessórios apresenta opacos e zircão. Possui ainda sericita, clorita, carbonato originado da saussuritização do feldspato e argilominerais. Em termos petrográficos trata-se de um biotita gnaiss intensamente migmatizado de composição granítica.

A análise microscópica do paleossoma máfico de coloração cinza-escura, evidencia que se trata de uma rocha paraderivada devido ao seu alto teor em alumossilicatos e a presença de granada. Mostra textura xenomórfica a nematolepidogranoblástica, com granulação média. Apresenta extinção ondulante, discreto microfissuramento, além de micas dobradas e redobradas, o que evidencia o intenso tectonismo sofrido pela rocha. Como minerais essenciais contém plagioclásio, quartzo, biotita e hornblenda. Como minerais acessórios têm-se opacos, titanita e zircão. Observa-se ainda a presença de granada e de argilominerais. No geral trata-se de uma rocha gnáissica paraderivada constituindo restitos dentro dos migmatitos dominantes no setor.

Localmente constatou-se a presença de rochas ricas em hornblenda, verde escura, constituindo restos de rochas máficas associadas aos antigos gnaisses regionais. Estas rochas apresentam-se atualmente deformadas, quebradas e rotacionadas, dispostas ao longo dos biotita gnaisses individualizados nas estruturas tipo sinformes. O denominado biotita gnaisse granadífero possui amplitude regional, achando-se inserido no Complexo Sertânia, e em contato direto com os migmatitos róseo-avermelhados, sendo também afetados pelas intrusões félsicas de pegmatitos e aplitos que cortam todo o conjunto. No maciço estudado, aflora na porção leste, mostrando-se bastante dobrado, intensamente deformado e eventualmente migmatizado, atravessado por mobilizados de coloração cinza-clara ricos em quartzo e plagioclásio. Suas melhores exposições são relacionadas ao núcleo de estruturas sinformais inclinadas de direção NW e caimento para NE, com vergência de movimento para SW. Em termos mesoscópicos apresentam coloração cinza-escuro, mostram-se intensamente dobrados, o que evidencia o forte tectonismo tangencial atuante sobre a unidade, a qual foi palco de várias fases de deformações plicativas, culminando com um evento de natureza transcorrente que afetou a seqüência. No geral estes gnaisses apresentam textura lepidoblástica, granulação média e compõem-se de quartzo, plagioclásio, biotita, granada e eventualmente microclina. Apresenta uma paragênese de metamorfismo de grau alto, mais precisamente da fácies anfíbolito.

Análise dos gnaisses do Complexo Sertânia em secção delgada mostra uma textura granolepidoblástica, granulação média, contendo como minerais essenciais quartzo, plagioclásio, muita biotita e granada. Representando os minerais acessórios têm-se opacos e zircão. Como minerais de alteração ocorrem sericita, clorita e argilominerais. No geral trata-se de um biotita gnaisse granadífero eventualmente migmatizado.

Tanto os metatexitos dominantes, objeto do presente estudo, quanto os biotita gnaisses são afetados por diques de leucogranitos de coloração rósea que cortam o maciço aflorante com dimensões e direções variáveis, apresentando-se ora diagonais, outras vezes concordantes com a foliação geral do maciço. No geral, estes leucogranitos apresentam granulação média, textura equigranular, mostram-se destituídos de foliação, constituindo tipos homogêneos não deformados. Suas dimensões variam de decimétricas a métricas chegando a medir, em certos locais cerca de 6 metros de extensão, com largura variando de centímetros a até 0,50 metro.

A análise em secção delgada destes leucogranitos revela que a rocha é um álcali-sienogranito, destituído de deformações plicativas e de microfissuras. Possui textura equigranular, com granulação predominantemente média com porções finas. É formada, essencialmente, por quartzo, feldspato potássico, plagioclásio e pouca biotita. Zircão e a apatita, são acessórios, além de minerais de alteração tais como: clorita e argilominerais.

Os diques de pegmatitos, que também cortam as unidades acima descritas, apresentam dimensões e largura variáveis, dispendo-se na maioria das vezes concordantes com a foliação geral da rocha. Porém, em vários casos cortam discordantemente a foliação regional. Possuem granulação extremamente grosseira, e textura pegmatóide. Suas dimensões variam desde centímetros a metros, com corpos que chegam a medir 2 metros de largura, por 20 metros de comprimento. Possuem composição granítica e são ricos em k-feldspato, contendo quartzo e plagioclásio. Constituem corpos intrusivos associados à fase final do tectonismo brasileiro, relacionando-se à fase de distensão de crosta e, no caso em estudo, associam-se as fraturas de tensão atuantes sobre o maciço. No geral dispõem-se nas direções de 320° Az e 30° Az, respectivamente.

3.3 - LEVANTAMENTO ESTRUTURAL DE DETALHE

A área em apreço foi palco de uma intensa atividade tectônica, documentada por 03 fases de deformações plicativas e progressivas, além de outra de transcorrência associada ao evento F_3 , que imprimiu o atual modelo ruptural que afeta o setor.

Inicialmente a porção da área onde ficam situados os metatexitos róseo-avermelhados foi palco de uma intensa tectônica de caráter tangencial, onde a fase de dobramento F_1 acha-se evidenciada pela foliação S_n e por dobras intrafoliais apertadas. Essas estruturas foram afetadas por dobramentos da fase F_2 em estilo isoclinal apertado, inclinados a recumbentes, com caimento do eixo entre 15° a 25° para NW (310° Az), modelo exposto na fig.3.1. Apresenta caimento da superfície axial para NE e vergência de movimento para SW. Na foto 2.7 (página 41) observa-se a intensidade da tectônica de caráter tangencial atuante sobre a área representada por dobramentos apertados isoclinais inclinados a recumbentes.

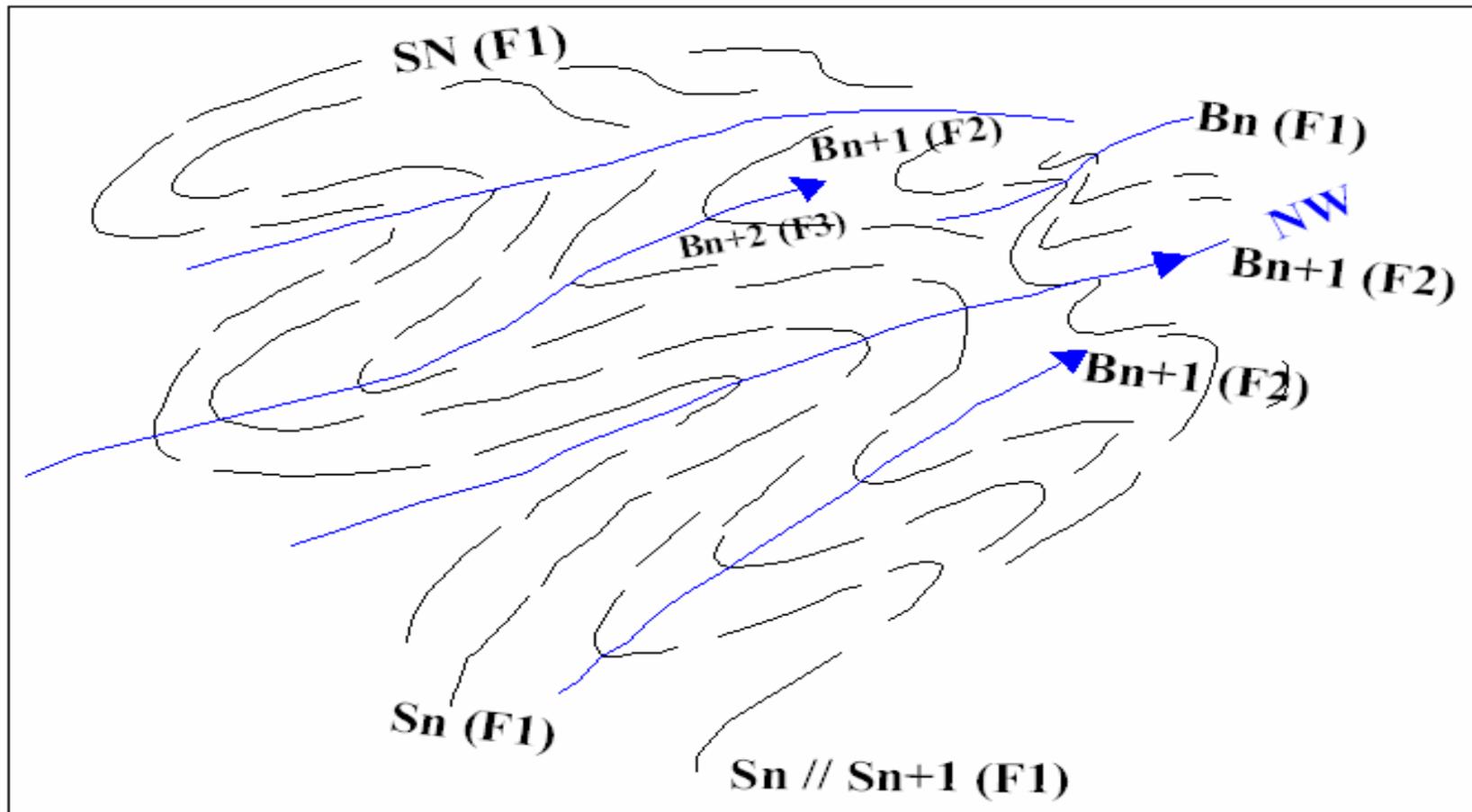


Figura 3.1-Dobramento isoclinal apertado inclinado a recumbente da fase F_2 com caimento do eixo para NW.

No maciço rochoso aflorante no Sítio Jaú nota-se que estes eixos mostram-se coaxiais aos da fase anterior, estando ambos associados a uma progressiva tectônica de caráter compressivo. No geral o caimento do plano axial é para NE com sentido de movimento do transporte de massa para SW (foto 3.2).



Foto 3.2 - Bandas lenticulares e boudans de rocha calcissilicática, estruturadas em um cisalhamento tangencial, com sentido de movimento para NE.

A deformação F_2 , de caráter nitidamente tangencial, foi a responsável pelo alto grau metamórfico (fácies anfibolito alto) que afetou tanto a seqüência metassedimentar, quanto os metatexitos estudados. Relacionados ainda ao dobramento F_2 , mais como resultado da atuação de uma tectônica transcorrente, têm-se dobras de eixo curvo com geometria de bainha (fig. 3.2 e foto 3.3).



Figura 3.2 - Geometria de dobra em bacia, a qual se relaciona ao evento de transcorrência que afetou a área.



Foto 3.3 - Dobra de eixo curvo, com geometria tipo bacia.

Progressivamente, a área foi palco da atuação de uma intensa tectônica transcorrente, que afetou as estruturas geradas em F_1 e F_2 , criando inclusive rampas laterais, conforme exposto no quadrante NE da Folha Sertânia e em menor intensidade na frente de exploração, onde se visualiza sentido de transporte para SW. Esta estruturação, de caráter nitidamente transcorrente, originou as dobras da fase F_3 , que constitui dobras abertas de plano-axial subvertical, que afetou os dobramentos pretéritos, tendo crenulado as superfícies S_{n+1} e S_0/S_n geradas nas fases anteriores (fig. 3.3).

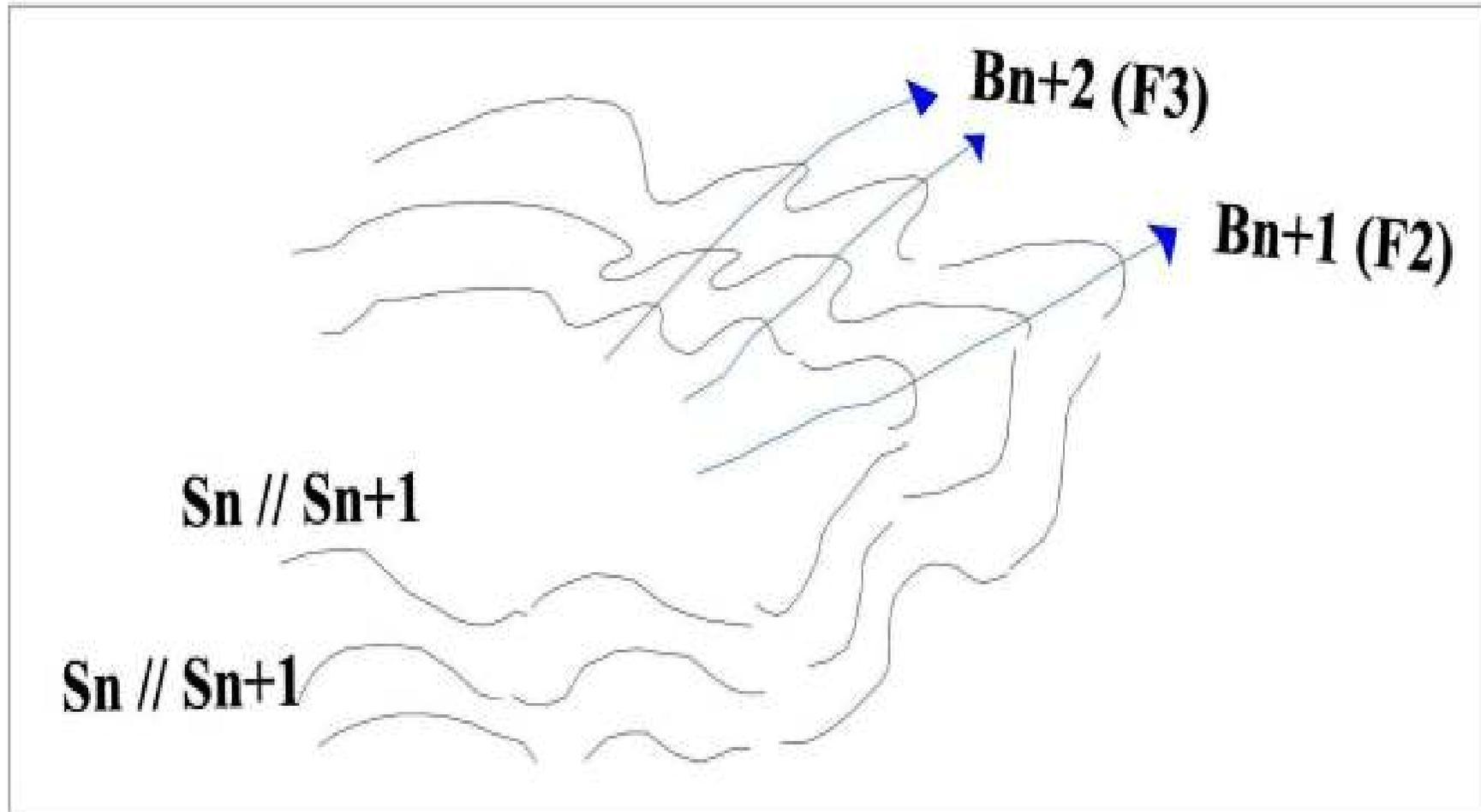


Figura 3.3 - Crenulações geradas pelo evento de dobramento F_3 , com eixos coaxiais ao dobramento da fase F_2 .

Na porção nordeste do maciço, observa-se o fechamento da foliação formando estruturas dômicas, tipo padrão caixa de ovos, que corresponde a figuras de interferência tipo I (Ransay & Huber, 1983), conforme observado na figura 3.4. Neste local tem-se afloramento de paragnaisse migmatizado, localizado na porção leste do maciço, onde se nota a presença de dobras isoclinais apertadas da superfície $S_2 // S_1 // S_0$ redobradas em dobras abertas da fase F_3 , com eixos coaxiais aos anteriores (fig. 3.3 e foto 3.4).

Notas;

B_{n+2} (F_3) = eixo de dobra relacionado à fase F_3 de dobramento

B_{n+1} (F_2) = eixo de dobra relacionado à fase F_2 de dobramento

S_0 = superfície de acamamento

S_1 = foliação metamérfica relacionada ao 1º evento de deformação tangencial

S_n = A foliação metamórfica existe, mas não é possível correlaciona-la a qual dos eventos deformacionais atuantes.

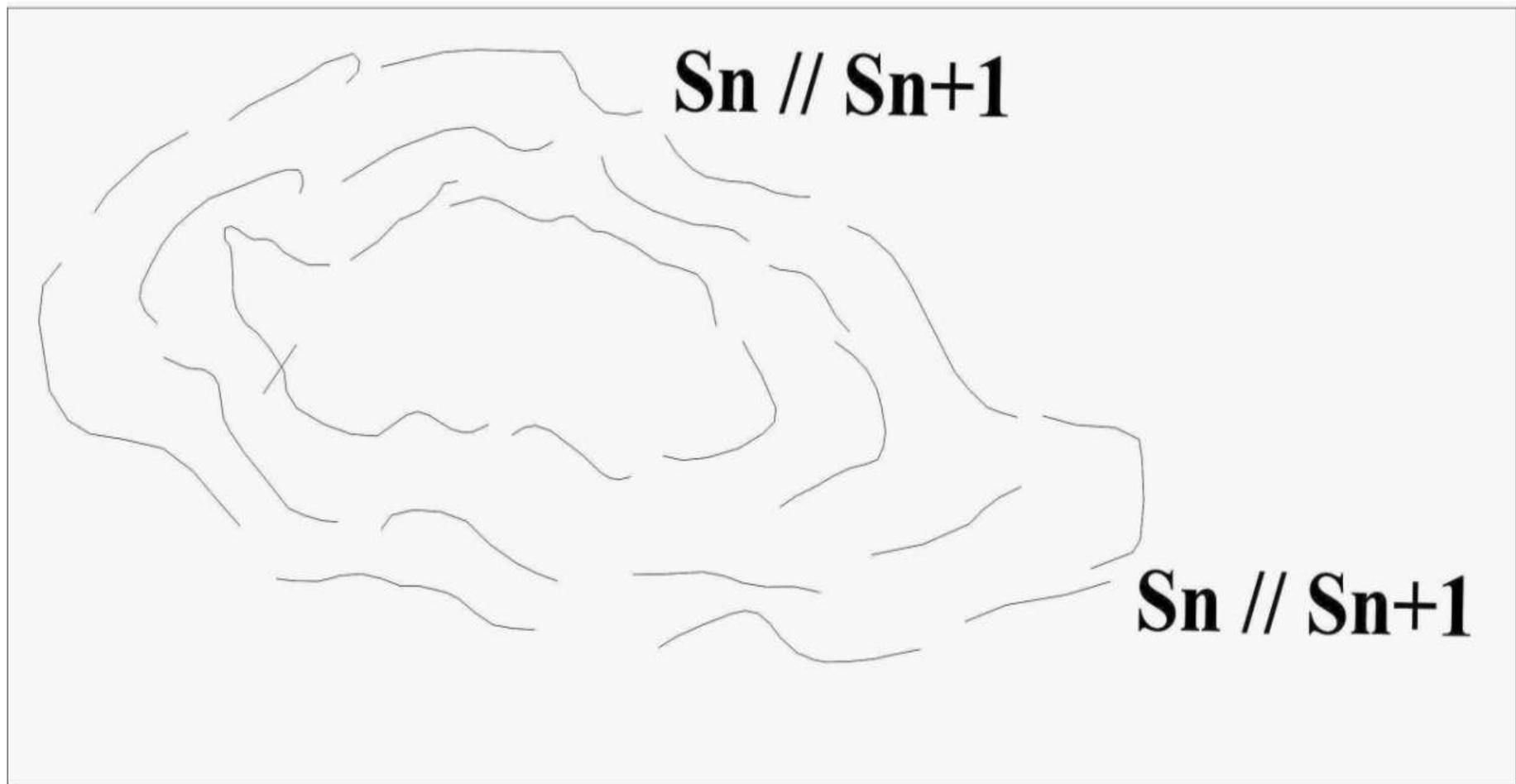


Figura 3.4 - Fechamento da foliação S_n formando estruturas dômicas, tipo padrão caixa de ovos, correspondendo a figuras de interferência tipo I. (Ransay, 1967).



Foto 3.4 - Detalhe da estruturação dos paragnaisses migmatizados de Lagoa da Cidade (Sítio Jaú), com redobramentos D_3 não coaxiais aos anteriores.

Localmente têm-se migmatitos tipo metatexito, de estrutura dobrada e bandada, com restos de biotita gnaiss granadífero, recortados por veios pegmatíticos e de leucogranitos tardios, com foliação Sn de N40°W/50° NE. Ocorrem também estreitas faixas miloníticas, com superfícies S/C/C' e “boudans” assimétricos de leucossomas e lineação de estiramento de baixo “rake”, coerente com a deformação transcorrente que afetou o maciço. Entretanto na porção frontal do maciço notam-se evidências de uma tectônica tangencial, com bandas félsicas boudinadas e foliação de baixo ângulo, indicando sentido de transporte. A fase F₄ compreende dobras abertas de plano axial subvertical, que provocou o encurtamento dos eixos de dobramento da fase F₃.

Na foto 2.20 (página 66) tem-se detalhe do paragnaisse migmatizado, submetido a uma tectônica tangencial, onde são observadas bandas de cisalhamento transcorrente dextral e lineação de estiramento, com caimento sub-horizontal para nordeste, paralela ao eixo das dobras. Em afloramento, na porção leste da pedreira, observam-se gnaisses migmatizados com mesossoma formado por granada-sillimanita-biotita xisto e leucossomas quartzo-feldspáticos de natureza pegmatóide, com dobras assimétricas com vergência para NE e crenuladas na fase F₃ com eixos coaxiais ao evento F₂. Na porção norte do maciço ocorrem locais com lineação de estiramento de “rake” forte para NE e que a foliação Sn passa de subvertical para mergulhos mais baixos no mesmo sentido e com orientação de movimento tectônico para SW.

Como consequência deste esforço compressivo e da tectônica transcorrente atuante sobre a área originaram-se fraturas de cisalhamento, além de sistemas de fraturas de tensão. A esta fase nitidamente ruptural relacionam-se as fraturas dos tipos dúctil e frágil. Ao tipo dúctil têm-se as lineações de estiramento, a orientação dos enclaves, dos boudans e as fraturas de cisalhamento, que constituem sistemas dispostos nas direções 50° Az e 350° Az, com movimentos de rejeito sinistral e dextral, respectivamente.

Na área, as estruturas do tipo frágil são caracterizadas por fraturas dispostas em 02 (dois) grupos básicos: O primeiro constitui as fraturas de tensão relacionadas ao esforço compressivo regional, enquanto o segundo compreende as estruturas de alívio paralelas ao relevo geradas como resposta a redução de carga causada pela erosão, à conseqüente distensão do corpo rochoso e ao tipo da formação litológica (foto 3.5).



Foto 3.5 - Visão da frente de lavra do migmatito róseo-avermelhado da Pedreira Sítio Jaú, onde se nota-se a presença de fraturas horizontais geradas por alívio de carga.

As fraturas de cisalhamento constituem expressões locais dos falhamentos transcorrentes regionais, orientados nas direções de 350° Az e 50° Az, conforme medições efetuadas no estudo de detalhe realizado na pedreira em apreço. Esta direção corresponde ao par conjugado, gerado por um esforço compressivo disposto na direção 20° Az. Tal proposição é confirmada, quando se correlaciona à direção da foliação S_n (corresponde a S_1/S_2), com as estruturas rúpteis. Em função da orientação deste esforço compressivo as fraturas de tensão geradas dispõem-se nos intervalos de 20° Az a 30° Az e 300° Az a 320° Az, respectivamente. As fraturas de alívio resultaram da redução de carga sobre o maciço e por isto posicionaram-se paralelas a subparalelas ao relevo.

CAPÍTULO 4– ESTUDO DAS TENSÕES ATUANTES E O USO DO ELIPSÓIDE DE TENSÃO

Nos corpos rochosos deformados, em estruturas diversas, a distribuição das tensões é na maioria das vezes complexa. Para exemplificar o raciocínio examina-se a distribuição das tensões em um elemento cúbico unitário do corpo. Em cada um dos lados do cubo a tensão pode ser decomposta em três componentes a X, Y, e Z. Dessa forma ter-se-á uma componente normal a cada um dos lados e duas a ele paralelas, designadas de tensões cisalhantes representadas por σ . Haverá assim um total de 09 tensões, que podem ser adicionadas e definem a condição de tensão do cubo (fig. 4.1). Contudo várias condições de tensão são interdependentes, algumas tendem a girar o cubo, mas supondo que o estado é de equilíbrio, as tensões que provocam rotação deverão se anular ou compensar.

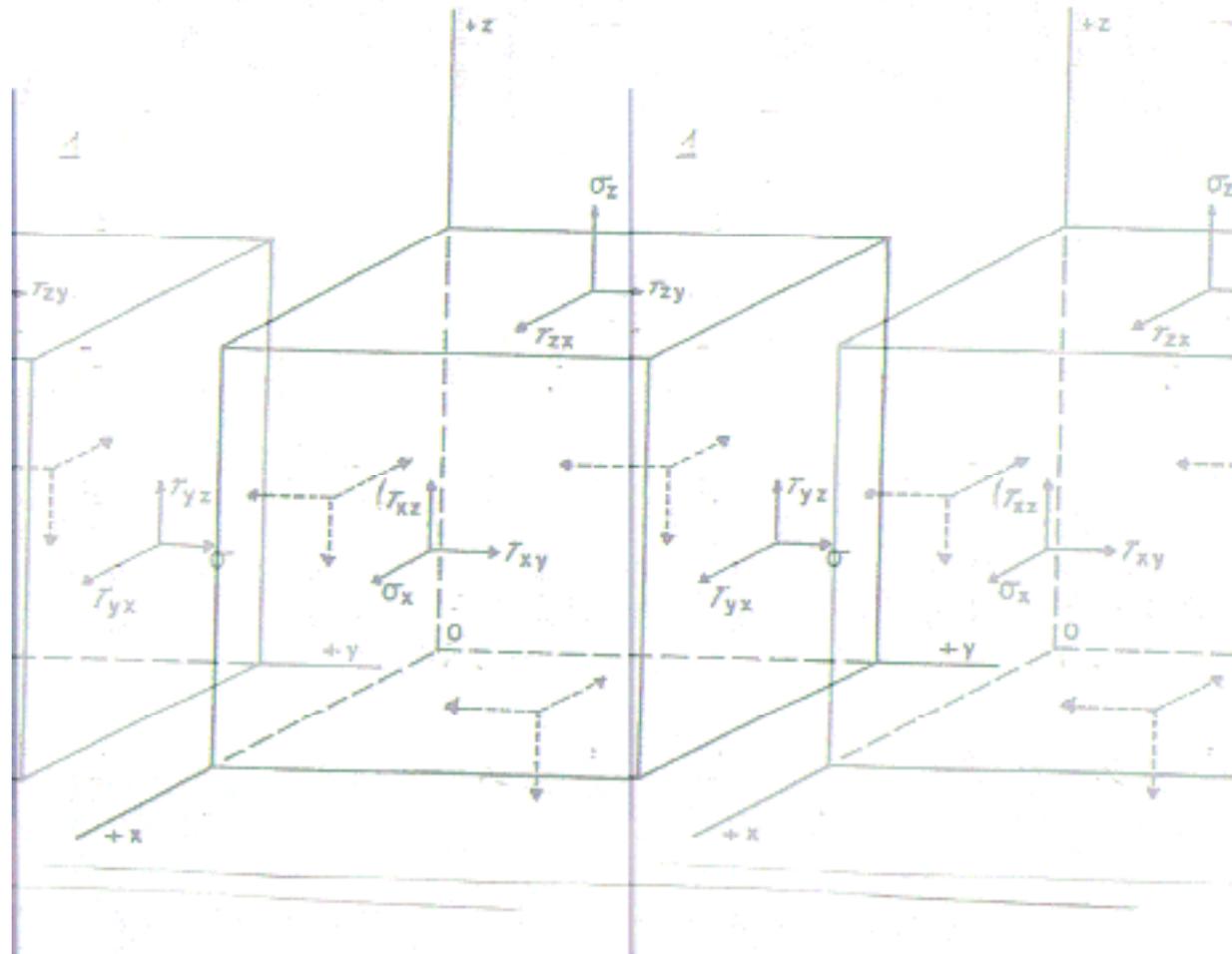


Figura 4.1 – Resolução do campo de tensões, segundo três eixos cartesianos X, Y e Z, de uma força R em três componentes não co-planares F_x , F_y e F_z . Fonte: Loczy & Ladeira, 1978.

Imaginando-se uma rotação em torno de “Z” provocada por exemplo, pelas tensões cisalhantes, ambas por terem sentidos opostos devem-se anular. Por conseguinte somente seis das nove componentes de tensão são interdependentes e o estado de tensão em um elemento inteiro pode ser definido por meio de 06 componentes. Como o componente inteiro cúbico encontra-se em equilíbrio, todas as tensões aplicadas podem ser decompostas e tensões normais ao longo dos três eixos ortogonais, que representam os eixos principais de tensão. Segundo tais direções as tensões cisalhantes são nulas. Via de regra, as tensões, segundo essas três direções, são de magnitudes diferentes tendo a seguinte notação:

σ_1 – Direção de tensão máxima

σ_2 – Direção de tensão intermediária

σ_3 – Direção de tensão mínima

Em termos tridimensionais, a tensão em um ponto pode ser convenientemente representada pelo elipsóide de tensões, conforme as concepções de Jaeger (1962), Nadai (1950), Ransay (1967), e Ransay & Huber (1983). Dessa forma qualquer plano cuja atitude for paralela a dois dos três eixos principais será solicitado apenas por uma tensão normal σ , idêntica à terceira. Em qualquer outro plano arbitrário, as solicitações incluirão uma tensão normal, de magnitude intermediária entre σ_1 e σ_3 e uma tensão cisalhante τ , cuja atuação é paralela ao plano.

Obviamente as intensidades de σ e τ são funções não só dos valores das tensões principais, mais também do plano em relação às mesmas. Em termos teóricos a tensão máxima cisalhante sucede-se ao longo de duas superfícies que fazem um ângulo de 45° com a direção de tensão máxima. O estudo de corpos rochosos mostra que, na prática este ângulo é de 33° (fig. 4.2).

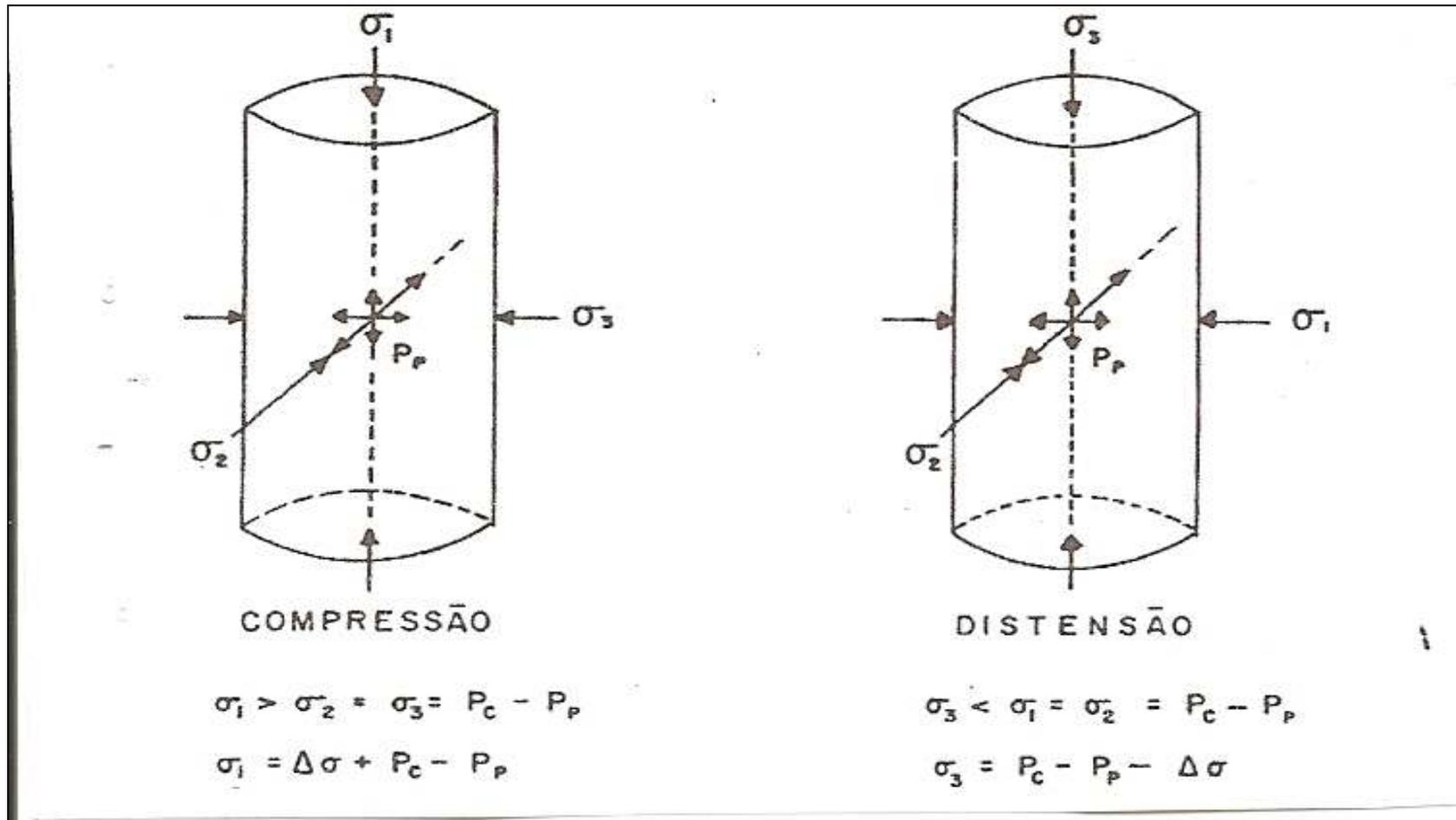


Figura 4.2 - Elipsóide triaxial de tensões com eixos de tensões principais máxima, intermediária e mínima. Observam-se ainda no plano definido por π_1 e π_3 , as indicações de tensões cisalhantes. máximas ($\tau_{max.}$), fazendo ângulo teórico de 45° com a direção de π_1 (Fonte: Loczy & Ladeira, 1978).

No caso do maciço aflorante na Pedreira do Sítio Jaú o mesmo foi palco da atuação de intenso esforço compressivo representado por uma tensão máxima π_1 de direção NNE, a qual imprimiu o atual modelo estrutural ali observado.

4.1 - DINÂMICA DO FRATURAMENTO E INTERPRETAÇÃO ESTRUTURAL DOS PARÂMETROS OBTIDOS

Os estudos e ensaios em laboratório do fraturamento observado em materiais rochosos têm gerado um grande acervo de dados de real interesse para aplicações na mecânica de rocha e principalmente na lavra de maciço para fins ornamentais. Tais trabalhos têm esclarecido muitas das relações observadas em campo. Dentre os estudos desenvolvidos sobre este tópico, citam-se os de: Hubbert (1937 e 1951); Hubbert e Willis (1957); Handin (1957); Handin e Hager (1957 e 1958); Patterson (1958); Griggs e Handin (1960), Handin et al (1963); Patterson (1958) e Rocha (1971). Estes autores demonstraram, de forma clara e surpreendente, as relações constantes existentes entre as zonas de fraturas e a direção axial da tensão atuante.

Considerando-se que um corpo rochoso, funcionando como corpo de prova, seja submetido a uma ação compressiva, ocorre o desenvolvimento de numerosas fraturas, que pode ser agrupadas em quatro conjuntos principais. Tais cisalhamentos aumentam em número e dimensões até que o corpo se rompa definitivamente. Estes rompimentos ocorrem pelo aproveitamento de fraturas longitudinais a direção principal de tensão ou através do desenvolvimento de superfícies de cisalhamento com ângulo teórico de 45° com a direção de compressão máxima. Pelo exposto conclui-se que a direção de tensão máxima σ_1 constitui a bissetriz do ângulo que os planos de cisalhamento fazem entre si, o qual é menor que 90° e em geral próximo 60° .

As fraturas de tensão são geradas paralelas à direção de tensão máxima. Em muitos ensaios de compressão em corpos rochosos, em formatos prismáticos ou cilíndricos, estes se rompem por meio de fraturas ou lascas paralelas à clivagem de fratura e as faces verticais do prisma e, em outros casos, após a ação do esforço compressivo devido ao alívio gerado, as fraturas se dispõem perpendiculares ao eixo de compressão. Têm-se também o rompimento através de superfícies diagonais à direção do eixo de compressão máxima, em geral formando um ângulo teórico de 45° com a direção principal de tensão, que constituem as direções teóricas das fraturas de cisalhamento, conforme mostra a fig. 4.3.

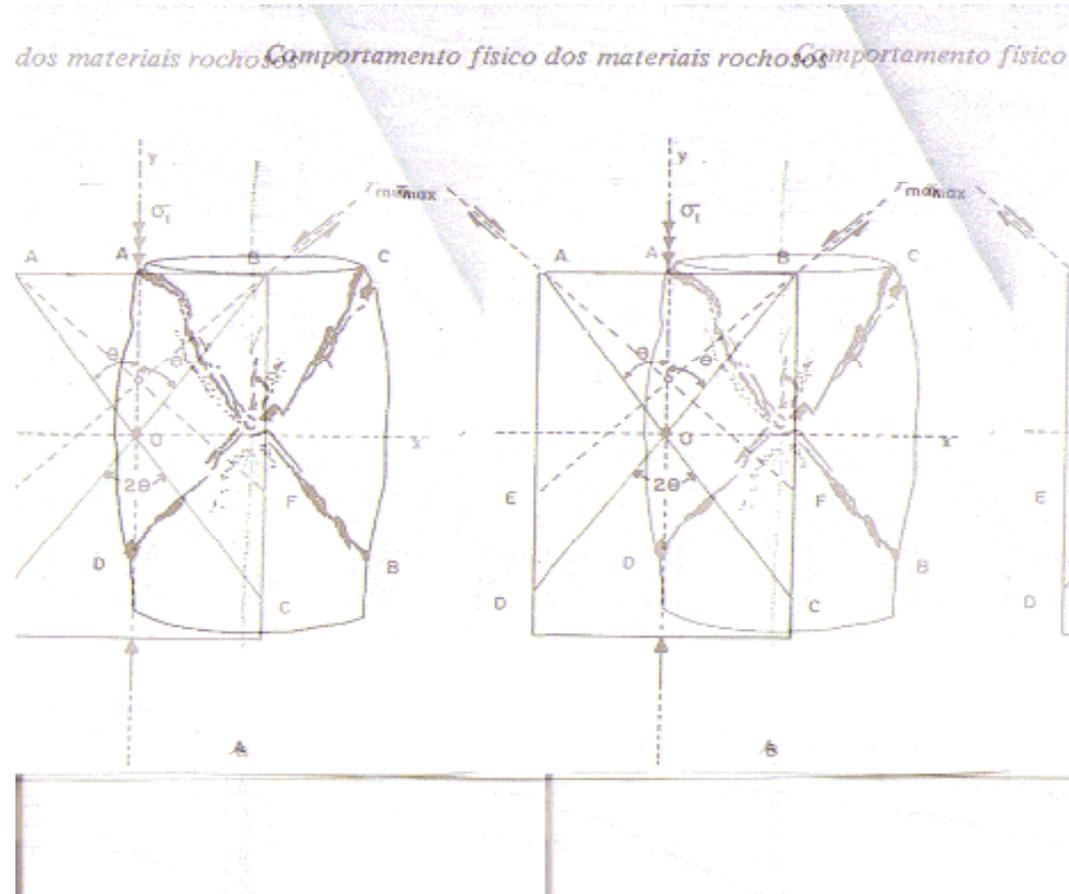


Figura 4.3 - Desenvolvimento de fraturas de cisalhamento desenvolvidas sob ensaios de compressão. 1) espécime de rocha com fraturas de cisalhamento AB e CD desenvolvidos durante os ensaios de compressão. 2) seções do espécime anterior mostrando as relações entre os planos de tensões cisalhantes máximas ($\tau_{m\acute{a}x}$) representados por AF e BE, fazendo ângulo de 45° como eixo de tensão compressiva máxima π_1 ; as linhas AC e BD constituem planos de fraturas que realmente se formam durante os testes fazendo um ângulo de 33° com o eixo π_1 . Fonte: Loczy & Ladeira (1978).

Além das fraturas de tensão ou extensão e cisalhamento descritas, têm-se as fraturas de acomodação. Ensaio de laboratório descritos em Loczy & Ladeira (1978) mostram que se um prisma submetido a uma carga compressiva estiver em meio fluido, que lhe exerça uma pressão hidrostática elevada, encerrada a compressão e retirando se o prisma da máquina, observar-se-ão numerosas fraturas normais ao eixo de compressão. O mesmo acontece com o corpo rochoso em profundidade, quando sofre alívio de carga causado pela retirada do capeamento rochoso que a comprimia, o que provoca o aparecimento de fraturas paralelas a superfície do relevo. Tais fraturas são denominadas de alívio ou de acomodação (fig. 4.4).

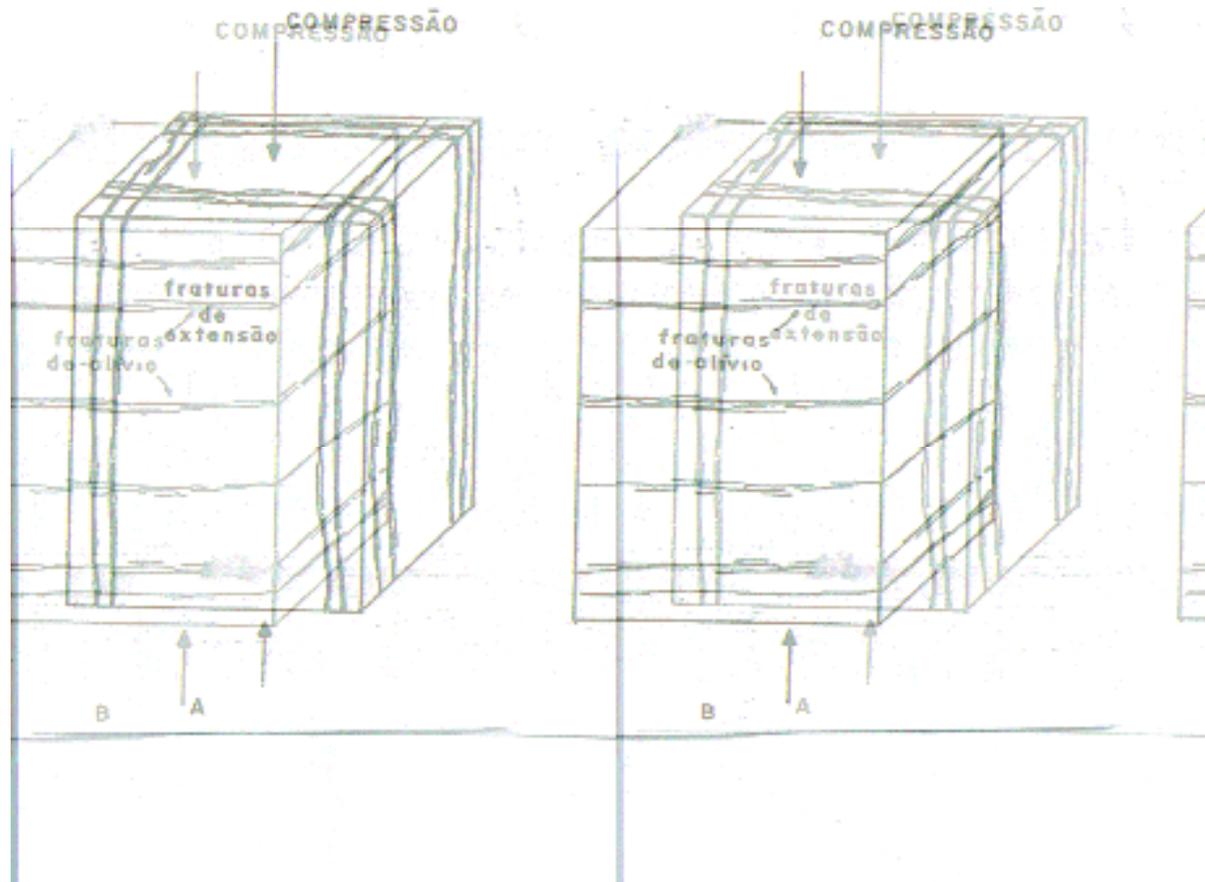


Figura 4.4 - Desenvolvimento de fraturas de tensão e alívio em corpos rochosos por ensaios de compressão. (A) desenvolvimento de fraturas de tensão paralelas aos lados do prisma e da direção da compressão máxima. (B) fraturas de alívio isoladas paralelamente ao topo do prisma e perpendicular à direção de compressão máxima. Fonte: Loczy & Ladeira (1978).

As fraturas de acomodação ou alívio constituem fraturas de tensão geradas pela expansão do corpo rochoso, após se suprimir a atuação da tensão compressiva. Mas como os nomes anteriores são mais usuais, adota-se a terminologia já consagrada. Interpretando o estudo representado pela fig. 4.5, compreende-se perfeitamente o mecanismo de geração das fraturas de cisalhamento desenvolvidas em rochas plutônicas (graníticas e granodioríticas).

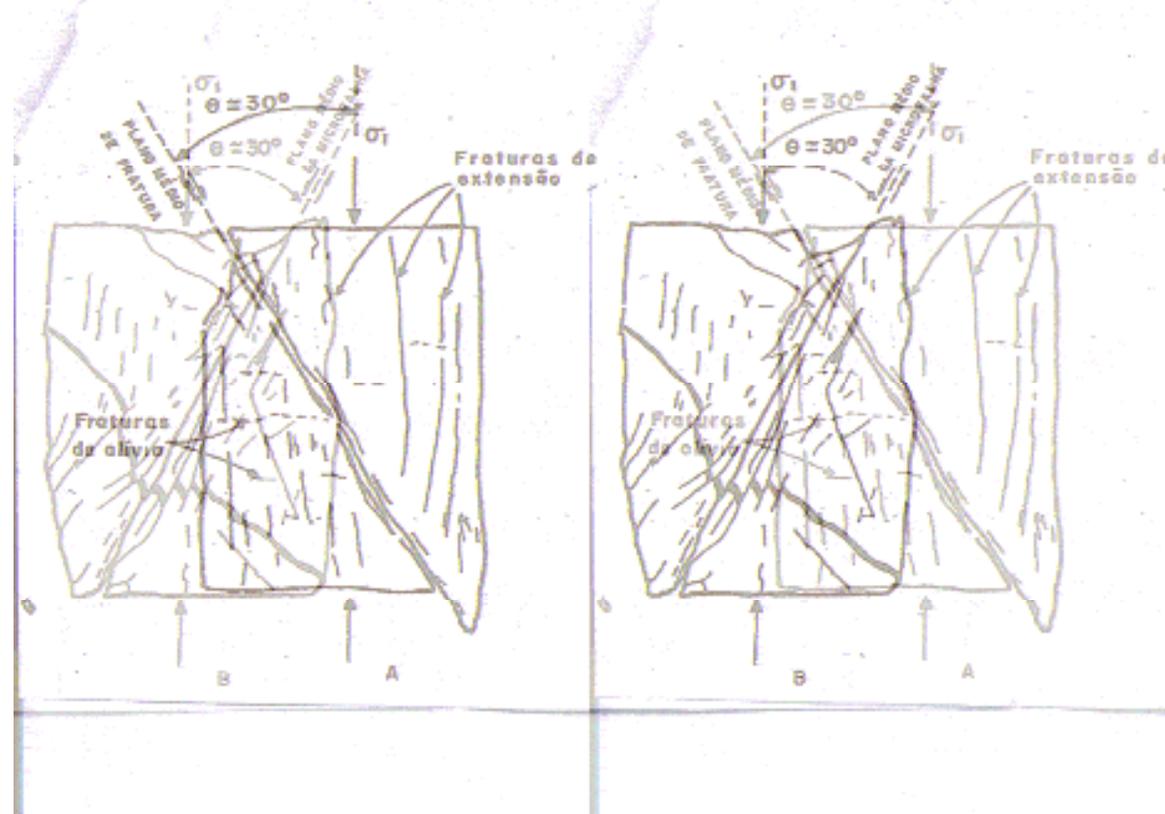


Figura 4.5 - Desenvolvimento de fraturas de cisalhamento (inclinadas), de tensão (verticais) e as de alívio (horizontais), estabelecidas em espécimes rochosos submetidos à compressão. (A) granodiorito; observam-se fraturas subsidiárias. (B) granito; mostra que a fratura de cisalhamento principal constitui uma microfalha. Tais testes foram realizados por Borg e Handin (1966), simulando-se uma situação de crosta a 17,7 km de profundidade, correspondente a uma pressão de 5 Kb e a uma temperatura de 500°C

Fonte: Loczy & Ladeira (1978).

Correlacionando os elementos obtidos a partir do estudo teórico da dinâmica do fraturamento, com parâmetros do mapeamento geológico e estrutural de detalhe realizado no maciço da Pedreira do Sítio Jaú, pode-se concluir que as direções de 350°Az e 50° Az constituem as direções principais de cisalhamento (par conjugado). Quanto à bissetriz do ângulo formado por estas direções, a mesma corresponde ao eixo de compressão máxima atuante π_1 disposto na direção 20°Az. Tal disposição coincide com as orientações de fraturas de tensão observadas na área em questão, as quais se mostram paralelas à direção de compressão máxima (20°Az) e perpendiculares à foliação S_N . As fraturas dispostas nas direções 300°Az a 320°Az., paralelas à foliação S_N constituem também fraturas de tensão geradas durante o alívio da fase compressiva, isto é já no início do processo distensivo que afetou a área.

Com base no exposto e confrontando os parâmetros obtidos em campo na Pedreira do Sítio Jaú, retrabalhados com o emprego do elipsóide de tensão (fig.4.6), verifica-se que a deformação rúptil desenvolvida originou-se progressivamente a partir de uma compressão máxima σ_1 de direção nordeste-sudoeste (20° Az). As fraturas de alívio observadas, foram geradas como resposta ao decapeamento do maciço rochoso, tanto por processo erosivo quanto durante a abertura do mesmo no transcorrer das operações de lavra. Estas fraturas são horizontais ou sub-horizontais, subparalelas ao relevo, e somente podem ser observadas em toda sua plenitude em cortes de bancadas na frente de lavra.

As fraturas de tensão, na pedreira em questão, constituem sistemas dispostos nas direções acima referenciadas, sendo várias delas preenchidas por veios pegmatíticos róseos de composição quartzo-feldspática, dispostos paralelamente ou ortogonalmente à foliação. A análise do elipsóide de tensão (fig. 4.6) ressalta a disposição das fraturas de tensão ou extensão nas direções 20° e 300°Az, enquanto o eixo de compressão mínima dispõe-se a direção 300°Az, paralelo à foliação S_N . As fraturas de cisalhamento formam um par conjugado de rejeitos sinistrais e dextrais, nas direções 50°Az e 350°Az, respectivamente.

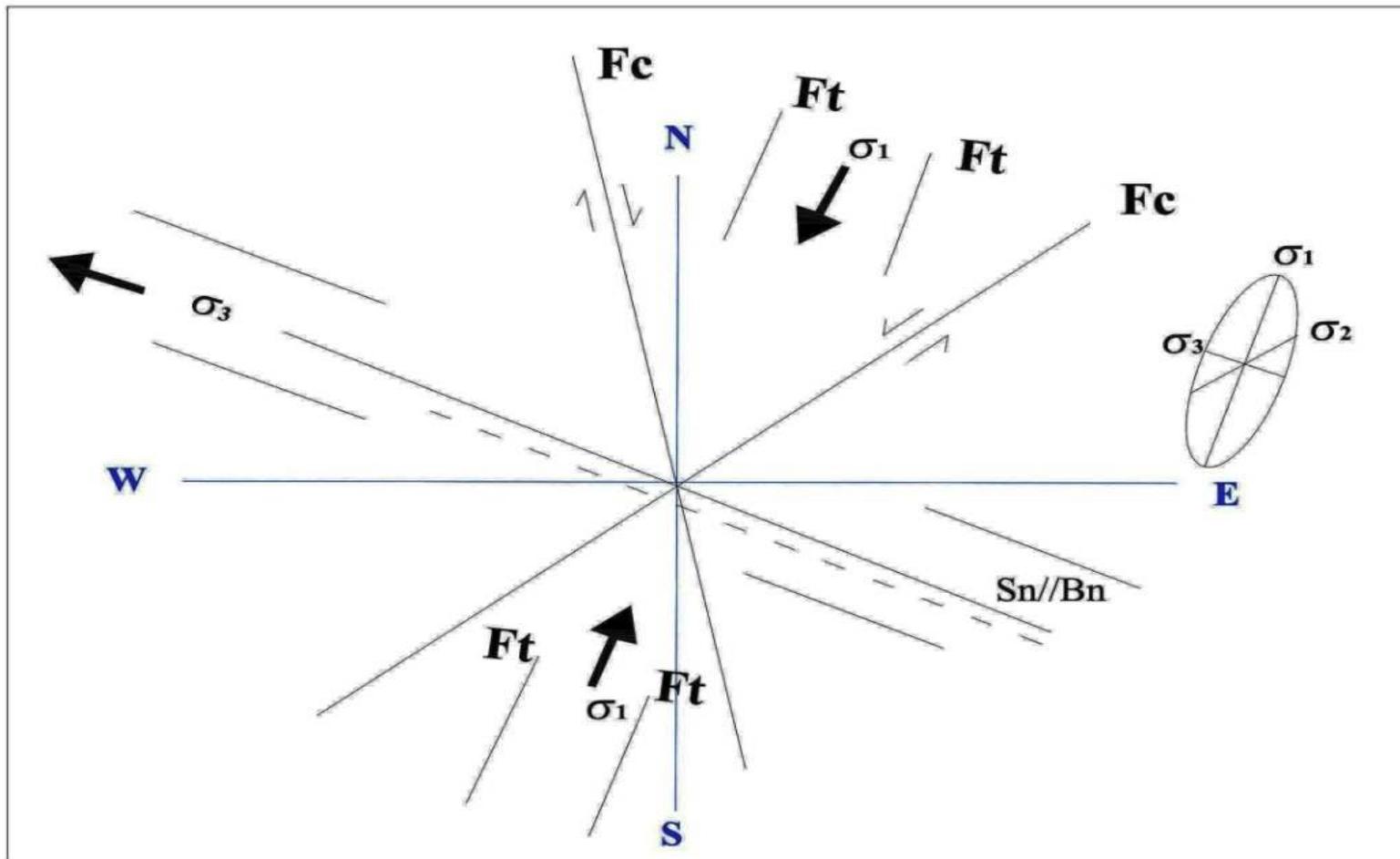


Figura 4.6- - Elipsóide de tensão e o par conjugado formado por cisalhamentos de direção NE-SW (sinistral) e NNW-SSE (dextral). Tem-se ainda a direção do eixo de compressão máxima perpendicular a $S_N // B_n$

4.2 - USO DA PROJEÇÃO ESTEREOGRÁFICA NA INTERPRETAÇÃO DOS ELEMENTOS ESTRUTURAIS DA ÁREA

Além do mapeamento geológico de detalhe (1:500) e do levantamento detalhado dos dados estruturais observados, foi efetuado um processamento minucioso dos dados relativos aos planos das fraturas detectadas. Em seguida foi criado um banco de dados, para elaboração de futuros modelos de descontinuidades. Posteriormente os parâmetros obtidos sobre o fraturamento estudado foram tratados e correlacionados com a interpretação dos mesmos através do diagrama de rosetas, produzidos através do software Stereonet, o qual mostra as direções das fraturas medidas. Em seguida foi produzido com auxílio do mesmo software, a partir das redes de Schmidt, o diagrama de pólos mostrando a distribuição dos diferentes planos de fraturamento.

A análise dos diagramas de projeção estereográfica (figuras 4.7 e 4.8) e o de rosetas (figura 4.9) mostram que o par conjugado formado pelas fraturas de cisalhamento dispõem-se nas direções de 350°Az , com movimento dextral e de 50°Az , de rejeito sinistral. A bissetriz do ângulo formado pelo cruzamento destes cisalhamentos corresponde à direção de compressão máxima atuante representada por σ_1 e disposta na direção 20°Az . A interpretação destes diagramas permite visualizar que paralela a σ_1 tem-se uma das direções das fraturas de tensão, e uma outra perpendicular ao eixo de compressão máxima disposta nas direções entre 300°Az e 310°Az .

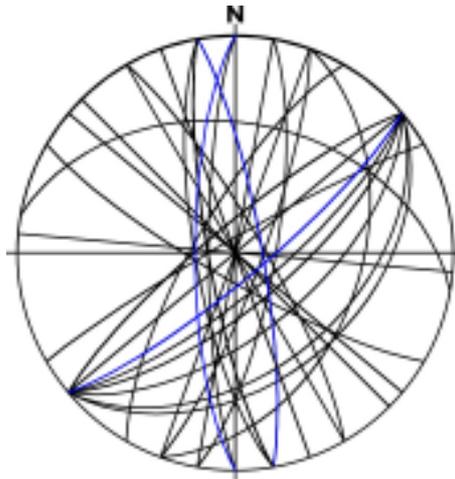


Figura 4.7 - Diagrama da rede de Schmidt com os planos de fratura de (em azul) cisalhamento, cuja bissetriz do ângulo formado entre eles representa a direção de compressão máxima.

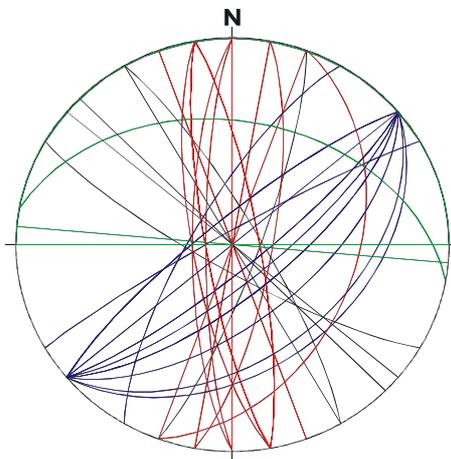


Figura 4.8 - Diagrama de Schmidt, onde os planos azuis e vermelhos constituem o par conjugado de cisalhamento.

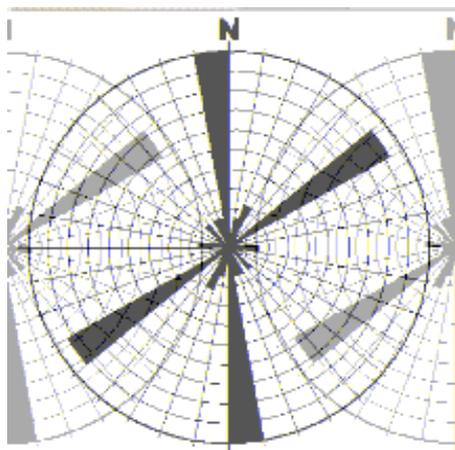


Figura 4.9 - Diagrama de rosetas onde se visualiza um par conjugado de cisalhamento nas direções 50° Az e 350° Az.

A correlação destas estruturas, com a orientação do eixo de compressão máxima e os planos da foliação S_N , confirma a interpretação acima exposta, pois as foliações metamórficas (S_N) dispostas nas direções $320^\circ Az$ a $300^\circ Az$, perpendiculares a σ_1 , dispõem-se paralelas à direção de compressão mínima σ_3 e aos eixos dos dobramentos observados no maciço mapeado. A análise dos sigmoides e das deformações plicativas (dobramentos) observados em bancadas abertas na rocha, confirma que as foliações apresentam mergulho para nordeste, assim como os planos axiais dos dobramentos mapeados, mas sentido de transporte tectônico para sudoeste, resultantes de um esforço compressivo NNE-SSW (σ_1), que constitui a principal direção de tensão visualizada no elipsóide de paleotensões (ver fig.4.6).

Convém salientar que, além das fraturas de tensão, ocorrem ainda fraturas de alívio sub-horizontais e horizontais, somente detectadas nos corte de bancadas, não visualizadas nos afloramentos ou em planta. Estes cisalhamentos constituem fraturas sub-paralelas ao relevo geradas por alívio de carga durante os processos erosivos e de decapeamento do maciço rochoso. Em certos casos, tais fraturas encontram-se preenchidas por material argiloso e, ocasionalmente, o espaçamento entre elas, pode facilitar a exploração do material rochoso.

4.3 - INFLUÊNCIA DAS TENSÕES CONFINANTES NO PROCESSO DE ABERTURA DE UMA FRENTE DE LAVRA PARA ROCHAS ORNAMENTAIS

Na natureza, um corpo rochoso é submetido a uma série de tensões confinantes denominadas de pressão litostática. O não conhecimento destes campos de paleotensões, e a abertura pura e simples de uma pedreira em maciço, pode resultar no aparecimento de um grande número de fraturas de tensão e alívio que, às vezes, chegam a inviabilizar as operações de lavra do jazimento. No Brasil, várias pedreiras constituídas por materiais considerados nobres, de larga aceitação no mercado internacional, já foram inviabilizadas por este problema. Portanto o estudo das tensões, além de ser importante no planejamento das futuras operações de lavra, contribui para o aumento da taxa de produtividade da pedreira e na redução do volume de rejeitos gerados.

Sabe-se que o padrão de fraturamento estudado em uma pedreira está estreitamente ligado à orientação dos esforços que atuaram diretamente em uma determinada região, e contribuíram para a estruturação do maciço. Portanto, somente a partir do estudo destas estruturas, do seu tratamento através dos métodos de projeção estereográfica e da confecção do elipsóide de tensão, as orientações dos esforços que as geraram podem ser posicionados e definido o campo de tensões diferenciais que atuaram na área.

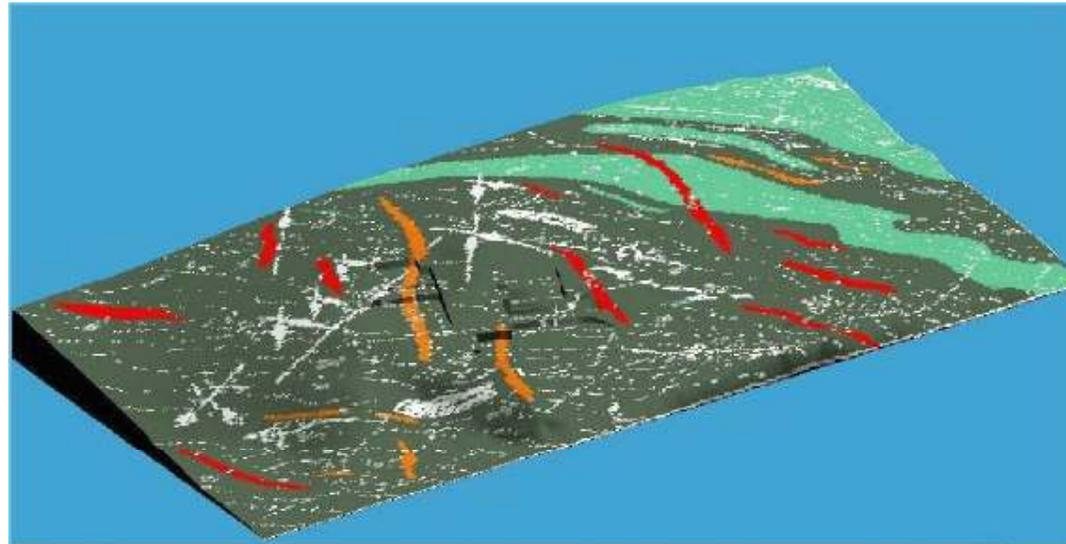
Ciente que a qualidade de um bloco de rocha extraído durante o processo de lavra depende da eliminação das superfícies de fraqueza e de descontinuidades detectadas no maciço, o seu conhecimento permitirá estabelecer um planejamento das operações de lavra adaptada a cada situação. Convém frisar que a análise estrutural, quando bem efetuada permite, no planejamento das futuras operações de lavra, a adoção de critérios que possibilitam um maior aproveitamento dos recursos péticos. Tal estudo permitirá o descarte das zonas com maior fraturamento e imperfeições. Em consequência, os cortes executados na rocha, quando da abertura do maciço, devem ser orientados segundo o campo das tensões atuantes de forma a aliviar o tensionamento do jazimento antes do início do processo exploratório e, posteriormente, durante o seu desdobramento em blocos. Com base no exposto conclui-se que o processo de abertura deve ser orientado em concordância com as fraturas abertas (extensivas). Na locação e orientação das frentes de lavra devem, portanto, ser priorizadas as áreas em que as direções da foliação S_N sejam paralelas às direções das fraturas abertas, pois a direção das mesmas será sempre paralela ao eixo de compressão mínima (σ_3), constituindo no elipsóide de paleotensão a direção de alívio preferencial.

As observações acima enquadram-se perfeitamente quanto aos parâmetros observados na Pedreira do Sítio Jaú. A análise da fig. 4.6, obtida a partir de interpretações dos dados obtidos durante o estudo do fraturamento existente no local, permitiu definir as direções de tensões máximas e mínimas atuantes sobre o corpo rochoso, assim como o posicionamento das estruturas deformacionais geradas pelo campo de tensões atuantes.

A análise estrutural do afloramento e a interpretação dos diagramas de rosetas e de projeções estereográficas já mencionados (figuras 4.7, 4.8 e 5.9.) mostram, de acordo com o elipsóide de paleotensões, que a melhor direção para a abertura desta pedreira é a de 300°Az, disposta perpendicular ao eixo de compressão máxima (σ_1) e paralela ao de tensão mínima (σ_3). O corte de abertura da pedreira efetuado em operações de lavra experimental ali instalada foi elaborado nesta direção, a qual propiciou o alívio do maciço. Em seguida deu-se início ao processo de exploração de blocos, com o eixo maior paralelo a direção de estruturação da rocha (foliação S_N).

Salienta-se que tal interpretação é de suma importância para condução dos futuros trabalhos de exploração, inclusive para a obtenção do nível de qualidade desejado para o bloco extraído, cujo padrão de excelência depende do controle das superfícies de fraqueza da rocha. Em síntese, o conhecimento prévio destas descontinuidades possibilitou estabelecer-se na Pedreira do Sítio Jaú o correto planejamento das operações de exploração.

É bom frisar que o tratamento das informações obtidas no mapa geológico desta pedreira em modelo 3D (fig. 4.10), permitiu visualizar o comportamento tridimensional dos sistemas de fraturas ora analisados. Tal modelamento, quando associado à interpretação dos diagramas de rosetas, fraturas e do elipsóide de tensão vêm reforçar a assertiva na qual a direção de 300°Az constitui a melhor direção para o corte de abertura daquela pedreira. Tal consideração é confirmada pelo corte das bancadas segundo esta concepção, a qual propiciou durante as operações de lavra experimental desenvolvida no local uma melhor retirada de blocos dentro dos padrões de qualidade exigidos pelo mercado.



- Corpos Pegmatíticos Quartzo-Feldspáticos de coloração róseo
- Granitos Equigranulares médio a grosso, não deformados de coloração róseo.
- Metaxenitos Lagoa da Cidade - Constituídos por Migmatito homogêneo de estrutura nebulítica a dobrada, com neossoma róseo-avermelhado rico em quartzo e k-feldspato, e paleossoma constituído por quartzo, granada e bastante biotita, indicando uma origem paraderivada.
- Biotita-gnaíse granadífero, eventualmente migmatizado de coloração cinza-escuro e bastante dobrado, constituintes do Complexo Sertânia.



Figura 4.10 - Modelo tridimensional das estruturas geológicas determinadas no geológico de detalhe.

CAPÍTULO 5 - CARACTERÍSTICAS TECNOLÓGICAS DO GRANITO VERMELHO FREVO

Como rocha ornamental este paragnaisse migmatizado de cor róseo-avermelhado tem despertado interesse de importadores italianos e franceses, tendo inclusive sido negociado no mercado europeu com o nome comercial de “Granito Vermelho Frevo”. Com a finalidade de obter dados sobre as características físico-mecânicas deste litotipo foi realizada uma série de ensaios laboratoriais conhecidos como “Caracterização Tecnológica de Rochas para Fins Ornamentais”.

Tais estudos foram executados após a elaboração das análises petrográficas, tendo sido executados em amostras coletadas no maciço em estudo, mais precisamente nas áreas de exposição do metatextito róseo-avermelhado, notadamente nas frentes de exploração deste litotipo. Os ensaios tiveram por objetivo verificar o desempenho da rocha, notadamente na condição de revestimento de interiores e exteriores.

Inicialmente, a partir dos estudos petrográficos, constatou-se a homogeneidade do material em relação à mineralogia, textura e estrutura, aliada a ausência de microfissuras e de minerais deletérios. Na tabela 5.1 têm-se a composição mineralógica e modal da rocha e na foto 5.1 na secção delgada, deste migmatito observa-se o arranjo intergranular do litotipo. Essas características permitiram supor que a rocha apresenta baixo índice de porosidade, de absorção d’ água, e boa resistência mecânica. Com a finalidade de confirmar esta assertiva e as suas reais possibilidade de emprego na indústria de cantaria, notadamente quanto aos aspectos de resistência do material e bom desempenho em serviço, decidiu-se pelo procedimento dos ensaios de caracterização tecnológica da rocha. Estes ensaios foram realizados no Laboratório de Planejamento de Lavra do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mineral da UFPE.

Tabela 5.1 – Composição mineralógica e modal da rocha.

MINERALOGIA	%
K-feldspato (microclina)	35
Quartzo	20
Escapolita (plagioclásio metassomatizado)	10
Biotita	30
Granada	3
Acessórios (clorita, opacos, zircão, apatita, muscovita, epidoto)	2



Foto 5.1- Migmatito róseo-avermelhado de Lagoa da Cidade, onde se detectou estreita zona de cisalhamento.

Os ensaios realizados constaram inicialmente de análise petrográfica, seguido dos ensaios de absorção d' água, porosidade, massa específica seca e saturada, desgaste Amsler, resistência à flexão, resistência à compressão e resistência ao impacto de corpo duro.

Com base nos resultados obtidos conclui-se que melhor será o desempenho da rocha, quanto menores forem seus teores em minerais deletérios e os seus índices de porosidade, absorção e desgaste Amsler. No caso inverso, melhor será o desempenho do litotipo em serviço, quanto maiores forem os seus valores de resistência ao impacto, à flexão, a compressão e a massa específica.

Em virtude da semelhança petrográfica e estrutural com o denominado Granito Vermelho Samba, aflorante na Fazenda Jucá, município de Pedra – PE., foi feita uma comparação dos resultados obtidos nestes ensaios, com os disponíveis nos dados bibliográficos acerca daquele litotipo. Comparando os resultados obtidos, com os do Granito Samba e com os parâmetros formulados por Frazão & Farjallat (1996) sobre as características tecnológicas das rochas ornamentais brasileiras, verifica-se que o migmatito róseo-avermelhado do Sítio Jaú possui características tecnológicas condizentes com o seu emprego na indústria de cantaria.

Os resultados dos ensaios físicos e mecânicos elaborados para o granito Vermelho Frevo são apresentados na tabela 5.2 Tais parâmetros acrescidos dos dados obtidos a partir do estudo petrográfico conferem a esta rocha, qualidades satisfatórias para sua utilização como material de revestimento lateral de interiores, exteriores e de piso. Os valores encontrados enquadram-se dentro dos limites definidos para o seu emprego na construção civil e na arquitetura, estabelecidos por entidades normativas como a ABNT, sendo também similares, em termos qualitativos e quantitativos aos parâmetros apresentados por outros granitos brasileiros empregados com sucesso na confecção de revestimento para construção civil.

Os testes de corte, polimento e lustro efetuados em amostras dessa rocha mostraram resultados bastante satisfatórios, no que concerne ao aspecto estético e decorativo, tendo apresentado brilho adequado, destacando-se na chapa polida o caráter homogêneo em relação à textura, orientação das estruturas e tonalidade.

Observações em locais onde esta rocha foi aplicada e que estão sujeitos ao uso de produtos de limpeza, detergentes, óleos e graxas mostram que a rocha têm-se portado satisfatoriamente bem, quando submetida a ação destes produtos. Tal fato, evidencia que o litotipo pode ser empregado tanto na arquitetura e confecção de mobiliário, quanto na condição de revestimento na indústria da construção civil.

Na tabela 5.2 têm-se os valores dos índices de caracterização tecnológica do Granito Vermelho Frevo e do Granito Vermelho Samba. A tabela 5.3 mostra os parâmetros médios obtidos por Frazão & Farjallat. (1996) relativo às rochas ornamentais brasileiras. Tais valores foram obtidos segundo as normas brasileira ABNT e americana ASTM.

Tabela 5.2 - Dados Tecnológicos dos Granitos Vermelho Frevo e Samba

Propriedades Tecnológicas	Granito Vermelho Frevo	Granito Vermelho Samba
Densidade	2,602 ± 0,015kgf/cm ³	2,67 kg/cm ³
Absorção d' água	0,455 ± 0,053%	0,35%
Porosidade aparente	1, 177± 0, 135%	0,53%
Resistência à compressão	172,14 ± 6,25Mpa	96 kg/cm ²
Resistência à flexão	18,64 Mpa	-
Resistência ao impacto	0,56m	-
Desgaste Amsler	0,330 ± 0,085mm / 500 m 0,710 ± 0,095mm / 1000 m	0,420± 0,080 / 500 m 0,760± 0,098mm / 1000 m

Tabela 5.3 - Valores Médios das Propriedades Tecnológicas das Rochas Ornamentais Brasileiras. Fonte: Frazão & Farjallat, 1996.

		Densidade	Porosidade	Absorção	Desgaste	Impacto (m)	Compressão	Flexão	Dilatação
		kg/m ²	(%)	(%)	(mm)	(mm)	uniaxial (Mpa)	(Mpa)	térmica (10 ³ mm/m ^o C)
Granitos	mínimo	2545	0,07	0,02	0,34	0,22	52	7,4	5,1
	máximo	3504	2,92	1,14	2,02	0,98	323	48,1	16,1
	média	2680	0,58	0,21	0,69	0,48	158	18,5	9,4
mármoreos	mínimo	2606	0,02	0,01	1,19	0,22	37	6	3,2
	máximo	3035	2,62	1,01	8,08	0,88	214	28,5	17,3
	média	2792	0,51	1,88	3,59	0,44	110	14,6	10,1

A interpretação dos resultados dos valores de ensaios tecnológicos do Granito Vermelho Frevo, e o seu confronto com os valores do Granito Vermelho Samba e com os índices médios das rochas ornamentais brasileiras, permitem concluir que os mesmos enquadram-se dentro dos limites de emprego como material ornamental, podendo ser aplicado tanto na arquitetura, quanto na construção civil, na condição de revestimento horizontal e lateral de interiores e exteriores. No geral, estas rochas mostraram bom desempenho, o que reforça suas qualidades como material de emprego na indústria de cantaria.

CAPITULO 6 - PROPOSIÇÃO DE UMA METODOLOGIA PARA PESQUISA DE ROCHAS ORNAMENTAIS

A falta de conhecimento geológico relativo à área do jazimento tem sido a causa do insucesso de várias empresas que atuaram no setor. De acordo com o exposto nos capítulos anteriores, a exploração de rochas ornamentais em maciço, através de bancadas abertas, depende de um criterioso trabalho de pesquisa geológica de detalhe, o qual propiciará ao minerador o completo conhecimento das características físico-mecânicas da rocha a ser extraída. A obtenção de tais parâmetros será, portanto, de fundamental importância para o bom desempenho das futuras operações de lavra e contribuirá de forma significativa para o bom êxito do empreendimento.

A obtenção dos parâmetros necessários ao correto planejamento das futuras operações de exploração de blocos, além de seguir a metodologia tradicional de pesquisa atualmente em uso, deve adotar os seguintes parâmetros:

- 1. *Mapeamento geológico de detalhe*** – tem por objetivo definir a extensão em base planimétrica do litotipo objeto de pesquisa, detectar a existência de diferentes fácies litológicas, mapeá-los, amostrá-los e representá-los em modelo bi ou tridimensional. Deve-se verificar também a existência de descontinuidades, tais como: fraturas, planos de foliação, veios, enclaves e mesmo de corpos pegmatóides. Observar ainda as variações de tonalidade, cor e de composição de rocha. Posteriormente, estes dados deverão propiciar as condições técnicas para a definição dos melhores locais para serem implantadas as futuras frentes de exploração.
- 2- *Análise estrutural de detalhe*** – objetiva o mapeamento e medições das descontinuidades detectadas no corpo, tais como: fraturas, veios, foliação metamórfica e enclaves. Em seguida, após o tratamento estatístico destas descontinuidades através de diagramas sinópticos com o auxílio do software Stereonet, a partir das redes de Schmidt, definir as paleotensões atuantes no maciço e conseqüentemente a direção preferencial de abertura, para que o mesmo possa ser aliviado e posteriormente lavrado.

- 3- Tratamento tridimensional dos parâmetros obtidos** – as informações contidas no mapa geológico devem ser tratadas em modelo 3D de forma a obter-se o comportamento tridimensional dos sistemas de fraturas analisadas durante a fase do estudo estrutural de detalhe. A correta visualização tridimensional do maciço a ser explorado e de seus planos de fraturas possibilitará definir o tamanho, a orientação dos blocos a serem extraídos e dos setores onde se podem obter blocos padronizados. Em síntese, tal sistemática de trabalho, aliada à análise das paleotensões constitui uma importante ferramenta de trabalho para o planejamento e suporte relacionados às operações de lavra.
- 4- Análises petrográficas e elaboração dos ensaios de caracterização tecnológica** – tais estudos têm por finalidade definir a composição mineralógica das rochas, percentagem dos seus minerais constituintes, detecção de possíveis microfraturamentos (fissuramentos), presença de minerais deletérios, além da identificação dos processos de alteração em andamento. Em paralelo devem ser realizados os ensaios tecnológicos, que permitirão definir as características físico-mecânicas e a previsão do desempenho da rocha quando posta em serviço. A execução de tais ensaios, além de propiciar o conhecimento das características intrínsecas da rocha, permitirá definir sua resistência aos esforços a que estará submetida, quando do seu processo de exploração, beneficiamento e aplicação como material de revestimento. Em síntese, o conhecimento destes parâmetros propiciará inclusive o planejamento das operações de lavra, influenciando na escolha do método e tipo de equipamento que melhor se adapte às condições petrográficas do litótipo a ser lavrado.
- 5- Aplicação de métodos de prospecção geofísica** - o uso destes métodos aplica-se principalmente no caso de maciços pouco aflorantes ou parcialmente cobertos por espessa cobertura eluvial ou coluvial. Nestes casos devem-se utilizar métodos geofísicos, dentre os quais se destaca o GPR (Ground Penetrating Radar), o qual permite a visualização em profundidade das discontinuidades que afetam o maciço rochoso, além da espessura do capeamento estéril. De posse destas informações o técnico responsável pela pesquisa efetuará a análise das estruturas detectadas e seu tratamento em projeção estereográfica e, em modelo 3D, das feições interpretadas.

6- Testes operacionais de extração - após a execução das atividades acima referenciadas e antes do início das operações efetivas de lavra, convém providenciar a realização dos testes operacionais de extração. A execução dos mesmos deverá ser planejada de acordo com os parâmetros obtidos durante a fase de pesquisa e constituirá uma etapa de lavra experimental, a qual permitirá a observação detalhada da rocha em seu interior. Também serão produzidas informações mais precisas quanto ao método e equipamentos mais adequados às futuras operações de lavra, treinamento da equipe e obtenção de blocos dentro do padrão de qualidade exigido pelo mercado, além da definição dos custos de produção e dos parâmetros necessários à lucratividade do empreendimento.

CAPÍTULO 7 – CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

No que concerne à Geologia Regional sabe-se que fatores de cunho geológico condicionam a existência e a forma de ocorrência dos jazimentos de rochas para fins ornamentais. Em síntese, o conhecimento do arcabouço geológico-estrutural de uma determinada região permitirá a elaboração de bases previsionais sobre os tipos de rochas possíveis de serem prospectadas. Os eventos tectônicos atuantes e a ambiência geológica resultante condicionam a existência e distribuição destas rochas. Nesse contexto a cor, textura, deformação estrutural e composição, acham-se diretamente relacionados aos eventos tectônicos atuantes, criando assim os condicionantes geológicos regionais e locais formadores de tais jazimentos.

Salienta-se que o conhecimento dos condicionantes tectono-estruturais de uma determinada região, facilita os trabalhos de prospecção e execução da pesquisa de detalhe pois a sua compreensão limita ou favorece a exploração de certos tipos de rochas ornamentais. A execução de tais ações constituem uma importante ferramenta na formulação de políticas públicas para o setor, as quais devem ser norteadas na pesquisa geológica de âmbito regional e elaboração de mapas de potencialidades para rochas ornamentais. Estas atividades permitirão a geração de informações de cunho geológico, com o objetivo de atrair o setor privado, para inversão de capitais na pesquisa de detalhe, o que resultará na descoberta e entrada em operação de novos jazimentos. ,

A qualidade dos blocos extraídos durante o desenvolvimento das operações de lavra dependerá, dentre outros aspectos, do conhecimento das superfícies de fraqueza representadas pelas discontinuidades, da densidade destes planos, e de sua distribuição no espaço. O domínio técnico desses fatores permitirá um melhor planejamento nas operações de lavra, o qual deve ser adaptado a cada jazimento.

No caso do jazimento da Pedreira do Sítio Jaú (Sertânia – PE), a melhor direção de abertura do maciço aflorante, para propiciar a sua futura exploração, é a de $300^{\circ}Az$, coincidente com o eixo de tensão mínima e paralela à foliação Sn. O corte dado segundo tal orientação será perpendicular ao eixo de tensão máxima σ_1 e propiciará o alívio do maciço antes do início do processo de lavra.

Com base no exposto verifica-se que a elaboração do mapeamento geológico de detalhe, seguido do levantamento estrutural e tridimensional das estruturas observadas, é de suma importância para o bom êxito dos futuros serviços de exploração.

No tocante à definição do método e do tipo de equipamento a ser adotado, além dos serviços acima mencionados, faz-se necessária também a execução dos estudos de caracterização petrográfica e tecnológica da rocha prospectada. Os resultados permitirão o conhecimento das características físico-mecânicas do litotipo e conseqüentemente a definição da sistemática de trabalho que melhor se adapte ao material a ser explorado.

Em maciços fraturados, a determinação da densidade e distribuição das fraturas e veios será de fundamental importância para a elaboração de um planejamento operacional capaz de maximizar a recuperação de blocos em uma frente de exploração. Salienta-se que a visualização tridimensional dos planos de fraturas e demais discontinuidades viabilizam a definição do tamanho e orientação dos blocos a serem lavrados, e dos setores que melhor se apresentam à abertura de frentes de extração.

O uso dos métodos de projeção estereográfica, seguido da análise do elipsóide das paleotensões, mostrou ser uma ferramenta importante como suporte às decisões técnicas relacionadas ao planejamento e operacionalização de uma lavra de rochas ornamentais. Salienta-se que tal sistemática de estudo pode ainda colaborar para o melhor entendimento das situações adversas, tais como a ruptura imprevista de blocos em determinadas direções durante os trabalhos de extração, transporte, serragem e/ou lustre.

Convém frisar que o levantamento geológico básico e de detalhe, seguido da análise estrutural, constituem ferramentas imprescindíveis mas não o suficiente para as dificuldades na determinação da geometria dos blocos comerciais durante o planejamento das ações de lavra. Tais ações devem ser complementadas com o levantamento topográfico adequado à escala de trabalho, seguido da modelagem tridimensional do maciço e das estruturas nele detectadas, apoiadas pela utilização das técnicas de geoestatística. Em certos tipos de granitos, tais estudos devem ser complementados pela utilização de métodos geofísicos (GPR) e serviços de sondagem.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ALMEIDA, F. F. M. *Origem e Evolução da Plataforma Brasileira*, Rio de Janeiro, DNPM, 1967. 36 p. il + 1 mapa anexo. (DNPM/DGM. Boletim 241).
2. ALMEIDA, F. F. M.; ALMEIDA, F. F.; CORDANI, U. G, KAWASHITA, K., VANDOROS, P. Radiometric age determinations from Northern, **Brazil**. *Boletim da Sociedade Brasileira de geologia*. [S, 1.], V-17, n. 1, P. 3-14, dez. 1968.
3. ALMEIDA, F. F. M.; HASUI, Y; BRITO NEVES, B.B.; FUCK, R.A. Províncias Estruturais Brasileiras. In: Simpósio de Geologia do Nordeste, 8., 1977. Campina Grande, *Atas...* SBG. Núcleo Nordeste, 1977, 497p. il. (Boletim Núcleo Nordeste da SBG, 6) p. 363-391.
4. ALMEIDA, F. F. M.; HASUI, Y; BRITO NEVES, B. B. FUCK, R. A. Brazilian Structural Provinces: an Introduction. *Earth Science Reviews*. v. 17, p. 1-29, 1981.
5. ANHAEUSSER, C. R.; MASON, R. VILJEON, N. J.; VILJEON, R. P. A reappraisal of some aspects of Pre-Cambrian Sheild geology-*Geological Society of America Bulletin*, v. 80, p 21275-2200, Nov. 1969.
6. ARAÚJO, V.; SOUZA, J. C.; ROLIM, J. F. Diagnóstico do setor de rochas ornamentais e de revestimento do Estado de Pernambuco. In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DO NORDESTE, 22 / CONGRESSO BRASILEIRO DE ROCHAS ORNAMENTAIS, 3 / SIMPÓSIO DE ROCHAS ORNAMENTAIS DO NORDESTE, 6, 15 – 18 nov. 2007, Natal. *Resumos...* Natal: SBG. Núcleo Nordeste, 2007. 1 CD-ROOM. (Boletim Núcleo Nordeste da SBG, 20).

7. BARBOSA, A. J.; PAIVA, I. P. *Sistemática metodológica baseada em fatores físicos das rochas e infra-estrutura, para uso em mapas de atratividade econômico-geológica de rochas para fins ornamentais*. Recife: CPRM, 1998. 9p. (Informe de Recursos Minerais).
8. BILLINGS, M. P. *Structural Geology*. 3 ed. [New Delhi]: Prentice Hall, 1972. 606p.
9. BITTAR, S. M. B. *Faixa Piancó - Alto Brigida: terrenos tectono-estratigráficos sob regimes metamórficos e deformacionais contrastantes*. São Paulo, 1998. 126p. il. Tese
10. (doutorado). Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo.
11. BORG, I. & HANDIN, J. Experimental Deformation of Crystalline Rocks. *Tectonophysics*, V. 3, n 4, edição especial. ELSEVIER. 1966.
12. BRITO NEVES, B. B. *Regionalização Geotectônica do Pré-Cambriano Nordestino*, São Paulo, 1975. 198 p. (doutorado)-Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo.
13. BRITO NEVES, B. B. *O Mapa Geológico do Nordeste Oriental do Brasil*, Escala 1: 1.000.000. São Paulo, 1983. 177p. (Tese de Livre Docência) - Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo.
14. BRITO NEVES, B. B.; VAN SCHMUS, W. R.; SANTOS, E. J. dos; CAMPOS NETO, M. C. ; ROZUCH, M. O evento Cariris Velhos na Província Borborema: Investigação de dados, implicações e perspectivas. *Revista Brasileira de Geociências*, São Paulo, v. 25, n 4, p. 279-296. dez. 1995.
15. BRITO NEVES, B. B. et al. Estudos geológicos e geocronológicos complementares no saliente oriental nordestino. In: *O Pré-Cambriano*. São Paulo, USP, 1998. Paginação Irregular (processo FAPESP 1998/7696-9).

16. BRITO NEVES, B. B.; SANTOS, E. J.; VAN SCHMUS, W. P. 2000. Tectonic history of the Borborema Province. In: CORDANI, V. G. ; MILANI, E. J.; THOMAZ FILHO, A.; CAMPOS, D. A. (Ed). *Tectonic Evolution of South America*. Rio de Janeiro: 31 sT. International Geological Congress, 2000. 845p. il. p. 151-182.
17. CABY, R. et al. Crustal evolution and the brasiliano orogeny in Northeast Brazil. In: DALLMAYR, R. O. & LOCORCHER, J. P. (ed.) *The West African Orogens and Circum Atlantic Correlatives*. Berlin: Springer-Verlog, 1991, 405p. il. P. 373-393.
18. CHIODI FILHO, C. Pesquisa Geológica: O primeiro Passo. *Revista Rochas de Qualidade*, [S. 1.] n. 117, P. 58-71. / Abril/ maio/junho. 1994.
19. CHIODI FILHO, C. Situação do Setor de Rochas Ornamentais e de Revestimentos no Brasil - Mercados Interno e Externo. In: SIMPÓSIO DE ROCHAS ORNAMENTAIS DO NORDESTE, 5., 2005, Recife. *Anais ...* Recife: PPGEMinas/SBG, 2005. 372p. il. P. 325-351.
20. CONEY, P. J. Structural Aspects of Suspect Terranes and Accretionary Tectonics in Western North America. *Journal Structural Geology*, [S 1], v. 11, p. 107-125. 1989.
21. COSTA, A. C. da; PEDROSA; PEDROSA; I. L.; MENDES, V. A. *Projeto Agreste de Pernambuco: Relatório Final*. Recife: DNPM/CPRM, 1978. 3 v.
22. CAMPOS NETO, M. C.; BRITO NEVES, B. B. de; BITTAR, S. M. B. *Domínio Tectônico Rio Pajeú: Orogênese no Ciclo Brasileiro/Panafricano*. São Paulo, 1994. 62p. (Relatório científico), FAPESP, Geociências, 92(2079-5). (Inédito).
23. MEDEIROS, V. C. de. *Folha Garanhuns- SB. 24-X-B-Integração geológica: Programa Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil - PLGB*. Recife: CPRM, 1998. 22p.

24. EBERT, H. *Tectônica e metamorfismo Regional do Escudo Brasileiro*. Recife: SUDENE - Div. Geologia, 1964. 39p.
25. FRAZÃO, E. B.; FARJALLAT, J. E. S. Proposta de especificação para rochas silicáticas de revestimento. In: Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia, 8., 1996, Rio de Janeiro. *Anais ...* Rio de Janeiro: ABGE, 1996, p. 369-380.
26. GOMES, H. A.; SANTOS, E. J., POLONIA, J. *Geologia e recursos minerais do estado de Pernambuco*. Recife: CPRM/AD DIPER, 2001. 141p. il. 2 mapas. Escala 1: 500.000.
27. GRIGGS, D. T. & HANDIN, J., 1960. Observations on Fracture and a Hypothesis of Earthquakes. In: GRIGGS, D. T. & HANDIN, H. Rock Deformation- a Symposium Geol. Soc. Am. Mem. v. 7, p. 347-373. 1960.
28. HANDIN, J. Experimental Deformation of Rocks and minerals. Quart. Colo. School Mines, v. 52, p. 75-98. 1957.
29. HANDIN, J. & HAGER JR, R. V. Experimental Deformation of Sedimentary Rocks under Confining Pressure: Tests at Room Temperature Dry Samples. *Geological Society of America bulletin*, v. 41. 1957.
30. HANDIN, J. & HAGER JR, R. V. Experimental Deformation of Sedimentary Rocks under confining Pressure: Test at High Temperature. *Geological Society of America Bulletin*, v. 42, p. 2892-2934. 1958.
31. HANDIN, J.; HAGER JR, R. V.; FRIEDMAN, M. & FEATHER, J. N. Experimental Deformation of Sedimentary Rocks under Confining Pressure test. *Geological Society of America Bulletin*, v. 47, p. 717-755. 1963.
32. HUBBERT, M. K. Theory of Scale Models as applied to the Study of Geology Structures. *Geological Society of America Bulletin*, v 48, p. 1459-1521. 1937.

33. HUBBERT, M. K. Mechanical basis for certain familiar geologic structures. *Geological Society of America Bulletin*, v 62, p. 355-372. 1951.
34. HUBBERT, M. K. & WILLIS, D. G. Mechanics of Hydraulic Fracturing. A. Inst. Min. Eng. Petrol. Trans.,v. 210, p. 153-166. 1957.
35. JAEGER, J. C. *Elasticity, Fracture and Flow*. 2 ed. New York: John Wiley, 1962.
36. JAEGER, J. C. & COOK, N. G. W. *Fundamentals of Rocks Mechanics*. [S.1.]: Chapman and Hall: Science Paperbacks, 515 p. 1969.
37. JAEGER, C. Rocks mechanics and engineering. [S.1.]: Cambridge at University Press.1972. 417 p.
38. HOLANDA, C. J.; CUNHA, A. C.; SILVA, F. A. F.; SERENO FILHO, J. A. *Catálogo dos Granitos do Estado de Pernambuco*-Minérios de Pernambuco. Recife: Minérios de Pernambuco, 1987. 109p.
39. JARDIM de Sá, E. F.; MACEDO, M.H. F.; TORRES, H. H. F., KAWSHITA, K. Geochronology of metaplutonics in the evolution of supracrustal belts in the Borborema Province NE Brazil. In: CONGRESSO LATINO-AMERICANO DE GEOLOGIA, 7, 6- nov. 1988. Belém, *Anais ...* Belém: SBG. Núcleo Norte, 1988. 617p. p.48-62.
40. JARDIM de SÁ, E. F.; MACEDO, M. H. F. F. A.; TERRENOS proterozóicos na Província Borborema e a Margem do Cratón São Francisco. *Revista Brasileira de Geociências*, v. 22 n 4, p. 472-480, 1992.
41. JARDIM de SÁ, E. F. *A Faixa Seridó (Província Borborema NE do Brasil) e o seu significado geodinâmico na Cadeia Brasileira/Panafricana*. Brasília, 1994. 804p. Tese (Doutorado) - Instituto de Geociências, Universidade de Brasília.

42. LIMA, M. I.; GAVA, A.; FERNANDES, P. E. C. A.; PIRES, J. L. SIGA JR. O. *Projeto ferro titanado de Floresta*. Salvador: Minérios de Pernambuco/RADAMBrasil, 1985. V.1.
43. LOCZY, L.; LADEIRA, E. A. Projeção Estereográfica Aplicada à Geologia Estrutural In: *Geologia Estrutural e Introdução a Geotectônica*. Editora Brücher. São Paulo. 1976-627p. il. P496-510.
44. LOCZY, L.; LADEIRA, E. A. Comportamento físico dos materiais rochosos. In: *Geologia Estrutural e Introdução à geotectônica*. São Paulo: Editora Brücher.. 1976. 627p. il. p 4-29.
45. MEDEIROS, V. C. *Aracaju-NE: Folha SC. 24-X*. Estados da Paraíba, Pernambuco, Alagoas, Sergipe e Bahia. Brasília: CPRM, 2000. 1 CD ROOM; mapas. Escala 1: 250.000. Programa de levantamentos Geológicos básicos do Brasil – PLGB.
46. MENDES, V. A. Rochas Ornamentais de Pernambuco - Encontro Italo-Brasileiro de Rochas Ornamentais, 1., 2002, Recife. Palestra Proferida na sede da FIEPE.
47. MENDES, V. A.; PAIVA, I. P. *Rochas Ornamentais de Pernambuco*: Folha Garanhuns. Recife: CPRM, 2003. Escala 1:250.000 (inédito). 90p.
48. MENDES, V.A. Relação entre os eventos geológicos e a formação dos jazimentos de rochas ornamentais. *Revista Rochas de qualidade*. São Paulo, março/abril/maio, 2003. Edição 169. p 165-171.
49. MENDES, V. A.; FIGUEIROA, I. Importância da pesquisa geológica regional na descoberta de novos jazimentos de rochas ornamentais. *Revista Rochas & Equipamentos*. Lisboa, ed. n 81, 1º trimestre/2006. p 110-120.

50. MENDES, V. A.; PAIVA, I. P.; SILVA FILHO, A. F. da; SEONE, J. C. S.; SANTOS; E. J. dos, GUIMARÃES, I. de P.; SIQUEIRA, D. V. e BRASIL, E. Condicionamento Geológico das Rochas Ornamentais das Folhas Garanhuns e Belém do São Francisco. In: SIMPÓSIO DE ROCHAS ORNAMENTAIS DO NORDESTE, 3, 2002, Recife.. *Anais...* Recife: [s.n], nov. 2002. 1 v. p. 99-112. Escala 1:250.000.
51. MENDES, V. A.; SOUZA, J. C.; SANTANA, O. J. Nova sistemática de pesquisa para rochas ornamentais. In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DO NORDESTE, 22/ CONGRESSO BRASILEIRO DE ROCHAS ORNAMENTAIS, 3 / SIMPÓSIO DE ROCHAS ORNAMENTAIS DO NORDESTE 6, 15-18 nov. 2007, Natal. *Resumos ...* Natal: SBG. Núcleo Nordeste, 2007. 1 CD ROOM. (Boletim Núcleo Nordeste da SBG).
52. NADAI, A. *Theory of flow and fracture of solids*. 2 ed. New York: Mc Graw - Hill Book Company, 1950. 2.v.
53. OLIVEIRA, R. G.; MEDEIROS, W. C.; LINS, F. P. L. Mapas gravimétricos da Província Borborema, Nordeste do Brasil. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE GEOFÍSICA - SBGF, 2, 2006, Natal. *Resumos...* Natal: [s.n.], 2006. 1 CD ROOM.
54. PAIVA, I. P.; BARBOSA, A. J. *Rochas Ornamentais de Pernambuco* - Folha Belém do São Francisco. Recife: CPRM – SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL, 2000. 45p. 3 mapas. Escala 1: 250.000. (Informe de Recursos Minerais. Série diversos, 3).
55. PATTERSON, M. S. Experimental deformation and faulting. in Wombeyan marble. Bull. *Geological Society of America Bulletin.*, v. 69, p. 465-476. 1958.
56. RANSAY, J. G. *Folding and fracturing of rocks*. New York, Mcgraw - Hill. Book Company, 1967. 58p.

57. RANSAY, J. G. & HUBER, M. *The techniques of modern structural geology: fold and fractures*. London: Academic Press Inc., [1987]. 702 p.
58. ROCHA, D. E. G. A.; LEITE, J. F. Estudo *hidrogeológico da Bacia do Jatoba-PE*. Recife: CPRM, 1999. 20p. il. 1 mapa (Série Hidrogeologia. Estudos e Projetos, 2).
59. ROCHA, M. *Mecânica das rochas*. Lisboa: Laboratório Nacional de Engenharia Civil, 1986. 276 p.
60. SANTOS, E. J. *Folha Floresta-SC. 24-X*. Província Borborema, Nordeste do Brasil. Recife-PE: CPRM, 1995. Programa de Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil. Escala 1: 250.000.
61. SANTOS, E. J. & BRITO NEVES, B. B. Província Borborema. In: ALMEIDA, F. F. de; HASUY, Y. (Coord.). *O Pré-Cambriano do Brasil*. São Paulo: EDGAR BRÜCHER, 1984. 378p. cap. 5 p.125-186.
62. SANTOS, E. J. Ensaio Preliminar sobre terrenos e tectônica acrescionária na Província Borborema. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA 39, 1996, Salvador. *Anais...* [Salvador]: SBG., 1996. 7 v. il. V. 6. p 47-50.
63. SANTOS, E. J. O modelo da evolução pré-cambriana da região de Arcoverde, Pernambuco. In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DO NORDESTE, 8, 1977. Campina Grande. *Atas ...* Campina Grande: SBG, 1977. 499p. (Boletim do Núcleo Nordeste da SBG), p.225-245.
64. SANTOS, E. J.; OLIVEIRA, R. G.; PAIVA, I. P. Terrenos no domínio transversal da Província Borborema: Controles sobre acreção e retrabalhamento crustais ao sul do Lineamento Patos. In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DO NORDESTE, 17, 1997, Fortaleza. *Resumos...* Fortaleza; SBG, 1997. 537p. (Boletim do Núcleo Nordeste da SBG 15), p. 141-144.

65. SANTOS, E. J.; VAN SCHMUS, W. R. BRITO NEVES, B. B.; OLIVEIRA, R. G; MEDEIROS, V. C. Terrene and their boundaries in the proterozoic Borborema Province, northwest Brazil. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE ESTUDOS TECTÔNICOS, 7, 1999, Lençóis. *Anais...* Lençóis: SBG, 1999. “paginação irregular” il. P. 121-124.
66. Santos, E. J. *O complexo granítico de Lagoa das Pedras*: acreção e colisão na região de Floresta - Pernambuco, Província Borborema. São Paulo, 1995. 219 p. Tese
67. (doutorado) - Instituto de geociências, Universidade de São Paulo. São Paulo.
68. SANTOS, E. J. Contexto geotectônico regional, In: MEDEIROS, V. C. *Aracaju, NE. Folha SC. 24-X*. Estados da Paraíba, Pernambuco, Alagoas, Sergipe e Bahia. Brasília: CPRM, 2000. 1 CD ROOM. Escala 1:500.000. Programa de levantamentos Geológicos Básicos do Brasil.
69. SANTOS, C. A. dos. *Mapeamento Geológico da Folha Sertânia.. Folha SC. 24-S-b-I, porções dos Estados da Paraíba e Pernambuco*. Recife, no prelo. Escala 1:100.000. Programa de Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil.
70. SANTOS, E. J. As feições estruturais da Folha Arcoverde, Pernambuco e o mecanismo dos falhamentos da ‘Zona Transversal’. Min. Met., Rio de Janeiro, p. 35-45, janeiro/ 1971.
71. SEONE, J. C. S; OSAKO, L. S.; SILVA FILHO, A. F.; MENDES, V. A. Integração e avaliação de base de dados de prospecção de granitos e migmatitos em sistema de informações geo-referenciadas. In: III SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DO NORDESTE, 3, (il). 2002. Recife. *Anais...* Recife: SBG, 2002. p. 325-351.

72. SCHOBENHAUS, C.; (coor) CAMPOS, D. A.; DERZE, G. R.; ASMUS, H. E. *Geologia do Brasil*: texto explicativo do mapa geológico do Brasil e da sua área oceânica adjacente incluindo depósitos minerais. Brasília. DNPM. 1984. 501p. il. 4 mapas. Escala 1:2.500.000.
73. VAN SCHMUS, W. R.; BRITO NEVES, B. B.; HACKSPACHER, P. C.; BABINSK, M.; FETTER, A. H.; DANTAS, E. L. Neoproterozoic and late mesoproterozoic sedimentary and volcanic sequences in the Borborema Province, NE Brazil, In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA do NORDESTE, 16, 1995, Recife. *Atas...* Recife: SBG. 1995, 2v. il. (Boletim do Núcleo Nordeste da SBG, 14), p. 391-393.
74. WANDERLEY, A. A. *Carta geológica, carta metalogenética/previsional. folha SB. 24-Z-D-IV, Monteiro. Estados de Pernambuco e Paraíba*. Brasília-DNPM/CPRM, 1990. 100p, il. Programa Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil. Escala 1: 100.000.
75. WINKLER, H. G. F. *Petrogênese das rochas metamórficas*. 4 ed. São Paulo: EDGARD BRÜCHER LTDA. 254 p.
76. ZANINI, F. P. *Projeto cadastramento dos granitos do Estado de Pernambuco*: Relatório Final - Texto. Recife: Convênio CPRM/Minérios de Pernambuco. 1983. 158p.

ANEXOS

ANEXO I

RESULTADOS DE ANÁLISES PETROGRÁFICAS

RB-34

Características Mesoscópicas

Amostra coletada em Sertânia (PE) e classificada preliminarmente como milonito de protólito granítico (sienito tipo Moderna).

Rocha metamórfica milonítica, metaplutônica, de metamorfismo dinâmico, associada à zona de cisalhamento. Coloração alternando porções verdes e porções rosa-avermelhadas, em alguns locais evoluindo para um bandamento composicional. Os locais de coloração verde aparentemente rico e anfibólio, os locais de coloração rosa avermelhada aparentemente ricos em k-feldspato.

Características Microscópicas

Textura: Milonítica

Composição Modal: Estimada

MINERALOGIA	%
Matriz milonítica	50
Plagioclásio	15
Quartzo	15
Anfibólio Verde	18
Acessórios (Opacos, Titanita, Alanita, Calcita)	2

Observações

Em seção delgada, observa-se uma rocha metamórfica dinâmica, cisalhada, milonitizada, de protólito granítico.

A rocha é constituída por matriz cominuída, cisalhada, orientada segundo uma direção de foliação principal. Esta matriz representa 50% do volume modal da rocha, classificando-a como um milonito, segundo a classificação de Gibson (1977): 0-10% de matriz = brecha tectônica; 10-50% de matriz = protomilonito/protocataclasito; 50-90% de matriz = milonito/cataclasito; 90-100% de matriz = ultramilonito/ultracataclasito. A matriz milonítica é félsica, de origem granítica, e constituída por quartzo + k-feldspato + plagioclásio, em proporções volumétricas indistinguíveis devido ao cisalhamento devido ao cisalhamento e à cominuição e trituramento dos grãos originais, razão pela qual não se pode usar o QAP (Streckeisen, 1976) para estimar a composição exata do protólito granítico.

Esta matriz contém 50% de porfiroclastos, félsicos e máficos, os quais ocorrem espacialmente distribuídos segundo um bandamento composicional, alternando de forma irregular bandas mais félsicas (na amostra de mão são as bandas rosa-avermelhadas), possivelmente ricas em k-feldspato o qual devido ao cisalhamento/cominuição em escala microscópica não exhibe a geminação característica. Nestas bandas félsicas, predominam porfiroclastos de plagioclásio, submilimétricos até 1-2mm de tamanho, e cristais de quartzo, submilimétricos, orientados segundo fitas quartzosas mono mineralicas, recristalizadas. Os porfiroclastos de plagioclásio exibem formas deformadas variadas (alongadas, algumas tipo augen) e mostram a geminação polissintética característica dos plagioclásios. Constituem 15% do volume modal, e são formadas cristais xenoblásticos, com extinção óptica ondulante e contatos intercrystalinos suturados.

Nas bandas mais máficas, predominam porfiroclastos de anfibólio verde, prismáticos (idioblásticos), orientados segundo a fólida milonítica, com tamanhos variando de submilimétricos até 1-2 mm. Constituem 18% do volume modal, e são possivelmente da série das hornblendas. A composição exata (edenita, pargassita,...) é melhor determinada por análises de química mineral, projetadas em diagramas classificatórios apropriados (Leake, 1997).

Associados espacialmente às bandas máficas, observam-se minerais máficos constituindo 2% do volume modal (opacos, titanita, alanita), com tamanhos micrométricos a submilimétricos, formas idioblástica a subidioblástica.

Por último, observa-se presença de veios tardios de calcita cortando a rocha, sugerindo metassomatismo após os eventos de cisalhamento.

Classe: Metamórfica dinâmica metaplutônica

Rocha: Milonito, de protólito granítico.

RB-55

Características Mesoscópicas

Amostra coletada em Sertânia (PE) e classificada em campo como migmatito, pertencente ao complexo Sertânia.

Rocha metamórfica metapelítica, foliada, bandada (bandamento gnássico), passando a migmatito (ou seja, sofrendo processos de fusão parcial in situ).

Alternam-se bandas félsicas, rosadas (ricas em k-feldspato tipo microclina) e bandas máficas (ricas em biotita). O k-feldspato (microclina) exhibe-se como megacristais, centimétricos (até 2-3 cm), produzindo textura de granulação grossa. Trata-se de uma rocha para migmatítica, ou seja, metassedimentar, paraderivada.

Textura: Foliada, bandada, migmatitizada

Composição Modal: Estimada Rocha inequigranular: Grossa

Megacomponentes: K-feldspatos (microclina rosadas)

MINERALOGIA	%
K-feldspato (microclina)	35
Quartzo	20
Escapolita (plagioclásio metassomatizado)	10
Biotita	30
Granada	3
Acessórios (clorita, opacos, zircão, apatita, muscovita, epidoto)	2

Observações

Em seção delgada, observa-se uma rocha metamórfica metapelítica, paraderivada, foliada, bandada com bandamento gnássico, passando a migmatito (paramigmatito).

Alternam-se bandas félsicas, com mineralogia = k-feldspato tipo microclina, quartzo, escapolita (plagioclásio escapolitizado); e bandas máficas, com mineralogia = biotita, clorita, granada, apatita, zircão, opacos.

O k-feldspato (microclina) ocorre como megacristais idioblásticos, centimétricos (em lâmina atinge até 2 cm), exibindo a geminação cruzada característica (com binação de geminação segundo a lei da albita e geminação segundo a lei do periclínio) (35% da moda da rocha).

Quartzo ocorre como cristais alongados, xenoblástico, com extinção óptica ondulante e individualização óptica de subgrãos, contatos intercristalinos suturados (20% da moda da rocha).

Plagioclásio exibe-se completamente alterado para escapolita, metassomatizado, xenoblástico (10% da moda da rocha).

Biotita ocorre como lamelas marrom avermelhadas a amarelo claro, contendo por vezes inclusões de zircão metamítico (os quais produzem em redor de halos pleocróicos) e estão sempre associados espacialmente a cloritas (lamelas verdes) e granadas cor de rosa. Biotitas representam 30% da moda.

As granadas são subarredondadas, idioblásticas a subiodoblásticas, cor de rosa avermelhada, bastante fraturada e por vezes alterada para clorita (verde). Possivelmente seja almandina ou pirôpo. Granadas são 03% da moda.

Ocorrem como minerais acessórios: apatita, zircão, epidoto, opacos. Estes acompanham espacialmente o trio biotita-clorita-granada, estão orientados segundo a foliação gnáissica da rocha e são submilimétricos. Também se vê, mais raramente, muscovita (residual). Acessórios, juntos, perfazem 2% da moda da rocha.

Trata-se de um paramigmatito, derivado de fusão parcial de paragnaisse (gnaisse metapelítico), com mineralogia compatível com a zona da sillimanita 2 (embora não apresente sillimanita na lâmina): k-feldspato + granada + biotita + muscovita + quartzo + plagioclásio + sillimanita, já é o limite coincidente com a formação de migmatitos, quando já desaparece a sillimanita (Shelley, 1993, pg 96).

Não se faz QAP porque não é uma rocha metamórfica metaplutônica ou metavulcânica, e sim uma paraderivada, metassedimentar.

As bandas félsicas, ricas em k-feldspato+quartzo+escapolita, correspondem ao leucossoma; e as bandas máficas, ricas em biotita+granada+acessórios, ao melanossoma; ambas porções, leucossoma e melanossoma, pertencem ao neossoma. O mesossoma (porções do protólito, modificadas), não está bem representado na amostra.

Classe: Metamórfica metapelítica.

Rocha: Paramigmatito com granada e biotita. (parecido a um granada biotita gnaisse, tendo sido migmatitizado).

RB-72

Características Mesoscópicas

Rocha coletada no município de Arcoverde (PE) e classificada preliminarmente como milonito, de protólito granítico, da suíte Itaporanga.

Características Microscópicas

Textura: Porfírica, pegmatóide

Rocha inequigranular: grossa a muito grossa

Mega componentes: k-feldspato

MINERALOGIA	%
k-feldspato (microclina)	70
Quartzo	20
Plagioclásio	10
Acessórios (clorita, muscovita, opacos, biotitas residuais)	<1

Observações

Em seção delgada, observa-se uma rocha leucocrática ($ie=1$) com textura fanerítica inequigranular porfírica muito grossa, quase pegmatóide, dada por fenocristais centimétricos (variando até 5-7 cm de comprimento) de k-feldspato (microclina), euédricos a subédricos, tabulares, inseridos numa matriz cristalina granítica de granulação média a grossa, localmente cataclada.

Os fenocristais de k-feldspato (microclina) exibem textura de exsolução perítica (exsolução de albita), geminação cruzada (combinação das geminações segundo a lei da albita e segundo a lei do periclínio) e microfissuras/fraturas, as quais por vezes mostram-se preenchidas por veios de quartzo. Ocorrem, disseminadas pelos grandes cristais (centimétricos) de microclina, inclusões de quartzo cujas formas sugerem possível textura granofírica (gráfica), a qual é sugestiva de rochas pegmatíticas (ou pegmatóides, no caso).

O aspecto destes fenocristais de microclina perítica é relativamente límpido (inalterado ou muito pouco alterado), contrastando com o aspecto da matriz granítica, formada por quartzo+plagioclásio+microclina menor (subcentimétrica), onde os plagioclásios (milimétricos) exibem-se, via de regra, bastante alterados (argilizados e sericitizados). Também na matriz observam-se, localmente, porções cataclásticas, cominuídas, porém nesta lâmina esta matriz cataclásada representa apenas 05% do volume modal, resultando que apenas se pode classificá-la como brecha catacláticas (0-10% matriz cataclástica = brecha, segundo a classificação de Gibson, 1977).

Percorrendo os interstícios entre os fenocristais de microclina perítica, observam-se ainda veios cloritóides e muscovitas. Também estas cloritas e muscovitas preenchem espaços adjacentes à matriz granítica e às porções cataclásticas.

Praticamente não há máficos nesta lâmina, exceto pelas cloritas (secundárias e claramente derivadas de alteração metassomática de biotitas existentes no protólito desta rocha, embora já antes em proporções acessórias, <1%) e pelas muscovitas (também derivadas de alteração metassomática, seja das biotitas seja dos plagioclásios), e muito raros opacos. Ao todo, cloritas+muscovitas+opacos+biotitas residuais <1%.

A classificação desta rocha resulta algo problemático, pois sendo um granito porfirítico muito grosso a pegmatóides, e tendo a seção delgada privilegiado uma porção da rocha fenocristica, 70% da lâmina é k-feldspato (microclina), e na matriz, quartzo e plagioclásio responderiam por, respectivamente, 20 e 10% da moda, ai incluídos nesta estimativa os 5% de matriz cataclástica (a qual é indistinguível petrograficamente, porém claramente félsica, originalmente qz+pl+k-f).

Projetando os valores modais QAP no diagrama de Streckeisen (1976) para rochas plutônicas, a amostra RB-72 projeta-se na linha limite entre os campos álcali-feldspato granito e sienogranito, e próxima ao campo dos quartzo-sienitos (rochas alcalinas, subsaturadas em sílica).

Esta classificação de ser vista com reservas, pois tanto há o problema de estarmos tratando uma rocha porfirítica muito grossa (que na realidade não deve ser classificada de forma tradicional) como também há a questão de que a rocha sofreu processos de metassomatismo (microclinização) intensos.

Classe: Ígnea plutônica granítica

Rocha: Álcali-feldspato granito a sienogranito, porfirítico grosso a pegmatóide, brechóide cataclástico, rosa-avermelhado, microclinizado.

ANEXO II

RESULTADOS DE ANÁLISES DE DETERMINAÇÃO DA COMPOSIÇÃO MINERALÓGICA

VM-01. B (2)

Textura: lepidogranoblástica

Mineralogia

Minerais essenciais

Feldspato potássico

Quartzo

Biotita

Plagioclásio

Minerais acessórios

Apatita

Epidoto

Opacos

Zircão

Minerais de alteração

Clorita

Deformação: Extinção ondulante e fissuramento

Classificação: Biotita Granito Gnaiss

VM-02

Textura: Nemantolipidogranoblástica

Mineralogia

Minerais essenciais

Plagioclásio

Biotita

Hornblenda

Quartzo

Minerais acessórios

Opacos

Apatita

Titanita

Zircão

Minerais de alteração

Argilominerais

Deformação: Extinção ondulante, fissuramento.

Classificação: Quartzo Diorito deformado

VM-01. B (1)

Textura: Lipidogranoblástica

Mineralogia

Minerais essenciais

Plagioclásio

Feldspato potássico

Quartzo

Biotita

Minerais acessórios

Apatita

Epidoto

Opacos

Zircão

Minerais de alteração

Argilominerais

Carbonato

Clorita

Deformação: Extinção ondulante, fissuramento.

Classificação: Biotita Granito Deformado (Gnaissificado)

VM-01. A (2)

Textura: Xenomórfica

Mineralogia

Minerais essenciais

Feldspato potássico

Quartzo

Plagioclásio

Biotita

Minerais acessórios

Opacos

Zircão

Minerais e alteração

Clorita

Deformação: extinção ondulante e fissuramento

Classificação: Biotita Granito

VM-01. A (1)

Textura: Xenomórfica

Mineralogia

Minerais essenciais

Feldspato potássico

Plagioclásio

Quartzo

Biotita

Minerais acessórios

Opacos

Zircão

Minerais de alteração

Sericita

Argilominerais

Carbonato

Clorita

Deformação: Evidenciada pela intensa extinção ondulante do quartzo e em alguns cristais de feldspatos, além do fissuramento principalmente nos grãos dos feldspatos.

Classificação: Biotita Granito deformado

VM-02 (02)

Textura: Nemantolipidogranoblástica

Mineralogia

Minerais essenciais

Plagioclásio

Biotita

Hornblenda

Quartzo

Minerais acessórios

Opacos

Apatita

Titanita

Zircão

Minerais de alteração

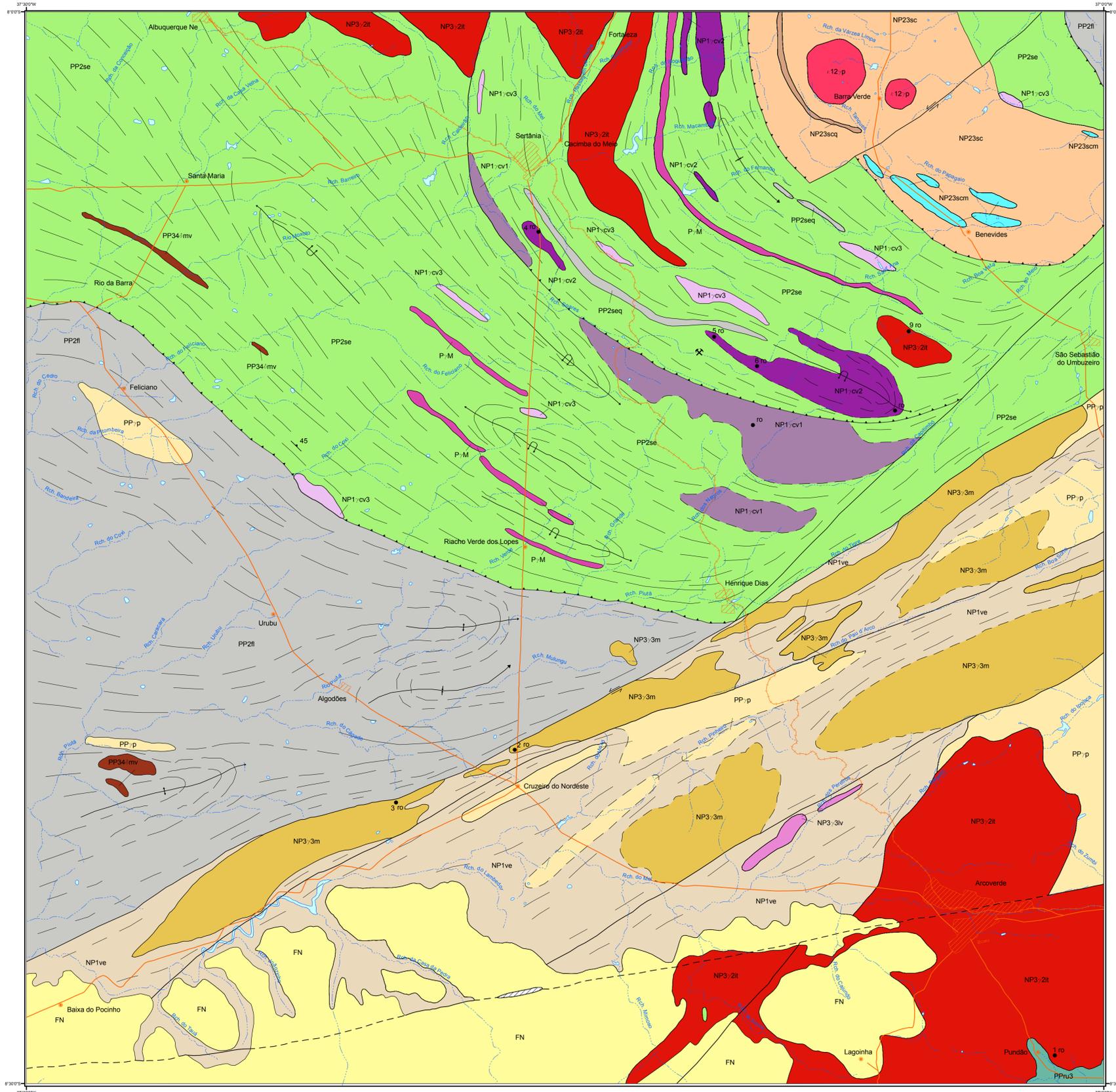
Argilominerais

Deformação: Extinção ondulante, fissuramento.

Classificação: Hb, Bi Gnaissé – composição Quartzo Diorítica.

ANEXO III

MAPA DE POTENCIALIDADE PARA ROCHAS ORNAMENTAIS DA FOLHA SERTÂNIA (ESCALA 1:100.000)

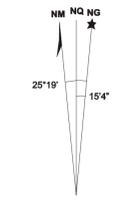


- CORPOS COM POTENCIAL INTERESSE PARA PROSPECÇÃO DE ROCHAS ORNAMENTAIS**
- NP23sc** Complexo Surubim-Carolina formado por biotita gnaíse, granada-biotita xistos, além de níveis de mármore (m), quartzitos (q). Apresenta interesse potencial nos núcleos de mármore e nas exposições de biotita-xistos.
- CORPOS SEM INTERESSE IMEDIATO PARA PROSPECÇÃO DE ROCHAS ORNAMENTAIS**
- FN** Coberturas Sedimentares Fanerozóicas.
 - NP1ve** Complexo Vertente: biotita ou anfíbio gnaíse, metavulcânica félsica a intermediária, rochas vulcanoclásticas, calcissilicáticas e metauramíficas.
 - P-M** Granitídeos Mesoproterozoicos: ortognaisses tonalíticos a trondjemíticos, graníticos e sieníticos.
 - PP-p** Metagranitídeos e ortognaisses paleoproterozoicos: inclui ortognaisses graníticos, migmatitos, metagranodioritos, metagranitos porfiríticos, ortognaisses quartzodioríticos, tonalíticos, granodioríticos e granulitos.
 - PP2se** Complexo Sertânia: muscovita-biotita gnaíse, biotita gnaíse, granada ou silimanita, mármore, quartzitos e raras metavulcânicas máficas.
 - PP2fl** Complexo Floresta: ortognaisses quartzo dioríticos, tonalíticos, granodioríticos, granulitos, migmatitos incluindo metagabros, metadioritos, magnetita-grunerta xistos, biotita xistos, mármore e calcissilicáticas.
 - PPru3** Complexo Rio Uma: granada-biotita xisto e paragnaisses migmatizados.

- CONVENÇÕES GEOLÓGICAS**
- Contato definido
 - - - Contato aproximado
 - - - Falha ou fratura
 - - - Falha ou fratura encoberta
 - ↔ Falha contracional
 - ↔ Falha transcorrente sinistral
 - Lineamentos
 - ⊥ Antiforme normal com caimento indicado
 - ⊥ Antiforme invertido com caimento indicado
 - ⊥ Sinforme normal com caimento indicado
 - Rocha ornamental
 - 45 Foliação com caimento indicado
 - ✱ Jazida pesquisada
 - ↔ Veio de cisalhamento

- CONVENÇÕES CARTOGRÁFICAS**
- Cidade
 - Vila, povoado
 - Estrada pavimentada
 - Estrada de ferro
 - Açude, lagoa
 - Rio intermitente

DECLINAÇÃO MAGNÉTICA EM 2008
E CONVERGÊNCIA MERIDIANA PLANA
DO CENTRO DA FOLHA



A DECLINAÇÃO MAGNÉTICA
CRESCERÁ 6' ANUALMENTE

ESCALA 1:100.000



PROJEÇÃO UNIVERSAL TRANSVERSA DE MERCATOR
Origem da quilometragem UTM: Equador e Meridiano Central 39° W. Gr. acrescidas as constantes: 10.000Km e 500Km, respectivamente. Datum horizontal: WGS84

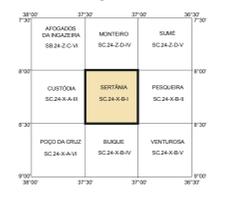
JAZIMENTO DE ROCHAS ORNAMENTAIS DA FOLHA SERTÂNIA

Nº do Jazimento	Toponímia	Município	Rocha	Textura-Estrutura	Status	Denominação	Cor	Corpo Granítico
01	Sítio Fundão	Arcoverde/PE	Granitóide Milonizado	Grossiera Milonítica	Em Lavra	Sunset Red	Vermelha	Suíte Itaporanga
02	Pedreira do Max	Cruzeiro do Nordeste/PE	Granitóide Milonizado	Milonítica a Cataclástica	Em Lavra	Red Brown	Marron Avermelhado	Suíte Granítica Vila Moderna
03	Fazenda Capado	Cruzeiro do Nordeste/PE	Granitóide Milonizado	Milonítica a Cataclástica	Em Pesquisa	Vermelho Esverdeado	Vermelho	Suíte Granítica Vila Moderna
04	Lagoa do Peixe	Sertânia/PE	Migmatito Homogêneo	Banda a Nebulítica	Paralisada	Vermelho Frevo	Róseo Avermelhado	Metatexto de Lagoa da Cidade
05	Sítio Tio Jau	Sertânia/PE	Migmatito Homogêneo	Banda a Nebulítica	Paralisada	Vermelho Frevo	Róseo Avermelhado	Metatexto de Lagoa da Cidade
06	Sítio Lagoa da Cidade	Sertânia/PE	Migmatito Homogêneo	Banda a Nebulítica	Paralisada	Vermelho Frevo	Róseo Avermelhado	Metatexto de Lagoa da Cidade
07	Sítio Muro Alto	Umbuzeiro/PB	Migmatito Homogêneo	Banda a Nebulítica	Paralisada	Vermelho Carnaval	Róseo Avermelhado	Augen Gnaíse Miore
08	Sítio Queimada do Milho	Umbuzeiro/PB	Migmatito Homogêneo	Nebulítica a Flebítica	Paralisada	Vermelho Frevo	Róseo Avermelhado	Metatexto de Lagoa da Cidade
09	Sítio Tigre	Umbuzeiro/PB	Granitóide Milonizado	Milonítica a Cataclástica	Em Lavra	Cinza Esverdeado	Cinza	Plunton de Granitóide da Suíte Itaporanga

ROCHAS PARA FINS ORNAMENTAIS POSSÍVEIS DE SEREM DETECTÁVEIS NA FOLHA SERTÂNIA

Unidade Geológica	Características Gerais da Unidade Geológica	Possíveis Jazimentos a Serem Detectados e seu Condicionamento Geológico
Suíte Malhada Vermelha (PP34/mv)	Formada por metagabros, metadioritos e lentes de hornblendas.	Possíveis jazimentos de rochas melanocráticas tipo "Prato São Marcos".
Ortognaisses Peraluminosos (NP1-cv3)	Ortognaisses peraluminosos tipo "Estrela d'Alva" de composição granodiorítica, contendo granada.	Pode encerrar jazimento de rochas ornamentais semelhantes ao Granito Arabesco.
Metatexto Lagoa da Cidade (NP1-cv2)	Constituída por biotita gnaíse granodiorítico migmatizado, com mobilização feldspática e coloração rósea-avermelhada.	Contém jazimento de Granito dito movimentado, conhecido como Vermelho Frevo.
Augen Gnaíse Miore (NP1-cv1)	Formada por granodioritos grafitizados e ortognaisses graníticos porfiríticos de matriz biotítica.	Pode conter depósitos de rochas ornamentais semelhantes ao Granito Vermelho Carnaval.
Suíte Peralcalina Tipo Vila Moderna (NP3-3m)	Composta por quartzo sienito e sienito, a aegirina, augita e anfíbio alcalino, magnetismo Sin. a Tard. -transcorrente.	Contém jazimento do Tipo Red Brown, cujo controle topográfico é dado pela suíte em epirral, quando afetada por falhamento transcorrente.
Granitóide Tipo Itaporanga (Rochas ditas Homogêneas) (NP3-2it)	Constitui uma suíte de composição cálcio-alcalina de médio a alto potássio, contendo monzonitos, sienogranitos e granodioritos porfiríticos.	Pode encerrar jazimento de rochas ornamentais ditas "homogêneas" semelhantes ao Vermelho Itapanema e Royal Red.
Granitóide Tipo Itaporanga (Rochas ditas Movimentadas) (NP3-2it)	Constitui-se dos mesmos granitídeos cálcio-alcalinos da Suíte Itaporanga, afetados porém, por cisalhamento de natureza transcorrente.	Nas áreas de transtiragem das zonas de transcorrente pode encerrar jazimentos semelhantes ao Granito Sunset Red.
Metagranitídeos Tipo Laje de Vaca (NP3-3lv)	Compõe-se de metagranitídeos claros leucocráticos, peraluminosos com pegmatitos.	Pode conter jazimento de granitos tipo Ouro Branco.
Suíte subalcalina a alcalina Prata (NP3-2it)	Constituída por monzogranitos porfiríticos e leucocráticos.	Pode encerrar rochas claras do tipo Branco Elite e Branco Prata.

ARTICULAÇÃO DA FOLHA



LOCALIZAÇÃO DA FOLHA



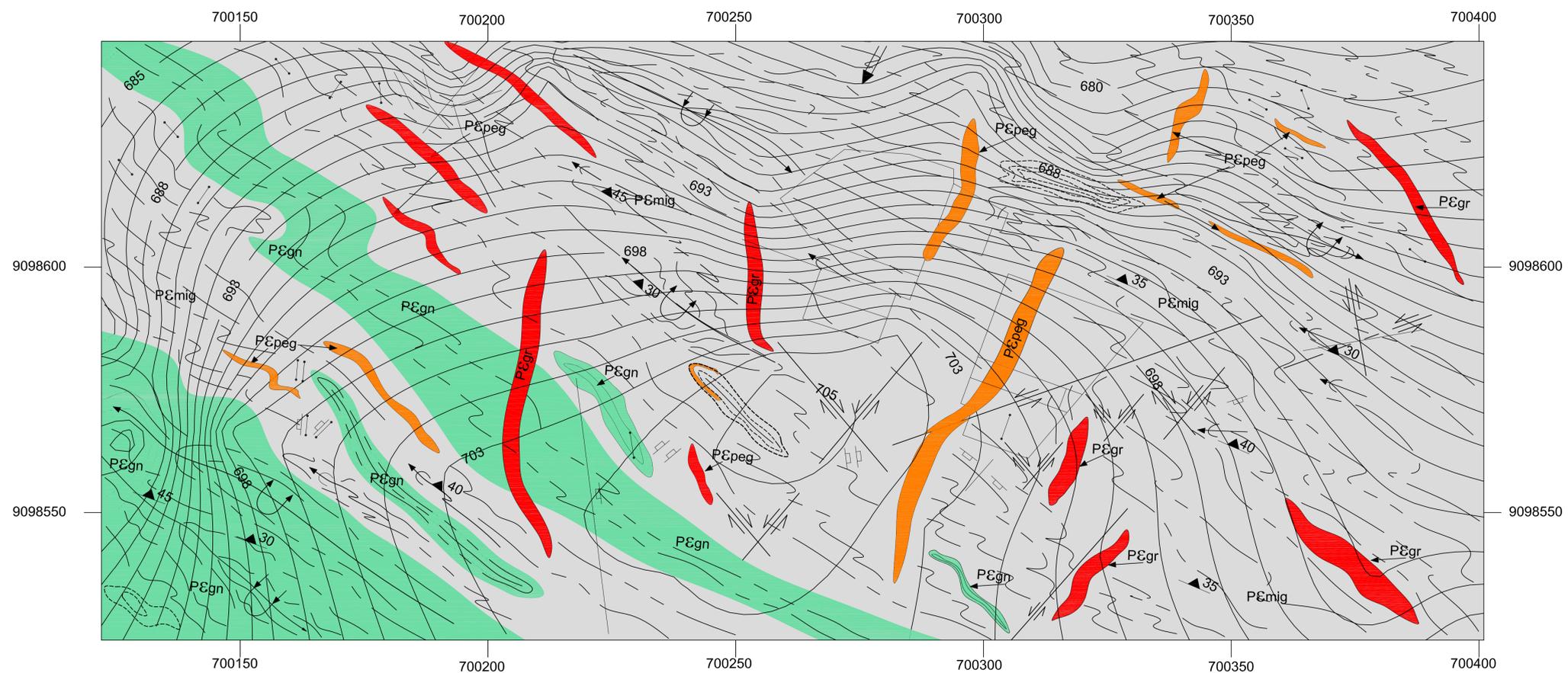
Base Planimétrica digital obtida da carta impressa Sertânia, publicada em 1970 pelo IBGE, ajustada às imagens do Mosaico Geocover - 2000, ortorectificado e georeferenciado segundo o Datum WGS84, de imagens ETM do Landsat 7 resultante da fusão das bandas 7, 4, 2 e 8, com a resolução especial de 14,25 m. Esta base foi editada e atualizada pela divisão de cartografia DICART, para atender o mapeamento temático do Serviço Geológico do Brasil - CPRM, em 2005.

Responsável Técnico: aluno Varrido de Almeida Mendes
Orientador: Dr. Prof. Júlio César de Souza
Mapa Geológico da Folha Sertânia, Escala - 1:100.000
Fonte: SANTOS, 2008 no prelo

ANEXO IV

**MAPA GEOLÓGICO DE DETALHE DA PEDREIRA DO
SÍTIO JAÚ NA ESCALA 1:500**

UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MINERAL PPGEMinas
MAPEAMENTO GEOLÓGICO DA PEDREIRA DO SÍTIO JAÚ



Unidades Geológicas

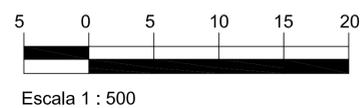
-  Diques quartzo-feldspáticos dispostos diagonalmente e por vezes concordantes com a foliação dos metatexitos
-  P&Epeg Corpos pegmatíticos quartzo-feldspáticos de coloração rósea
-  P&Egr Granitos equigranulares médios a grossos, não deformados de coloração rósea
-  P&Emig Metatexitos Lagoa da Cidade - constituídos por migmatito homogêneo de estrutura nebulítica a dobrada, com neossoma róseo-avermelhado, rico em quartzo, k-feldspato e paleossoma constituído por quartzo, granada e biotita, indicando uma origem paraderivada.
-  P&Egn Biotita-gnaise granadífero, eventualmente migmatizado de coloração cinza-escuro e dobrado, pertencente ao Complexo Sertânia

Convenções Geológicas

-  Sentido de transporte tectônico
-  Contato definido
-  Contato aproximado
-  Fratura de natureza indeterminada
-  Fratura de cisalhamento ou falha direcional de rejeito sinistral
-  Fratura de cisalhamento ou falha direcional de rejeito destal
-  Sinclinal ou sinforme invertido com indicação do caimento
-  Anticlinal ou antiforme invertido com indicação do caimento
-  Traços de foliação
-  Atitude da foliação com mergulho medido
-  Fraturas
-  Eixo de micro-dobra.
-  Dique de pegmatitos com dimensões centimétricas
-  Figuras de interferências

CONVENÇÕES CARTOGRÁFICAS

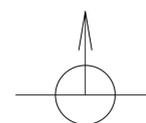
-  Estação topográfica.
-  703 Curvas de nível
-  Bancada aberta.



Este mapa acompanha a dissertação de mestrado dos discentes responsáveis pela sua execução.

Equipe técnica Responsável: Vanildo Almeida Mendes e Oberdan José de Santana

Orientador: Dr. Prof. Júlio César de Souza



Projeção Universal de Mercator

Origem da quilometragem UTM: Equador e Meridiano Central 39° W, gr acrescidas as constantes: 10 000km e 500km, respectivamente
DATUM HORIZONTAL WGS 84