



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

Gustavo Treméa Kothe

**MACIÇO ALCALINO DE ANITÁPOLIS:
ASPECTOS PETROGRÁFICOS E GEOCRONOLOGIA**

Florianópolis
2024

Gustavo Treméa Kothe

**MACIÇO ALCALINO DE ANITÁPOLIS:
ASPECTOS PETROGRÁFICOS E GEOCRONOLOGIA**

Trabalho de Conclusão de Curso submetido ao curso de Geologia do Centro de Filosofia e Ciências Humanas da Universidade Federal de Santa Catarina como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Geologia.

Orientador(a): Prof. Dr. Edison Ramos Tomazzoli

Florianópolis
2024

Kothe, Gustavo Treméa

MACIÇO ALCALINO DE ANITÁPOLIS: ASPECTOS PETROGRÁFICOS E
GEOCRONOLOGIA / Gustavo Treméa Kothe ; orientador, Edison
Ramos Tomazzoli, 2024.

72 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) -
Universidade Federal de Santa Catarina, Centro de
Filosofia e Ciências Humanas, Graduação em Geologia,
Florianópolis, 2024.

Inclui referências.

1. Geologia. 2. Alcalinas. 3. Petrografia. 4.
Geocronologia U-Pb. 5. Anitápolis. I. Tomazzoli, Edison
Ramos. II. Universidade Federal de Santa Catarina.
Graduação em Geologia. III. Título.

Gustavo Treméa Kothe

**MACIÇO ALCALINO DE ANITÁPOLIS:
ASPECTOS PETROGRÁFICOS E GEOCRONOLOGIA**

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi julgado adequado para obtenção do título de Bacharel e aprovado em sua forma final pelo Curso de Geologia.

Florianópolis, 20 de dezembro de 2024.

Prof. Dr. Roberto Sacks de Campos
Coordenador do Curso

Banca examinadora

Prof. Dr. Edison Ramos Tomazzoli
Orientador(a)

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

Prof. Dr. Roberto Sacks de Campos
Universidade Federal de Santa Catarina

Florianópolis, 2024

RESUMO

Este trabalho tem como objetivo descrever as rochas alcalinas do Maciço Alcalino de Anitápolis e realizar uma datação mais precisa da ocorrência. Para tanto, foram realizadas descrições petrográficas de amostras coletadas no interior e na periferia do maciço, além de datação dos zircões de um nefelinito por U-Pb em LA-ICP-MS, com o intuito de atualizar a classificação de alguns litotipos já descritos anteriormente por outros autores, obter idades relativas pela relação xenólito-encaixante e também idade absoluta. Os resultados apresentam a descrição de sete amostras, são elas: nefelinito, nefelinito fonolítico, titanita-biotita piroxênito, apatita-piroxênio biotítico, carbonatito, quartzo carbonatito e biotita sienogranito (rocha encaixante), assim como pode se obter conhecimento de ordem de ocorrência de algumas rochas, tanto quanto a idade absoluta do maciço e da rocha encaixante. O estudo mostra que o titanita-biotita piroxênito, nefelinito fonolítico e quartzo carbonatito são identificados pela primeira vez. O nefelinito possui xenólitos de álcali sienito, ijolito, melteigito e piroxênito, demonstrando que é posterior a estas litologias, assim como o fato de ter alteração nas bordas da nefelina para cancrinita sugere que a injeção do veio carbonático é posterior ou contemporâneo ao nefelinito. As datações absolutas forneceram resultados de $602,3 \pm 4,3$ Ma para a rocha encaixante do maciço e 131 ± 11 Ma para o nefelinito. Este estudo contribui para pesquisa de rochas alcalinas continentais da região meridional da plataforma brasileira.

Palavras-chave: Rochas alcalinas. Anitápolis. Petrografia. Geocronologia U-Pb.

ABSTRACT

This study aims to describe the alkaline rocks of the Anitápolis Alkaline Massif and provide a more accurate dating of their occurrences. To achieve this, petrographic descriptions were made of samples collected from both the interior and the periphery of the massif, as well as U-Pb zircon dating from a nepheline syenite using LA-ICP-MS, with the objective of updating the classification of some lithotypes previously described by other authors, obtaining relative ages through the xenolith-host rock relationship, and also determining the absolute age. The results present the description of seven samples: nephelinite, phonolitic nephelinite, titanite-biotite pyroxenite, apatite-pyroxene biotitite, carbonatite, quartz-rich carbonatite, and biotite sienogranite (host rock), as well as providing insights into the chronological order of occurrence of some rocks, as well as the absolute age of the massif and its host rock. The study shows that titanite-biotite pyroxenite, phonolitic nephelinite, and quartz carbonatite are identified for the first time. The nepheline syenite contains xenoliths of alkali syenite, ijolite, melteigite, and pyroxenite, indicating that it is younger than these lithologies. Additionally, the alteration of nepheline to cancrinite suggests that the injection of the carbonatite vein is either later or contemporaneous with the nephelinite. The absolute datings provided results of 602.3 ± 4.3 Ma for the host rock of the massif and 131 ± 11 Ma for the nephelinite. This study contributes to the research on alkaline rocks in Brazil.

Keywords: Alkaline rocks. Anitápolis. Petrography. U-Pb Geochronology.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Mapa de localização da área de estudo. A) Mapa do Brasil com destaque para Santa Catarina; B) mapa de Santa Catarina com destaque para região de Anitápolis e C) mapa de Anitápolis com marcação da área de estudo.....	16
Figura 2 - Mapa de satélite da região do Maciço Alcalino de Anitápolis.....	17
Figura 3 - Subdivisão do Sistema Orogênico Mantiqueira. O segmento setentrional é o Orógeno Araçuaí; o segmento central inclui a porção sul do Orógeno Brasília e os orógenos Ribeira e Apiaí; e o segmento meridional inclui os orógenos Dom Feliciano e São Gabriel. As cores roxo e laranja indicam os terrenos que alojam os arcos magmáticos neoproterozoicos.	27
Figura 4 - Segmentação tectônica do CDF após as propostas de Basei et al. 2000.....	28
Figura 5 - Compartimentação tectônica do Escudo Catarinense.....	29
Figura 6 - Contexto geológico regional na região de Anitápolis.....	30
Figura 7 - Mapa litoestrutural do Complexo Alcalino de Anitápolis.....	32
Figura 8 - Diagrama TAS (Total álcali vs sílica).....	18
Figura 9 - Diagrama ternário dos feldspatóides.....	19
Figura 10 - Diagrama APF com as rochas de granulação fina.....	20
Figura 11 - Diagrama APF com as rochas de granulação grossa.....	20
Figura 12 - Seção transversal de um complexo alcalino carbonatítico petrograficamente zonado típico.....	21
Figura 13 - Diagrama modal feldspato alcalino-nefelina-piroxênio adaptado para a nomenclatura atual dada pela IUGS (LE MEITRE, 2002).....	22
Figura 14 - Distribuição das províncias alcalinas na região meridional da Plataforma Brasileira.....	23
Figura 15 - Idades de algumas intrusões alcalinas da Plataforma Sul-Americana.....	24
Figura 16 - Principais linhas estruturais na região da intrusão alcalina de Anitápolis: Linhas longas e finas: Fraturas, diaclases e lineamentos não discriminados; Linhas tracejadas: Falhas; Linhas pontilhadas: Fraturas radiais; Linhas Inter pontilhadas: Fraturas.....	36
Figura 17 - Dique alcalino na periferia do maciço.....	37
Figura 18 - Amostra serrada do nefelinito demonstrando seu aspecto textural.....	42
Figura 19 - Fotomicrografia (NP/NC) da amostra GTK01 com aumento de 2x demonstrando a textura porfirítica seriada marcada pela nefelina e aegerina augita.....	43
Figura 20 - Foto da pirita vista em lupa, escala: ponta de caneta esferográfica.....	44

Figura 21 - Fotomicrografia (NP/NC) com 10x de aumento demonstrando a alteração da nefelina nas bordas para cancrinita.....	44
Figura 22 - Fotomicrografia da amostra GTK01 com aumento de 4x demonstrando uma visão geral da rocha com amígdalas alongadas preenchidas por zeólitas.....	45
Figura 23 - Fotomicrografia (NP/NC) com aumento de 2x. Xenólito de ijolito com oicocristais de nefelina com inclusões de clinopiroxênio e biotita flutuando na matriz do nefelinito com um discreto halo de reação próximo as biotitas.....	46
Figura 24 - Fotomicrografia (NP/NC) com aumento de 4x. Xenólito de melteigito com predomínio de clinopiroxênio sobre nefelina, biotita e apatita.....	46
Figura 25 - Fotomicrografia (NP/NC) com aumento de 2x. Xenólitos de biotita piroxênito imersos na matriz do nefelinito (GTK01).....	47
Figura 26 - Fotomicrografia (NP/NC) com aumento de 2x. Xenólito de álcali sienito (centro esquerda da imagem) de 2 cm com aegerina e feldspato alcalino (aegerinitização).....	47
Figura 27 - Fotomicrografia (NP/NC) com aumento de 10x. Xenocristal de biotita no centro com bordas de reação. Apatita idiomórfica abaixo e cristais de aegerina augita com leve zonação concêntrica.....	48
Figura 28 - Fotomicrografia (NP/NC) com aumento de 2x. Xenocristal de feldspato alcalino com inclusões de nefelina, aegerina augita, biotita e apatita. Na parte superior do xenocristal pode se notar porções parcialmente reabsorvidas e com um pequeno halo de reação.....	48
Figura 29. Fotomicrografia (NC) com aumento de 2x. Megacristal de sanidina com inclusões de nefelina euédrica e aegerina augita.....	49
Figura 30 - Fotomicrografia (NP) com aumento de 10x. Aspecto textural da amostra GTK02, com destaque para fenocristais de sanidina e nefelina imersos em matriz com orientação de fluxo.....	50
Figura 31 - Fotomicrografia (NP/NC) com aumento de 2x. Do aspecto textural da amostra GTK03 onde da para perceber uma leve tendencia de orientação dos grãos de piroxênio, de acamadamento incipiente, “bolsões” de biotita, assim como biotita dispersa no canto superi	51
Figura 32 - Fotomicrografia (NP) com aumento de 2x apresentando o aspecto textural e a abundância de titanita na amostra (cristais beges).....	51
Figura 33 - Fotomicrografia com aumento 10x em NP onde é possível identificar duas populações de opacos, chadacristais quadrados menoers a esquerda da figura, e cristais xenomórficos proximo as biotitas.....	52
Figura 34 - Amostra de apatita-piroxênio biotitito.....	53

Figura 35 - Fotomicrografia (NP/NC) com aumento de 2x demonstrando o aspecto textural cumulático e o bandamento composicional discreto.....	53
Figura 36 - Fotomicrografia (NP) 4x. Textura coronítica da titanita sobre opaco.....	54
Figura 37 - Fotomicrografia (NC) 2x. Aspecto textural da amostra com cristais xenomórficos com contatos lobados.....	55
Figura 38 - Amostra de quartzo carbonatito.....	56
Figura 39 - Fotomicrografia (NC) 2x. Aspecto textural, cristais romboédricos de carbonato imerso em quartzo com contato reto ou lobado.....	56
Figura 40 - Fotomicrografia (NC) 4x. Intercrescimento de quartzo e calcita. (obs: partes pretas são partes da calcita arrancadas no polimento, ou bolhas).....	57
Figura 41 - Foto da amostra de biotita sienogranito, logo acima da escala da para notar o pórfiro de ortoclásio imerso em matriz média composta por quartzo, plagioclásio e biotita... ..	58
Figura 42 - Imagens de catodoluminescência da primeira população de zircões analisada....	59
Figura 43 - Diagrama das idades (LA-ICP-MS) em U-Pb da primeira população de zircões analisada.....	59
Figura 44 - Imagens de catodoluminescência da segunda população de zircões analisada.....	60
Figura 45. Diagrama de idades LA-ICP-MS em barras para a segunda população de zircões.	61

LISTA DE QUADROS

Quadro 1. Idades em K-Ar do Complexo Alcalino de Anitápolis, valores em Ma.....	40
--	----

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Síntese dos dados geocronológicos obtidos da primeira população de zircões analisado.....	60
Tabela 2 - Síntese dos dados geocronológicos obtidos da segunda população de zircões analisado.....	61

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

Ag	Aegerina Augita
Amg	Amigdalas
Ap	Apatita
Bt	Biotita
C	Carbonato
CPRM	Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais
Cr	Cancrinita
Eg	Aegerina
ETR's	Elementos Terras Raras
ILM	Industrias Luchsinger Madurin S.A.
IUGS	<i>International Union of Geological Society</i>
LA-ICP-MS	<i>Laser Ablation Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry</i>
M'	Índice de coloração
MEV	Microscópio eletrônico de varedura
Ms	Muscovita
MSWD	Mean Square of the Weighted Deviation
NC	Nicóis cruzados
Ne	Nefelina
NP	Nicóis paralelos
Op	Opacos
Q	Quartzo
tr	Mineral traço
UFSC	Universidade Federal de Santa Catarina
X	Xenólito

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	15
1.2 OBJETIVOS.....	15
1.2.1 Objetivos principais.....	15
1.2.2 Objetivos específicos.....	15
1.3 JUSTIFICATIVA.....	15
1.4 LOCALIZAÇÃO E ACESSOS.....	16
2. REVISÃO TEÓRICA.....	18
2.1 CONCEITOS BÁSICOS DE ROCHAS ALCALINAS.....	18
2.2 MAGMATISMO ALCALINO CONTINENTAL NO BRASIL.....	22
2.2.1 Idades.....	24
2.3 GEOLOGIA REGIONAL.....	26
2.3.1 Província Mantiqueira.....	26
2.3.1.1 Cinturão Dom Feliciano.....	27
2.3.1.1.1 Escudo Catarinense.....	28
2.3.1.1.1.1 Batólito Florianópolis.....	29
2.3.1.1.1.1.1 Suíte Paulo Lopes.....	29
2.4. ROCHA ENCAIXANTE.....	31
2.5. O MACIÇO ALCALINO.....	31
2.6 TRABALHOS ANTERIORES.....	34
3. MATERIAIS E MÉTODOS.....	40
3.1 REFERÊNCIAL TEÓRICO.....	40
3.2 PETROGRAFIA.....	40
3.3 GEOCRONOLOGIA.....	40
4. RESULTADOS.....	42
4.1 PETROGRAFIA.....	42
4.1.1 Nefelinito (GTK01).....	42

4.1.2 Nefelinito fonolítico (GTK02).....	49
4.1.3 Titanita-biotita piroxênio (GTK03).....	50
4.1.4 Apatita-piroxênio biotítico (GTK04).....	52
4.1.5 Carbonatito (GTK05).....	54
4.1.6 Quartzo carbonatito (GTK06).....	55
4.1.7 Biotita sienogranito (GTK07).....	57
4.2 GEOCRONOLOGIA.....	58
5 DISCUSSÕES.....	62
5.1 PETROGRAFIA.....	62
5.2 GEOCRONOLOGIA.....	63
6 CONCLUSÃO.....	64
ANEXO A- Fichas petrográficas das amostras descritas.....	70

1 INTRODUÇÃO

O Maciço Alcalino de Anitápolis abrange uma depressão geomorfológica de área aproximadamente circular de 6 km² e está localizado próximo às nascentes do rio Pinheiros, a aproximadamente 17 km a NE da cidade de Anitápolis. O Maciço Alcalino de Anitápolis é estudado desde o início do século passado por ser portador de mineralização fosfatada e foi muito estudado até o final da década de 1980. Por ser a ocorrência alcalina de maior importância no sul do país (Gomes et al, 2020a e 2020b), já foi alvo de várias pesquisas, como o trabalho de Melcher & Coutinho (1966). Rodrigues (1985) e Furtado (1989) Scheibe *et al.* (2005) foram os últimos autores a apresentar trabalhos geológicos na área de estudo. Atualmente torna-se importante uma revisão nas descrições petrográficas e classificação dos litotipos, assim como uma datação mais precisa das rochas do maciço alcalino.

Neste trabalho será apresentado uma revisão dos trabalhos anteriores, petrográficos, petrológicos e geocronológicos, assim como uma revisão dos conceitos de rocha alcalina atualizado. Neste contexto, atualizar algumas classificações petrográficas e também reforçar os dados geocronológicos da unidade com datação por U-Pb.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivos principais

- Determinar a idade absoluta do nefelinito do Maciço Alcalino de Anitápolis.
- Fazer uma revisão petrográfica de algumas litologias do maciço alcalino.

1.2.2 Objetivos específicos

- Estabelecer as relações estratigráficas entre os litotipos do complexo, por exemplo, as do tipo xenólito-encaixante.
- Atualizar a classificação de alguns litotipos já descritos em outros estudos.

1.3 JUSTIFICATIVA

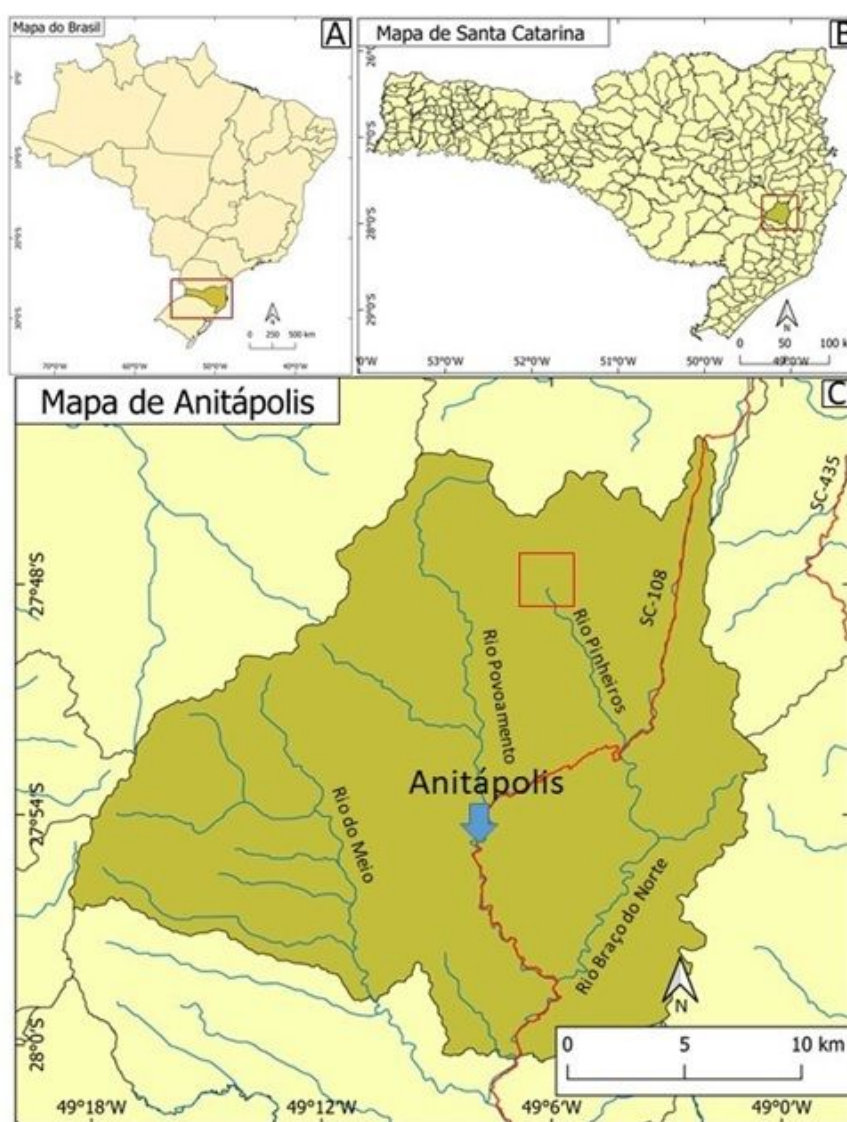
A escolha do tema se deve a importância que este complexo tem por ser alvo de estudos sobre a mineralização de fosfato. Sendo este complexo o mais importante economicamente da região Sul Brasileira. Entre os complexos alcalinos cretáceos que circundam a Bacia do Paraná, somente o de Jacupiranga, Poço de Caldas e Catalão estão datados em método U-Pb, todos no século atual. Existem, porém, já diversos estudos na área,

mas a maioria do século passado, com o conhecimento atualizado pode ser de mais fácil explicação para estudos futuros na parte de petrografia, petrologia e geocronologia.

1.4 LOCALIZAÇÃO E ACESSOS

O Maciço Alcalino de Anitápolis está localizado no leste do estado de Santa Catarina e está situado próximo às nascentes do rio Pinheiros, a aproximadamente 17 km NE da cidade de Anitápolis. Entre as coordenadas $27^{\circ} 48' S$ e $49^{\circ} 6' W$. (Figura 1).

Figura 1 - Mapa de localização da área de estudo. A) Mapa do Brasil com destaque para Santa Catarina; B) mapa de Santa Catarina com destaque para região de Anitápolis e C) mapa de Anitápolis com marcação da área de estudo (quadrado vermelho).



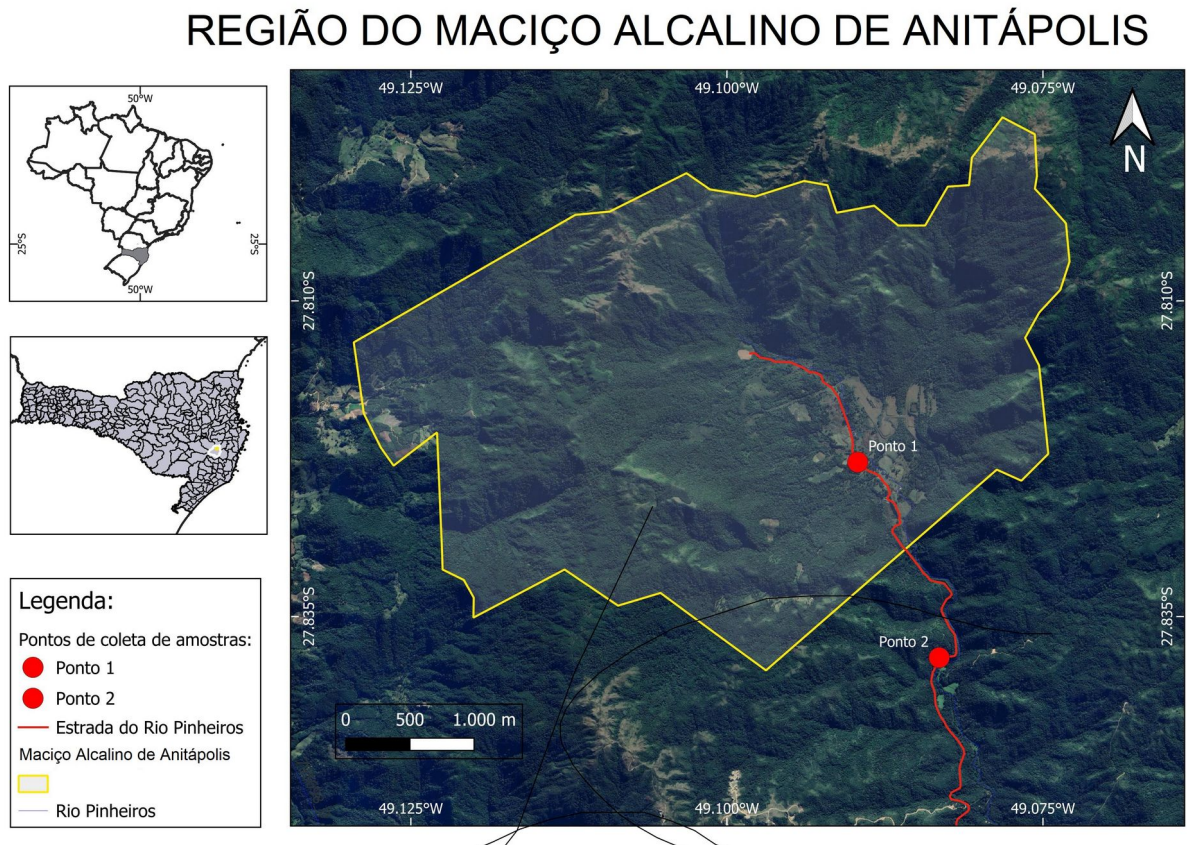
Fonte: elaborado pelo autor.

O acesso a partir de Florianópolis se faz pegando a BR-101, entrando no acesso da BR-282, seguindo a oeste até a cidade de Rancho Queimado, e então seguindo a sul nas

estradas SC-108/SC-281 chega-se ao município de Anitápolis. Antes de chegar na cidade entra-se na estrada de chão do Alto do Rio Pinheiros e segue até o final dela.

Além de dentro do próprio maciço alcalino, foi feito um ponto de amostragem na estrada do Alto do Rio Pinheiros, cerca de 600 metros antes de chegar (Figura 2).

Figura 2 Mapa de satélite da região do Maciço Alcalino de Anitápolis.



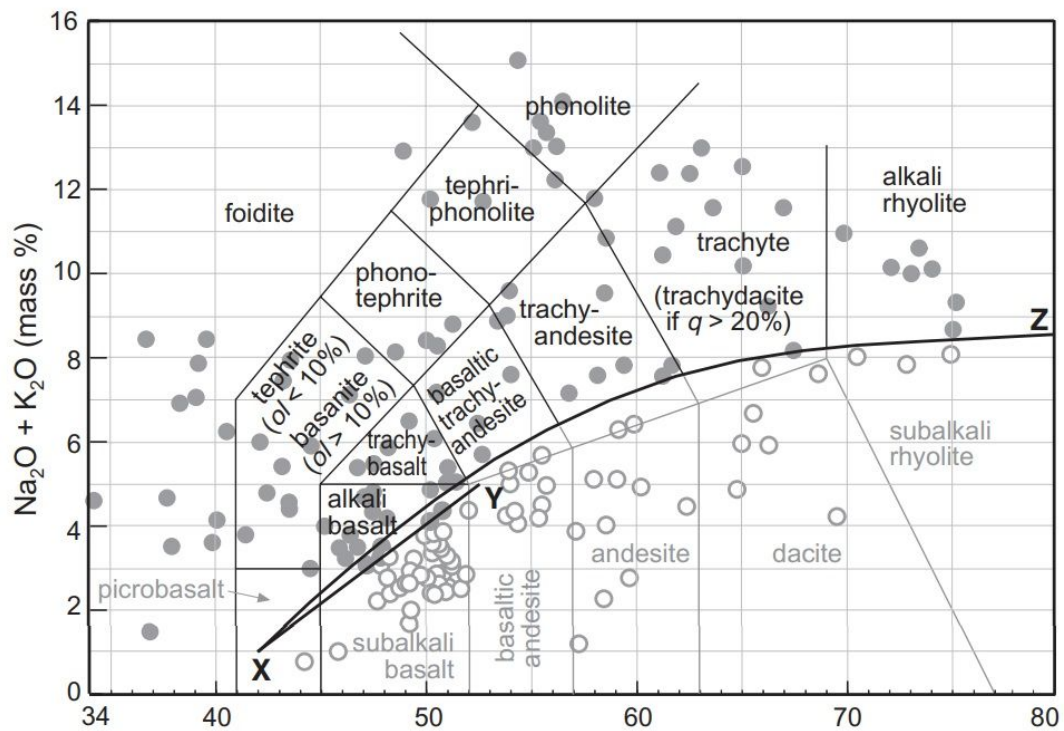
Fonte: Autor (2024).

2. REVISÃO TEÓRICA

2.1 CONCEITOS BÁSICOS DE ROCHAS ALCALINAS

Rochas alcalinas são aquelas com teores de álcalis (Na,K) relativamente elevados, quando fortemente insaturadas em sílica são chamadas de ultra-alcalinas e quando supersaturadas são peralcalinas (LE BAS, 1987). Podem ser agrupadas em rochas alcalinas sódicas e rochas alcalinas potássicas. Quanto ao quimismo, no diagrama TAS são consideradas alcalinas todas acima da curva X-Z (Figura 3).

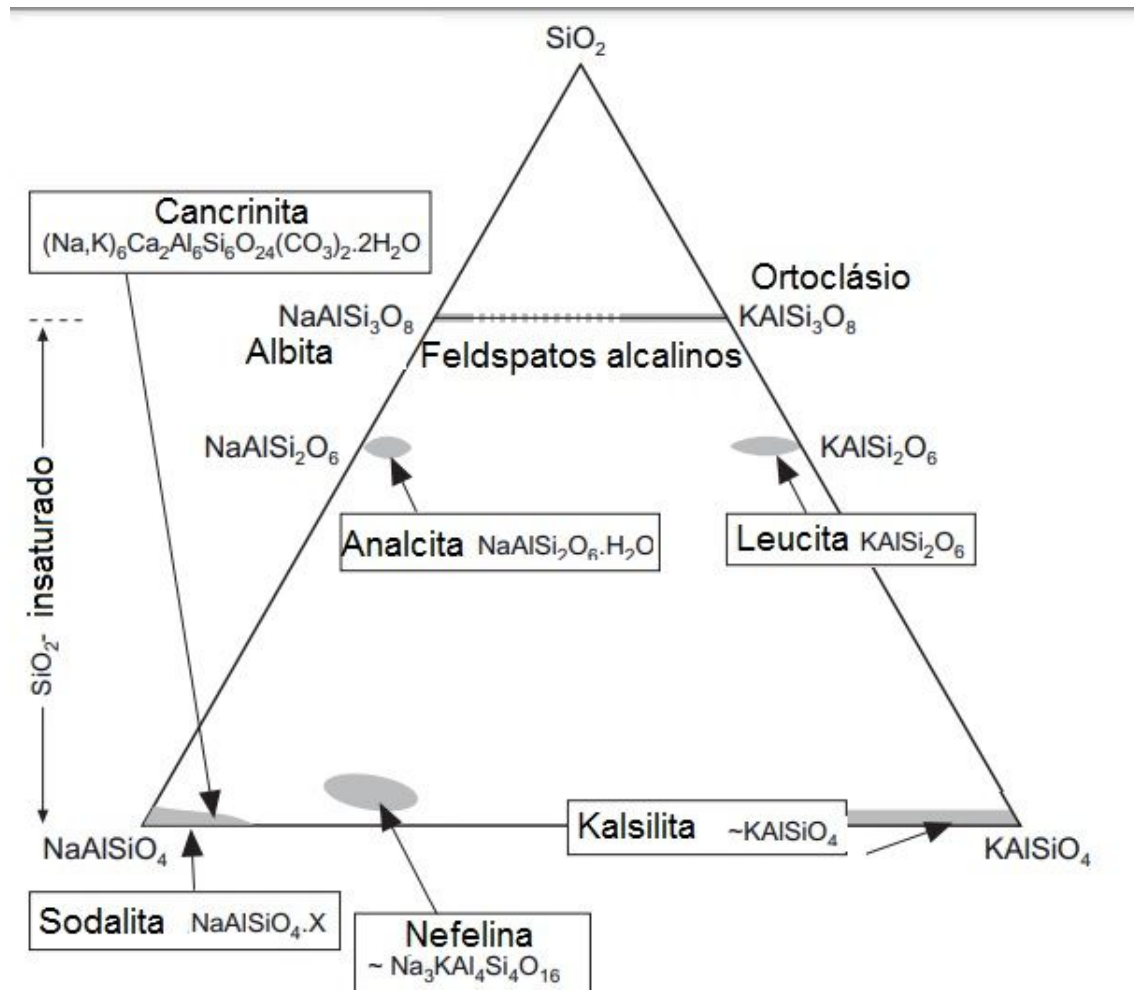
Figura 3 - Diagrama TAS (Total álcali vs sílica).



Fonte: Gill (2014)

As rochas alcalinas sódicas ocorrem preferencialmente em zonas de *rifts* continentais ou em regiões de epirogênese crustal decorrente de fenômenos mantélicos termais. São caracterizadas pela presença de feldspatóides (Figura 4) e/ou piroxênios e anfibólios alcalinos (SØRENSEN, 1986).

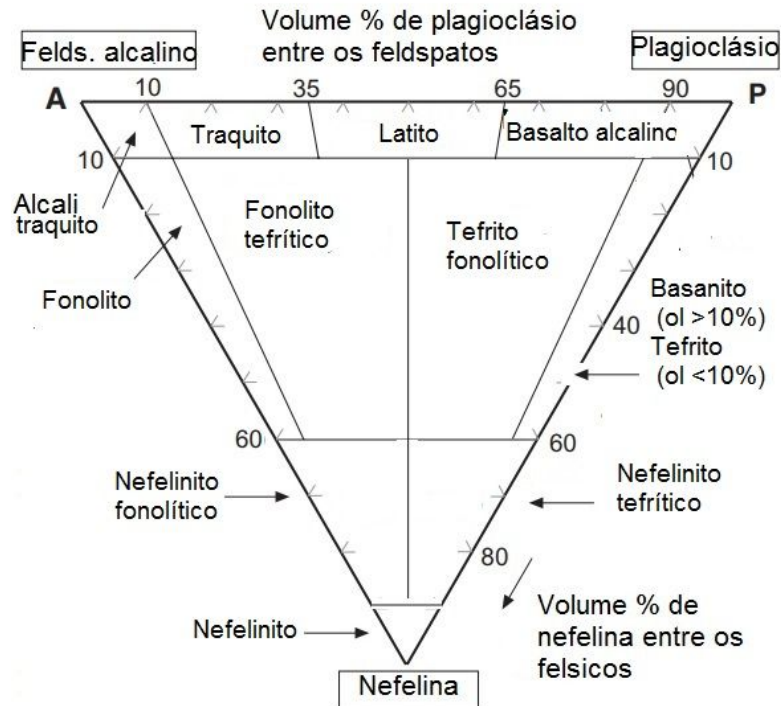
Figura 4 - Diagrama ternário dos feldspatóides.



Fonte: Modificado de Gill (2014)

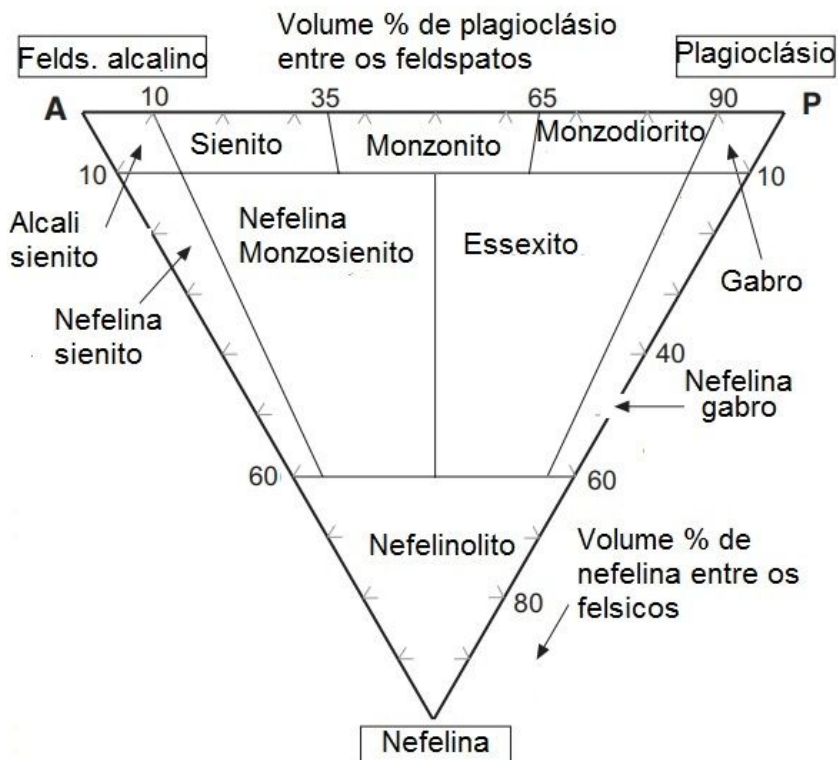
Todas as rochas do triângulo inferior do QAPF da classificação bitriangular de Streckeisen (1967) são rochas alcalinas (Figura 5 e 6), quanto no triângulo superior QAP, apenas são alcalinas as rochas que possuem $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}/\text{Al}_2\text{O}_3 > 1$ (em proporção molar), são rochas supersaturadas em sílica, possuem quartzo, são caracterizadas por presença de piroxênio e/ou anfibólios alcalinos e são chamadas de peralcalinas. As rochas sódicas alcalinas são separadas em três grupos: a) Rochas deficientes em Al_2O_3 , o excesso de álcalis constituem minerais máficos deficientes em Al, como piroxênios e anfibólios sódicos (aegerina, aegerina augita, riebeckita, arfvedsonita) possuem quartzo e são peralcalinas; b) Rochas deficientes em SiO_2 , o excesso de álcalis combinados com Al_2O_3 formam minerais insaturados em sílica como feldspatóides e melilita, biotita é um mineral clássico deste tipo de rocha, são chamadas de miskíticas e são ultralcalinas; c) Rochas deficientes tanto em Al_2O_3 quanto em sílica, contém tanto feldspatóides quanto minerais máficos alcalinos, e são chamadas de agpaíticas (SØRENSEN, 1974).

Figura 5 - Diagrama APF com as rochas de granulação fina



Fonte: Modificado de Gill (2014)

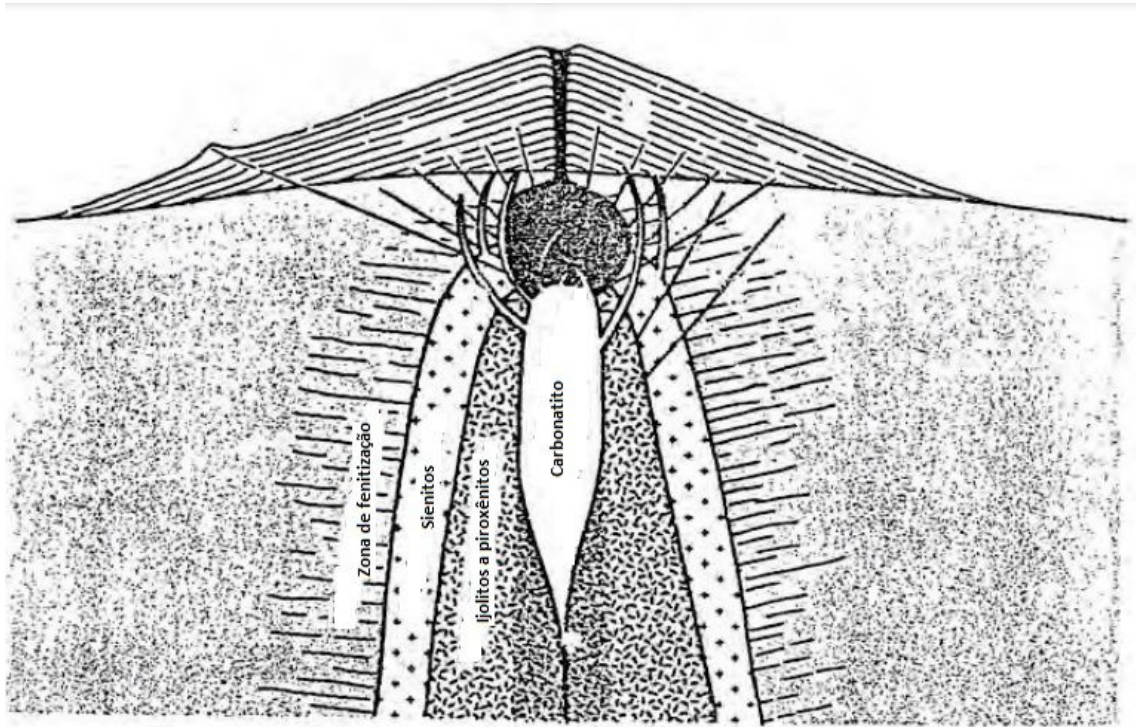
Figura 6 - Diagrama APF com as rochas de granulação grossa.



Fonte: Modificado de Gill (2014)

As rochas vulcânicas alcalinas mais comuns são os álcali-basaltos, fracamente sódicos, comuns em ilhas afastadas das cadeias meso-oceânicas, em ambientes intra-placas. São associados a rochas fortemente sódicas como nefelinitos e fonolitos. Os tipos intrusivos mais comuns são álcali-sienitos e nefelina sienitos, algumas vezes associados a carbonatitos em corpos zonados (Figura 7).

Figura 7 - Seção transversal de um complexo alcalino carbonatítico petrograficamente zonado típico.



Fonte: Modificado de Hyndman (1985).

Nefelina sienitos, álcali-sienitos, ijolitos e seus equivalentes vulcânicos variam de tipos saturados até fortemente insaturados em sílica. Os tipos plutônicos ocorrem como pequenos corpos intrusivos a hipoabissais com algumas centenas de km² de área (HYNDMAN, 1985). As variedades vulcânicas são relacionadas a vulcões ou derrames. Comumente ocorre uma auréola metassomática relacionada a intrusões ultra-alcalinas, formando fenitos a partir de um processo chamado fenitização (metassomatismo alcalino). Os fenitos são muito semelhantes aos nefelina sienitos, podendo ser confundidos.

Carbonatitos geralmente constituem a porção central de corpos petrograficamente zonados, como demonstrado na imagem acima, geralmente são essencialmente cálcicos (sövitos), mas raramente ocorrem tipos magnesianos (besforitos) como uma fase tardia. Geralmente gradam lateralmente para rochas da série ijolito (Figura 8), que são os nefelinolitos do triângulo APF para rochas plutônicas, rochas com teores variados de nefelina

e clinopiroxênio, são elas o urtito (>70% nefelina), o ijolito *sensu stricto* (nefelina>piroxênio) e melteigito (piroxênio>nefelina), quando a rocha é classificada como ultramáfica ($M' > 90$) o mineral predominante é o piroxênio, temos o piroxenito. Carbonatitos extrusivos ocorrem como lavas e rochas piroclásticas, associados com frequência a nefelinitos, rochas básicas ultra-alcálicas sódicas compostas essencialmente por nefelina e clinopiroxênio. (SØRENSEN, 1974)

Figura 8 - Diagrama modal feldspato alcalino-nefelina-piroxênio adaptado para a nomenclatura atual dada pela IUGS (LE MAITRE, 2002).



Fonte: Modificado de Gill (2014)

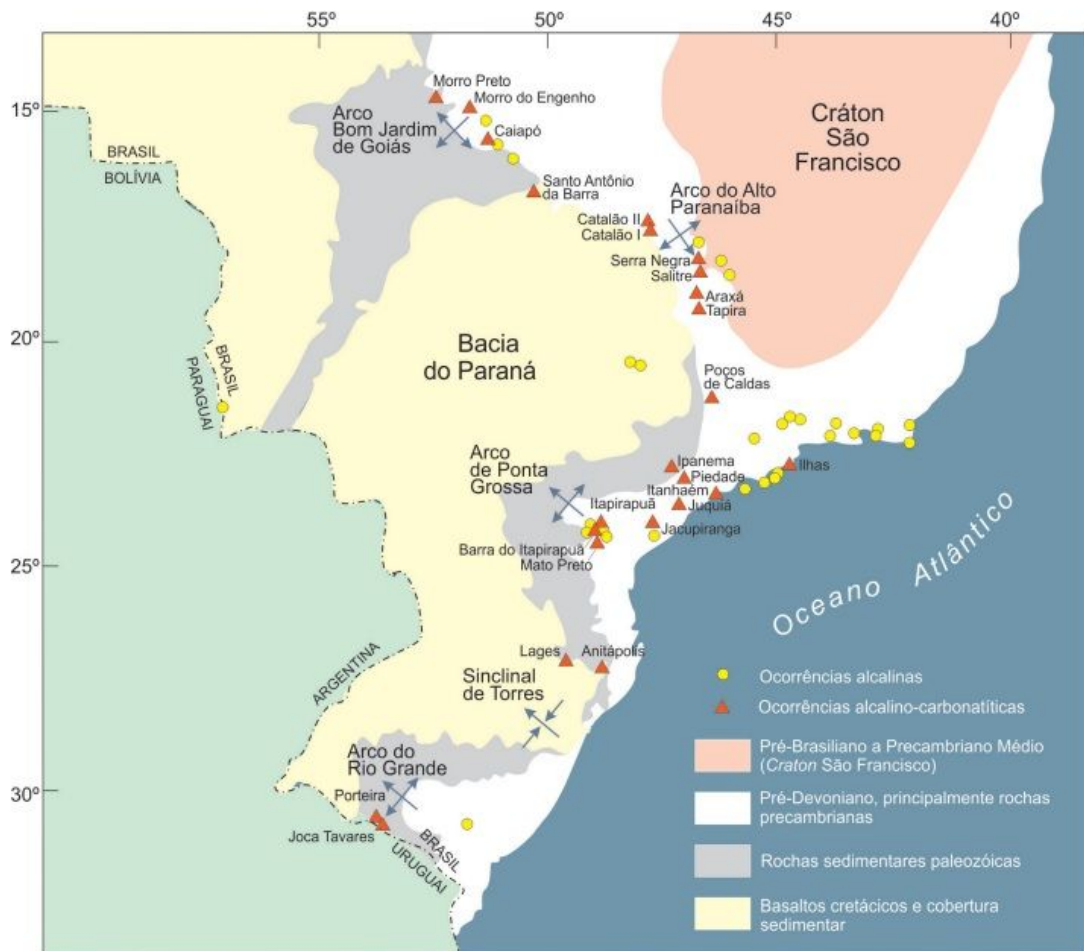
2.2 MAGMATISMO ALCALINO CONTINENTAL NO BRASIL

O magmatismo alcalino se manifesta em numerosos focos pelo território continental brasileiro, concentram-se principalmente junto as porções marginais da Bacia do Paraná, apresenta mais de 100 ocorrências, com grande heterogeneidade textural como resultado dos modos de ocorrências, plutônicas, hipoabissais e vulcânicas. Possui amplo espectro mineralógico, petrografia e química, além de largo espectro cronológico do pré-Cambriano ao Terciário, com maior incidência no Cretáceo inferior. É grande também a importância

econômica, pois constituem fontes de recursos minerais como nióbio, fosfatos, titânio, bauxita, terras raras e urânio (GOMES, RUBERTI & MORBILDELLI, 1990).

As rochas alcalinas no Brasil estão principalmente presentes na região sudeste e centro-oeste do território brasileiro, com alguns corpos localizados na região sul (Figura 9).

Figura 9 - Distribuição das províncias alcalinas na região meridional da Plataforma Brasileira



Fonte: Gomes (2020a).

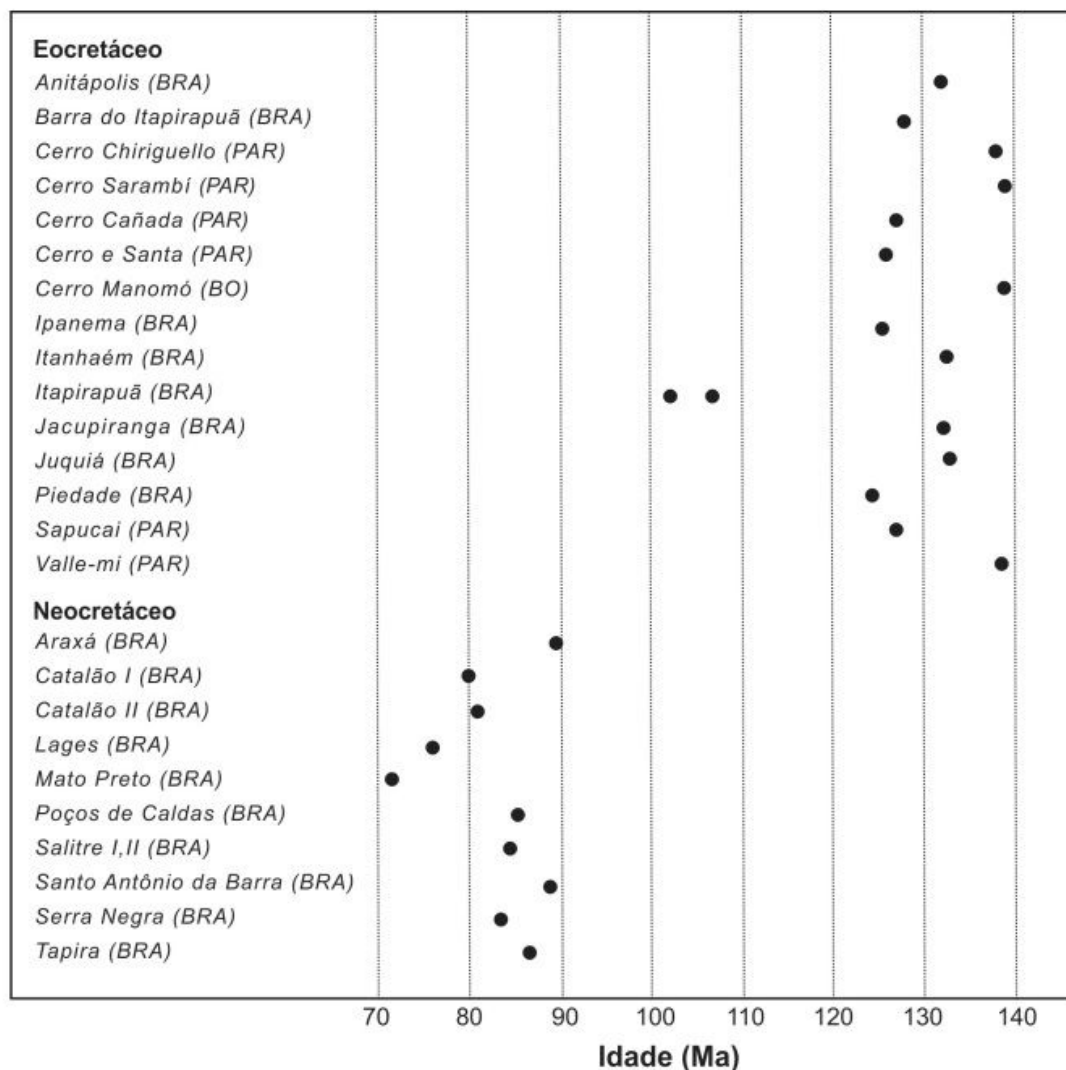
A distribuição geográfica dos distritos está geralmente relacionada ao condicionamento geotectônico, como mostra a imagem acima, está próximo a arcos, mas também a sinclinais e antécises, assim como em zonas de fraturas maiores de grande profundidade (GOMES e COMIN-CHIARAMONTI, 2017). Um exemplo da última é o Lineamento Magmático do Cabo Frio, que passa por Poços de Caldas e vai até o litoral do Rio de Janeiro. A maioria das contribuições do controle tectônico do magmatismo alcalino da Plataforma Sul-Americana são de Almeida (1971, 1972, 1991). Algarte (1972) diz que o arco de Ponta Grossa teve um papel marcante no condicionamento das intrusões alcalinas nos

estados de São Paulo e Paraná, fato comprovado por trabalhos posteriores. Almeida *et al.* (1967) salienta que o magmatismo alcalino brasileiro está associado a um grande processo diastrófico, uma reativação de zonas de fraqueza ocorrida a partir do Jurássico na região meridional da Plataforma Sul-Americana.

2.2.1 Idades

Até hoje, a principal fonte de informações geocronológicas das rochas alcalinas brasileiras é do trabalho de Amaral *et al.* (1967), que fez uma investigação pelo método K-Ar em dezenas de ocorrências existentes, incluindo Anitápolis. As idades dos complexos são demonstradas na imagem a seguir (Figura 10).

Figura 10 - Idades de algumas intrusões alcalinas da Plataforma Sul-Americana.



Fonte: Ulbrich e Gomes (1981)

Gomes e Comin-Chiaramonti (2017) separaram as idades radiométricas das alcalinas em torno da Bacia do Paraná em sete cronogrupos;

1. Evento do Permotriássico

Este evento é o mais antigo reconhecido ao redor da bacia do Paraná, está restrito a porção setentrional do território Paraguaio, próximo à fronteira com o Mato Grosso do Sul, onde as ocorrências estão tanto no Brasil em Porto Murtinho como no país vizinho, a idade está nos valores de 255 ± 11 Ma.

2. Evento do Eocretáceo de ~139 Ma

Evento que precede os derrames toleíticos do Grupo Serra Geral, que é de 134 Ma (THIEDE e VASCONCELOS, 2010). Evento representado no Paraguai e sudeste da Bolívia, onde no norte do Paraguai é expressado em diques basaníticos de orientação NE, reconhecidos na cidade de Valle-mí próximos a foz do rio Apa, no rio Paraguai. Esta atividade alcalina é de $138,7 \pm 0,2$ Ma e é do Eocretáceo.

3. Evento do Eocretáceo de ~130 Ma

Este evento é contemporâneo aos derrames basálticos toleíticos do Grupo Serra Geral, este assume grande importância no território brasileiro, engloba os complexos alcalino-carbonatítico da região do arco de Ponta Grossa no estado de São Paulo e Paraná, assim como em Santa Catarina é representado pelo complexo alcalino-carbonatítico de Anitápolis.

4. Evento do Eocretáceo de ~126 Ma

Posterior aos toleitos Serra Geral, é representado principalmente na porção leste do Paraguai, com principal ocorrência sendo a província vulcânica de Sapucaí com idade de 124 ± 07 Ma, associado ao rifte Assunção-Sapucaí-Villarica, feição tectônica de mais de 100 km de extensão e entre 25 a 45 km de largura, com orientação geral NW-SE.

5. Evento do Eocretáceo de ~118 Ma

Evento de presença restrita a porção meridional do Paraguai, com corpos em forma de *plugs* e diques com rochas vulcânicas como nefelinitos e ankaratritos com xenólitos mantélicos e fonolitos peralcalino, com idades de $119,8 \pm 03$ Ma (VELÁZQUEZ *et al.* 2006) e $118,3 \pm 1,6$ Ma (COMIN-CHIARAMONTI *et al.* 2007).

6. Evento do Neocretáceo de 90 a 80 Ma

Com notável expressão no território brasileiro, formou a maioria dos corpos alcalinos existentes na Plataforma Sul-Americana, com destaque para o maciço de Poços de Caldas que tem área superior a 800 km². O corpo alcalino de Lages, em Santa Catarina, também foi formado durante este evento, apesar de ter idade mais recente.

7. Evento do Neopaleoceno de ~58 Ma

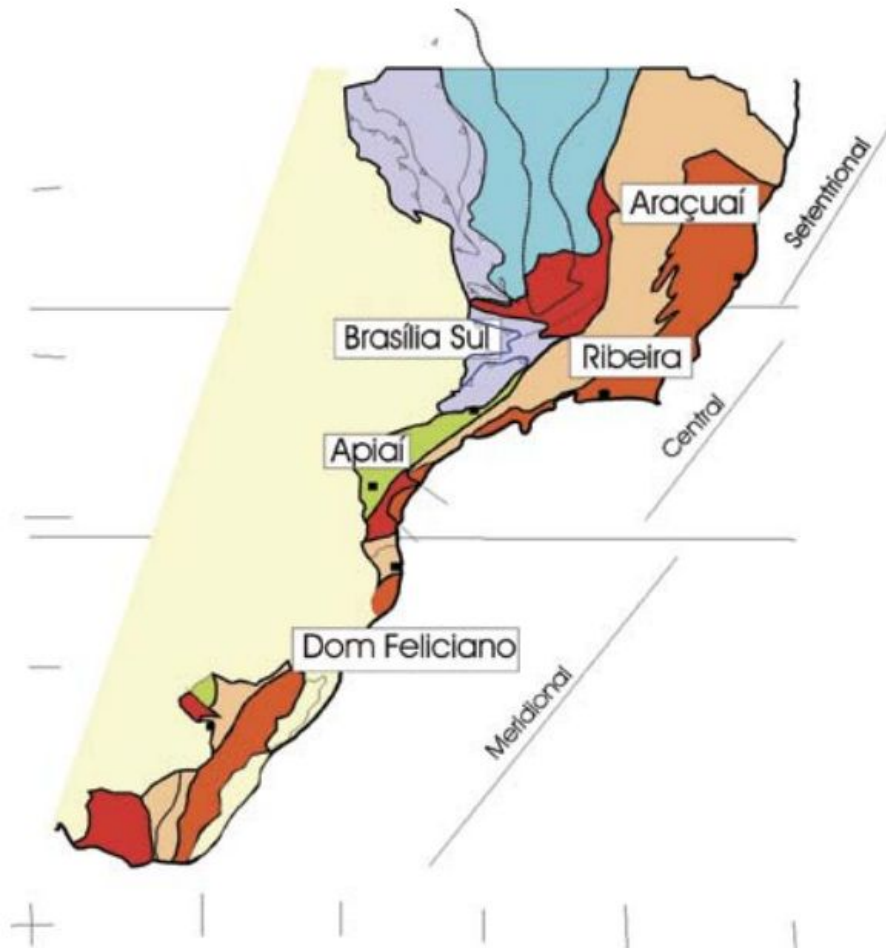
Evento de grande relevância no Paraguai Oriental, representado por um grande número de ocorrências de rochas vulcânicas como nefelinitos e ankaratritos com xenólitos mantélicos, como lavas, *plugs* e diques próximos a capital Paraguaia, Assunção, associados a grandes fraturas profundas, com reportagem de matérias mantélicos ascendentes de mais de 60 km de profundidade.

2.3 GEOLOGIA REGIONAL

2.3.1 Província Mantiqueira

O Complexo Alcalino de Anitápolis encontra-se inserido em meio a rochas graníticas do escudo cristalino de Santa Catarina na porção meridional da Província Mantiqueira (ALMEIDA *et al.* 1977) (Figura 11), onde foi reconhecido o Bloco Florianópolis (JOST & HARTMANN, 1984), que foi admitido como continuação do Cinturão Dom Feliciano por Fragoso Cesar (1980). Segundo este autor, o Cinturão seria uma unidade lito-estrutural composta por complexos metamórfico-migmatítico-graníticos derivados da retrabalhação Brasileira.

Figura 11 - Subdivisão do Sistema Orogênico Mantiqueira. O segmento setentrional é o Orógeno Araçuaí; o segmento central inclui a porção sul do Orógeno Brasília e os orógenos Ribeira e Apiaí; e o segmento meridional inclui os orógenos Dom Feliciano e São Gabriel. As cores roxo e laranja indicam os terrenos que alojam os arcos magmáticos neoproterozoicos.

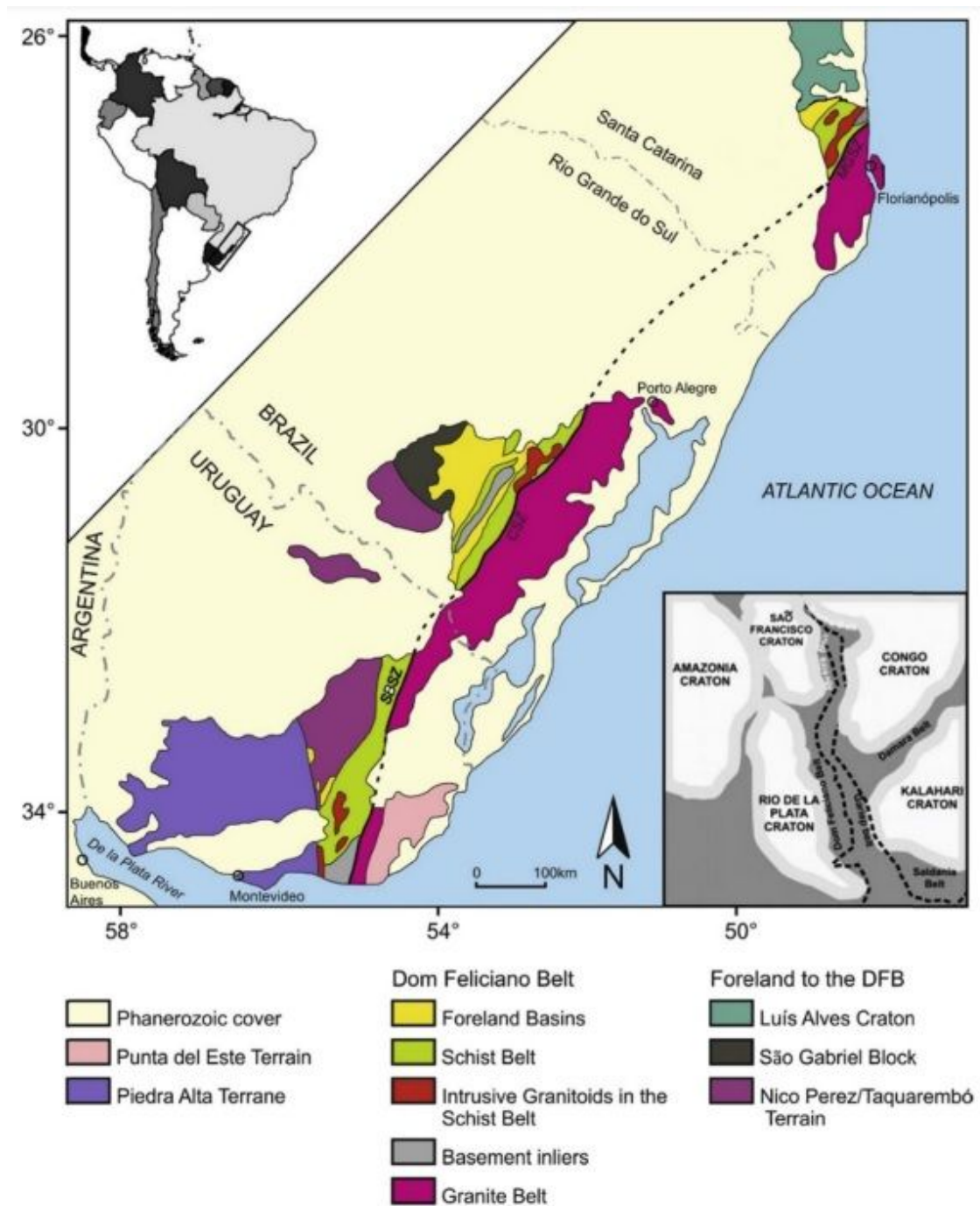


Fonte: Heilbron et al. (2004)

2.3.1.1 Cinturão Dom Feliciano

O Cinturão Dom Feliciano preenche uma faixa paralela a costa litorânea com direção SW-NE, estendendo-se por cerca de 1200 km de comprimento e 150 km de largura, ocupando desde o nordeste catarinense até o Uruguai (BASEI, 1985). O Cinturão foi compartimentado em três segmentos: Escudo Uruguaio, Escudo Rio-Grandense e Escudo Catarinense (Figura 12).

Figura 12 - Segmentação tectônica do CDF após as propostas de Basei et al. 2000.



Fonte: Hueck *et al.* (2016) *apud* Corrêa (2016).

2.3.1.1.1 Escudo Catarinense

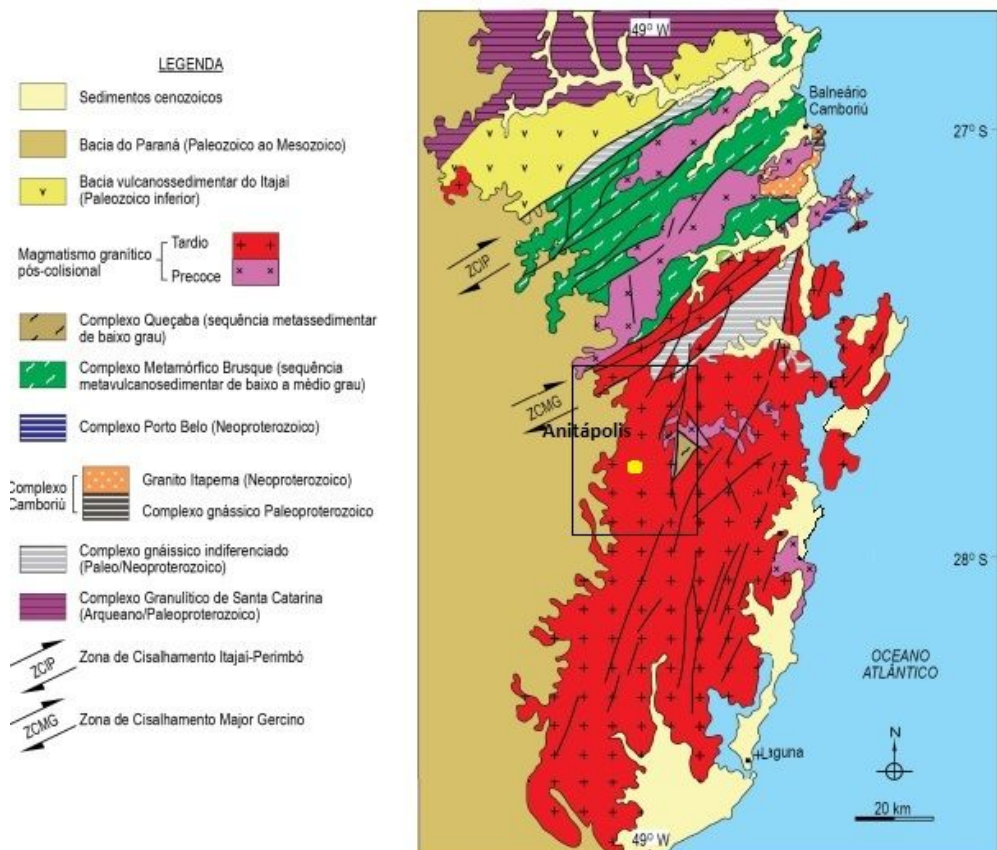
No Escudo Catarinense, Basei (1985) propôs a subdivisão do Cinturão Dom Feliciano em três domínios distintos, com orientação preferencial SW-NE: Domínio Externo ou *Foreland Basins* com rochas metassedimentares associadas a vulcânicas; Domínio Central ou *Schist Belt* com sequências metavulcanosedimentares de fácies xisto verde a

anfibolito com granitos intrusivos; e Domínio Interno ou *Granite Belt* com granitos alcalinos a cálcio-alcalinos com *roof pendants* metassedimentares.

2.3.1.1.1 Batólito Florianópolis

O Cinturão Granítico está na porção sul no Escudo Catarinense (Figura 13) e é denominado Batólito Florianópolis. Compreende rochas graníticas e vulcânicas neoproterozoicas entre 650 – 580 Ma e representa o maior volume de rochas plutônicas ácidas de Santa Catarina. É dividido em suítes: Paulo Lopes, Pedras Grandes, São Pedro de Alcântara e Suite Plutono-vulcânica Cambirela (BITENCOURT *et al.*, 2008).

Figura 13 - Compartimentação tectônica do Escudo Catarinense



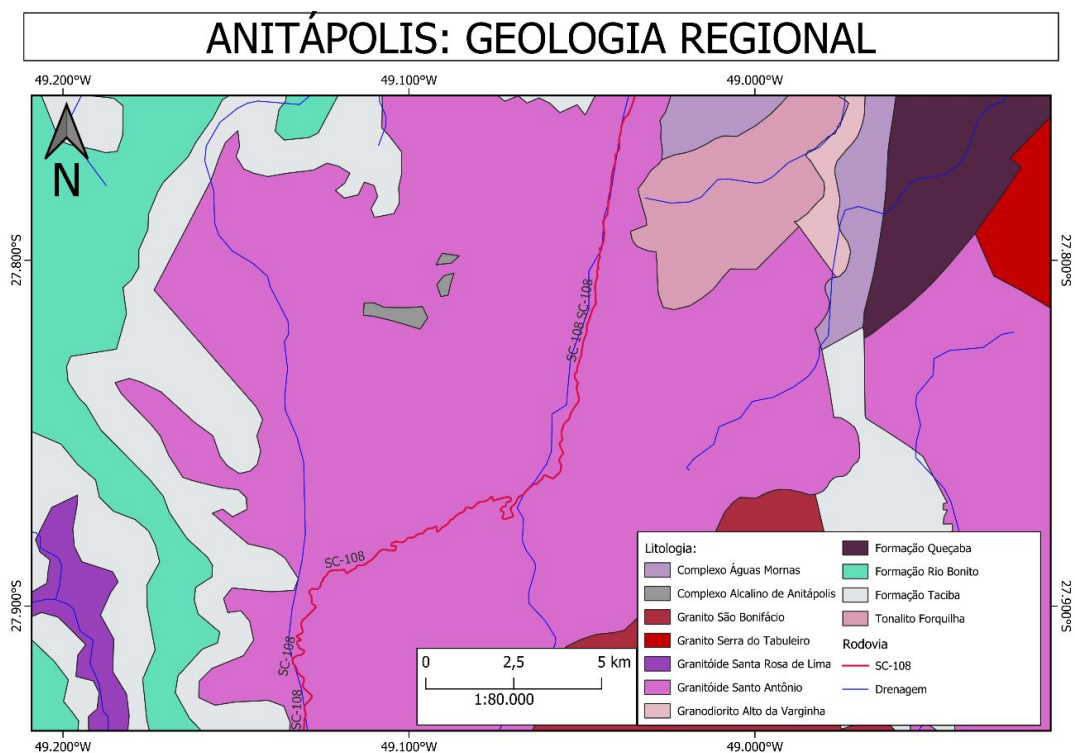
Fonte: modificado de Bitencourt (1996).

2.3.1.1.1.1 Suíte Paulo Lopes

A Suíte Intrusiva Paulo Lopes é constituída, segundo mapa da CPRM (2014) pelos Granitóides Santa Rosa de Lima de composição sieno a monzogranítica, subordinadamente grandiorítica com foliação milonítica característica desenvolvendo gnaisses, rochas miloníticas e protomiloníticas, com teores variáveis biotita, hornblenda, allanita e titanita. Granitóides Santo Antônio, com monzogranitos e subordinadamente tipos mais potássicos,

mesocráticos de textura porfirítica, com foliação bem desenvolvida e englobando xenólitos máficos. Gabro Silveira (BITENCOURT *et al.*, 2008) com microgabros, dioritos e quartzodioritos, textura equigranular fina a porfirítica, com hornblenda e biotita, raramente olivina, titanita e badeleita como acessórios principais, foliação pouco desenvolvida. Granito Paulo Lopes composto por por biotita monzo a sienogranitos porfiríticos foliados, de granulação média a grossa, foliação primaria bem desenvolvida subparalela a uma foliação milonítica restrita, com idade de 626 ± 8 Ma (U-Pb SHRIMP – Silva *et al.*, 2005). Granitóides Garopaba composto por biotita granodioritos a monzogranitos porfiríticos de matriz heterogranular, com hornblenda e raros clinopiroxênios, allanita e titanita como acessórios principais, fenocristais ovóides de feldspatos, ocelos e quartzo, abundantes enclaves máficos microgranulares e *schlieren* máficos.

Figura 14 - Contexto geológico regional na região de Anitápolis.



Fonte: elaborado pelo autor (2024)

A leste do Complexo, ainda se encontra a Formação metavulcanossedimentar Queçaba, em forma de cunha. E a oeste, recobrindo o Escudo Catarinense, as rochas sedimentares da Bacia do Paraná. (Figura 14).

2.4. ROCHA ENCAIXANTE

Ainda segundo mapa da CPRM (2014) o Maciço Alcalino de Anitápolis está inserido nos **Granitóides Santo Antônio**. Rodrigues (1985) coletou cinco amostras localizadas em pontos situados a menos de 500 m da borda do corpo alcalino e realizou análises petrográficas. As rochas são cinza claro de granulação grossa de textura hipidiomórfica, enquadrado no grupo dos leucogranitos (IUGS,1973). Os minerais primários são ortoclásio, plagioclásio e quartzo, minerais acessórios e secundários são: biotita, clorita, hornblenda, riebeckita, aegerina, apatita, zircão, allanita, epidoto, prehnita, fluorita e opacos.

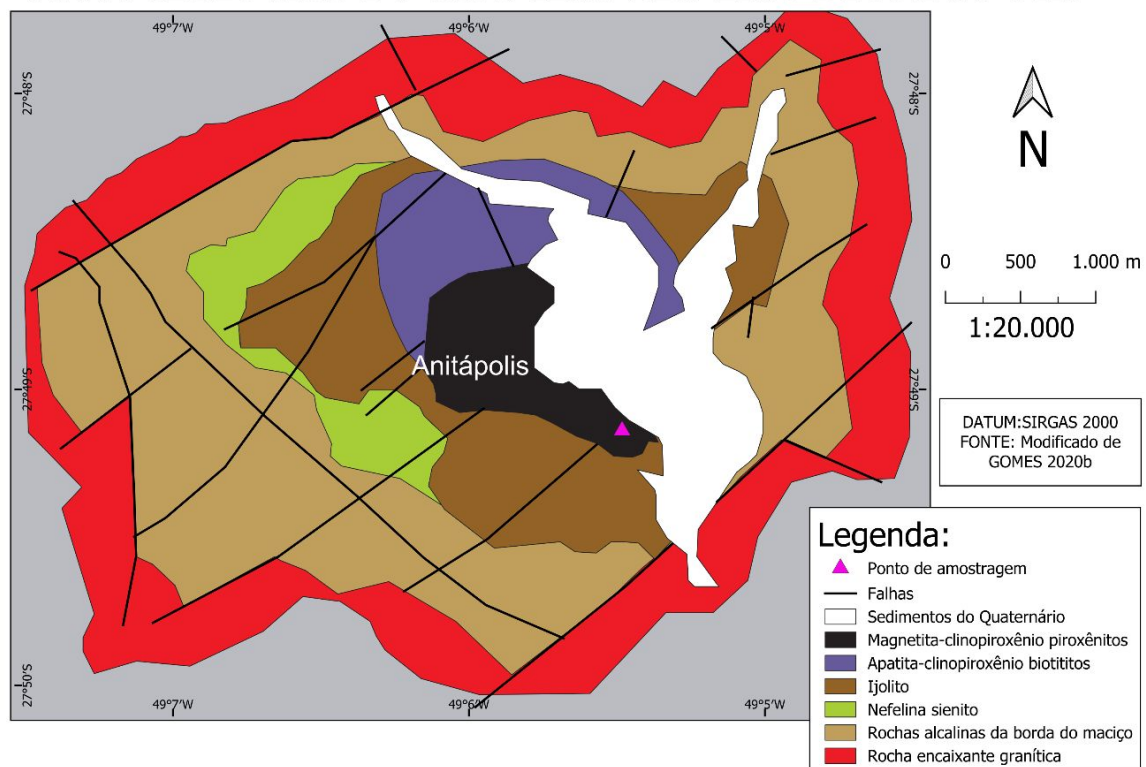
O ortoclásio é o feldspato predominante, apresentando pertitas e com cristais de até 3 cm. Cristais de plagioclásio milimétricos e, por vezes, em agregados, geralmente zonados com núcleos mais cálcicos, alterados para sericita. Quartzo intersticial, submilimétricos, isolados ou em agregados. Biotita ocorre associados a outros máficos, em algumas amostras na cor parda, outras com coloração esverdeada. Hornblenda é o outro mineral máfico primário, que ocorre em prismas dispersos, submilimétricos e parcialmente alterado para riebeckita. (RODRIGUES, 1985).

2.5. O MACIÇO ALCALINO

O Complexo Alcalino de Anitápolis ocupa uma área de aproximadamente 6 km², e é, uma depressão (700 m de altitude) em meio aos morros graníticos da região (1.100 m), possui uma idade situada no limite Jurássico-Cretáceo (Quadro 1). Devido a falta de afloramentos na porção interna do Complexo, as litologias e distribuição das mesmas foram estudadas a partir do estudo de furos de sondagem por Vergara (1977) para a elaboração de um mapa litoestrutural do maciço (Figura 15). Na área do complexo foram distribuídos os litotipos, de forma quase concêntrica, da seguinte forma: a) zona externa, com rochas da série dos álcali-sienitos; b) zona intermediária externa, predominando as rochas da série dos nefelina sienitos; c) zona intermediária interna, formada essencialmente por rochas da série dos ijolitos; e d) zona interna, com predomínio das ultramáficas. Estas rochas são cortadas irregularmente por veios carbonatíticos de espessuras variadas até decâmetros. Sobre estas rochas ainda ocorrem sedimentos quaternários aluvionares no leito do Rio Pinheiros. (RODRIGUES, 1985).

Figura 15 - Mapa litoestrutural do Complexo Alcalino de Anitápolis.

MAPA GEOLÓGICO DO COMPLEXO ALCALINO DE ANITÁPOLIS



Fonte: Mapa elaborado e georeferenciado pelo autor a partir de Gomes, 2020b.

Sheibe *et al.*, (2005) descreveram petrograficamente as unidades do mapa como magnetita-biotita piroxênitos e apatita-piroxênio biotititos na parte central, rodeado por ijolitos e nefelina sienitos mais escuros conforme grau de fenitização. Foscoritos e carbonatitos sövíticos são encontrados penetrando as rochas silicáticas como veios e diques. Fonolitos e alguns lamprófiros como intrusões no granito encaixante são encontrados até 7 km de distância do corpo alcalino principal.

Magnetita-biotita piroxênitos são rochas de coloração verde escuro a preto, com textura fina a média, xenomórfica granular, com apatita, titanita e nefelina como acessórios, carbonatos e anfibólios são raros. Os piroxênios são zonados em tons de verde, as biotitas as vezes incluem cristais de clinopiroxênio, magnetita é xenomórfica poiquilítica, as vezes ocorre ilmenita.

Apatita-piroxênio biotititos são encontrados mais a norte da área do maciço, rodeando os piroxênitos em contato gradual. A textura é granular xenomórfica com micas envolvendo piroxênio e grãos de apatita. Os piroxênios tem as características ópticas de aegerina-augita, as biotitas são marrons, apatita (5-23 vol.%) ocorrem como inclusão nos piroxênios e também na matriz. Richterita e arfvedsonita são formados secundariamente por

metassamatismo no contato com carbonatitos, nefelina, pirrotita, pirita, titanita, carbonatos e raros feldspatos alcalinos são os minerais acessórios. Ocelos de carbonatos são encontrados próximo aos feldspatos e feldspatóides.

Ijolitos-urtitos-melteigitos são encontrados com granulação média, hipidiomórfica a heterogranular, com uma variedade de clinopiroxênios, biotita e opacos idiomórficos. Nefelina e feldspatos alcalinos são os constituintes félsicos, titanita, opacos, anfibólios, carbonatos e albita são minerais acessórios, primários e secundários. No contato dos ijolitos com o carbonatito os clinopiroxênios mostram-se alongados com habito radial.

Nefelina sienitos compostos principalmente por álcali-feldspatos e nefelina, tem textura granular, nas variedades malignito e shonkinito, biotita e clinopiroxênio são os minerais dominantes. O clinopiroxênio é aegerina-augita, poiquilitica a esquelética, com inclusões de apatita, as vezes com feldspato alcalino, nefelina e biotita. O feldspato apresenta perititas e são até 95% ortoclásio.

Apatita piroxenitos e piroxênio apatititos se apresentam como veios de até 5 m de espessura, intrudindo nefelina sienitos e granitos fenitizados, próximo a afloramentos de foscoritos e carbonatitos. Com granulação média, são compostos por aegerina-augita poiquilitica, com até 6 cm de comprimento, as vezes com orientação, as vezes radial. A apatita se encontra como inclusões no piroxênio, ou na matriz.

Fenitos são encontrados na borda do maciço, podem ser leucocráticos a melanocráticos. Os tipos melanocráticos são ricos em aegerina-augita com textura em pente, a variedade mesocrática é caracterizada pela textura mortár, com junções triplas, as vezes com feldspato alcalino poiquilitico. Os fenitos leucocráticos mantem a textura reliquiar granítica, com nuvens de feldspato rodeados por cordas de clinopiroxênio.

Os diques de **fonolito** são de 0,3 a 3 m de espessura, apresentam textura porfirítica com nefelina e clinopiroxênio idiomórficos, com mica e melanita como microfenocristais em uma matriz tinguaitica composta por aegerina acicular, nefelina, feldspatos alcalinos e zeolitas. Os Clinopiroxênios têm inclusões de apatita, biotita ocorre como fenocristal e flogopita é restrita a matriz.

Os **lamprófiros** também ocorrem em forma de diques de 5 a 40 cm de espessura e são encontrados na beira da estrada, a 6 km a SSE do complexo. Possuem granulação fina e terxtura porfirítica, composto por micas, diopsídio, e cristais pseudomorfos de olivinas,

apatita, opacos, mica, clinopiroxênio, titanita e carbonatos em menor tamanho fluando em matriz vítrea.

Melanefelinitos apresentam textura porfirítica, como fenocristais de flogopita, diopsídio, olivina e opacos em uma matriz hipohialina. **Nefelinitos** possuem granulação fina a média e contêm olivina, clinopiroxênio e biotita, a matriz é composta por nefelina poiquilitica englobando aegerina e agulhas de feldspato alcalino.

Os **foscóritos** possuem granulação grosseira, compostos principalmente por magnetita poiquilitica e cristais de mica em uma matriz composta por olivina alterada, apatita sacaroide e carbonatos intersticiais, os minerais acessórios são badeleita, pirocloro, sulfetos e carbonato-apatita.

Ca-carbonatitos, ou **Sövitos**, representam entre 90 e 95% dos carbonatitos de Anitápolis, possuem granulação média a grossa, com calcita euédrica e subordinadamente dolomita, apatita, olivina, magnetita, pirita, pirrotita e flogopita. Ocorre raramente badeleita e pirocloro. **Mg-carbonatitos** são os carbonatitos tardios do Complexo, ocorrem como veios, apresentam calcita e ankerita euédrica com inclusão de óxidos ao longo dos planos de clivagem. Quartzo carbonatitos exibe textura bandada com variação entre camadas brancas e amareladas onde aparecem como minerais acessórios alstonita, ancilita, bastnaesita, esfalerita, galena, pirita, badeleita, fersmita e hematita.

2.6 TRABALHOS ANTERIORES

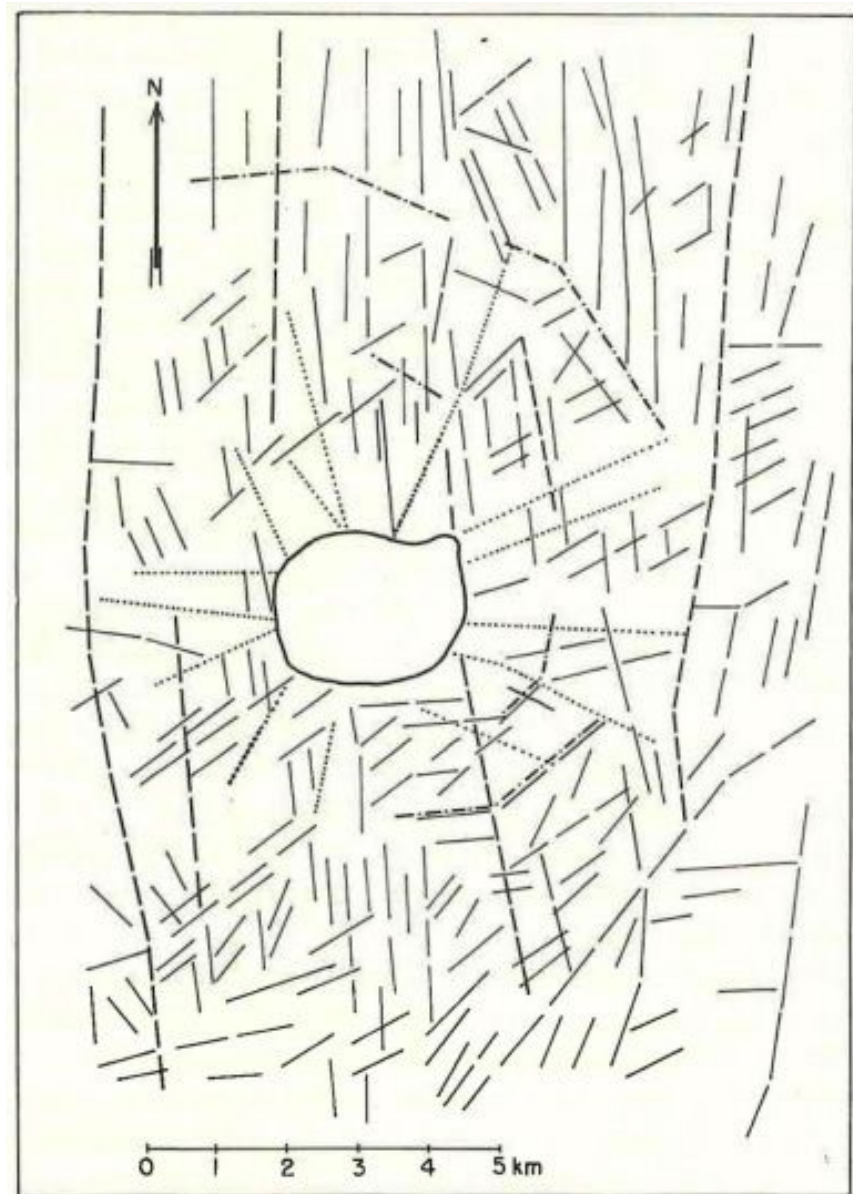
Moraes Rego e Guimarães (1926) *apud* Rodrigues (1985) foram os primeiros autores a estudar as rochas alcalinas e magnetitas associadas do Complexo Alcalino de Anitápolis, onde descreveram a rocha encaixante como hornblenda granito e granito, cortados por pegmatitos e, próximo a intrusão alcalina, por diques de nefelinito, pórfiro nefelínico e dolerito porfirítico. Sienitos com variedades ricas em piroxênio sódico e apatita encontrados nas cabeceiras do Rio Pinheiros teriam sido formadas por diferenciação magmática dos granitos. Foram identificados, no leito do Rio Pinheiros litotipos como piroxênitos, ijolitos, jacupiranguitos e um “banco de calcário branco” de granulação grosseira, rico em magnetita e apatita, considerado um *roof pendent* metassedimentar. Diferenciação magmática e assimilação do calcário são a explicação de gênese do Complexo, ocorrendo minerais fêmicos nas regiões mais baixas ascendendo para sienitos

nas zonas mais elevadas. Os autores classificaram como tipo *stock-work* a morfologia da jazida de magnetita e separaram em três tipo, de acordo com a ganga: piroxênio e biotita (jacupiranguito); apatita e tremolita; e cancrinita, biotita e piroxênio.

Leonardos (1956) *apud* Furtado (1989) sugeriu que os calcários poderiam ser carbonatitos e a partir do trabalho deste autor é que teve um interesse maior nos carbonatitos encontrados no Brasil. O autor descreveu o afloramento na margem do Rio Pinheiros como carbonatito com potencialidade para fósforo (apatita), ferro (magnetita), e ETR's (pirocloro).

Melcher e Coutinho (1966) deram uma maior atenção às rochas encaixantes e a petrografia das rochas alcalinas, assim como o efeito da intrusão, mineralógica e estrutural, nos granitos. Segundo os autesor, a partir de análise de imagens aéreas, é possível inferir a continuidade do batólito por 25 km para norte e para sul, enquanto a leste ultrapassa de 15 km. O granito tem aspecto homogêneo e uniforme, a não ser próximo a zona de contato com o complexo, onde ocorre fenitização. São rochas leucocráticas, média a grossa, com feldspatos de até 1 cm, hipidiomórfico granular, com mineralogia modal de 39% de ortoclásio, 24% de plagioclásio, 31% de quartzo, 3% de biotita e tendo como acessórios apatita, magnetita, zircão, allanita e epidoto, sericita e clorita são os minerais secundários. Na parte central do Complexo Alcalino foram descritos ijolito, melteigito, biotita piroxênio e carbonatito sövítico, com disposição aproximadamente concêntrica, e com composição e textura indicando origem ígnea.

Figura 3 - Principais linhas estruturais na região da instrução alcalina de Anitápolis: Linhas longas e finas: Fraturas, diaclases e lineamentos não discriminados; Linhas tracejadas: Falhas; Linhas pontilhadas: Fraturas radiais; Linhas Inter pontilhadas: Fraturas



Fonte: Melcher e Coutinho (1966)

Ainda segundo estes autores, a análise estrutural foi feita principalmente por exame de fotografias aéreas, sendo possível observar numerosos e muito nítidos lineamentos de origem a diaclases e falhamento. Como podemos observar na Figura 16, o sistema de fraturas mais claramente visível é o N-S, cortado por um grupo menos extenso com direção média N55E, além destas tendências de fraturas, ainda é possível identificar a sudeste e

noroeste do complexo direções radiais ao complexo, e faturamento anelar concêntrico ao foco magmático observado a cerca de 4 km a norte e nordeste das rochas alcalinas.

Os autores ainda descreveram diques na periferia do complexo, rochas encontradas geralmente em blocos pela falta de afloramento. Próximo ao leito do Rio Pinheiros, os granitos são cortados por um dique de lamproófiro com 50 cm de espessura e orientação N-S (Figura 17). Outros diques são descritas como rochas verde escura quase pretas, tinguaíticas e matriz afanítica. Onde os cristais formam em geral 25% do volume da rocha. Onde se encontra nefelina em prismas hexagonais idiomórficos, as vezes alterada para cancrinita ou zeolitas. O piroxênio como fenocristal idiomórfico segue em abundância e são descritos como augita sódica, pelas propriedades ópticas. Apatita, também idiomórfica, em prismas hexagonais curtos aparecendo comumente entre os fenocristais, e o ortoclásio mais comum na matriz. Em geral, estes diques podem ser classificadas como tinguaítos. Diques de basalto afanítico também foram observados, mas provavelmente não pertencem ao evento alcalino.

Figura 4 - Dique alcalino na periferia do maciço.



Fonte: do autor (2024)

A determinação geocronológica absoluta do Complexo Alcalino de Anitápolis foi feita pela primeira vez por Amaral *et al.* (1967) pelo método K-Ar, conforme apresentado no Quadro 1.

Quadro 1 - Idades em K-Ar do Complexo Alcalino de Anitápolis, valores em Ma.

Rocha	Mineral	Idade	Erro
Fenito	Felds. Alc.	151.8	7.0
Melteigito	Biotita	132.1	3.0
Melteigito	Biotita	130.6	3.0
Tinguaíto	R. Total	107.2	x
x	Biotita	136.4	1.6
x	Biotita	134.0	2.2

Fonte: Elaborado a partir de Amaral *et al.* (1967).

Posteriormente Carraro *et al.* (1967) apud Rodrigues (1985) pesquisaram as ocorrências de apatita e magnetita associadas nas rochas do Complexo. Rochas estas representadas predominantemente por tipos petrográficos da série melteigito-ijolito-urtito circundados por sienitos e fenitos com raros sienitos nefelínicos, com um dique de carbonatito cortando os litotipos. Foi mapeado também um depósito de encosta chamado de “Conglomerado Pinheiros”, constituído de blocos e matacões de rochas alcalinas. Os autores consideraram que o Complexo tem forma de diatrema e está encaixado na intersecção de grandes falhamentos do embasamento cristalino. Para as apatitas, concluíram ser a ocorrência sem valor econômico para fósforo, mas sugerem um detalhamento para as ocorrências de magnetita, quanto a gênese, é sugerido origem hidrotermal devido a sua estrutura em *stock-work*.

Vergara (1977) apresentou resultados obtidos em uma pesquisa para fosfato para a CPRM e a ILM, com levantamento geológico na escala 1:5000, 16 furos de sonda totalizando 1.197,50 m, prospecção por escavações com três poços e duas trincheiras, diversas análises químicas e 21 descrições petrográficas. Nestas pesquisas foi detalhado a área de ocorrência dos fenitos e sienitos, individualizadas em duas zonas concêntricas, sendo a exterior quartzo sienítica e a interna álcali-sienítica. As rochas piroxêníticas e as da série dos urtitos ocorrem sem distribuição definida, no núcleo do complexo, com contatos geralmente gradacionais, e são geralmente cortadas por veios carbonáticos e níveis glimeríticos. O autor atribuiu que a gênese das rochas não foi unifásica, os piroxênitos foram as rochas primárias posteriormente metassomatizadas gerando os litotipos urtito, ijolito e melteigito, seguidos por glimeritização e carbonatização nas zonas de fraqueza. Ainda segundo autor, os aluviões do Complexo ocorrem na porção centro-leste da intrusão e ocupam uma superfície estimada de 15% de toda área da intrusão alcalina.

Vergara (1979,1980) *apud* Rodrigues (1985) apresentou um mapa geológico com as seguintes unidades litológicas: “série dos feldspato alcalino quartzo sienitos”, “série dos feldspato alcalino sienitos”, “série dos urtitos”, “série das ultramáficas” e carbonatitos. Assumiu que a intrusão que as rochas alcalinas do complexo foram geradas a partir de metassomatização de um magma piroxênico parental rico em voláteis, e que a geometria dos carbonatitos se dava em vênulações de variada espessura e distribuição, cortando as rochas alcalinas silicáticas.

Rodrigues (1985) e Furtado (1989) com dissertação de mestrado e tese de doutorado, respectivamente, estudaram mais a fundo a petrologia do Complexo Alcalino de Anitápolis, com revisões petrográficas e análises química das rochas. Última revisão petrográfica feita na região foi realizada por Sheibe *et al.* (2006).

Rodrigues (1999) propôs um modelo para a sequência dos eventos petrológicos: a) falhamento, faturamento e brechação das rochas graníticas; b) intrusão de magma ultramáfico alcalino no centro do Complexo trazendo xenólitos de magnetita dunito a superfície; c) biotitização e/ou flogopitização parcial dos piroxênios das rochas ultramáficas, fenitização gradativa do granito encaixante, cristalização parcial ou total do ortoclásio em anortoclásio, nefelinização dos feldspatos, nefelinização do piroxênio nas rochas ultramáficas e reomorfismo gerando ijolitos e nefelina sienitos de texturas magmáticas; d) injeção de material carbonático em zonas de fraturas cortando as rochas do complexo, gerando carbonatitos.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 REFERÊNCIAL TEÓRICO

A primeira etapa deste estudo foi pesquisar os trabalhos anteriores para embasamento teórico sobre o Complexo Alcalino de Anitápolis, para esta fase foi lido principalmente a dissertação de mestrado de Rodrigues (1985) e a tese de doutorado de Furtado (1989). O estudo contínuo de trabalhos anteriores, assim como conceitos de rochas alcalinas foi realizado até a conclusão desta monografia.

3.2 PETROGRAFIA

Para realização do estudo petrográfico foram confeccionadas 9 lâminas delgadas de amostras coletadas em campo de Petrologia Ignea pela UFSC em 2018. As lâminas são de nefelinito (4), piroxênito, biotitito, nefelinito fonolítico, carbonatito e carbonato quarzolito. A confecção foi realizada no Laboratório de Laminação (LabLam) da UFSC.

A descrição das lâminas foi realizada em microscópio óptico Meiji ML7420, no Laboratório de Estudo de Microscopia Óptica (LabEMO) na UFSC, onde pode ser identificado estrutura, textura e mineralogia de cada rocha com auxílio do “*An Introduction to Rock-Forming Minerals*” (DEER, HOWIE & ZUSSMAN, 1992), podendo chegar a uma classificação adequada seguindo as recomendações da IUGS (LE MAITRE, 2002). Em cada amostra foi feito uma análise modal com aproximadamente 250 pontos contados com espaçamento de 1 mm em rochas homogêneas e 0,5 mm em heterogêneas.

3.3 GEOCRONOLOGIA

Os dados de geocronologia foram obtidos a partir análise de algumas amostras de nefelinito que foram enviadas para a Universidade Estadual do Rio de Janeiro, onde as amostras foram lavadas e secadas para evitar contaminação para os estudos geocronológicos. A amostra foi quebrada até ficar em tamanho de aproximadamente 1 centímetro, depois passou por processo de moagem para ser obtido material de granulação fina que em seguida foi submetida a separação gravimétrica em mesa enrugada para seleção e minerais pesados. Finalmente a concentração destes minerais foi submetida a líquido denso e separação magnética, sendo assim selecionados grãos de zircões que foram fixados a uma resina epoxy.

Depois de seca a resina, as amostras foram enviadas para polimento e processadas pelo Microscópio Eletrônico de Varredura (MEV) QUANTA 250 para gerar imagens de catodoluminescência e poder observar a estrutura interna do mineral, buscando identificar zonação, áreas de reabsorção e poder identificar o núcleo.

Para obtenção de dados isotópicos de U-Pb foi usado o LA-ICP-MS (*Laser Ablation Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry*), do Multilab da UERJ, em 15 zircões, os dados foram tratados em excel pelo programa ISOPLOT (LUDWIG, 2003) para ser convertidos em diagrama de concórdia e diagrama em barras.

4. RESULTADOS

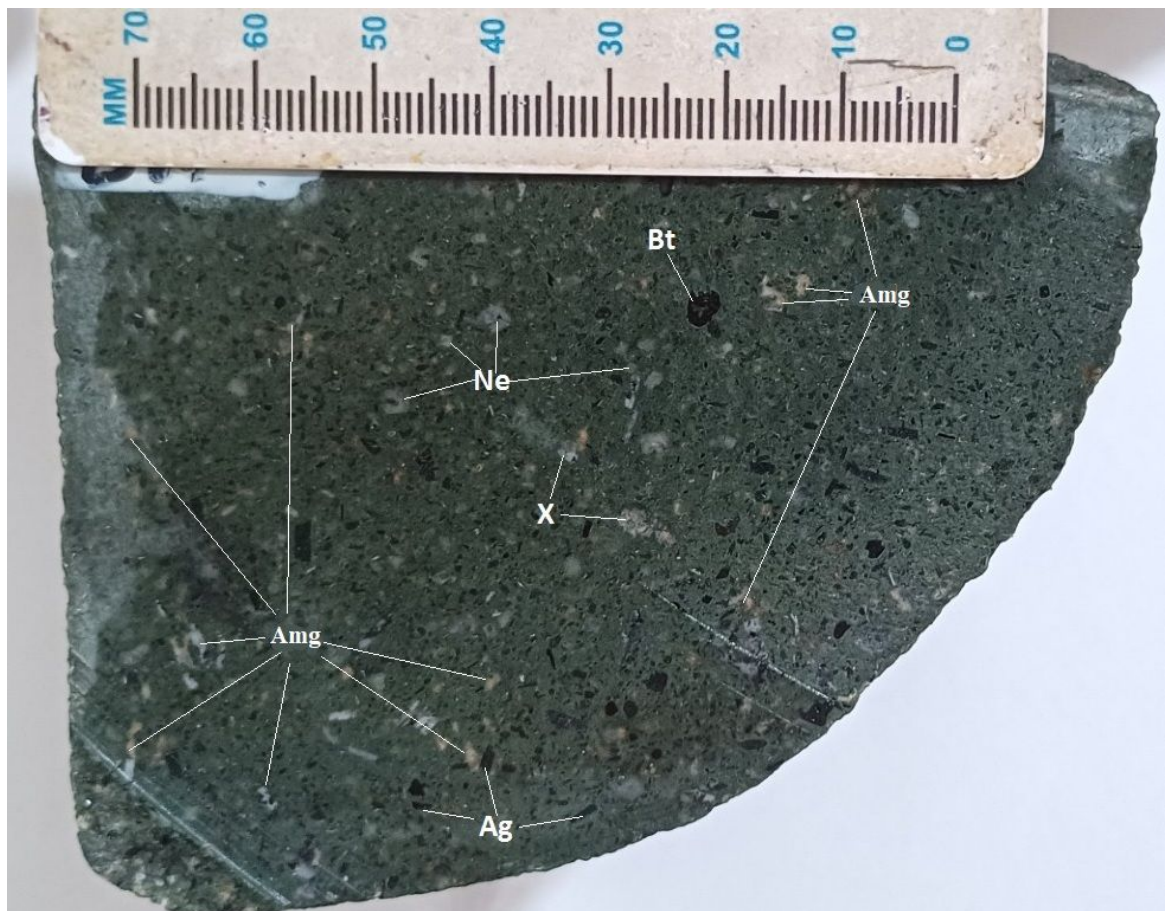
4.1 PETROGRAFIA

Foram identificados 6 litotipos na área de estudo, além da rocha encaixante, são eles: nefelinito (GTK01), nefelinito fonolítico (GTK02), titanita-biotita piroxênio (GTK03), apatita-piroxênio biotitito (GTK04), carbonatito (GTK05) coletados no ponto 1, quartzo carbonatito (GTK06) e sienogranito (GTK07) coletados no ponto 2.

4.1.1 Nefelinito (GTK01)

Amostra coletada em aluviões no leito do rio Pinheiros, como demonstrado na Figura 2, com aproximadamente 20 centímetros de diâmetro. A rocha tem coloração verde escuro, é mesocrática de índice de coloração M' 45, é subfanerítica, hipocristalina, com cristais de tamanho variando de muito fino a médio de forma hipidiomórfica, possui trama xenolítico e textura porfirítica seriada e estrutura maciça (Figura 18).

Figura 5 - Amostra serrada do nefelinito demonstrando seu aspecto textural.



Fonte: Autor (2024).

Em microscópio (Figura 19) é possível identificar que a rocha é constituída principalmente por fenocristais **aegerina augita (24,2%)** prismática euédrica com até 3 mm na seção alongada, com zonação concêntrica, onde a borda assume um tom de verde mais forte, em alguns cristais a zonação é invertida, ocasionalmente poiquilítica com chadacristais de apatita. A **nefelina (20,4%)** também se apresenta como pórfiro, com cristais idiomórficos quadrados e hexagonais de até 2mm, com as bordas alteradas parcialmente para cancrinita. A **apatita (8,6%)** é o principal mineral acessório e se apresenta como cristais idiomórficos dispersos pela matriz ou como inclusão nos clinopiroxênios, com até 0,5 mm, **titanita (tr)** é o outro mineral acessório e é encontrado euédrico com até 0,5 mm. Estes minerais estão imersos em uma **matriz (46,8%)** criptocristalina escura, provavelmente uma mistura de nefelina, clinopiroxênio, feldspato alcalino e biotita. **Opacos** aparecem restritos em algumas partes da amostra e foram descritos como piritita (Figura 20). Cancrinita é o principal mineral de alteração e aparece nas bordas da nefelina (Figura 21).

Figura 6 - Fotomicrografia (NP/NC) da amostra GTK01 com aumento de 2x demonstrando a textura porfírica seriada marcada pela nefelina e aegerina augita.

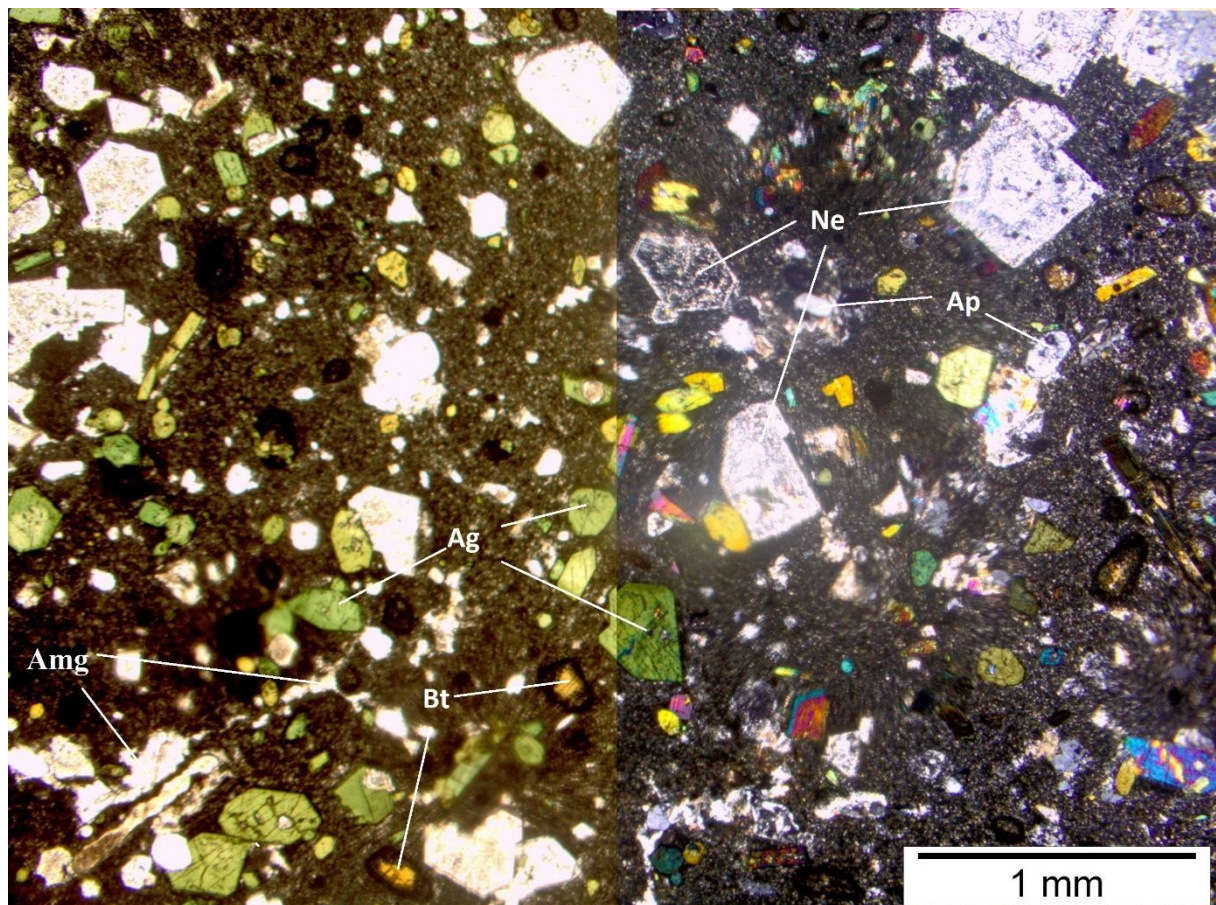
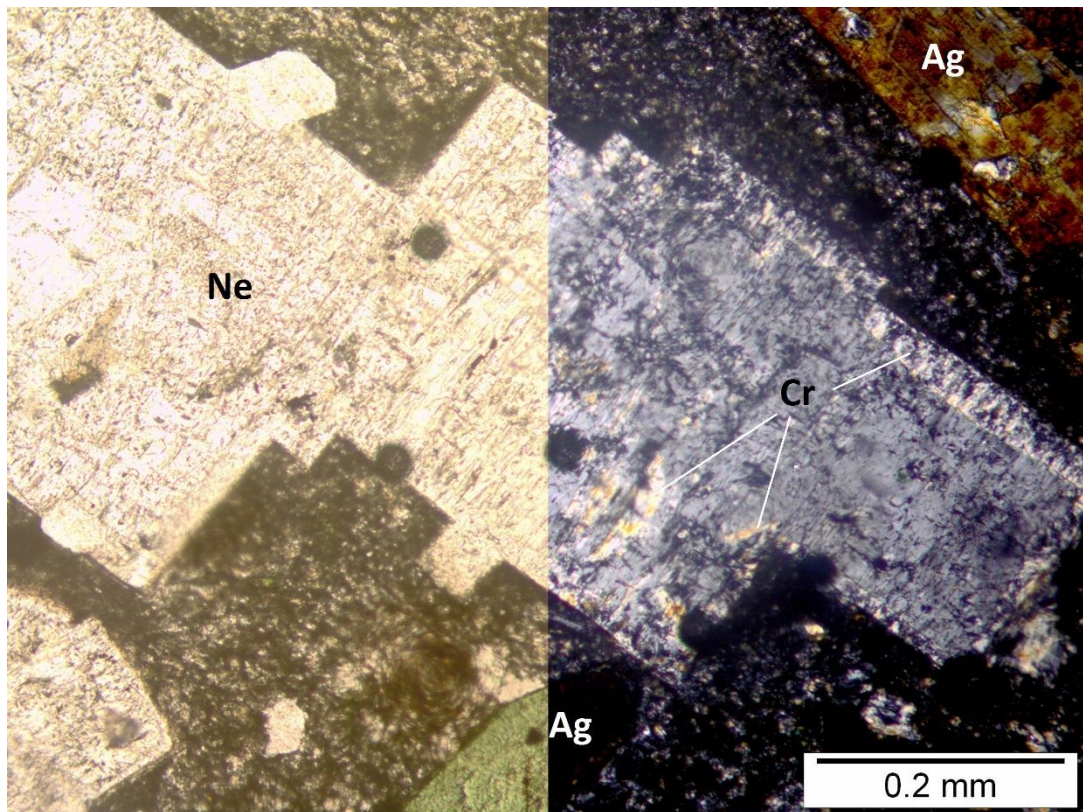


Figura 7 - Foto da pirita vista em lupa, escala: ponta de caneta esferográfica.



Fonte: Autor (2024).

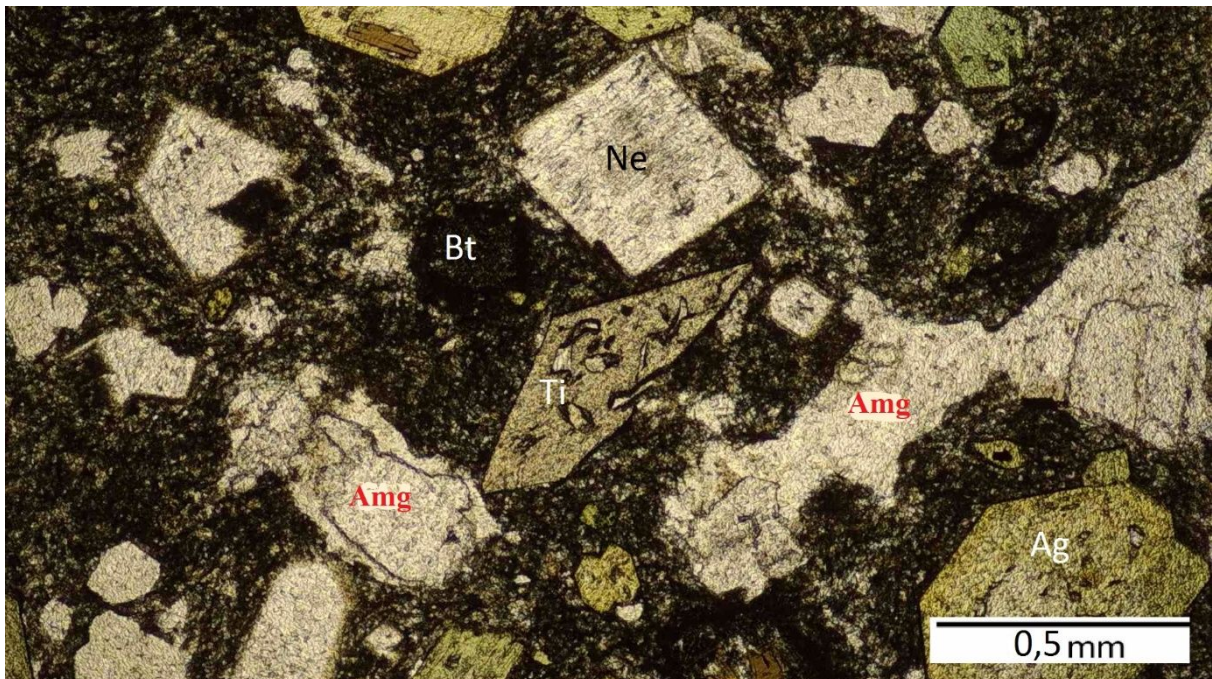
Figura 8 - Fotomicrografia (NP/NC) com 10x de aumento demonstrando a alteração da nefelina nas bordas para cancrinita.



Fonte: Autor (2024).

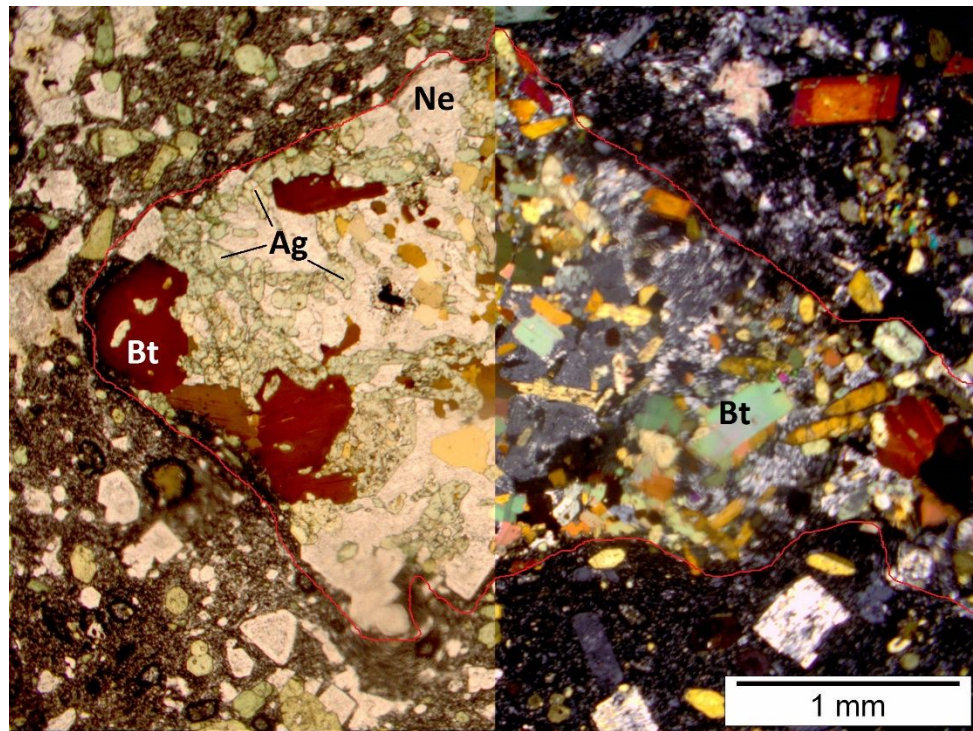
A amostra possui em volume total de rocha, 7% de amígdalas irregulares, alongadas preenchidas por zeólita (6%) e carbonato (1%) (Figura 22), 7% de xenólitos de ijolito (Figura 23), melteigito (Figura 24), biotita piroxênito (Figura 25), e álcali sienito de 2 cm de diâmetro (Figura 26). Assim como 5% de xenocristais de biotita com cristais de até 1 mm com bordas reabsorvidas e apresentando halo de reação (Figura 27), além de um único cristal de feldspato alcalino prismático de 3 mm, com macla simples, poiquilítico com chadacristais de aegerina augita e apatita, com bordas parcialmente reabsorvidas e um pequeno halo de reação (Figura 28).

Figura 9 - Fotomicrografia da amostra GTK01 com aumento de 4x demonstrando uma visão geral da rocha com amígdalas alongadas preenchidas por zeólitas.



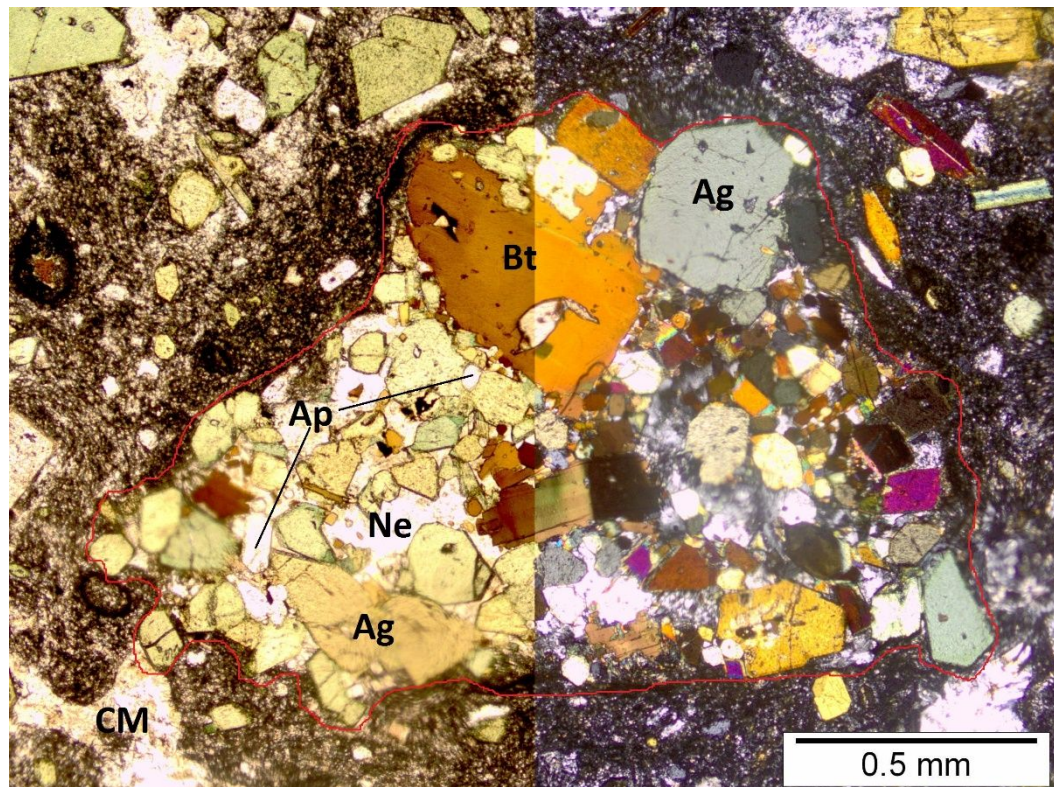
Fonte: Autor (2024).

Figura 10 - Fotomicrografia (NP/NC) com aumento de 2x. Xenólito de ijolito com oicocristais de nefelina com inclusões de clinopiroxênio e biotita em uma matriz do nefelinito com um discreto halo de reação próximo as biotitas.



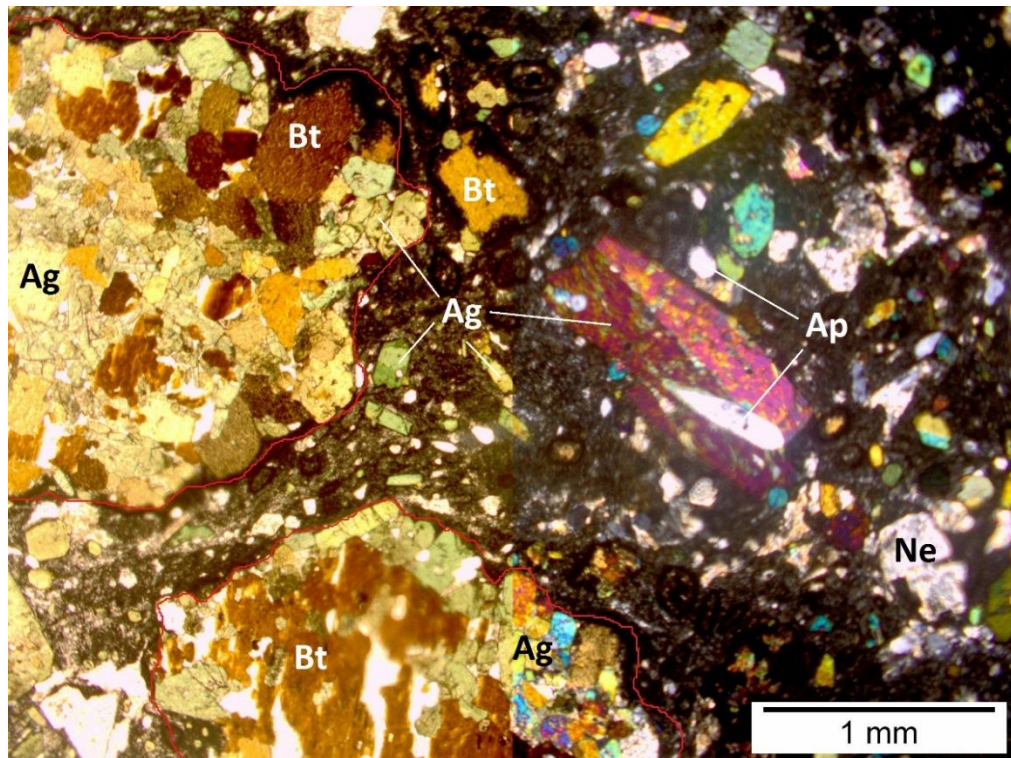
Fonte: Autor (2024).

Figura 11 - Fotomicrografia (NP/NC) com aumento de 4x. Xenólito de melteigito com predomínio de clinopiroxênio sobre nefelina, biotita e apatita.



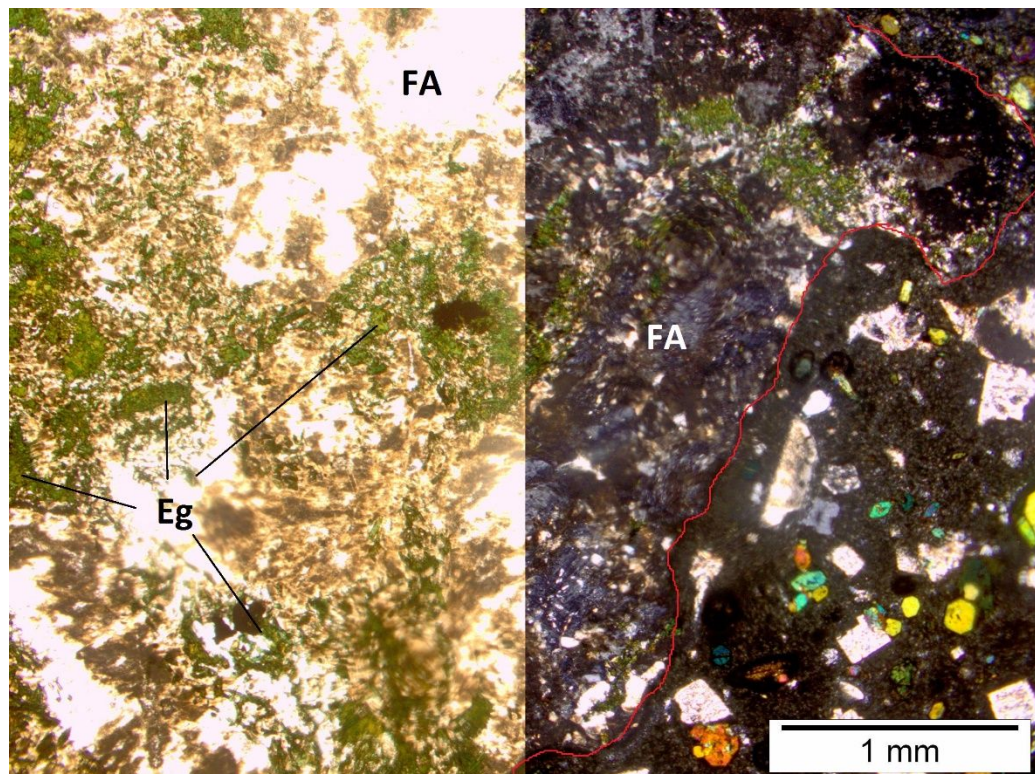
Fonte: Autor (2024).

Figura 12 - Fotomicrografia (NP/NC) com aumento de 2x. Xenólitos de biotita piroxênito imersos na matriz do nefelinito (GTK01).



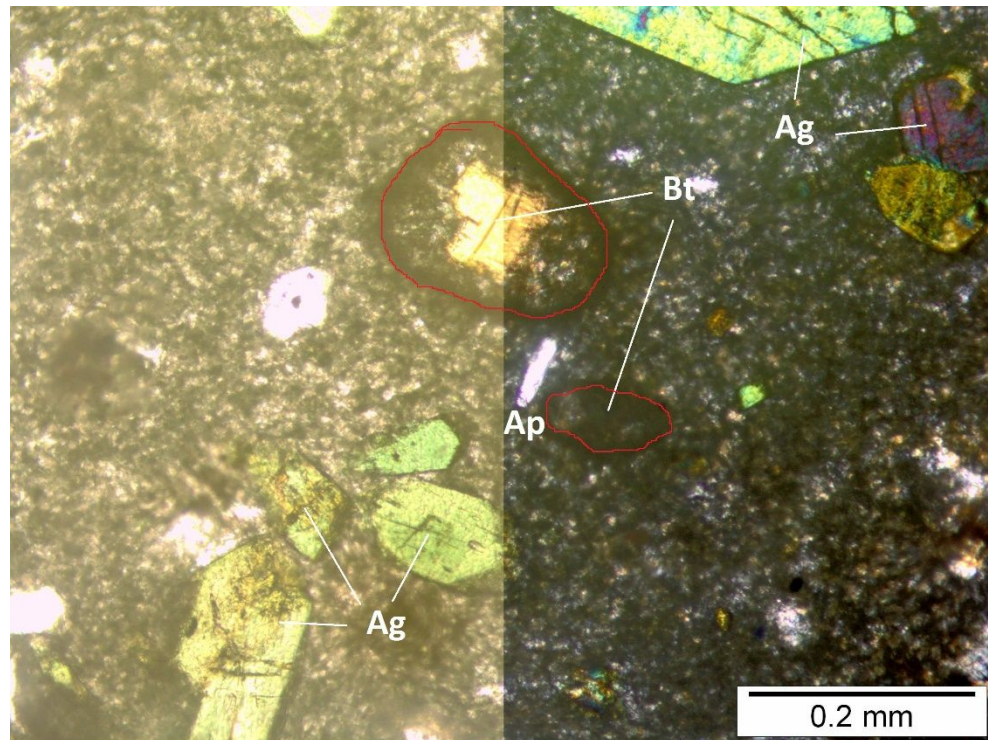
Fonte: Autor (2024).

Figura 13 - Fotomicrografia (NP/NC) com aumento de 2x. Xenólito de álcali sienito (centro esquerda da imagem) de 2 cm com aegerina e feldspato alcalino (aegerinitização).



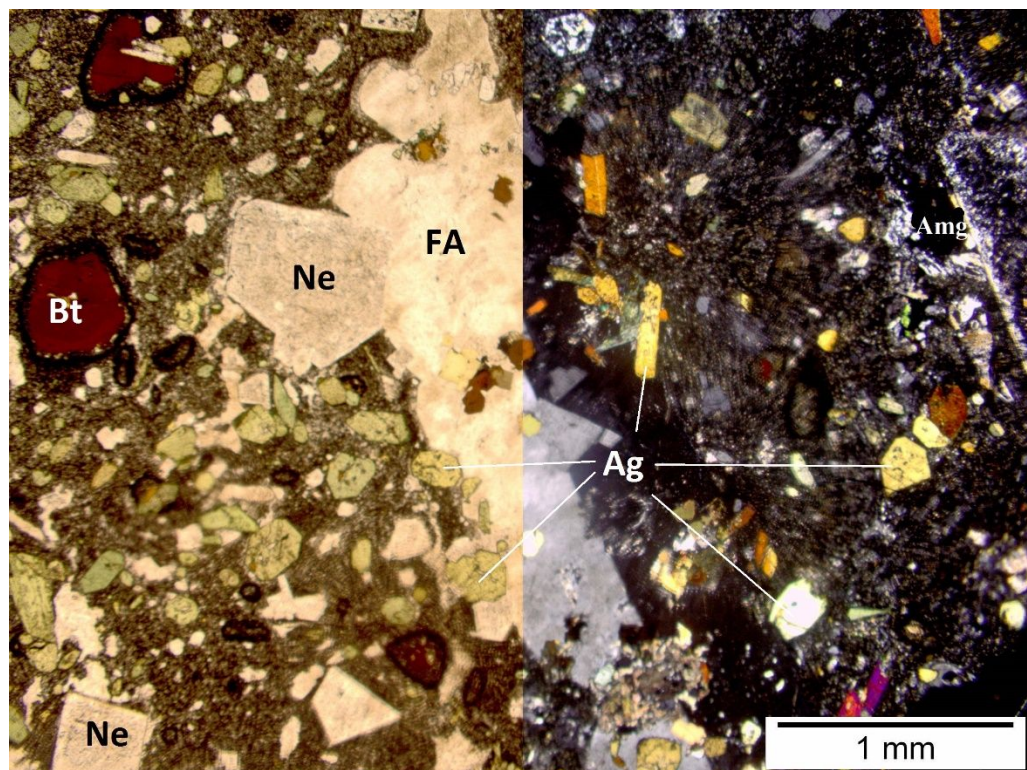
Fonte: Autor (2024).

Figura 14 - Fotomicrografia (NP/NC) com aumento de 10x. Xenocristal de biotita no centro com bordas de reação. Apatita idiomórfica abaixo e cristais de aegerina augita com leve zonação concêntrica.



Fonte: Autor (2024).

Figura 15 - Fotomicrografia (NP/NC) com aumento de 2x. Xenocristal de feldspato alcalino com inclusões de nefelina, aegerina augita, biotita e apatita. Na parte superior do xenocristal pode se notar porções parcialmente reabsorvidas e com um pequeno halo de reação

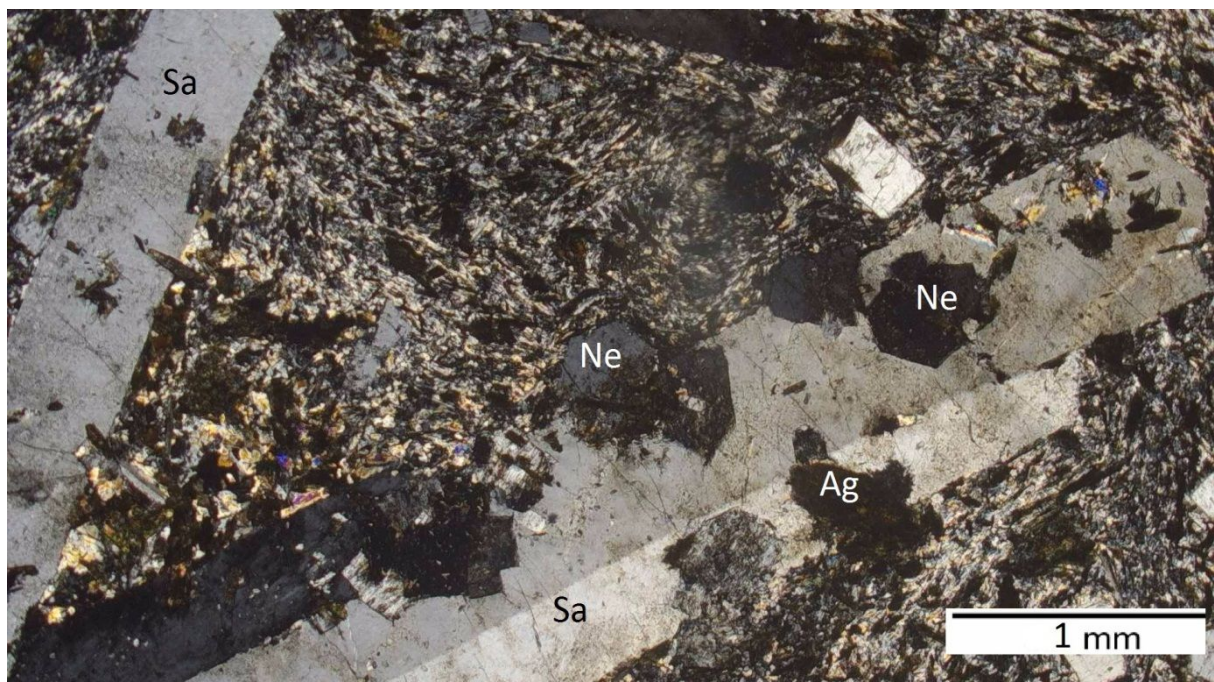


Fonte: Autor (2024).

4.1.2 Nefelinito fonolítico (GTK02)

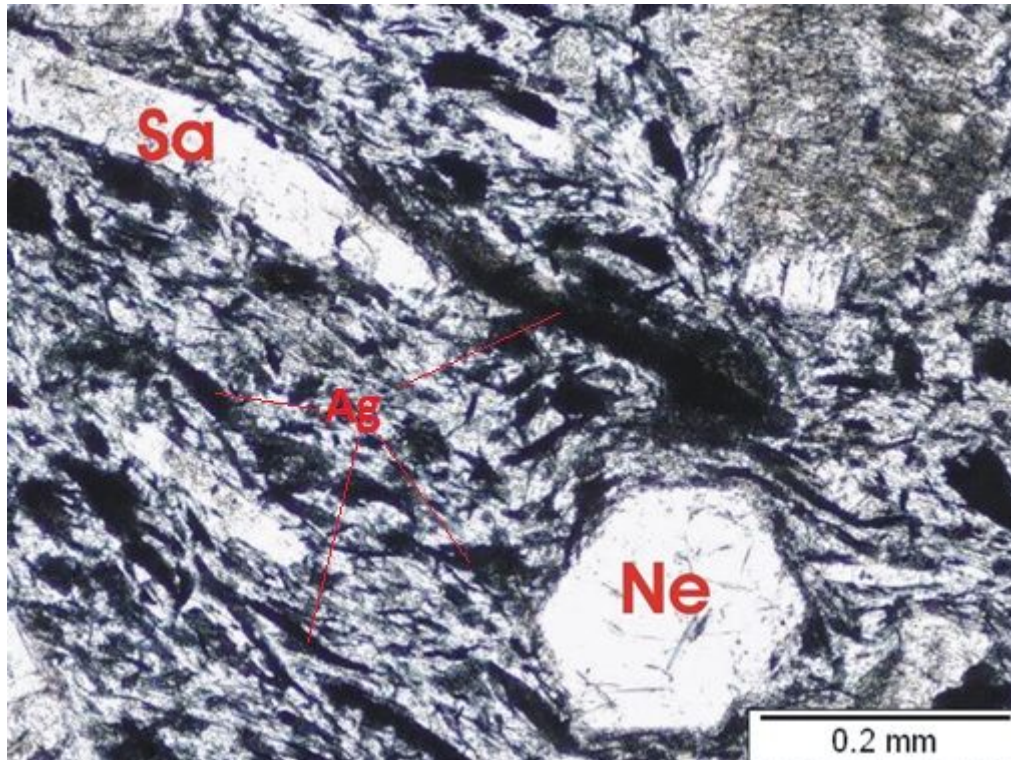
Amostra coletada próximo da anterior, também em colúvio no leito do rio Pinheiros, com 15 centímetros de diâmetro. A rocha é cinza, mesocrática com índice de coloração M' 40, subfanerítica hipocristalina, com cristais muito fino a médio, hipidiomórficos, de textura porfírica seriada traquítica (tinguaítica). Com fenocristais e microfenocristais de **nefelina (14,3%)** idiomórficas de até 0,5 mm, **sanidina (8%)** euédricas ripiformes de até 6 mm (Figura 29) orientadas com a matriz da rocha. A **matriz (72,9%)** é composta por acículas de aegerina augita (37,5%) distribuídas de forma caótica e em agrupamentos de até 0,2 mm de comprimento, imersa em uma massa félsica (35,4%) composta por feldspato alcalino e nefelina, parcialmente alterada para cancrinita. Os minerais acessórios são microfenocristais de **titanita (1,2%)** e **biotita (1,6%)** distribuídos pela amostra, algumas biotitas se encontram coronadas por aegerina augita. Os **opacos (tr)** aparecem junto às biotitas, grãos de zircão e apatita também são encontrados na amostra. (Figura 30).

Figura 16. Fotomicrografia (NC) com aumento de 2x. Megacristal de sanidina com inclusões de nefelina euédrica e aegerina augita.



Fonte: Autor (2024).

Figura 17 - Fotomicrografia (NP) com aumento de 10x. Aspecto textural da amostra GTK02, com destaque para fenocristais de sanidina e nefelina imersos em matriz com orientação de fluxo.



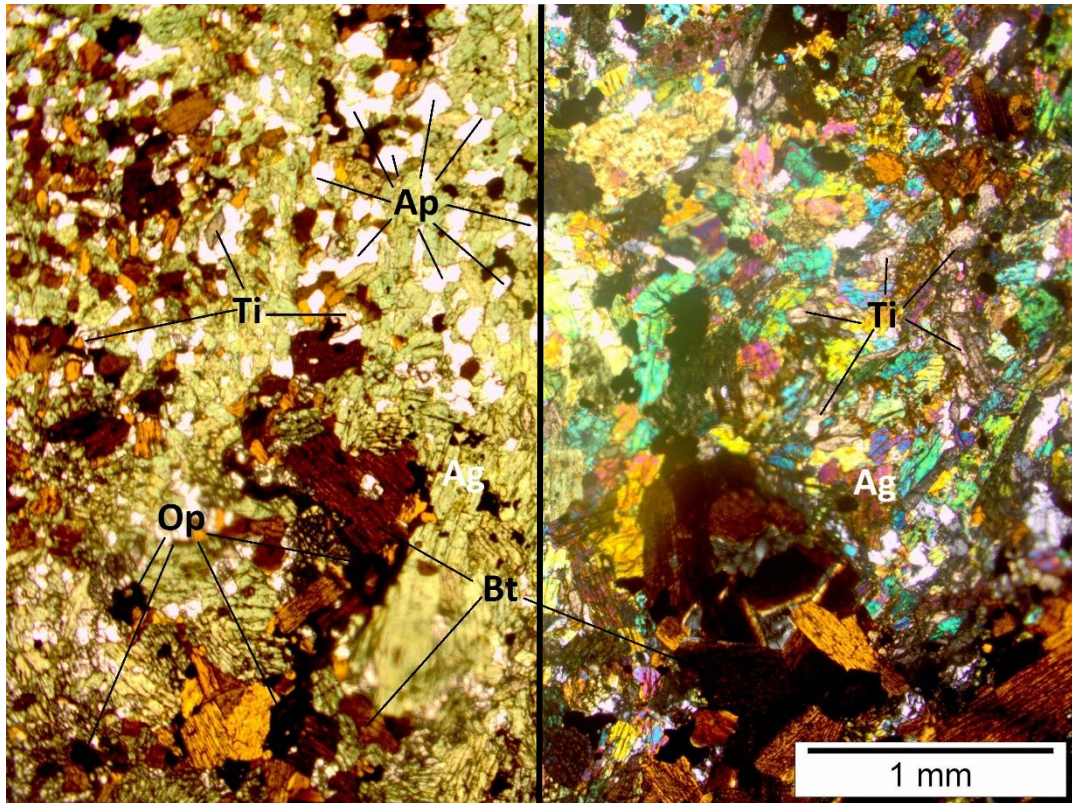
Fonte: Autor (2024)

4.1.3 Titanita-biotita piroxênio (GTK03)

Amostra residual coletada em talude na beira do rio Pinheiros, é holomelanocrática preta com índice de coloração 91,5 M', holocristalina fanerítica, com cristais finos hipidiomórficos, com textura equigranular cumulática com estrutura de bandamento composicional incipiente.

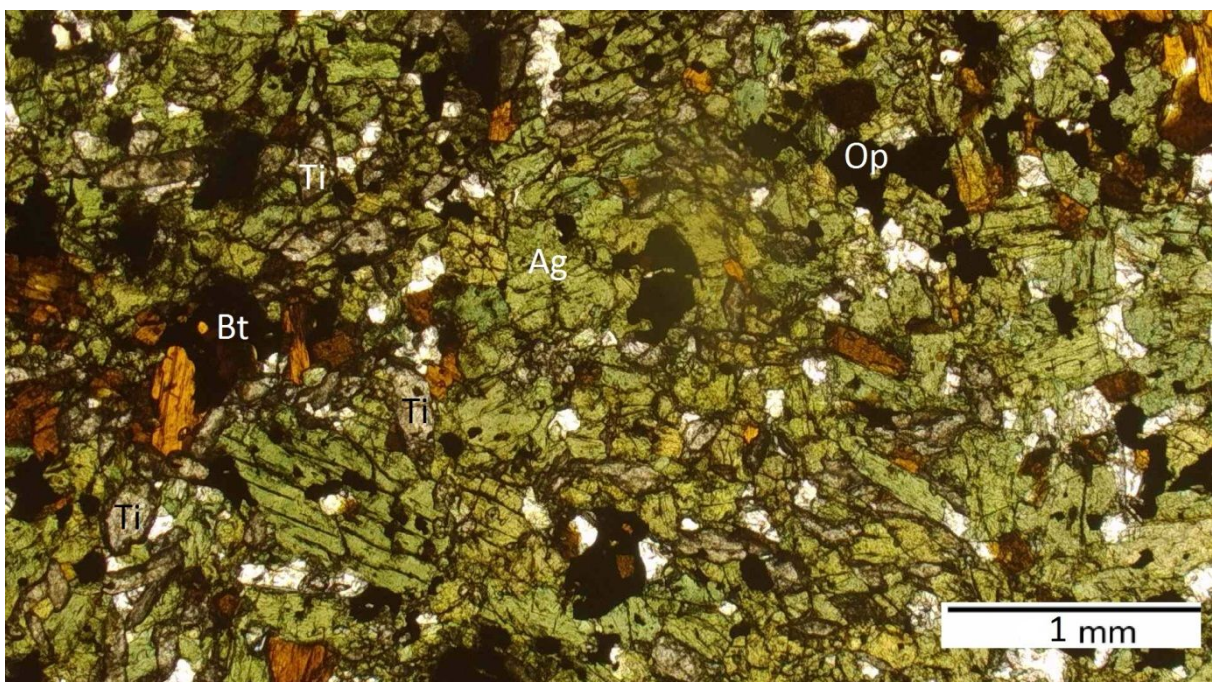
Em microscópio (Figura 31) é possível observar que a rocha é composta principalmente de cristais anédricos e subédricos de **aegerina augita (47,2%)** tabulares, menores de 0,5 mm distribuídos em camadas incipientes, suavemente orientados, junto a apatitas e titanita, alternando com camadas mais ricas em biotitas e apresentam inclusão de opacos euédricos menores. A **biotita (22,5%)** se apresenta com cristais subédricos de até 1 mm disposto em agregados ou disseminados em algumas partes da amostra, apresentam inclusão de apatita e titanita. A **titanita (12,1%)** (Figura 32) ocorre de forma intersticial aos piroxênios, e são menores que 0,2 mm. **Opacos (9,4%)** apresentam-se de duas formas, cristais menores idiomórficos quadrados como inclusão em piroxênios, e alotromórficos junto às biotitas (Figura 33). A **apatita (8,5%)** com cristais anédricos menores de 0,2 mm encontram-se intersticiais aos piroxênios.

Figura 18 - Fotomicrografia (NP/NC) com aumento de 2x. Do aspecto textural da amostra GTK03 onde da para perceber uma leve tendência de orientação dos grãos de piroxênio, de acamadamento incipiente, “bolsões” de biotita, assim como biotita dispersa no canto superi



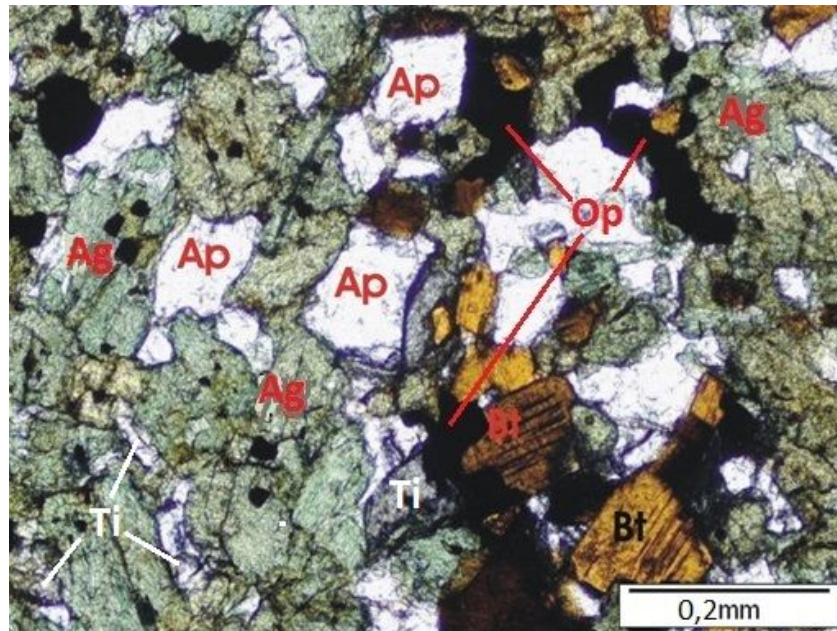
Fonte: Autor (2024).

Figura 19 - Fotomicrografia (NP) com aumento de 2x apresentando o aspecto textural e a abundância de titanita na amostra (cristais beges).



Fonte: Autor (2024).

Figura 20 - Fotomicrografia com aumento 10x em NP onde é possível identificar duas populações de opacos, chadacrístais quadrados menores a esquerda da figura, e cristais xenomórficos próximo as biotitas.



Fonte: Autor (2024).

4.1.4 Apatita-piroxênio biotítico (GTK04)

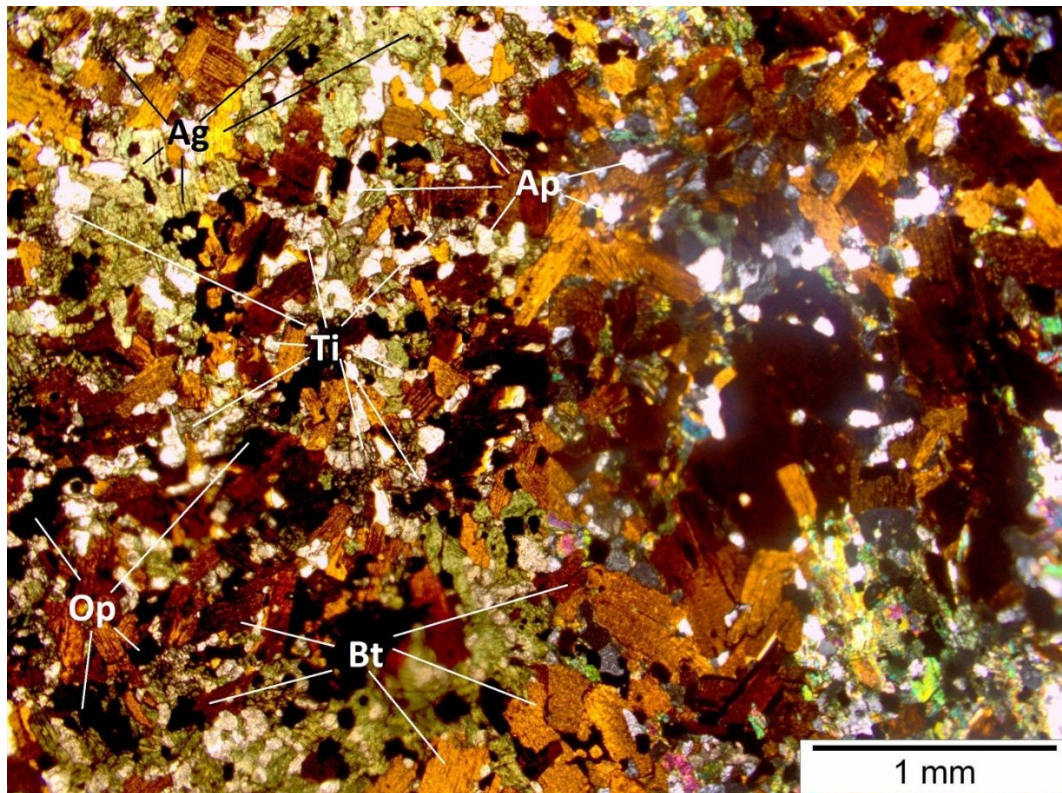
Amostra coletada próximo a anterior em transição gradual (Figura 34), é melanocrática com índice de coloração M' de 82,5, holocristalina fanerítica, cristais aproximadamente equigranulares de granulometria fina a média e forma hipidiomórfica, apresenta trama cumulático e bandamento composicional discreto (Figura 35). É composta principalmente por cristais **biotita (37,3%)** euédricos e subédricos de até 1 mm disposto em bandas junto a apatita e titanita intercaladas com bandas mais ricas em piroxênio com apatita e titanita. **Aegerina Augita (35,3%)** se apresentam de forma euédrica e subédrica, tabulares menores de 0,5 mm com inclusões de opacos euédricos menores. A **apatita (17,5%)** é anédrica e está intersticial aos piroxênios menores que 0,2 mm, **opacos (5,7%)** aparecem anédricos próximo a biotita e euédricos quando inclusos em piroxênios. **Titanita (4%)** é encontrada principalmente anédricas intersticiais a piroxênio e biotita com menos de 0,2 mm, mas também aparecem em forma de losangos quando coronando opacos também losangos (Figura 36).

Figura 21 - Amostra de apatita-piroxênio biotitito.



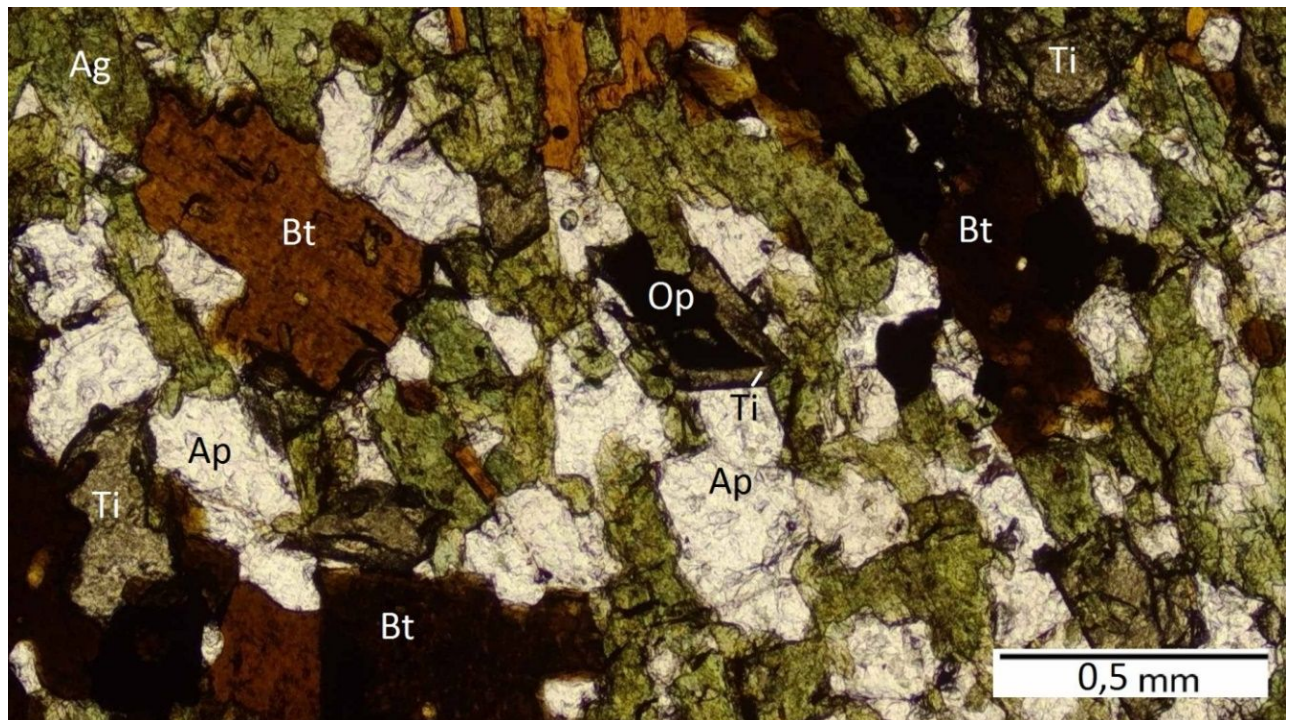
Fonte: Autor (2024).

Figura 22 - Fotomicrografia (NP/NC) com aumento de 2x demonstrando o aspecto textural cumulático e o bandamento composicional discreto.



Fonte: Autor (2024).

Figura 23 - Fotomicrografia (NP) 4x. Textura coronítica da titanita sobre opaco.

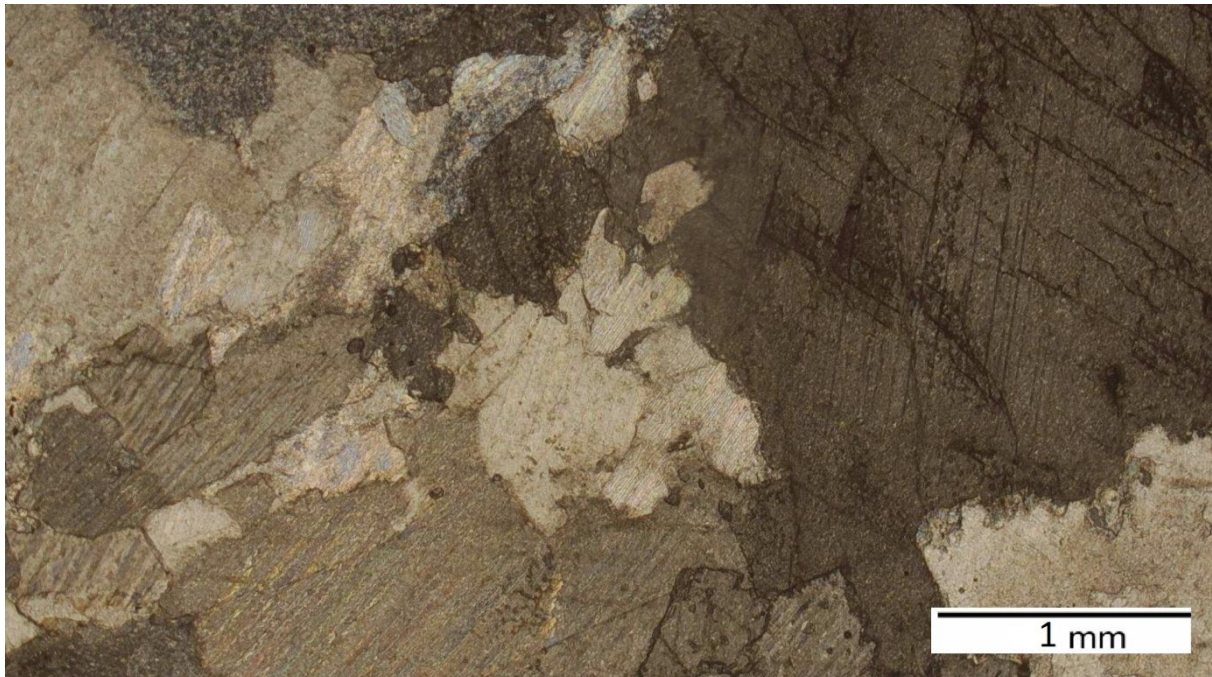


Fonte: Autor (2024).

4.1.5 Carbonatito (GTK05)

Amostra coletada *in situ* em veio de aproximadamente 40 cm de espessura no leito do rio Pinheiros, é uma rocha hololeucocrática branca com índice de coloração M^r de 0, é holocristalina fanerítica, com textura inequigranular alotromórfica de granulação fina a média e estrutura é maciça (Figura 37). A mineralogia é essencialmente **carbonato** com cristais xenomórficos aproximadamente equidimensionais que chegam até 5 mm com contato lobado entre eles.

Figura 24 - Fotomicrografia (NC) 2x. Aspecto textural da amostra com cristais xenomórficos com contatos lobados.



Fonte: Autor (2024).

4.1.6 Quartzo carbonatito (GTK06)

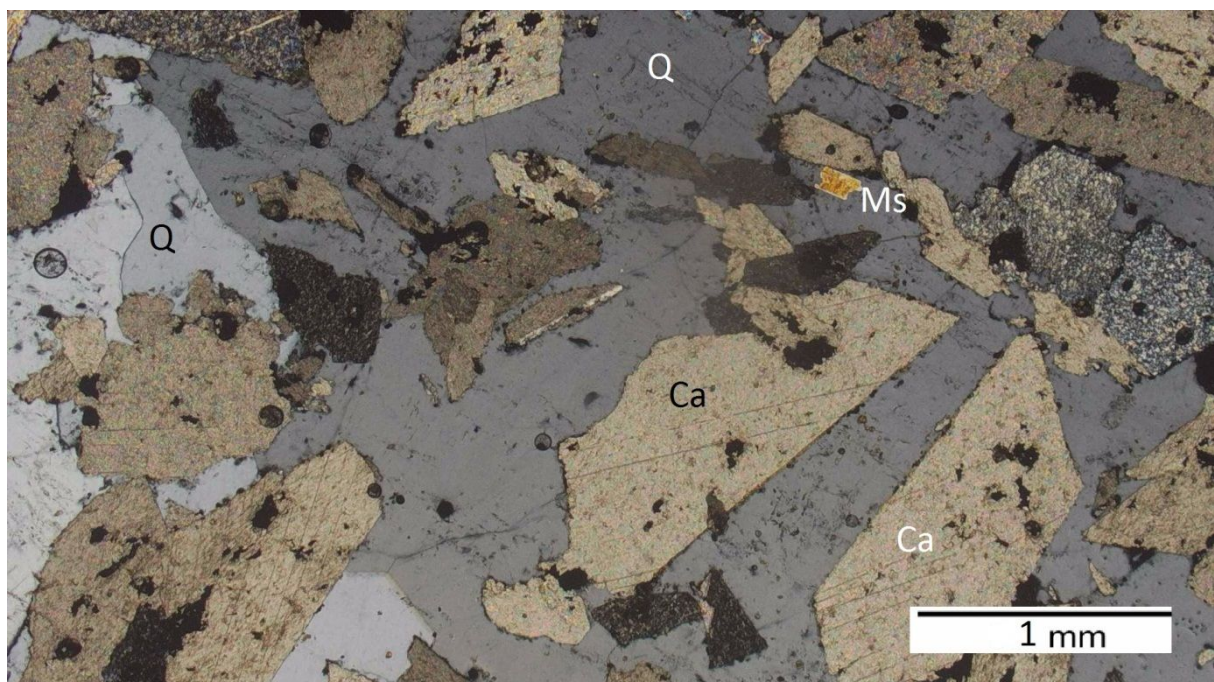
Amostra coletada *in_situ* em veio em talude de corte de estrada, na periferia sul do maciço alcalino encaixado em granito. A rocha é hololeucocrática com índice de coloração M' de 0, é maciça, holocristalina fanerítica, equigranular hipidiomórfica com granulação fina a média (Figura 38). Composta por **carbonato (56%)** com forma rombica, apresenta forma euédrica a subédrica, chega até 2,5 mm e está incluso no **quartzo (44%)** que é poiquilitico com até 6 mm, anédrico, englobando carbonatos e muscovitas (Figura 39), o contato entre eles reto ou vezes lobado, as vezes apresenta intercrescimento com o mesmo (Figura 40). A **muscovita (tr)** é o mineral acessório e é menor que 0,1 mm.

Figura 25 - Amostra de quartzo carbonatito.



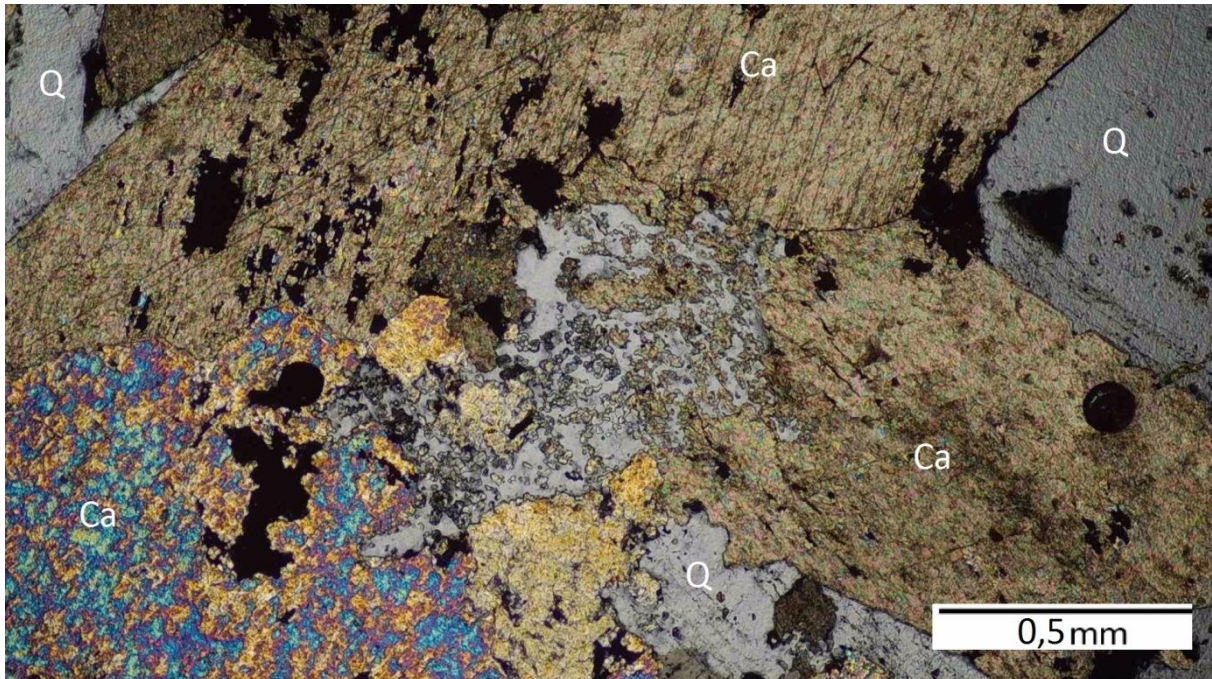
Fonte: Autor (2024)

Figura 26 - Fotomicrografia (NC) 2x. Aspecto textural, cristais romboédricos de carbonato imerso em quartzo com contato reto ou lobado.



Fonte: Autor (2024).

Figura 27 - Fotomicrografia (NC) 4x. Intercrescimento de quartzo e calcita. (obs: partes pretas são partes da calcita arrancadas no polimento, ou bolhas).

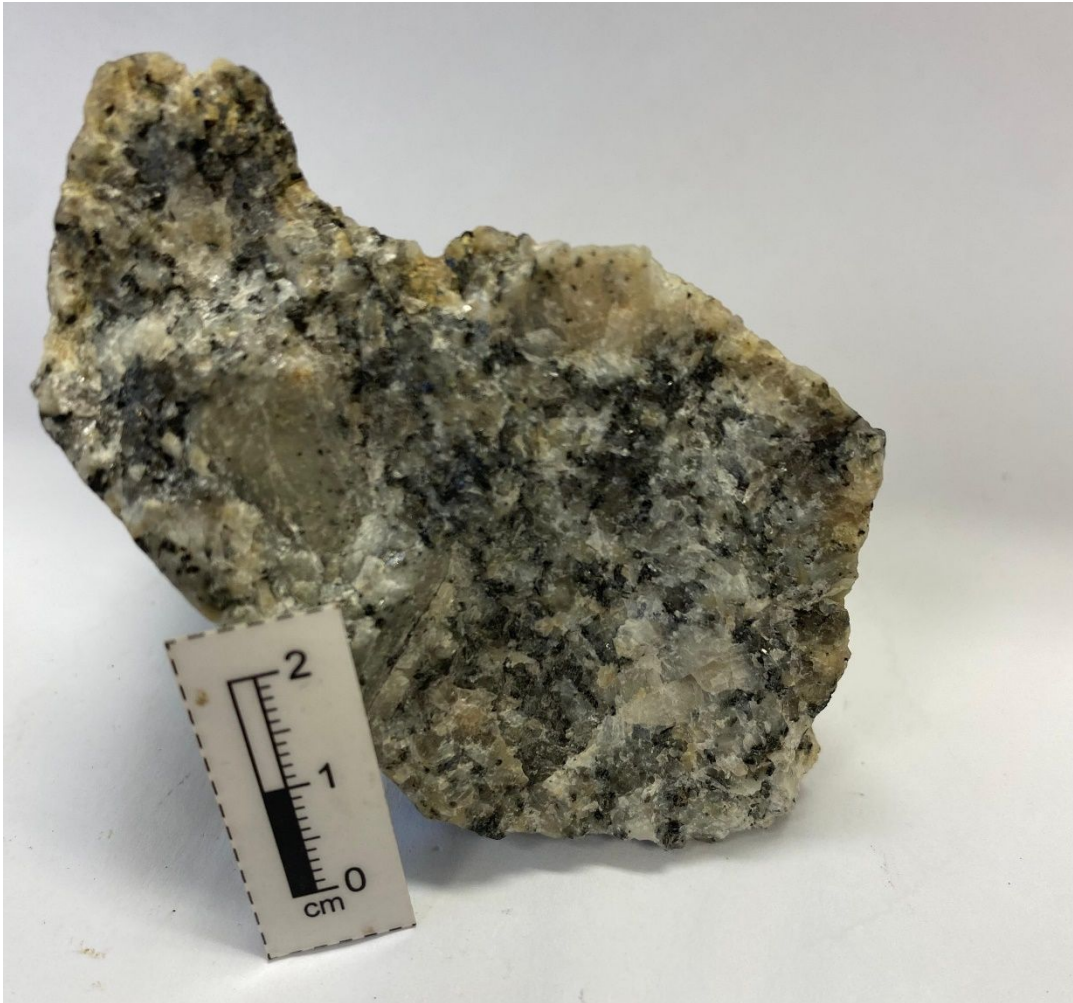


Fonte: Autor (2024).

4.1.7 Biotita sienogranito (GTK07)

Amostra coletada 600 m a sul do maciço alcalino, em cachoeira na estrada do Alto do Rio Pinheiros (Figura 17). A rocha é leucocrática maciça, holocristalina fanerítica, hipidiomórfica, textura porfírica de granulação média a grossa, com trama granítico. O principal mineral é o **ortoclásio** representado por pórfiros tabulares subédricos de até 2 cm com macla simples, com inclusões de biotita. O **quartzo** é arredondado, alguns são fumê e chegam a 4 mm, **plagioclásio** se apresenta como grãos menores junto a matriz, **biotita** é o mineral acessório mais abundante, mas não chega 5% da amostra, parcialmente alterado para clorita, enquanto a **muscovita** aparece tanto na clivagem dos feldspatos alcalinos quanto na matriz (Figura 41).

Figura 28 - Foto da amostra de biotita sienogranito, logo acima da escala da para notar o pórfiro de ortoclásio imerso em matriz média composta por quartzo, plagioclásio e biotita.



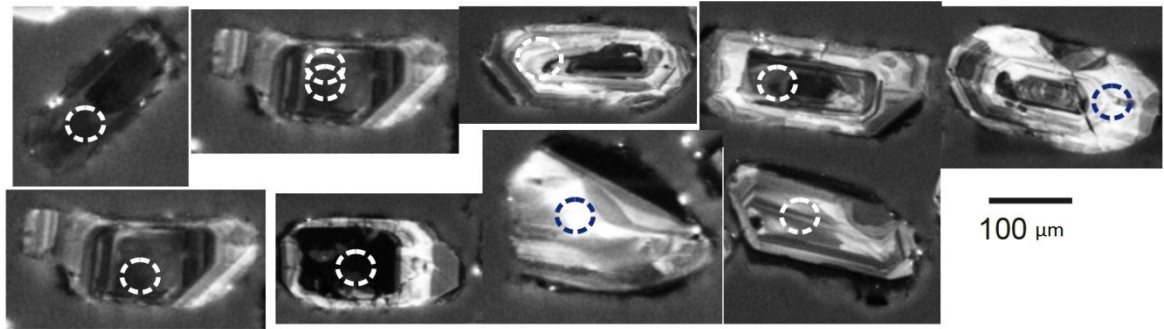
Fonte: Autor (2024).

4.2 GEOCRONOLOGIA

Foram analisados 15 zircões do nefelinito (amostra GTK01) sendo estes separados em duas populações. A primeira população de 9 zircões com até 300 micrometros, arredondados e semi-esféricos, com zonação concêntrica bem definida, com algumas fraturas nas bordas, características que indicam xenocristais de origem plutônica (Figura 42).

Figura 29 - Imagens de catodoluminescência da primeira população de zircões analisada.

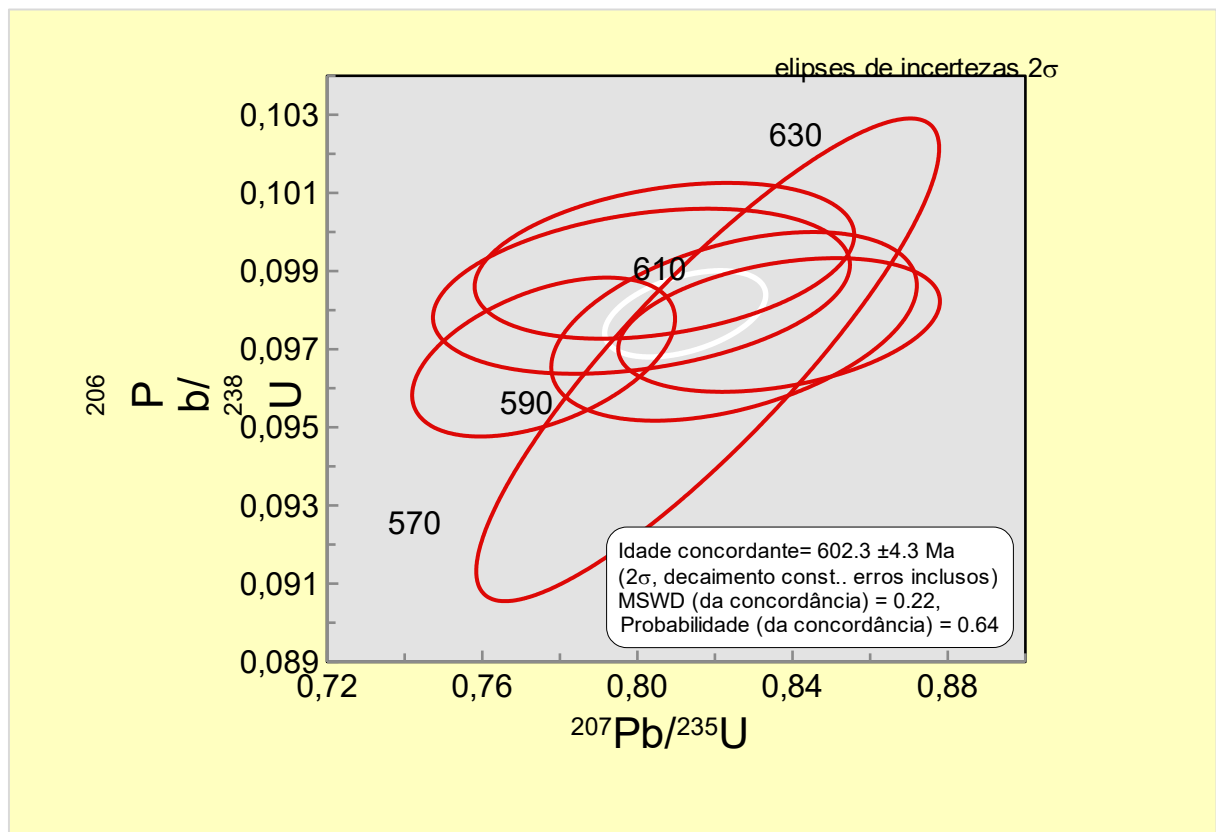
Amostra AN O1



Fonte: Autor (2024).

A idade concordante das amostras é de **602.3 ± 4.3 Ma** com uma incerteza de 4.3 milhões de anos e um intervalo de confiança de 95% que vai de 597.0 Ma a 606.6 Ma. O MSWD de 0.22 e a probabilidade de 0.64 (Figura 43). Valores das análises na Tabela 1.

Figura 30 - Diagrama das idades (LA-ICP-MS) em U-Pb da primeira população de zircões analisada.



Fonte: Autor (2024).

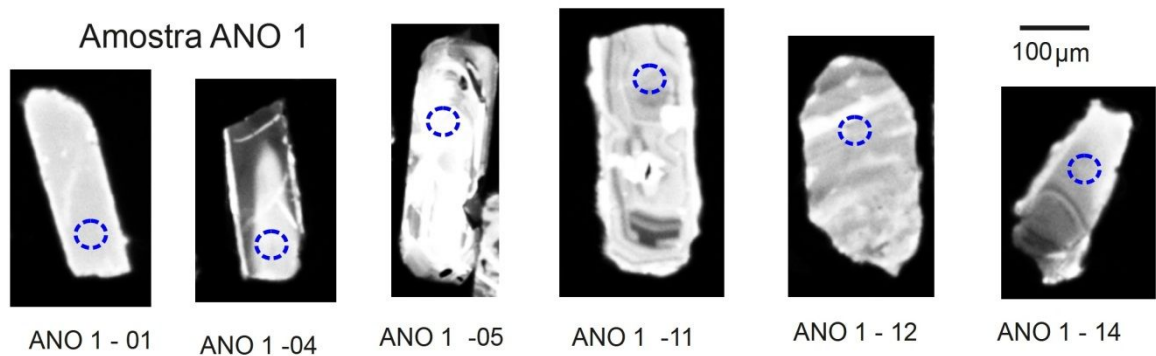
Tabela 1 - Síntese dos dados geocronológicos obtidos da primeira população de zircões analisado

Grão	Th/U	207Pb/ 235U	206Pb/ 238U	207Pb/ 206Pb	206Pb/ 238U	207Pb/ 235U	207Pb/ 206Pb	%Concf
003-Sample1	1,189	0,703	0,09	0,056	556,214	540,709	475,861	116,885
004-Sample 2	0,475	0,818	0,096	0,061	595,208	606,997	651,257	91,393
005-Sample 3	0,0469	0,775	0,096	0,058	595,621	583,094	534,604	111,413
008-Sample 6	0,592	0,953	0,106	0,065	650,212	679,733	778,769	83,492
010-Sample 8	0,723	0,913	0,101	0,064	626,04	658,798	772,617	81,028
004-Sample 2	0,837	0,774	0,097	0,057	601,009	582,426	510,613	117,703
006-Sample 4	0,732	0,792	0,098	0,058	608,363	592,568	532,543	114,237
007-Sample 5	0,591	0,8	0,095	0,06	590,872	597,009	620,395	95,241
011-Sample 9	0,275	0,759	0,088	0,062	547,592	573,481	677,466	80,829

Fonte: Autor (2024).’

A segunda população de zircões conta com 6 cristais prismáticos de até 400 micrometros, com bordas mais angulosas, quadrados e alguns parcialmente reabsorvidos, apresentam zonação discreta em alguns grãos (Figura 44).

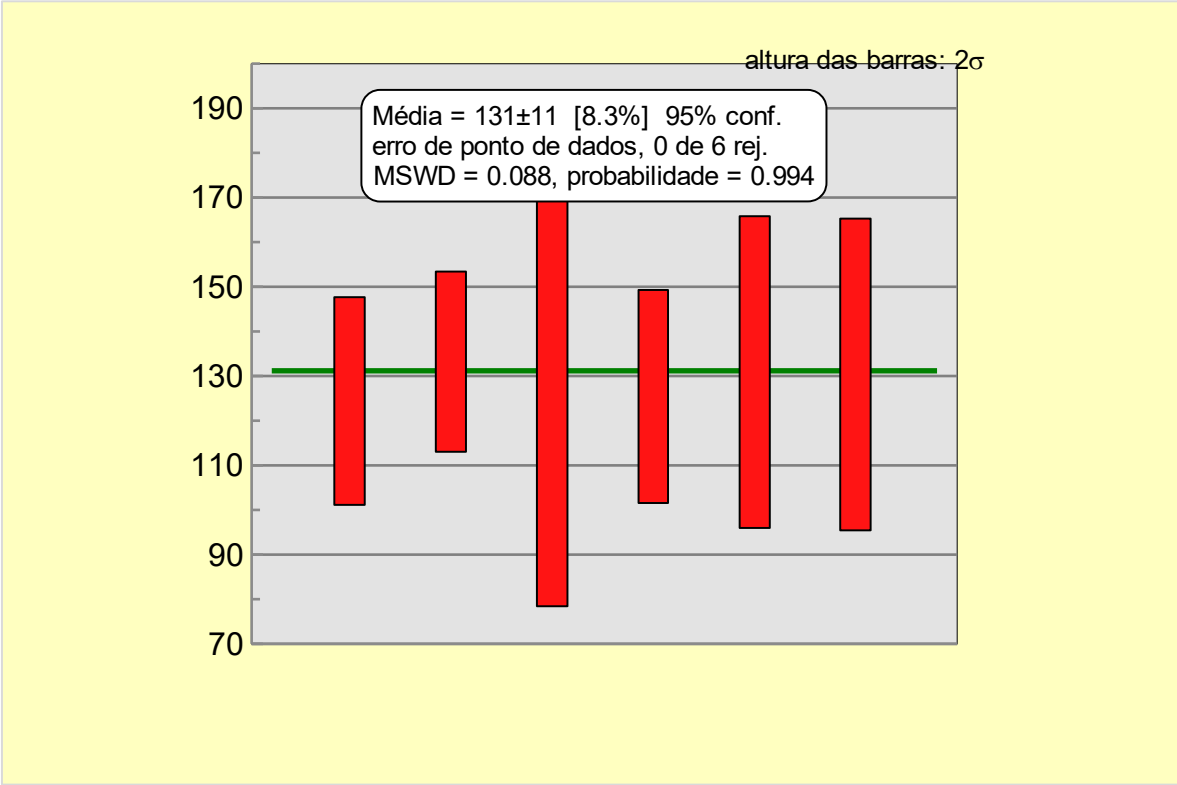
Figura 31 - Imagens de catodoluminescência da segunda população de zircões analisada



Fonte: Autor (2024).

Os resultados apresentam média de idade de **131±11 Ma**. A dispersão relativa é de 8.3%. A média está dentro de um intervalo de confiança de 95%, A análise ponderou os dados apenas com base nos erros de ponto de dados e nenhum dos 6 foi rejeitado. O MSWD (0.088), e a probabilidade de que os dados se ajustem bem ao modelo é 99.4% (Figura 45). Valores das análises na Tabela 2.

Figura 32. Diagrama de idades LA-ICP-MS em barras para a segunda população de zircões.



Fonte: Autor (2024).

Tabela 2 - Síntese dos dados geocronológicos obtidos da segunda população de zircões analisado.

Grãos	Th/U	²⁰⁶ Pb/ ²⁰⁴ Pb	²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁶ Pb	²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U	²⁰⁷ Pb/ ²³⁵ U	²⁰⁸ Pb/ ²³² Th	²⁰⁸ Pb/ ²³² Th	²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁶ Pb	²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U	²⁰⁷ Pb/ ²³⁵ U	% conc d
ANO1_1	43,185	123,38	6,23136	0,02043	17,55304	0,0096	0,0096	7708,948	130,372	2995,346	4,396
ANO1_4	18,707	123,664	1,09438	0,02067	3,11896	0,01181	0,01181	5363,781	131,888	1520,1906	9,175
ANO1_5	24,829	16,3569	0,86089	0,02057	2,441648	0,00631	0,00631	5025,97	131,257	824,20409	10,459
ANO1_11	10,874	0,67588	0,05214	0,02058	0,14795	0,00111	0,00111	1575,611	131,320	3626,9732	52,981
ANO1_12	52,318	0,23951	0,66794	0,02064	1,900852	0,00709	0,00709	4663,242	131,699	2848,6336	12,178
ANO1_14	41,979	55,3652	0,97132	0,02035	2,725385	0,00964	0,00964	5196,446	129,867	2524,8726	9,724

Fonte: Autor (2024).

5 DISCUSSÕES

5.1 PETROGRAFIA

Os resultados petrográficos obtidos para as amostras de rochas do maciço alcalino estudado fornecem informações detalhadas sobre a composição mineralógica, textural e estruturais de algumas das unidades rochosas presentes na região. A partir das descrições das amostras coletadas, podemos fazer uma análise sobre a variabilidade litológica do maciço alcalino.

A amostra de nefelinito (GTK01) coletada em aluvião tem características indicativas de uma rocha intrusiva, provavelmente um dique, que são citados na literatura. A textura, trama e grande quantidade de xenólitos e xenocristais são as características principais. Pela relação xenólito-encaixante, pode se afirmar que esta rocha foi formada depois do sienito alcalino, do ijolito, do melteigito e do piroxênio. A rocha se encaixa na descrição de rochas de dique feita em trabalhos anteriores (RODRIGUES (1985), FURTADO (1989) E SCHEIBE (2005)), com a diferença que neste trabalho a biotita é considerada xenocristal devido ao halo de reação, e a adição de alguns xenólitos. A grande quantidade de xenocristais de biotita (5%) sugere que a rocha encaixante do dique é do grupo das ultramáficas (apatita-piroxênio biotítico (GTK04)). A nefelina alterada parcialmente nas bordas para cancrinita, sugere reação com líquido carbonático (DEER HOWIE & ZUSSMAN, 1992) o que permite inferir que a injeção do veio de carbonatito (GTK05), que está próximo ao ponto de coleta, é contemporâneo ou posterior ao nefelinito.

A amostra de nefelinito fonolítico (GTK02) também coletada no aluvião também se encaixa a descrição de rochas de dique dos trabalhos anteriores, descritos como fonolitos ou tinguaítos, devido a estrutura fluidal marcada pela sanidina e nefelina. A contribuição deste trabalho é classificar a amostra corretamente no diagrama de Streckeisen (Figura 10), pela grande quantidade de nefelina (14,3%) contra feldspato alcalino (8%) dentre os fenocristais, a amostra é classificada como nefelinito fonolítico.

A amostra residual de titanita-biotita piroxênio (GTK03) coletada na borda do rio Pinheiros se encaixa no grupo das ultramáficas piroxêníticas do maciço, que é uma variação gradual de litologia pela mudança na quantidade de piroxênios, biotita, apatita, opacos e titanita. Este trabalho contribui apresentando esta variedade rica em titanita, a qual não foi descrita em estudos anteriores.

A amostra de apatita-piroxênio biotítico coletada próximo a anterior também se encaixa no grupo das ultramáficas, sendo uma variação mais rica em biotita e é provavelmente a encaixante do nefelinito GTK01 pela quantidade de biotitas ainda não reabsorvidas.

A amostra de carbonatito (GTK05) coletada *in situ* no leito do rio Pinheiros, muito próximo as amostras anteriores, é provavelmente posterior aos nefelinitos pela reação da nefelina euédrica alterada para cancrinita nas bordas.

A amostra de quartzo carbonatito (GTK06) foi coletada fora da área do maciço, intrudido no granito encaixante do maciço, o intercrescimento entre o quartzo e o carbonato (Figura 38) sugere que cristalizaram juntos em algum momento. É uma litologia nova descrita para a região.

A amostra de biotita sienogranito (GTK07) pertence aos granitóides encaixantes do maciço, apresenta características diferentes das descritas anteriormente por Rodrigues (1985) apesar de não ter sido confeccionada lâmina, em amostra macro é possível observar certa quantidade de muscovita, mineral que não estava descrito para este granito.

5.2 GEOCRONOLOGIA

Os resultados obtidos a partir de zircões da amostra GTK01 deram dois valores diferentes: o primeiro de 602.3 ± 4.3 Ma (Ediacarano), definidos através diagrama de concórdia, em 9 zircões arredondados de zonação concêntrica indica que os grãos são xenocristais provenientes do granito encaixante (GTK07) ou de outra rocha plutônica mais profunda. Os Granitóides Santo Antônio ainda não tinham idade definida, está pode ser uma sugestão de idade. Apesar de não poder ser confirmado por ser datado por xenocristais.

O MSWD de 0,22 é bastante baixo, sugerindo que a população de zircões apresenta uma concordância muito boa, ou seja, não há grandes discrepâncias nas idades dos zircões analisados. A probabilidade de 64% é considerada satisfatória, o que implica que os dados dos zircões da amostra analisada são consistentes entre si e com o modelo geocronológico utilizado.

A segunda população de 6 zircões apresentou idade de 131 ± 11 Ma (Cretáceo inferior) e é proveniente do maciço alcalino de Anitápolis, provavelmente autocristais do nefelinito, por suas características que permitem inferir ser de origem vulcânica ou hipoabissal. Idade que é similar as idades obtidas por Amaral (1967) pelo método K-Ar (Quadro 1).

Segundo informações do laboratório de geocronologia da UERJ, esses zircões apresentaram valores demasiadamente elevados em chumbo comum, o que não permitiu a obtenção de idades precisas nos diagramas de concórdia. Os diagramas de barras de erros utilizados forneceram idades preliminares mais precisas.

O MSWD de 0.088 é extremamente baixo, indicando um ajuste muito bom entre os dados e o modelo de datação utilizado. A probabilidade de 99,4% de que os dados se ajustem bem ao modelo utilizado é uma forte evidência de que as idades obtidas são confiáveis. Isso sugere que o modelo de datação U-Pb foi eficaz para estimar com precisão a idade dos zircões da segunda população.

6 CONCLUSÃO

A análise petrográfica permitiu identificar três novos litotipos no Complexo Alcalino de Anitápolis: nefelinito fonolítico, titanita-biotita piroxênito e quartzo carbonatito, além de sugerir que as amostras coletadas em aluvião (GTK01 e GTK02) são rochas de dique. Com a população de xenólitos pode-se afirmar que o nefelinito é posterior ao álcali sienito, ijolito, melteijito e piroxênito. A ocorrência de nefelina alterada nas bordas para cancrinita sugere que o carbonatito (GTK05) é contemporâneo ou posterior ao nefelinito.

Os dados geocronológicos dos zircões extraídos do nefelinito (GTK01) revelaram duas populações de grãos com idades distintas: $602,3 \pm 4,3$ Ma, referente a uma formação plutônica do Ediacarano, possivelmente do granito encaixante, e 131 ± 11 Ma, correspondendo a eventos do Eocretáceo de ~ 130 Ma, do Maciço Alcalino de Anitápolis. A alta confiabilidade dos dados, refletida pelos baixos valores de MSWD e pela elevada probabilidade de concordância, indica que as técnicas de datação utilizadas foram eficazes.

REFERÊNCIAS

ALGARTE, J. P. **A influência dos arqueamentos cratônicos no condicionamento das alcalinas nos estados de São Paulo e Paraná.** In: XXVI CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 1972, Belém. Anais... Belém: SBG, 1972. p. 65-69.

ALMEIDA, F. F. M. **Condicionamento tectônico do magmatismo alcalino mesozóico do sul do Brasil e Paraguai Oriental.** Anais da Academia Brasileira de Ciências, v. 43, p. 835-836, 1971.

ALMEIDA, F. F. M.; LEONARDOS JR., O. H.; VALENÇA, J. **Granitic rocks of the North-East South South America.** In: IUSGS/UNESCO SYMPOSIUM, 1967, Recife. Special Publications... Recife, 1967. p. 41.

ALMEIDA, F. F. M.; SVISERO, D. P. **Structural setting and tectonic control of kimberlite and associated rocks of Brazil.** In: 5th INTERNATIONAL KIMBERLITE CONFERENCE, 1991, Araxá. Extended abstracts... Araxá, 1991. p. 3-5.

AMARAL, G. **Potassium argon ages of alkaline rocks from southern Brazil.** Geochimica et Cosmochimica Acta, v. 31, p. 117-142, 1967.

BASEI, M. A. S. **Geologia e modelagem geotectônica dos terrenos pré-cambrianos das regiões sul-oriental brasileira e uruguaia: possíveis correlações com províncias similares do sudoeste africano.** Tese (Livre Docência), Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2000. 123 p.

BASEI, M. A. S. **O cinturão Dom Feliciano em Santa Catarina.** Tese (Doutorado), Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1985. 190 p.

BITENCOURT, M. F.; BONGIOLO, E. M.; PHILLIP, R. P.; MORALES, L. F. G.; RUBERT, R. R. **Estratigrafia do Batólito Florianópolis, Cinturão Dom Feliciano, região de Garopaba – Paulo Lopes, SC.** Revista Pesquisas em Geociências, Porto Alegre, v. 35, n. 1, p. 109-136, 2008.

BITENCOURT, M. F. **Granitóides sintectônicos da região de Porto Belo, SC: uma abordagem petrológica e estrutural do magmatismo em zonas de cisalhamento.** Tese (Doutorado), Programa de Pós-Graduação em Geociências, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1996. 310 p.

CARRARO, C. C.; ISSLER, R. S.; FORMOSO, M. L. L. **Mapeamento do Distrito Alcalino de Altos do Rio Pinheiros, Município de Anitápolis, SC.** UFRGS, 1967. 37 p.

COMIN-CHIARAMONTI, P.; MARZOLI, A.; GOMES, C. B.; MILAN, A.; RICCOMINI, C.; VELASQUEZ, V. F.; MANTOVANI, M. M. S.; RENNE, P.; TASSINARI, C. C. G.; VASCONCELOS, P. M. **The origin of post-Paleozoic magmatism in eastern Paraguay.** In: FOULGER, R. G.; JURDY, D. M. (orgs.). Plates, Plumes and Planetary Processes. Special Paper 430. Washington, D.C.: Geological Society of America, 2007. p. 603-633.

CORRÊA, V. X. **Geoquímica, isotopia e geocronologia das rochas graníticas do batólito Florianópolis na Ilha de Santa Catarina, SC, Brasil.** Dissertação (Mestrado), Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2016.

DEER, W. A.; HOWIE, R. A.; ZUSSMAN, R. **An Introduction to Rock-Forming Minerals.** 1. ed. Londres: Longman, 1992. 528 p.

FURTADO, S. M. A. **Petrologia do maciço alcalino de Anitápolis, SC.** Tese (Doutorado), Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1989. 245 p.

FURTADO, S. M. A.; SCHEIBE, L. F. **Geologia dos complexos alcalinos mesozoicos de Santa Catarina.** In: TEXTOS BÁSICOS DE GEOLOGIA. Florianópolis: Departamento Nacional da Produção Mineral, 1987. p. 170-192.

GILL, R. **Rochas e processos ígneos: Um guia prático**. 1. ed. São Paulo: Editora Edgard Blücher, 2014. 235 p.

GOMES, C. B.; COMIN-CHIARAMONTI, P. **Magmatismo alcalino continental da região meridional da plataforma brasileira**. São Paulo: Edusp/Fapesp, 2017. 595 p.

GOMES, C. B.; COMIN-CHIARAMONTI, P.; VELASQUEZ, F. **Modo de formação e idades: Os carbonatitos cretácicos da Plataforma Brasileira e suas principais características**. Instituto de Geociências/USP, 2020a. p. 21-38.

GOMES, C. B.; RUBERTI, E.; COMIN-CHIARAMONTI, P. **Descrição das ocorrências I: Os carbonatitos cretácicos da Plataforma Brasileira e suas principais características**. Instituto de Geociências/USP, 2020b. p. 39-60.

GOMES, C. B.; RUBERTI, E.; MORBILDELLI, L. **Carbonatite complexes from Brazil: A review**. Journal of South American Earth Sciences, v. 3, n. 1, p. 51-63, 1990.

HEILBRON, M.; PEDROSA-SOARES, A. C.; CAMPOS NETO, M. C.; SILVA, L. C.; TROUW, R. A. J.; JANASI, V. A. **Província Mantiqueira**. Em: MANTESSO-NETO, V.; BARTORELLI, A.; CARNEIRO, C. D. R.; BRITONEVES, B. B. (orgs.). Geologia do Continente Sul-Americano. 1. ed. São Paulo: Edusp, 2004. p. 613-628.

HUECK, M.; BASEI, M. A. S.; CASTRO, N. A. **Origin and evolution of the granitic intrusions in the Brusque Group of the Dom Feliciano Belt, south Brazil: Petrostructural analysis and whole-rock/isotope geochemistry**. Journal of South American Earth Science, v. 69, p. 131-151, 2016.

HYNDMAN, D. W. **Petrology of Igneous and Metamorphic Rocks**. 2. ed. Nova Iorque: McGraw-Hill, 1985. 654 p.

LE BAS, M. J. **Ultra-alkaline magmatism with or without rifting**. Technophysics, v. 143, p. 54-98, 1987.

LE MEITRE, R. W. **Igneous Rocks: A Classification and Glossary of Terms - Recommendations of the International Union of Geological Sciences**. Cambridge: Cambridge University Press, 2002. 326 p.

LUDWIG, K. R. **Isoplot 3.00: A Geochronological Tool Kit for Microsoft Excel**: Spec Publ No. 4. Berkeley: Geochronological Center, 2003. 70 p.

MELCHER, G. C.; COUTINHO, J. M. V. **Rochas alcalinas e carbonatito de Anitápolis, estado de Santa Catarina**. Sociedade Brasileira de Geologia, v. 15, p. 21-56, 1966.

RODRIGUES, E. P. **O Complexo Alcalino de Anitápolis: Um estudo petrológico**. Dissertação (Mestrado), Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1985.

SCHEIBE, L. F.; FURTADO, S. M. A.; COMIN-CHIARAMONTI, P.; GOMES, C. B. **Cretaceous alkaline magmatism from Santa Catarina State, Southern Brazil**. Edusp/Fapesp, 2005. p. 523-571.

SILVA, L. C.; MCNAUGHTON, N. J.; ARMSTRONG, R.; HARTMANN, L. A.; FLETCHER, J. R. **The Neoproterozoic Mantiqueira Province and its African connections: a zircon-based U–Pb geochronologic subdivision for the Brasiliano/Pan-African systems of orogens**. *Precambrian Research*, v. 136, n. 3-4, p. 203-240, 2005.

SONOKI, I. K.; GARDA, G. M. **Idades K-Ar de rochas alcalinas do Brasil meridional e Paraguai Oriental: Compilação e adaptação às novas constantes de decaimento**. 1988.

SØRENSEN, H. **The alkaline rocks**. Londres: John Wiley & Sons, 1974.

SØRENSEN, H. **The alkaline rocks: A review**. *Fortschr. Miner.*, 1986.

SUBCOMMISSION ON THE SYSTEMATICS OF IGNEOUS ROCKS – IUGS. **Classification and nomenclature of plutonic rocks**. *Geotimes*, 1973.

THIEDE, D. S.; VASCONCELOS, P. M. **Paraná flood basalts: Rapid extrusion hypothesis confirmed by new $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ results.** *Geology*, v. 38, p. 747-750, 2010.

ULBRICH, H. H.; GOMES, C. B. **Alkaline rocks from continental Brazil.** *Earth-Science Reviews*, v. 17, p. 135-154, 1981.

VELASQUEZ, V. F.; COMIN-CHIARAMONTI, P.; CUNDARI, A.; GOMES, C. B.; RICCOMINI, C. **Cretaceous Na-alkaline magmatism from the Misiones Province (Paraguay): Its relationships with the Paleocene Na-alkaline analog from Asunción and geodynamic significance.** *Journal of Geology*, v. 114, p. 577-594, 2006.

VERGARA, V. D. **Pesquisa de fosfato em Anitápolis, fase preliminar.** Convênio ILM/CPRM, 1977.

VERGARA, V. D. **Pesquisa geológica no complexo alcalino de Anitápolis.** SBG, v. 4, p. 2504-2517, 1980.

WILDNER, W.; CAMOZZATO, E.; TONIOLO, J. A.; BINOTTO, R. B.; IGLESIAS, C. M. F.; LAUX, J. H. **Mapa geológico do estado de Santa Catarina.** Porto Alegre: CPRM, 2014.

ANEXO A- Fichas petrográficas das amostras descritas.

Amostra	GTK01		
Índice de coloração	Mesocrática 45 M' (baseado em fenocristais)		
	Cristalinidade	Visibilidade	Tamanho relativo dos cristais
Textura	Hipocristalina	Subfanerítica	Porfíritico seriado
	Tamanho absoluto dos cristais	Forma dos cristais	Trama
	Muito fino a médio	Hipidiomórfica	Xenolítico
Estrutura	Maciça		
Mineralogia			
Minerais Essenciais	%	Descrição	
Matriz	46,8	Matriz escura verde criptocristalina, provavelmente uma mistura de nefelina, clinopiroxênio, feldspato alcalino e biotita.	
Clinopiroxenio	24,2	Aegerina Augita prismática euédrica com até 3mm na seção alongada, com zonação concentrica, onde a borda assume tom verde mais forte, com alguns cristais com zonação invertida. Ocasionalmente poiquilitico com chadacristais de apatita e biotita.	
Nefelina	20,4	Fenocristais idiomórficos quadrados e hexagonais de até 2mm, Alterados parcialmente para cancrinita nas bordas.	
Minerais Acessorios	%	Descrição	
Apatita	8,6	Cristais idiomórficos dispersos na matriz de até 0,5mm, ou como inclusão nos clinopiroxênios.	
Titanita	tr	Cristais euédricos de até 0,5mm com inclusões.	
Opacos	tr	Pirita (<1mm).	
Minerais secundarios		Descrição	
Cancrinita		Produto de reação das nefelinas com carbonatos.	
Volume total da amostra (%)			
Amígdalas	7	Amígdalas irregulares alongadas com até 3 mm preenchidas por zeolita (6%) e carbonato (1%).	
Xenólitos	7	Ijolito, melteigito, piroxênio, alcali sienito.	
Xenocristais	5	Biotita (~5%) com cristais de até 0,6 mm com bordas reabsorvidas e halo de reação. Um único cristal de feldspato alcalino prismático com macla simples de 3 mm, poiquilitico com chadacristais de aegerina augita e apatita, e com bordas reabsorvidas. Também possui um pequeno halo de reação.	
Observações			
Classificação	Nefelinito		

Amostra	GTK02		
Índice de coloração	Mesocrática, 40 M'		
	Cristalinidade	Visibilidade	Tamanho relativo dos cristais
Textura	Hipocristalina	Subfanerítica	Porfíritico seriado
	Tamanho absoluto dos cristais	Forma dos cristais	Trama
	Muito fino a médio	Hipidiomórfica	Traquitico/tinguaítico
Estrutura	Fluidal		
Mineralogia			
Minerais Essenciais	%	Descrição	
Matriz	72,9	Matriz da rocha constituída por acículas de aegerina augita (37,5%) distribuídas de forma caótica em agrupamentos de até 0,2 mm de comprimento boiando em uma massa fésica composta por feldspato alcalino e nefelina (35,4%) alteradas para cancrinita.	
Nefelina	14,3	Cristais euédricos equidimensionais de cerca de 0,2 mm em feneno cristais e menores em microfenocristais.	
Sanidina	8	Cristais euédricos ripiformes de até 2 mm com orientação. Alguns oicocristais com maiores de 5mm com inclusão de nefelina euédrica e aegerina	
Minerais Acessorios	%	Descrição	
Titanita	1,2	Microfenocristais distribuídos pela amostra.	
Biotita	1,6	Microfenocristais distribuídos pela amostra, as vezes com coronas de aegerina augita.	
Opacos	tr	Próximos as biotitas.	
Zircão	tr	Cristais euédricos prismáticos de até 0,1 mm.	
Apatita	tr	Acículas de apatita em alguns lugares da matriz.	
Minerais secundarios	%	Descrição	
Cancrinita		Produto de reação das nefelinas da matriz.	
Classificação	Nefelinito fonolítico		

Amostra	GTK03		
Índice de coloração	Holomelanocrática 91,5 M'		
	Cristalinidade	Visibilidade	Tamanho relativo dos cristais
Textura	Holocristalina	Fanerítica	Equigranular
	Tamanho absoluto dos cristais	Forma dos cristais	Trama
	Fino a Médio	Hipidiomórfica	Cumulático
Estrutura	Bandamento composicional incipiente		
Mineralogia			
Minerais Essenciais	%	Descrição	
Clinopiroxênio	47,2	Cristais de aegerina augita euédricos e subédricos, tabulares, menores de 0,5 mm distribuídos em camadas incipientes, suavemente orientados, junto a apatitas, e titanita, alternando com camadas mais ricas em biotita. Apresentam inclusão de opacos euédricos menores.	
Biotita	22,5	Cristais com até 1 mm, subédricos, disposto em agregados ou dispersos em algumas partes da amostra. Apresentam inclusão de apatita e titanita.	
Titanita	12,1	Intersticial aos piroxênios, menores que 0,2 mm.	
Minerais Acessórios	%	Descrição	
Opacos	9,4	Cristais menores idiomórficos quadrados inclusos em piroxênios, aparecem também alotromórficos junto as biotitas.	
Apatita	8,5	Anédricos, intersticiais aos piroxênios, menores que 0,2 mm.	
Observações	Glimmerito?		
Classificação	Titanita-biotita piroxênio		

Amostra	GTK04		
Índice de coloração	Melanocrática 82,5 M'		
	Cristalinidade	Visibilidade	Tamanho relativo dos cristais
Textura	Holocrystalina	Fanerítica	Equigranular
	Tamanho absoluto dos cristais	Forma dos cristais	Trama
	Fino a Médio	Hipidiomórfica	Cumulático
Estrutura	Bandamento composicional discreto		
Mineralogia			
Minerais Essenciais	%	Descrição	
Biotita	37,3	Cristais com até 1 mm, subédricos e euédricos, disposto em bandas monomineralicas menores que 1 mm apenas com algumas inclusões de apatita e titanita, intercaladas com bandas de piroxênio com titanita e apatita.	
Clinopiroxênio	35,3	Cristais de aegerina augita euédricos e subédricos, tabulares, menores de 0,5 mm distribuidos em camadas incipientes, junto a apatitas, e titanita. Apresentam inclusão de opacos euédricos menores.	
Apatita	17,5	Anédricos, intersticiais aos piroxênios, menores que 0,2 mm.	
Minerais Acessórios	%	Descrição	
Opacos	5,7	Cristais anédricos junto as biotitas. Alguns idiomórficos junto a piroxênios.	
Titanita	4	Intersticial aos piroxênios, menores que 0,2 mm. Também aparecem como coronas em alguns opacos losangos.	
Observações	Glimmerito?		
Classificação	Apatita-piroxênio biotítico		

Amostra	GTK05		
Índice de coloração	Hololeucocrática 0 M'		
	Cristalinidade	Visibilidade	Tamanho relativo dos cristais
Textura	Holocrystalina	Fanerítica	Inequigranular
	Tamanho absoluto dos cristais	Forma dos cristais	Trama
	Fino a Médio	Alotromórfica	Granular
Estrutura	Maciço		
Mineralogia			
Minerais Essenciais	%	Descrição	
Carbonato	100	Cristais xenomórficos aproximadamente equidimensionais que chegam até 5 mm com contato lobado entre eles.	
Observações			
Classificação	Carbonatito		

Amostra	GTK06		
Índice de coloração	Hololeucocrático M ⁺ 0		
	Cristalinidade	Visibilidade	Tamanho relativo dos cristais
Textura	Holocrystalina	Fanerítica	Equigranular
	Tamanho absoluto dos cristais	Forma dos cristais	Trama
	Fino a Médio	Hipidiomórfica	?
Estrutura	Maciço		
Mineralogia			
Minerais Essenciais	%	Descrição	
Carbonato	56	Cristais romboédricos alongados euédricos e subédricos com até 2.5 mm.	
Quartzo	44	Cristais na anédricos poiquiliticos de até 6 mm englobando carbonatos.	
Minerais Acessórios	%	Descrição	
Muscovita	tr	Cristias subédricos menores de 0,1 mm inclusos no quartzo	
Observações	O contato entre o quartzo e carbonato é reto e as vezes lobado, as vezes aparecem com intercrescimento em parte da lâmina		
Classificação	Quartzo carbonatito		