

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

**DETERMINAÇÃO DO REGIME TECTÔNICO DE
COLOCAÇÃO DO ENXAME DE DIQUES DE
FLORIANÓPOLIS, SANTA CATARINA, BRASIL**

Silvio Brentan

Orientador: Prof. Dr. Claudio Riccomini

MONOGRAFIA DE TRABALHO DE FORMATURA
(TF-2006/51)

SÃO PAULO
2006

TF
B839
S.d

**UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS**

**Determinação do regime tectônico de colocação do
enxame de diques eocretáceos de Florianópolis, SC**

Silvio Brentan



Monografia de Trabalho de Formatura

Banca Examinadora

Prof. Dr. Claudio Ricommini

Prof. Dr. Ginaldo Ademar da Cruz Campanha

Prof. Dr. Maria Irene Bartolomeu Raposo

São Paulo

2006

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
0440500 - Trabalho de Formatura



**Determinação do regime tectônico de colocação do enxame de diques de
Florianópolis, Santa Catarina, Brasil**

TF - 2006/51

Aluno: Silvio Brentan

Orientador: Prof. Dr. Claudio Riccomini

DEDALUS - Acervo - IGC



30900024339

São Paulo

Outubro 2006

TP
B839
S.d



Resumo

A evolução tectônica da margem continental atlântica do Brasil é relativamente complexa e marcada por múltiplos eventos. O evento inicial, no Eocretáceo, foi marcado por intensa atividade tectono-magmática na região da Bacia do Paraná, com a extrusão de apreciável volume de lavas toleíticas. Nesse contexto, desenvolveram-se enxames de diques toleíticos de direção NE-SW, ou segmento Santos - Rio de Janeiro, NNE-SSW, ou segmento Florianópolis, e NW-SE, ou segmento Arco de Ponta Grossa, integrantes de uma junção tríplice. Considerando-se a trajetória da Placa Sul-Americana para W-WNW, o segmento Santos - Rio de Janeiro teria experimentado, teoricamente, um regime distensivo, com pequena componente transtratativa sinistral, enquanto que no segmento Florianópolis o regime teria sido transtrativo dextral.

O mecanismo de colocação de diques depende do balanço de esforços entre a pressão do magma e o campo de esforços regional vigente durante a sua colocação. Os diques são colocados ortogonalmente ao eixo de menor esforço (σ_3), razão pela qual são considerados excelentes indicadores tectônicos, sobretudo quando constituem enxames.

O enxame de diques de Florianópolis comprehende a Ilha de Santa Catarina e a região continental adjacente. O presente trabalho concentrou-se na porção insular, onde estão as melhores exposições. Nessa região ocorrem numerosos diques de composição básica. Idades obtidas pelo método Ar-Ar mostraram duas concentrações principais, entre 128 e 126 Ma e 122 e 119 Ma. As melhores exposições dos diques concentram-se nos costões da parte leste da ilha. Os diques estudados estão alojados em rochas granitóides e vulcanossedimentares neoproterozóicas e são verticais a subverticais em sua maioria. Possuem espessuras entre 0,30 m e 30 m e a orientação predominante é NE. Os contatos dos diques com as encaixantes são comumente irregulares e escalonados. Diversas estruturas de pequena escala foram observadas no contato dos diques com as encaixantes, tais como chifres, apófises, degraus, pontes quebradas e remanescentes e falhas sin e tardi-intrusivas.

Os resultados indicam que os diques de Florianópolis tiveram movimentação transcorrente dextral, com direção de compressão NE-SW e de distensão NW-SE, ambas horizontais. Isto mostra que os dados aqui obtidos e as determinações prévias disponíveis para o segmento Santos - Rio de Janeiro são coerentes com o modelo proposto.

Abstract

The evolution of the Brazilian Atlantic continental margin is marked by multiple tectonic events. The initial event in the Early Cretaceous was characterized by intense tectonic-magmatic activity in the Paraná Basin region, with the extrusion of a large volume of tholeitic magma. In this context a triple-junction was developed, with three mafic dyke swarms: the NE-SW-trending Santos - Rio de Janeiro segment; the NNE-SSW-trending Florianópolis segment; and the NW-SE-trending Arch Ponta Grossa segment. Considering the South American plate trajectory to W-WNW, the Santos - Rio de Janeiro segment could have experienced an extensional regime with small left-lateral transtratigraphic component whereas in the Florianópolis segment the regime could have been right-lateral transtratigraphic.

The mechanism of dykes emplacement depends of the stress balance between magma and the regional stress field during intrusion. The dykes are emplaced orthogonally to the least compressive stress axis (σ_3) and that is why they are excellent tectonic indicators, mostly when they constitute dyke swarms.

The Florianópolis dyke swarm is exposed in the Santa Catarina Island and the adjoining continental region. The present work focused the insular portion, where the best expositions are located. Numerous basic, mainly biabase dykes occur in this region. Ages obtained by the Ar-Ar method showed two main concentrations, from 128 to 126 Ma and 122 to 119 Ma. The best expositions of dykes are concentrated along the east cost of the island. The studied dykes were emplaced in Neoproterozoic granitoid and volcano-sedimentary rocks and are mostly vertical to subvertical. Its thickness range from 0.30 m to 30 m and the main trending is NE. The contacts between dykes and host rocks are commonly irregular and step-like shaped. Several small scale structures were observed along the contacts between dykes and host rocks, such as horns, apophyses, steps, broken and remanescent bridges and syn- and post-intrusion faults.

The results indicate that Florianópolis dykes presented a right-lateral strike-slip movement, with NE-SW-trending compression and NW-SE-trending extension, both horizontal. The data obtained in this work and the previous available determinations to the Santos – Rio de Janeiro segment are compatible with the proposed model.

Agradecimentos

Primeiramente agradeço ao meu orientador Prof. Dr. Cláudio Riccomini pela atenção desprendida e oportunidade de desenvolver este trabalho.

Agradeço aos meus pais, Silvio e Edimar, por insistir, incentivar e possibilitar o meu desenvolvimento nos estudos.

Sou muito grato a Vó Elvira por me acolher e ajudar durante a minha jornada na faculdade.

Agradeço aos meus irmãos, João, Pedro e Fabio, que além de irmãos, são grandes amigos.

Agradeço a Pati pelo companheirismo e dedicação nos momentos difíceis, principalmente durante a preparação deste trabalho.

Agradeço ao Murilo e à Ana por sempre me incentivarem na minha vida geológica.

Agradeço aos amigos moradores e ex-moradores do covil e à D. Amélia que cuida de nós como se fosse nossa avó.

Agradeço aos amigos da faculdade, Micuim, Xurume, Pit-bicha, Cornel, Perereca, 24, Aedes, Tropesso, Vagina, Carrapato, e a muitos outros.

Índice

1.	Introdução	1
2.	Objetivos	3
3.	Materiais e métodos.....	3
4.	Trabalhos prévios.....	4
4.1.	Fundamentação teórica	4
4.2	O enxame de diques de Florianópolis.....	7
5.	Área de estudo	8
5.1.	Localização	8
5.2.	Geologia regional.....	9
6.	Desenvolvimento do trabalho	11
7.	Resultados obtidos.....	11
7.1.	Diques estudados	11
7.2.	Estruturas observadas.....	14
8.	Interpretação e discussão dos resultados	19
9.	Modelo tectônico	21
10.	Conclusões.....	23
11.	Referências bibliográficas.....	24

1. Introdução

A evolução tectônica da margem continental atlântica do Brasil é relativamente complexa e marcada por múltiplos eventos, compreendendo, sucessivamente, o magmatismo toleítico eocretáceo, relacionado à ruptura continental gondwanica e abertura do Oceano Atlântico Sul, a instalação das bacias marginais, o magmatismo alcalino neocretáceo a paleoceno, além de eventos deformadores posteriores de natureza transtrativa, transpressiva ou distensiva (v.g. Riccomini & Assumpção 1999, Riccomini et al. 2004). Diversos trabalhos mostram uma relação entre esses acontecimentos, tendo evidências na forma de deformações, pela implantação ou reativação de altos e/ou baixos e como condutos para manifestações magmáticas (Asmus 1978, Zalán et al. 1987, Riccomini 1995). A compreensão dos mecanismos envolvidos nesses eventos depende, entre outros fatores, da caracterização das estruturas tectônicas a eles relacionados e também da determinação de paleocampos de tensões, a partir de falhas, juntas e diques de naturezas e idades variadas.

O evento inicial, no Eocretáceo, foi marcado por intensa atividade tectono-magmática na região da Bacia do Paraná, com a extrusão de apreciável volume de lavas toleíticas. Dados geocronológicos de alta precisão obtidos pelo método Ar-Ar (Turner et al. 1994, Stewart et al. 1996) sugerem que a extrusão de lavas teve início há cerca de 137 Ma ao longo de geossuturas de direção NE, paralelas à atual calha do Rio Paraná, e teria migrado para SE, ao longo dos alinhamentos de direção NW-SE que constituem o Arco de Ponta Grossa, entre 131 e 130 Ma. Posteriormente, o magmatismo teve lugar ao longo das regiões costeiras dos estados de Santa Catarina, Paraná, São Paulo e Rio de Janeiro, em parte aproveitando antigas estruturas do embasamento de direção NE a ENE, antes de chegar ao Etendeka (Namíbia) e ocorrer a ruptura continental, há cerca de 127 Ma (Riccomini et al. 2005). Nesse contexto, desenvolveram-se enxames de diques toleíticos de direção NE-SW, ou segmento Santos - Rio de Janeiro, NNE-SSW, ou segmento Florianópolis, e NW-SE, ou segmento Arco de Ponta Grossa, integrantes de uma junção tríplice. Com a ruptura continental, o segmento do Arco de Ponta Grossa foi abortado e os outros dois evoluíram para abertura oceânica.



Figura 1. Estágios iniciais da abertura do Atlântico Sul mostrando a trajetória da Placa Sul-Americana. Modificado de Chang e Kowsmann (1991).

Considerando-se a trajetória da Placa Sul-Americana para W-WNW (figura 1), o segmento Santos - Rio de Janeiro teria experimentado teoricamente um regime distensivo, com pequena componente transtrativa sinistral, enquanto que no segmento Florianópolis o regime teria sido transtrativo dextral. Dados preliminares obtidos nas partes central (Silva & Riccomini 2005) e leste do enxame do segmento Santos - Rio de Janeiro (Ferrari 2001) parecem confirmar esta hipótese.

A disponibilidade de um quadro regional da distribuição das paleotensões atuantes na região sudeste do Brasil durante o Mesozóico é fundamental para a compreensão dos processos tectônicos atuantes previamente, durante a imediatamente

após a ruptura continental e separação entre a América do Sul e a África. No caso específico, o desenvolvimento do estudo é justificado devido aos enxames de diques poderem fornecer subsídios para a compreensão do quadro de paleotensões ativos durante o magmatismo eocretáceo, na época da ruptura continental.

A região sudeste do Brasil reúne exemplos bem sucedidos da aplicação do estudo de diques na determinação de paleocampos de tensões. Um desses casos é o Maciço Alcalino de Cananéia (Riccomini 1995), um stock de forma elíptica com o eixo maior orientado segundo NE, situado na junção de duas importantes feições tectônicas do sudeste do Brasil, o Arco de Ponta Grossa, com idade mesozóica e orientação NW-SE, e as zonas de cisalhamento pré-cambrianas, com reativações durante o Mesozóico e o Cenozóico, que ensejaram a instalação e deformação do Rift Continental do Sudeste do Brasil. O padrão de fraturamento e de distribuição de diques do maciço reflete o tectonismo associado à evolução destas feições. Trabalhos realizados na região do Gráben da Guanabara (Ferrari 2001) e no Maciço Alcalino de Passa Quatro (Chiessi 2004) também confirmaram a aplicabilidade do uso de diques na definição de paleotensões e eventos tectônicos do Neocretáceo e Paleógeno da região sudeste do Brasil.

Com esta preocupação, o presente trabalho pretende caracterizar o regime tectônico de colocação do enxame de diques de Florianópolis (Santa Catarina).

2. Objetivos

O presente trabalho teve como objetivo principal a determinação do regime tectônico vigente durante a colocação do enxame de diques de Florianópolis, de idade eocretácea. Para tanto foram estudados os diques aflorantes na Ilha de Santa Catarina. Além disso, foram comparados os dados obtidos com as determinações prévias de paleotensões disponíveis na literatura e também com os modelos tectônicos regionais.

3. Materiais e métodos

Os materiais que foram empregados no levantamento de campo compreenderam martelo, bússola, trena, lupa de mão, equipamento de posicionamento global (GPS), mapas topográficos e geológicos, câmera fotográfica, além de veículo para deslocamentos. No laboratório, foram empregados microcomputadores e programas básicos e de uso livre para análise de dados estruturais.

Para o desenvolvimento do estudo foram empregados os seguintes métodos: aquisição dos dados disponíveis na literatura; levantamento de campo para cadastramento das ocorrências de diques, sua caracterização petrográfica, caracterização morfológica (Rickwood 1990), determinação de suas atitudes, espessuras e comprimentos, identificação de feições de pequena escala próximas ao contato dos diques com as encaixantes, análise dos dados estruturais valendo-se de programas específicos e de uso livre para microcomputadores; e por fim, integração dos dados.

4. Trabalhos prévios

4.1. Fundamentação teórica

Diques são corpos ígneos tabulares de espessura variável. Apresentam uma relação comprimento/espessura média de aproximadamente 1:1000, e de no mínimo 1:200, no caso dos corpos menores (Rickwood 1990). São discordantes das estruturas das rochas encaixantes e, em geral, têm mergulhos altos.

Rickwood (1990) propôs uma terminologia recomendada para a classificação de diques (Tab. 1), tendo como parâmetro as suas dimensões no plano horizontal.

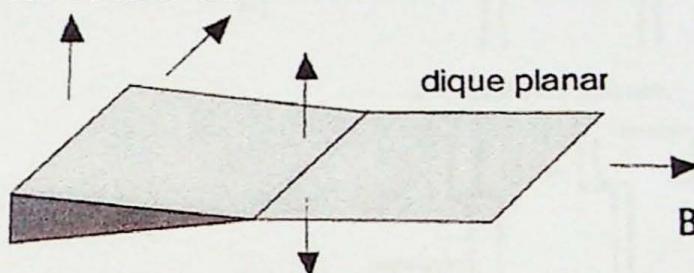
Tabela 1. Classificação de diques proposta por Rickwood (1990).

	Largura	Comprimento
Microdique	< 1 cm	< 2 m
Minidique	1-10 cm	2 - 20 m
Dique	10 cm - 50 m	100 m - 50 km
Macro dique	50 - 250 m	50 - 250 km
Megadique	> 250 m	> 250 km
Dique Gigante	> 150 m com cumulados em camadas sinformais	
"Grande Dique"	Dique do Zimbabwe	

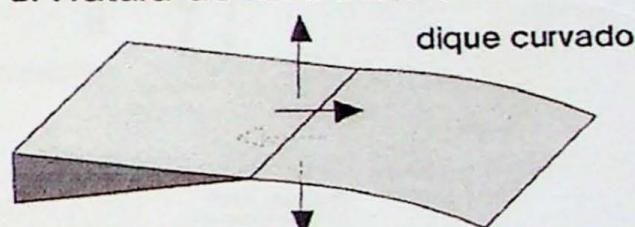
De modo geral, o mecanismo de colocação de diques depende do balanço de esforços entre a pressão do magma e o campo de esforços regional vigente durante a sua colocação. A forma de ocorrência dos diques depende da sua trajetória de propagação. A

trajetória de propagação decorre da posição do esforço compressivo mínimo em relação à direção de propagação do dique e, consequentemente, do estilo da fratura em preenchimento pelo dique. Segundo Pollard (1987) são reconhecidos três tipos de fraturas (Fig. 2): a) modo de fraturamento puro I, induzido por um esforço compressivo mínimo perpendicular ao plano do dique, produzindo um dique planar; b) modo de fraturamento misto I e II, induzido pela rotação espacial do esforço compressivo mínimo em torno de um eixo perpendicular à direção de propagação do dique, resultando em um dique curvado; e c) modo de fraturamento misto I e III, induzido pela rotação espacial do esforço compressivo mínimo em torno de um eixo paralelo à direção de propagação do dique, gerando um dique segmentado ou escalonado.

A. Fratura do Modo Puro I



B. Fratura do Modo Misto I-II



C. Fratura do Modo Misto I-III

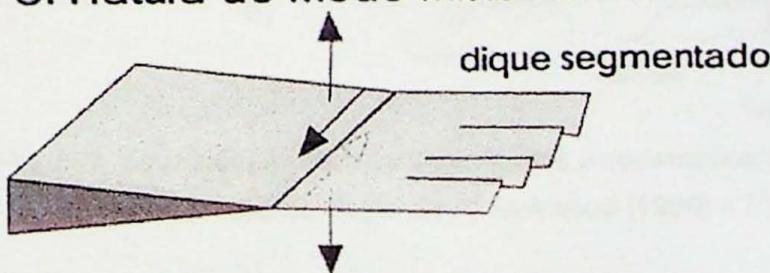


Figura 2. Desenhos esquemáticos mostrando os modos de fratura durante a propagação do dique.
Modificado de Pollard (1987).

Qualquer que seja o modo de fraturamento, os diques são colocados ortogonalmente ao eixo de menor esforço (σ_3), razão pela qual são considerados excelentes indicadores tectônicos (e.g. Zoback 1992). Para um mesmo campo de esforços têm sido verificadas boas concordâncias entre as posições dos eixos σ_1 e σ_2 .

obtidos pela orientação de diques e movimento de falhas (Geoffroy *et al.* 1993). Por serem discordantes das rochas encaixantes e apresentarem geralmente mergulhos subverticais, as determinações de paleotensões em diques tendem a ser muito precisas, sobretudo quando constituem enxames – agrupamentos de corpos de mesma idade e geograficamente relacionados. Em adição, estruturas de pequena escala próximas ao contato do dique com a encaixante podem auxiliar na identificação de mecanismos de deformação inelástica atuantes nas extremidades do dique (Pollard 1987).

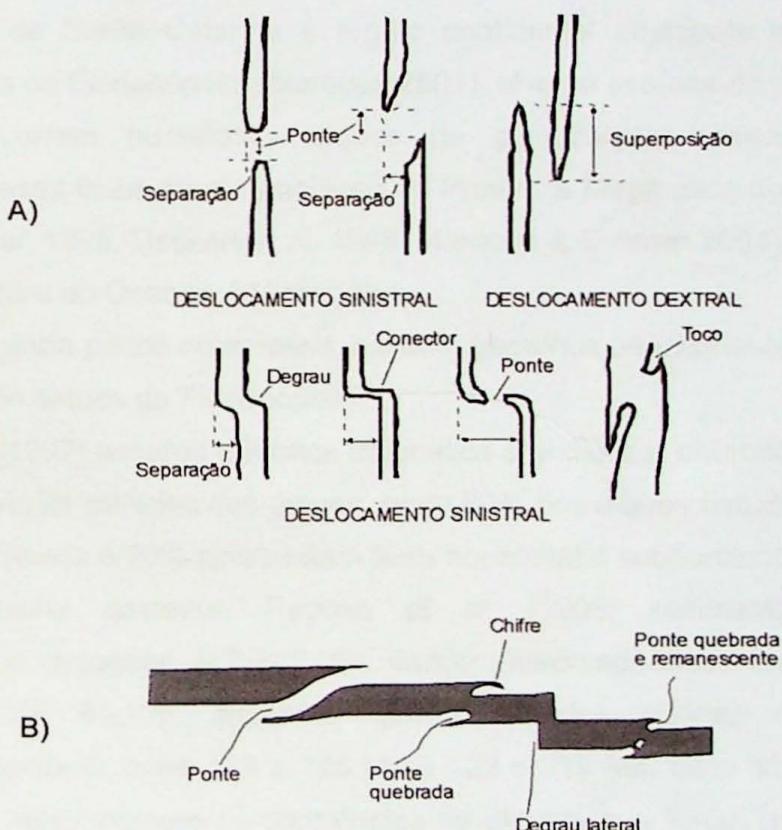


Figura 3. Terminologia para deslocamentos e separações entre diferentes segmentos de diques vistos em planta. Segundo A) Rickwood (1990) e B) Nicholson & Pollard (1985).

Quanto mais raso for o nível estrutural/crustal de colocação dos diques maior será a tendência de que o controle da colocação seja exercido por descontinuidades preexistentes (Zoback 1992); ainda que se encontrem nessas condições, as descontinuidades pretéritas deverão estar orientadas ortogonalmente ao eixo σ_3 para serem aproveitadas (v.g. Baer *et al.* 1994).

Numa posição contrária, Delaney *et al.* (1986) ressaltam que a direção dos diques pode não estar condicionada pela orientação dos esforços regionais, mas sim por

juntas preexistentes que podem atuar no controle de colocação. Em adição, consideram que o magma pode invadir juntas preexistentes se a sua pressão exceder o esforço horizontal atuante no plano da junta. Neste sentido, para validar a relação entre a orientação de diques e os esforços atuantes na sua colocação é necessária à caracterização das descontinuidades preexistentes no maciço, para verificar se elas exerceram ou não controle na colocação dos corpos.

4.2 O enxame de diques de Florianópolis

Na Ilha de Santa Catarina e região continental adjacente está localizado o enxame de diques de Florianópolis (Marques 2001), alvo de estudos do presente trabalho. Nesta região ocorrem numerosos diques de composição básica, provavelmente relacionados às fases finais do magmatismo da Província Magmática do Paraná (Raposo 1997, Raposo *et al.* 1998, Deckart *et al.* 1998, Marques & Ernesto 2004), evento este que culminou na abertura do Oceano Atlântico Sul.

Embora ainda pouco numerosos, existem trabalhos de excelente nível de detalhe sobre o enxame de diques de Florianópolis.

Raposo (1997) estudou a fábrica magnética dos diques, obtendo direção de fluxo magnético paralelo às paredes dos diques, onde 80% dos diques estudados apresentam fluxo vertical a inclinado e 20% apresentam fluxo horizontal a subhorizontal.

Em trabalho posterior, Raposo *et al.* (1998) realizaram investigações paleomagnéticas e datações Ar⁴⁰/Ar³⁹. Os dados paleomagnéticos indicaram um polo localizado a 3,3°E 89,1°S, enquanto que as idades obtidas mostraram duas concentrações principais, entre 128 e 126 Ma e 122 e 119 Ma. Esta faixa de idade mais jovem abrange o maior número de ocorrências de diques, que foram relacionados pelos autores à distensão crustal, nos estágios finais que antecederam a formação de crosta oceânica nessa latitude.

Marques (2001) estudou a geoquímica de diversos diques de Florianópolis, mostrando a predominância de lati-andesitos e andesi-basaltos toleíticos, ocorrendo de maneira subordinada basaltos toleíticos e andesitos toleíticos e, ainda, diques pertencentes à série transicional, latitos e lati-basaltos. Em função dos conteúdos de titânio, os diques da série toleítica foram divididos em dois conjuntos: diques Bti ($TiO_2 \leq 2\%$) e diques Ati ($TiO_2 > 3\%$).

5. Área de estudo

5.1. Localização

A área de estudo localiza-se na Ilha de Santa Catarina que pertence ao Município de Florianópolis (Fig. 4), capital e centro administrativo do Estado de Santa Catarina. Florianópolis situa-se na porção sudeste do estado, abrangendo uma ilha oceânica com 523 quilômetros quadrados e também uma porção continental.

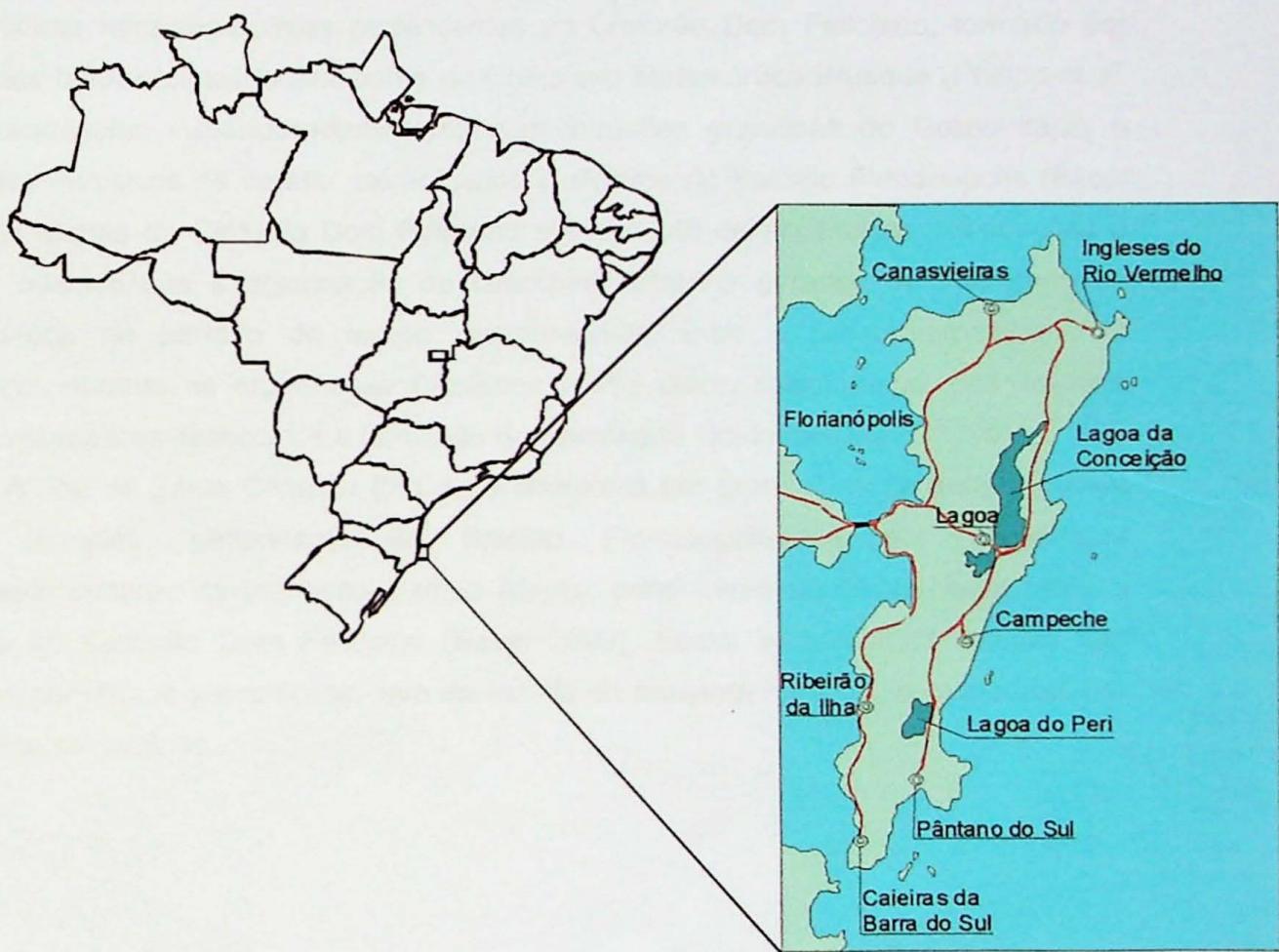


Figura 4. Mapa de localização da área de estudo.

5.2. Geologia regional

No Estado de Santa Catarina estão representadas duas unidades geotectônicas principais. Na parte oeste e cobrindo grande parte do estado estão as rochas sedimentares e vulcânicas da Bacia do Paraná, de idade paleozóica a mesozóica. Na parte leste, numa faixa de orientação N-S, paralela a costa, aflora o embasamento cristalino. Este embasamento é composto por rochas arqueanas a paleoproterozóicas, formadas por granitos, gnaisses e migmatitos da microplaca Luis Alves (Siga Junior 1995), rochas neoproterozóicas pertencentes ao Cinturão Dom Feliciano, formado por sequências metavulcanossedimentares do Complexo Metamórfico Brusque (Philipp *et al.* 2004), sequências vulcanossedimentares com intrusões graníticas do Grupo Itajaí, e granitóides intrusivos de caráter calci-alcalino a alcalino do Batólito Florianópolis (Basei 2000). As rochas do Cinturão Dom Feliciano são produto de sucessivas subducções e colisões relacionadas à aglutinação de diferentes terrenos gerados ou intensamente retrabalhados no período de tempo compreendido entre o Neoproterozóico e o Cambriano, durante as orogêneses Brasiliana e Rio Doce, relacionadas aos eventos tectono-magmáticos associados à formação do Gondwana Ocidental (Basei 2000).

A Ilha de Santa Catarina (Fig. 5) é composta por granitóides da suíte intrusiva Pedras Grandes, pertencente ao Batólito Florianópolis, e por seqüências vulcanosedimentares da formação Campo Alegre, pertencente ao Grupo Itajaí, ambas inseridas no Cinturão Dom Feliciano (Basei 2000). Essas rochas mais antigas são intrudidas por diques eocretáceos, alvo de estudo do presente trabalho, e recobertas por sedimentos cenozóicos.

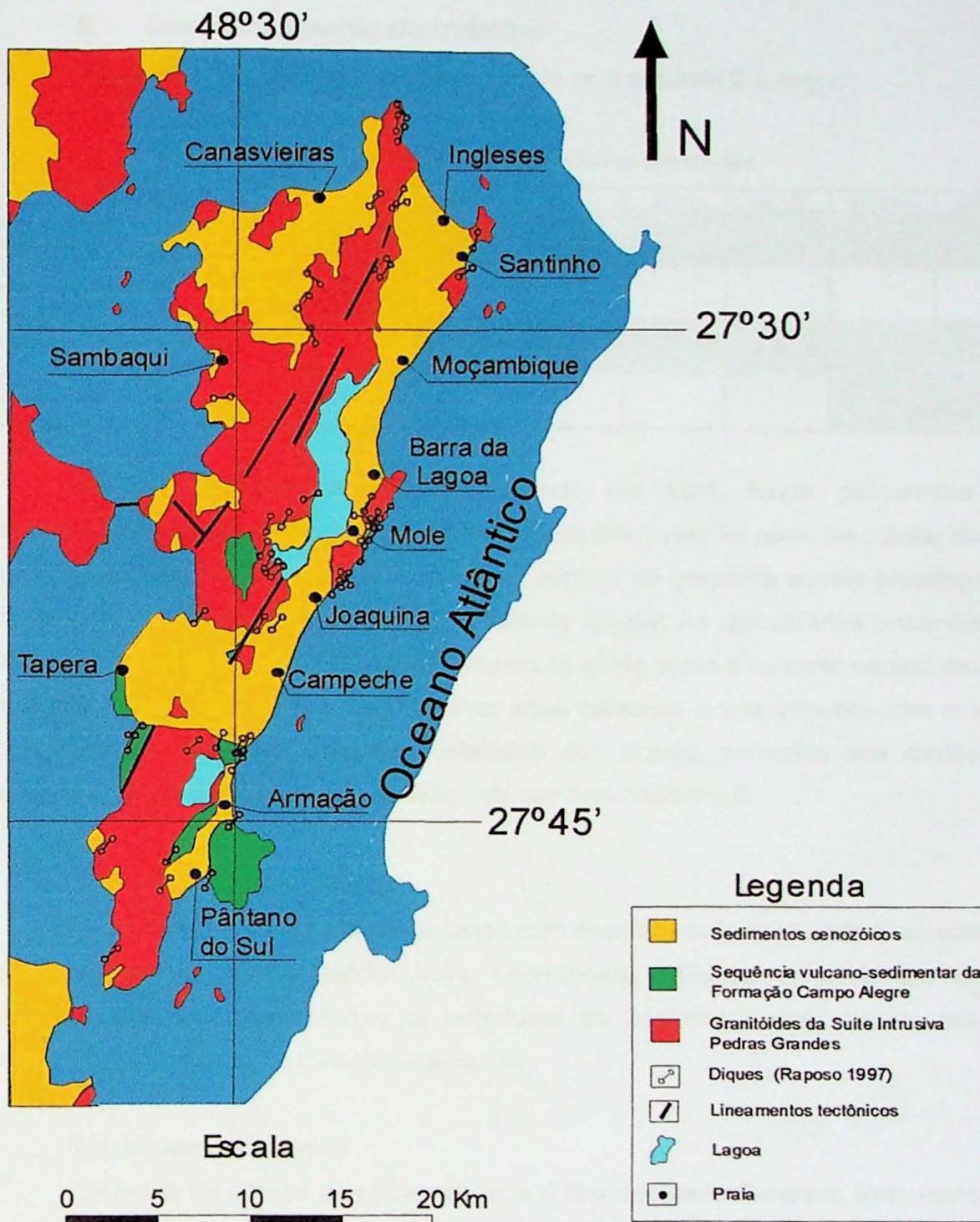


Figura 5. Mapa geológico regional da Ilha de Santa Catarina (modificado de Bortoluzzi et al. 1986).

6. Desenvolvimento do trabalho

As atividades foram realizadas de acordo com a tabela 2 a seguir:

Tabela 2. Cronograma das atividades realizadas.

Meses	Abril	Maio	Junho	Julho	Agosto	Setembro	Outubro
Análise da documentação bibliográfica e cartográfica disponível							
Levantamentos de campo							
Tratamento e análise dos dados							
Elaboração da monografia							

No levantamento de campo, realizado em abril, foram percorridos os afloramentos ao longo de costões na parte leste da ilha, onde foi possível coletar dados como atitudes, espessura mínima, e observar feições de pequena escala próximas ao contato com a encaixante em cerca de quarenta diques. As dificuldades encontradas foram a ausência de boas exposições de diques na costa oeste e na parte central da ilha; em alguns diques não foi possível observar seus contatos, o que impediu uma melhor amostragem de dados. As atitudes coletadas dos diques, somadas aos dados da bibliografia, foram tratadas com o software de uso livre Stereonett.

7. Resultados obtidos

Neste capítulo os resultados obtidos serão descritos enfocando primeiramente os diques estudados, apresentando suas ocorrências, atitudes e descrição geral. Posteriormente são apresentadas as estruturas de pequena escala observadas no contato dos diques com as rochas encaixantes.

7.1. Diques estudados

Na etapa de campo percorreu-se toda a Ilha de Santa Catarina. Entretanto, as melhores exposições dos diques concentram-se nos costões da parte leste da ilha. Como pode ser observado na figura 6, foram estudados afloramentos no norte, centro e sul da costa leste da ilha. Ao todo foram observados cerca de quarenta diques, metade dos quais apresentavam feições de borda. Nos demais não foram observados os contatos com as rochas encaixantes.

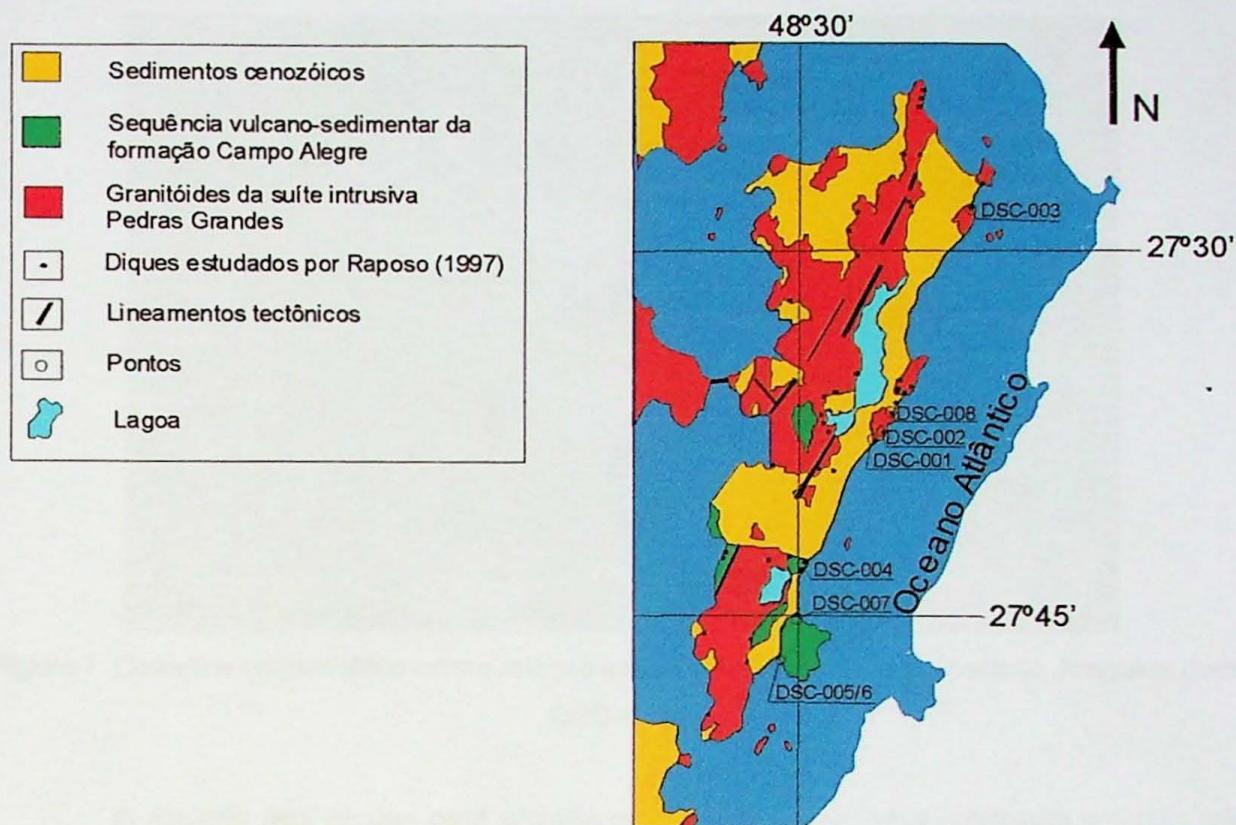


Figura 6. Principais áreas com diques investigados na etapa de campo.

Os diques estudados estão alojados tanto nos granitóides da suíte intrusiva Pedras Grandes quanto nas rochas da seqüência vulcano-sedimentar da Formação Campo Alegre. Possuem espessuras entre 0,30 m e 30 m, a orientação predominante é NE e são verticais a subverticais em sua maioria. Os contatos dos diques com as encaixantes são comumente irregulares e escalonados, sendo raramente retilíneos.

Poucos diques apresentam orientação NW e em um único afloramento (local DSC-002, Fig. 7), pode ser observado que os diques NW cortam os diques NE, deslocando-os dextralmente.

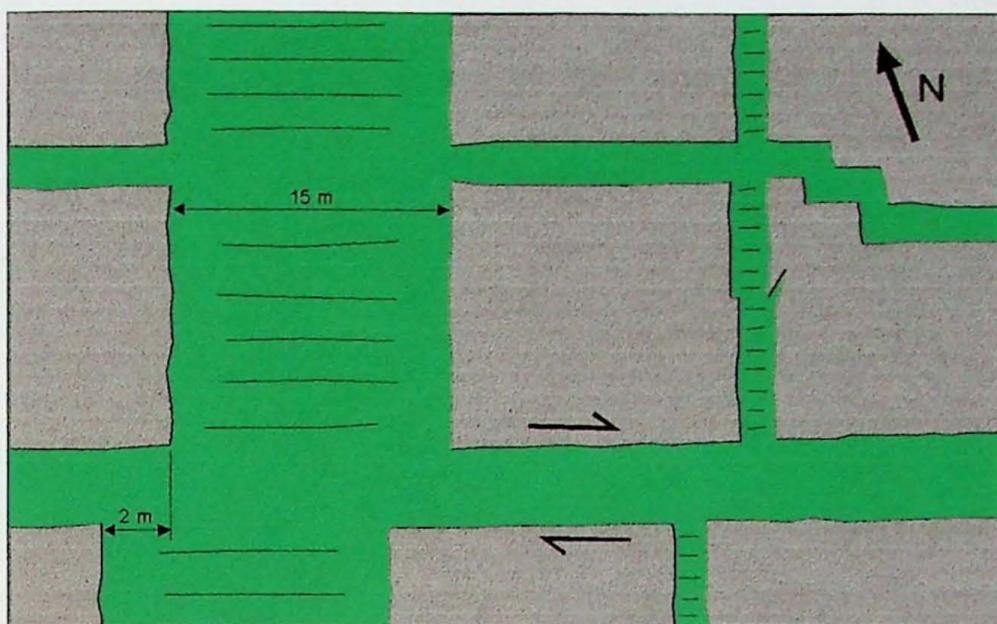


Figura 7. Desenho esquemático com a relação entre diques no costão da Praia da Joaquina (local DSC-002).

A maioria dos diques está alojada em rochas granítoides isótropas e estes não apresentam xenólitos nem grandes diferenças na orientação.

Nos local DSC-005 e DSC-006 foram observados xenólitos de rochas vulcânicas ácidas do embasamento. Não foram observadas zonas de brechas em nenhum dos diques visitados em campo.

7.2. Estruturas observadas

Diversas estruturas de pequena escala foram observadas no contato dos diques com as encaixantes, tais como chifres, apófises, degraus, pontes quebradas e remanescentes e falhas sin e tardi-intrusivas (Fig 8).

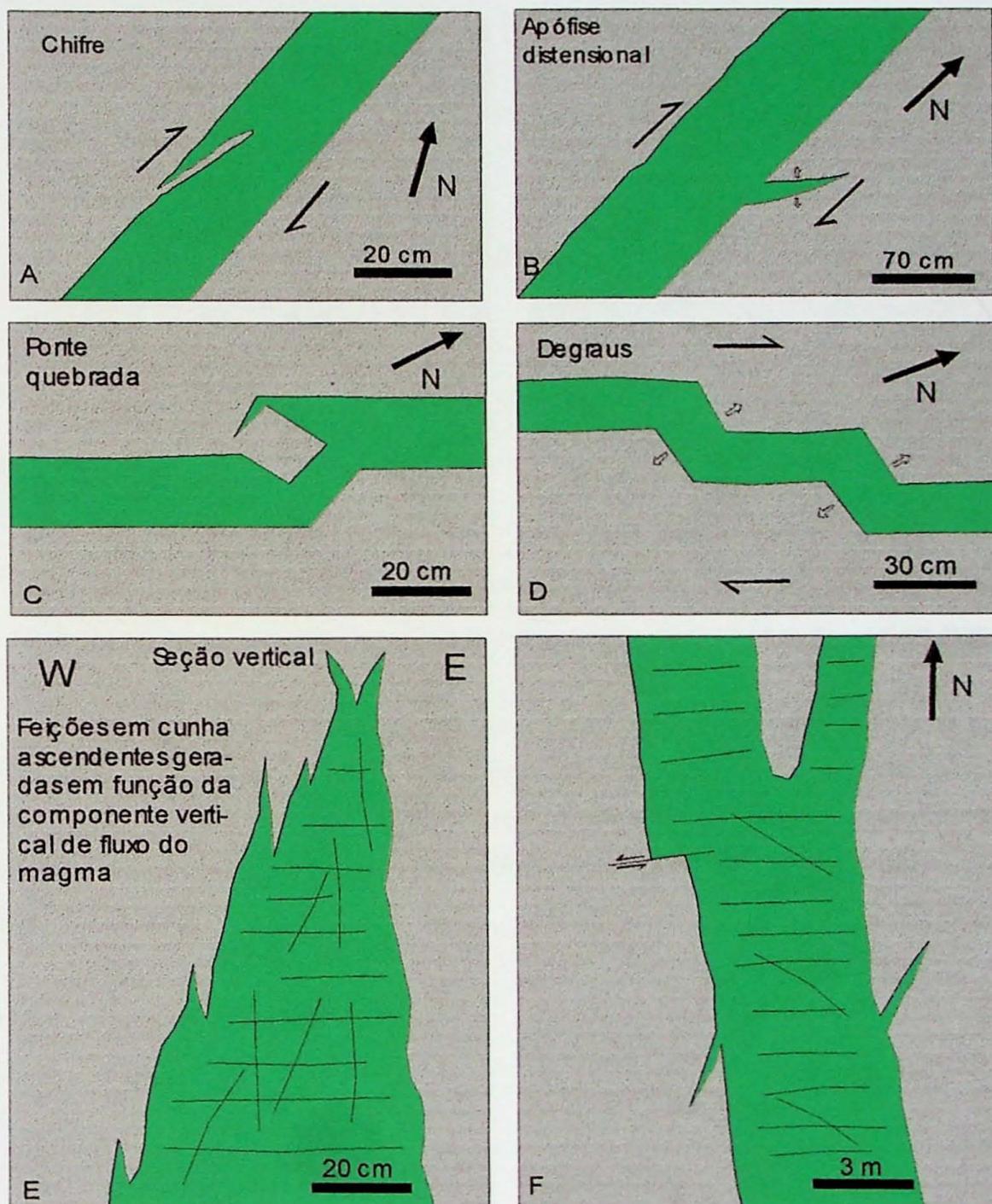


Figura 8. Desenhos esquemáticos de algumas estruturas observadas no contato dos diques com as encaixantes no enxame de diques de Florianópolis, SC.

Em apenas um local (DSC-008), em seção vertical de um dique, foram observadas estruturas em cunha ascendentes geradas pela componente vertical de fluxo do magma (Fig. 8E).



Figura 9. Dique de diabásio alojado em rocha granítóide na Praia Mole (local DSC-008).

Na figura 9 estão ilustradas duas estruturas comumente observadas nos afloramentos estudados: apófise distensional (A) e chifre (B). Na figura pode-se também observar que as fraturas principais da encaixante são cortadas pelo dique, de orientação N005E/80SE. Estas estruturas indicam deslocamento dextral das paredes durante a colocação do dique.

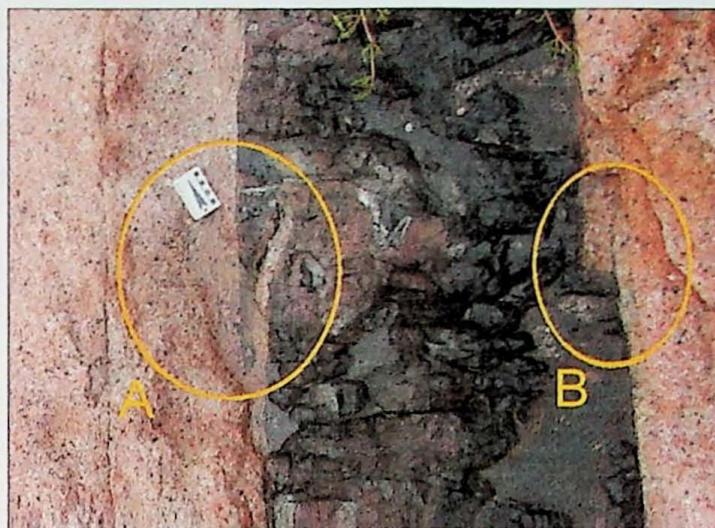


Figura 10. Dique de diabásio alojado em rocha granítóide no costão norte da Praia da Joaquina (local DSC-001).

A figura 10 mostra um dique de orientação N20E/subvertical, com 50 cm de espessura. Este apresenta dois chifres (A) e (B), ambos indicando movimentação dextral.



Figura 11. Dique de diabásio alojado em outro dique de rocha vulcânica ao sul da Praia da Armação (local DSC-007).

Ao sul da Praia da Armação foi observado um dique (Fig. 11) de orientação N43E/55SW, com cerca de 30 cm de espessura, exibindo estrutura tipo ponte quebrada.

Esta estrutura também foi observada num dique localizado no Costão do Santinho (Fig. 12). Neste dique de diabásio, de orientação N30E/84NW, observa-se que o bloco que foi deslocado está totalmente descolado da parede da encaixante e apresenta uma rotação dextral. Neste caso a estrutura é designada de ponte quebrada e remanescente.



Figura 12. Dique de diabásio alojado em rocha granítóide no Costão do Santinho (local DSC-003).

Algo muito interessante que também pode ser observado na figura 12 são as fraturas da rocha encaixante que não se propagam no interior do dique. Notar ainda que as fraturas que são cortadas pelo dique são as mais freqüentes. Outras fraturas, paralelas à parede do dique, são menos freqüentes, descontínuas, além de estarem presentes apenas nas proximidades do contato do dique com a encaixante.



Figura 13. Falha tardi-magmática antitética em dique de diabásio no costão norte da Praia Pântano do Sul (local DSC-006).

A figura 13 mostra um dique de diabásio, de orientação N04E/subvertical, encaixado em rochas vulcânicas ácidas, onde se pode observar uma falha tardi-magmática de direção N55W deslocando disjunções colunares do dique. Esta falha apresenta disposição antitética em relação à direção do dique.



Figura 14. Dique de diabásio encaixado em rocha granítóide no costão sul da Praia do Campeche (local DSC-004).

Ao sul da Praia do Campeche foi observado um dique em degrau (Fig. 13), com orientação geral N50E/subvertical e cerca de 20 cm de espessura, interligando outros dois diques de maior dimensão.

8. Interpretação e discussão dos resultados

As atitudes dos diques coletadas em campo foram tratadas juntamente com os dados adquiridos na literatura (Raposo 1997). Estas atitudes foram plotadas no diagrama de rosácea (Fig. 15) utilizando o software de uso livre Stereonett. Ao todo foram plotadas 71 atitudes de diques.

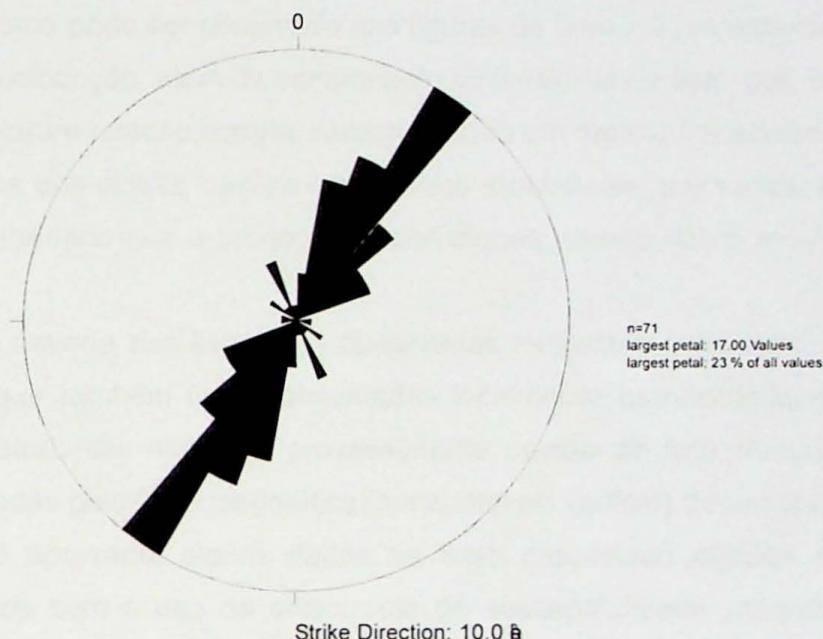


Figura 15. Diagrama de rosácea com as orientações dos diques de Florianópolis que foram coletadas em campo e na bibliografia (Raposo 1997).

O diagrama de rosácea das orientações dos diques exibe orientação predominante segundo a direção N35E. As observações de campo mostram que os diques são predominantemente subverticais. Esta orientação indica uma direção de distensão N55W horizontal na época de colocação destes diques. O caráter subvertical dos diques, por sua vez, sugere que a direção de tensão principal intermediária era vertical.

Alguns diques estudados estão alojados em rochas granítoides que, por vezes, apresentam fraturas (Fig. 9). Em alguns locais observa-se que estas fraturas são cortadas pelos diques, indicando que elas são anteriores à intrusão. Nota-se também que há

fraturas paralelas aos diques (Fig. 12), mas por estas serem relativamente pequenas e descontínuas devem ter sido geradas durante a colocação destes corpos.

O diagrama da figura 15 mostra pequena dispersão na orientação dos diques; além disso, não foram observadas zonas de brechas e em apenas um dique observou-se xenólitos da rocha encaixante, o que indica que a colocação e orientação destes diques, muito provavelmente, não é controlada por estruturas pretéritas. O fato de alguns diques estarem alojados em rochas granítoides isotropas reforça esta consideração.

As estruturas de pequena escala observadas nas paredes dos diques podem auxiliar na caracterização do regime tectônico atuante na época da colocação do enxame de Florianópolis. Como pode ser observado nas figuras do item 7.2, as estruturas indicam que durante a sua colocação, além da componente distensional de esforços, estes diques também experimentaram rotação horária, caracterizando um regime transcorrente dextral.

Os contatos dos diques com as encaixantes mostrou-se, por vezes, em degraus ou escalonados, sugerindo que a propagação dos diques deu-se sob o modo de fratura misto I-III.

Apesar da maioria das estruturas observadas indicarem movimentação dextral, deve-se ressaltar que também foram observadas localmente estruturas que indicavam movimentação sinistral. Isto acontece provavelmente devido ao fato destas estruturas também serem geradas pelo fluxo magmático (horizontal ou vertical) dentro da fratura.

A tabela 3 apresenta alguns dados de fluxo magmático obtidos por Raposo (1997), determinados com o uso da anisotropia de susceptibilidade magnética (ASM), para alguns dos diques estudados no presente trabalho.

Tabela 3. Dados de anisotropia de susceptibilidade magnética (ASM), para alguns dos diques estudados (segundo Raposo 1997).

Dique	Fluxo (ASM)	Orientação	Estruturas de borda
128	003/66 Inclinado	108/90	Apófises distensionais - dextral
142C	060/16 Horizontal	150/90	Degrus - dextral
144B	044/31 Inclinado	123/55	Ponte, chifre e degrau - dextral
129A	014/67 Vertical	095/80	Chifres e apófises - dextral ascendente

Esta tabela mostra que, para alguns diques, as estruturas são coerentes com a direção do fluxo magmático obtido através da ASM. Embora sejam poucos os dados para se comparar, observa-se uma boa concordância entre as estruturas observadas em campo e os dados obtidos através da ASM.

Rickwood (1990) ressalta que algumas das estruturas de borda dos diques apresentam limitações de uso para determinação do fluxo magmático, pois elas são formadas no momento da propagação da fratura, indicando apenas o fluxo inicial. Mudanças no fluxo magmático no interior dos diques já foram descritas (Baer & Reches 1987).

9. Modelo tectônico

Nos estágios iniciais da ruptura do Gondwana, que precederam a formação do Oceano Atlântico Sul, ocorreu um arqueamento da crosta gerando uma junção tríplice (Herz 1977). Integram esta junção tríplice os enxames de diques dos segmentos Arco de Ponta Grossa, Santos - Rio de Janeiro e Florianópolis.

Nos primeiros momentos deste arqueamento colocaram-se os diques do Arco de Ponta Grossa, que nessa fase sofria distensão pura, segundo a direção NE-SW. Logo após esta fase o regime passou a ter uma componente horizontal, mudando para transcorrente dextral, com compressão orientada segundo a direção NW-SE, horizontal, e distensão NE-SW, horizontal (Soares 1991). Esta mudança no regime de esforços foi gerada, provavelmente, pela diferença na velocidade angular da Placa Sul-Americana.

Em outra fase, cerca de 4 Ma depois, colocaram-se os enxames de diques dos segmentos Santos-Rio de Janeiro e Florianópolis. No segmento Santos-Rio de Janeiro o regime de colocação dos diques foi determinado através das orientações medidas nos mapas geológicos e coletadas em campo por Ferrari (2001), Silva & Riccomini (2005) e Tomba & Sato (2006). Estes autores concluíram que o regime de esforços vigentes durante a colocação dos diques era transtrativo sinistral, onde o binário estava posicionado segundo E-W e as direções de compressão e distensão, respectivamente, segundo NE-SW e NW-SE, ambas horizontais.

Os resultados obtidos neste trabalho indicam que no segmento Florianópolis o regime de esforços atuante durante a colocação dos diques era transtrutivo dextral, com binário posicionado segundo a direção aproximada N-S, com direções de distensão segundo N55W, horizontal e de compressão segundo N35E, horizontal.

O cartoon da figura 16 ilustra esquematicamente os diferentes eventos propostos. Nota-se que, assumindo-se um movimento solidário das porções situadas ao norte e ao sul do Arco de Ponta Grossa, após o início da abertura do Oceano Atlântico Sul, o segmento Santos-Rio de Janeiro deveria experimentar transtração sinistral, e o de

Florianópolis, transtracção dextral. Dessa forma, os regimes determinados a partir do estudo de diques nesses dois segmentos são coerentes com o modelo proposto.

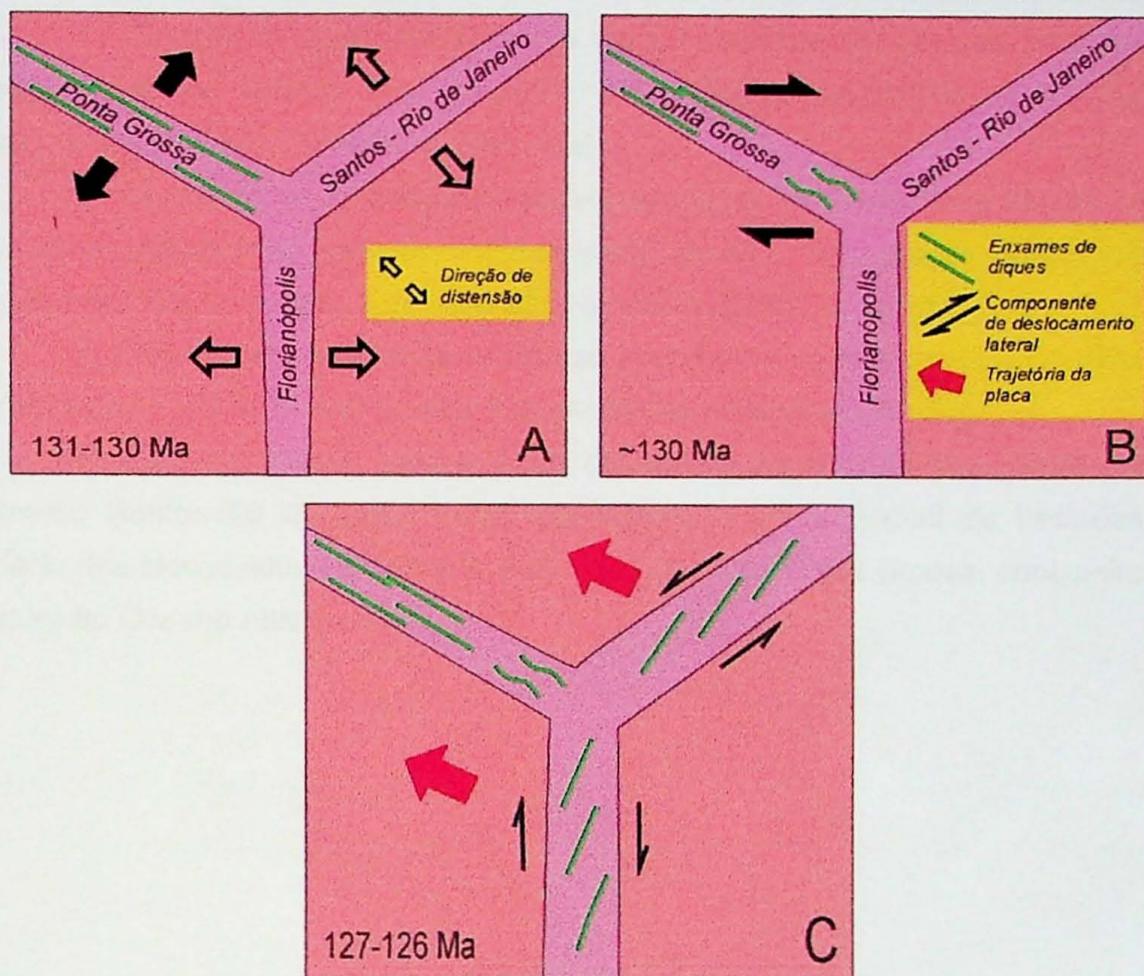


Figura 16. Cartoon esquemático dos estágios de abertura e colocação dos diques no Eocretáceo.

A tabela 4 sumariza o quadro dos diferentes regimes tectônicos atuantes regionalmente durante o magmatismo toleítico eocretáceo.

Tabela 4. Quadro síntese dos regimes tectônicos vigentes durante o Eocretáceo.

Segmento	Distensão	Compressão	Regime
Arco de Ponta Grossa (1)	NE-SW	Vertical	Distensivo
Arco de Ponta Grossa (2)	NE-SW	NW-SE	Transtrativo dextral
Santos-Rio de Janeiro	NW-SE	NE-SW	Transtrativo sinistral
Florianópolis	NW-SE	NE-SW	Transtrativo dextral

10. Conclusões

As principais conclusões resultantes deste estudo podem ser assim resumidas:

1) Com as atitudes coletadas em campo somadas as atitudes adquiridas na literatura, pode-se concluir que durante a sua colocação os diques de Florianópolis experimentaram distensão NW-SE, horizontal.

2) As estruturas de pequena escala observadas no contato dos diques com as encaixantes indicam movimentação transcorrente dextral, com direção de compressão NE-SW (~N35E), horizontal, e de distensão NW-SE (~N55W), horizontal.

3) Pelas formas dos contatos com as encaixantes concluiu-se que os diques se propagaram no modo de fratura misto I-III, gerando contatos escalonados.

4) Os dados aqui obtidos e as determinações prévias disponíveis para o segmento Santos-Rio de Janeiro são concordantes com o modelo de deslocamento solidário dos blocos situados ao norte e ao sul do Arco de Ponta Grossa, concomitante a abertura do Oceano Atlântico Sul.

11. Referências bibliográficas

- Asmus, H. E. 1978. Hipóteses sobre a origem dos sistemas de zonas de fratura oceânicas/alinhamentos continentais que ocorrem nas regiões Sudeste e Sul do Brasil. In: *Aspectos estruturais da margem continental leste e sudeste do Brasil*. Série Projeto REMAC, 4: 39-73
- Baer, G, Beyth, M, Reeches, Z. 1994. Dikes emplaced into fractured basement, Timma Igneous Complex, Israel. *Journal of Geophysical Research*, 99: 24039- 24050.
- Basei, M. A. S., 2000. *Geologia e modelagem geotectônica dos terrenos pré-Cambrianos das regiões sul-oriental brasileira e uruguaia: possíveis correlações com províncias similares do sudeste africano*. Tese de Livre-Docência, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, 123p.
- Bortoluzzi, C. A. & Silva, L.C. Mapa Geológico do Estado de Santa Catarina, escala 1:500.000. Florianópolis, SC.DNPM.
- Chiessi, C. M. 2004. *Tectônica cenozóica do Maciço Alcalino de Passa Quatro (SP-MG-RJ)*. Dissertação de Mestrado, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, 117p.
- Deckart, K., Féraud, G., Marques, L. S., Bertrand, H., 1998. New time constraints on dyke swarms related to the Paraná-Etendeka Magmatic province, and subsequent South Atlantic opening, southeastern Brazil. *Journal of Vulcanology and Geothermal Research*, 80: 67 – 83.
- Delaney, P. T., Pollard, D. D., Ziony, J. I., McKee, E. H., 1986. Field relations between dikes and joints: emplacement processes and paleostress analysis. *Journal of Geophysical Research*, 91: 4920-4938.
- Ferrari, A.L., 2001. *Evolução Tectônica do Graben de Guanabara*. Tese de Doutoramento, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, 412p.
- Geoffroy, L., Bergerat, F., Angelier, J. 1993. Modification d'un champ de contrainte régionale par un champ de contraintes magmatique local. Exemple de l'île de Skye

Brentan, S. 2006. Determinação do regime tectônico de colocação do enxame de diques de Florianópolis, Santa Catarina, Brasil

(Ecosse) au Paléocène. *Bulletin de la Société Géologique de France*, **164**: 541 – 552.

Herz, N. 1977. Timing of spreading in the South Atlantic: information from Brazilian Rocks. *Geological Society America Bulletin*, New York, **88**: 101-112.

Marques, L. S. 2001. *Geoquímica dos diques toleíticos da costa sul-sudeste do Brasil: contribuição ao conhecimento da Província Magmática do Paraná*. Tese de Livre-Docência, Instituto Astronômico e Geofísico, Universidade de São Paulo, 86p.

Marques, L. S., Ernesto, M. 2004. O magmatismo toleítico da Bacia do Paraná. In: Mantesso Neto, V., Bartorelli, A., Carneiro, C.D.R., Brito Neves, B.B. (eds.) *Geologia do Continente Sul Americano: Evolução da Obra de Fernando Flávio Marques de Almeida*. São Paulo, Becca, p. 245–263.

Nicholson, R & Pollard, D. D. 1985. Dilation and Linkage of echelon cracks. *Journal of Structural Geology*, **7 (5)**: 583-590.

Philipp, R. P., Mallmann, G., Bitencourt, M. F., Souza, E. R., Souza, M. M. A., Liz, J. D., Wild, F., Arendt, S., Oliveira, A. S., Duarte, L., Rivera, C. B. & Prado, M. 2004. Caracterização litológica e evolução metamórfica da porção leste do Complexo Metamórfico Brusque, Santa Catarina. *Revista Brasileira de Geociências*, **34**:21-34

Pollard, D.D. 1987. Elementary fracture mechanics applied to the structural interpretation of dykes. In: Halls, H.C. & Fahrig, W.F. (eds.) *Mafic-dyke swarms*. *Geological Association of Canada, Special Paper*, **34**:5-24.

Raposo, M. I. B. 1997. Magnetic fabric and its significance in the Florianópolis dyke swarm, southern Brazil. *Geophysical Journal International*, **131**:159–170.

Raposo, M. I. B., Ernesto, M., Renne, P. R. 1998. Paleomagnetism and $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ dating of the Early Cretaceous Florianópolis Dyke Swarm (Santa Catarina Island), Southern Brazil. *Physics of the Earth and Planetary Interiors*, **18**:275–290.

Riccomini, C. 1995. Padrão de fraturamentos do maciço Alcalino de Cananéia, Estado de São Paulo: relações com a tectônica mesozóico-cenozóica do sudeste do Brasil. *Revista Brasileira de Geociências*, **25**:79-84.

Brentan, S. 2006. Determinação do regime tectônico de colocação do enxame de diques de Florianópolis, Santa Catarina, Brasil

Riccomini, C. & Assumpção, M. 1999. Quaternary tectonics in Brazil. *Episodes*, **22**:221-225.

Riccomini, C., Sant'Anna, L.G., Ferrari, A.L. 2004. Evolução geológica do Rift Continental do Sudeste do Brasil. In: Mantesso Neto, V., Bartorelli, A., Carneiro, C.D.R., Brito Neves, B.B. (eds.) *Geologia do Continente Sul Americano: Evolução da Obra de Fernando Flávio Marques de Almeida*. São Paulo, .Becca, p. 383–405.

Riccomini, C., Velázquez, V.F., Gomes, C.B. 2005. Tectonic controls of the Mesozoic and Cenozoic alkaline magmatism in central-southeastern Brazilian Platform. In: Comin-Chiaromonti, P. & Gomes, C.B. (eds.) *Mesozoic to Cenozoic alkaline magmatism in the Brazilian Platform*. São Paulo, EDUSP-FAPESP, p.31-55.

Rickwood, P.C. 1990. The anatomy of a dyke and the determination of propagation and magma flow directions. In: Parker, A.J., Rickwood, P.C., Tucker, D.H. (eds.) *Mafic dykes and emplacement mechanisms*. Rotterdam, Balkema, p. 81–100.

Siga Jr, O. 1995. *Dominios tectônicos do sudeste do Paraná e nordeste de Santa Catarina: Geocronologia e evolução crustal*. Tese de Doutoramento, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, 212 p.

Silva, T.B. & Riccomini, C. 2005. O uso de corpos intrusivos como indicadores tectônicos: o enxame de diques Santos – Rio de Janeiro (Eocretáceo). In: Simpósio Internacional de Iniciação Científica da Usp, Resumo, São Carlos, S.P.

Soares, P. C. 1991. *Tectônica sinsedimentar cíclica na Bacia do Paraná – Controles*. Tese para o concurso ao cargo de professor titular, Departamento de geologia, Universidade Federal do Paraná, 130p.

Stewart, K., Turner, S., Kelley, S., Hawkesworth, C., Kirstein, L. & Mantovani, M. (1996). 3-D, ^{40}Ar - ^{39}Ar geochronology in the Paraná continental flood basalt province. *Earth and Planetary Science Letters*, **143**:95-109.

Tomba, C.L & Sato, E.N. 2006. Campo de esforços controladores do enxame de diques máfico-ultramáfico da Ilha de São Sebastião, SP. In: 43º Congresso Brasileiro de Geologia, Aracaju, pág. 272.

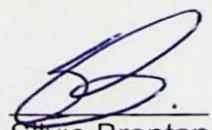
Brentan, S. 2006. Determinação do regime tectônico de colocação do enxame de diques de Florianópolis, Santa Catarina, Brasil

Turner, S., Regelous, M., Kelley, S., Hawkesworth, C. & Mantovani, M.S.M. (1994).
Magmatism and continental break-up in the South Atlantic: high precision ^{40}Ar - ^{39}Ar geochronology. *Earth and Planetary Science Letters*, **121**:333-348.

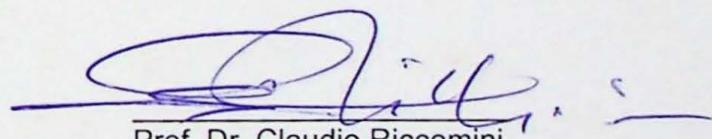
Zalán, P. V., Wolff, S., Conceição, C. J., Astolfi, M. A. M., Vieira, I. S., Appi, V. T., Zanotto, O. A. & Marques, A. 1987. Tectonics and sedimentation of Paraná Basin. *An. Simp. Gondwana*, VII: 83-117.

Zoback, M.L. 1992. First and second order patterns of stress in the lithosphere: the World Stress Map. *Journal of Geophysical Research*, **97**: 11703 – 11728.

De acordo,



Silvio Brentan



Prof. Dr. Claudio Riccomini

