

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA  
CENTRO DE FILOSOFIA E CIÊNCIAS HUMANAS  
DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA  
CURSO GEOLOGIA

Giorgia Caliman Rodrigues

**Estudo das múltiplas intrusões do dique básico Cretáceo da Ponta das Andorinhas,  
Praia da Pinheira, Palhoça, SC**

Florianópolis

2021

Giorgia Caliman Rodrigues

**Estudo das múltiplas intrusões do dique básico Cretáceo da Pontas das Andorinhas,  
Praia da Pinheira, Palhoça, SC**

Trabalho de Conclusão do Curso de Graduação em Geologia do Centro de Filosofia e Ciências Humanas da Universidade Federal de Santa Catarina como requisito para a obtenção do título de Bacharel em Geologia.  
Orientadora: Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Luana Moreira Florisbal.

Florianópolis

2021



Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor, através do Programa de Geração Automática da  
Biblioteca Universitária da UFSC.

Rodrigues, Giorgia Caliman

Estudo das múltiplas intrusões do dique básico Cretáceo  
da Ponta da Andorinha, Praia da Pinheira, Palhoça, SC /  
Giorgia Caliman Rodrigues ; orientador, Luana Moreira  
Florisbal, 2022.

53 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) -  
Universidade Federal de Santa Catarina, , Graduação em ,  
Florianópolis, 2022.

Inclui referências.

1. . 2. pulsos múltiplos. 3. múltiplas injeções. 4.  
dique composto. I. Moreira Florisbal, Luana. II.  
Universidade Federal de Santa Catarina. Graduação em . III.  
Titulo.

Giorgia Caliman Rodrigues

**Estudo das múltiplas intrusões do dique básico Cretáceo da Ponta das Andorinhas, Praia da Pinheira, Palhoça, SC**

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi julgado adequado para obtenção do Título de “Geólogo” e aprovado em sua forma final pelo Curso de Geologia.

Florianópolis, 18 de maio de 2021

---

Prof. Neivaldo Araújo de Castro, Dr.  
Coordenador do Curso

**Banca Examinadora:**

---

Profa. Luana Moreira Florisbal, Dra.  
Orientadora  
Universidade Federal de Santa Catarina

---

Prof. Breno Leitão Waichel, Dr.  
Avaliador  
Universidade Federal de Santa Catarina

---

Prof. Fernando Jacques Althoff, Dr.  
Avaliador  
Universidade Federal de Santa Catarina

Este trabalho é dedicado aos curiosos.



## AGRADECIMENTOS

Agradeço à curiosidade e interesse que tive desde a infância cuja redescoberta e encantamento permitiram que me envolvesse neste estudo. Agradeço a todos que me deram apoio até que esta redescoberta ocorresse.

Agradeço aos colegas de curso que me incentivaram e ensinaram muito: Laura, Francisco, Aurélio, Yolanda, Dri Dami, Cláudio. Aos amigos Maria Júlia, Ann-Cätrhinn, Tiago, Hiago e Antônio que estiveram presentes e por serem a minha família. E ainda às tutoras Lara, Juliana e Paula Cabral por sempre me trazerem de volta ao caminho durante os últimos semestres do curso.

Agradeço muito a orientadora Luana, que nos permite olhar a nós mesmos por meio de sua forma amorosa e grandemente generosa de trabalhar. É muito emocionante sentirmo-nos acreditados e acolhidos por uma geóloga que tem tanta competência, e redescobrir aquilo que nos fez escolher a geologia. Entender, ao investigar, as possibilidades de formação das rochas, se torna um privilégio muito grande. E esse processo de aprendizado, no ambiente de liberdade, em que pude ter a própria observação e também pedir ajuda e tirar dúvidas, foi muito importante. É uma honra poder participar dessa experiência e de aprender com grandes pessoas, com características tão humanas, sem presunção de mostrar-se diferente disso.

Agradeço aos meus pais e irmãos que amo muito, que me ensinaram a honrar a palavra, a trabalhar duro e a respeitar e apoiar as pessoas, a manter o senso de humor sempre, vocês são a razão de eu ter conseguido me reerguer e concluir este trabalho.



## RESUMO

Na região costeira de Santa Catarina, ocorrem diques básicos eocretácicos do Enxame de Diques de Florianópolis intrusivos nas rochas graníticas do Batólito Florianópolis. Na Ponta das Andorinhas, Praia da Pinheira (SC), ocorre um dique básico (134Ma) que corta o Granito Ilha (590 Ma). Os contatos do dique básico com o granito encaixante são variáveis, de reto e nítido a sinuoso e com relações de mútua intrusão de pulsos no dique. O dique básico tem heterogeneidades texturais que denunciam a existência de distintas margens resfriadas em seu interior. O mapeamento de detalhe resultou na setorização do dique nas porções norte, central e sul. A mineralogia principal é constituída de plagioclásio e clinopiroxênio (augita), os minerais acessórios são óxidos Fe-Ti (magnetita e ilmenita) aciculares a vermiformes e apatita. As texturas das diferentes margens resfriadas variam de equigranular fina/afírica a microporfírica. Nas porções centrais, de textura equigranular fina a média, é comum a ocorrência de texturas ofítica e subofítica. O setor norte apresenta textura glomeroporfírica nas margens e no centro do dique de micropórfiros de plagioclásio tabulares, por vezes com bordas corroídas, com matriz fina intersertal. O setor central apresenta margens resfriadas afíricas que iniciam no desmembramento do dique com continuidade no centro do dique principal. E o setor sul apresenta bordas equigranulares finas e maiores proporções de plagioclásio no centro do dique. A análise integrada dos dados geológicos e petrográficos aponta processo de múltipla intrusão como o gerador dos diferentes setores do dique básico estudado.

**Palavras-chave:** pulsos múltiplos, múltiplas injeções, dique composto.

## ABSTRACT

In Santa Catarina coastal region, occur Eo Cretaceous basic dykes from the Florianópolis Dyke Swarm, all intrusive in the granitic rocks from the Florianópolis Batholith. In the Ponta das Andorinhas, Pinheira Beach (SC), occurs one basic dyke (134 Ma) intrusive in the Ilha Granite country rock (590 Ma). The contacts between the basic dyke and the granitic country rock are variable, from straight and sharp to sinuous and with coeval intrusion evidences. The basic dyke have textural heterogeneities that denounce the existence of distinct chilled margins along the dyke. The detailed mapping resulted in a compartmentalization of the dyke in north, central and south portions. The main mineralogy consist of plagioclase and clinopyroxene (augite), the accessory minerals are needle-like to xenomorphic Fe-Ti oxides (magnetite and ilmenite) and apatite. The textures from the distinct chilled margins vary from fine grained equigranular/aphiric and microporphyritic. In the central parts, with fine to medium grained equigranular textures, it's common the occurrence of ophitic to subophitic textures. The north sector presents glomeroporphyritic textures in the margins and microporphyrocrysts of tabular plagioclase, sometimes with corroded margins, with intersertal matrix in the central part. The central sector presents aphyric chilled margins, that begins in the bifurcation of the dyke and have its continuity in the central part of the main dyke. The south sector presents fine grained equigranular margins and higher amounts of plagioclase in the central part of the dike. The integrated approach of the geological and petrographic data points to multiple intrusion processes as the generator process of the distinct sector of the studied basic dyke.

**Keywords:** basic dykes, Florianópolis Dyke Swarm, composite dyke.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Mapa de localização e acesso ao local de estudo na Praia da Pinheira. O traçado vermelho indica trecho da BR-101 e o traçado amarelo as vias locais.17

Figura 2 – A distribuição dos tipos basalto e dacito-riolito na bacia sedimentar Paraná. Coluna estratigráfica baseada em Nardy (1996) e Peate et al. (1992).21

Figura 3 – Enxame de enclaves máficos-magmáticos (setas) em andesito do centro do dique composto. A porção mais escura à esquerda é constituída pelo basalto na borda do dique, com linha de contato gradacional com o andesito (Extraído de Tomazzoli, et al (2017).26

Figura 4 – Croqui ilustrando os aspectos do dique composto eocretácico. Relações geológicas entre as margens básicas e o centro intermediário com enclaves máficos globulares frequentes, resultantes de mistura de magma.27

Figura 5 – Detalhe de contato de margem básica e centro intermediário com enclaves microgranulares máficos. A seta indica a delgada injeção do centro intermediário na margem básica. Refusão do granito neoproterozoico da rocha encaixante na região de Garopaba-Silveira com geração de contatos interdigitados e assimilação local de rochas encaixantes pelos diques Alto-Ti. (extraído de Florisbal, et al; 2017).27

Figura 6 – Xenólitos e xenocristais de plagioclásio e augita dispostos em matriz muito fina de andesito do centro de dique composto. (Extraído de Tomazzoli, et al (2017).27

Figura 7 – Mapa geológico da região da Praia da Pinheira, Santa Catarina, Brasil. (1) Granito Ilha; (2) Fácies de cordões litorâneos; (3) Sistema Laguna Barreira; (4) Fácies Praia.30

Figura 8 – Brecha constituída por fragmentos arredondados e angulosos de basalto e diabásio, envoltos por granito (extraído de Tomazzoli, et al. 2018).31

Figura 9 – Perfil comparativo entre texturas comumente encontradas em diques de pulso único e diques de múltiplas intrusões. a) dique com uma única injeção apresenta gradiente textural: margem vítrea na zona de contato e aumento da cristalinidade em direção ao centro. b) dique com várias injeções apresenta intercalação textura vítrea de margens resfriadas, desenvolvidas nos vários pulsos magmáticos que preenchem o dique.33

Figura 10 – Croqui representativo, Ponta das Andorinhas, Praia da Pinheira - SC, Escala 1:2000. Os círculos em branco representam o local de coleta das amostras das quais foram confeccionadas as lâminas petrográficas.36

Figura 11 – Setorização das porções norte (azul), central (vermelho) e sul (verde).38

Figura 12 – Fotografias de campo com localizações indicadas pelas setas nos diferentes setores representados no Croqui. No setor norte: 1) destaca-se a presença de micropórfiros de plagioclásio no centro do dique. 2) a borda do dique com pórfiros de plagioclásio concentrados na margem do dique com o granito ilha. 3) presença de bloco de granito imerso no dique. Porção central: 4) no centro do dique há a margem resfriada de cor preta e textura afanítica. Porção sul: 5) centro do dique com textura equigranular média.40.

Figura 13 – Croqui do dique aflorante na Pontas das Andorinhas, com a localização da coleta das amostras para confecção das lâminas petrográficas. Microfotografias das lâminas petrográficas analisadas com código da indicação referente ao código da amostra coletada. m) porção central do dique: à esquerda detalhe do micropórfiro esparsos de plagioclásio e à direita textura equigranular média; n) à esquerda textura equigranular da porção central do dique em contato com a margem resfriada, ao centro micropórfiros de ocorrência esparsa de plagioclásio e à direita textura equigranular fina; e) à esquerda porção central do dique de textura equigranular média e à direita margem resfriada de textura fina com ausência de micropórfiros; f) porções e textura heterogênea do centro do dique; s) porção central do dique com textura equigranular fina a média.44

Figura 14 – No setor norte do afloramento, as bordas apresentam textura microporfirítica, com matriz intersertal.45

Figura 15 – Detalhe das texturas da amostra REF-04N, porção central do dique com alteração dos cristais de piroxênio e plagioclásio. À esquerda luz plano paralela e a direita luz plano paralela com nicóis cruzados.45

## **LISTA DE QUADROS**

Quadro 1 – Classificação dos tipos magmáticos presentes na PMPE19

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b>	<b>15</b>
1.1	JUSTIFICATIVA	16
1.2	OBJETIVOS	16
<b>1.2.1</b>	<b>Objetivo Geral</b>	<b>16</b>
1.3	LOCALIZAÇÃO E ACESSOS	16
<b>2</b>	<b>REVISÃO CONCEITUAL</b>	<b>18</b>
2.1	PROVÍNCIA MAGMÁTICA PARANÁ-ETENDEKA	18
<b>2.1.1</b>	<b>Tipos de basalto e distribuição espacial dos magmas tipo</b>	<b>19</b>
<b>2.1.2</b>	<b>Petrografia das rochas vulcânicas básicas</b>	<b>22</b>
2.2	ENXAME DE DIQUES PMPE	23
2.3	ENXAME DE DIQUES FLORIANÓPOLIS (EDF)	24
2.4	DIQUES DA PRAIA DA PINHEIRA	25
2.5	MECANISMOS GERADORES DE DIQUES	31
<b>3</b>	<b>MATERIAIS E MÉTODOS</b>	<b>34</b>
3.1	LEVANTAMENTO BIBLIOGRÁFICO	34
3.2	LEVANTAMENTO DE DADOS DE CAMPO	34
3.3	PETROGRAFIA	34
<b>4</b>	<b>RESULTADOS</b>	<b>35</b>
4.1	GEOLOGIA	35
4.2	PETROGRAFIA	43
<b>4.2.1</b>	<b>Porção Norte</b>	<b>43</b>
<b>4.2.2</b>	<b>Porção Central</b>	<b>45</b>
<b>4.2.3</b>	<b>Porção Sul</b>	<b>46</b>
<b>5</b>	<b>DISCUSSÃO DOS RESULTADOS</b>	<b>47</b>
<b>6</b>	<b>CONCLUSÃO</b>	<b>49</b>





## 1 INTRODUÇÃO

Diques são corpos ígneos tabulares, intrusivos discordantes das suas rochas encaixantes. Em geral, são subverticais a verticais e possuem largura e extensão bastante variadas. São identificados como feições lineares extensas, que seccionam as estruturas da rocha encaixante. Têm a largura variando de centímetros a muitos metros, ou até mesmo centenas de metros. Ocupam falhas e outros planos de fraqueza, e por isso podem se desenvolver em qualquer ambiente rúptil, através do preenchimento de fraturas (MARTELETO, 2017; JERRAM e PETFORD, 2014; WERNICK, 2003). Um dique isolado raramente é contínuo quando traçado ao longo da sua direção principal, pois pode apresentar descontinuidades em nível de afloramento. (JERRAM e PETFORD, 2014).

Por mais que exibam feições a serem observadas, dada à baixa cristalinidade de rochas hipabissais, nem sempre é fácil identificar diferentes pulsos dentro de corpos tabulares e, neste cenário, muitas vezes se faz necessária a investigação destes diferentes pulsos através do desenvolvimento de perfis ortogonais aos diques para observação de texturas e estruturas.

Nesse ínterim, estes procedimentos de campo e de análise foram aplicados a um dique na Ponta das Andorinhas, Praia da Pinheira, município de Palhoça, onde há registro de ocorrência de uma série de diques básicos e compostos correlatos ao Enxame de Diques de Florianópolis (FLORISBAL et al., 2017) intrusivos no Granito Ilha, de idade neoproterozoica. Trabalhos prévios de levantamento de detalhe no dique básico da Ponta das Andorinhas sugerem a existência de múltiplas injeções na construção deste corpo tabular. Estas feições foram identificadas em mapeamento de escala 1: 2000 do afloramento realizado previamente pela orientadora do projeto, e confirmadas através de dados geoquímicos (FLORISBAL et al., 2017). Contudo, um trabalho de registro acurado das estruturas e texturas sugestivas destas múltiplas intrusões, bem como uma complementação do acervo de dados geoquímicos é ainda necessário para demonstrar e investigar a cronologia dos múltiplos pulsos que perfazem este dique básico. Dado que o dique básico é vinculado ao Enxame de Diques de Florianópolis, o estudo destas múltiplas intrusões deve auxiliar na compreensão dos processos de posicionamento destes corpos. Florisbal et al. (2017) apontam a existência destas múltiplas intrusões e interpretam os diques básicos da região como alimentadores da pilha vulcânica de alto-Ti, magmatismo do tipo Urubici. O estudo destas múltiplas intrusões se faz necessário não apenas para compreender os mecanismos de construção do dique e mecanismos de posicionamento dos magmas, mas também para avaliar o papel dos mesmos como alimentadores dos derrames Alto-Ti do Grupo Serra Geral.



## 1.1 JUSTIFICATIVA

Apesar de haver base bibliográfica e mapeamentos acerca do Enxame de Diques Florianópolis (EDF), como o trabalho de Tomazzoli (2015) e trabalhos de maior detalhe onde se indica a presença de diques compostos (Tomazzoli e Lima (2006), Florisbal et al. (2014) e Florisbal et al. (2017)), os relatos de ocorrência de diques básicos formados por múltiplas ocorrências são mais escassos (Florisbal et al., 2017) e não existem trabalhos de maior detalhe que demonstrem os aspectos de campo, texturais e geoquímicos dique formado por múltiplas injeções. Isso decorre não apenas devido à escala regional comumente abordada, mas também pela dificuldade de identificação dos distintos pulsos de magma que formam os diques básicos do enxame.

Segundo Florisbal et al. (2017), a Ponta das Andorinhas na Praia da Pinheira, possui um dique básico formado por múltiplas injeções. Esse dique apresenta diferenças texturais e composicionais identificadas ao longo do dique, que indicam pulsos diferentes que o preenchem. Contudo, não existem trabalhos de detalhe levantando as diferentes texturas e estruturas dos referidos diques, bem como a variação geoquímica lateral do corpo. Nesse sentido, esta investigação busca ampliar a produção de dados científicos sobre diques básicos com múltiplas injeções na região sul do EDF. Nesse contexto, foram traçados perfis ortogonais à direção principal do dique onde foram coletados dados de meso e microescala para identificar os diferentes pulsos que formaram esse corpo.

## 1.2 OBJETIVOS

### 1.2.1 Objetivo Geral

Analisar em detalhe as texturas e estruturas que evidenciam a formação, por múltiplas injeções, do dique básico da Ponta das Andorinhas.

## 1.3 LOCALIZAÇÃO E ACESSOS

O acesso ao local de estudo está destacado pelos traçados vermelho e amarelo, na Figura 1. A partir da base em Florianópolis se acessa a Rodovia Governador Mário Covas (BR-101), sentido sul até o km 236, onde se direciona para rodovia secundária em direção à Praia do Sonho e segue por vias locais até a Praia da Pinheira mais especificamente na Ponta das Andorinhas.

Figura 1 – Mapa de localização e acesso ao local de estudo na Praia da Pinheira. O traçado vermelho indica trecho da BR-101 e o traçado amarelo as vias locais.



Fonte: Base: MapSurfer OSM Roads.

## 2 REVISÃO CONCEITUAL

### 2.1 PROVÍNCIA MAGMÁTICA PARANÁ-ETENDEKA

Grandes Províncias Ígneas, tais como a PMPE, são em geral associados com margens passivas com ocorrência de rifteamento. Estas ocorreram, principalmente no período Mesozoico, a característica de serem formadas por enxames de diques, que são mais comumente dispostos paralelamente à linha de costa são um dos três conjuntos de diques que em geral são associados as Grandes Províncias Ígneas (TOMBA, 2012). A PMPE é uma das grandes províncias ígneas, e pertence às Províncias Basálticas Continentais, formada por sistemas fissurais relacionados aos esforços tensionais distensivos na crosta e, dessa forma, através destes sistemas os eventos magmáticos geram grandes volumes de lava (COFFIN; ELDHOLM, 1994).

A PMPE abrange aproximadamente 900.000 km<sup>3</sup> de rochas vulcânicas e sub-vulcânicas da Província Magmática Paraná (PMP) composta pelo Grupo Serra Geral, bem como, sua contraparte com a Província Magmática Etendeka (PME) formada pela Província Etendeka (POLO, 2010; FLORISBAL et al., 2014). Desse modo, a PMPE estende-se pelo sudeste da América do Sul. No Brasil, ocorre nos estados das regiões sul, sudeste e centro-oeste, bem como no norte da Argentina, sudeste do Paraguai e leste do Uruguai. Já no Continente Africano estende-se ao longo da costa norte da Namíbia e Angola, o que demonstra uma baixa preservação do registro geológico, apesar de este ter sido originalmente superior ao registro presente no Brasil (WAICHEL et al, 2012; POLO, 2010; MARZOLI et al, 1999; FLORISBAL, 2017). Estima-se que a Província Magmática Paraná Etendeka (PMPE) abrangeria, na época de sua formação, uma área de aproximadamente de 1,6 Mkm<sup>2</sup>. Destaca-se por ser uma das maiores províncias magmáticas continentais e de grande registro geológico, mesmo com os processos erosivos aos quais foi submetida (FLORISBAL et al, 2017; ALMEIDA, CARNEIRO e BATORELLI, 2012). Volumosos fluxos de basaltos continentais são geralmente associados a uma fase inicial de abertura continental (FLORISBAL et al., 2017). A PMPE formada no início do Cretáceo preserva grandes porções de sua pilha vulcânica original como parte da bacia intracratônica do Paraná (RENNE et al., 1996; JANASI et al., 2011; PINTO et al., 2011). No entanto, a erosão não atingiu os níveis correlatos às sequências inferiores mais antigas, bem como as camadas superiores também apresentam limitações de seus registros por erosão.

Ainda não é um consenso entre os autores sobre a ocorrência desse magmatismo no decorrer dos eventos da fase pré-rifte e o final da quebra do supercontinente Pangea que culminaram na abertura do Oceano Atlântico Sul (MOULIN et al, 2010; ZALÁN et al., 2011; MOHRIAK et al., 2012). O evento eruptivo da PMPE iniciou há 138 Ma até 115 Ma, segundo as datações com método K-Ar (ROCHA CAMPOS et al., 1988).

### 2.1.1 Tipos de basalto e distribuição espacial dos magmas tipo

As rochas da PMP abrangem, principalmente (90%) em sua pilha vulcânica basaltos toleíticos e andesi-basaltos toleíticos, com dois piroxênios (augita e pigeonita). Secundariamente cerca de 7% é constituído de andesitos toleíticos e 3% das rochas ácidas riocacitos e riolitos (BELLIENI et al. 1986; BELLIENI et al, 1988; NARDY et al. 2002).

A PMPE no Brasil é formada por expressivos volumes de rochas vulcânicas, três enxames de diques, diversas soleiras (sills) e raras intrusões acamadadas (MARTELETO, 2014). As rochas pertencentes à PMPE são individualizadas em três tipos principais: o grupo de basaltos (alto e baixo - Ti), as ácidas tipo Chapecó e as ácidas tipo Palmas (NARDY et al, 2008).

Dentre os magmas tipo expostos acima, aqueles que são basálticos são ainda subdivididos conforme o teor de  $TiO_2$  em (i) alto-Ti (Urubici, Pitanga e Paranapanema) e (ii) baixo-Ti (Gramado, Esmeralda e Ribeira), como apontam Peate et al. (1992). Destacamos destes o grupo de Alto-Ti que é caracterizado por conter  $TiO_2$  superiores a 2,2% e que quando comparado ao grupo baixo-Ti é enriquecido em Ba, La, Ce, Zr e Sr e empobrecido em em Rb, Th e U (Quadro 1). Este grupo Alto-Ti predomina nas porções centro e norte da PMP.

Quadro 1 – Tipos magmáticos presentes na PMPE

Classificação	Alto Titânio			Baixo Titânio		
	Urubici Sul	Pitanga norte	Paranapanema Norte	Gramado sul	Esmeralda sul	Ribeira norte
$SiO_2$	>49	>47	48-53	49-60	48,0-55,0	49-52
$TiO_2$	>3,3	>2,8	1,7-3,2	0,7-2,0	1,1-2,3	1,5-2,3
$P_2O_5$	>0,45	>0,35	0,2-0,8	0,05-0,40	0,1-0,35	0,15-0,50
$Fe_2O_3(t)$	<b>&lt;14,5</b>	12,5-18,0	12,5-17,0	9,0-16,0	12,0-17,0	12-16
Sr	<b>&gt;550</b>	>350	200-450	140-400	<250	200-375
Ba	>500	>200	200-650	100-700	90,0-400	200-600
Zr	<b>&gt;250</b>	>200	120-250	65,0-275	65,0-210	100-200
Ti/Zr	>57	>60	>65,0	<70,0	>60	>65

Ti/Y	>500	>3500	>3500	<330	<330	>300
Zr/Y	> <b>6,5</b>	>5,5	4,0-7,0	3,50-6,50	2,0-5,0	3,5-7,0
Sr/Y	> <b>14</b>	>8,0	4,5-15,0	<13,0	<9,0	5-17
Ba/Y	>14	>9,0	5,0-19,0	<19,0	<12,0	6-19

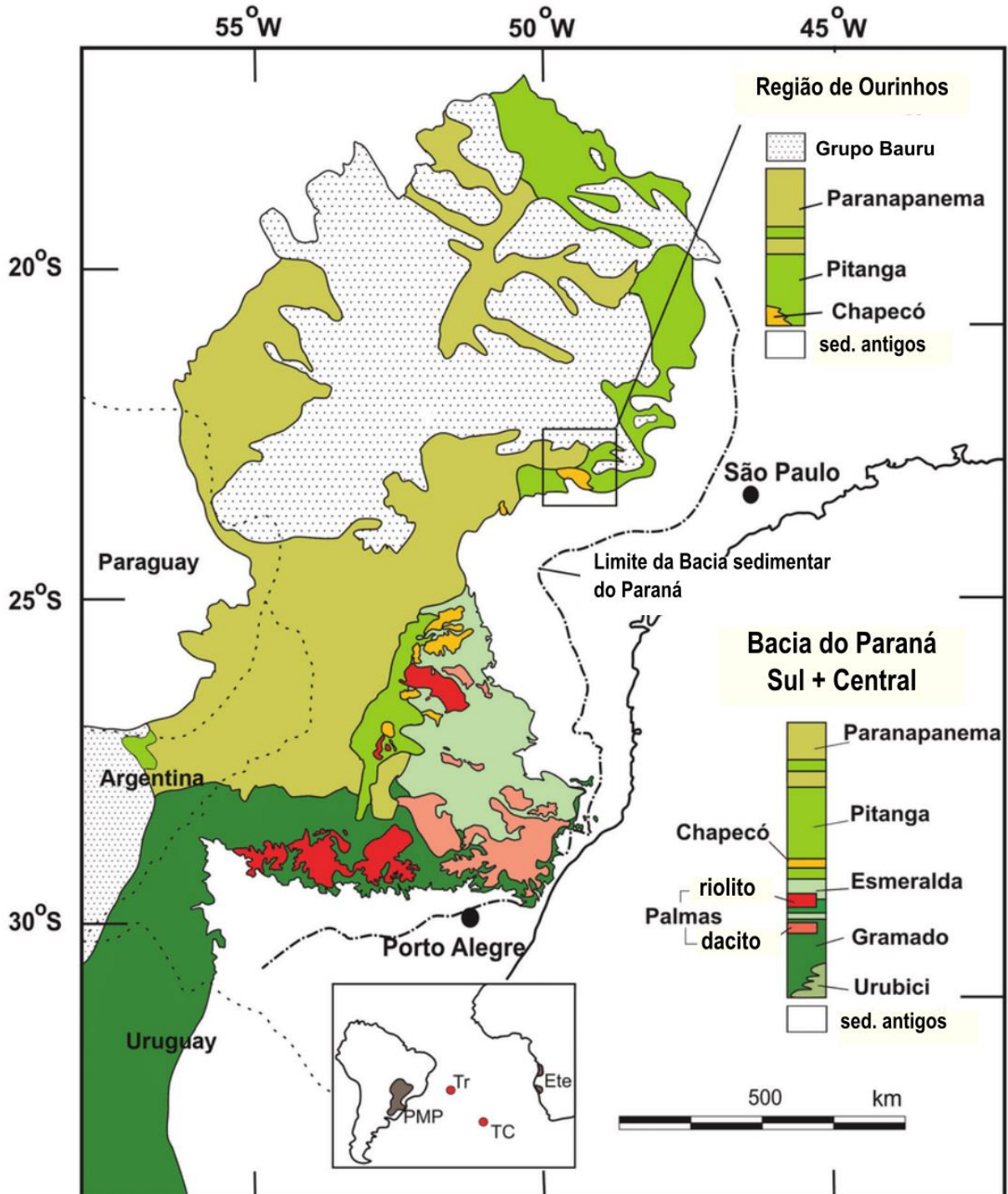
Fonte: Adaptado de Peate et al. (1992).

Os estudos mencionados mostram ainda outras formas de divisão anteriormente adotadas, em que os dois grupos de rochas básicas, com determinadas associações de rochas ácidas, ocorrem em áreas geográficas distintas, possibilitando dividir a Província Magmática do Paraná em três regiões diferentes. Utilizou-se lineamentos como marcos geográficos para dividir a Província, ainda que estes não sejam marcos definidores das propriedades geoquímicas e de sua distribuição e que, por estes motivos, caíram em desuso (e.g. PICCIRILLO et al., 1988a; 1988b; PEATE et al., 1992; e.g. BELLINI et al., 1986; PETRINI et al., 1987).

O centro magmático Sul, que é mais antigo e compreende os magmas tipo de baixo - Ti: Gramado, Esmeralda e Urubici (Alto- Ti), situado a sul do lineamento Uruguai e, localizado a 750 km a norte está o Centro Magmático Norte. Este último centro compreende os magmas tipo mais jovens, de Alto-Ti, Pitanga, Paranapanema e Ribeira (Baixo-Ti), e está situado a norte do lineamento do Rio Piquiri.

A Figura 2 ilustra a distribuição das rochas vulcânicas da PMP. Com relação aos basaltos com Alto-Ti, ao norte e oeste estendem-se o tipo Pitanga e Paranapanema e a sudeste restringe-se o tipo Urubici (PEATE et al, 1992).

Figura 2 – A distribuição dos tipos basalto e dacito-riolito na bacia sedimentar Paraná. Coluna estratigráfica baseada em Nardy (1996) e Peate et al. (1992).



Fonte: extraído de Polo (2014) modificado de Janasi (2011).

As porções mais antigas preservadas na porção sudeste da bacia do Paraná são os basaltos de baixo Ti (Gramado e Esmeralda) sotopostos aos dacitos e Riolitos (Palmas). A mais recente sequência de basaltos alto-Ti (Pitanga e Paranapanema) situa-se na porção oeste e norte da bacia do Paraná (PEATE et al, 1992).

O magma tipo Urubici, assim como o tipo Pitanga, tem alto teor de  $TiO_2$  (maior que 3%). Os dois compartilham várias características de elementos traço incompatíveis com o magma tipo Pitanga mas, em maior abundância. Isto é possível de ser distinguido pelo alto Sr (>550 ppm) e baixo  $Fe_2O_3$  (t) (<14.5 wt%), e maiores fracionamentos de elementos terras raras pesadas (PEATE,1997).

O tipo Urubici estende-se sobre a superfície em uma pequena faixa de aproximadamente 100 km por 350 km ao longo do flanco nordeste da Sinclinal de Torres, no campo de lava do Sul do Brasil. Ao longo desta área intercala-se com os fluxos de magma tipo Gramado, nas porções inferiores da pilha vulcânica. (PEATE et al, 1992; PEATE et al., 1999).

O tipo magmático correlato ao Urubici na contraparte africana é denominado Khumib e localiza-se na Namíbia. Esses dois tipos são menos significativos volumetricamente se comparados aos outros tipos alto-Ti, com menos de 5% do total de lava preservado. (PEATE et al, 1997). Assim como no Brasil o tipo magmático Urubici (alto-Ti) é intercalado com o tipo Gramado (baixo-Ti), também ocorre na Namíbia, em que os correspondentes tipo Khumib (alto Ti-Sr) intercala-se com o tipo Tafelberg. (JERRAM et al, 1999).

### **2.1.2 Petrografia das rochas vulcânicas básicas**

A PMP apresenta volumetricamente maior quantidade de rochas básicas, cerca de 90%, seguido das rochas de composição intermediárias 7,5% e apenas 2,5% de rochas ácidas (BELLIENI et al, 1986; NARDY et al, 2002). As classificações anteriores dos basaltos da PMPE se categorizam em três tipos, definidos por petrografia e geoquímica de alto a baixo Titânio. No grupo um, estão as rochas ácidas tipo Chapecó, com texturas porfiríticas constituídas por fenocristais de até 20 mm e matriz vítrea. O segundo grupo constituído pelas rochas ácidas tipo Palmas, de estrutura maciça e afírica, com gradação para hipohialinos a holohialinos. O terceiro grupo, de enfoque deste trabalho, de rochas basálticas (alto e baixo - Ti) possui textura predominante intergranular e variações como intersectal e hialofítica (NARDY, 1996; NARDY et al, 2008; POLO, 2010).

O grupo dos basaltos é representado por rochas básicas e intermediárias, com a presença de basaltos e andesi-basaltos. Estas rochas são descritas com texturas predominantemente afíricas a subafíricas. Os basaltos subafíricos tem coloração cinza a negra, com textura maciça e presença de amígdalas e vesículas (NARDY, 1996). Os fenocristais são

em maior abundância plagioclásio (An 83-50), augita (Wo 42-45), pigeonita (Wo 12-7), Ti-magnetita e esparsas olivinas (completamente alteradas ou como núcleo de augitas), esses fenocristais tem dimensões de 0,5 a 2,0 mm (BELLIENI et al, 1986 apud POLO, 2010). Estes mesmos minerais constituem a matriz, com abundância de Ti-magnetitas e acrescida de ilmenita. Os basaltos afíricos tem textura hialofítica a hipocristalina (NARDY, 1996). Alguns basaltos podem não conter pigeonita, como em andesito-basaltos com  $TiO_2 > 3\%$  (POLO, 2010).

A petrografia das rochas básicas da PMP é caracterizada por conter “fenocristais e/ou microfenocristais (0,2 a 0,5 mm) de augita, plagioclásio, pigeonita, pequenas porções de titanomagnetita e rara olivina (completamente alterada), em matriz composta essencialmente por estes minerais” (MARQUES, 2004).

Os fenocristais são constituídos, em ordem de abundância, por plagioclásio, augita, pigeonita, Ti-magnetita e esporadicamente, por olivina (completamente alterada ou como núcleo de augita). Os basaltos afíricos são compostos por textura hialofítica a hipocristalina, enquanto que as rochas sub-afíricas são constituídas por matriz cristalina de plagioclásio, pigeonita, augita e abundantes Ti-magnetita e ilmenita. Por vezes, não há pigeonita nos basaltos e sua ocorrência é nula em andesito-basaltos de  $TiO > 3\%$  em peso. (POLO, 2010).

Os diques básicos alto-Ti são representados por rochas de granulação fina a média, e pode localmente apresentar texturas subofítica e ofítica. Além disso, são principalmente constituídos de plagioclásio (labradorita-andesina?) e clinopiroxênio (augita e pigeonita) com minerais acessórios de óxidos de Fe-Ti (magnetita e ilmenita) e ocasionalmente, needle-like ou apatitas prismáticas. Também foram descritos pequenos cristais de baddeleita e zircão identificados nas imagens de microscópio eletrônico de varredura (FLORISBAL et al, 2014, 2017). Traços de biotita avermelhada, clorita e epidoto são comumente observados em fases secundárias. Ortopiroxênio e olivina rica em Fe são mais raros, mas ocorrem em alguns diques em Garopaba, Florianópolis e em Pinheira (FLORISBAL et al, 2014, 2017).

## 2.2 ENXAME DE DIQUES PARANÁ ETENDEKA

O magmatismo da PMPE é também caracterizado por uma intensa atividade intrusiva, concentrada em diques. As três regiões concentradoras de diques, são denominadas Ponta Grossa, Serra do Mar e Florianópolis. Destes o mais importante da província ocorre no Arco de Ponta Grossa, que possui direção preferencial NW e secundariamente NE, com predomínio de basaltos toleíticos e andesi-basaltos toleíticos, com semelhança aos magmas



tipo Pitanga e Paranapanema Alto-Ti (PICCIRILLO et al, 1988c). E corresponde aos registros remanescentes à erosão, do sistema alimentador dos derrames da província norte da PMPE. As datações (Ar/Ar) variam de 131 - 129 Ma e próximo à margem continental chegam a 120 Ma (RENNE et al., 1996; TURNER et al., 1994, MARQUES, 2001).

O Enxame de Diques Serra do Mar corresponde a centenas de diques aflorantes de direção NE (Almeida, 1986). Estendem-se do Vale do Paraíba até a costa de São Paulo e Rio de Janeiro. De composição de magmas tipo Alto-Ti, predominantemente básico (PICCIRILLO et al, 1988b; BELLINI et al., 1990; COMIN-CHIARAMONTI et al, 1983). As datações Ar/Ar de Turner et al.(1994) e Deckart et al (1998) são de 133 - 129 Ma e Renne et al (1992) de 125 - 120 Ma. Segundo Peate (1997) correspondem ao sistema alimentador dos derrames existentes na Angola.

O Enxame de Diques Florianópolis corresponde ao enxame de diques de orientação N-NE localizado mais a sul e será descrito em maior detalhe no próximo item, já que é objeto de estudo deste trabalho.

### 2.3 ENXAME DE DIQUES FLORIANÓPOLIS (EDF)

Na região costeira de Santa Catarina, principalmente no batólito Florianópolis, há ocorrência frequente de afloramentos de diques máficos e raras ocorrências de diques intermediários a ácidos. Os diques máficos correspondem aos de composição basálticas a andesi-basáltica. O EDF é composto principalmente por diques de diabásio, andesito basáltico e andesito de alto titânio (ATi) e subordinadamente baixo titânio (BTi) (MARQUES & ERNESTO, 2004) (MARQUES et al., 1993; RAPOSO et al., 1998; MARQUES, 2001; TOMAZZOLI e LIMA, 2006; PELLERIN et al., 2011; FLORISBAL et al., 2014).

Os diques estão dispostos sobretudo ao longo da costa, geralmente verticais, com a orientação principal é NNE (N15° - 50°E) e secundariamente diques de direção NNW (N15°W e N45W), em que a relação de campo permitiu inferir ser tipicamente mais jovens por cortar os primeiros (MARQUES, 2001, MARTELLETO, 2017; RAPOSO et al., 1998; FLORISBAL et al, 2014). As espessuras dos mesmos também variam, os primeiros tem espessura de 15 a 100 metros enquanto que os demais além de mais jovens são menos espessos variando de 0,1 metro a 2 metros (BITENCOUT et al.; 2008, FLORISBAL et al, 2017; MARQUES, 2001).

Os diques básicos possuem, na sua maioria, contatos retos com a encaixante granítica, mas localmente exibem contatos irregulares e difusos. Nas zonas de contatos difusos são identificados contatos sinuosos e reticulados de veios e vênulas graníticas intrusivas nos diques básicos (BERNARDES, 2017).

Em geral, há um predomínio dos magma-tipo Urubici e Pitanga. São representados por basaltos toleíticos, andesi-basaltos toleíticos, traquiandesitos basálticos, traquiandesitos, dacitos e andesitos toleíticos, em menor proporção lati-andesito, lati-basaltos e latitos. (PEATE et al., 1999; MARQUES, 2001; PELLERIN, et al 2011, FLORISBAL et al., 2014; MARTELETO, 2017).

#### 2.4 DIQUES DA PRAIA DA PINHEIRA

Na Praia da Pinheira, a sul de Florianópolis, aflora o Granito Ilha ( $588\pm 8\text{Ma}$ ) (JANASI et al., 2015), encaixante para uma série de diques básicos e ocorrências menores de diques compostos, com núcleos intermediários a ácidos, onde feições de mistura heterogênea de magmas são comuns. Florisbal et al., (2014) obteve idades U-Pb ID-TIMS em badeleíta e zircão para dois diques aflorantes na parte sul da Praia da Pinheira. As duas idades,  $134,7 \pm 0,3$  e  $133,9 \pm 0,7$  Ma, foram obtidas em um dique básico e um dique composto, respectivamente, são muito próximas às idades apresentadas por Renne et al., (1992) para as rochas vulcânicas do tipo Urubici (sul da Bacia do Paraná) ( $131,4\pm 1,6$  e  $132,9$  Ma), o que levou Florisbal et al. (2014) a interpretarem os diques básicos como alimentadores da dos derrames alto-Ti (HONORATO, 2019).

A relação dos enxames de diques como alimentadores de determinadas erupções de lava, bem como, a modificação por meio das interações com as rochas encaixantes foram o alvo dos estudos que abrangeram os diques da praia da Pinheira, visando compreender a influência das assimilações/contaminações crustais na PMPE. Dentro dos estudos realizados na parte sul do Enxame de Diques Florianópolis, Florisbal et al. (2014), apresentam a correlação do dique da Praia da Pinheira, localizado na Ponta das Andorinhas, com os basaltos tipo Urubici, presentes na pilha vulcânica da PMPE.

Nesta região da Praia da Pinheira diques básicos tiveram os contatos constatados por Florisbal et al (2017) como sendo retos, corrugados, sinuosos ou difusos entre diques e encaixantes, além da intrusão de redes de veios e vênulas leucograníticas de distribuição irregular da encaixante nos diques, e de enclaves da rocha encaixante nos diques básicos com feições de reabsorção ou bordas de reação. Próximo aos contatos, os líquidos gerados na

fusão, em geral, guardam evidências como pedaços e/ou minerais do protólito não digeridos, dentre outras características que atestam a fusão parcial da rocha encaixante que foram estudados em detalhe por Honorato (2019).

Tomazzoli, et al (2018), ao avaliarem os afloramentos na praia da Pinheira, conforme as características de campo e petrográficas, descreveram maioria dos diques simples e com ocorrência de diques múltiplos e compostos. Os diques variam em textura da borda para o centro, variando assim a classificação de basalto na borda e em alguns casos com o centro com classificação de gabro. A direção preferencial dos diques corresponde a N20E, N30E e N50E e de ocorrência mais rara N40W. (TOMAZZOLI, et al 2018).

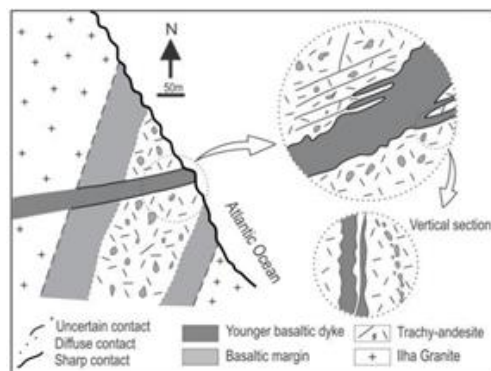
Dentre os diques analisados, existem escassos diques compostos de direção NNE na praia da Pinheira e ainda mais raramente em Florianópolis (FLORISBAL, et. al 2017). Tomazzoli, et al (2018), consideraram dois diques compostos na Pinheira. O dique situado a sul, no maciço da Pinheira, foi considerado um dique composto com bordas de basalto, similar aos diques basálticos Alto-Ti, e centro de andesito mais grosso, contendo enclaves máfico-magmáticos de basalto afanítico resultante de mistura com magmas básicos (Figura 3, Figura 4 e Figura 5) (FLORISBAL, et. al, 2017; TOMAZZOLI, et al. 2018) . E no maciço ao norte, Ponta do Papagaio, foi descrito outro dique composto, contendo bordas de basalto fino e centro de andesito pórfiro, com aglomerados de fenocristais de plagioclásio e augita (Figura 6).

Figura 3 – Enxame de enclaves máficos-magmáticos (setas) em andesito do centro do dique composto. A porção mais escura à esquerda é constituída pelo basalto na borda do dique, com linha de contato gradacional com o andesito (Extraído de Tomazzoli, et al (2018).



Fonte: Tomazzoli, et al (2018)

Figura 4 – Croqui ilustrando os aspectos do dique composto eocretácico. Relações geológicas entre as margens básicas e o centro intermediário com enclaves máficos globulares frequentes, resultantes de mistura de magma.



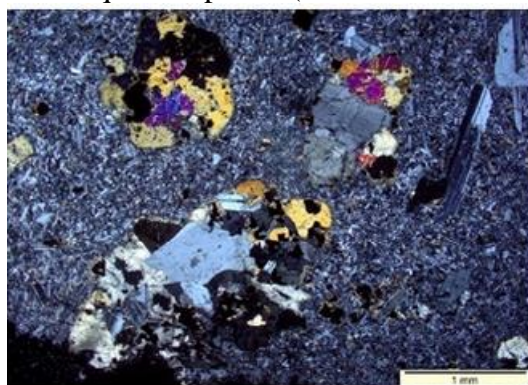
Fonte: Florisbal, et al (2017)

Figura 5 – Detalhe de contato de margem básica e centro intermediário com enclaves microgranulares máficos. A seta indica a delgada injeção do centro intermediário na margem básica. Refusão do Granito-Ilha na região de Garopaba-Silveira com geração de contatos interdigitados e assimilação local de rochas encaixantes pelos diques Alto-Ti. (extraído de FLORISBAL, et al; 2017).



Fonte: Florisbal, et al (2017)

Figura 6 – Xenólitos e xenocristais de plagioclásio e augita dispostos em matriz muito fina de andesito do centro de dique composto. (Extraído de TOMAZZOLI, et al (2018).



Fonte: Tomazzoli, et al (2018)

Mais detalhadamente descrito por Florisbal, et al (2017) os diques compostos da Pinheira com núcleos intermediários, possuem textura fina e são compostos por plagioclásio, feldspato alcalino, quartzo e anfibólio  $\pm$  biotita; todos os minerais são fortemente alterados. Quartzo e feldspatos são comumente intercrescidos, por vezes como agregados radiais ou em texturas micrográficas. Os anfibólios são comumente alterados, e aparecem alguns como pseudomorfos de piroxênio, apatita acicular e apatita prismática, os minerais acessórios são zircão euédrico e badeleíta com ilmenita e pirita. Enclaves microgranulares máficos têm uma textura bem fina, composta por clinopiroxênio e plagioclásio, como algum quartzo intersticial. A matriz possui contatos irregulares a lobados; e não há evidências de reações de margem resfriada. Após análise geoquímica classificaram o núcleo dos diques compostos como traquiandesitos em concordância com a característica toleítica.

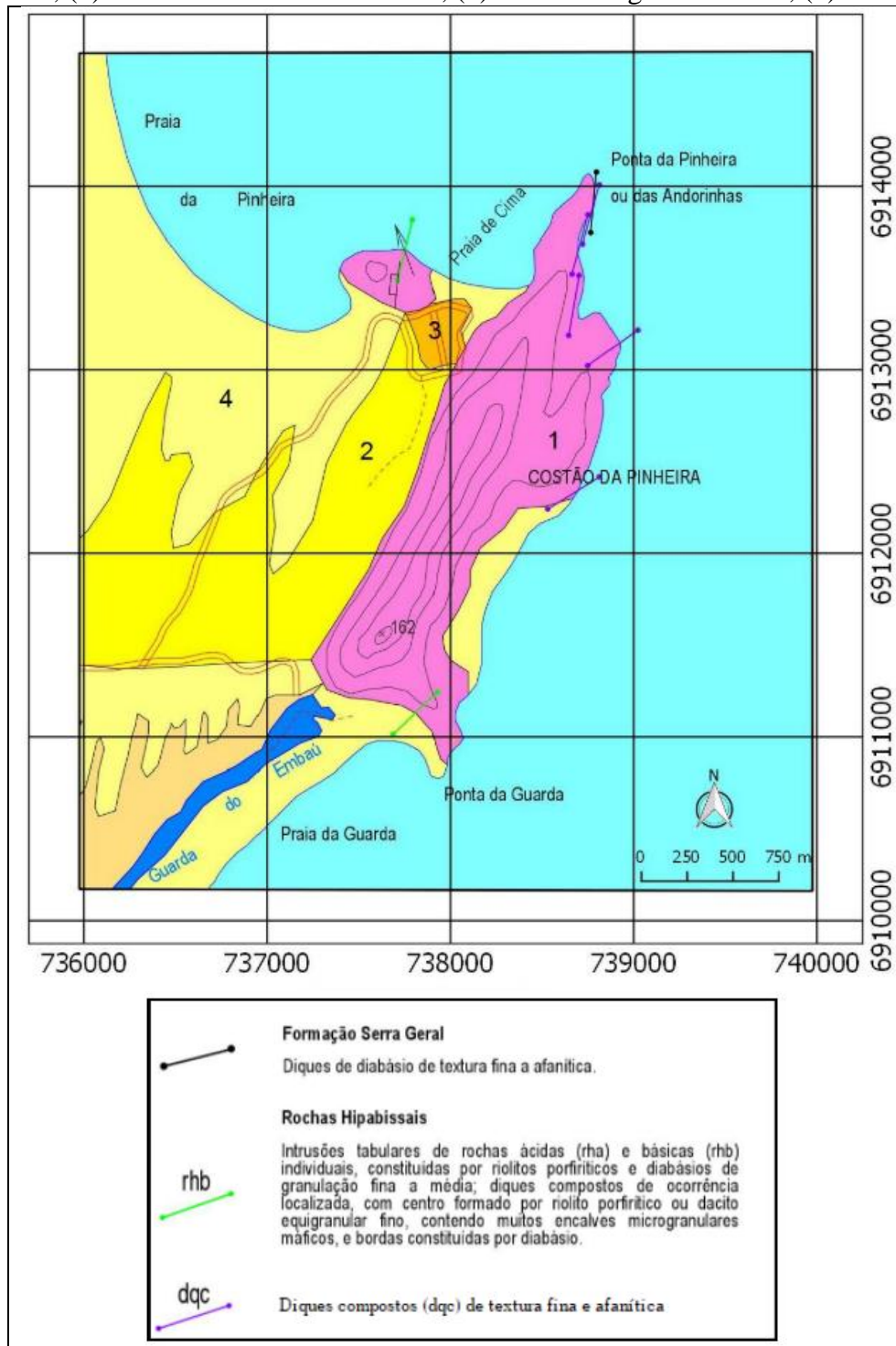
Dentre os diques situados a sul, no maciço da Pinheira (Figura 7), buscando entender a extensão e intensidade da fusão e seus efeitos sobre o corpo granítico encaixante, Bernardes (2017) mapeou em detalhe as feições do dique, especificamente as zonas laterais da rocha encaixante. Os resultados dos estudos em detalhe permitem identificar feições de fusão local objetivando compreender sua extensão e inferir o gradiente geotermal na região quando ocorreu a entrada dos diques (BERNARDES, 2017). Estas análises possibilitam a compreensão das condições termais da crosta quando da época da ruptura do supercontinente Gondwana (FLORISBAL et al. 2014). O aquecimento do extrato da crosta ocorrida em 134 Ma, teve o processo de refusão estimado a uma temperatura de 750°C a partir da quebra da biotita, evidenciado pelas feições de *back-veining*, aumento de quantidade de matriz próximo aos contatos com desenvolvimento de esferulitos, variação na assembleia mineral e no contato entre os cristais, aumento de material vítreo devitrificado na matriz, e presença de textura granofírica e gráfica (BERNARDES, 2017).

Nesta mesma região, Tomazzoli, et al, (2018) citam essas ocorrências de diques de diabásio com refusões da rocha encaixante granítica, similares a outras ocorrências na Ilha de Santa Catarina (TOMAZZOLI e PELLERIN, 2015). A ocorrência teve o estudo em detalhe realizado por Honorato (2019) e anteriormente mapeado e datado por (FLORISBAL et al, 2017, 2014). Nessas ocorrências da Pinheira há interação nas refusões graníticas com o diabásio, ora no estágio líquido ora no estágio sólido, promovendo a formação de brechas, com fragmentos angulosos e arredondados de basalto e diabásio, envoltos por granito (Figura 8) (TOMAZZOLI et al, 2018).

Tomazzoli, et al (2018) também identificaram um dique múltiplo, mais ao sul, no maciço da Pinheira. Esse dique, descrito por ter geometria não bem compreendida e por ter contato de intrusão posterior com outro, o dique de gabro previamente consolidado, além da ocorrência de xenólitos e fenocristais provenientes do gabro.

Florisbal, et al (2017) descreveram amostras de diques aflorantes em Garopaba, Pinheira e uma de Florianópolis em que petrografia do grupo predominante é de granulometria fina a média e pode localmente apresentar texturas ofítica e subofítica. Os diques são em maioria compostos de plagioclásio (labradorita-andesina) e clinopiroxênio (augita e pigeonita). Minerais acessórios de óxido de Fe-Ti (magnetita e ilmenita) e apatita acicular ou ocasionalmente apatita prismática; pequenos cristais minerais de zircão (baddeleíta e zircão) são identificados em imagens SEM. Traços de biotita avermelhada, clorita e epidoto são comumente observados em fases secundárias. Orthopiroxênio e olivina rica em ferro são mais raras, mas ocorrem somente nos diques de Garopaba e Florianópolis e em uma única amostra da Pinheira (REF-04W). Orthopiroxênio é sempre reliquiar, frequentemente transformado em anfibólio, enquanto a olivina é fortemente alterada e corresponde a pseudomorfos. Em todas as amostras ocorrem textura micrográfica como material de mesostasis com feldspato alcalino fortemente alterado.

Figura 7 – Mapa geológico da região da Praia da Pinheira, Santa Catarina, Brasil. (1) Granito Ilha; (2) Fácies de cordões litorâneos; (3) Sistema Laguna Barreira; (4) Fácies Praial.



Fonte: Bernardes, E. (2017), modificado de BITENCOURT et al. (2008)



Figura 8 – Brecha constituída por fragmentos arredondados e angulosos de basalto e diabásio, envoltos por granito (extraído de TOMAZZOLI, et al. 2018).



Fonte: Tomazzoli, et al. 2018.

Os correspondentes aos enclaves máficos identificados em campo são descritos por Florisbal, et al (2017), como aglomerados de cumulatos, também são comuns xenocristais e xenólitos de rochas máficas e félsicas. Cumulatos são comumente formados por agregados de megacristais com formas irregulares, em parte envolto por matriz. Embora em alguns casos eles possam representar acumulações de fenocristais, características indicativas de desequilíbrio são comuns (ex. são mais alterados que os cristais da matriz e presentes nas características particulares, como zonações parentais normais e incomuns, circundado por arestas em cristais maiores e envolto por agregados), e sugere que possa corresponder a anticristais ou xenocristais.

## 2.5 MECANISMOS GERADORES DE DIQUES

Os diques múltiplos são resultado de uma ou múltiplas intrusões de diques dentro de outros já consolidados, todos geralmente de mesma composição (JERRAM e PETFORD, 2014), resultando num dique mais jovem posicionado no centro com as bordas constituídas pelo dique mais antigo que foi intrudido.

Quando os distintos pulsos de magma que estão preenchendo a fratura são de composição contrastante, temos os chamados diques compostos (JERRAM e PETFORD, 2014). Os diques compostos, embora mais raros, são facilmente identificados já em campo, pois apresentam contatos entre magmas de composição distinta, logo de reologia distinta. Diques compostos resultam da interação de dois magmas contrastantes (normalmente ácidos-intermediários e básicos), interagindo no estágio líquido dentro do próprio dique, resultando



em bordas básicas e centro ácido ou intermediário, muitas vezes contendo enclaves máficos-magmáticos que comprovam essa interação de líquidos (DIDIER & BARBAIN, 1991).

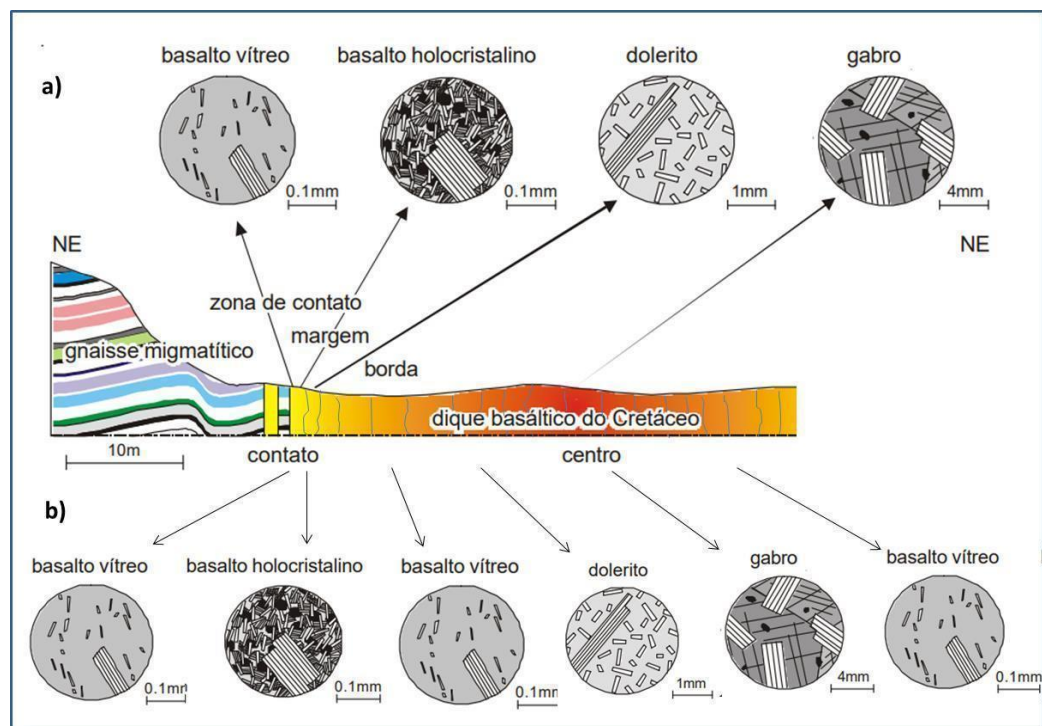
Os diques podem ser gerados por um único pulso de magma ou por diversos pulsos que adentram a mesma fratura. Neste contexto, em geral podemos observar o registro de uma intrusão singular através da observação de margens resfriadas ou vítreas nas bordas do dique e um gradiente textural, com texturas progressivamente mais cristalinas em direção ao interior do dique (Figura 9 a). Contudo, embora a maior parte das intrusões menores resulte da injeção de um único pulso magmático, quando temos a entrada de diferentes pulsos de magmas na mesma fratura, isso configura um dique formado por múltiplas intrusões (JERRAM e PETFORD, 2014).

Assim, os contatos tendem a ser bem definidos e se podem identificar, como no caso dos diques compostos da Praia Brava na Ilha de Santa Catarina, que contém centro riolítico e bordas básicas (FLORISBAL et al., 2017). Segundo Jerram e Petford (2014), em intrusões compostas, componentes básicos e ácidos podem conter xenólitos ou xenocristais de cada uma das intrusões anteriores. As intrusões menores homogêneas podem conter enclaves máficos microgranulares de composições contrastantes, por exemplo, enclaves microgranulares máficos de basalto dentro de traquidacitos, os quais podem indicar mistura de magmas, como no caso dos diques compostos da Praia da Pinheira (FLORISBAL et al., 2017).

Por outro lado, quando um dique é formado por múltiplas intrusões de composição similar, a investigação dos mesmos não é tão trivial, já que não há contraste de viscosidade, temperatura ou composição, o que resulta em contatos de difícil identificação ou muitas vezes obliterados devido à amalgamação dos pulsos magmáticos (FLORISBAL et al., 2017). Neste contexto, a investigação de múltiplas intrusões em diques basálticos é sugerida em campo pela identificação de diferentes padrões de margens resfriadas identificados não apenas nas margens, mas em regiões mais centrais do dique. Um destes padrões ocorre como intercalação de margens resfriadas identificadas por porções de cristalinidade distintas justapostas (HUPPERT e SPARKS, 1989). Esta configuração está ilustrada na Figura 9b. Outro padrão a ser identificado é o truncamento de porções mais resfriadas na parte central do corpo por margens de resfriamento. Esta feição fica registrada quando uma nova intrusão não oblitera completamente o registro da margem resfriada anterior, mas a trunca (HUPPERT e SPARKS,

1989). Além dos padrões supracitados, outro a ser identificado é o de intercalação de margens vítreas e porfiríticas em um mesmo dique.

Figura 9 – Perfil comparativo entre texturas comumente encontradas em diques de pulso único e diques de múltiplas intrusões. a) gradiente textural de um dique com uma única intrusão apresenta na zona de contato margem vítreo e há um aumento de cristalinidade para o centro do dique. b) dique com múltiplas intrusões apresenta gradiente textural com intercalação de margens resfriadas de textura vítreo, desenvolvidas nos vários pulsos magmáticos que preenchem o dique.



Fonte: Modificado de Motoki (2004)

### 3 MATERIAIS E MÉTODOS

#### 3.1 LEVANTAMENTO BIBLIOGRÁFICO

Foram considerados trabalhos temáticos, metodológicos e bibliografias concernentes aos temas relacionados neste projeto, como construção de corpos ígneos e geoquímica de rochas básicas. O acervo de amostras, lâminas e dados geoquímicos já existentes também foi levantado, organizado e consistido. Os dados deste estudo foram utilizados para a identificação dos diques e aprimoramento da base cartográfica do afloramento

#### 3.2 LEVANTAMENTO DE DADOS DE CAMPO

Consistiu em um trabalho de detalhe, com duração de 2 dias. A base utilizada foi o mapa do afloramento em escala 1:2000 já elaborado pela orientadora e que teve uma atualização cartográfica, conforme os dados obtidos no levantamento de campo. Este levantamento feito por perfis ortogonais à direção ao dique. A descrição iniciou na borda em direção ao centro. Foram caracterizadas estruturas que indicassem a “evolução” das intrusões do dique, como, por exemplo, margens resfriadas no interior do dique. Durante esta caracterização foram descritas a sucessão das variações texturais e suas espessuras, medidas *in situ* com utilização de trena. Para cada tipo de variação textural e estrutural foram coletadas amostras para estudo petrográfico. Esses dados levantados foram compilados e utilizados na atualização do mapa de afloramento, com a utilização de softwares de edição de imagem.

#### 3.3 PETROGRAFIA

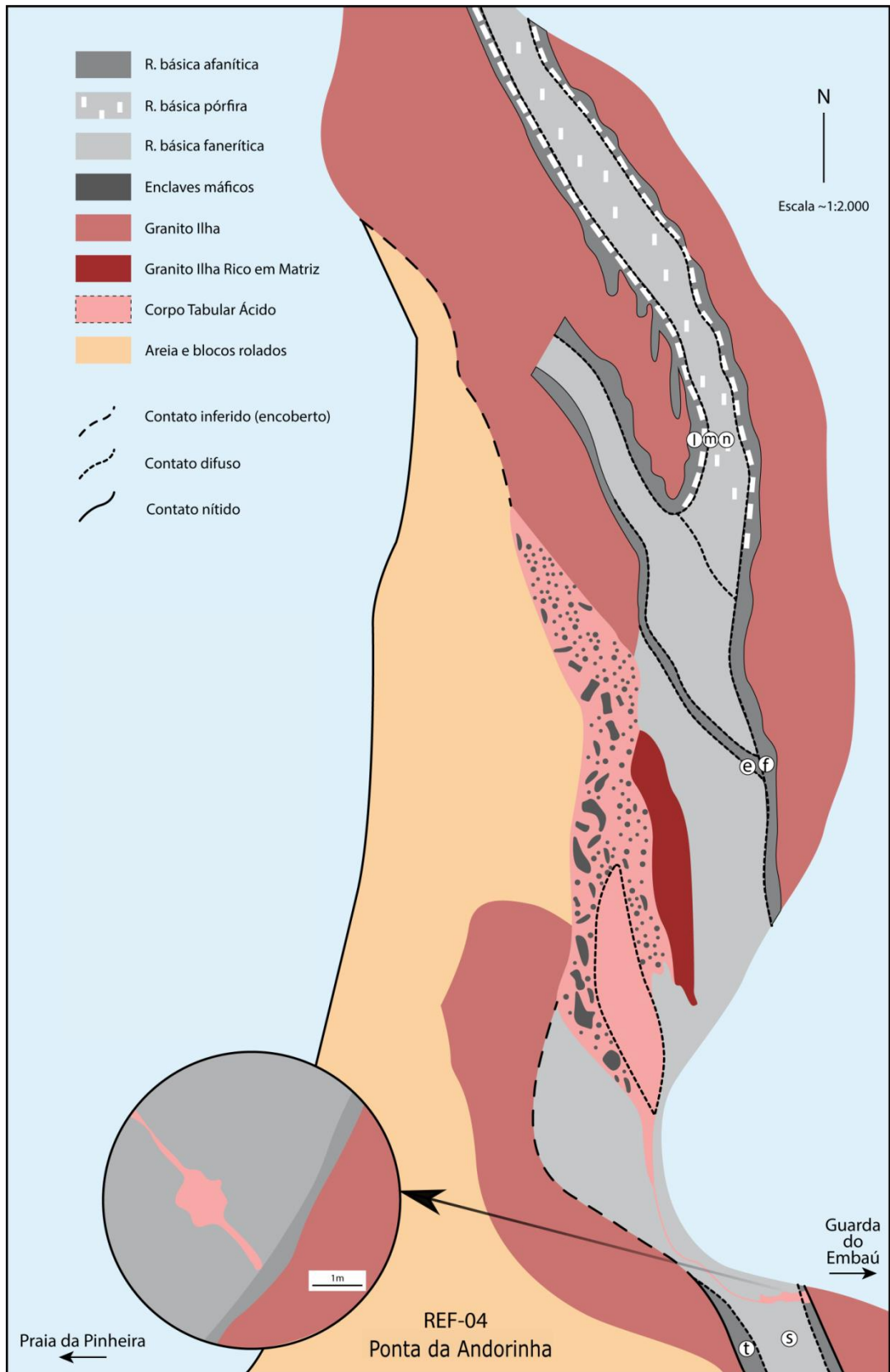
Foram analisadas 7 lâminas petrográficas do local de estudo, previamente confeccionadas, que abrangem as principais feições de variações textural. A petrografia foi realizada com uso de microscópio óptico convencional para avaliação das diferentes texturas identificadas nos diferentes pulsos. A análise petrográfica foi realizada no Labemo, UFSC.

## **4 RESULTADOS**

### **4.1 GEOLOGIA**

O afloramento em estudo situa-se no costão sul da Praia da Pinheira, denominado Ponta das Andorinhas. Trata-se de um lageado, em área de preamar, com cobertura sedimentar holocênica além de blocos e matacões. A litologia predominante é o Granito Ilha, rocha leucocrática, de idade neoproterozoica, de coloração rosada, em que intruiu um dique básico, de idade eo-cretácea, que consiste no objeto deste estudo. Na porção leste do afloramento há corpos lenticulares ácidos que correspondem às zonas de fusão e remobilização da rocha encaixante, a sua descrição e mapeamento de detalhe e análise geoquímica foram realizados por Honorato (2019). A Figura 10 ilustra a disposição espacial das litologias do afloramento estudado, denominado REF-04.

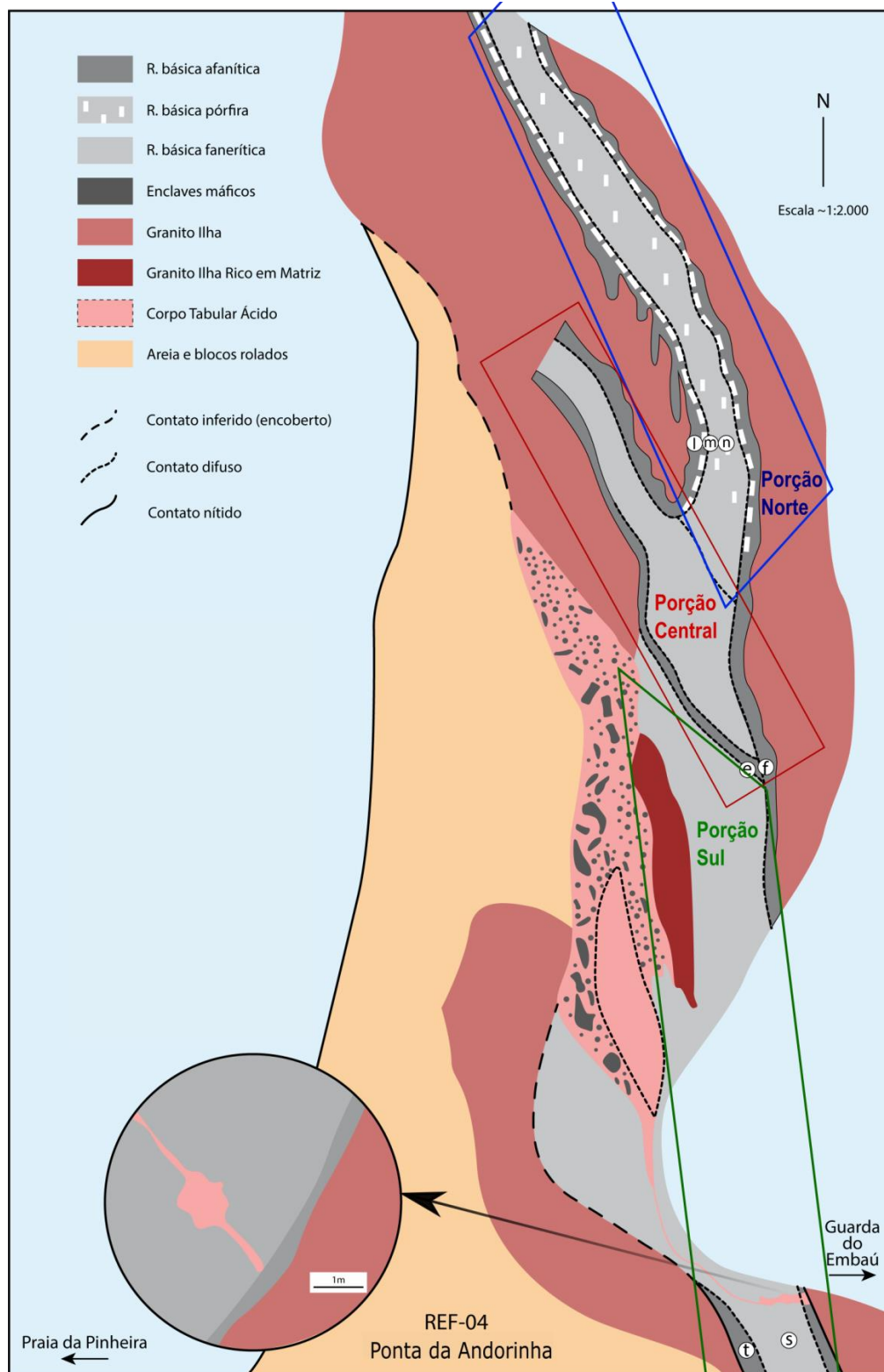
Figura 10 – Mapa geológico da Ponta das Andorinhas, Praia da Pinheira - SC, Escala 1:2000.



Fonte: Modificado de Honorato (2019).

O dique básico aflorante tem direção média NNE e dimensões de até 50m de largura e de 450m de comprimento, sendo estas dimensões aflorantes variáveis na direção N-S no afloramento. Observam-se três porções do afloramento com características distintas, são elas a porção norte, porção central e porção sul. No mapa de detalhe com escala 1:2.000, ilustrado na Figura 11, podem ser observados os pontos de coleta de amostras. Devido à disposição do dique situado em área comumente coberta pela maré, e também pelos sedimentos e matacões que encobrem partes da exposição, inferiu-se a continuidade das feições observadas em campo, representadas pelos traços pontilhado no mapa e indicado nas descrições abaixo.

Figura 11 – Setorização das porções norte (azul), central (vermelho) e sul (verde).



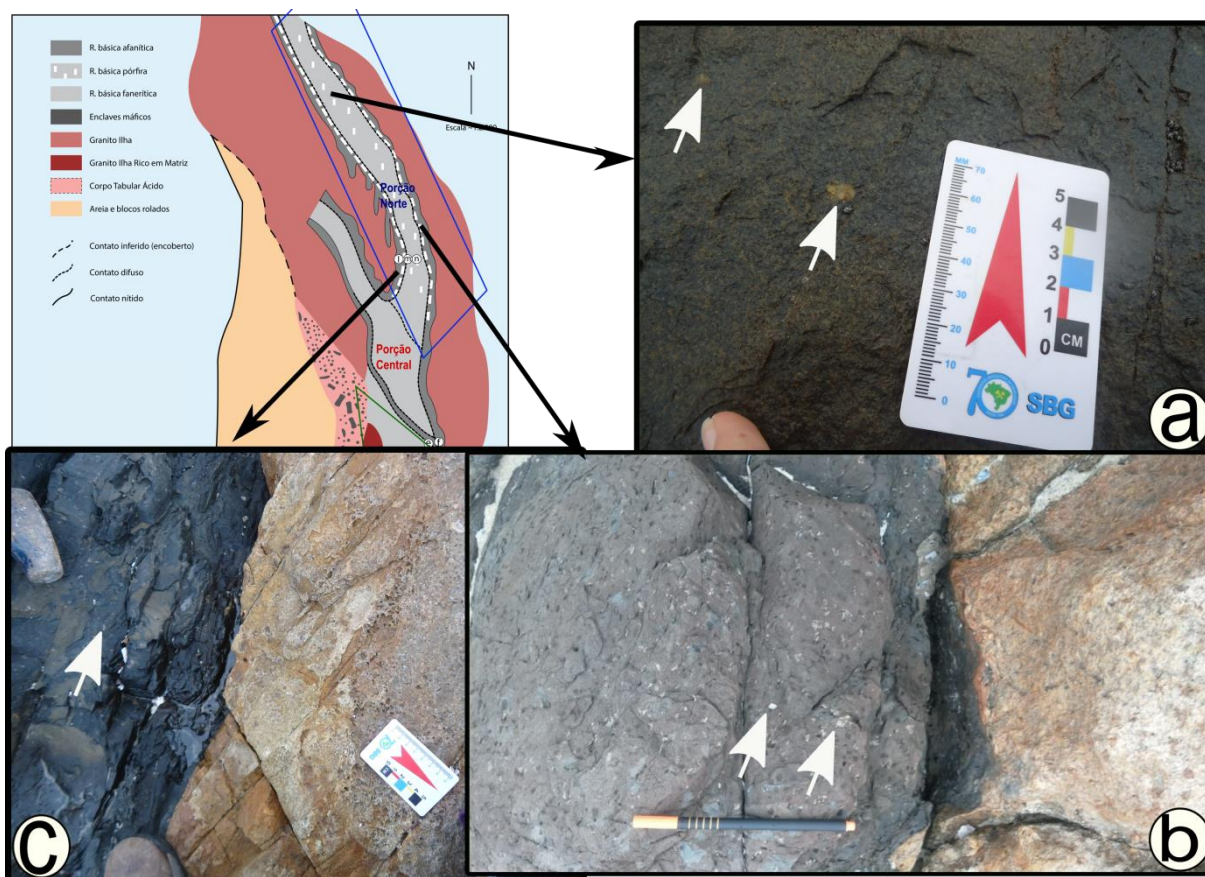
Fonte: Modificado de Honorato (2019).

Na **porção norte** do afloramento (Figura 11), o dique básico aflorante tem dimensões aproximadas de 50 m de largura com contato predominantemente reto com o Granito Ilha. Os contatos a E do afloramento são contatos retos e bem definidos com o Granito Ilha, em contrapartida os contatos a W são frequentemente irregulares e sinuosos (Figura 12). É observada uma margem resfriada em ambas as margens com espessura variável, mas sempre de ordem centimétrica, com textura microporfírica de matriz afanítica. Os micropórfiros de plagioclásio são ripiformes, de distribuição esparsa e com orientação frequentemente paralela à do dique (Figura 12.b e c). Já a porção central do dique tem textura equigranular média, com rara e esparsa ocorrência de micropórfiros tabulares a subarredondados de plagioclásio, geralmente milimétricos a centimétrico (até 2 cm) de ocorrência frequente mais próximo ao centro do dique (Figura 12.a).

Essas características são observadas até a porção central do dique, onde ocorre uma bifurcação ou ramificação, também de direção NNW (Figura 11).



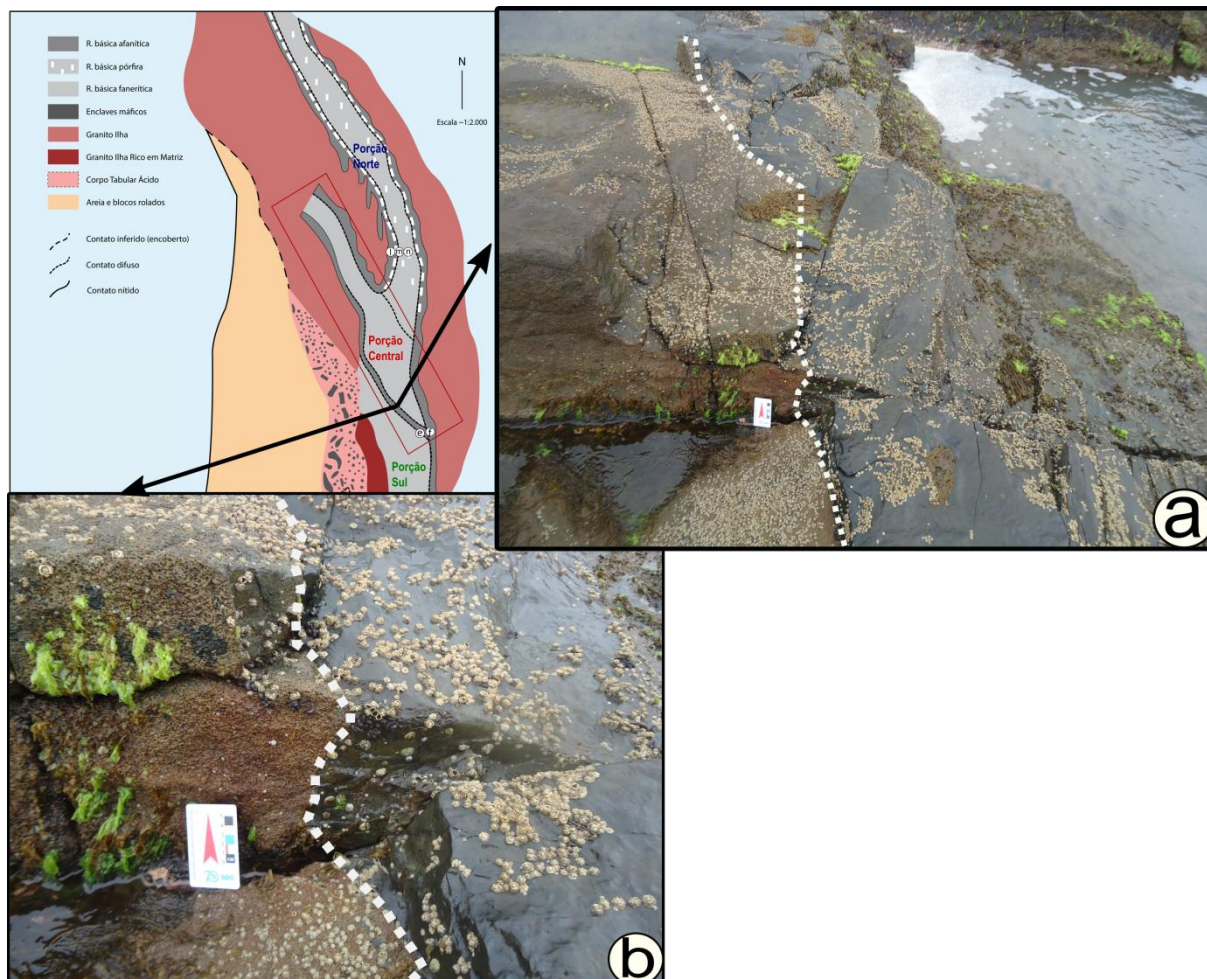
Figura 12 – Fotografias de campo com localização indicadas pelas setas no setor norte: a) destacam-se a presença de micropórfiros de plagioclásio no centro do dique. b) e c) a borda do dique com pórfiros de plagioclásio concentrados na margem do dique com o granito ilha.



A **porção central** do afloramento situa-se na intersecção da porção N com a ramificação de direção NW, evidenciada na bifurcação e apresenta uma descontinuidade das características descritas anteriormente (Figura 11). Dada a mudança no padrão textural é então, avaliada como uma porção distinta do afloramento. A ramificação tem largura menor e variável, cerca de 20 m quando no contato com a rocha encaixante do Granito Ilha e aumenta a medida que se aproxima da bifurcação. O contato da ramificação NW do dique com o Granito Ilha difere em características nas duas bordas, a borda E é geralmente regular e reto, já a borda W apresenta irregularidades e sinuosidades. As margens resfriadas W e E são afaníticas e centimétricas e o centro desta ramificação apresenta textura equigranular fina. Na borda E se percebe um truncamento com a borda microporfirítica observada na porção norte, contudo não é possível observar sua continuidade para dentro do dique básico principal devido à influência da maré, blocos e sedimentos nesta região, e por isso esta continuidade é

inferida com a linha tracejada (Figura 11). Já a borda W afanítica da ramificação de contato reto com o Granito Ilha encaixante inflete para dentro do dique básico (Figura 13.a) com orientação aproximadamente NW.

Figura 13. Fotografias de campo com localização indicadas pelas setas no setor central: a) e b) no centro do dique há a margem resfriada de cor preta e textura afanítica.

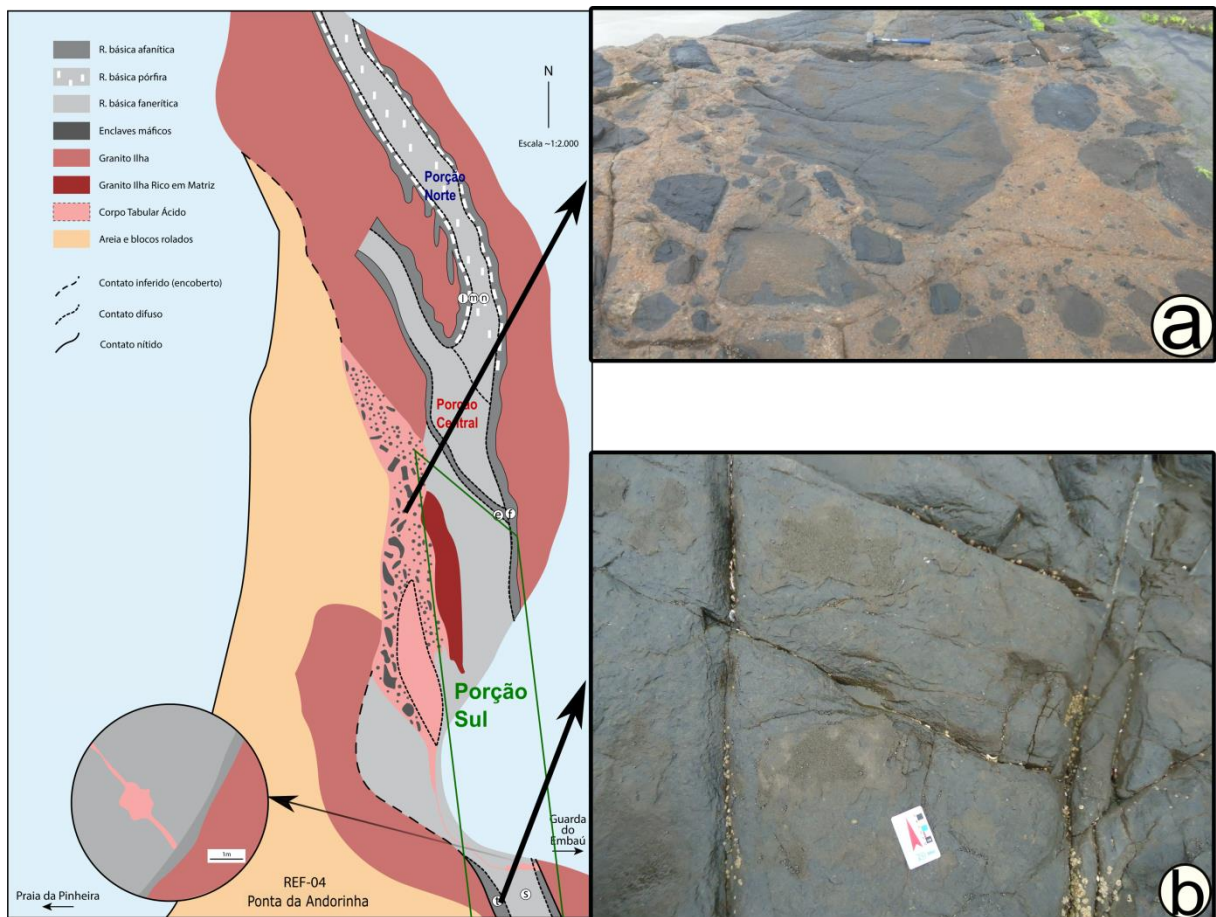


A porção E do afloramento em contato com a porção central é constituída por zonas resultantes da interação da fusão da rocha encaixante, mapeado por Honorato (2019). Essa área possui um corpo lenticular félsico, que desenvolve relações de contato com uma zona de brecha de mistura, que também aflora como corpos lenticulares com presença de blocos de rocha máfica envoltos por matriz félsica (Figura 11). Além deste, Honorato (2019), descreve ocorrências de menores proporções como bolsões riolíticos de textura inequigranular (Figura 14.a) fina e veios e vênulas que intrudem o dique básico e atestam a interação da fusão das rochas encaixantes com o dique básico.



Na **porção sul** do afloramento, os contatos do dique básico com o Granito Ilha são parcialmente observados devido à cobertura por blocos e sedimentos, mas onde são observados são contatos predominantemente retos. Da mesma forma, as margens W e E quando observadas são afaníticas, sem presença de micropórfiros. A porção central do dique básico tem textura equigranular média. (Figura 14.b) No extremo sul do afloramento ocorre uma apófise da fusão do granito encaixante, que secciona a borda afanítica e concentra os líquidos desta fusão em um bolsão observado no centro do dique básico (**Erro! Fonte de referência não encontrada.**4.a), conforme descrito por Honorato (2019).

Figura 14. Fotografias de campo com localização indicadas pelas setas no setor sul: b) centro do dique com textura equigranular média. Adjacente a porção Sul em área estudada por Honorato (2019) em a) bolsão da apófise de fusão de granito encaixante com blocos do dique.



## 4.2 PETROGRAFIA

Neste item serão apresentadas as análises petrográficas dos três setores do afloramento que atestam para múltiplas intrusões identificadas e descritas em mesoescala no item anterior. A descrição manterá a ordem abordada anteriormente com foco nas diferentes texturas presentes no dique.

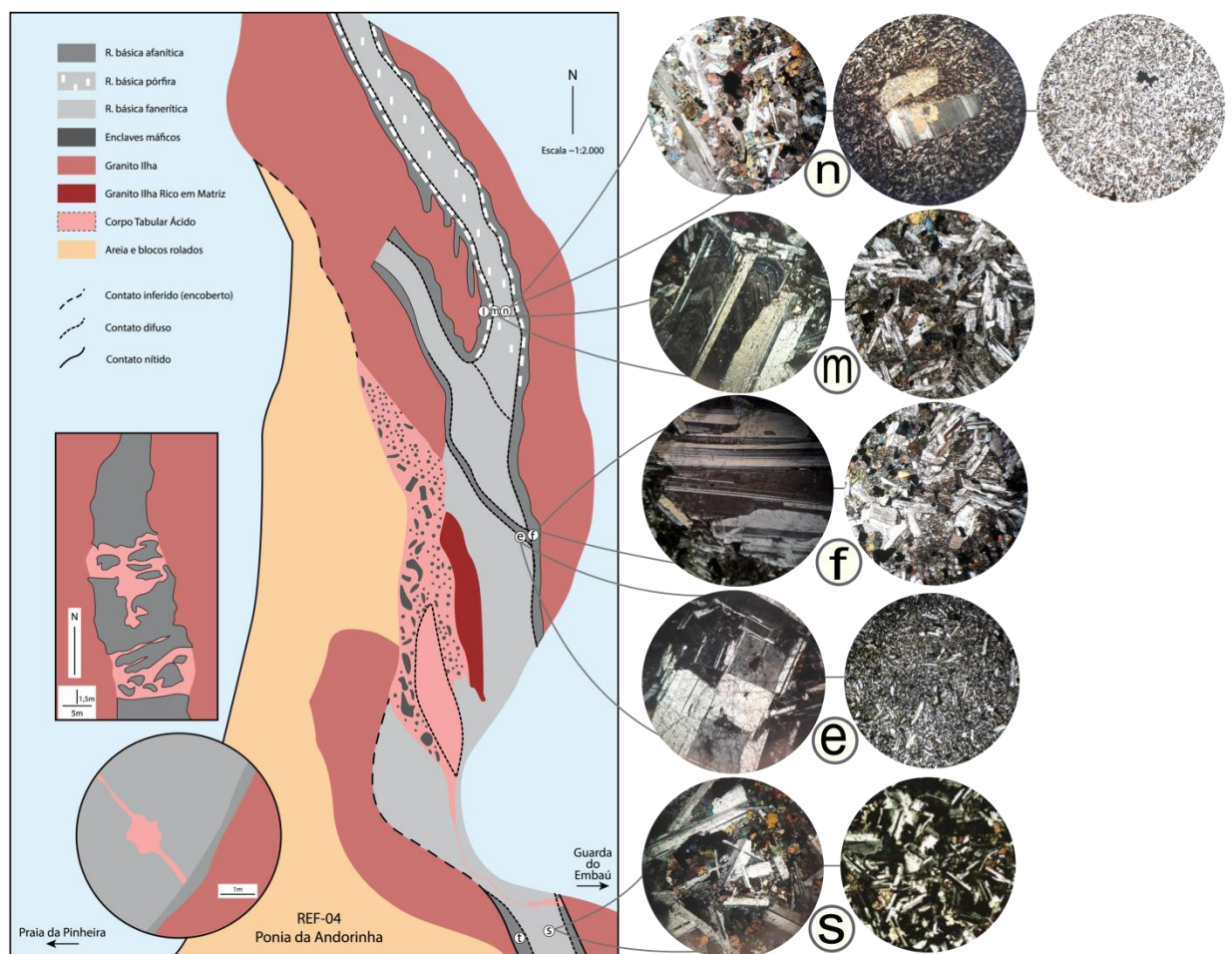
As porções foram definidas devido à distinção textural de cada um dos setores como presença de micropórfiros, diferenças texturais da matriz e a descrição da margem resfriada que secciona o centro do dique.

Neste ítem de petrografia os mesmos critérios serão considerados levando em conta também morfologia e mineralogia dos cristais, a proporção que aparecem em relação a matriz e suas relações de contato. Independente da porção analisada, todas as rochas são basaltos constituídos de plagioclásio e piroxênio. Opacos e apatitas são minerais comuns e, em algumas porções é observada mesóstase com intercrescimento entre quartzo e feldspato (Figura 5).

### 4.2.1 Porção Norte

Porção norte do dique principal, como descrito anteriormente, tem como característica a presença de micropórfiros de plagioclásio, por vezes zonados (REF-04m), concentrado nas margens resfriadas do dique e esparsas no centro do dique. A presença de pórfiros de plagioclásio tabulares, com bordas corroídas e matriz fina com textura intersertal, de plagioclásio subédricos e piroxênios xenomórficos (augita e pigeonita) e (Figura 12).

Figura 15 – Croqui dique aflorante na Ponta das Andorinhas, com a localização da coleta das amostras para confecção das lâminas petrográficas. Microfotografias das lâminas petrográficas analisadas com código da indicação referente ao código da amostra coletada. m) porção central do dique: a esquerda detalhe do micropórfiro esparsos de plagioclásio e a direita textura equigranular média; n) a esquerda textura equigranular da porção central do dique em contato com a margem resfriada, ao centro micropórfiros de ocorrência esparsa de plagioclásio e a direita textura equigranular fina; e) a esquerda porção central do dique de textura equigranular média e a direita margem resfriada de textura fina com ausência de micropórfiros; f) porções e textura heterogênea do centro do dique; s) porção central do dique com textura equigranular fina a média.



Fonte: Modificado de Honorato (2019).



Figura 16 – No setor norte do aforamento, as bordas apresentam textura microporfírica, com matriz intersertal.

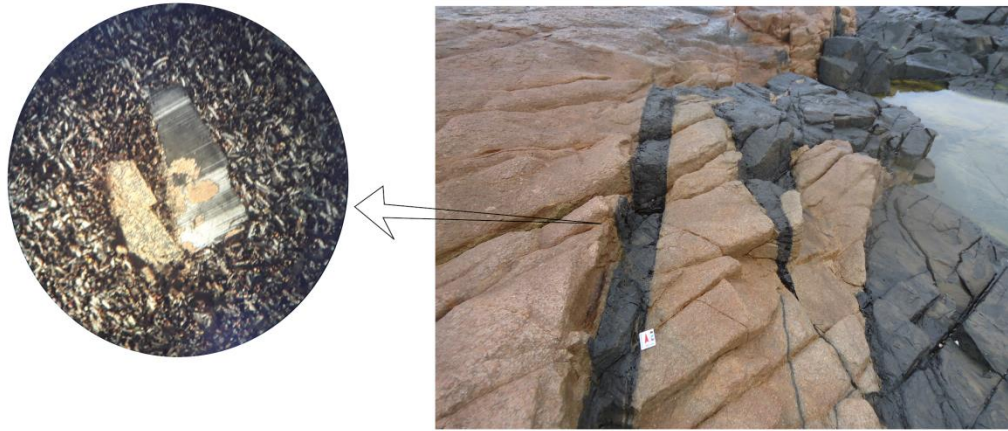
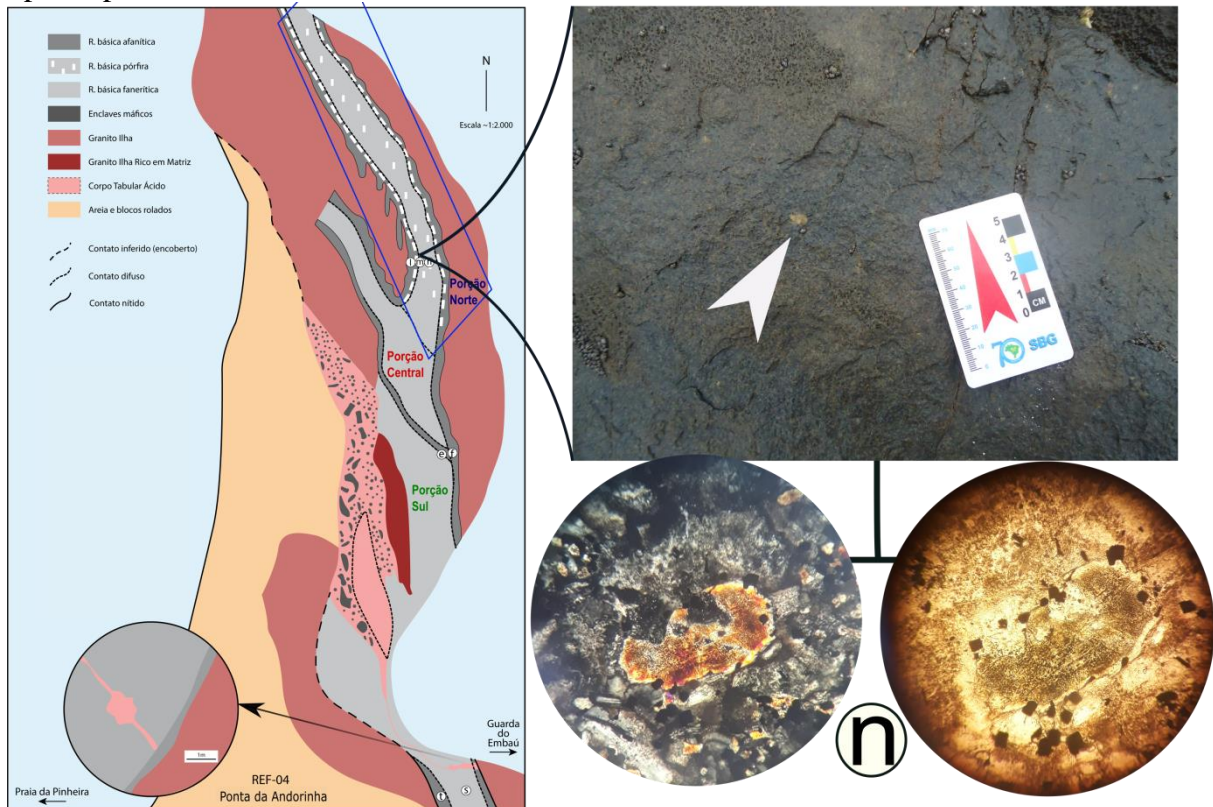


Figura 12 – Detalhe das texturas da amostra REF-04N, porção central do dique com alteração dos cristais de piroxênio e plagioclásio. A esquerda luz plano paralela e a direita luz plano paralela com nicóis cruzados.



Fonte: Modificado de Honorato (2019).

#### 4.2.2 Porção Central

A porção central do dique apresenta margem resfriada com textura fina e no centro do dique apresenta textura fina a média e pode localmente apresentar textura ofítica a

subofítica. Com composição principal de plagioclásio (labradorita-andesina) e clinopiroxênio (augita). Os minerais acessórios são óxidos de Fe-Ti (magnetita e ilmenita) e apatita acicular ou ocasionalmente prismática.

Nas lâminas de borda, REF-04F apresenta maior quantidade de micropórfiros de plagioclásio, com textura glomeroporfirítica. Na matriz os piroxênios são menores, de subédricos a arredondados e ocorrem sobre os plagioclásios, que comumente são mal formados, com morfologia irregular e com bordas corroídas (Figura 15.f). Os opacos são xenomórficos (magnetita e ilmenita).

Na lâmina REF-04E os plagioclásios são euédricos. (Figura 15.e) Os piroxênios (augitas) ocorrem nos interstícios, geralmente entre os plagioclásios. Muitas vezes aparecem corroendo os feldspatos, poucos euédricos, e comumente estão bastante alterados.

### **4.2.3 Porção Sul**

A porção sul do dique apresenta margem resfriada com textura fina e no centro do dique apresenta textura fina a média e pode localmente apresentar textura ofítica a subofítica.

Na amostra REF-04T, da porção de borda, a textura é predominantemente equigranular fina. Em contrapartida, na amostra REF0-4S, da porção central do dique, os cristais de plagioclásio na matriz são mais abundantes (Figura 15.s), sobretudo quando comparada a outra lâmina de centro (REF04E) da porção central do dique (Figura 15.e).

## 5 DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

A diversidade de texturas e, sobretudo sua distribuição ao longo do afloramento estudado sugere que não se trata de um dique simples, mas sim de um dique composto por múltiplas intrusões. Dada a mineralogia, bem como a proporção modal dos minerais é pouco variável, é evidente que este dique é um dique composto por múltiplas intrusões de magma exclusivamente basáltico, o que é confirmado pelos dados geoquímicos apresentados por Florisbal et al. (2017).

As diferenças texturais observadas, sobretudo ao longo de margens resfriadas descontínuas sugerem pelo menos três pulsos magmáticos para a composição do afloramento observado.

A consolidação de um magma pode envolver três processos discutidos na análise das características dos três diferentes setores do dique em estudo. Contudo, a dificuldade em traçar continuidade lateral das margens resfriadas que atestam estas diferentes intrusões, bem como observar relações claras de truncamento entre as mesmas, dificulta a determinação temporal da entrada destes magmas. Esta dificuldade de traçar as margens resfriadas advém de dois fatores principais: (i) os diferentes pulsos de magma são todos basálticos, logo tem baixo contraste de viscosidade e temperatura, o que permite que os mesmos sejam soldados ou mesmo retrabalhados a cada novo pulso resultando em obliteração do registro e (ii) a descontinuidade do próprio registro acrescida da sobreposição de sedimentos e matacões também constitui um fator complicador na definição da estratigrafia dos eventos magmáticos que compõe este dique composto.

Os trabalhos realizados nos exames de diques existentes na Praia da Pinheira identificaram a existência de auréolas termais no granito tanto nas zonas de contatos retos do dique básico com a encaixante granítica quanto nas zonas de contato difusos, marcada pela modificação textural, e a geração de fusão (TOMAZZOLI et al., 2018; FLORISBAL et al., 2014, 2017; BERNARDES, 2017; HONORATO, 2019).

De acordo com Florisbal et al. (2017), uma das hipóteses sugeridas para desencadeamento da fusão das rochas graníticas encaixantes nas regiões adjacentes aos diques é justamente a passagem de um grande volume de magma, na forma de variados pulsos por estes diques, que constituem os condutos dos derrames Alto-Ti do magma tipo Urubici. Neste contexto, a identificação de diques múltiplos, que são compostos por variados pulsos de magma, é coerente com a hipótese proposta. Ainda, considerando os diques como os condutos dos magmas ao longo da crosta, a identificação de diques básicos formados por múltiplas



intrusões sugere um processo de alimentação contínua nestas zonas de conduto, o que mantém a região aquecida, permite a geração de fusão e de interação entre os magmas básicos e os ácidos gerados na fusão. Esta interação permite processos de contaminação dos magmas ao longo dos condutos e pode ser inclusive o responsável pelas heterogeneidades químicas identificadas nas lavas do tipo Urubici e atribuídas por Peate et al. (1999) como relacionada a diferentes pulsos, fracionados em câmaras magmáticas intermediárias, e adicionados de assimilação crustal em nível raso.

## 6 CONCLUSÃO

O presente trabalho abordou as análises de campo e petrográficas do dique básico na Ponta das Andorinhas, Praia da Pinheira – SC. Foram levadas em consideração as análises de detalhe do afloramento e as relações de campo com a rocha encaixante. Estes estudos permitiram as seguintes conclusões:

O mapeamento de detalhe do contato do dique básico Eo-Cretáceo com a encaixante granítica neoproterozoica permitiu identificar a ocorrência de um dique com feições de borda e de centro que difere em três segmentos do corpo, os contatos irregulares, sinuosos e com feições que denunciam mútua intrusão da encaixante com os diques básicos.

As texturas e microestruturas identificadas nas diferentes porções do dique mostram que o mesmo não pode ser um dique simples, ou seja, formado por um único pulso de magma, mas que constitui um dique composto por múltiplas intrusões de diferentes pulsos de magma basáltico.

Os diques pertencentes ao Enxame de Diques Florianópolis não apresentaram até então, estudos de detalhe que buscam evidenciar porções distintas no mesmo dique. Recomenda-se, considerar a existência de múltiplas intrusões na construção dos diques que compõem o referido enxame, sobretudo no caso de estudos geoquímicos.

## 7 REFERÊNCIAS

ALMEIDA, F. F. M; CARNEIRO, C.D.R; BARTORELLI, A. Magmatismo pós-Paleozóico no Brasil. *In*: HASUI, Y .; CARNEIRO, C. D. R; ALMEIDA, F. F. M.; BARTORELLI, A. (Org). **Geologia do Brasil**. São Paulo: Beca Ed, p. 430-452, 2012.

BELLIENI, G.; COMIN-CHIARAMONTI, P; MARQUES, L. S; MELFI, A.J.; NARDY, A. J. R.; PAPATRECHAS, C.; PICCIRILLO, E.M.; ROISEMBERG, A.; STOLFA, D. Petrogenetic Aspects of Acid and Basaltic Lavas from the Paraná Plateau (Brazil): Geological, Mineralogical and Petrochemical Relationships. **Journal of Petrology**, v. 27, n. 4, p. 915-944, 1986.

BELLIENI, G., PICCIRILLO, E. M, COMIN-CHIARAMONTI, P., MELFI, A. J., & DA ROIT, P. Mineralquímica de vulcânicos estratóides continentais e intrusivos relacionados da bacia do Paraná (Brasil). **O Vulcanismo de inundação mesozóico da Bacia do Paraná**. Instituto Astronômico e Geofísico (USP), p. 73-92, 1988.

BELLIENI, G.; MONTES-LAUAR, C. R.; DE MIN, A.; PICCIRILLO, E. M.; CAVAZINNI, G; MELFI, A.J.; PACCA, I. G. (1990). Early and Late Cretaceous magmatism from São Sebastião island (SE-Brazil): geochemistry and petrology. **Geochimica Brasiliensis**, v. 1, n. 4, p. 59-83, 1990.

BERNARDES, E. G. **Estudo das auréolas termais e processos de fusão gerados na interface diques básicos Cretáceos do Enxame de Diques de Florianópolis e encaixantes graníticas Neoproterozoicas do Batólito Florianópolis. Praia da Pinheira, SC. 2017. 88p.** Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Curso de Geologia, Universidade de Santa Catarina, Florianópolis.

BITENCOURT, M. F., BONGIOLO, E. M., PHILIPP, R. P., MORALES, L. F. G., RUBERT, R. R., MELO, C. L. & LUFT Jr., J. L., Estratigrafia do Batólito Florianópolis, Cinturão Dom Feliciano, na Região de Garopaba-Paulo Lopes, SC. **Pesquisas em Geociências**, v. 35, n.1, p. 109-136, 2008.

COFFIN, M. F. & ELDHOLM, O. Grandes províncias ígneas: estrutura da crosta terrestre, dimensões e conseqüências. **Revisões da Geofísica**, v. 32, n.1, p. 1-36, 1994.

COMIN-CHIARAMONTI, Piero et al. High-TiO<sub>2</sub> basaltic dykes in the coastline of São Paulo and Rio de Janeiro States (Brazil). **Neues Jahrbuch**. Mineralogische Abhandlungen, v. 146, p. 133-150, 1983.

DECKART, Katja, FÉRAUD, G., S. MARQUES, L., BERTRAND, H.,. Novas restrições de tempo em enxames de diques relacionados à província magmática Paraná-Etendeka e subsequente abertura do Atlântico Sul, sudeste do Brasil. **Journal of Volcanology and Geothermal Research** , v. 80, n. 1-2, p. 67-83, 1998.

DIDIER, J. & BARBARIN, B. (Eds.). **Enclaves and granite Petrology**. Developments in Petrology. Amsterdam: Elsevier Science Pub. Co., n. 13, 625p. 1991.

FLORISBAL, L. M., HEARMAN, L.M., JANASI, V. A., BITENCOURT, M. F., 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**, v. 289, p. 140-150, nov. 2014.

FLORISBAL, L. M. et al. Geological, geochemical and isotope diversity of ~ 134 Ma dykes from the Florianópolis Dyke Swarm, Paraná Magmatic Province: Geodynamic controls on petrogenesis. **Journal of Volcanology and Geothermal Research**, [s.l.], v. 355, p.181-203, 2017. Elsevier Ed. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jvolgeores.2017.08.002>.

HONORATO, Alisson Rech. **Geologia, Petrografia e Geoquímica das rochas ácidas da Ponta da Andorinha, Praia da Pinheira-SC**: Processos de fusão de crosta rasa. 2019. 90p. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Curso de Geologia, Universidade de Santa Catarina, Florianópolis.

HUPPERT, H. E.; SPARKS, R. S. J. Chilled margins in igneous rocks. **Earth and Planetary Science Letters**, v. 92, n.3-4, p. 397-405, 1989.

JANASI, V. A.; DE FREITAS, V. A.; HEAMAN, L. H. The onset of flood basalt volcanism, Northern Paraná Basin, Brazil: A precise U-Pb baddeleyite/zircon age for a Chapecó-type dacite. **Earth and Planetary Science Letters**, v. 302, n. 1– 2, p. 147–153, 2011.

JANASI, V. A., BITENCOURT, M. F., MARTINS, L., HEAMAN, L. M., SHAULIS, B., STERN, R., Low-  $\delta^{18}\text{O}$  shallow-level Neoproterozoic A-type granites from the Florianópolis Batholith, south Brazil. *In:Book of Abstracts of the 8th Hutton Symposium on Granites and Related Rocks*, Florianópolis, Brazil, p. 49, 2015.

JERRAM, D. A., MOUNTNEY, N., HOLZFÖRSTER, F., STOLLHOFEN, H. Internal stratigraphic relationships in the Etendeka Group in the Huab Basin, NW Namibia. **Journal of Geodynamics**, v. 28, n. 4-5, p. 393–418, 1999.

JERRAM, Dougal. PETFORD, Nick. **Descrição de rochas ígneas**: guia geológico de campo. Tradução Ana Maria Pimentel Mizusaki, Rualdo Menegat. 2 ed. Porto Alegre: Bookman, p. 264, 2014.

MARQUES, L. S., BELLIENI, G., De MIN, A.; PICCIRILLO, E.M., 1993. O enxame de diques da Ilha de Santa Catarina: resultados geoquímicos preliminares. *In:Congresso Brasileiro de Geoquímica*, n. 4 p. 3-4, 1993.

MARQUES, L. S., 2001. **Geoquímica dos diques toleíticos da costa sul-sudeste do Brasil: contribuição ao conhecimento da Província Magmática do Paraná**. 2001. Tese de Doutorado. Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas, Universidade de São Paulo, São Paulo.

MARQUES, L. S.; ERNESTO, M. O magmatismo toleítico da Bacia do Paraná. Geologia do Continente Sul-Americano: evolução da obra de Fernando Flávio Marques de Almeida. *In:MANTESSO-NETO, V.; BARTORELLI, A.; CARNEIRO, C. D. R.; BRITO*

NEVES, B. B. (org.) **Geologia do continente Sul-Americano: evolução da obra de Fernando Flávio Marques de Almeida**, p. 245–263, 2004.

MARTELETO, N. S. **Caracterização geológica, petrográfica e geoquímica do enxame de diques de Florianópolis, província magmática Paraná-Etendeka**. 2014. 70 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Curso de Geologia. Instituto de Geociências. Universidade de São Paulo.

MARTELETO, N. S. **Geologia e petrologia do Enxame de Diques de Florianópolis na parte norte da Ilha de Santa Catarina**. 2017. 210 p. Dissertação (Mestrado) - Curso de Geologia, Universidade de São Paulo, São Paulo.

MARZOLI, A., RENNE, P. R., PICCIRILLO, E. M., ERNESTO, M., BELLINI, G., & De MIN, A. Extensive 200-million-year-Old continental flood basalts of the central atlantic magmatic province. **Science**, v. 284 n. 5414, p. 616-618, apr. 1999.

MOHRIAK, W. U.; SZATMARI, P.; ANJOS, S. Salt: geology and tectonics of selected Brazilian basins in their global context. **Geological Society, London, Special Publications**, v. 363, n. 1, p. 131-158, 2012.

MOTOKI, Akihisa. Classificação de Rochas Ígneas. **Descrição petrográfica de rochas ígneas**. Departamento de Mineralogia e Petrologia Ígnea da Universidade do Estado do Rio de Janeiro (DMPI/FGEL/CTC/UERJ), apostila didática para graduação, 2004. Disponível em: < [https://motoki5.tripod.com/Ign/Ign2004\\_3.pdf](https://motoki5.tripod.com/Ign/Ign2004_3.pdf) >.

MOULIN, Maryline; ASLANIAN, Daniel; UNTERNEHR, Patrick. A new starting point for the South and Equatorial Atlantic Ocean. **Earth-Science Reviews**, v. 98, n. 1-2, p. 1-37, 2010.

NARDY, AJR. **Geologia e petrologia das rochas vulcânicas mesozóicas da Região Central da Bacia do Paraná**. 1996. 316 f. Tese de Doutorado. Tese (Doutorado em Geociências)–Instituto de Geociências e Exatas, IGCE- Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, São Paulo.

NARDY, A. J. R.; OLIVEIRA, MAF de; BETANCOURT, RHS; VERDUGO, DRH., MACHADO, FB Geologia e Estratigrafia da Formação Serra Geral. **Revista Geociências**, v.21, n.2, p.15-32. 2002.

NARDY, A. J. R.; MACHADO, F.B.; OLIVEIRA, M.A.F. As rochas vulcânicas mesozóicas ácidas da Bacia do Paraná: litoestratigrafia e considerações geoquímico-estratigráficas. **Revista Brasileira de Geociências**, n. 1, v. 38, p.178-195, 2008.

PEATE, D. W.; HAWKESWORTH, C. J.; MANTOVANI, M. S. M. Chemical stratigraphy of the Paraná lavas (South America): classification of magma types and their spatial distribution. **Bulletin of Vulcanology**, n. 55, p. 119–139, 1992.

PEATE, D. W. et al. The Paraná-Etendeka Province. *In*: MAHONEY, J. J.; COFFIN, M. F. (eds.). **Large Igneous Provinces: Continental, Oceanic, and Planetary Flood Volcanism** Large Igneous Provinces: Continental, Oceanic, and Planetary Flood Volcanism. Geophysical Monograph of the American Geophysical Union. v. 100, p. 217–246, ago.1997.

PEATE, David W. et al. Petrogenesis and stratigraphy of the high-Ti/Y Urubici magma type in the Paraná flood basalt province and implications for the nature of ‘Dupal’-type mantle in the South Atlantic region. **Journal of Petrology**, v. 40, n. 3, p. 451-473, Mar. 1999.

PELLERIN, J. R. G. M, TOMAZZOLI, E. R., BAUZYS, F., BINI, G. M. P., EGAS, H. M; WILVERT, S. R. Mapeamento Geológico-Geomorfológico do Setor Norte da Ilha de Santa Catarina. **Revista de Geografia** (Recife), v. 27, n. 1, esp., p. 263-276, 2011.

PICCIRILLO, E. M.; COX, K. G. (1988a) – Origin of variation in the mafic rocks of the S. Parana basin. Extended Abstract of the **International Conference Geochemical Evolution Continental Crust**, Poços de Caldas, Brazil, p. 83-89, 1988.

PICCIRILLO, E. M., BELLINI, G.; COMIN-CHIARAMONTI, P.; ERNESTO, M.; MELFI, A. J. ; PACCA, I. G.; USSAMI, N. (1988b) Significance of the Paraná flood volcanism in the disruption of western Gondwanaland. *In*: Piccirillo, E.M. & Melfi, A.J. (eds), **The Mesozoic flood volcanism of the Paraná basin**: Petrogenesis and geophysical aspects. São Paulo: Instituto Astronômico e Geofísico, USP Editora, p. 285-295, 1988. 600p.

PICCIRILLO, E. M. et al. (1988c) Continental flood volcanism from the Paraná Basin (Brazil). *In*: MCDUGAL, G. D. (edt). **Continental Flood Basalts**. Petrology and Structural Geology. Dordrecht: Springer, v.3, n.1, p. 195-238, 1988. 341 p.

PINTO, V. M. et al. **A geocronologia Zircon U – Pb da província vulcânica bimodal do Paraná suporta um breve ciclo eruptivo em ~ 135 Ma**. *Chemical Geology* , v. 281, n. 1-2, pág. 93-102, 2011.

POLO, Liza; JANASI, Valdecir. **Volcanic stratigraphy of intermediate to acid rocks in southern Paraná Magmatic Province, Brasil**. *Jornal Geologia USP, Série Científica*, v. 14, p. 83-100, 2014.(<DOI: <https://doi.org/10.5327/Z1519-874X201400020005>>)

POLO, L. A. **Estilo eruptivo do vulcanismo ácido na Província Magmática Paraná-Etendeka**: Estudo estrutural, textural e químico de corpos de dacitos e obsidians na região a sul de Soledade, RS. 2010. Exame de Qualificação. Universidade de São Paulo. Instituto de Geociências. São Paulo, 2010.

RAPOSO, M. I. B.; ERNESTO, M.; RENNE, P. R. Paleomagnetism and  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  dating of the Early Cretaceous Florianópolis dike swarm (Santa Catarina Island), Southern Brazil. **Physics of the Earth and Planetary Interiors**, v. 108, n. 4, p. 275-290, Aug. 1998.

RENNE, P. R.; ERNESTO, M; PACCA, I. G.; COE, R. S.; GLEN, J. M.; PREVÓT, M; PERRIN, M. The age of Paraná flood volcanism rifting of Gondwanaland and the Jurassic-Cretaceous Boundary. **Science**. v.258, n. 5084, p.975-979, 1992.

RENNE, P. R.; DECKART, K.; ERNESTO, M.; FÉRRAUD, G.; PICCIRILLO, E. M. Age of the Ponta Grossa dike swarm (Brazil) and implications to Paraná flood volcanism. **Earth and Planetary Science Letters**, v. 144, n. 1-2, p. 199-211, 1996.

ROCHA-CAMPOS, A. C., CORDANI, U. G., KAWASHITA, K., SONOKI, H. M., SONOKI, I. K. Idade do Paraná vulcanismo de inundação. *In*: Piccirillo EM, Melfi AJ (Eds) **O Vulcanismo de Dilúvio Mesozóico do Paraná Bacia**: Aspectos Petrogenéticos e Geofísicos. Instituto Astronômico e Geofísico. Universidade de São Paulo Editora, p. 25-46, 1988.

TOMAZZOLI, E. R., MIZUSAKI, A. M. P., LIMA, E. F., FÉLIX, A., FIGUEIREDO, A. M. G. Rochas ácidas associadas ao Enxame de Diques Florianópolis na ilha do Arvoredo e na ilha de Santa Catarina (SC): dados geocronológicos preliminares. **Simpósio de Vulcanismo e Ambientes Associados**, n. 3. Cabo Frio, Rio de Janeiro, 2005.

TOMAZZOLI, E. R.; DE LIMA, E. F. Magmatismo acido-basico na ilha do Arvoredo (SC). **Revista Brasileira de Geociências**, v. 36, n. 1, p. 61-80, Mar. 2006.

TOMAZZOLI, E. R.; PELLERIN, J. M. Unidades do mapa geológico da ilha de Santa Catarina: as rochas. **Geosul**, Florianópolis, v. 60, n. 30, p.225-247, dez. 2015.

TOMAZZOLI, E. R.; PELLERIN, J. M.; NAZARETH, E. R.; MARTINS, C.; SOUZA, K. I. S.; MARINS, P. C. O.; PRESTES, L. D.; MINSKI, G. L.; SEGUNDO, EL; LALANE, H. C.; Aspectos geológicos e geomorfológicos da Praia da Pinheria, Palhoça (SC). *In*: **Sinageo, paisagem e geodiversidade**: valorização do patrimônio geomorfológico brasileiro. Crato (CE), n. 12, maio, 2018. Disponível em: <<http://www.sinageo.org.br/2018/trabalhos/2/2-481-208.html>>. Acesso em: maio 2020.

TOMBA, C. L. B. Análise estrutural dos enxames de diques máficos eocretáceos do Sul-Sudeste do Brasil. 2012. 133p. Tese de Doutorado. Instituto de Astronomia e Geologia. Universidade de São Paulo.

UFRGS. **Mapeamento Geológico 1: 25 000 de parte das folhas Paulo Lopes (MI2909/4) e Imbituba (2925/2)**, SC. Porto Alegre: 1999 vol. 7. Trabalho de Graduação do Curso de Geologia. Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

TURNER, S.; REGELOUS, M; KELLEY, S.; HAWKSWORTH, C.; MANTOVANI, M. M. S. Magmatism and continental break-up in the South Atlantic: high precision  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  geochronology. **Earth and Planetary Science Letters**, v. 121, n. 3-4, p. 333-348, 1994.

WAICHEL, B. L., LIMA, E. F., VIANA, A. R., SCHERER, C. M., BUENO, G. V., DUTRA, G. Stratigraphy and volcanic facies architecture of the Torres Syncline, Southern Brazil, and its role in understanding the Paraná–Etendeka Continental Flood Basalt Province. **Journal of Volcanology Geothermal Research**, v.216, p. 74-82, 2012.

WERNICK, E. **Rochas magmáticas: conceitos fundamentais e classificação modal, química, termodinâmica e tectônica.** [s.l.] UNESP, 2003.

ZALÁN, P. V., SEVERINO, M. C. G., RIGOTI, C. A., MAGNAVITA, L. P., OLIVEIRA, J. A., VIANNA, A. R.. An Entirely New 3D-View of the Crustal and Mantle Structure of a South Atlantic Passive Margin – Santos, Campos and Espírito Santo Basins, Brasil, Convenção Anual AAPG . Houston: AAPG., 12 p. abr./ago. 2011. Disponível em: <[https://www.searchanddiscovery.com/pdfz/documents/2011/30177zalan/ndx\\_zalan.pdf.html](https://www.searchanddiscovery.com/pdfz/documents/2011/30177zalan/ndx_zalan.pdf.html)>