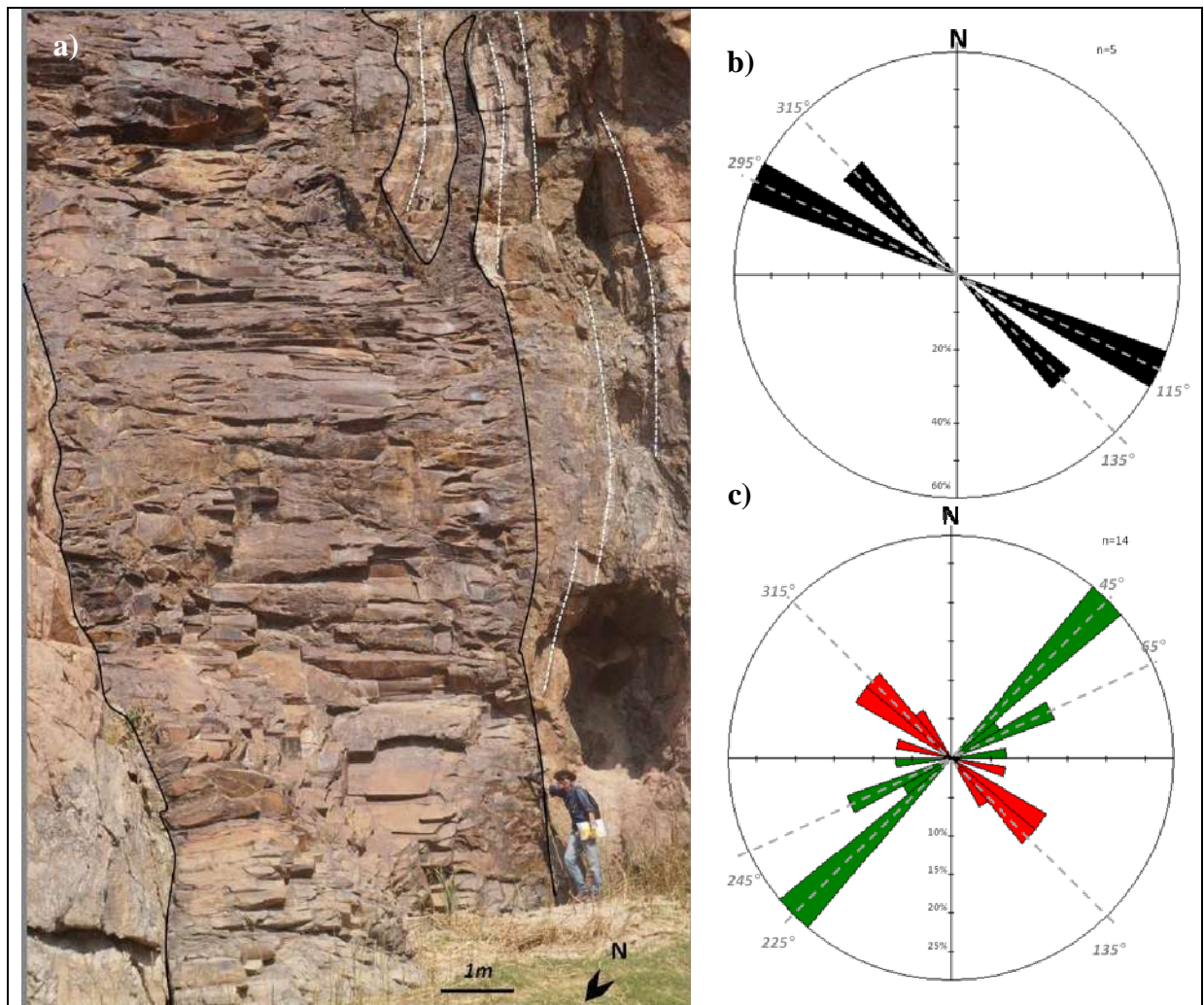


A ausência de outras feições assimétricas e a relação angular entre as fraturas internas de resfriamento e as paredes dos diques de orientação NNW-SSE (Figura 31) sugerem que estes diques foram intrudidos sob um regime distensivo, sem uma componente cisalhante na horizontal. Ou seja, neste caso a direção de máxima extensão (σ_3) é ENE-WSW (N75E), perpendicular ao *strike* dos diques.

Outra observação importante é que os diques, frequentemente, mas nem sempre, cortam as estruturas pan-africanas. No núcleo orogênico da Faixa Kaoko as estruturas pan-africanas e os contatos geológicos estão verticalizados (Goscombe et al., 2003a). Nesta região, está exposto num corte vertical do Rio Hoarusib, um dique que foi intrudido paralelamente à foliação milonítica (Figura 34a).

Figura 34 – Dique basáltico aflorando num corte do Rio Hoarusib no núcleo orogênico da Faixa Kaoko



Legenda: a) Dique de basalto de direção NW-SE (300-120°N) e espessura de 5m, alojado no contato de um ortogneisse paleoproterozoico com uma zona milonítica. O dique foi intrudido paralelo à foliação milonítica subvertical: Az/Incl - 30/80. Rosetas de direções: b) fratura conduto; e c) as

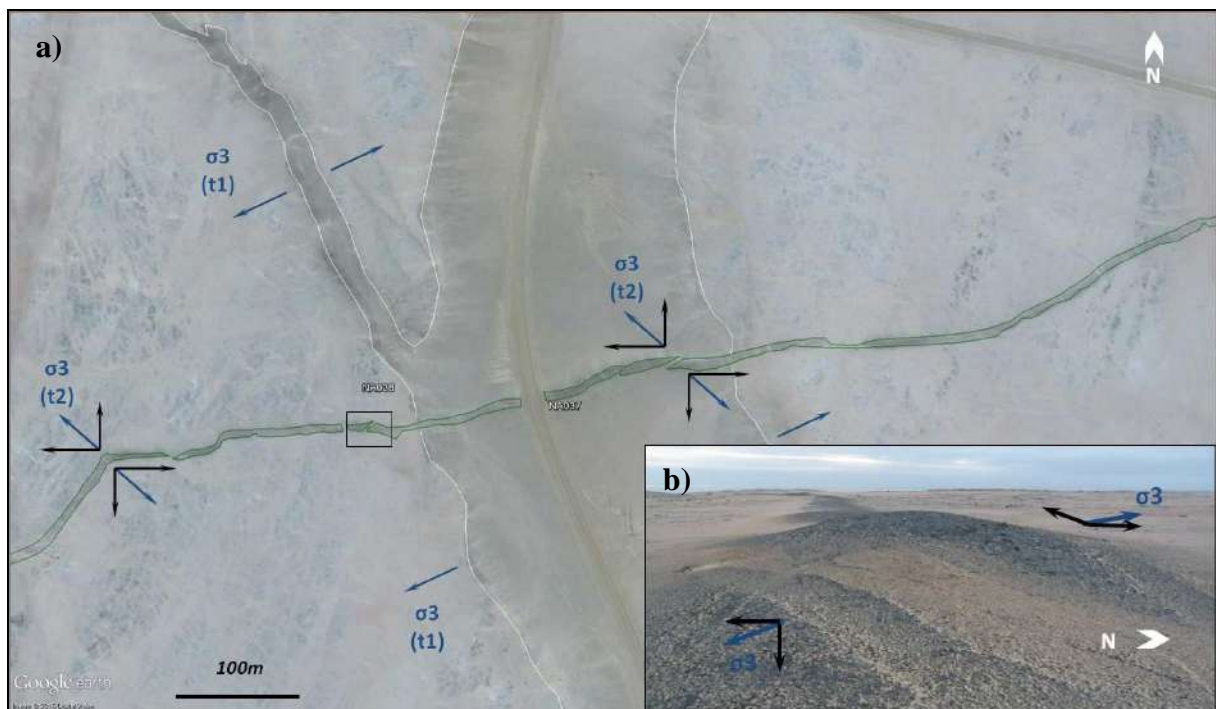
fraturas internas do dique (verdes - transversais, vermelho - longitudinais), pétalas máximas - 45° e 315° (NA081 - $18^\circ51'28.37''S$, $12^\circ52'42.27''E$)

Fonte: O autor, 2017

Nesta localidade, o dique aproveitou as estruturas preexistentes de orientação N60W, sendo alojado ao longo a margem de uma zona milonítica desenvolvida num ortognaisse paleoproterozoico (Anexo F). Porém, foi possível observar em imagens de satélite que este mesmo dique apresenta uma orientação diferente, mais ao sul do ponto NA081, mudando para NNW-SSE, ou seja, oblíquo à foliação milonítica e aos contatos geológicos. Além disso, as fraturas transversais e longitudinais se desenvolveram oblíquo às paredes do dique (Figura 34b. c). Estas observações levaria à interpretação que a extensão foi oblíqua à fratura conduto do dique, no ponto NA081, com um sentido de movimento destal e uma direção de distensão de $65-245$ (ENE-WSW), que corresponde à segunda maior pétala da roseta de direções de fraturas internas transversais (Figura 34c).

Os diques de orientação ENE-WSW são mais frequentes próximos do litoral e cortam os diques de orientação NNW-SSE (Figura 33). Pontes entre segmentos destes diques, e outras feições assimétricas, são frequentemente observadas indicando um componente sinistral durante seu alojamento (Figura 35 & 36).

Figura 35 – Dique basáltico de orientação ENE-WSW cortando um dique diabásico de orientação NNW-SSE, ~3,3km SE do Mowe Bay na Costa do Esqueleto



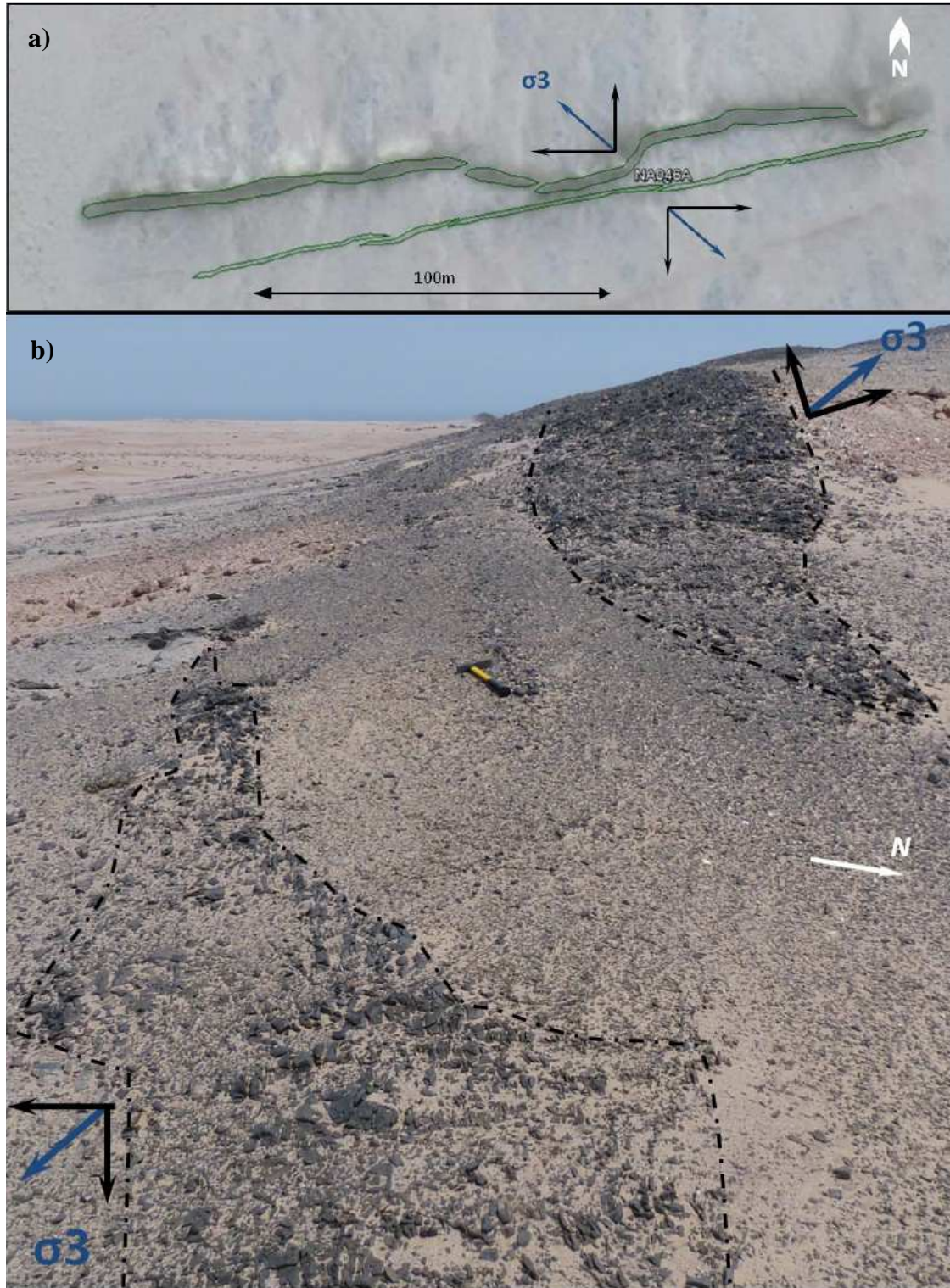
Legenda: a) Dique basáltico (verde) com feições assimétricas que indicam uma componente sinistral durante a sua intrusão, com uma direção de extensão máxima ($\sigma_3 - t_2$) de NW-SE ($315-135^\circ$). Este dique corta um dique diabásico espessa (branco), de orientação NNW-SSE com uma apófise indicando que

a extensão foi normal (σ_3 - t1 - 65-245°); b) Detalhe de uma ponte entre segmentos do dique de orientação ENE-WSW com extensão perpendicular às paredes da ponte.

Note: NA038 - 19°23'42.00"S, 12°43'49.84" E

Fonte: O autor, 2017

Figura 36 – Diques basálticos de orientação ENE-WSW, ~3 km NNE do Mowe Bay na Costa do Esqueleto



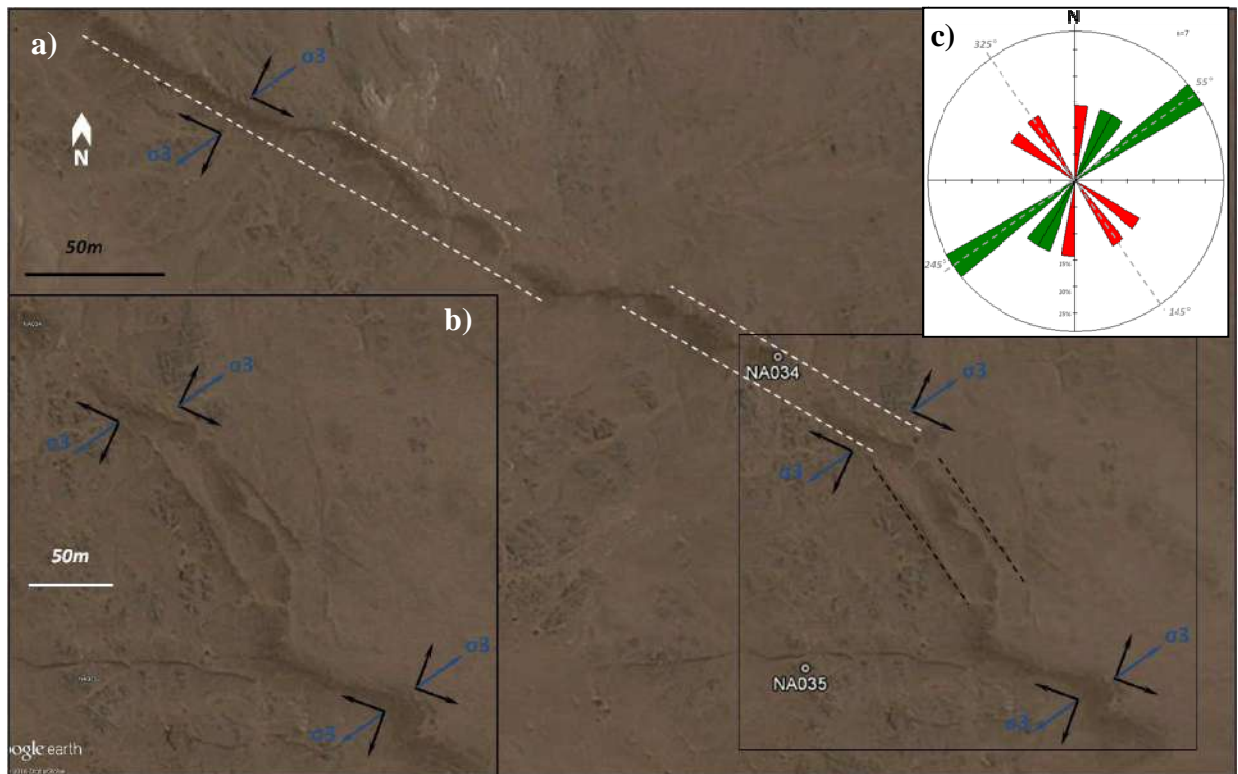
Legenda: a) Dique basáltico (verdes) com feições assimétricas que indicam uma componente sinistral durante a sua intrusão. b) Detalhe de uma ponte entre segmentos com a direção de extensão máxima (σ_3) de NW-SE (315-135°), perpendicular às paredes da ponte.

Note: NA046-2 - 19°20'47.76"S, 12°43'11.48" E

Fonte: O autor, 2017

A direção de menor esforço e ou máxima extensão (σ_3) durante a intrusão dos diques de orientação ENE-WSW foi $315-135^\circ$ (NW-SE), que corresponde a uma direção perpendicular às paredes das pontes entre segmentos (Figuras 35b & 36a). Alguns diques de orientação N80W a N45W foram observados em campo e também mapeados através da interpretação de dados aeromagnéticos e de imagens de satélite. Estes diques podem ocorrer com formas escalondas ou em zigue-zague como observado no ponto NA034 entre *Terrace Bay* e *Mowe Bay* (Figura 37). Neste ponto, os segmentos de orientação leste-oeste (segmentos curtos) são menos espessos que os segmentos de orientação de orientação N40W e N60W. Neste caso, a extensão foi oblíqua aos segmentos com uma componente direcional destal durante o seu alojamento. A direção de extensão máxima (σ_3) foi NE-SW ($55-235$), perpendicular às apófises assimétricas do segmento NW-SE (Figura 37b), que correspondem à pétala maior da roseta de direções das fraturas internas do dique (Figura 37c).

Figura 37 – Dique em zigue-zague de orientação NW-SE entre *Terrace Bay* e *Mowe Bay*, Costa do Esqueleto



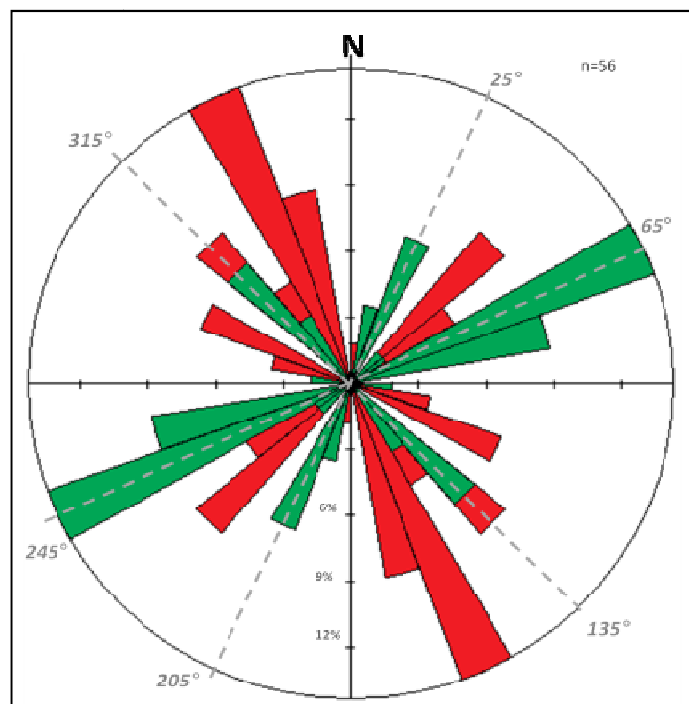
Legenda: a) Dique de andesito basáltico em zigue-zague com segmentos E-W menos espessos que os segmentos de orientação N40W e N60W. A extensão foi oblíqua com uma componente destal durante o seu alojamento. b) A direção de extensão máxima (σ_3) foi 55-235 perpendicular às apófises assimétricas do segmento N40W, que correspondem à pétala maior da roseta de direções das fraturas internas do dique, c). vermelhas - longitudinais, verde - transversais

Note: NA034 - $19^\circ 46' 31.35''$ S, $12^\circ 55' 56.78''$ E;

Fonte: O autor, 2017

As direções de máximo (σ_{max}) e mínimo (σ_3) esforços atuantes durante o alojamento de 28 diques foram calculadas, sendo a roseta destas direções é apresentada em Figura 38. A interpretação destes resultados e as relações de corte dos diques sugere que houveram pelo menos três eventos extensivos na área de estudo durante o Eocretáceo, como resumido na Tabela 8 embaixo. Esta interpretação é suportada por observações de campo e imagens de satélite que mostram que os diques de direção N15W são cortados pelos diques de direção N70E a N85E que por sua vez são aparentemente cortados pelos diques de orientação N80W a N45W - Figura 39.

Figura 38 – Roseta das direções de esforço mínimo e máximo esforços atuantes durante a intrusão dos diques do noroeste da Namíbia

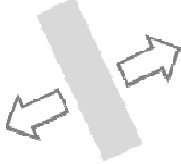

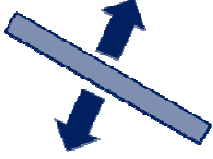


Legenda: a) Rosetas das direções de mínimo e máximo esforços atuantes durante a colocação dos diques da noroeste da Namíbia indicando a intrusão de três gerações de diques durante o Eocretáceo

Fonte: O autor, 2017

O primeiro evento (t1) resultou na intrusão dos diques da orientação NNW-SSE associado à distensão ENE-WSW (65-245°). O segundo evento (t2) é associado a um extensão NW-SE (315-135°), que resultou na intrusão de diques de orientação ENE-WSW, com uma componente direcional sinistral, comum no litoral. O último evento intrusivo é representado por diques de orientação N90W a N45W devido à distensão NNE-SSW (25-205°). Este diques mostram um componente direcional dextral ou sinistral dependendo da sua orientação.

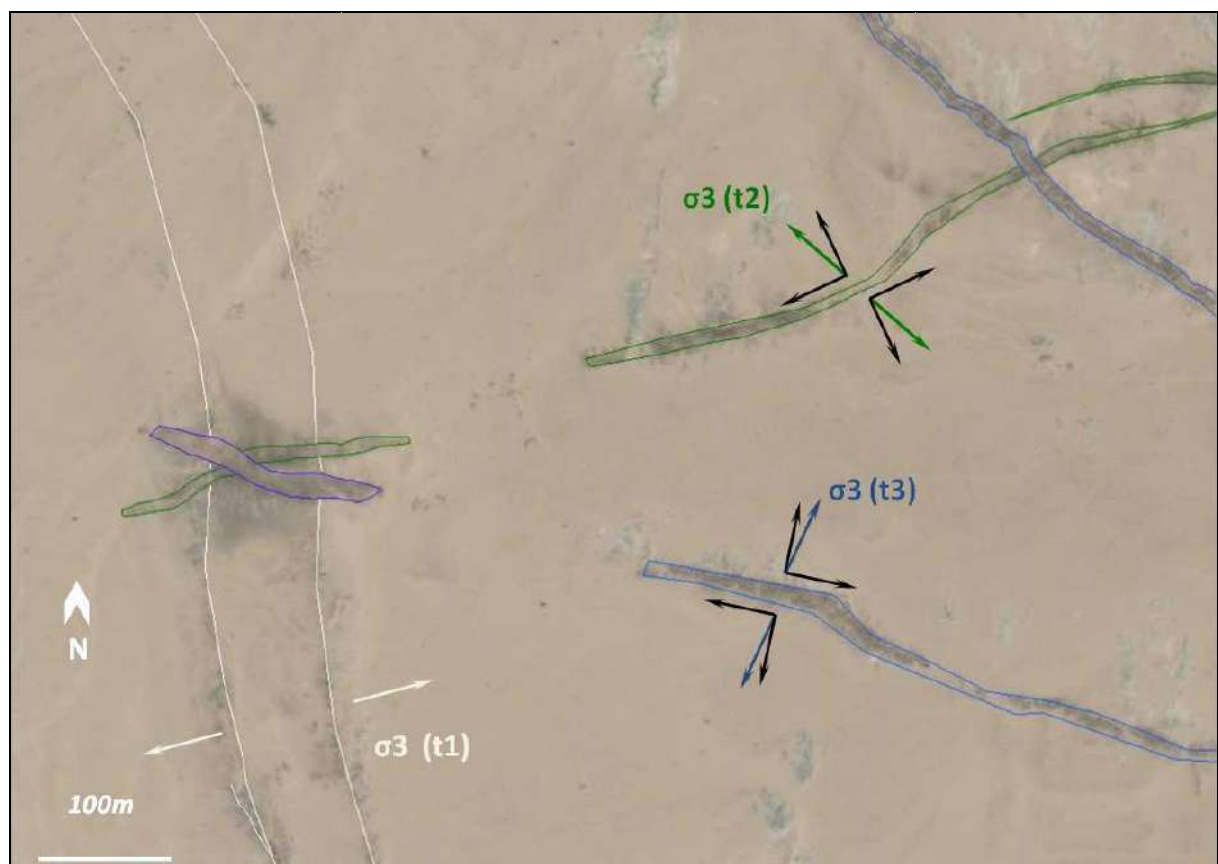
Tabela 8 - Eventos distensivos associado ao intrusão de diques no NW da Namíbia

Evento	Orient.	Cinem.	Sigma-3	Litotipos	Grupo Geoquim.	No.
1 	N15W	Normal	ENE-WSW (75-255)	Dacitos, Basaltos a Andesitos Basálticos	2a, 5a	15
2 	N70E- N85E	Sinistral	NW-SE (315- 315)	Basaltos a Andesitos Basálticos	5b	5
3 	N80W- N45W	Dextral - Sinistral	NNE-SSW (25-205)		5a, 5b	8

Legenda: Comparação dos três eventos distensivos e a três gerações de diques associados três eventos distensivos no noroeste da Namíbia durante o Eocretáceo

Fonte: O autor, 2017.

Figura 39 – Imagem de satélite mostrando três gerações de diques cortando granitos na região de Mowe Bay



Legenda: Três gerações de diques cortando o granito pan-africano de Mowe Bay e parcialmente coberto por sedimentos quaternários ~20 km SE do Mowe Bay (19°23'42.00"S, 12°43'49.84" E).

Fonte: O autor, 2017

7 DISCUSSÕES

Este capítulo discute as correlações entre os exames e derrames da Província Etendeka em termos da distribuição geográfica e características geoquímicas. Além disso, seria discutido a correlação do enxame de diques da Costa do Esqueleto (*Skeleton Coast Dyke Swarm* - SCDS) exame de diques do Florianópolis, e as implicações tectônicas desta correlação na quebra do Gondwana Ocidental.

7.1 Correlação entre os enxames de diques e os derrames da Província Etendeka

As rochas vulcânicas de Etendeka são bem estudadas, havendo muitos trabalhos publicados sobre a variação geoquímica e petrográfica entre as diferentes unidades do grupo Etendeka, que inclui derrames de basaltos toleíticos e de quartzo-latitos. A classificação dos tipos de magmas básicos e ácidos e a distribuição espacial destes magmas são importantes para o entendimento da história eruptiva e para a evolução petrogenética de uma grande província ígnea (LIP). Marsh et al. (2001) consolidaram o trabalho anterior de Erlank et al. (1984), definiu oito tipos de magma básicos, e dezessete tipos de magmas ácidos, na província Etendeka.

Esta classificação foi possível através da comparação das características geoquímicas e petrográficas de mais de mil amostras de rochas vulcânicas da província. Os magmas máficos incluem um tipo de alto Ti ($\text{TiO}_2 > 2.2\%$ e $\text{Sr} > 450\text{ppm}$), o tipo Khumib, e sete tipos de magma de baixo Ti: Tafelberg, Kuidas, Horingbaai, Huab, Tafelkop, Albin e Esmeralda. As características dos magmas do tipo Khumib, Tafelberg, Esmeralda, Horingbaai seriam discutidos em mais detalhe aqui.

O tipo Khumib prevalece no norte da província Etendeka e é considerado equivalente ao tipo Urubici do sul de província do Paraná (Marsh et al., 2001; Peate, 1997). O tipo Tafelbeg, correlato do tipo Gramado, é o magma mais dominante da Província Etendeka (Marsh et al., 2001), enquanto que o tipo Esmeralda, que ocorre nos dois lados do Atlântico, é considerado o resultado da mistura de um magma do tipo Gramado/Tafelberg com um magma de fonte astenosférica (Peate & Hawkesworth, 1996) - Tabela 9. Por mostrar características geoquímicas e isotópicas parecidas com MORB, uma fonte astenosférica é também sugerida

para o magma de tipo Horingbaai (Erlank et al., 1984; Ewart et al., 2004; Marsh et al., 2001). As rochas do tipo Horingbaai tem olivina normativa e ocorrem apenas como rochas intrusivas (diques e soleiras), tanto no embasamento neoproterozoico como em sedimentos da sequência Karoo e em derrames do grupo Etendeka (Marsh et al., 2001). Até agora, não foi reconhecido rochas intrusivos do tipo Horingbaai na Província Paraná.

Tabela 9 - Características dos principais tipos de magmas básicos da Província Etendeka

Província	Etendeka	Paraná	Mg# ^{1,2}	TiO ₂ %	Sr	Zr/Y ²	Ti/Zr ²
Alto-Ti	Khumib	Urubici	29 - 63	> 2,2%	> 450 ppm	4,9 - 9,8	47 - 82
Baixo Ti	Tafelberg	Gramado	26 - 65	< 2,2%	< 450 ppm	2,6 - 7,1	33 - 91
	Esmeralda	Esmeralda	26 - 46			2,8 - 4,4	57 - 162
	Horingbaai	-	37 - 77			2,8 - 5,4	57 - 128

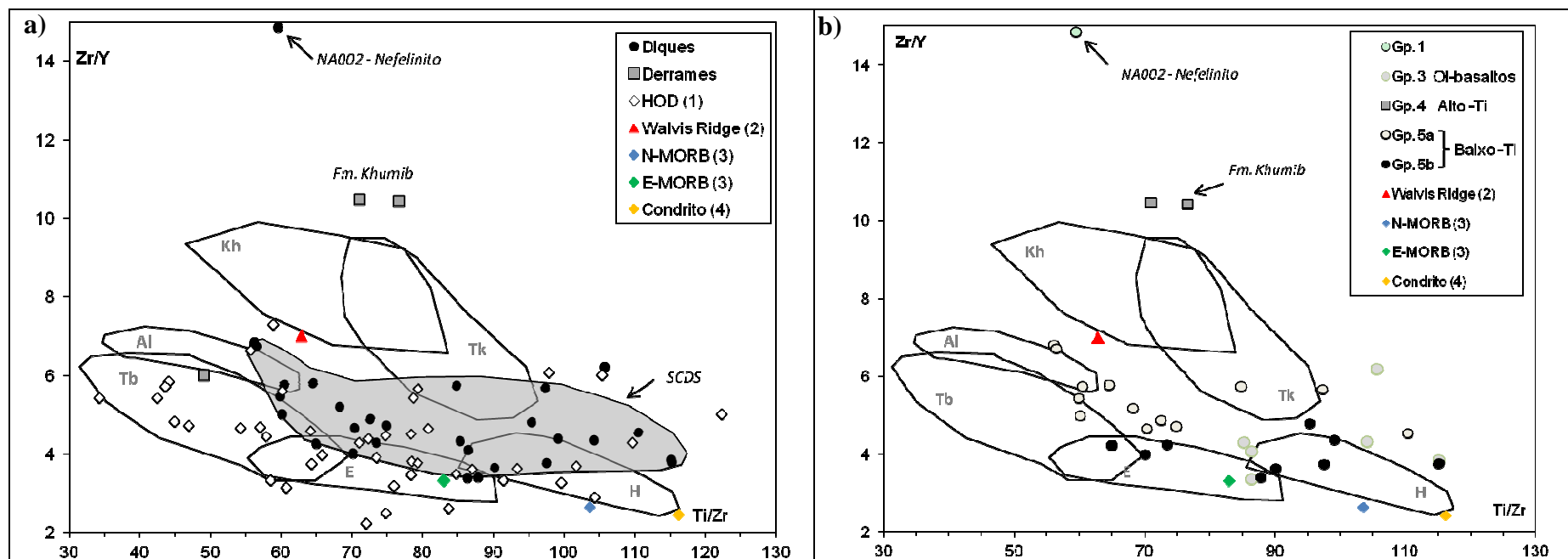
Legenda: Algumas características dos principais tipos de magmas básicos da Província Etendeka e seus correlatos na Província Paraná.

Nota: 1) Número de Magnésio: $Mg\# = 100 \times [MgO \text{ mol}\% / (FeO \text{ mol}\% + MgO)]$; 2) Valores da Província Etendeka baseados em dados publicados por Ewart et al. (1998, 2004), Jerram et al. (1999), Marsh et al. (2001), Marsh & Milner (2007), Thompson et al. (2001), Trumbull et al. (2007)

Fonte: O autor, 2017.

Apesar do reconhecimento de prevalência de diques máficos na província Etendeka, estudos anteriores das características geoquímicas e petrogenéticas destes diques são limitados, e em geral focaram na porção sul da província (e.g. Ewart et al., 1984; Duncan et al., 1990; Marsh et al., 1991; Thompson et al., 2001). Erlank et al., (1984) propuseram o termo 'doleritos regionais' para intrusivas máficos (diques e soleiras), com composições semelhantes os derrames do tipo Tafelberg, porém, eles contêm olivina e tendem a ter concentrações mais elevadas de MgO. Marsh et al. (2001) mantiveram esta denominação porque, apesar da identificação de diques com características geoquímicas parecidas aos dos tipos Horingbaai, Khumib e Esmeralda, um grande número de diques mostram as características apontadas por Erlank et al. (1984). Na sua caracterização do enxame de diques de *Henties Bay - Outjo* (HOD), Trumbull et al. (2004), julgaram que o melhor diagrama discriminatório dos tipos de magma máficos da Província Etendeka, é aquele que compara as razões de Zr/Y e Ti/Zr (Figura 40). A vantagem deste diagrama é que ele é baseado em elementos incompatíveis de alta força de campo (HFSE), sendo que estes elementos não são afetados pela acumulação de olivina ou por alteração fraca.

Figura 40 – Razões de Zr/Y e Ti/Zr dos diques e derrames máficos amostrados neste estudo e os diques do enxame de Henties Bay-Outjo (HOD)



Legenda: Comparação das razões de Zr/Y e Ti/Zr de: a) Diques do HOD (1. Trumbull et al., 2004 & 2007), os diques e derrames máficos amostrados neste estudo com os campos de composição dos magmas máficos da província Etendeka (Tb - Tafelberg, Kh - Khumib, Al - Albin, Tk - Tafelkop, E - Esmeralda; H- Horingbaai); b) Os grupos geoquímicos das rochas máficas amostradas neste estudo.

Note: 2. Walvis Ridge - Hoernel et al. (2015); 3. N-MORB e E-MORB - Sun & McDonough (1989); 4. Condrito - McDonough & Sun (1995).

Fonte: Modificado de Trumbull et al. (2004).

Trumbull et al. (2004, 2007) identificam pelo menos três tipos de magma entre os diques do HOD: 1) qtz- e ol-toleítos do tipo Tafelberg; 2) ol-normativa tipo Horingbaai; e 3) magma alcalino com ne-normativo. Pode ser observado na Figura 40, que alguns diques da série basáltica ($(\text{SiO}_2 > 60\%)$), do Erlank et al (1984), do SCDS e do HOD mostram afinidades geoquímicas com as rochas extrusivas de Etendeka (tipos Tafelberg e Esmeralda) e com os diques e soleiras do tipo-Horingbaai. Porém, a composição de outros diques ocorre fora dos campos de composição dos tipos de magma da Província Etendeka definidos por Marsh et al. (2001).

Comparando a composição dos diques do HOD com os basaltos do Grupo Etendeka, Trumbull et al., (2004) concluíram que a variação composicional dos diques é pequena e que eles provavelmente representam os diques alimentadores de derrames erodidos. No entanto, os mesmo autores e outros (e.g. Ewart et al., 1984; Thompson et al., 2001), observaram que alguns diques cortam os derrames eocretácicos e estão associados a rochas dos complexos intrusivos de Damaraland. Além disso, vale ressaltar que no seu local tipo, os diques e soleiras do tipo-Horingbaai são intrusivos nos derrames do tipo Albin e Tafelberg, e apresentam ^{40}Ar - ^{39}Ar idades entre 125-130 Ma (Ewart et al., 1984).

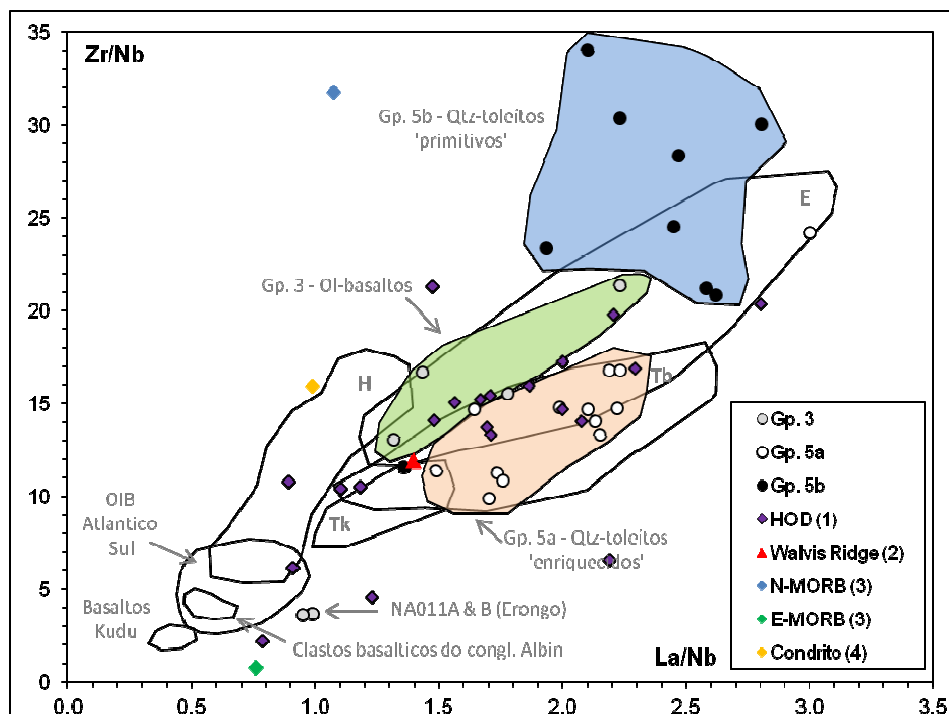
Como discutido na seção 6.2 desta dissertação, três gerações de diques foram identificadas na área de estudo. Baseado nas relações de corte, os diques de direção NNW-SSE são os mais velhos. Estes diques são quartzo-toleítos e a maioria mostra enriquecimento de LREE como razões de $(\text{La}/\text{Yb})_{\text{N}}$ entre 3,43 e 6,56 (Grupo 5a) com afinidades geoquímicas com os basaltos do tipo Tafelberg e Esmeralda (Figura 40b). Alguns diques desta orientação (N15W) foram observados cortando derrames do grupo Etendeka. Estes diques são subparalelos às falhas normais que definem o domínio estrutural litorâneo de Marsh et al. (2001), onde falhas pouco espaçadas cortam e basculam as unidades vulcânicas do Grupo Etendeka.

Os diques da segunda geração são de orientação ENE-WSW, cortam os diques de orientação NNW-SSE e são quartzo-toleítos com razões de $(\text{La}/\text{Yb})_{\text{N}}$ menor que 3,4 e com características geoquímicas parecidas as rochas do tipo-Horingbaai (Figura 40b). Observa-se que no diagrama que compara as razões de Zr/Y vs. Ti/Zr, as composições de N-MORB e E-MORB são plotadas perto do campo de composições das rochas do tipo-Horingbaai (Figura 37). Alguns autores (e.g. Ewart et al, 1984; Duncan et al., 1990; Marsh et al., 2001) sugerem que o magma do tipo-Horingbaai resultou da fusão de uma fonte astenosférica empobrecida durante um estágio tardio da quebra do Gondwana.

A Figura 41 apresenta comparações das razões Zr/Nb e La/Nb de diques 'basálticos' amostrados no presente estudo; diques do enxame de *Henties Bay-Outjo* (HOD - Trumbull et al., 2004 e 2007); os basaltos Kudu da bacia marginal de Orange do sudoeste da Namíbia (Jerram et al., 2015); clastos basálticos do conglomerado sin-vulcânico do Albin (Jerram et al., 2015); e os campos de composição dos tipos de magma da Província Etendeka. Observe que, apesar da superposição dos campos de composição dos basaltos de Etendeka, é evidente que a maioria dos diques do HOD e do SCDS mostram semelhanças com basaltos do tipo Tafelberg e Esmeralda ou com as rochas intrusivas do tipo Horingbaai (Figura 41).

Observe-se ainda que tantos os basaltos Kudu como os clastos basálticos do conglomerado Albin, plotam perto da composição do E-MORB. As duas amostras (NA0110A e 110B) do dique olivina-toleíta (Grupo 3) no complexo intrusivo do Erongo também mostram composições semelhantes E-MORB (Figura 41). Relembrando que a maioria dos diques do Grupo 5a mostra afinidades com os basaltos do tipo-Tafelberg, enquanto os diques do Grupo 5b mostram uma maior diversidade em composição, além de uma afinidade com o magma de tipo-Esmeralda (Figura 41).

Figura 41 – Razões de Zr/Nb e La/Nb dos diques 'basálticos' amostrados e os diques do HOD



Legenda: Comparação das razões de Zr/Nb e La/Nb dos diques do HOD (1. Trumbull et al., 2004 & 2007), os diques 'basálticos' amostrados neste estudo, e os campos de composição dos magmas máficos da província Etendeka; (Tb - Tafelberg, Al - Albin, Tk - Tafelkop, E - Esmeralda; H- Horingbaai)

Note: 2. Walvis Ridge - Hoernel et al., 2015; 3. N-MORB e E-MORB - Sun & McDonough, 1989; 4. Condrito - McDonough & Sun, 1995.

Fonte: Modificado de Jerram et al. (2015).

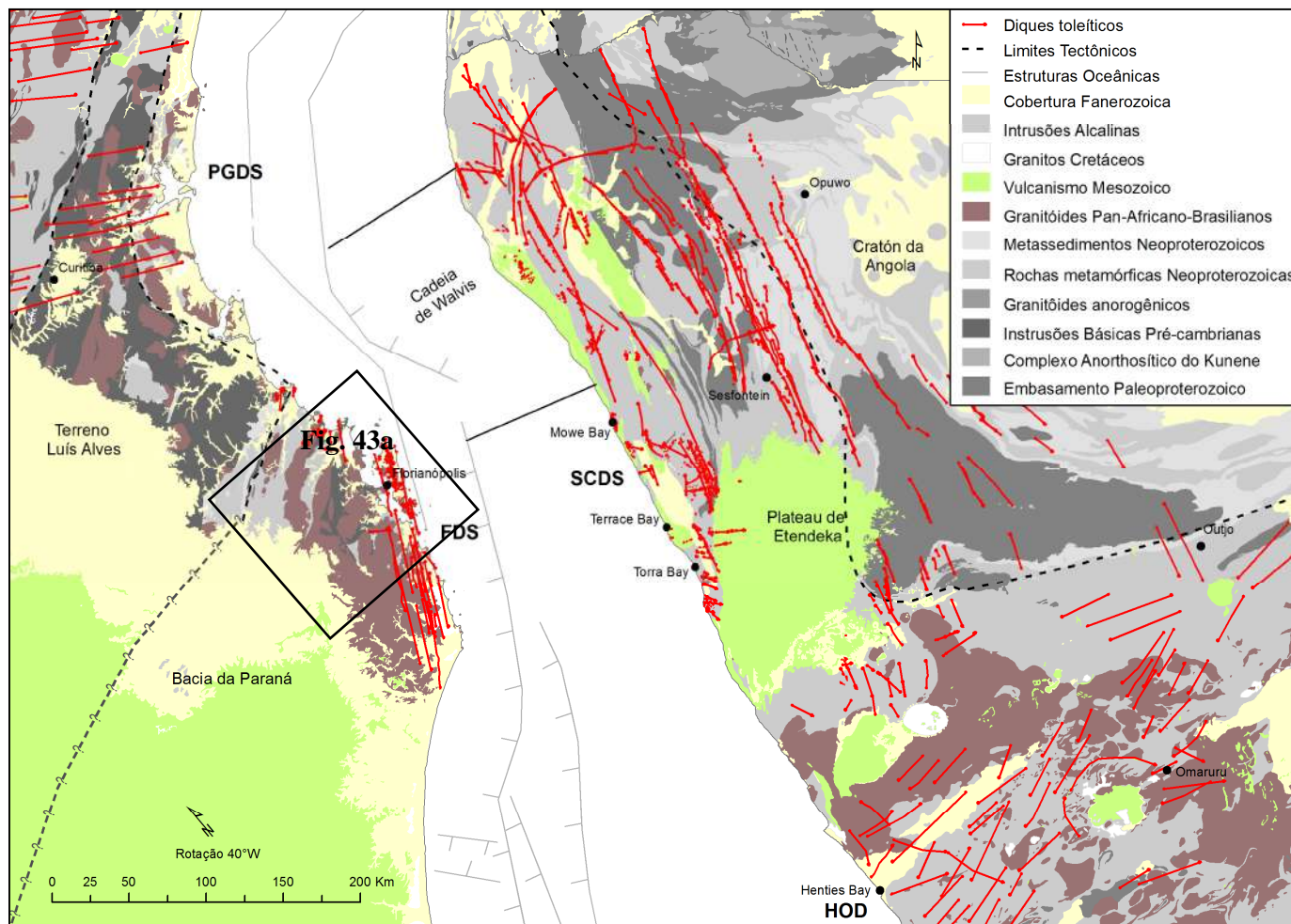
7.2 Correlação do SCDS com o enxame de diques de Florianópolis (FDS)

A distribuição das rochas magmáticas na província Paraná-Etendeka é assimétrica em relação ao rifte Atlântico (Turner et al., 1994). A atual extensão da sequência vulcânica do Paraná cobre uma área de $1,2 \times 10^6 \text{ km}^2$ com uma espessura preservada de até 1.700 m (Melfi et al., 1988; Peate et al., 1990; Peate, 1997). A sequência Etendeka apresenta uma espessura máxima de 900m e uma extensão areal de aproximadamente 78.000 km^2 (Ewart et. al., 2004). Esta diferença em volume e extensão areal é atribuída à variação entre as taxas de denudação pós-quebra Gondwana e abertura do Atlântico sul, no noroeste da Namíbia e no sudeste do Brasil (Brown et al., 2004; Cox, 1989; Raab et al., 2002; Trumbull et al., 2004). Brown et al., (2004) estimaram que até 4,5 km de material, incluindo cerca de 1,0 km da Sequência Etendeka, foi erodido da região costeira NW da Namíbia, mas apenas 1,5km foi erodido da sucessão vulcano-sedimentar e do embasamento cristalino no interior. No sul-sudeste do Brasil a denudação também foi concentrada no litoral, com mais de 3 km de erosão, contrastando com menos de 1km de erosão no interior (Gallagher et al., 1994, Gallagher & Brown, 1999). Porém a falta de preservação da sequência vulcânica na Namíbia não explicaria o grande volume de quartzo-latitos na sequência Etendeka, representando quase 50% do volume preservado (Ewart et. al., 2004), em contraste com os derrames riolíticos do Paraná que constitui apenas 3% do volume total eruptivo (Bellieni et al., 1984, 1986).

A reconstrução tectônica apresentada nas Figuras 9 & 42 demonstra a correlação entre os dois enxames (FDS e SCDS) das margens conjugadas do Atlântico Sul. Observe que, nesta reconstrução, é assumido que o continente africano permaneceu fixo durante a abertura do Atlântico, com uma rotação de 40°W do America do Sul no sentido anti-horário. Pode-se ainda observar que o prolongamento ao oeste do enxame de diques de Ponta Grossa aponta para o início da Cadeia Walvis na latitude 18°S . Esta cadeia começa na margem continental do noroeste da Namíbia ao sul da foz do Rio Cunene que demarca a fronteira com Angola.

Vale ressaltar que alguns autores (e.g. Jerram et al., 1999; Ryberg et al., 2015) sugeriram que a cabeça da pluma de Tristão da Cunha atingiu a base da litosfera nesta região durante o Eocretáceo. Esta hipótese é suportada pela identificação de uma zona de alta velocidade na crosta inferior (*High-velocity lower crustal body* - HVLC), por dados de sísmica de refração e de reflexão na região da continuação continente adentro da cadeia de Walvis (Ryberg et al., 2015). Esses autores interpretam que a HVLC representa a intrusão ou *underplating* da crosta inferior por rochas máficas a ultramáficas.

Figura 42 – Detalhe da reconstrução tectônica de parte do Gondwana Ocidental



Legenda: Detalhe da reconstrução de parte do Gondwana Ocidental antes de sua quebra com justaposição da geologia do SSE do Brasil e NW da Namíbia, observe a posição do início da cadeia de Walvis, e a correlação entre o enxame de diques de Florianópolis (FDS) e do *Skeleton Coast*.

Nota: Enxames de diques: Ponta Grossa-Guapiara (PGDS), *Henties Bay-Ourjo* (HOD). O retângulo preto mostra a localização da Figura 39a.

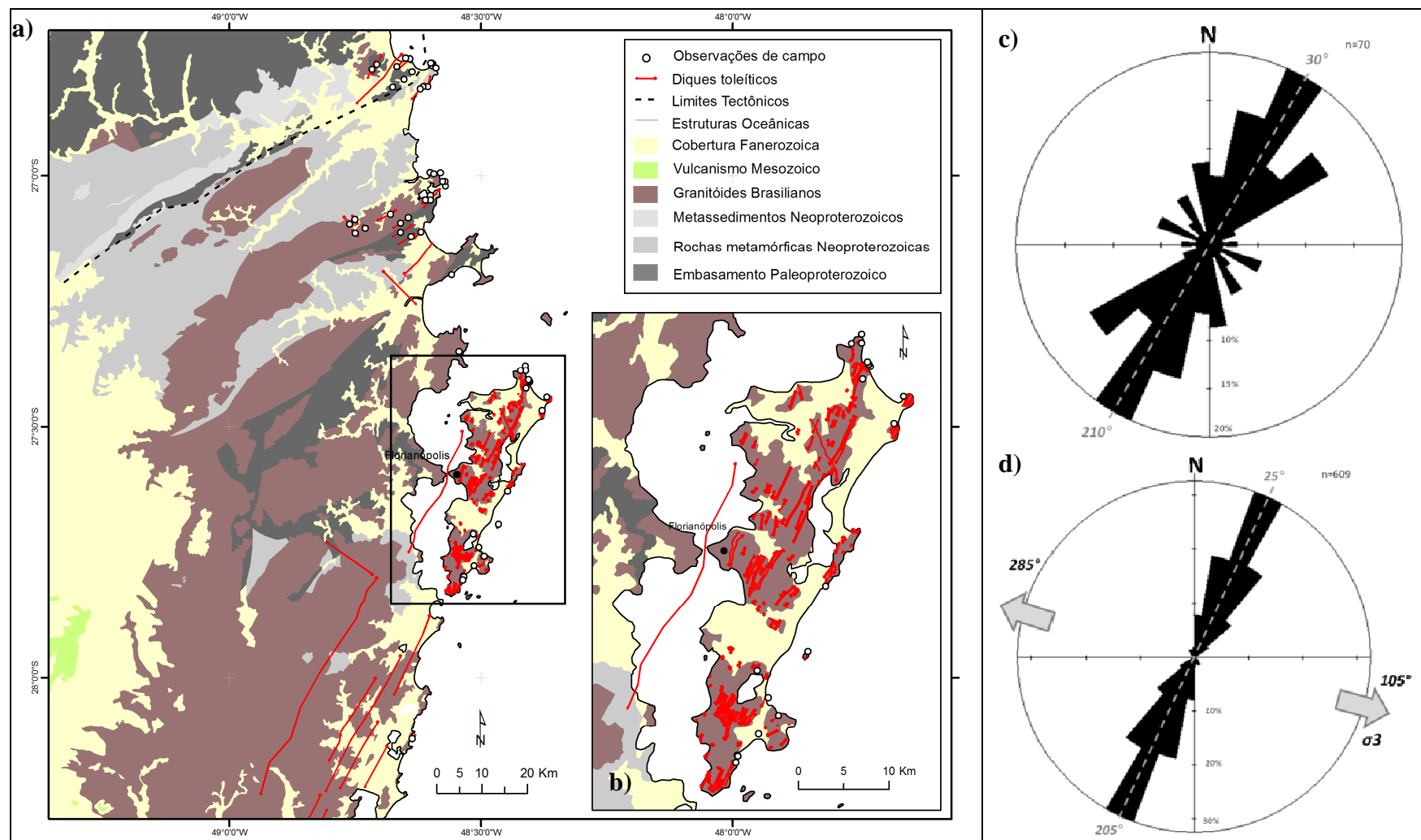
Fonte: O autor, 2017

Quando comparamos a largura dos exames; verificamos que existe um grande contraste na distribuição entre eles. Os diques do FDS são restritos a uma faixa ao longo ao litoral do sul de Santa Catarina com menos de 50km de largura, enquanto os diques do SCDS são encontrados até 250km do litoral do NW Namíbia (Figura 42). No seu estudo dos campos de esforços contrastantes das margens conjugadas do Atlântico Sul, Salomon et al. (2015), não identificou falhas extensionais relacionados à abertura do Atlântico Sul na região sudeste Brasil, em contraste com o grande número de estruturas identificadas na região noroeste da Namíbia. Estes autores sugeriram que, nesta região do Brasil, as falhas extensionais se desenvolveram apenas em uma faixa entre a linha de costa presente e o Limite Continente-Oceano (COB) durante a abertura do Atlântico sul, semelhante a ocorrência dos diques do FDS (Figuras 42 & 43). Este conjunto de observações sugerem que a extensão inicial foi concentrada no lado Namibiano de um rifte assimétrico.

Os diques do FDS são melhor expostos na Ilha de Santa Catarina e foram mapeados em detalhe por Tomazzoli & Pellerin (2008), Figura 43b. O significado tectônico deste exame foi estudado em detalhe pelo Grupo de Pesquisa em Geotectônica como parte do Projeto "Rifte Santos" da carteira PROFEX-Petrobras realizado em convênio com a Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ). Uma parte dos resultados deste projeto foi publicada por Almeida et al. (2013). Rosetas das direções dos diques do FDS são apresentadas na Figura 43c & d. A primeira roseta apresenta medidas de campo do Projeto Rifte Santos, enquanto a outra roseta (Figura 40d) apresenta as direções dos segmentos retos dos diques mapeados, extraídos no ArcGIS usando a metodologia descrita em seção 2.2 desta dissertação.

A principal direção dos diques do FDS é NNE-SSW (N25E), porém, ocorrem diques de outras direções (e.g. NE-SW) conforme apresentado na roseta da Figura 43c. Feições assimétricas como diques escalonados e pontes entre segmentos (Figura 44a) foram usados para determinar as direções de esforços máximo (σ_{Hmax}) e mínimo (σ_3) atuantes durante o alojamento dos diques do FDS (Figura 44b). A principal direção de distensão destes diques foi WNW-ESE (N55W - S75E), ou seja, subperpendicular aos diques de orientação N25E. Entretanto existe diques de orientação NE-SW (N55E) que foram intrudidos sob distensão NW-SE (N35W-S25E) e cortam os diques anteriores de orientação N25E, indicando mais de uma geração de diques no FDS.

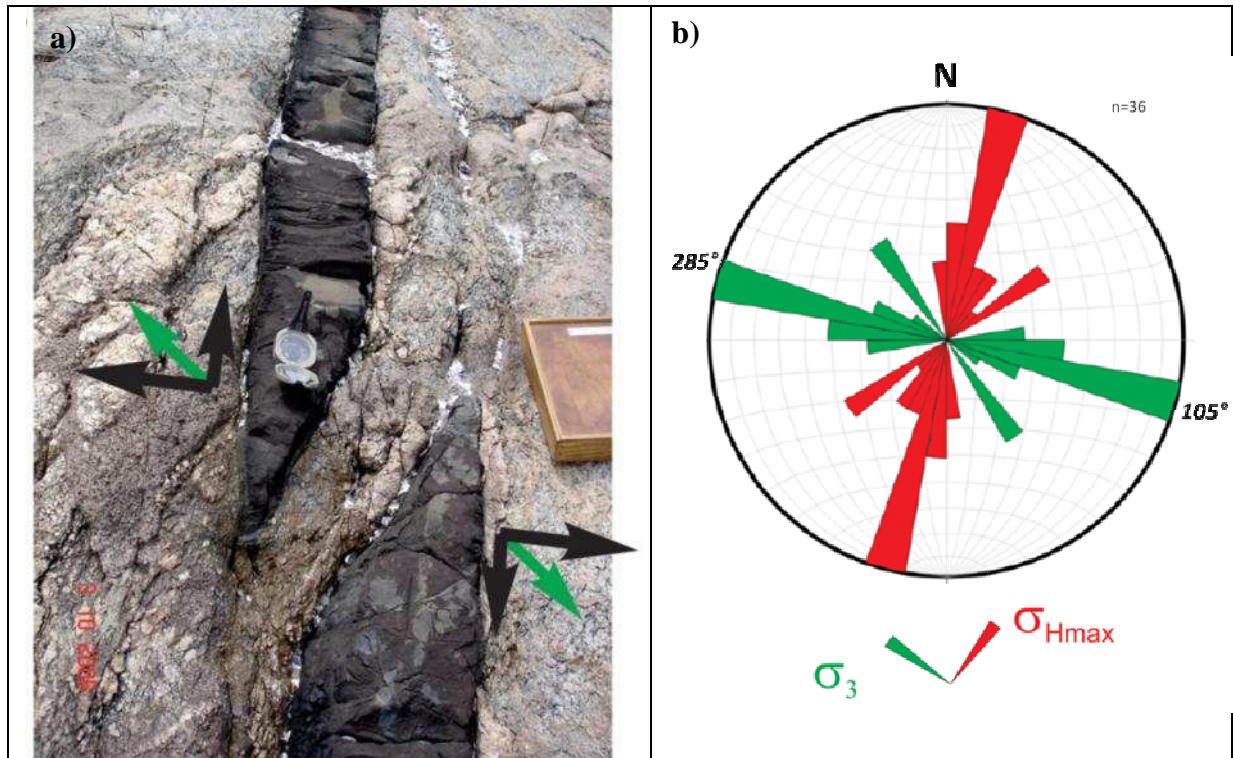
Figura 43 – Mapa geológico simplificado do sudeste de Santa Catarina e rosetas de direções dos diques do FDS



Legenda: a) Mapa simplificado do sudeste de Santa Catarina, destacando os diques do FDS; b) Detalhe da Ilha de Santa Catarina. Rosetas das direções dos diques do FDS baseados em: c) Observações/medidas de campo (n=70, interv. de 12°, freq. máx. 20% 14 diques); d) segmentos retos de diques mapeados e suas direções extraídas no ArcGIS (n=609, interv. de 10°, freq. máx. 32,5% - 198 segmentos). Principal direção de distensão (σ_3) do FDS foi N55W - S75E.

Fonte: O autor, 2017, b) Modificado de Tomazzoli & Pellerin (2008)

Figura 44 – Ponte entre segmentos de um dique e uma roseta das direções de mínimo e máximo esforços dos diques do FDS



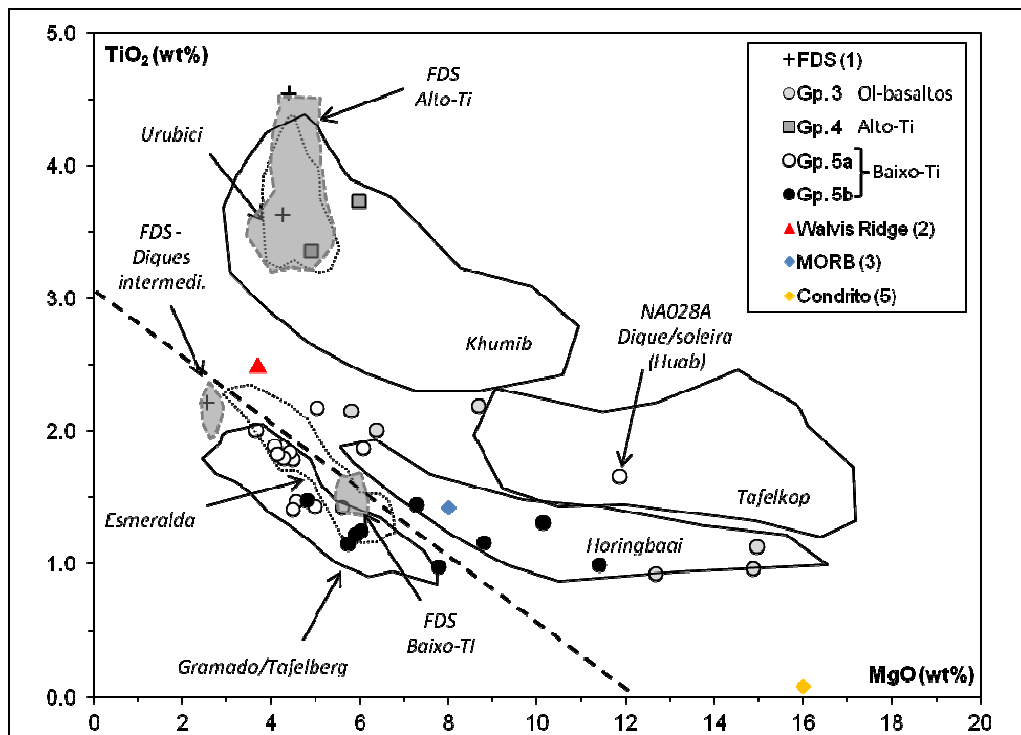
Legenda: a) Uma ponte entre dois segmentos pode ser usada como um indicador do campo de esforços, onde a direção de extensão máxima, (σ_3 - seta verde), é perpendicular às paredes da ponte entre os diques. A componente normal de extensão é perpendicular à direção dos segmentos enquanto a componente direcional de extensão é paralela ao dique (setas pretas); b) Rosetas das direções de esforços mínimo (σ_3) e máximo (σ_{Hmax}) no FDS (n= 36, intervalos de 10°, principal σ_3 - 285-105°, principal σ_{Hmax} - 15-195°).

Fonte: Modificado de Almeida et al., (2013)

Um estudo recente do Veronez & Tomazzoli, (2016) identificou pelo menos três gerações de diques do FDS na Ilha de Santa Catarina, que foram intrudidos no intervalo entre 139 a 119 Ma. A primeira geração é caracterizada pelos diques de direção NNE-SSW. Uma idade Ar-Ar de 139 Ma foi obtida em dique de gabbro de direção N30E com mais de 200 metros de largura (Veronez & Tomazzoli, 2016). Um dique de traquiandesito basáltico de direção NW-SE (50°) foi observado, cortando este dique gabroico, e apresentou uma idade Ar-Ar de 119 Ma (Veronez & Tomazzoli, 2016). Estas idades Ar-Ar variam das datações ID-TIMS U-Pb em badeleítas e zirções de Florisbal et al. (2014), que sugerem um intervalo restrito de 134.7±0.3 a 133.9±0.7 Ma, para intrusão dos diques do FDS. Porém, esta interpretação é baseada na datação de apenas três diques sendo dois diques basálticos de alto Ti-Sr e de direção NNW-SSW; e um outro dique de traquiandesito com a mesma direção.

Florisbal et al. (2014) apontaram que a maioria (~90%) dos diques basálticos do FDS são de alto Ti-Sr e interpretaram que estes diques representam os diques alimentadores dos derrames do tipo Urubici do S-SE do Brasil e os basaltos Khumib do NW da Namíbia, em função da semelhança de sua composição química (Figuras 45 & 46). Porém, os diques de outras orientações são em geral de baixo-Ti, cortam os diques de direção NNW e ainda não foram datados por esta metodologia. Vale ressaltar que apenas duas amostras do presente estudo apresentaram conteúdos altos de Ti. Estas amostras são de derrames da unidade Khumib, enquanto que o resto das amostras são de baixo-Ti, com alguns diques apresentando composições semelhantes os diques de baixo-Ti do FDS (Figuras 45 & 46).

Figura 45 – Conteúdo de TiO_2 e MgO dos diques do FDS e os diques e derrames 'basálticos' amostrados

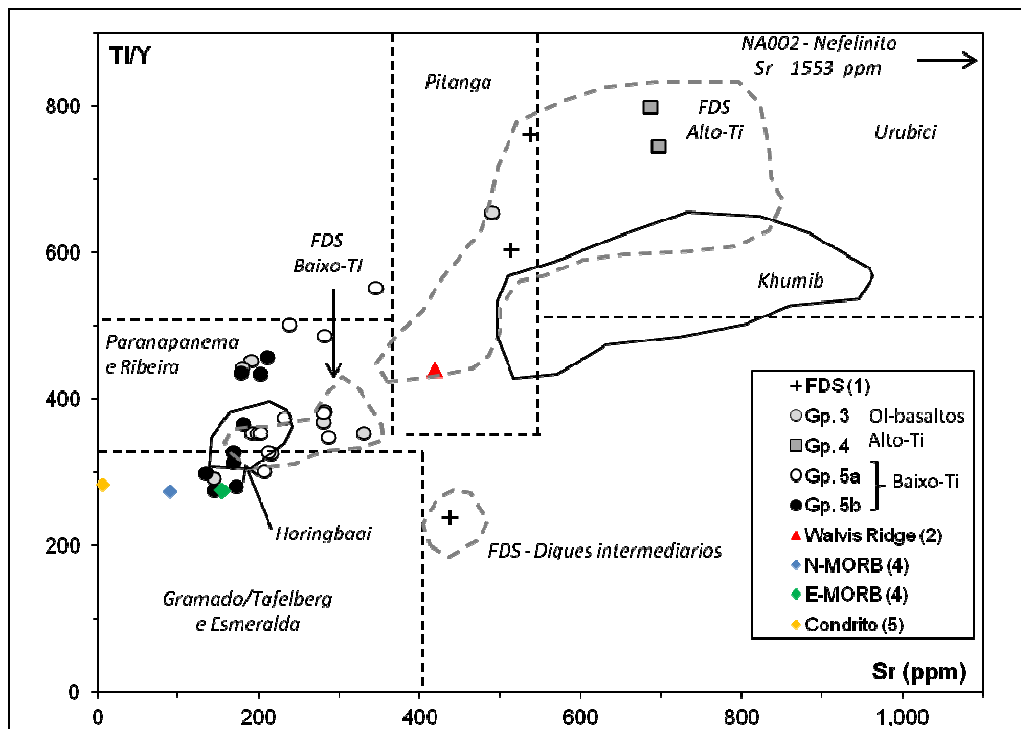


Legenda: Comparação do conteúdo de TiO_2 e MgO do FDS, e os diques e derrames 'basálticos' amostrados neste estudo com os campos de composição dos principais magmas máficos da província Paraná-Etendeka.

Note: 1. Composição dos três diques datados por Florisbal et. al., 2014; 2. Walvis Ridge - Hoernel et al., 2015; 3. MORB - McDonough, 1996; 4. N-MORB e E-MORB - Sun & McDonough, 1989; 5. Condrito - McDonough & Sun, 1995.

Fonte: Modificado de Florisbal et al., 2014.

Figura 46 – Razões de Ti/Y e conteúdo de Sr do diques do FDS e os diques e derrames 'basálticos' amostrados

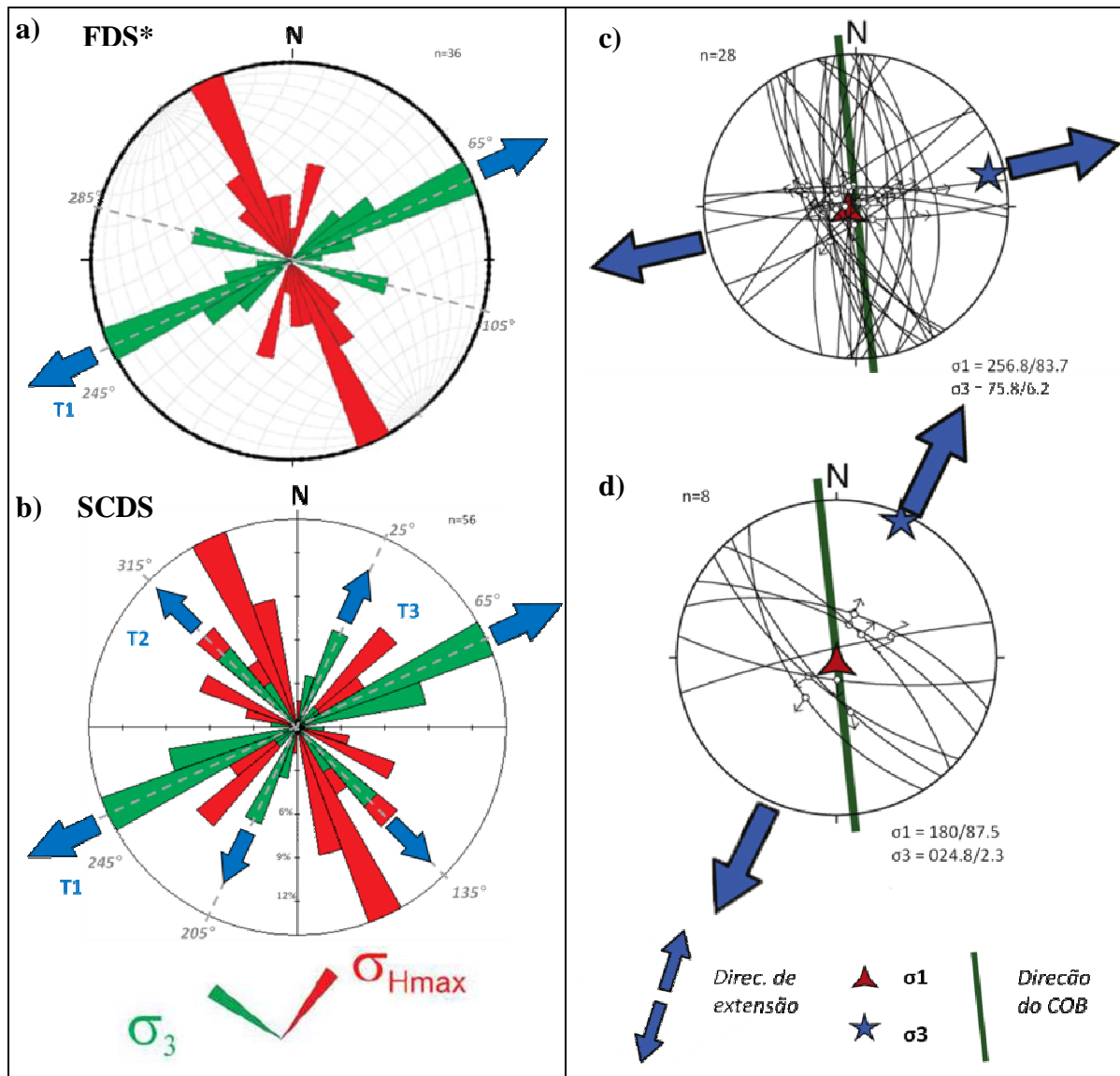


Legenda: Comparação das razões de Ti/Y e conteúdo de Sr (ppm) do FDS, e os diques e derrames 'basálticos' amostrados neste estudo, com os campos de composição dos principais magmas máficos da província Paraná-Etendeka. Obs. 1. Composição dos três diques datados por Florisbal et al., 2014; 2. Walvis Ridge - Hoernel et al., 2015; 3. MORB - McDonough, 1996; 4. N-MORB e E-MORB - Sun & McDonough, 1989; 5. Condrito - McDonough & Sun, 1995.

Fonte: Modificado de Florisbal et al., 2014.

Além do critério geoquímico, o SCDS e FDS podem ser correlacionados pelos dados estruturais, porém, é necessário que os dados do FDS sejam rotacionados 40° para ao oeste, restuarando as estruturas para suas orientações pré-quebra, em concordância com a reconstrução tectônica apresentada nas Figuras 9 e 43. Uma comparação dos campos de esforços do FDS e SCDS é apresentada na Figura 47, onde é possível observar que a direção principal de extensão do FDS, na sua posição pré-quebra, é comparável com a direção principal de extensão do SCDS. Esta observação corrobora a interpretação de que a maioria dos diques do FDS e SCDS foi intrudida sob o mesmo campo de esforços com σ_3 subhorizontal e de direção ENE-WSW (65-245°) durante o início da quebra do Gondwana. Este evento extensional também foi reconhecido por Salomon et al. (2015) na sua análise cinemática de falhas que cortam basaltos do Grupo Etendeka do noroeste da Namíbia (Figura 47c). Estes autores também identificaram outro evento extensional com σ_3 subhorizontal e de direção NNE (N25E), Figura 47d. Este direção é equivalente à direção de distensão durante o alojamento da terceira geração (t3) de diques identificados, pelo presente estudo, no noroeste da Namíbia (Figura 47b).

Figura 47 – Comparação dos campos de esforços do SCDS e FDS na sua posição pré-quebra com os eventos extensionais associados à abertura do Atlântico identificados no NW da Namíbia por Salomon et al. (2015).



Legenda: Campo de esforços atuantes na colocação dos diques de: a) FDS rotacionados 40W para sua posição pré-quebra; e b) SCDS, com as principais direções de extensão destacadas. c) Planos de falhas cortando basaltos do Grupo Etendeka no NW Namíbia relacionados à distensão: c) ENE-WSW (75-255°); e d) NNW-SSW (25-205°).

Fonte: a) Modificado de Almeida et al. 2013; b) O autor, 2017; c) e d) Modificado de Salomon et al. 2015.

CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS

Dados aeromagnéticos de alta resolução permitiram o mapeamento de diques máficos intrusivo na faixa Kaoko do noroeste da Namíbia. Este mapeamento confirmou a existência de um importante enxame de diques com direção NNW-SSE, aqui caracterizado pela primeira vez e batizado de o Enxame de Diques da Costa do Esqueleto (*Skeleton Coast Dyke Swarm - SCDS*). Os diques deste enxame são encontrados desde o litoral até 250km no interior do continente, e o enxame mostra uma extensão de mais de 2000km, com uma provável prolongamento até Angola.

Foram reconhecidos três direções de diques: 1) diques de orientação NNW-SEE; 2) diques de orientação ENE-WSW; e 3) diques de orientação WNW a NW. A primeira família de diques é predominante e ocorre até 250km continente adentro e são subparalelos as estruturas da Faixa Kaoko. Com base nas observações de campo, estas estruturas exerceram um controle importante na orientação dos diques no núcleo orogênico da faixa onde as estruturas pan-africanas estão subverticais.

As análises litogeoquímicas de 31 amostram indicaram que a maior parte dos diques são basaltos e andesitos basálticos de baixo-Ti, sendo representados por quartzo-toleítos. Apenas duas amostras foram coletados de basaltos de Alto-Ti, sendo de dois derrames da Formação Khumib. Um dique de nefelinito, dois diques de dacito e cinco de olivina toleítos também foram amostrados. O dique de nefelinito e os de olivina toleítos foram encontrados no sul da área de estudos, na região sob a influência das estruturas da Faixa Damara e/ou associados aos complexos intrusivos da Damaraland.

A composição dos quartzo-toleítos variam de basaltos a andesitos basálticos, que são frequentemente, porfiríticos, com fenocristais de plagioclásio e, às vezes, de piroxênio, presente como glômeros, formando a denominada textura glomerofírica, numa matriz fina intergranular. Esta textura e a presença de cristais de plagioclásio com zonamento múltiplo é indicativo de cristalização fracionada numa câmara magmática, antes da intrusão dos diques.

Os quartzo-toleítos foram subdivididos em dois subgrupos com base no padrão de REE, sendo um grupo mostrando um maior enriquecimento em LREE relativo aos HRRE, com razões $(La/Yb)_N$ que variam entre 3,43 e 6,46. Diques desta composição são de orientação NNW, e mostram afinidades geoquímicas com o magma do tipo-Talfberg. Em contraste os diques de orientação ENE-WSW, apresentam pouco enriquecimento em LREE com razões de

(La/Yb)_N < 3,4, padrões de REE semelhantes aos E-MORB, e composições comparáveis com magmas dos tipos-Horingbaai e Esmeralda.

Dados estruturais e observações de campo indicaram que os diques NNW foram intrudidos sob distensão normal com sigma-3 subhorizontal e de orientação ENE-WSW (N65E - S65W), que provavelmente, representa o campo de esforços atuante durante a fase inicial da quebra do Gondwana. Estes diques são cortados pelos diques de orientação ENE-WSW, que ocorrem com mais frequência no litoral. Estes diques apresentam geometrias e feições assimétricas indicativas de uma componente direcional sinistral associado à extensão NW-SE (315-135°). Diques de orientação N80W a N45W também foram mapeados, mas são menos comuns que os dois conjuntos de direções acima mencionados. Estes diques também mostram feições assimétricas, porém, elas indicam uma componente direcional dextral or sinistral, dependendo da sua orientação, relacionado distensão NNE-SSW (25-205°).

Os campos de esforços do primeiro (ENE-WSW) e terceiro (NNE-SSW) eventos distensivos aqui identificados foram descritos num estudo recente sobre as falhas associadas à abertura do Atlântico Sul no NW da Namíbia (Salomon et al., 2015). Porém, o exato período de atuação destes campos de esforços não foi determinado. Os diques do SCDS registram pelo menos três eventos distensivos durante o Eocretáceo, é altamente recomendável que estes diques sejam datados pelos métodos Ar-Ar e ID-TIMS U-Pb em badeleíta/zircão pra obter datações mais precisas que as datações K-Ar publicadas anteriormente. Dados geoquímicos existentes dos diques deveriam ser compilados com atenção dada à orientação deles. Mais amostras deveriam ser analisadas inclusive quanto à litogeoquímica isotópica com o intuito de identificar as fontes mantélicas e litosféricas dos magmas geradores dos diques.

Reconstruções tectônicas mostram a correlação do SCDS com o FDS, onde a principal direção (NNW) do SCDS corresponde à direção dominante dos diques do FDS na sua posição pré-quebra. É interpretado que ambos registram extensão ENE-WSW durante a fase inicial da quebra do Gondwana. Múltiplas gerações de diques, que foram intrudidos num intervalo prolongado, são reconhecidas no FDS (Veronez & Tomazzoli, 2016). A segunda geração de diques do SCDS mostra afinidades geoquímicas com E-MORB sugerindo maior estiramento crustal que progressivamente evolui para o formação de crosta oceânica no início da abertura do Atlântico Sul.

Finalmente os resultados deste estudo tem importantes implicações tectônicas no contexto da quebra do Gondwana, abertura do Atlântico sul, e na formação e estruturação das bacias marginais do noroeste da Namíbia e do sul-sudeste do Brasil.

REFERÊNCIAS

Almeida, J, Dios, F., Webster, U.M., De Morisson Valeriano, C., Heilbron, M., Eirado, L.G, Tomazzoli, E, 2013, Pre-rift tectonic scenario of the Eo-Cretaceous Gondwana break-up along SE Brazil–SW Africa: insights from tholeiitic mafic dike swarms Geological Society, London, Special Publications, vol. 369, pp. 11-40

Almeida, J., Heilbron, M., Dios, F., McMaster, M., 2014, Architecture of West Gondwana prior to the South Atlantic opening in the Rio de Janeiro-Benguela transform zone. In: 4th Atlantic Conjugate Margins Conference, 2014, St. John's, NL, Canada. Abstracts Volume. St. John's: Nalcor Energy Oil & Gas Inc., 2014. v. 1. p. 13-15.

Allsopp, H.L., Bristow J.W., Logan, C.T., Eales, H.V. & Erlank, A.J., 1984, Rb-Sr geochronology of three Karoo-related intrusive complexes, In: Erlank, A.J. (ed) Petrogenesis of the Volcanic Rocks of the Karoo Province, Special Publications of the Geological Society of South Africa, Johannesburg, vol.13, pp.281-287.

Anderson, E., 1951, The Dynamics of Faulting and Dyke Formation With Applications to Britain, Oliver and Boyd, Edinburgh.

Bellieni, G., Brotzu, P., Comin-Chiaramonti, P., Ernesto, M., Melfi, A., Pacca, I. G. & Picirillo, E. M., 1984, Flood basalt to rhyolite suites in the southern Paraná Plateau (Brazil): palaeo-magnetism, petrogenesis and geodynamic implications, *Journal of Petrology*, vol. 25, pp. 579-618.

Bellieni, G., Comin-Chiaramonti, P., Marques, L. S., Melfi, A. J., Nardy, A. J. R., Papatrechas, C., Piccirillo, E. M., Roisenberg, A., & Stolfa, D., 1986, Petrogenetic aspects of acid and basaltic lavas from the Parana Plateau (Brazil): geological, mineralogical and petrochemical relationships, *Journal of Petrology* vol. 27, pp. 915-944.

Blaich, O.A., Faleide, J.I., Tsikalas, F., 2011, Crustal breakup and continent-ocean transition at South Atlantic conjugate margins, *Journal of Geophysical Research — Solid Earth*, vol. 116, no. 38.

Brown, R., Summerfield, M., Gleadow, A., Gallagher, K., Carter, A., Beucher, R., Wildman, M., 2014, Intracontinental deformation in southern Africa during the Late Cretaceous, *Journal of African Earth Sciences*, vol. 100, pp. 20–41

Carvalho, H. de, 1980, *Geologia de Angola folha no. 1 (Geological map of NW Angola) 1:1,000,000*, Laboratório Nacional de Investigação Científica Tropical (Centro de Geologia), Lisbon, Portugal

Carvalho, H. de, 1980, *Geologia de Angola folha no. 3 (Geological map of SW Angola) 1:1,000,000*, Laboratório Nacional de Investigação Científica Tropical (Centro de Geologia), Lisbon, Portugal

Chemale, F., Walraven, F., Hartmann, L.A., da Silva, L.C., Gresse, P.G., 1994, Pb/Pb zircon dating of the Dom Feliciano Belt, southern Brazil. In: Niall, M., McManus, C. (Eds.), *Proterozoic Crustal and Metallogenic Evolution. Abstracts of Geological Society and Geological Survey of Namibia 8*, Windhoek.

Clauer, N., Kröner, A., 1979. Strontium and argon isotopic homogenization of pelitic sediments during low-grade regional metamorphism: the Pan-African Upper Damara Sequence of northern Namibia. *Earth Planetary Science Letters*, vol.43, pp.117–131.

Clemson, J., Cartwright, J., Booth, J., 1997, Structural segmentation and the influence of basement structure on the Namibian passive margin, *Journal of the Geological Society of London*, vol.154, pp.477-482

Cordell, L., & Graunch, V.J.S., 1985, Mapping basement magnetization zones from aeromagnetic data in the San Juan Basin, New Mexico, In: Hinze, W.J., (ed), *The Utility of Regional Gravity and Magnetic Anomalies Maps*, Society of Exploration Geophysicists, p.181-197.

Correa-Gomes, L. C., Souza Filho, C. R., Martins, C. J. F. N., & Oliveira, E. P. (2001). Development of symmetrical and asymmetrical fabrics in sheet-like igneous bodies: the role of magma flow and wall-rock displacements in theoretical and natural cases. *Journal of Structural Geology*, vol. 23, no. 9, pp. 1415-1428

Corrêa Gomes, L.C., Tanner de Oliveira, M.A.F., Motta, A.C., & Moreira Cruz, M.J., 1996, Província de diques máficos do Estado da Bahia: Mapa, estágio atual do conhecimento e evolução temporal. SGM, Salvador, 144 pp.

Cox, K.G., 1989. The role of mantle plumes in the development of continental drainage patterns, *Nature*, vol. 342, pp. 873–877.

Cox, K.G., Bell, J.D & Pankhurst, R.J., 1979, *The interpretation of igneous rocks*. Alen & Unwin, London, 450 pp.

Delaney, P., Pollard, D., Ziony, J., McKee, E., 1986, Field relations between dikes and joints: emplacement processes and paleostress analysis, *J. Geophys. Res.*, vol. 91, pp. 4920–4938.

Dodd, S.C, Niocaill, C.M., Muxworthy, A.R., 2015, Long duration (>4 Ma) and steady-state volcanic activity in the early Cretaceous Paraná–Etendeka Large Igneous Province: New palaeomagnetic data from Namibia, *Earth and Planetary Science Letters*, vol.414, pp.16-29

Dürr S.B, Dingeldey D.P, 1996, The Kaoko Belt (Namibia): part of a late Neoproterozoic continental-scale strike-slip system. *Geology*, vol.24, pp.503–506

Duncan, A.R., Armstrong, R.A., Erlank, A.J., Marsh, J.S., Watkins, R.T., 1990. MORB-related dolerites associated with the final phases of Karoo flood basalt volcanism in southern Africa. In: Parker, J.A.J., Rickwood, P.C., Tucker, D.H. (Eds.), *Mafic Dykes and Emplacement Mechanisms*. A.A. Balkema, Rotterdam, pp. 119–129.

Erlank, A.J., Marsh, J.S., Duncan A.R., Miller R.M., Hawkesworth, C.J., Betton, P.J., Rex, D.C., 1984, Geochemistry and petrogenesis of Etendeka volcanic rocks from SWA/Namibia. In: Erlank AJ (ed) *Petrogenesis of volcanic rocks of the Karoo Province*. Geol Soc S Africa Spec. Publ., vol. 14, pp. 195-247

Ewart, A.J., Marsh, J.S., Duncan, A.R., Miller, R.M., Hawkesworth, C.J., Betton, P.J., Rex, D.C., 1984, Geochemistry and petrogenesis of the Etendeka volcanic rocks from SWA/

Namíbia. In: Erlank, A.J. (Ed.), *Petrogenesis of Volcanic Rocks of the Karoo Province*, Geological Society of South Africa Special Publication 13, Johannesburg, pp. 195–245.

Ewart, A., Marsh, J.S., Milner, S.C., Duncan, A.R., Kamber, B.S., & Armstrong, R.A., 2004, *Petrology and Geochemistry of Early Cretaceous Bimodal Continental Flood Volcanism of the NW Etendeka, Namibia. Part 1: Introduction, Mafic Lavas and Re-evaluation of Mantle Source Components*, *Journal of Petrology*, vol. 45, no. 1, pp. 59-105

Ewart, A., Milner, S.C., Armstrong, R.A. & Duncan A.R., 1998, *Etendeka volcanism of the Goboboseb mountains and Messum igneous complex, Namibia. Part I: Geochemical evidence of early Cretaceous Tristan Plume Melts and the role of crustal contamination in the Paraná–Etendeka CFB*, *Journal of Petrology*, vol.39, no.2, pp.191–225.

Fialko, Y., Rubin, A., 1999, *Thermal and mechanical aspects of magma emplacements in giant dike swarms*, *J. Geophys. Res.* 104, 23033–23049.

Florisbal, L.M, Heaman, L.M., de Assis Janasi, V., de Fatima Bitencourt M., 2014, *Tectonic significance of the Florianópolis Dyke Swarm, Paraná–Etendeka Magmatic Province: A reappraisal based on precise U–Pb dating*, *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, vol.289, pp.140-150.

Fontana, R.L., 1987, *Desenvolvimento termomecânico da Bacia de Pelotas e parte sul da plataforma de Florianópolis*, M.S. thesis, Univ. Federal de Ouro Preto, 128pp.

Fossen, H., 2016, *Structural Geology (2nd Ed)*, Cambridge University Press, Cambridge, 144 pp.

Franz, L., Romer, R.L., Dingeldey, D.P., 1999. *Diachronous Pan-African granulite-facies metamorphism (650Ma and 550 Ma) in the Kaoko belt, NW Namibia*. *Eur. J. Mineral.* vol. 11, pp. 167–180.

Gallagher, K., & Brown, R. 1999, *The Mesozoic denudation history of the Atlantic margins of southern Africa and southeast Brazil and the relationship to offshore sedimentation*, *Geological Society of London Special Publications*, vol. 153, pp. 41-53.

Gallagher K., Hawkesworth, C.J, Mantovani, M.S.M., 1994, The denudation history of the onshore continental margin of SE Brazil inferred from apatite fission track data, *Journal of Geophysical Research*, vol 99, no. B9, pp. 18117-18145

Gladchenko, T.P, Skogseid, J., & Eldhom, O., 1998, Namibia volcanic margin, *Marine Geophysical Researches* vol. 20, pp. 313–341.

Goscombe, B., & Gray, D.R., 2007, The Coastal Terrane of the Kaoko Belt, Namibia: Outboard arc-terrane and tectonic significance, *Precambrian Research*, vol. 155, pp. 139–158

Goscombe B.D, Gray D, 2008, Structure and strain variation at midcrustal levels in a transpressional orogen: a review of Kaoko Belt structure and the character of West Gondwana amalgamation, *Gondwana Research*, vol. 13, pp. 45–85

Goscombe, B., Hand, M., Gray, D.R., 2003a, Structure of the Kaoko Belt, Namibia: progressive evolution of a classic transpressional orogen, *Journal of Structural Geology*, vol. 25, pp. 1049-1081.

Goscombe, B., Hand, M., Gray, D.R., Mawby, J., 2003b, The metamorphic architecture of a transpressional orogen: the Kaoko Belt, Namibia, *Journal of Petrology*, vol. 44, pp. 679-711.

Goscombe, B., Gray, D.R., Hand, M., 2005a, Extrusional tectonics in the core of a transpressional orogen: the Kaoko Belt, Namibia, *Journal of Petrology*, vol. 46, pp. 1203-1241.

Goscombe, B., Gray, D.R., Armstrong, R.A., Hand, M., Mawby, J., 2005b, Event geochronology of the Pan-African Kaoko Belt, Namibia, *Precambrian Research*, vol. 140, 103.e1–103.e41.

Grant, F.S., & Dodds, J., 1972, MAGMAP FFT processing system development notes, Paterson Grant and Watson Limited.

Gray, D.R., Foster, D.A., Goscombe, B., Passchier, C.W., Trouw, R.A.J., 2006. $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ thermochronology of the Pan-African Damara Orogen, Namibia, with implications for tectonothermal and geodynamic evolution. *Precambrian Research*, vol. 150, pp. 49–72.

Gray, D.R., Foster, D.A., Meert, J.G., Goscombe, B.D., Armstrong, R., Trouw, R.A.J., Passchier, W.C., 2008, A Damara orogen perspective on the assembly of southwestern Gondwana, Geological Society, London, Special Publications, vol. 294, pp. 257-278.

Griffith, A.A., 1924, The theory of rupture, In Biezeno, C.B., & Burgers, J.M., (Eds.), First International congress on Applied Mechanics. Delft, J. Waltma, pp. 55-63.

Gudmundsson, A., 2002. Emplacement and arrest of sheets and dykes in central volcanoes. *J. Volcanol. Geotherm. Res.*, vol. 116, pp. 279–298.

Halls, H.C., 1982, The Importance and Potential of Mafic Dyke Swarms in the Studies of Geodynamics Processes. *Geosc. Canadá*, vol. 9, pp. 145-154.

Hart, S.R., Blusztajn, J., Dick, H.J.B., Meyer, P.S., & Muehlenbachs, 1999, The fingerprint of seawater circulation in a 500-meter section of ocean crust gabbros, *Geochimica et Cosmochimica Acta*, vol. 63, No. 23/24, pp. 4059–4080

Hawkesworth, C., Kelley, S., Turner, S., Le Roex, A., & Storey, B., 1999, Mantle processes during Gondwana break-up and dispersal, *Journal of African Earth Sciences*, vol. 28, no. 1, pp. 239-261.

Hoek, J.D., 1991, A classification of dyke-fracture geometry with examples from Precambrian dyke swarms in the Vestfold Hills, Antarctica. *Geol. Rundschau*, vol. 80, no. 2, pp. 233-248.

Hoernle, K., Rohde, J., Hauff, F., Garbe-Schönberg, D., Homrighausen, S., Werner, R., & Morgan, J.P., 2015, How and when plume zonation appeared during the 132 Myr evolution of the Tristan Hotspot, *Nature Communications*, vol. 6, no. 7799

Hoffman, P.F., Hawkins, D.P., Isachsen, C.E., Bowring, S.A., 1996. Precise U–Pb zircon ages for early Damaran magmatism in the Summas Mountains and Welwitschia Inlier, northern Damara belt, Namibia, *Communs Geological Survey Namibia* vol.11, pp.47–52

Hoffmann, K.-H., Condon, D.J., Bowring, S.A., Crowley, J.L., 2004, U–Pb zircon date from the Neoproterozoic Ghaub Formation, Namibia: constraints on Marinoan glaciation. *Geology*, vol.32, pp.817–820.

Hutchison C S, 1974, *Laboratory Handbook of Petrographic Techniques*. JohnWiley & Sons, New York, p. 1-527

Hutchison C S (1975) The norm, its variations, their calculation and relationships. *Schweiz Mineral Petrogr Mitt*, vol. 55: 243-256

Irvine, T.N., & Baragar, W.R, 1971, A guide to the chemical classification of common volcanic rocks, *Canadian Journal of Earth Sciens*, Vol. 8, pp.523-547

Janousek, V, Farrow, C.M., and Vojtech Erban, V., 2006, Interpretation of whole-rock geochemical data in igneous geochemistry: introducing Geochemical Data Toolkit (GCDkit), *Journal of Petrology*, vol. 47, no. 6, pp. 1255-1259.

Jerram, D., Grove, C., Waichel, B., 2015, Post-Symposium Field Trip to Southern Etendeka - Guides and notes, IX Simpósio Sul Brasileiro de Geologia

Jerram, D., Mountney, N., Holzforster, F. & Stollhofen, H. 1999, Internal stratigraphic relationships in the Etendeka Group in the Huab Basin, NW Namibia: understanding the onset of the flood volcanism, *Journal of Geodynamics*, vol. 28, pp. 393–418.

Jolly, R.J.H., Sanderson, D.J., 1995, Variation in the form and distribution of dykes in the Mull swarm, Scotland, *J. Struct. Geol.*, vol. 17, pp. 1543–1557.

Jung, S., Hoernes, S. & Mezger, K., 2000, Geochronology and petrology of migmatites from the Proterozoic Damara Belt—importance of episodic fluid-present disequilibrium melting and consequences for granite petrology, *Lithos*, vol.51, pp.153–179.

Kerr, P.F., 1959, *Optical Mineralogy*, McGraw-Hill Book Company, London, 442 pp.

Klein, E.M., 2004, *Geochemistry of the Igneous Oceanic Crust*. In: *Treatise on Geochemistry*. Holland, H.D. and Turekian, K.K. (Eds), Elsevier, Amsterdam. vol.3, pp.433-463.

Konopásek, J., Kröner, S., Kitt, S.L., Passchier, C.W., Kröner, A., 2005, Oblique collision and evolution of large-scale transcurrent shear zones in the Kaoko belt, NW Namibia. *Precambrian Research*, vol.136, pp.139–157.

Kröner, S., Konopásek, J., Kröner, A., Passchier, C.W., Poller, U., Wingate, M.T.D., Hofmann, K.H., 2004. U–Pb and Pb–Pb zircon ages for metamorphic rocks in the Kaoko Belt of Northwestern Namibia: a Palaeo- to Mesoproterozoic basement reworked during the Pan-African orogeny. *S. Afr. J. Geol.*, vol.107, pp.455–476.

Le Maitre, R.W. (ed.) 2002, *Igneous rocks: A classification and glossary of terms: recommendations of the International Union of Geological Sciences, Subcommittee on the Systematics of Igneous Rocks*. Cambridge, U.K: Cambridge University Press, 236pp.

Marsh, J. S., Ewart, A., Milner, S. C., Duncan, A. R., & Miller, R. M., 2001, The Etendeka Igneous Province: magma types and their stratigraphic distribution with implications for the evolution of the Paraná-Etendeka flood basalt province. *Bulletin of Volcanology*, vol. 62, no. 6-7, pp. 464-486.

Marsh, J.S., Erlank, A.J., Duncan, A.R., 1991, Preliminary geochemical data from dolerite dykes and sills of the southern part of Etendeka igneous province. *Communications of the Geological Survey of Namibia*, vol. 7, pp. 71–73.

Marsh, J.S., & Milner, S.C., 2007, Stratigraphic correlation of the Awahab and Tafelberg Formations, Etendeka Group, Namibia, and location of an eruptive site for flood basalt volcanism, *Journal of African Earth Sciences*, vol. 48, pp. 329-340

McDonough, W.F. & Sun, S.-S., 1995, The composition of the Earth, *Chemical Geology*, vol.120, pp228

Mackenzie, W.S., Donaldson, C.H., & Guilford, C., 1982, Atlas of igneous rocks and their textures, Longman, Essex, 148pp

Marsh, J. S., Ewart, A., Milner, S. C., Duncan, A. R. & Miller, R. McG., 2001, The Etendeka Igneous Province: magma types and their stratigraphic distribution with implications for the evolution of the Parana-Etendeka flood basalt province, *Bulletin of Volcanology*, vol.62, pp.464-486.

Martínez-Poza, A.I., Druguet, E., Castaño, L.M., Carreras, J. 2014, Dyke intrusion into a pre-existing joint network: The Aiguablava lamprophyre dyke swarm (Catalan Coastal Ranges), *Tectonophysics*, vol. 630, pp. 75–90.

Martinez-Poza A. I., & Druguet, E., 2016, Structure and tectonic setting of the SE Sardinia mafic dyke swarm. Insights for the stress state during magma emplacement in the uppercrust, *Journal of Geodynamics*, vol. 101, pp. 170–185.

Masberg, P., Mihm, D., Jung, S., 2005. Major and trace element and isotopic (Sr, Nd, O) constraints for Pan-African crustally contaminated grey granite gneisses from the southern Kaoko Belt, Namibia, *Lithos*, vol.84, pp.25–50

Meija, J., et al., 2016, Atomic weights of the elements 2013 *Pure and Applied Chemistry*, vol. 88, pp. 265-291

Melfi, A. J., Piccirillo, E. M. & Nardy, A. J. R., 1988, Geological and magmatic aspects of the Paraná Basin - an introduction. In: Piccirillo, E. M. & Melfi, A. J. (eds) *The Mesozoic Flood Volcanism of the Paraná Basin: Petrogenetic and Geophysical Aspects*. São Paulo: Instituto Astronomico e Geofisico Publishers, IAG-USP Press, pp. 1-13.

Mendonça, C. A., and Silva, B. C., 1993, A stable truncated series approximation of the reduction-to-the-pole operator, *Geophysics*, vol. 58, pp. 1084-1090

Miller, R.Mc.G., 1983, The Pan-African Damara Orogen of Namibia. In: Miller, R.Mc.G. (Ed.), *The Damara Orogen*. Special Publications of the Geological Society of South Africa, vol.11, pp.431-515

Milner, S.C., le Roex, A.P. & O'Connor, J.M., 1995, Age of Mesozoic Igneous rocks in northwestern Namibia, and their relationship to continental breakup, *J. Geol. Soc Lond.*, vol. 152, pp. 97-104.

Peate, D. W., 1997, The Paraná-Etendeka Province, In Mahoney, J. J. & Coffin, M. F. (eds) *Large Igneous Provinces: Continental Oceanic and Planetary Flood Volcanism*. Geophysical Monograph, American Geophysical Union, vol. 100, pp. 217-245.

Peate, D. W., Hawkesworth, C. J., Mantovani, M. S. M., Rogers, N. W. & Turner, S. P., 1999, Petrogenesis and stratigraphy of the high Ti/Y Urubici magma type in the Parana flood basalt province and implications for the nature of 'Dupal'-type mantle in the South Atlantic region, *Journal of Petrology*, vol. 40, pp. 451-473.

Pollard, D.D., 1987. Elementary fracture mechanics applied to the structural interpretation of dykes. In: Halls, H.C., W.F. (Eds.), *Mafic Dyke Swarms*, Geological Association of Canada Special Papers, vol. 34, pp. 5–24.

Prave, A.R., 1996, Tale of three crátons: Tectonostratigraphic anatomy of the Damara orogen in northwestern Namibia and the assembly of Gondwana, *Geology*, vol.24, pp.1115–1118.

Raab, M.J., Brown, R.W., Gallagher, K., Carter, A., Weber, K., 2002, Late Cretaceous reactivation of major crustal shear zones in northern Namibia: constraints from apatite fission track analysis, *Tectonophysics*, vol. 349, pp. 75–92.

Raposo, M.I.B., Ernesto, M., & Renne, P.R. 1998, Paleomagnetism and ^{40}Ar – ^{39}Ar dating of the early Cretaceous Florianópolis dyke swarm (Santa Catarina island), southern Brazil. *Physics of the Earth and Planetary Interiors*, vol.108, pp.275–290.

Renne, P.R., Ernesto, M., Pacca, I.G., Coe, R.S., Glen, J.M., Prévot, M., Perrin, M., 1992, The Age of Paraná Flood Volcanism, Rifting of Gondwanaland, and the Jurassic-Cretaceous Boundary, *Science*, vol.258, no.5084, pp.975-979

Renne, P.R., Glen, J.M., Milner, S.C. & Duncan, A.R., 1996, Age of the Etendeka Flood Volcanism and Associated Intrusions in Southwestern Africa, *Geology*, vol.24, no.7, pp.659-662.

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*. Balkema, Rotterdam, p. 81-100

Roest, W. R., Verhoef, J., Pilkington, M., 1992, Magnetic interpretation using 3-D analytic signal: *Geophysics*, vol. 57, no. 116-125.

Ruy., A.C, Silva, A.M., Silva, Toledo, C.L.B., Filho, C.R.S., 2006, Uso de Dados Aerogeofísicos de alta densidade para mapeamento geológico em terrenos altamente intemperizados: O estudo de caso da região de Cláudio, Porção Sul do Cráton São Francisco, *Revista Brasileira de Geofísica*, vol.24, no.4, pp.535-546

Ryberg, T., Haberland, C., Haberland, T., Weber, M.H., Bauer, K., Behrmann, J.H., Wilfried, J., 2015, Crustal structure of northwest Namibia: Evidence for plume-riftcontinent interaction, *Geology*, vol.43, no.8, p.739–742.

Salomon, E., Koehn, D., Passchier, C., Hackspacher, P.C., Glasmacher, U. A., 2015, Contrasting stress fields on correlating margins of the South Atlantic, *Gondwana Research*, vol. 28, no. 3, pp. 1152–1167

Seth, B., Kroner, A., Mezger, K., Nemchin, A.A., Pidgeon, R.T., Okrusch, M., 1998, Archaean to Neoproterozoic magmatic events in the Kaoko belt of NW Namibia and their geodynamic significance, *Precambrian Research*, vol. 92, pp. 341–363.

Seth, B., Okrusch, M., Wilde, M., Hoffmann, K.-H., 2000. The Voetspoor Intrusion, Southern Kaoko Zone, Namibia: mineralogical, geochemical and isotopic constraints for the origin of a syenitic magma, *Communications of the Geological Survey of Namibia*, vol.12, pp.125–137.

Sibuet, J-C., Hay, W.W., Prunier, A., Montadert, L., Hinz, K., and Fritsch, J., 1984, The Eastern Walvis Ridge and adjacent basins (South Atlantic): morphology, stratigraphy, and

structural evolution in light of the results of Legs 40 and 75, in W.W. Hay, J.-C. Sibuet et al., (eds), Initial Rep. Deep Sea Drill. Proj 75, pp.483–508.

Stica, J.M., Zalán, P.V., Ferrari, A.L., 2014, The evolution of rifting on the volcanic margin of the Pelotas Basin and the contextualization of the Paraná-Etendeka LIP in the separation of Gondwana in the South Atlantic, *Marine and Petroleum Geology*, vol.50, pp.1-21

Sun, S.-S. & McDonough, W.F., 1989, Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: implications for mantle composition and processes. In: Saunders, A.D., Norry, M.J. Eds., *Magmatism in Ocean Basins*. Geol. Soc. Spec. Publ., London, pp. 313–345.

Swart, R., 1993, Note: Cretaceous synvolcanic conglomerates on the coastal margin of Namibia related to the break-up of West Gondwana, *Communications of the Geological Survey of Namibia*, vol.8, pp.147-151

Thompson, R. N., Gibson, S.A., Dickin, A.P., & Smith, P.M., 2001,. Early Cretaceous basalt and picrite dykes of the southern Etendeka region, NW Namibia: windows into the role of the Tristan mantle plume in Paraná–Etendeka magmatism, *Journal of Petrology*, vol.42, no.11, pp.2049-2081.

Tomazzoli, E. R., & Lima, E. F. 2006, Magmatismo Ácido-Básico na Ilha do Arvoredo – SC, *Revista Brasileira de Geociências*, vol.36, pp.61–80.

Tomazzoli, E.R. & Pellerin, J.R.G.M., 2008, O Enxame de Diques de Florianópolis na Ilha de Santa Catarina (SC): Mapa geológico. IN: Anais do IV Simpósio de Vulcanismo e Ambientes Associados, Foz do Iguaçu, PR. SBG; CDROM.

Trompette, R., Carozzi, A.V., 1994. *Geology of Western Gondwana (2000–500 Ma). Pan-African–Brasiliano Aggregation of South America and Africa*, A.A. Balkema, Rotterdam, Brookfield, 350pp.

Trumbull, R.B, Reid, D.L., de Beer, C., Acken D.A., Romer, R.L., 2007, Magmatism and continental breakup at the west margin of southern Africa: A geochemical comparison of dolerite dikes from northwestern Namibia and the Western Cape, *South African Journal of Geology*, vol.110, no.2-3, pp.477-502.

Trumbull, R.B, Vietor, T., Hahne, K., Wackerle, R. & Ledru, P., 2004, Aeromagnetic mapping and reconnaissance geochemistry of the Early Cretaceous Henties Bay-Outjo dike swarm, Etendeka Igneous Province, Namibia, *Journal of African Earth Sciences*, vol.40, no.1, pp.17-29.

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

- Valente, S.C., Corval, A., Duarte, B.P., Ellam, R.L., Fallick, A.E., Meighan, I.G., Dutra, T., 2007, Tectonic boundaries, crustal weakness zones and plume subcontinental lithospheric mantle interactions in the Serra do Mar Dyke Swarm, SE Brazil, *Revista Brasileira de Geociências*, vol.37, pp.194–201.
- Veronez, J.B., Tomazzoli, E.R., 2016, Enxame Florianópolis: Diques da Ponta do Pasto-Naufragados, In: 48° Congresso Brasileiro de Geologia, 2016, Porto Alegre. Resumos. São Paulo: SBG, (<http://sbg.sitepessoal.com/anais48cbg/resumos.htm>)
- Wanke, A., 2000, Karoo-Etendeka Unconformities in NW Namibia and their Tectonic Implications, PhD Thesis, Univ. Würzburg/ Germany, 164pp.
- Wigand, W., Schmitt, A.K., Trumbull, R.B., Villa, I.M., Emmermann, R., 2004, Short-lived magmatic activity in an anorogenic subvolcanic complex: $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ and ion microprobe U-Pb zircon dating of the Erongo, Damaraland, Namibia, *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, vol. 130, pp. 285-305
- Ziv, A., Rubin, A., Agnon, A., 2000, Stability of dike intrusion along preexisting fractures, *J.Geophys. Res.*, vol. 105, 5947–5961.