

FIGURA 5.30 - Mapa estrutural destacando os diques toleíticos cretácicos, que estão com espessuras e comprimentos exagerados. a) roseta de orientação dos diques do Domínio Interior Leste; b) roseta de orientação dos diques do Domínio Costeiro. Simbologia estrutural adotada vide legenda do Anexo 3. Abreviaturas: TEM - Terreno Embu, TPS - Paraíba do Sul, TOC - Ocidental, TOR - Oriental.

as Figuras 5.30a e 5.24b,c). No extremo nordeste deste domínio afloram alguns diques de direção NNW (Figura 5.30). Já os diques do Domínio Costeiro estão concentrados nas direções N50-55E e N60-65E, concordantes à foliação das rochas dos Terrenos Ocidental e Oriental (Figura 5.29, comparar as Figuras 5.30b e 5.24a,b). Desta forma, os diques do Domínio do Interior Leste mostram uma orientação NNE que não é frequente no conjunto costeiro. Um dique NNE do Domínio do Interior Leste, próximo à cidade de Bananal, foi datado por Guedes *et al.* (2005) e forneceu idade Ar-Ar de 135 ± 3 Ma (Figura 5.8).

Em geral, os diques são tabulares e retilíneos, mas alguns afloramentos mostram desvios gerando formas escalonadas ou em ziguezague (Figura 5.31a, b), feições também observadas na escala de mapa (Figura 5.30). Estas formas são observadas principalmente nos diques do Domínio do Interior Leste, e foram descritas por Tetzner & Almeida (2003) no exame de diques toleíticos do Cabo de Búzios, litoral do RJ. Os corpos intrusivos com formas escalonadas e em ziguezague sugerem, respectivamente, transferências das zonas de extensão e ajuste do campo de tensões ao controle estrutural exercido pelo embasamento (foliação e contatos tectônicos).

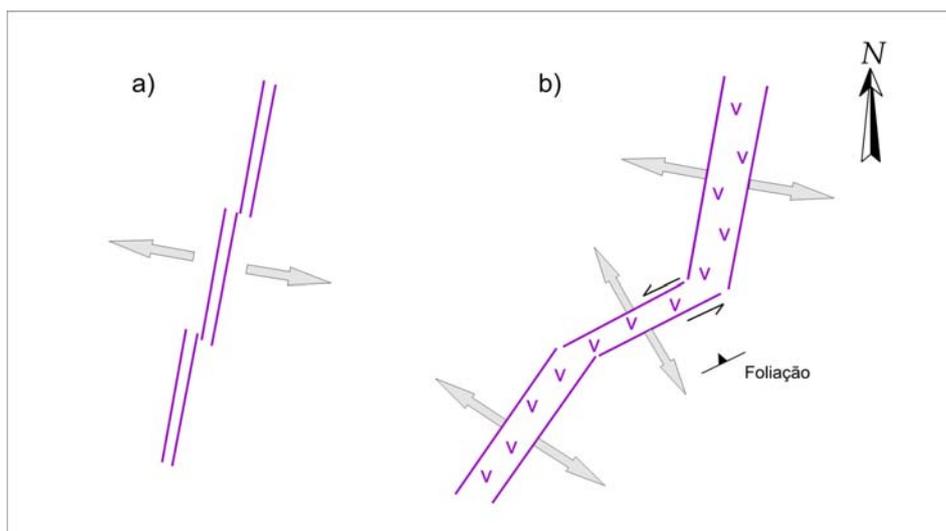


Figura 5.31 – Desenho esquemático em planta mostrando desvios ao longo os diques toleíticos e extensão NW-SE ortogonal às paredes dos corpos: a) forma escalonada; b) forma em ziguezague, alternando segmento NNE e NE (paralelo à foliação do embasamento). Notar possível movimento direcional sinistral no segmento NE, com predomínio de extensão WMW-ESE. Comparar estes desenhos com os diques dos mapas da Figura 5.30 e do Anexo 3.

Outra observação importante, é que os diques são raros na porção oeste e NW da área, que coincide com a parte mais larga do Planalto da Bocaina, comparado ao segmento leste, mais dissecado (Figura 5.30).

5.5.2 Falhas

Foram observados diversos planos de falha nos afloramentos de todos os terrenos da Faixa Ribeira, mostrando a importância da reativação tectônica rúptil. Dos 183 planos de falha medidos em campo, 50 deles continham estrias, mas destes somente 27 pares (planos + estrias de falhas) mostraram bons indicadores cinemáticos para a determinação de paleotensores. Deste modo, quase metade dos planos de falhas estriados só foram classificados quanto ao tipo de rejeito (ver item 3.1 e Figura 5.32). Outra característica observada em campo foram os materiais de preenchimento dos planos de falha.

Numa primeira abordagem, a análise do conjunto total das falhas revela que os planos possuem mergulhos íngremes ($> 70^\circ$) e estão dispostos segundo a orientação preferencial ENE (N35-90E), sendo N35-40E e N50-65E as direções de maior frequência. Quanto ao grupo de falhas NW, destacam-se as direções N20-25W e N75-80W (Tabela 5.2b, Figura 5.32a ou Anexo 3 diagrama a).

A análise segundo as classes de rejeito, indica que as falhas com rejeito de mergulho (normal ou reversa), mostram orientação mais frequente na direção NE (N45-60E) e mergulhos de médio a alto ângulo (Figura 5.32b). As classes de rejeito direcional e oblíquo apresentam maior dispersão nas atitudes, porém as falhas oblíquas indicam orientação preferencial no intervalo N50-80E (Figura 5.32c, d; Tabela 5.2b).

No entanto, as falhas mapeadas não estão distribuídas de forma homogênea na região estudada, ocorrendo com maior frequência em algumas áreas onde a deformação rúptil sobre as rochas do embasamento foi mais significativa. Estas áreas, denominadas de *Domínios Rúpteis (DR)*, são as seguintes (Anexo 3):

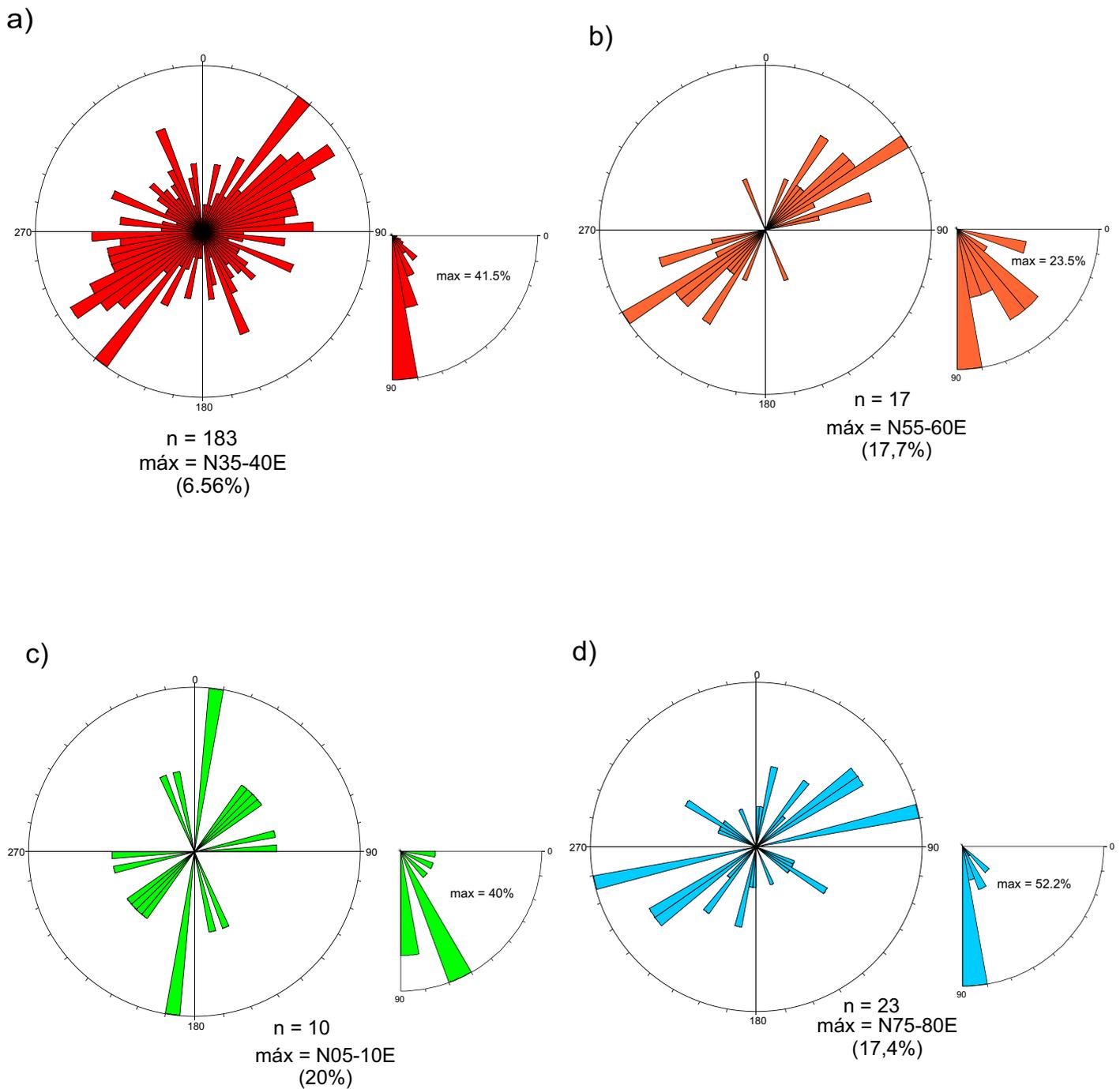


FIGURA 5.32 - Roseta de orientação e mergulho de planos de falhas, com intervalos de 5° e 10° , respectivamente, sendo: a) todas as falhas indiscriminadas, b) falhas com rejeito de mergulho (normais e reversas), c) falhas com rejeito direcional (transcorrentes), d) falhas oblíquas.

- 1) *DR Alto Paraitinga* - porção WNW, entre as cidades de São José do Barreiro e Campos Novos (SP), abrangendo a região elevada do Planalto da Bocaina onde estão situadas as cabeceiras do rio Paraitinga;
- 2) *DR da Reativação da Zona de Cisalhamento do Rio Gavião* - uma estreita faixa de direção NE-SW, ao longo desta zona de cisalhamento brasileira;
- 3) *DR Bananal* - porção NNE, inserida na Folha Bananal (1:50.000);
- 4) *DR Ilha Grande* - abrange a Ilha Grande e os arredores de Angra dos Reis.

Como citado antes, a baixa frequência de indicadores de sentido do movimento prejudicou a análise cinemática das falhas e, conseqüentemente, limitou a determinação da orientação dos eixos de paleotensores. Das 27 falhas com bons indicadores cinemáticos, 14 (50%) estão inseridas no Domínio Rúptil Alto Paraitinga, enquanto o restante encontra-se dispersos na área mapeada. Deste modo, o estudo sobre os campos de paleotensores ficou restrito a este domínio estrutural. No entanto, o tipo de movimento das falhas foi reconhecido em vários casos, por meio do deslocamento de marcadores das rochas (estruturas preexistentes) observados nos afloramentos ou no mapa geológico.

DOMÍNIO RÚPTIL ALTO PARAITINGA (DRAP)

O Domínio Rúptil Alto Paraitinga (DRAP) está inserido no Terreno Embu da Faixa Ribeira e é constituído por falhas de três orientações distintas: NE (mais comum), NW e E-W (Anexo 3, Tabela 5.3). Na porção norte do DRAP, junto à borda do Planalto da Bocaina, ocorre uma zona de falhas de direção geral N50-60E/65-80SE com estrias de caimento alto, indicando movimentos normais com bloco sul abatido (ver flecha no DRAP do Anexo 3). Ocorrem também falhas com mergulhos para NW. Essas falhas são paralelas à foliação principal e encaixadas numa zona de charneira de dobras D3 com zonas de cisalhamento subverticais (Anexo 1). Nesta área abatida está encaixada uma das cabeceiras do rio Mambucaba, onde afloram resquícios de sedimentos conglomeráticos lateritizados (*cascalheiras*). Esta zona é segmentada por falhas NW que mostram rejeitos direcionais tanto dextral, como sinistral, mas também

possuem rejeitos verticais. As observações de campo sugerem que as falhas NW atuaram como transferências da distensão relacionada as falhas NE, sendo sincrônicas. Falhas NE com estrias de caimento suave, indicando movimentos direcionais, também foram observadas.

Ocorrem nessa família de falhas (NE e NW) preenchimentos de quatro tipos: material escuro fino tipo óxido, material branco argiloso tipo caulim, micro-brecha e, subordinadamente, veios de quartzo.

As falhas E-W se concentram na porção central do DRAP, mas forneceram poucos dados de planos estriados. Porém, em alguns afloramentos identificou-se o movimento por meio do deslocamento ou arrasto do bandamento composicional das rochas afetadas. Assim, o movimento observado em algumas dessas falhas foi normal, com bloco sul abatido, além de movimento direcional dextral em planta. O prolongamento dos traços de alguns planos de falhas E-W foi inferido, mas balizado com dados estruturais de afloramentos. É importante destacar que somente no DRAP é que ocorrem falhas E-W expressivas (Anexo 3; Tabela 5.3). Falhas NE oblíquas também foram encontradas na porção central deste domínio.

Na extremidade sul do DRAP, nos arredores de Campos Novos, foram mapeadas falhas NE (média N35-40E/80-85NW) com rejeito normal e bloco NW abatido (Figura 5.33; Anexo 3). Estas falhas encontram-se, por vezes, preenchidas por material escuro castanho oxidado e por brechas tectônicas contendo clastos milimétricos e matriz fina argilosa de coloração ocre a avermelhada. Falhas E-W e NW também ocorrem nesta porção do DRAP.

A análise cinemática das falhas do DRAP se utilizou, principalmente, dos planos estriados de direção NE, pois apresentaram os melhores indicadores de movimento. Os dados foram coletados em diferentes afloramentos do Terreno Embu. O diagrama b do Anexo 3 mostra a concordância entre as falhas NE e as foliações principal (S1+S2) e tardia S3 do Terreno Embu, e os tipos das 14 falhas analisadas, que são: normais (6), empurrão (2), oblíquas (3) e transcorrentes (3).

A determinação dos paleotensores deste conjunto de falhas resultou num eixo P de tensão máxima (σ_1) subvertical (208/79) e eixo T de tensão mínima (σ_3) subhorizontal para SE (133/07). Estes resultados indicam, mesmo com baixa densidade de dados por área, um regime distensional NW-SE predominante (Anexo 3 diagrama c). No entanto, este diagrama de paleotensores (eixos PT de Turner) também indica que, pelo menos, quatro falhas não pertencem a este campo de esforços, incluindo as duas de empurrão, pois caíram muito fora do campo dos vetores médios (Anexo 3, diagrama c).

TABELA 5.3 – Síntese das atitudes e da cinemática das falhas dos domínios rúpteis

Domínios Rúpteis	Atitudes das Falhas	Cinemática Principal
<i>DR Alto Paraitinga</i>	NE (N30-60E/SE ou NW) NW (N45-70W) E-W	Normal Direcional dextral ou sinistral Oblíqua – normal dextral
<i>DR Reativação da ZCRG</i>	NE (N35-70E/SE ou NW)	Normal
<i>DR Bananal</i>	NW (N20-60W)	Oblíqua – normal dextral ou sinistral
<i>DR Ilha Grande</i>	NE (N20-60E)	? (Brechas silicificadas)

D.R. REATIVAÇÃO DA ZONA DE CISALHAMENTO DO RIO GAVIÃO

Como visto anteriormente, a Zona de Cisalhamento do Rio Gavião (ZCRG) corresponde a uma faixa de rochas miloníticas que limita os Terrenos Embu e Paraíba do Sul, cruzando toda a área de estudo na direção NE-SW (Anexos 1 e 3). A ZCRG parece corresponder, regionalmente, à Zona de Cisalhamento de Cubatão, que bordeja a Serra do Mar. Foram observadas evidências de reativação tectônica em três segmentos desta zona dúctil brasileira: segmento 1 (S1) na extremidade SW, entre Parati (RJ) e Cunha (SP);

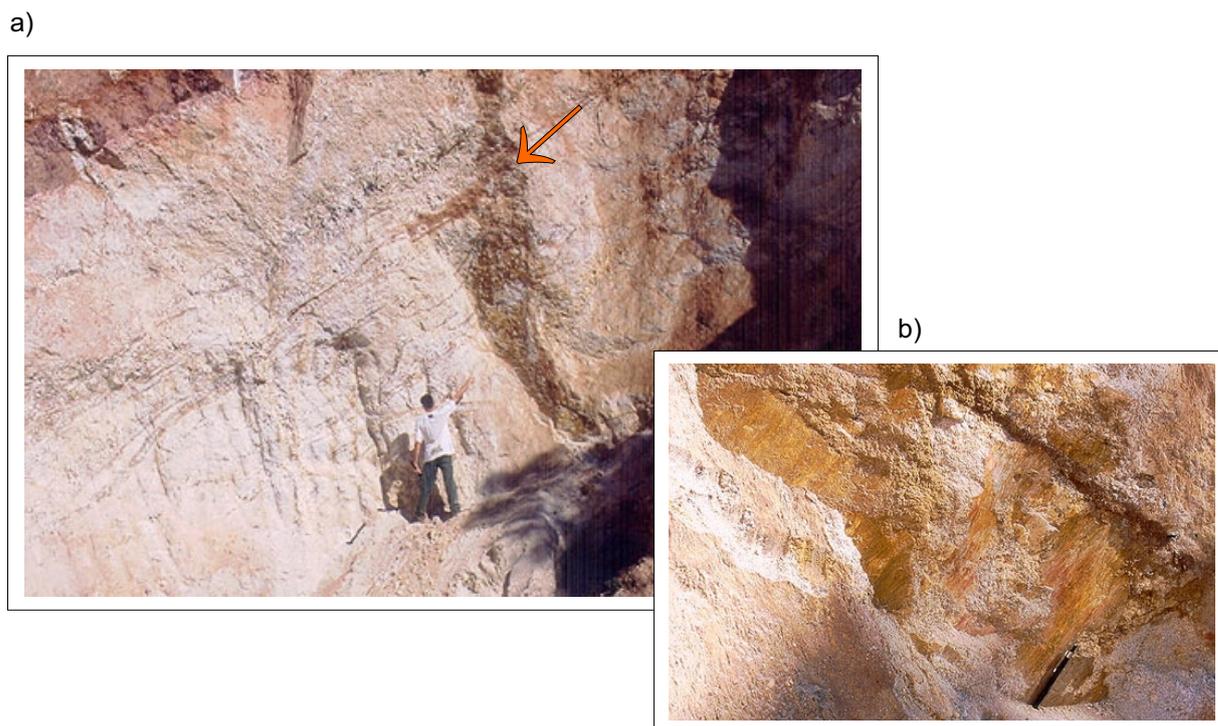


FIGURA 5.33 - a) Falha NE subvertical (seta vermelha) com mergulho para NW do Domínio Rúptil Alto Paraitinga (DRAP), em paragnaisses com leucogranitos foliados do Terreno Embu; b) detalhe do plano e estria de falha com movimento normal. Campos Novos, Cunha (SP).

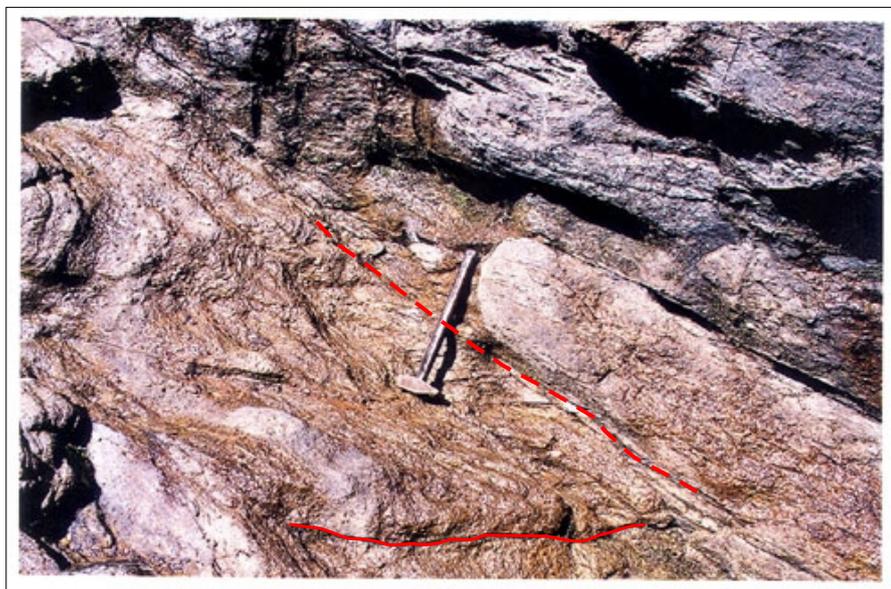


FIGURA 5.34 - Falhas NE com mergulhos para SE e falhas NW do segmento 2 do Domínio Rúptil de reativação da Zona de Cisalhamento Rio do Gavião (ZCRG), em paragnaisses do Terreno Embu. Dois planos de falhas estão marcados em vermelho, sendo linha tracejada para as falhas NE. Reparar na cor de alteração amarelada da rocha junto aos planos de falhas. Cachoeira do Veado, Parque Nacional da Serra da Bocaina, S. José do Barreiro, SP.

segmento 2 (S2) no segmento central, no médio vale do rio Mambucaba, junto a borda sul do Planalto da Bocaina; segmento 3 (S3) na extremidade NE, no vale do córrego do Cafundó e sua confluência com o rio Bananal (Anexo 3).

No S1 predominam as falhas N35-50E e N65-75E que ocorrem junto ao contato do Granito Parati, que corta a ZCRG nesta área. Estas falhas mergulham para NW ou SE, com estrias de caimentos suaves ou *down dip*, sendo que nestas últimas, os raros indicadores de sentido mostraram movimento tanto normal, como reverso (Figura 5.35a). Essas falhas são, por vezes, preenchidas por brechas silicificadas de coloração ocre amarelado, com porções argilosas e percoladas por óxidos, semelhantes àquelas que ocorrem em Campos Novos no DRAP. Este preenchimento dificulta a preservação dos indicadores cinemáticos. Subordinadamente, ocorrem falhas de direção NW e N-S (Figura 5.35a).

No S2 situado no interior da Serra da Bocaina (Anexo 3), encontrou-se uma família de falhas com atitudes semelhantes às do S1. Predominam falhas N35-60E e N70-75E com mergulhos íngremes, geralmente, para SE, contendo estrias de caimentos médios (Figuras 5.34 e 5.35b). As falhas de direção NW são subordinadas. Os deslocamentos da foliação dos gnaisses, vistos em afloramentos, sugerem movimento normal e dextral, com bloco sul abatido, para as falhas NE.

O S3 está relacionado às ocorrências dos depósitos de sedimentos paleogênicos da Faz. do Cafundó, relatados no item 5.4.3 e documentado anteriormente por Carmo (1996) e Gontijo (1999). Este setor da reativação da ZCRG é caracterizado, principalmente, pela presença de falhas N60E (média) com mergulhos íngremes para SE e movimento normal, ou seja, com bloco sul abatido aonde afloram os sedimentos paleogênicos. Este tipo de movimento das falhas assemelha-se ao observado no S2 deste domínio (Tabela 5.3).

Numa área entre o S2 e S3, próxima a Arapeí (Anexo 3), Sanson *et al.* (2005) também observaram falhas NE subverticais com estrias *down dip* afetando sedimentos cenozóicos, indicando rejeito normal e extensão NW-SE.

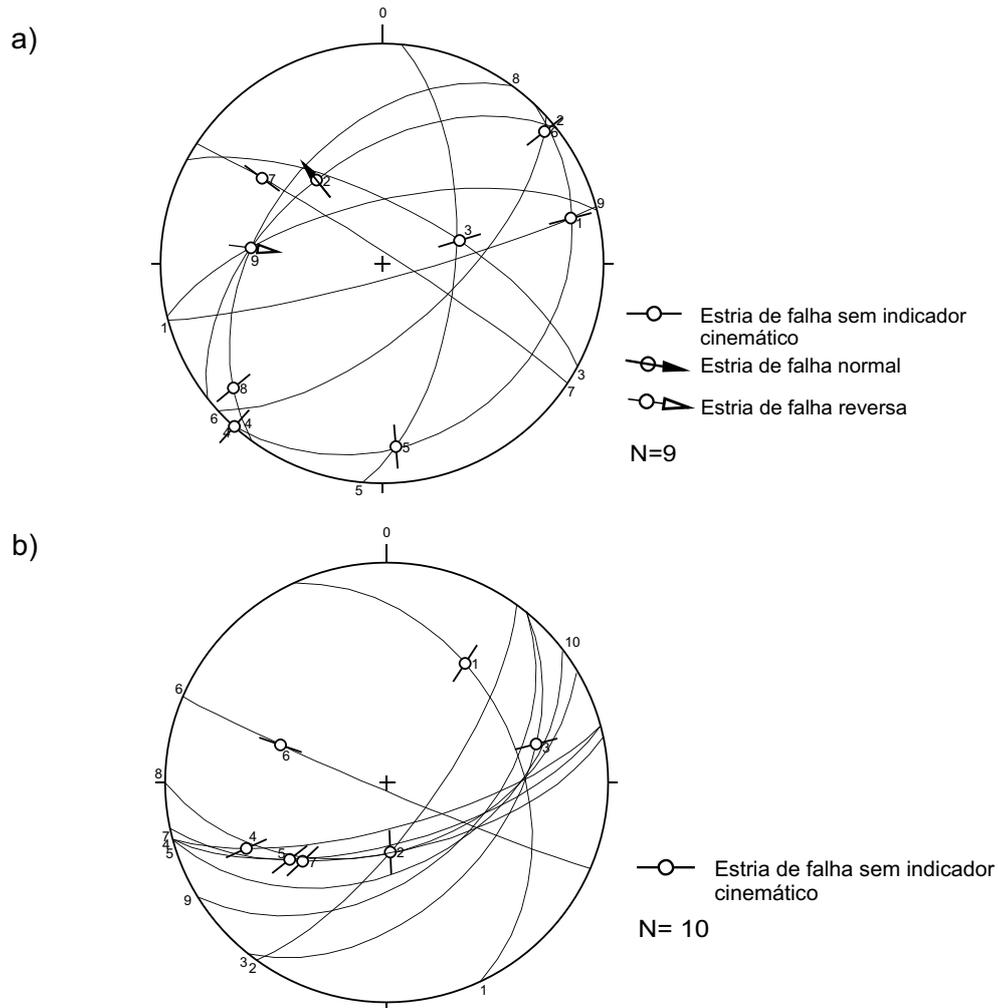


FIGURA 5.35 - Diagrama de Angelier para planos e estrias de falhas do Domínio Rúptil da reativação da Zona de Cisalhamento Rio do Gavião (ZCRG), sendo: a) segmento 1 da ZCRG, b) segmento 2 da ZCRG. Obs: no diagrama b foram plotados 3 planos de falhas sem estrias.

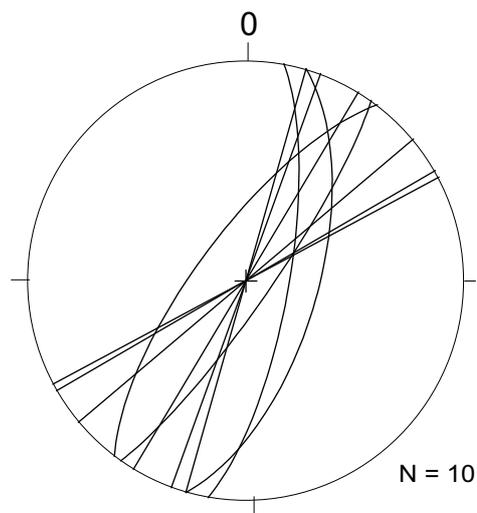


FIGURA 5.36 - Diagrama de planos de falhas do Domínio Rúptil da Ilha Grande

Estes autores relacionaram estas falhas à reativação da Zona de Cisalhamento de Arapeí (Gontijo, 1999), que corresponde a ZCRG.

DOMÍNIO RÚPTIL BANANAL (DRB)

O Domínio Rúptil Bananal (DRB) compreende um feixe de direção NW que cruza a região da Folha Bananal, a NE da área mapeada (Anexo 3). Em relação aos outros domínios rúpteis, o DRB está posicionado entre o DRAP e o segmento 3 da reativação da ZCRG. No DRB ocorrem, principalmente, falhas N20-60W oblíquas que indicam rejeitos direcionais destrais e sinistrais aparentes, caracterizados através do deslocamento dos contatos das unidades do embasamento (Figura 5.37a; Anexo 1; Tabela 5.3). Quanto ao rejeito vertical, ocorre uma alternância na posição do bloco baixo, podendo estar a leste ou a oeste das falhas NW (Figura 5.37b; Anexo 3). Na porção NW da Folha Bananal, a área entre as duas falhas mais extensas do DRB parece indicar um baixo estrutural, que coincide com a inflexão do rio da Sesmaria para NNW, rumo a Bacia de Resende (ver flecha no DRB do Anexo 3).

Por vezes, as falhas NW apresentam preenchimento de brechas tectônicas silicificadas e oxidadas, semelhantes às que ocorrem na borda da Bacia de Resende, que está situada a norte do DRB (Figura 2.4).

A área do DRB coincide com um segmento da Zona de Transferência do Funil definida por Almeida & Ebert (2003) através de estudos gravimétricos. Segundo os autores, esta zona de transferência NW desloca as curvas isogálicas de anomalia Bouguer de direção NE-SW relacionadas aos terrenos da Faixa Ribeira. A continuidade desta zona para norte conecta com a borda oeste da Bacia de Resende, ou seja, o Alto Estrutural de Queluz (Riccomini, 1989).

Na porção ENE do Planalto da Bocaina, a SW do DRB, foram observados planos de falha de direção principal N35-55W/75NE e estrias revelando movimento oblíquo, mas com importante rejeito normal com bloco NE abatido. Numa dessas áreas está alojado o depósito sedimentar do Sertão da Bocaina de possível idade paleogênica (Gontijo, 1999), descrito anteriormente no item 5.4.3.

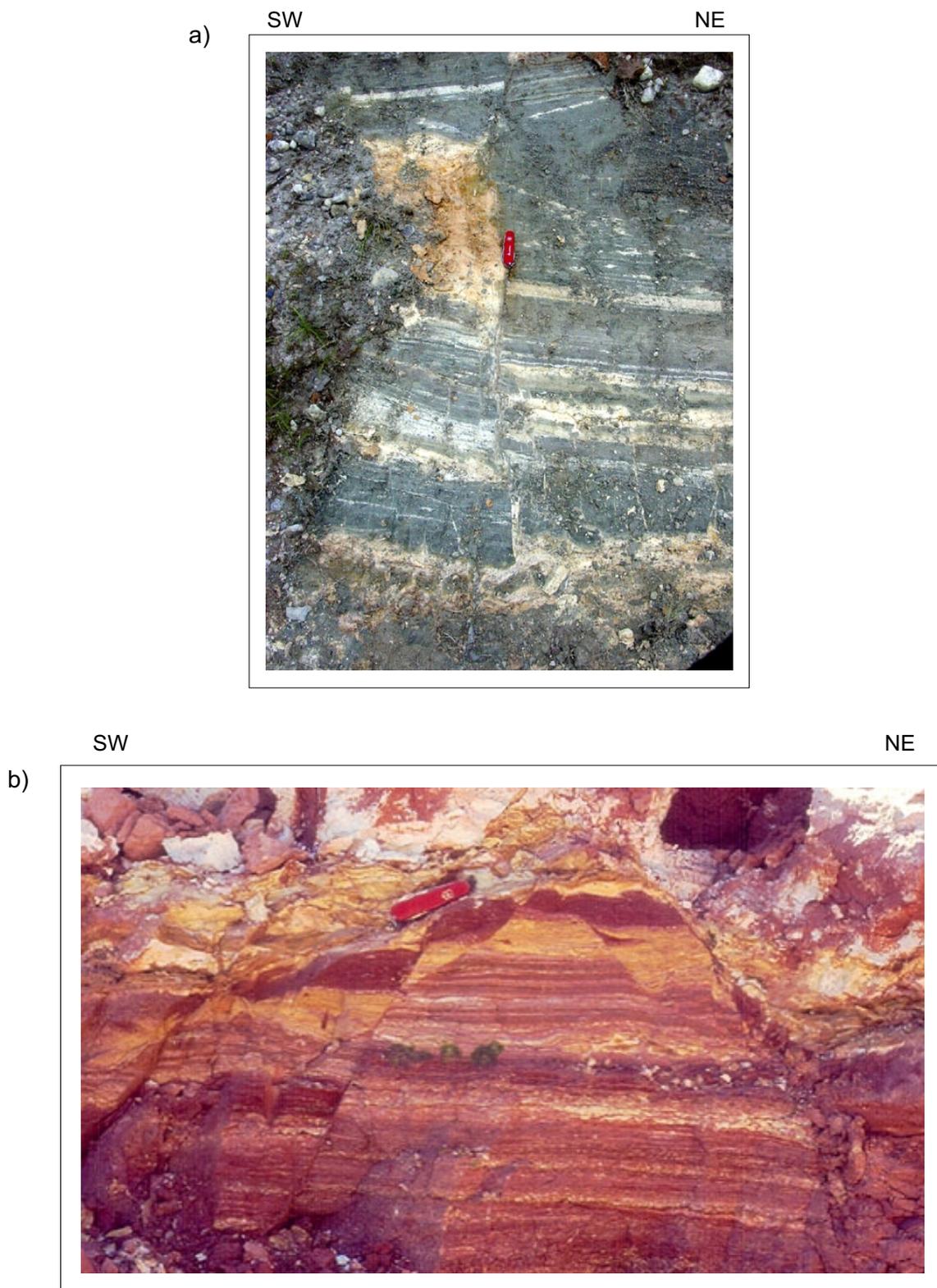


FIGURA 5.37 - Falhas NW do Domínio Rúptil Bananal (DRB) em paragnaisses bandados do Terreno Paraíba do Sul: a) afloramento no chão mostrando falhas com movimento aparente sinistral, Serra da Bocaina, Bananal (SP); b) seção com pequeno *horst*, Bananal (SP).

Isto revela a importância da família de falhas NW, que ocorre em outros setores da área estudada, inclusive na porção norte da DRAP.

DOMÍNIO RÚPTIL ILHA GRANDE (DRIG)

Este domínio rúptil costeiro é caracterizado por falhas NE subverticais situadas na Ilha Grande e, subordinadamente, no litoral do continente nos arredores de Angra dos Reis (Anexo 3; Figura 5.36). Na Ilha Grande destacam-se quatro falhas principais preenchidas por brechas tectônicas, são elas (Fernandes, 2000; Eirado Silva *et al.*, 2003): a) falha do córrego da Enseada das Estrelas, (direção N60E); b) falha Abraão-Dois Rios (N30E); falha dos Castelhanos (N50E), no extremo SE; d) falha Provetá-Praia Vermelha (N23E), na costa oeste (Anexo 3; Tabela 5.3). A primeira falha, mais extensa, sugere bloco sul soerguido, aonde situa-se a parte mais alta da Ilha Grande.

As brechas de falhas do DRIG são silicificadas, de coloração ocre alaranjada e percoladas por óxidos escuros, semelhantes às que ocorrem nas bordas das bacias do RCSB, por exemplo, as encontradas no *Graben* da Guanabara, a leste da Ilha Grande (Ferrari, 2001). Não foram reconhecidas estrias ou ressaltos relevantes nos planos de falhas, em parte devido ao tipo de preenchimento, que limita a identificação dos indicadores cinemáticos.

5.5.3 Fraturas

Dentre as estruturas rúpteis, as fraturas são de longe as mais frequentes, ocorrendo em praticamente todos os afloramentos visitados. As fraturas analisadas neste estudo são planos, normalmente, subverticais (mergulho $>70^\circ$), sem preenchimento e não mostram movimentos macroscópicos relativos entre os blocos. Não foram incluídas as fraturas de alívio que acompanham a topografia dos maciços ou afloramentos. Portanto, as fraturas estudadas são interpretadas como tectônicas.

Um dos principais problemas no estudo de fraturas reside no fato de que, como elas não produzem deslocamentos nas estruturas preexistentes, é difícil encaixá-las num esquema de cronologia dos eventos tectônicos.

Uma primeira análise estrutural englobando todo o conjunto de fraturas medidas em campo revelou que estes planos subverticais são orientados, em geral, segundo a direção NW e, subordinadamente, na direção ortogonal NE (Figura 5.38). Para compreender melhor o padrão de orientações e a distribuição espacial na área de estudo, as fraturas foram agrupadas segundo dois critérios (Figuras 5.39 e 5.40):

- 1) Compartimentação tectônica da Faixa Ribeira - os quatro terrenos (Embu, Paraíba do Sul, Ocidental e Oriental), mais o Granito Parati, um batólito tardi-colisional discordante aos terrenos (Figura 5.1);
- 2) Setores geográficos - Norte, Central e Sul, sendo este último subdividido em Continente e Ilha Grande.

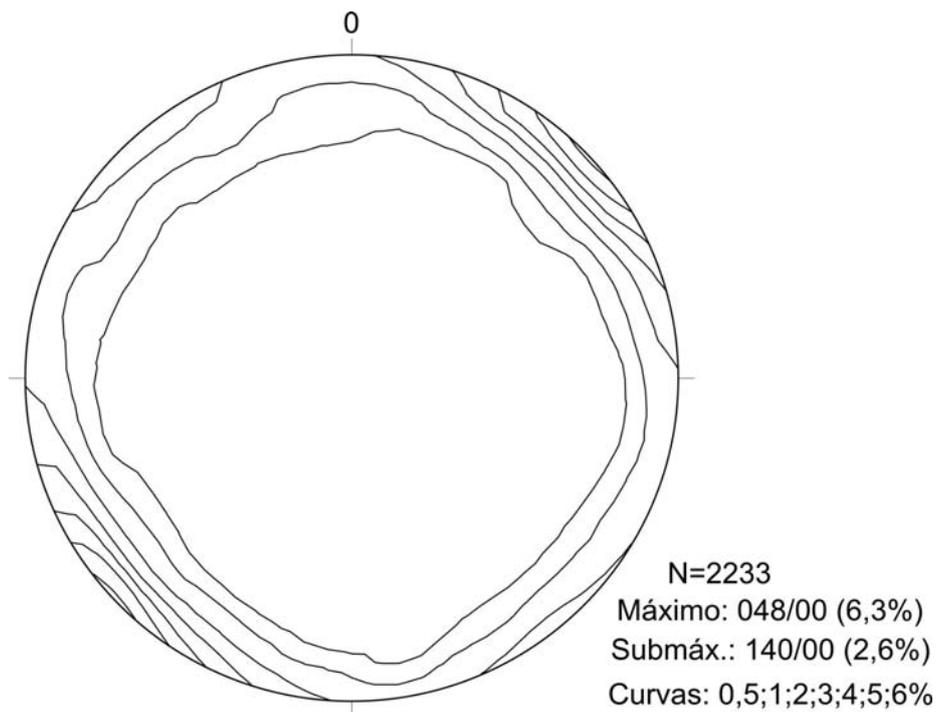


FIGURA 5.38 - Estereograma de pólos de planos de fraturas

Foi individualizado também o conjunto de fraturas do Domínio Rúptil Alto Paraitinga (DRAP) (Figuras 5.39 e 5.40). Os outros três domínios rúpteis foram preteridos em relação ao DRAP, seja porque não têm particularidades

relevantes, ou porque foram contemplados pelo agrupamento das fraturas adotado acima, como é o caso do Domínio Rúptil Ilha Grande (DRIG) em relação ao Setor Geográfico Sul/ Ilha Grande (Figura 5.40).

FRATURAS & OS TERRENOS TECTÔNICOS DA FAIXA RIBEIRA

O motivo de agrupar as fraturas segundo os compartimentos tectônicos da Faixa Ribeira foi checar a influência do arcabouço lito-estrutural dos terrenos sobre o padrão de fraturamento, ou seja, qual o papel de um embasamento anisotrópico e pré-estruturado sobre o comportamento da deformação rúptil.

O mapa e as rosetas da Figura 5.39 ilustram os padrões de orientações de fraturas segundo as unidades tectônicas brasileiras. Os Terrenos Embu (TEM) e Paraíba do Sul (TPS) apresentam orientações muito similares, com maior frequência no intervalo de direção N35-50W (Tabela 5.2c). A diferença principal é a presença de um *set*¹ de fratura E-W no TEM, que é inexpressivo no TPS (Figura 5.39a, b). As fraturas de direção NE são pouco frequentes em ambos os terrenos. É interessante notar que às fraturas NW mais frequentes são ortogonais ao *strike* da foliação principal destes dois terrenos (Figura 5.41 e 5.42, comparar as Figuras 5.39a, b com 5.24c, d, e).

Inserido totalmente no TEM, o Domínio Rúptil Alto Paraitinga (DRAP) também apresenta fraturas com máximo na direção N35-40W, e como esperado é idêntico ao TEM (Figura 5.39f). No entanto, o DRAP mostra um aumento na frequência nos *sets* de fraturas N70-90W e N35-40E (Tabela 5.2e). Estas três direções de fraturas do DRAP concordam com as atitudes das falhas deste domínio (comparar Tabelas 5.2c e 5.3, e Figura 5.39f com o Anexo 3).

O Terreno Ocidental (TOC) também apresenta, preferencialmente, fraturas orientadas segundo a direção NW, sendo os intervalos N15-20W e N25-30W os mais frequentes (Figura 5.39c). Isto difere um pouco do observado no TEM e no TPS, porém o número de fraturas medidas no TOC é menor (Tabela 5.2c). Entretanto, é importante salientar que a orientação de fraturas N15-20W coincide com a direção principal das zonas de cisalhamento D4 (comparar

¹ *Set* corresponde a grupo de planos de fraturas subparalelos.