



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CENTRO DE CIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOLOGIA

ANA FLÁVIA DA CONCEIÇÃO CAVALCANTE

**GEOQUÍMICA E GEOCRONOLOGIA: MINERAIS E ROCHAS DA REGIÃO DE
ITATAIA, ESTADO DO CEARÁ, NE DO BRASIL**

FORTALEZA

2019

ANA FLÁVIA DA CONCEIÇÃO CAVALCANTE

GEOQUÍMICA E GEOCRONOLOGIA: MINERAIS E ROCHAS DA REGIÃO DE
ITATAIA, ESTADO DO CEARÁ, NE DO BRASIL

Dissertação apresentada ao Programa de Pós- Graduação em Geologia da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Geologia. Área de concentração: Geodinâmica e Recursos Minerais.

Orientador: Professor Dr. César Ulisses Vieira Veríssimo

FORTALEZA

2019

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Biblioteca Universitária

Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

C364g Cavalcante, Ana Flávia da Conceição.
Geoquímica e geocronologia: minerais e rochas da região de Itaitaia, Estado do Ceará, NE do Brasil / Ana Flávia da Conceição Cavalcante. – 2019.
129 f. : il. color.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências, Programa de Pós-Graduação em Geologia, Fortaleza, 2019.
Orientação: Prof. Dr. Prof. Dr. César Ulisses Vieira Veríssimo .

1. Complexo Ceará. 2. Itaitaia. 3. Geoquímica. 4. Geocronologia. I. Título.

CDD 551

ANA FLÁVIA DA CONCEIÇÃO CAVALCANTE

GEOQUIMICA E GEOCRONOLOGIA: MINERAIS E ROCHAS DA REGIÃO DE
ITATAIA, ESTADO DO CEARÁ, NE DO BRASIL

Dissertação apresentada ao Programa de Pós- Graduação em Geologia da Universidade de Federal do Ceará, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Geologia. Área de concentração: Geodinâmica e Recursos Minerais.

Aprovada em: __/__/_____.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. César Ulisses Vieira Veríssimo (Orientador)
Universidade Federal do Ceará UFC

Prof. Dr. Christiano Magini
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Dr. Sérgio Roberto Bacelar Huhn
Universidade Federal do Ceará (UFC)

A Deus, família e amigos.

AGRADECIMENTOS

Agradeço imensamente ao meu orientador Prof. Dr. César Ulisses Vieira Veríssimo, por toda a paciência, pelos conselhos e pela incrível orientação, no decorrer de uma longa trajetória que teve início em tempos da graduação, cujas palavras levarei com carinho por toda minha jornada profissional.

À Universidade Federal do Ceará e ao Departamento de Geologia, por todo o suporte disponibilizado para a realização da presente pesquisa. Um agradecimento especial ao Laboratório de Microscopia Eletrônica de Varredura e ao Laboratório de Geotécnica.

Agradeço profundamente a todos os professores que participaram do meu desenvolvimento profissional que, de forma tão paciente, tanto me ensinaram.

Aos colegas do laboratório de Microscopia Eletrônica de Varredura da UFC, muito obrigada pelo companheirismo, pelo apoio, por me ajudarem tanto ao longo de todos esses anos, vocês foram essenciais.

Ao Laboratório de Termocronologia da Universidade Estadual de São Paulo (Campus Rio Claro), através do Prof. Dr. Peter Christian Hackspacker e, em especial, da Dra. Marli Carina Siqueira, pelo auxílio, orientação e extrema gentileza concedida durante minha estadia em Rio Claro.

Ao Laboratório de Microsonda Eletrônica do Instituto de Geociências da Universidade de Brasília, corporificado nos pesquisadores Prof. Dr. Nilson Francisquini Botelho, Dra. Jacqueline Menez e Íris Dias Santos, muito obrigada por me receber de forma tão carinhosa e eficiente.

Aos geólogos Prof. Dr. José de Araújo Nogueira Neto (UFG) e Ms. Iaponira Paiva Gomes (CPRM-REFO), pelos auxílios prestados, respectivamente, no processo de recálculo dos valores da química dos anfibólios e no registro de parte das fotomicrografias utilizadas no Capítulo 3.

Aos amigos e incríveis geólogos, Jaqueline Mesquita, Caio César Fernandes Teixeira e Amanda Peixoto, que compartilharam comigo todos os desafios, os momentos bons e ruins, enfim, todas as etapas dessa longa e árdua trajetória, sempre me apoiando e incentivando.

Aos familiares e amigos, sempre os maiores apoiadores, aos quais devo toda a minha gratidão por estar ao meu lado e por fazerem dos obstáculos muito mais fáceis de ultrapassar, pelo carinho e amor de sempre, muito obrigada.

Por fim, ao meu mestre, motivo pela minha decisão em me aventurar nessa loucura infinita chamada Geologia, a quem agradeço por tudo que aprendi e por tudo que realizei nessa extraordinária jornada, a quem devo meu desenvolvimento como profissional e como pessoa, ao ser humano mais incrível que alguém pode conhecer na vida, meu pai, o mais brilhante entre todos os geólogos, José Carvalho Cavalcante, muitíssimo obrigada. Vou sempre fazer o possível para nunca te decepcionar.

“O mais competente não discute, domina
a sua ciência e cala-se.” (Voltaire)

RESUMO

A área do presente trabalho, em termos tectonoestratigráficos, está situada no Domínio Ceará Central da Subprovíncia Borborema Setentrional, localizada a SE do município de Santa Quitéria (CE), Nordeste do Brasil. A litoestratigrafia local ainda não encontra-se em *status* a ser seguida pelas mais diversas vertentes de pesquisadores, principalmente no comparativo entre visões locais e regionais. Neste cenário, procura-se adotar uma crono-litoestratigrafia que atenda princípios históricos e de representatividade regional das associações litológicas. Assim, a área pesquisada corresponde a um segmento das supracrustais neoproterozóicas da Unidade Independência, do Complexo/Grupo Ceará, representada, predominantemente, por uma associação de: - granada-biotita paragneisses, mais ou menos sillimaníticas e geralmente com baixa porcentagem de leucossomas; em parte com leitos metapsamíticos e esparsas lentes de rochas calciossilicáticas/escarníticas; - rochas metacarbonáticas (mármore puros e impuros), como principais encaixantes do minério fósforo-uranífero de Itataia (colofanito); - quartzitos com ou sem muscovita e feldspatos, em parte subordinando estreitos leitos micáceos. Neste contexto, a química mineral de apatitas extraídas de diversos litotipos mostraram, literalmente, composições inerentes à fluorapatita (análise DRX em monocristal registraram este mesmo resultado); a dos anfibólios revelaram a existência de cristais com núcleos de anfibólios cálcicos (magnésio-hornblenda e edinita-hornblenda) e bordas de anfibólio sódico (arfvedsonita). A litoquímica de amostras de dique máfico (micropetrograficamente classificado como diabásio e relacionado ao magmatismo Rio Ceará-Mirim) mostrou uma composição de andesito a andesito basáltico da série toleítica de alto-Ti. A termocronologia (U-Th)/He de apatitas, extraídas de um episienito, mesmo sendo em número reduzido para uma região de relevo que oscila entre ca. 300 m (vale do Rio Groairas) e ca.1100 m (cimeira da Serra do Céu), e que esteve subordinada a importantes oscilações tectônicas verticais e de denudação do Mesozóico (Cretáceo) ao Cenozóico; sugerem duas fases de resfriamentos, uma em torno de $65,1 \pm 0,7$ Ma e outra em torno de $87,8 \pm 0,1$ Ma, sendo este um número próximo da já conhecida idade AFT (*Apatite Fission Tract*) de 91 ± 6 Ma, envolvendo apatitas de brechas carbonosas mineralizadas da Jazida de Itataia. Idades termocronológicas AFT, em torno de 90 Ma têm sido consideradas como reflexo da culminação das fases mais

importantes da deriva entre os continentes Sul-Americano e Africano, em tempos cretácicos. Por seu turno, a cronoradiometria U-Pb (LA-ICPMS) de zircões de amostras do referido dique máfico revelou a existência de um domínio de zircões herdados de um embasamento arqueano-paleoproterozóico (idades concórdia, intercepto superior: entre ca. 2.000 e ca. 2.200 Ma; ca. 2.695 Ma) metamorfozado no Neoproterozóico (idades concórdia, intercepto inferior: 635 ± 22 , 594 ± 14 e 551 ± 11 Ma; Ciclo Brasileiro/Panafricano).

Palavras-chave: Complexo Ceará. Itataia. Apatitas. Anfibólios. Química Mineral. Termocronologia. Diabasio. Litoquímica. Geocronologia.

ABSTRACT

The area of the present work, in tectonostratigraphic terms, is located in the Ceará Central Domain of the Northern Borborema Subprovince, placed to the SE of Santa Quitéria (CE), Northeast Brazil. Local lithostratigraphy is not yet in status to be followed by the most diverse strands of researchers, especially in comparing local and regional views. In this scenario, we seek to adopt a chrono-lithostratigraphy that meets historical principles and regional representativeness of lithological associations. Thus, the area surveyed corresponds to a segment of the Neoproterozoic supracrustals of the Independence Unit, from Ceará Complex / Group, represented, predominantly, by an association of: - ± sillimanite-garnet-biotite paragneisses and generally with low leucosome percentage; partly with metapsamitic beds and sparse calc-silicate rocks/skarns lenses; - metacarbonate rocks (pure and impure marbles), as the main depositors of the Itataia phosphorus-uraniferous ore; - quartzites with or without muscovite and feldspar, in part subordinating narrow micaceous beds. In this context, the mineral chemistry of apatites extracted from various lithotypes showed literally compositions inherent to fluorapatites (single-crystal DRX analysis recorded this same result); that of amphiboles revealed the existence of crystals with nuclei of calcium-amphiboles (magnesium hornblende and edenite hornblende) and borders of sodium amphibole (arfvedsonite). The lithochemistry of mafic dike samples (classified, in microscopic scale, as diabase and related to Rio Ceará-Mirim magmatism) showed a composition of andesite to basaltic andesite of the high-Ti tholeiitic series. Meanwhile, the apatite-related apatite (U-Th) / He thermochronology, even though in small numbers for a relief region that oscillates between ca. 300 m (river valley Groairas) and ca. 1100 m (Serra do Céu summit), which was subordinated to important tectonic vertical oscillations and denudation from the Mesozoic (Cretaceous) to the Cenozoic; suggest two cooling phases, one around 65.1 ± 0.7 Ma and one around 87.8 ± 0.1 Ma, this being a number close to the already known age AFT (*Apatite Fission Tract*) of 91 ± 6 Ma, involving apatites of mineralized carbonaceous breccias from the Itataia Deposit. AFT thermochronological ages around 90 Ma have been considered to reflect the culmination of the most important drift phases between the South American and African continents in Cretaceous times. In its turn, U-Pb chronoradiometry (LA-ICPMS) of zircons samples from said mafic dike revealed the

existence of a domain of zircons inherited from an Archean-Paleoproterozoic basement (concord ages, upper intercept: between ca. 2.000 and ca. 2.295 Ma; ca. 2.695 Ma) metamorphosed in the Neoproterozoic (concord ages, lower intercept: 635 ± 22 , 594 ± 14 and 551 ± 11 Ma; Brazilian/Pan-African cycle).

Keywords: Ceará Complex. Apatites. Amphiboles. Mineral Chemistry. Thermochronology. Diabase. Lithochemistry. Geochronology.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	- Principais vias de acesso à área estudada.....	21
Figura 2	- Relevo da região da Jazida de Itataia e arredores.....	24
Figura 3	- Vegetação típica da região de Itataia em período úmido.....	26
Figura 4	- Principal subdivisão da Província Borborema.....	28
Figura 5	- Traços tectônicos da Província Borborema visando o realce dos principais desenvolvimentos orogênicos acrescionários neoproterozóicos (Criogeniano-Ediacaranos) conhecidos.....	29
Figura 6	- Principais unidades estratigráficas do Domínio Ceará Central.....	32
Figura 7	- Principais unidades estratigráficas do Núcleo Arqueano-Paleoproterozóico Tróia, envolvendo suas principais áreas meridionais e orientais.....	
Figura 8	- Mapa geológico da área da jazida fósforo-uranífera de Itataia e vizinhanças, onde insere-se os afloramentos descritos e amostrados	41
Figura 9	- Paragnaisses migmatitos exibindo porcentagens variadas de leucossomas, geralmente lenticulares, dobrados ou não, refletindo taxas deformacionais diversas.....	42
Figura 10	- Sillimanita-biotita gnaïsse relativamente homogêneo, da porção sul da Serra da Igreja.....	43
Figura 11	- Sillimanita-biotita paragnaisse migmatizado (metatexito de estrutura estromática).....	44
Figura 12	- Fotomicrografias de exemplar de paragnaisse, destacando-se elementos texturais de fraturamento e composicionais da zona da sillimanita com registros retrometamórficos.....	45
Figura 13	- Fotomicrografias de exemplar de paragnaisse, com destaque as feições texturais e as presenças de granadas, micas e apatitas....	46
Figura 14	- Fotomicrografias de paragnaisse, destacando-se aspectos de faturamento e alteração dos feldspatos e a biotita de alta temperatura.....	47
Figura 15	- Arranjos estruturais das rochas metacarbonáticas, em escala de afloramentos	48

Figura 16 - Fotomicrografias de um exemplar de mármore da zona de contato com episienito.....	49
Figura 17 - Aspectos texturais e mineralógicos de uma amostra de mármore, do contato com episienito, em zona albitizada e com a presença de colofana.....	49
Figura 18 - Fotografias de rocha calciossilicática, refletindo processos retrometamórficos	50
Figura 19 - Visão parcial de um afloramento de rocha anfibolítica	51
Figura 20 - Fotomicrografias de rocha anfibolítica de afloramento às proximidades do corpo principal da Jazida de Itataia	52
Figura 21 - Elementos estruturais do quartzito em afloramento de talude da estrada Lagoa do Mato-Itataia.....	53
Figura 22 - Vistas parciais de afloramentos de leucogranitos.....	54
Figura 23 - Fotomicrografias de leucogranito	54
Figura 24 - Fotomicrografias de leucogranito	56
Figura 25 - Fotomicrografias de leucogranito	56
Figura 26 - Fotomicrografias da zona de contato episienito-metacalcário.....	57
Figura 27 - Aspectos de afloramentos do dique máfico Itataia-Morrinhos	58
Figura 28 - Fotomicrografias de exemplares do dique máfico (“diabásio”) Itataia-Morrinhos	59
Figura 29 - Fotomicrografias de exemplares de “diabásio” do dique Itataia-Morrinhos.....	60
Figura 30 - Instrumentos utilizados no processo de determinação da composição química (elementos maiores/óxidos) das apatitas.....	62
Figura 31 - Fotomicrografias de exemplares de paragnaisses, com destaque para os cristais de apatitas.....	63
Figura 32 - Fotomicrografias relacionando alguns cristais de apatitas e anfibólios, além da colofana, objetos de análises químicas por microsonda eletrônica.....	64
Figura 33 - Imagens dos minerais objetos de análises por microsonda eletrônica (EMPA).....	65

Figura 34 -	Diagramas de classificação dos cristais de anfibólios analisados, com relação BNa <i>versus</i> BCa + BNa.....	68
Figura 35 -	Apatitas de diabásio: gráficos binários das relações: A – Fluor x Cloro, B – UO ₂ x P ₂ O ₅ , C –; FeO x SiO ₂ e D – Na ₂ O x CaO.....	73
Figura 36 -	Apatitas do anfibolito: gráficos binários das relações A – Fluor x Cloro, B – UO ₂ x P ₂ O ₅ , C – FeO x SiO ₂ e D –. Na ₂ O x CaO.....	76
Figura 37 -	Vista parcial do afloramento de paragnaisse com baixa taxa de leucossomas lenticulares, relacionado à amostra AF09.....	77
Figura 38 -	Fotomicrografia de seção delgada do paragnaisse AF09, com destaque para o cristal de apatita objeto de análise por microsonda eletrônica.....	77
Figura 39 -	Apatitas de paragmaisses: gráficos binários das relações A – Fluor x Cloro, B – UO ₂ x P ₂ O ₅ e C – FeO x SiO ₂	83
Figura 40 -	Estrutura cristalina de apatita oriunda de rocha gnáissica, como resultado de análise através de Difrátômetro de Raios-X (DRX).	84
Figura 41 -	Estrutura cristalina da flúorapatita, segundo Stosch (2000).....	84
Figura 42 -	Apatitas da colofana: gráficos binários das relações A – UO ₂ x P ₂ O ₅ , B – F x Cl	87
Figura 43 -	Apatitas da colofana: gráficos binários das relações: A –SiO ₂ x FeO, B – CaO x Na ₂ O	88
Figura 44 -	<i>Plot</i> binário da variação composicional do F e Cl de apatitas relacionadas a tonalito, diorito e gabro.....	89
Figura 45 -	Padrões de distribuição de ETR (<i>spider diagrams</i>) em relação ao condrito de apatitas de rochas metassedimentares de Patos de Minas-MG e Irecê-BA, frente aquele da apatita de Itataia-CE.....	90
Figura 46 -	Diagrama TAS (<i>Total Alkali versus Silica</i> ; Le Bas <i>et al.</i> , 1986) para amostras do “diabásio” Itataia-Morrinhos	93
Figura 47 -	Diagrama TAS de Cox <i>et al.</i> (1979), para as rochas vulcânicas, com plotes das amostras do dique Itataia-Morrinhos	93

Figura 48	- Amostras do dique Itataia-Morrinho plotadas no diagrama K_2O versus SiO_2 de Piccerillo e Taylor (1976), revelando-se no campo da série cálcio-alcalina de alto-K.....	94
Figura 49	- Posicionamentos dos dados K_2O versus Na_2O , plotados no diagrama de Winter (2001), revelando-se como inclusos no campo das séries potássicas (<i>K-Series</i>).	94
Figura 50	- Amostras do dique Itataia-Morrinho plotadas no diagrama AFM (Irvine e Baragar, 1971.....	94
Figura 51	- Diagrama binário SiO_2 versus FeO_{total} de discriminação entre as séries cálcio-alcalina e toleítica (Miashiro, 1974;,,,;	94
Figura 52	- Dados químicos das amostras do dique Itataia-Morrinhos plotados no diagrama discriminante Ti-Zr-Y de Pearce e Cann (1973).....	95
Figura 53	- Dados químicos das amostras do dique Itataia-Morrinhos plotados no diagrama Ti-Zr-Sr de Pearce e Cann (1973).....	95
Figura 54	- Posições das amostras segundo o diagrama discriminante Y-Zr/4- Nbx_2 de Meschede (1986) para rochas basálticas	96
Figura 55	- Localização das amostras do “diabasio”, segundo o diagrama Th-Hf-Ta de Wood (1980), discriminante geoquímico-ambiente tectônico	96
Figura 56	- Diagrama de elementos traços normalizados aos valores do manto primitivo (primordial) de Wood <i>et al.</i> (1979a).....	97
Figura 57	- Diagrama de elementos traços normalizados em relação aos N-MORB (Saunders e Tarney,1984;Sun 1980),.....	97
Figura 58	- Diagrama de elementos traços normalizado em relação ao OIB (Sun,1980)	97
Figura 59	- Diagramas <i>Spider</i> de toleítos de alto-Ti de amostras do Enxame de Diques Ceará-Mirim, normalizados em relação ao manto primitivo.....	99
Figura 60	- Temperaturas de fechamento para diferentes e comumente utilizados termocronômetros	101

Figura 61 - Processos térmicos em segmento crustal limitado por falhas normais que interferem na interpretação dos dados da termocronologia (U - Th) / He de apatita.....	102
Figura 62 - Fotomicrografias de cristais de apatita. suas morfologias, inclusões e zoneamentos, como elementos influenciadores nas determinações termocrológicas.....	103
Figura 63 - Equipamentos utilizados no laboratório de termocronologia da Unesp-Rio Claro	104
Figura 64 - Superposição das zonas de anelamento parcial (<i>partial annealing zone</i> – PAZ; análise AFT) e de retenção parcial (<i>partial retention zone</i> - PRZ) do 4He (análise (U-Th)/He)	106
Figura 65 - Imagem de relevo SRTM (90 m), envolvendo principalmente o Estado do Ceará (CE) e porção ocidental do Rio Grande do Norte (RN) e oriental-nordeste do Piauí	107
Figura 66 - Seção topográfica Serra de Portalegre (RN) – Fazenda Itataia (CE).....	108
Figura 67 - Diagrama concórdia para zircões <i>Plešovice</i>	115
Figura 68 - Diagrama concórdia para zircões da amostra AM-AF-11 (“diabásio” do dique Itataia-Morrinhos).....	115

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Coordenadas UTM do polígono referentes à área principal de amostragem.....	21
Tabela 2 - Constituintes mineralógicos predominantes na área estudada por Lopes e Lopes (2018), detectados a partir de estudos de DRX.....	26
Tabela 3 - Resultados das análises por microsonda eletrônica inerentes a núcleos de anfibólios de rocha anfibolítica da Unidade Independência (Complexo Ceará), incluindo respectivos <i>apfu</i> ...	66
Tabela 4 - Resultados das análises por microsonda eletrônica relativos as bordas de anfibólios de rocha anfibolítica da Unidade Independência (Complexo Ceará), incluindo respectivos <i>apfu</i>	67
Tabela 5 - Resultados das análises (microsonda eletrônica) de apatitas da rocha máfica (“diabásio) do dique Itataia-Morrinhos, incluindo respectivos <i>apfu</i>	71
Tabela 6 - Resultados das análises (microsonda eletrônica) de apatitas de rocha ígnea máfica (“diabasio”) do dique Itataia-Morrinhos, incluindo respectivos <i>apfu</i>	72
Tabela 7 - Resultados das análises químicas (microsonda eletrônica) de apatitas de rocha anfibolítica, com respectivos <i>apfu</i>	74
Tabela 8 - Resultados das análises químicas (microsonda eletrônica) de apatitas de rocha anfibolítica, com respectivos <i>apfu</i>	75
Tabela 9 - Resultdos das análises químicas (microsonda eletrônica) de apatitas de rochas gnáissicas paraderivadas, incluindo respectivos <i>apfu</i>	78
Tabela 10 - Resultados das análises químicas (microsonda eletrônica) de apatitas de rocha gnáissica paraderivada, incluindo respectivos <i>apfu</i>	79
Tabela 11 - Dados analíticos (microsonda eletrônica) de apatitas extraídas de rocha gnáissica paraderivada, incluindo respectivos <i>apfu</i>	80

Tabela 12 - Dados analíticos (microsonda eletrônica) de apatitas extraídas de rocha gnáissica paraderivada, incluindo respectivos apfu.....	81
Tabela 13 - Dados analíticos (microsonda eletrônica) de apatitas extraídas de rocha gnáissica paraderivada, incluindo respectivos apfu.....	82
Tabela 14 - Resultados das análises químicas (microsonda eletrônica) da colofana associada a rocha anfibolítica, incluindo respectivos <i>apfu</i>	85
Tabela 15 - Resultados das análises químicas (microsonda eletrônica) da colofana associada a rocha anfibolítica, incluindo respectivos <i>apfu</i>	86
Tabela 16 - Composição da fluorapatita comparada com a da francolita.....	91
Tabela 17 - Dados geoquímicos de amostras de “diabásio” do dique Itataia (N da Serra da Igreja)-Morrinhos.....	92
Tabela 18 - Dados relativos à datação U-Th/He em apatita de rocha descrita como episienito.....	105
Tabela 19 - Resultados analíticos das idades por traços de fissão em apatitas da região da Zona de Cisalhamento Senador Pompeu...	106
Tabela 20 - Valores analíticos de zircões de referência <i>Plešovice</i>	111
Tabela 21 - Dados analíticos U-Pb (LA-ICPMS) para zircões da amostra AF-11 (“diabásio” do dique Itataia-Morrinhos).....	113

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	20
1.1	Apresentação	20
1.2	Localização geográfica e acesso	20
1.3	Metodologia	22
1.4	Aspectos sócio-econômicos.....	22
1.5	Aspetos fisiográficos.....	23
2	CONTEXTO GEOLÓGICO REGIONAL	27
2.1	Província Borborma.....	27
2.1.1	<i>Domínio Ceará Central.....</i>	30
2.1.1.1	<i>O Núcleo Arqueano-Paleoproterózoico Tróia</i>	31
2.1.1.2	<i>O Sistema de dobramentos Rio Curú-Independência (supracrustais neoproterozóicas + embasamento paleoproterozóico localmente diferenciado/ delimitado).....</i>	34
2.1.1.3	<i>O Arco Magmático Santa Quitéria.....</i>	35
2.1.1.4	<i>Suites Granitóides e Gabróides Cedo- a Tardi-Transcorrências Neoproterozóica-Eopaleozóicas.....</i>	36
2.1.1.5	<i>Bacias Molassóides Neoproterozóica-Eopaleozóicas.....</i>	38
2.1.1.6	<i>Suite Guaribas (ou Serra das Guaribas).....</i>	38
2.1.1.7	<i>Suites Granitóides Pós-Transcorrências Eopaleozóicas.....</i>	39
3	GEOLOGIA LOCAL (ESTRATIGRAFIA E PETROGRAFIA).....	40
3.1	Considerações Iniciais	40
3.2	Complexo/Grupo Ceará (Unidade Independência; Neoproterozóico.....	40
3.2.1	<i>Paragneisses migmatíticos.....</i>	40
3.2.2	<i>Mármore e rochas calciossilicáticas e anfibolíticas.....</i>	43
3.2.3	<i>Quartzitos.....</i>	52
3.3	Leucogranitos (Neoproterozóico-Eopaleozóico).....	53
3.4	Suite Rio Ceará-Mirim (Cretáceo Inferior).....	55
3.5	Colofanito (Mesozóico ?).....	59

3.6	Tufas calcárias (Cenozóico)	60
3.7	Coberturas Aluviais e Colúvio-Aluviais (Holoceno)	61
4	QUÍMICA MINERAL	62
4.1	O método.....	62
4.2	Os resultados.....	63
4.2.1	<i>Os anfibólios</i>	63
4.2.2	<i>As apatitas</i>	69
4.2.2.1	<i>As apatitas de “diabásio”</i>	69
4.2.2.2	<i>As apatitas de rocha anfibolítica</i>	70
4.2.2.3	<i>As apatitas de paragneisses migmatíticos</i>	70
4.2.2.4	<i>A apatita amorfa associada à rocha anfibolítica</i>	79
5	LITOQUÍMICA	91
6	TERMOCRONOLOGIA	100
6.1	Considerações Iniciais	100
6.2	Procedimentos.....	101
6.3	Resultados	102
6.4	Os dados termocronológicos (U-Th)/He obtidos <i>versus</i> Idades AFT de outras áreas do Estado do Ceará e cercanias	104
7	GEOCRONOLOGIA	109
8	CONCLUSÕES	116
	REFERÊNCIAS	119

1 INTRODUÇÃO

1.1 Apresentação

A área objeto do presente estudo inclui o sítio onde se encontra a Jazida Fósforo-Uranífera de Itataia que tem sido foco de diversas pesquisas realizadas desde a década de 70, pesquisas estas motivadas essencialmente por variáveis de temas geológico-metalogenéticos e de exploração mineral, incluindo aspectos de contaminação ambiental. O maior interesse, obviamente, relaciona-se à presença de corpos mineralizados a U e P (colofanito - rocha de composição essencialmente fosfática), onde o principal corpo do minério encontra-se encaixado numa associação litológica onde predominam rochas metacarbonáticas da Unidade Independência do Complexo/Grupo Ceará.

A pesquisa procura encontrar elementos que contribuam ao esclarecimento sobre a gênese desse depósito mineral, especialmente ligados a cronologia, se decorrente de processos eopaleozóicos ou cretácicos, incorporando atividades epigenéticas subsequentes; marcando-se etapas de exumação/denudação.

Nesse cenário, já que as relações estruturais do colofanito com suas encaixantes são bem conhecidas, procura-se indicadores na petrologia e cronoradiometria de um dique de diabásio, que vem sendo cartografado como do magmatismo Rio Ceará-Mirim (Eocretáceo), e na química mineral e termocronologia de apatitas relacionadas a diversos litotipos associados às encaixantes da mineralização.

1.2 Localização Geográfica e Vias de Acesso

A área da amostragem envolve terrenos SE e SW (coordenadas na TABELA 1), respectivamente, dos municípios de Santa Quitéria (dominante) e Canindé, da região centro-norte do Estado do Ceará, Nordeste do Brasil (FIGURA1). Está localizada a \approx 170 km da capital Fortaleza e a uma distância aproximada de 15 km do centro da cidade de Itatira (FIGURA 1).

A principal via de acesso, partindo-se de Fortaleza, é a BR-020. Desta, podendo-se acessar a área tanto a partir do nordeste de Madalena, pela CE-366

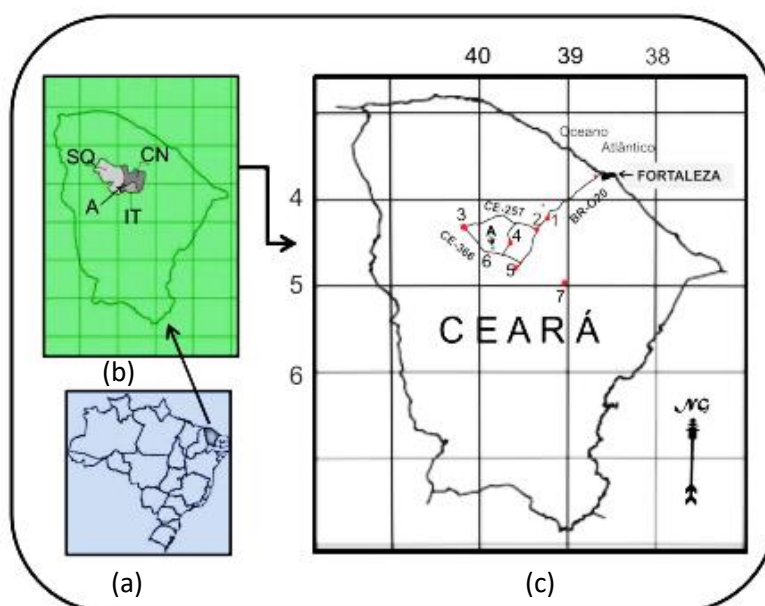
(sentido à Faz. Itataia; FIGURA 1), como a partir de Canindé, via CE-257 e desta seguindo no sentido a cidade de Itatira (FIGURA 1) além do trajeto que passa na cidade de Santa Quitéria.

Tabela 1 - Coordenadas UTM do polígono referentes a área principal de amostragem,

Vértices	Coordenadas
1	413500 W/9497000 S
2	413500 W/9494900 S
3	417000 W /9497000 S
4	413500 W /9494900 S

Fonte: Cavalcante (2016).

Figura 1 - Localização e principais vias de acesso à área estudada.



Fonte: Cavalcante (2016).

Notas: a) Localização do Estado do Ceará no mapa dos estados brasileiros; b) localização da área A, envolvendo terrenos dos municípios de Santa Quitéria (SQ, dominante) e Canindé (CN, pequena fração), estando às proximidades do limite com o município de Itatira (IT); c) localização e principais vias de acesso à área estudada (A); localização das sedes municipais de Caridade (1), Canindé (2), Santa Quitéria (3), Itatira (4), Madalena(5) e Quixadá (7), além da Fazenda Itataia (6).

1.3 Metodologia

Inicialmente, foi desenvolvida uma etapa de seleção e leitura bibliográficas relacionadas a diversos temas geológicos inerentes à área da Jazida de Itataia, visando, principalmente, uma melhor compreensão sobre os informes de metalogênese, litoquímica, química mineral, termocronologia e geocronologia radiométrica.

Em três etapas distintas, que ocorreram em novembro de 2017, em abril de 2018 e novembro de 2018, foram realizadas atividades de campo com a finalidade de coletar amostras que foram destinadas tanto para confecção de lâminas delgadas, voltadas para análises micropetrográficas e de microsonda eletrônica, como para separação de cristais de apatitas direcionadas às análises termocronológicas (U-Th)/He. Foram coletadas amostras do minério (colofanito) e das rochas encaixantes (mármore, paragnaisses migmatíticos, rochas calciossilicáticas e anfibolíticas, além de leucogranitóides).

As lâminas delgadas foram elaboradas na UFC e na Unesp (Universidade Estadual Paulista, campus de Rio Claro), processando-se, nesta última, a separação das apatitas, em duas etapas diferentes, para fins termocronológicos (análises U-Th/He; ver Capítulo 4).

Os estudos petrográficos foram desenvolvidos no Laboratório de Microscopia da UFC, usando-se microscópio petrográfico com aumento de até 20x. Enquanto isto, grãos de apatitas separados com auxílio de lupa, no Laboratório de Microscopia Eletrônica de Varredura da UFC, foram enviados, posteriormente, ao Laboratório de Cristalografia Estrutural do Departamento de Física da mesma universidade, para análise de DRX em monocristal.

No que tange a questões metodológicas em relação às análises de química mineral (microsonda eletrônica), litoquímicas e de termocronologia U-Th/He em apatitas e geocronologia U-Pb em zircões, encontram-se assinaladas, respectivamente, no início dos capítulos 4, 5, 6 e 7.

1.4 Aspectos Socioeconômicos

A área situa-se na chamada Microrregião de Canindé, onde as principais atividades que embasam a economia são essencialmente agropastoris, entre as

mais evidentes estão a pecuária de corte, a lavoura de algodão e a cultura de subsistência do milho, feijão, mandioca e leguminosas.

Mesmo estando inserida, em maior parte, no Município de Santa Quitéria, as relações socioeconômicas se processam principalmente, com a cidade de Itatira e parte de seus distritos, como é o caso de Lagoa do Mato, que se destaca pela sua importância econômica (por isto, é usualmente chamado de “sede municipal”). Um dos principais atrativos desse distrito é a festa de Nossa Senhora do Carmo, sua padroeira, bem como a festa do Menino Deus realizada em novembro e os festejos juninos; eventos que atraem turistas em diferentes períodos ao longo do ano, movimentando a economia local.

A região, mesmo com algum desenvolvimento nas últimas décadas, ainda padece de um baixo índice de desenvolvimento humano (IDH), tendo grande parte da população vivendo às custas do INSS, do Bolsa Família e de outros programas assistenciais. Assim, parte dos habitantes e, principalmente, os gestores municipais alimentam a expectativa de melhorias a partir do momento em que se inicie a operação da “Mina de Itataia”.

1.5 Aspectos Fisiográficos

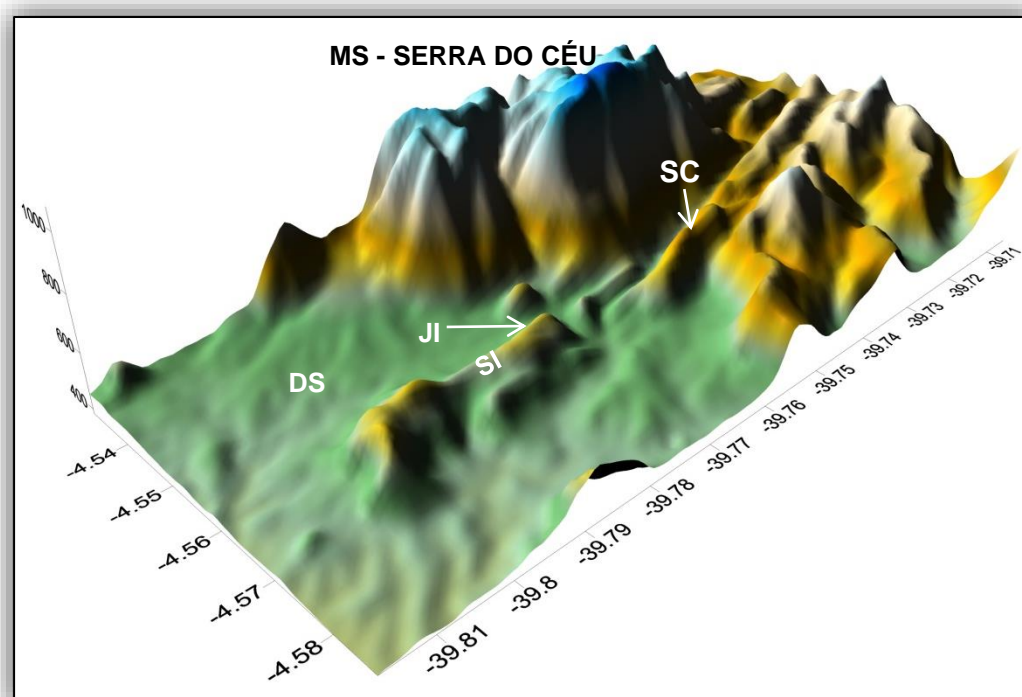
Em termos climáticos, a área estudada encontra-se inserida no denominado Polígono das Secas, que envolve, além do Ceará, outros estados do Nordeste Brasileiro, bem como áreas setentrionais do Estado de Minas Gerais, da Região Sudeste. Nesse Polígono os índices de evaporação e evapotranspiração, ao longo do ano, são altos e a temperatura média anual geralmente situa-se acima dos 29°C.

Especificamente, na região de Itataia, o clima é classificado como tropical quente semi-árido, apresentando pluviometria média de 650 mm, bem definida na região por chuvas concentradas no período de janeiro a abril.

Quanto à geomorfologia, envolve formas de relevo da Depressão Sertaneja e dos Maciços Residuais, em situações que exibem altitudes máximas entre 900 e 1.100 metros, como aquelas da Serra do Céu (norte da Jazida de Itataia) e próximas. Por outro lado, elevações como o Serrote Verde ou da Igreja e a Serra do Canudo (FIGURA 2) têm seus máximos altimétricos oscilando entre 600 e 800m.

De acordo com a SUDENE (1973), os tipos de solos que predominam regionalmente são: bruno não-cálcicos, litólicos, planossolos solódicos, solonetz solodizados e podzólicos vermelho amarelo. É importante ressaltar, que localmente, na área da Jazida de Itataia, ocorrem, preferencialmente, os solos bruno não-cálcico, planossolos, cambissolos, mostrando associações de solos litólicos e podzólicos vermelho-amarelo eutrófico de baixa permeabilidade. São solos que exibem características em comum, como a pequena espessura, a textura arenosa dos horizontes superficiais e areno-argilosa ou argilosa nos horizontes sotopostos, também a eventual ocorrência de fragmentos de rocha, entre outros aspectos.

Figura 2 - Relevo da região da jazida de Itataia e arredores (3D a partir de arquivo SRTM: EMBRAPA).



Fonte: dados da pesquisa.

Notas: MS) Maciços Residuais; DS) Depressão Sertaneja; JI) Jazida de Itataia; SI) Serra da Igreja; SC) Serra dos Canudos.

Lopes e Lopes (2018) assinalam, para essa região, a existência dos seguintes tipos de solos: - Argissolos vermelho-amarelo eutróficos, concentrando-se na porção sudoeste da região de Itataia e espaçadamente em vários outros pontos, compreendendo solos com horizonte textural, não hidromórficos e com argila de atividade baixa. Os mesmos autores registram:

Os solos luvisolos são encontrados com frequência nos sertões cearenses, sendo caracterizado nessa região como solos minerais pouco profundos, não hidromórficos, com argila de atividade alta, eutróficos, horizonte A fraco ou moderado, consistência dura ou muito dura, quando secos, estrutura maciça ou em blocos fracamente desenvolvidos. Os solos neossolos litólicos eutróficos são muito pouco desenvolvidos, rasos, não hidromórficos apresentando horizonte A diretamente sobre a rocha ou Horizonte C de pequena espessura. São normalmente pedregosos e/ou rochosos, moderadamente a excessivamente drenados com horizonte A pouco espesso e de textura predominantemente média. Portanto, os resultados da análise de Difração de Raios-X com base na fração mineral para as amostras analisadas, verificou-se que as amostras de solo possuem uma maior quantidade de quartzo (SiO_2), fluorapatita ($\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3\text{F}$), carbonato de cálcio (CaCO_3) e a presença de óxido de urânio, referindo-se assim a uma anomalia (Tabela 2). Além disso detectou-se a presença de argilominerais, como, a caulinita, vermiculita e montmorilonita (Lopes e Lopes, 2018).

Tabela 2. Constituintes mineralógicos predominantes da região de Itaitaia, em área estudada por Lopes e Lopes (2018), detectados a partir de estudos de DRX.

Nome do composto	Fórmula Química	Ocorrência
Quartzo	SiO_2	100%
Fluorapatita	$\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3\text{F}$	26,08%
Carbonato de Cálcio	CaCO_3	13,04%
Óxido de Urânio	UO_2	6,52%

Fonte: Lopes e Lopes (2018).

Afora esses minerais, os autores registram a presença de argilominerais como a caulinita, vermiculita e montmorilonita.

No que se refere à vegetação predominante na região, é possível destacar as espécies da caatinga hiperxerófila, assim como os espécimes arbóreos, como o pau-branco, o juazeiro, a oiticica, o pau-d'arco, a aroeira e o jatobá.

De acordo com um mapeamento fitogeográfico realizado através de um convênio entre o DNPM/RADAMBRASIL à serviço da NUCLEBRÁS, três sub-regiões fitoecológicas foram reconhecidas, como sejam: estepe tropical (caatinga), floresta tropical (floresta ombrófila aberta tropical e floresta estacional semi-decidual

tropical) e áreas antrópicas. Em períodos chuvosos (pluviometria média de 799,8 mm; Viana, 2018), mesmo com chuvas intermitente e em períodos curtos (entre fevereiro e maio), envolvendo longos períodos secos (p.ex., entre 2010 e 2013, com pluviometria abaixo dos 400 mm), nota-se uma rápida recuperação das tonalidades esverdeadas da paisagem (retomada da folhagem; FIGURA 3).

Quanto à hidrografia, os cursos d'água da região, tal como o Córrego Guaribas, que interessa a área estudada, pertencem a Sub-bacia do Rio Groaíras da Bacia do Rio Acaraú. Ordinariamente, são cursos d'água intermitentes e de irregular e pequena expressão aluvionar.

Figura 3 - Vegetação típica da região de Itataia em período úmido.



Fonte: dados da pesquisa.

Notas: A e B) destaque para o verde da vegetação desenvolvida em manchas de solo raso a muito raso, incluídos em tratos com amplos afloramentos de rochas metamórficas (mármore e paragnaisse migmatítico) cortados por diques de leucogranitóides.

2 CONTEXTO GEOLÓGICO REGIONAL

As rochas e minerais objetos do presente estudo relacionam-se a uma unidade litoestratigráfica (Complexo/Grupo Ceará; CABY e ARTHAUD, 1986; CAVALCANTE, 1987; CAVALCANTE *et al.*, 2003) da porção nordeste do Brasil, inserida, especificamente, no estado que lhe empresta o nome, em tratos do extremo NW da chamada Província Borborema (ALMEIDA *et al.*, 1977), cuja caracterização litotectônica pode ser sintetizada nos termos que constituem as seções subseqüentes deste Capítulo 2.

2.1 Província Borborema

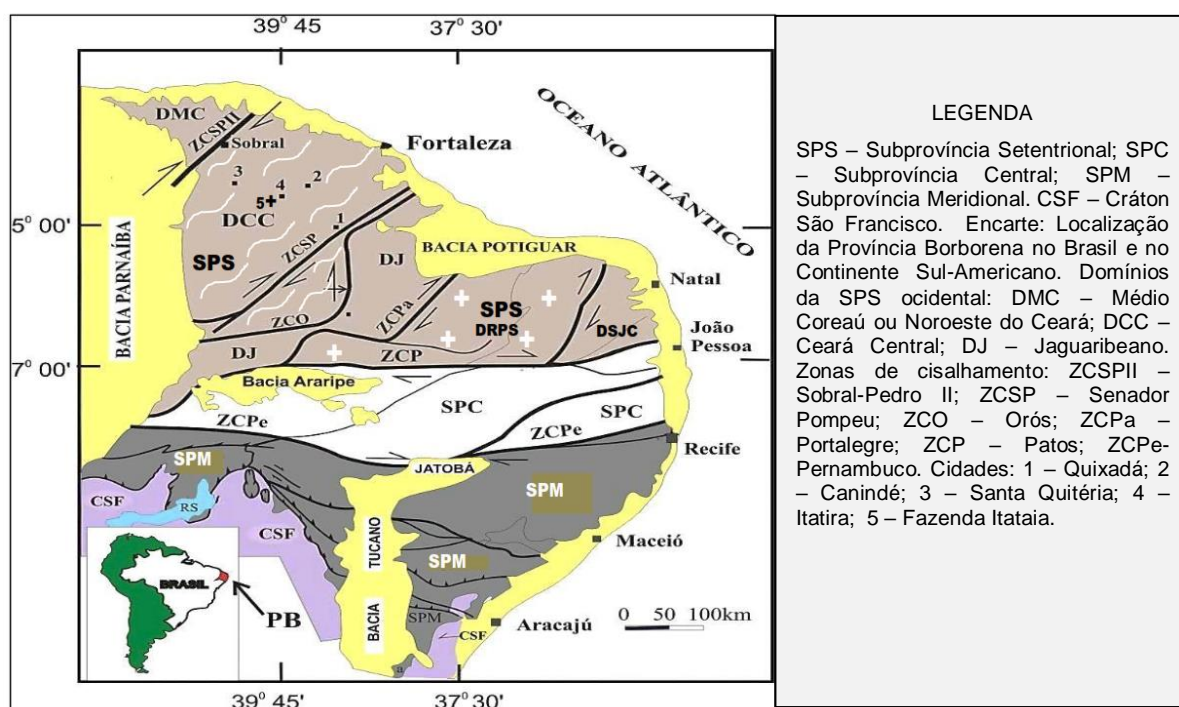
Situada no extremo nordeste da Plataforma Sul-Americana e com limites oriental, meridional e norte-leste, com as províncias Parnaíba, Craton São Francisco e Costeira, respectivamente; envolve áreas de quase todos estados do nordeste brasileiro, do Ceará a Bahia. É considerada, em termos tectônicos, como parte integrante do transcontinental sistema orogênico neoproterozóico-eopaleozóico Brasileiro/Pan-Africano (Gondwana Ocidental), configurado com o fechamento do paleoceano Goiás-Farusiano, finalizado com eventos colisionais do tipo continente *versus* continente, com etapa tardicolisional de ca. 615–610 Ma e pós-colisional de 580–500 Ma (ARAUJO *et al.*, 2014)¹.

A sua configuração estrutural encontra-se relacionada, principalmente, aos efeitos da colisão continental entre os crátons São Luís-Oeste África e São Francisco-Congo, em tempos neoproterozóicos², mostrando-se num mosaico de grandes blocos lito-tectono-estruturais, delimitados por importantes zonas de cisalhamentos (ZCs), cuja divisão maior é delineada em termos das subprovíncias Setentrional, Central ou da Zona Transversal e Externa ou Meridional (DELGADO *et al.*, 2003; FIGURA 4). Estas, internamente, vêm sendo compartimentadas com nomenclaturas diversas, tais como: - terrenos (JARDIM DE SÁ *et al.*, 1992;

¹ Em relação à Plataforma Sul-Americana, Brito Neves (2014) assinala que “a colagem orogênica Brasileira se deu em quatro pulsos distintos: a) eocriogeniana (ca. 800 – 700 Ma); b) tardicriogeniana-eoediacarana (ca. 660 – 610 Ma); c) eo-médio ediacarana (ca. 590 – 560 Ma) e d) tardicambriana (520 – 500 Ma)”. ² Considerando sua extensividade sob a Província Parnaíba e conexão com Província Tocantins, deve-se levar em conta, na colisão continental, o Craton Amazônico.

SANTOS, 1996; CAVALCANTE, 1999; CAMPELO, 1999). - domínios (BRITO NEVES, 2000), faixas de dobramentos e domínios (JARDIM DE SÁ, 1994): - faixas de dobramentos, domínios e terrenos (SANTOS *et al.*, 2004), além de outras concepções³. Tendo-se, em alguns desses domínios/terrenos (p.ex: Ceará Central e Alto Pajeú), arranjos tectono-estratigráficas que têm sido considerados como de ambiência de arco magmático/vulcânico continental (FETTER, 1999; FETTER *et al.*, 2003; BRITO NEVES *et al.*, 2016; FIGURA 5).

Figura 4 - Principal subdivisão da Província Borborema.



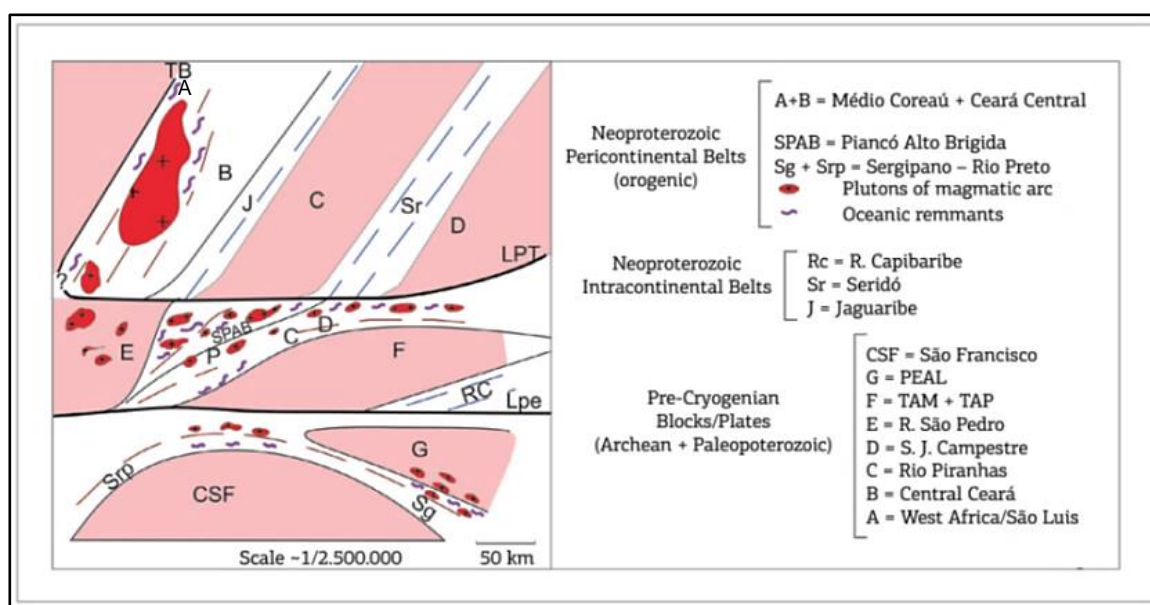
Fonte: composição a partir de Cavalcante (1999) e Angelim, Medeiros e Nesi (2006).

Nesse contexto estrutural, as ZCs são interpretadas, em parte, como zonas de suturas (p.ex., Transbrasiliiana/Sobral Pedro II e Patos; JARDIM DE SÁ *et al.*, 2003; ARAUJO, 2014; BRITO NEVES *et al.*, 2016), mas descritas, frequentemente, como reflexos de uma dinâmica extrusiva (escapes laterais) da evolução do orógeno Brasileiro/Pan-africano e associadas a um vasto plutonismo granitóide, em etapas de ca. 590-560 Ma (sin-transcorrência) e ca. 550-520 Ma

³ Algumas delas recebendo nomenclatura tectônica em desuso, como “maciço”, advindo do conceito de “maciço mediano”, adotado em variantes da teoria geossinclinal. Contudo, o termo tem sido, normalmente, aplicado em estudos geomorfológicos e geotécnicos.

registra-se a evolução de bacias vulcanossedimentares cambro-ordovicianas, do tipo *pull-a-part* (por exemplo, Jaibaras, Cococi e Iara).

Figura 5 – Traços tectônicos da Província Borborema, visando o realce dos principais desenvolvimentos orogênicos acrescionários neoproterozóicos (Criogeniano-Ediacaranos) conhecidos.



Fonte: Brito Neves *et al.* (2016).

Estratigraficamente, excluindo-se os corpos/complexos granitóides edicariano-cambrianos, extensa e extensivamente distribuídos, predominam as associações metassupracrustais neoproterozóicas e os complexos gnáissico-migmatíticos paleoproterozóicos (geralmente riacianos, 2200-2000 Ma), em parte associados a sequências do tipo “*greenstone*” (de mesma cronologia) ou a complexos arqueanos ou, ainda, a rochas neoproterozóicas de fácies anfíbolito a granulito (localmente, lentes retro-eclogíticas; ver seção 2.1.1). Secundariamente, tem-se sequências metavulcanossedimentares e plutônicas granitoides (subordinadamente gabróide/diorito-gabro-anortosito) de cronologia radiométrica do período Estateriano (Paleoproterozóico de 1800-1600 Ma)⁴ e do Esteniano

⁴ “Período que tem sido relacionado a um evento orogênico (Orogênese Cariris-Velho), que constitui-se, ainda, em um tema a procura de novos e melhores esclarecimentos. Sobre isto, Brito Neves, Fuck e Pimentel (2014, apud CAVALCANTE, 2016) descrevem, se referindo aos terrenos do Toniano sotopostos aos edifícios orogênicos do Brasileiro: “Estes terrenos (1000 – 900 Ma) e sua relação tanto com os processos da fusão de Rodínia como com os de aglutinação de Gondwana constituem um problema em aberto”.

(Mesoproterozóico no intervalo superior entre 1100 e 1000 Ma) ao Toniano (intervalo inferior de 1000 a 860 Ma). Em terceiro plano, envolvendo áreas restritas, ocorrem rochas de idades entre 1600 e 1050 Ma.

Também, excluindo-se as principais áreas de unidades litoestratigráficas do Estateriano, inseridas no Domínio Jaguaribeano/Jaguaribe-Orós (grupos Oeste Potiguar e Orós e plutônicas granitoides cronocorrelatas), verifica-se uma expressiva representatividade de rochas desse período no Terreno Alto Moxotó. Em todas situações, registram-se assinaturas de magmatismo intraplaca continental (SÁ, 1997; CAVALCANTE, 1999; SANTOS *et al.*, 2015; LAGES *et al.*, 2019).

Quanto aos eventos tectono-sedimentares juro-cretácicos, essa Província serviu de substrato ao desenvolvimento de bacias sedimentares (p.ex. Cariri, Iguatú e Rio do Peixe) com formações relacionadas às fases pré-, sin- e pós-rifte, inerentes a separação entre os continentes Sul-Americano e Africano. Soma-se, ainda, a esses tempos, importante magmatismo básico, principalmente retratado no Enxame de Diques Rio Ceará-Mirim; enquanto isto, para o Cenozóico, destaca-se o magmatismo alcalino Macau-Messejana.

Deste contexto geológico regional, tem-se o Domínio Ceará Central como o que interessa mais de perto ao presente estudo.

2.1.1 Domínio Ceará Central

Como antes mencionado, o objetivo da pesquisa encontra-se direcionado às rochas e minerais de uma pequena área da porção ocidental da Subprovíncia Borborema Setentrional (CAVALCANTE, 2008; corresponde à Subprovíncia Setentrional da Província Borborema de DELGADO *et al.*, 2003); especificamente do chamado Domínio Ceará Central (JARDIM DE SÁ, 1994; MONIÉ *et al.*, 1997; DCC, na FIGURA 4), também nomeado de Terrenos/Terreno Ceará Central (CAVALCANTE, 1999; CAMPELO, 1999) e Terreno Cearense (SANTOS, 1996).

No quadro dos litotipos precambriano-eopaleozóicos, encontra-se limitado a noroeste pela Zona de Cisalhamento Sobral-Pedro II (segmento do Lineamento Transbrasiliano), considerada, por diversos autores (p.ex., JARDIM DE SÁ *et al.*, 1997; ARTHAUD *et al.*, 2008; PADILHA *et al.* 2013; COSTA *et al.*, 2014) como uma zona de sutura/criptossutura, e a leste-sul pela Zona de Cisalhamento Senador Pompeu (CAVALCANTE, 1999; FETTER, 1999; BRITO NEVES *et al.*, 2000);

contudo, outros autores (p.ex.: PARENTE e ARTHAUD, 1995; ARTHAUD, 2007, 2007a) estabelecem este último limite na Zona de Cisalhamento Dúctil Orós (FIGURAS 4 e 6). Nesta configuração, encontra-se ladeado pelo Domínio Médio Coreáú, a NW, e Jaguaribeano (ou Jaguaribe-Orós), a leste-sul.

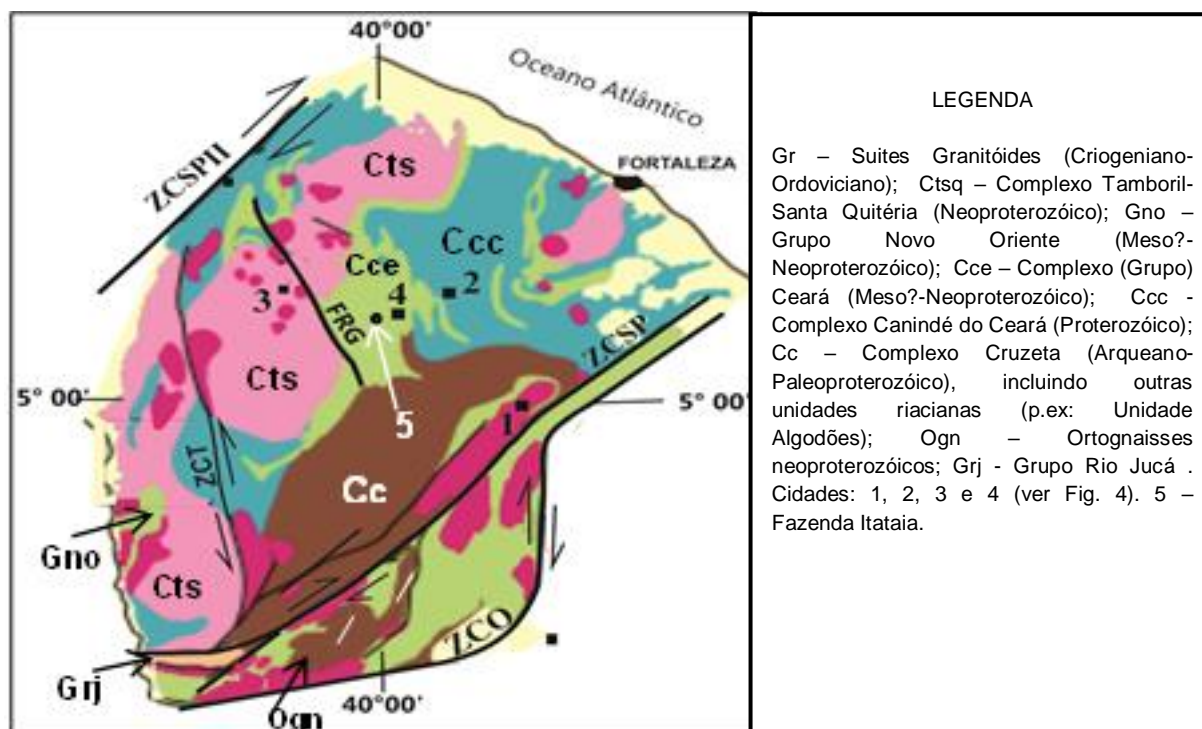
O DCC é produto de uma complexa evolução geológica iniciada em tempos arqueanos, passando pelo Paleoproterozóico e com intenso e extensivos reflexos dos eventos sedimentares-Ígneos e tectono-metamórficos relacionados ao Neoproterozóico-Eopaleozóico, inerentes ao Ciclo Brasileiro/Pan-Africano.

Em termos tectono-estratigráficos, o DCC é reconhecido, sumariamente, como formado dos seguintes elementos:

2.1.1.1 O Núcleo Arqueano-Paleoproteróico Tróia

Encontra-se representado, em expressiva fração, por rochas meso-neoarqueanas (idades U-Pb em zircões de 2.870 a 2.500 Ma) do Complexo Cruzeta de Cavalcante *et al.* (2003), envolvendo as unidades Pedra Branca (pró-parte) e Mombaça (PESSOA *et al.*, 1986; CAVALCANTE, 1987; OLIVEIRA e CAVALCANTE, 1989), representadas, essencialmente, de gnaisses cinzas derivados de rochas de natureza plutônica tonalito-granodiorítica dominante, em níveis distintos de deformação e migmatização (reflexos mais expressivos no Bloco Mombaça, onde registra-se um *imprint* maior das modificações petrológico-tectônicas ocorridas durante o Neoproterozóico e a incorporação de corpos lenticulares/diqueformes boudinados de rochas anfíbolíticas, de dimensões variadas e com idade U-Pb de 2030 ± 36 Ma (cronologia registrada por ARAUJO e NALETO, 2014), próxima daquela determinada para o cromitito de Tróia (ver adiante). Inseridos nas/ou bordejando as áreas de predomínio das rochas arqueanas, tem-se associações litológicas paleoproterozóicas tipo granito-*greenstone* (*greenstone*-gnaisse de CABY e ARTHAUD, 1986; CABY *et al.*, 1995), incluídas por Cavalcante *et al.* (2003) nas unidades Pedra Branca e Tróia do Complexo Cruzeta e nas unidades Algodões e Choró.

Figura 6 - Principais unidades estratigráficas do Domínio Ceará Central.

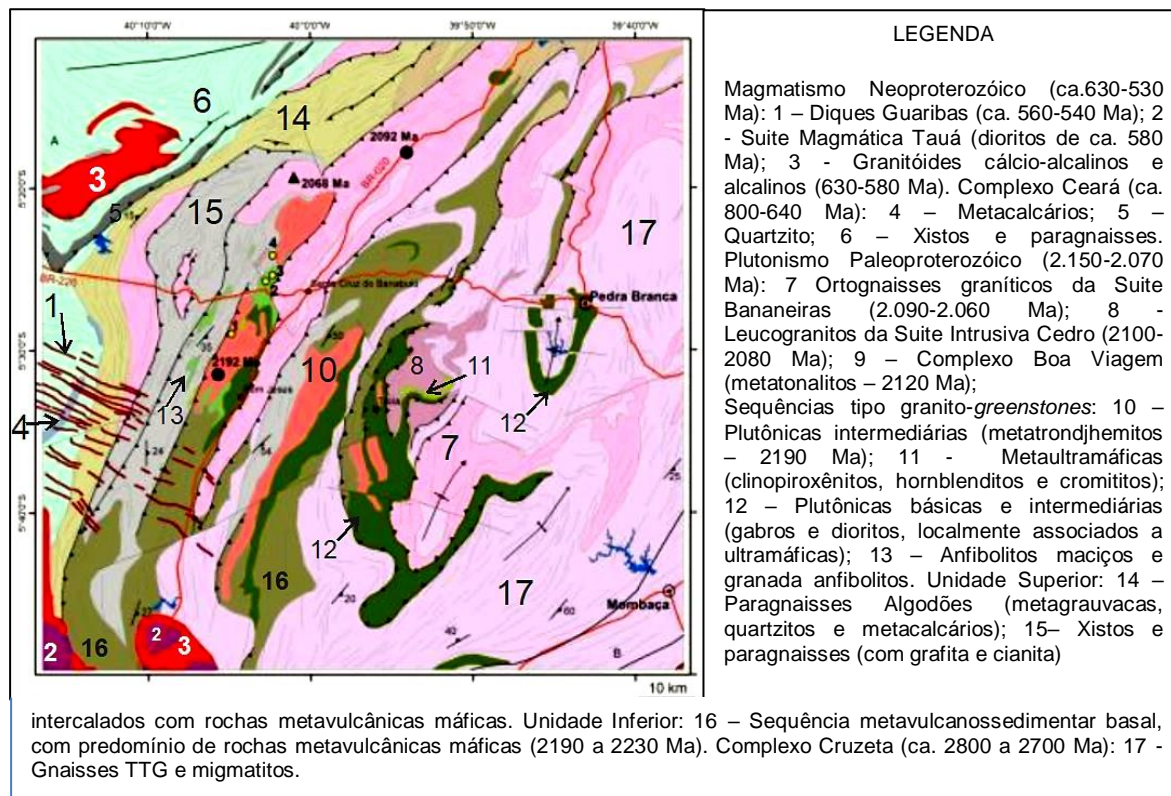


Fonte: Costa, 2011, com acréscimos.

Notas: limites do Domínio Ceará Central como desenhado por Parente e Arthaud (1995).

Em anos recentes, estas associações do tipo *greenstone* receberam nomes específicos para cada região (p.ex., *Greenstone Serra das Pipocas* e *Greenstone Algodões*, COSTA *et al.*, 2014; FIGURA 7), sem contudo apresentarem um desenho litoestratigráfico justificado e formal, afora referências do tipo unidade inferior e unidade superior, além de uma substituição, em certos segmentos, do termo Unidade por Complexo. Outra fração é representada por ortognaisses graníticos, leucogranitos e metatonalitos, relacionados a fases plutônicas do Paleoproterozóico, no intervalo de 2150 a 2060 Ma (Período Riáciano). Também, deve-se levar em conta que, do corpo cromitífero de Tróia, existe uma cronoradiometria de 2036 ± 28 Ma (U-Pb em zircão, *SHRIMP*) considerada como idade de cristalização do magma máfico-ultramáfico de Tróia, provavelmente relacionado a um magmatismo de ambiente tectônico pós-colisional (COSTA *et al.*, 2014).

Figura 7 - Principais unidades estratigráficas do Núcleo Arqueano-Paleoproterozóico Tróia, envolvendo suas principais áreas meridionais e orientais.



Fonte: Costa *et al.* (2014).

2.1.1.2. O Sistema de dobramentos Rio Curú-Independência⁵ (supracrustais neoproterozóicas + embasamento paleoproterozóico localmente diferenciado/delimitado)

Trata-se de um contexto preferencialmente metassedimentar evoluído entre ca. 750 e ca. 600 Ma, com registros termobarométricos de fácies anfibolito a eclogito, geralmente com associações minerais retrometamórficas.

Litoestratigraficamente, o sistema é representado pelo Complexo/Grupo Ceará (Cce) e Complexo Canindé do Ceará⁶ (Ccc), tendo-se em nível acessório a associação metavulcanossedimentar do Grupo Novo Oriente (Gno). A diferenciação

⁵ "Sub-faixa" de dobramentos Rio Curú-Independência da Faixa de dobramentos Jaguarebena, no trabalho de Brito Neves (1975).

⁶ Terminologia adotada em trabalhos da Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais, em substituição à Unidade Canindé (CAVALCANTE *et al.*, 2003) ou Complexo Canindé (TORRES *et al.*, 2008), a partir de 2010 (p.ex., CAVALCANTI, 2011).

entre estes dois complexos é feita, preferencialmente, através da presença, no Ccc, de rochas ortognaíssicas (geralmente migmatíticas) e granulíticas de idades Paleoproterozóicas (2200-2000 Ma), só parcialmente delimitadas.

Petrograficamente, o Ccc é composto, em primeiro plano, de migmatitos de protólitos sedimentares (pelitos, semi-pelitos/grauvacas), similares ao do Cce, incluindo ortognaisses granitoides, anfibolitos com ou sem granada, metaultramáficas (em parte serpentinizadas), quartzitos, mármore, rochas calciossilicáticas e ferríferas e ferro-manganesíferas, granulitos máficos, enderbitos e retroeclogitos. Enquanto isto, o Cce, constituído pelas unidades Independência e Quixeramobim (representação excluindo-se o Bloco Acopiara, onde encontra-se a Unidade Arneiroz), mostra-se representado por uma associação de micaxistos e paragnaisses, a muscovita \pm biotita \pm sillimanita \pm granata \pm cianita, como rochas mais abundantes, possuindo em suas variedades migmatíticas (metatexitos estromáticos, dominantes) menores porcentagens de leucossomas. A sequência incorpora, ainda, quartzitos, metacalcários, rochas calciossilicáticas, para e ortoanfíbrolitos com ou sem granada e metavulcanitos ácidos (granada-anfíbrolitos e metariolitos com idades de 750 e 780 Ma, respectivamente; ARTHAUD, 2007).

Dados de geocronologia radiométrica apontam para sedimentos com fontes dominantes no embasamento paleoproterozóico e, em nível acessório, em rochas neoproterozóicas de 800 a 720 Ma (Toniano), arqueanas e mesoproterozóicas.

Ainda, para o Cce registra-se litotipos inerentes a regimes de alta a ultra-alta pressão, com associação mineral do tipo almandina-cianita-mica branca-rutilo (retro-*white schists*), em metapelitos aluminosos, e retroeclogitos (CASTRO, 2004; ARTHAUD, 2007). Enquanto isto, retroeclogitos, como na região de Forquilha (Faixa Eclogítica de Forquilha-FEF; SANTOS *et al.* 2008 e 2009; AMARAL *et al.* 2010), com protólitos de idades mesoproterozóicas (ca. 1500 Ma), ocorrem, predominantemente, em segmento cartografado como da Unidade Canindé (CAVALCANTE *et al.*, 2003), onde os leucossomas e calciossilicáticas exibem idades U–Pb (zircão) de 639 ± 10 Ma e 649.7 ± 5 Ma, respectivamente, que têm sido interpretadas como valores mínimos do evento de eclogitização (obs: concórdia U–Pb, em zircão, apontando idade de 614.9 ± 7.9 Ma, para rocha com coesita, é considerada como relacionada aos tempos das mudanças retrometamórficas da fácies eclogito para anfíbrolito, conforme SANTOS *et al.*, 2015).

Por sua vez, o Grupo Novo Oriente (CAVALCANTE *et al.*, 2003; CAVALCANTE e GOMES, 2003) encontra-se representado pelas formações Bom Sucesso (quartzitos, localmente feldspáticos, com intercalações de micaxistos) e Carnaúbas (micaxistos, parcialmente com sillimanita \pm cianita e mais raramente estauroлита, incluindo fácies com porfiroclastos de quartzo, metassiltitos, filitos, metavulcanoclásticas, metavulcânicas básico-intermediárias e ultrabásicas, metacalcários, rochas calciossilicáticas, e metarenitos finos, em parte feldspáticos; tendo-se para as metaultramáficas, segundo Uchôa Filho *et al.* (2015), serpentinitos cisalhados, clorititos, tremolititos, talco-clorita xistos, serpentina-talco xistos, rochas talco-silicosas e listwanitos).

2.1.1.3 O Arco Magmático Santa Quitéria

Unidade geotectônica reconhecida por Fetter *et al.* (2003) para a ambiência evolutiva do Complexo Tamboril-Santa Quitéria-Ctsq (CAMPOS *et al.*, 1976), a leste da zona de cisalhamento Sobral-Pedro II e oeste da principal área de ocorrências do Complexo/Grupo Ceará (FIGURAS 6 e 7), mostrando-se compartimentado, através da Falha Rio Groaíras, nos blocos Santa Quitéria e Itapajé (CAVALCANTE *et al.*, 1983).

Sua configuração atual, a partir dos trabalhos da CPRM/REFO (COSTA, 2011; ARAÚJO e PINÉO, 2011; BRAGA, 2013; CAVALCANTI e VALE FILHO, 2014), passou a ocupar largos tratos a oeste da Zona de Cisalhamento Tauá (Bloco Acaraú; CAVALCANTE *et al.*, 1983; FIGURA 6), onde foram reconhecidos, além das áreas relacionadas às clássicas unidades granitóides, diatexíticas e metatexíticas, segmentos formados de gnaisses paraderivados, rochas calciossilicáticas, hornblenda gnaisses, metarriolitos e metavulcanoclásticas e/ou metapiroclásticas.

Este Ctsq encontra-se constituído por uma associação predominantemente granitoide-migmatítica neoproterozóica, servindo de encaixante para corpos plutônicos ácido-intermediários eopaleozóicos (cambro-ordovicianos).

No conjunto, assinala-se a presença de ortognaisses granitóides porfíricos, deformados ou não, encerrando composições granítica, monzonítica, monzodiorítica e sienítica, metadioritos, metatonalitos, rocha gabróides (dioríticas), somados a amplos segmentos de migmatitos, onde destacam-se os corpos

diatexiticos de estrutura *schöllen*, nebulítica e *schlieren*, sendo os metatexitos de estrutura estromática e, geralmente, com protólitos ortoderivados.

Em nível subordinado, ocorrem corpos de rochas calciossilicáticas e anfibolíticas, além de algumas ocorrências de minério de ferro magmático-hidrotermal (tipo Fe-Cu *skarn*/IOCG; PARENTE *et al.*, 2015; SILVA, 2016) que, no caso do jazimento de Ipaporanga (extremo W do DCC), o minério mostra-se hospedado “em metarriolitos, metabasalto-andesíticos, metadioritos albitizados e gabros, pertencentes à Unidade Estreito, que se encontram intercalados com paragneisses com granada e calciossilicáticas da Unidade Canindé, recortadas por biotita granito e dioritos porfiríticos” (SILVA, 2016).

Por seu turno, a cronologia radiométrica de granitoides (granodiorito, quartzo-monzonito e quartzo diorito) deformados ou não, do Bloco Acaraú (regiões de Novo Oriente e Crateús) tem acusado idades Pb-Pb e U-Pb, em zircões, entre 618 ± 23 e ca. 660 Ma (CAVALCANTE *et al.*, 2003; COSTA *et al.*, 2013). Intervalo de tempo similar, ca. 614 Ma - ca. 660 Ma (FETTER *et al.*, 2003; BRITO NEVES *et al.*, 2003), é registrado para zircões de rochas granitóides do leste da ZCT (área de referência para CTSQ; FIGURA 6). Tal comportamento é extensivo para a parte norte desse complexo, onde idades médias de 655 ± 2 Ma e 656 ± 1 Ma (evaporação-ionização de Pb em zircão) são consideradas como idades mínimas para o *emplacement* da Suite Granítica Uruburetama (tipo Granitóides Santa Quitéria), referenciada como “um dos mais marcantes exemplos de alojamento sintectônico relacionado a uma tectônica tangencial da região, inerente ao segundo estágio magmático da granitogênese brasileira (660 – 630 Ma)” (SILVA-SILVA *et al.*, 2017).

Um cenário cronológico similar, envolvendo idades U-Pb (zircões) de granitóides e migmatitos, tem sido visualizado para a região da Serra de Baturité e cercanias, com ca. 675 Ma para os quartzo-monzonitos megaporfíricos, ca. 628 Ma e 625 Ma “para biotita gnaisses-migmatíticos de composição granítica e augen gnaisses, respectivamente, e ca. 626 Ma para o granitóide Serra do Gigante intrusivo na unidade gnáissico-migmatítica” (PITOMBEIRA e AMARAL, 2017). Da mesma região, diques de rocha traquiandesítica, encaixados em rochas metacarbonáticas do Complexo Ceara (Unidade Independência) revelam idade U-Pb de 642 ± 37 Ma (TORRES *et al.*, 2005).

2.1.1.4 Suites Granitóides e Gabróides Cedo- a Tard-itranscorrências Neoproterozóica- Eopaleozóicas

Corresponde a associações de rochas plutônicas alojadas durante estágios de funcionamento das principais zonas de cisalhamento dúctil, entre 590 e 520 Ma (intervalo para o qual BRITO NEVES *et al.*, 2003, relacionam duas etapas principais do magmatismo granítico da Província Borborema, 580 - 570 Ma e 545 - 520 Ma, estes com íntima relação com os eventos de extrusão tectônica da colagem orogênica Brasileira/Pan-Africana).

No contexto dos granitoides cedo-transcorrências do Domínio Ceará Central, destacam-se os batólitos de Quixeramobim (quimismo de uma série cálcio-alcalina e com idades em torno de 587 ± 14 Ma, encontrando-se constituído, essencialmente, por dioritos e subordinadamente, de granitos e quartzo dioritos), Quixadá (idades de ca. $585 \pm 4,7$ Ma, formado por monzonitos e qz-monzonitos; NOGUEIRA, 2004) e Tauá (dioritos de ca. 580 Ma; COSTA *et al.*, 2014).

Para os granitóides com *emplacement* relacionados às fases finais de movimentação dúctil das zonas de cisalhamento dessa porção da Subprovíncia Borborema Setentrional, em tempos cambrianos, entre 540 e 520 Ma, os plutões mais conhecidos são os “granitos” Meruoca e Mocambo, situados no Domínio Médio Coreaú (FIGURA 4), em áreas próximas ao DCC, aos quais são correlacionados alguns corpos alojados em tratos a norte do Ctsq, como, por exemplo, o Granito Serra da Barriga.

2.1.1.5 Bacias Molassóides Neoproterozóica-Eopaleozóicas

Para o DCC compreendido entre as ZCSPII e ZCSP, a maior expressão dessas bacias molassóides, de evolução do tipo *pull-apart*, encontra-se materializada pela Bacia Cococi, situada no extremo sul do DCC, encontrando-se, litoestratigraficamente, representada pelo Grupo Rio Jucá, constituído, da base para o topo, nas formações Riacho Torto (conglomerados polimíticos, brechas, arcóseos, subarcóseos e arenitos litofeldspáticos, geralmente duros e compactos, às vezes calcíferos, com intercalações de arenitos mais finos, siltitos e argilitos, no topo), Formação Cococi (ardósias, folhelhos, argilitos e siltitos calcíferos, de tons cinzentos e chocolates, com intercalações esporádicas de arenitos grossos e

conglomerados; ardósia cinzenta em zona decissamento) e Formação Melancia (conglomerados de matriz grossa, dominante, arenosa, e com importante diagênese; siltitos intercalados e alternados a arenitos litofeldspáticos avermelhados e, não raro, folhelhos amarronzados e siltitos arenosos, além de brechas; CAVALCANTE *et al.*, 2003).

Também, sedimentos relacionados a unidade basal do Grupo Jaibaras (Formação Massapê), da bacia homônima, no Domínio Médio Coreaú, foram cartografados por Costa (2011), em uma pequena área à margem direita do Rio Poti, proximidades oeste da cidade de Ibiapaba, sendo representados por conglomerados polimíticos suportados por matriz arenosa, onde os clastos maiores (granitos e gnaisses graníticos), de tamanhos variados, chegam a atingir dimensões de dezenas de centímetros (até 80 cm).

2.1.1.6 *Suite Guaribas (ou Serra das Guaribas)*

Situada, preferencialmente, entre as cidades de Tauá e Independência, envolvendo áreas da serra que lhe empresta o nome, envolve um enxame de diques encaixados em rochas de diversas idades e composições, desde as arqueano-paleoproterozóicas até as neoproterozóicas (FIGURA 7). Enquanto isto, sua cronologia absoluta, excluindo-se o intervalo de idades de ca. 560-540 Ma apresentado por Costa *et al.* (2014), ainda não encontra-se bem estabelecida, sendo considerada, de forma especulativa, numa transição entre o Edicariano e o Cambriano (CAVALCANTE *et al.*, 2003) ou, simplesmente, Cambriano (CAVALCANTI, 2011).

Em termos petrográficos, encontra-se representada por riolitos, dacitos e traquitos porfíricos, cálcio-alcálicos de alto potássio, metaluminosos, andesitos, dioritos, lamprófiros, riódacitos e microgranitos.

2.1.1.7 *Suites Granitoides Pós-Transcorrências Eopaleozóicas*

Relacionam-se ao magmatismo acontecido em tempos cambro-ordoviciano, entre 450 e 520 Ma, envolvendo diversos plutões distribuídos ao norte de Santa Quitéria (região de Taparuaba), conhecidos como Complexo Anelar Quintas (granitoides félsicos e máficos incluindo facies não deformadas de biotita

sieno a monzogranito, biotita-quartzo sienito a quartzo monzonito/monzogabro, localmente facies rica de quartzo diorito máfico), a Suite Pajé (biotita sienito a monzogranitos não deformados) e os granóides do Serrote São Paulo e da Fazenda Memória (topázio-albita-feldspato alcalino sienito a granito não deformados), relacionados por Castro *et al.* (2012) como Granitóides “Anorogênicos”. Estes mesmos autores concluem que a melhor classificação para o Complexo Anelar de Quintas seria a de pós-colisional de transição, envolvendo uma fase inicial de granitóides tipo A anorogênicos.

Por outro lado, esse DCC, como outros domínios da Subprovíncia Borborema Setentrional, encerra diques básicos relacionados, principalmente, ao magmatismo do Cretáceo Inferior (Suite Magmática Ceará-Mirim), realçando-se, no caso do DCC, em sua porção norte, os corpos alcalinos cenozoicos do Magmatismo Messejana.

3 GEOLOGIA LOCAL (ESTRATIGRAFIA E PETROGRAFIA)

3.1 Considerações iniciais

No presente estudo adota-se a unidade litoestratigráfica Complexo/Grupo Ceará, ao feitiço de Caby e Arthaud (1986), Cavalcante (1999) e Cavalcante *et al.* (2003), como representativa para a associação metassedimentar (metavulcânicas bastante subordinadas) que vem sendo considerada, em trabalhos de detalhes ou específicos na região que envolve a Jazida Fósforo-Uranífera de Itataia, como Grupo Itataia (constituído das formações Serra do Céu, Laranjeiras, Barrigas e Alcantil; MENDONÇA *et al.*, 1982; FIGURA 8). O não uso desta terminologia é alicerçada nos critérios adotados para o seu reconhecimento, isolando-o do Grupo Ceará e incorporando associação metavulcanossedimentar distinta, em idade e ambiente tectônico (áreas da atual Unidade/*greenstone* Algodões). Além disto, o uso de Complexo Itatira (GOMES *et al.*, 1981), envolvendo essa área e outras mapeadas anteriormente como do Grupo Ceará (p.ex. CAMPOS *et al.*, 1976), também não se justifica.

3.2 Complexo/Grupo Ceará (Unidade Independência; Neoproterozóico).

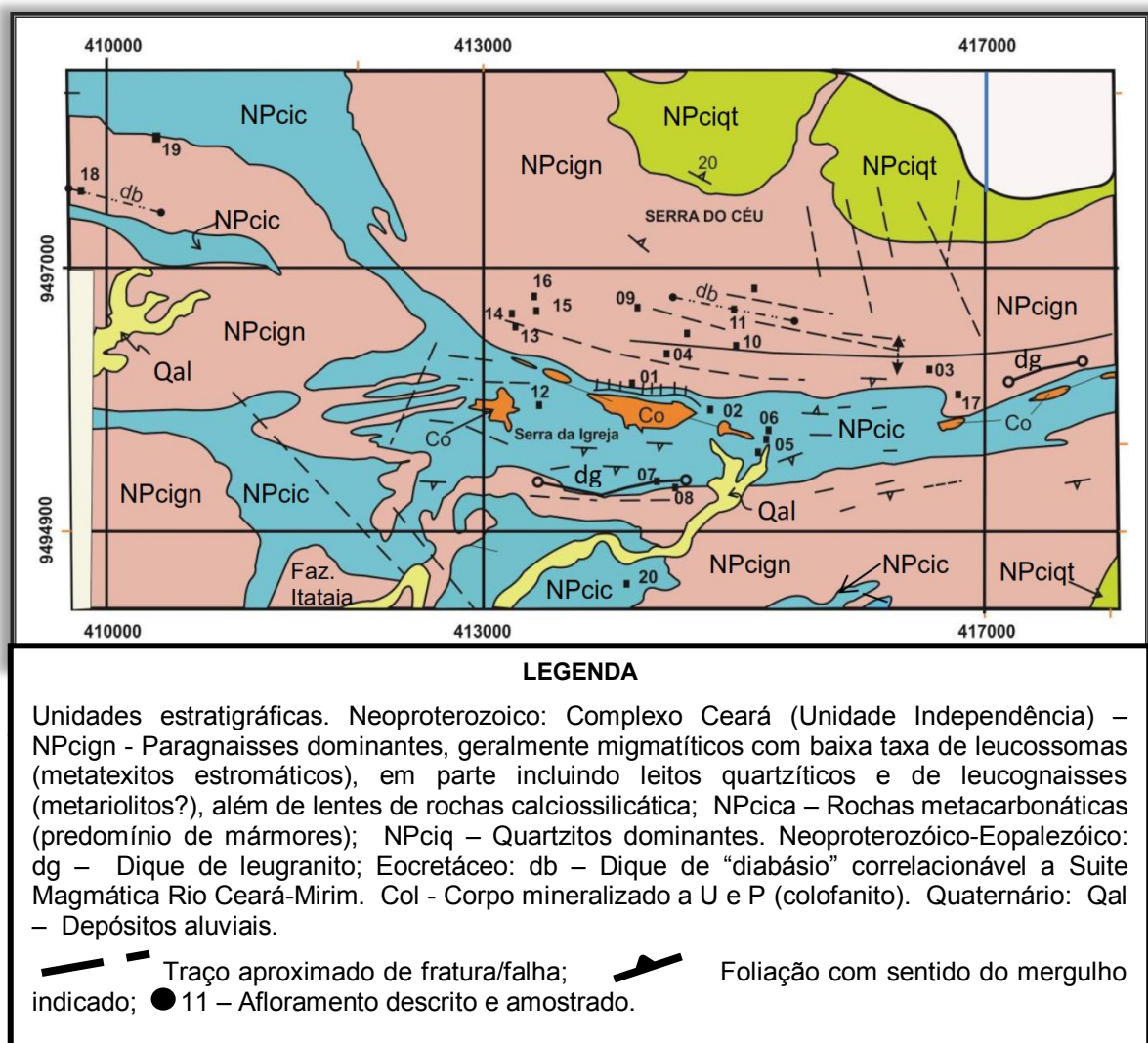
Na área, encontra-se representado pela associação litológica de idade neoproterozóica ou meso-neoproterozóica, que vem sendo tratada, informalmente, como Unidade Independência representada, em termos macroestruturais, na *nappe* de Itatira (CABY E ARTHAUD, 1986, ARTHAUD *et al.*, 2004), onde os litotipos dominantes são os paragnaisses migmatíticos, os mármore e os quartzitos.

3.2.1 Paragnaisses migmatíticos

Como rochas predominantes na área pesquisada, encontram-se em exposições desde os leitos mais baixos das drenagens até as altas encostas da Serra do Céu, sendo representados por litotipos migmatíticos comumente de baixa taxa de fusão e, em escala mesoscópica, exibindo estrutura estromática dobrada ou não, com leucossomas estreitos e descontínuos (FIGURA 9), em parte refletindo marcantes efeitos de deformação milonítica (FIGURAS 10 e 11).

No sentido aos principais corpos quartzíticos e de metacalcários (mármore), revelam contextos de transição sedimentar (variação de fácies) pelito-psamito (gnaisses com leitos quartzíticos) e pelito-química (gnaisses com lentes calcissilicáticas).

Figura 8 - Mapa geológico da área da Jazida fósforo-uranífera de Itataia e vizinhanças, onde insere-se os afloramentos descritos e amostrados.

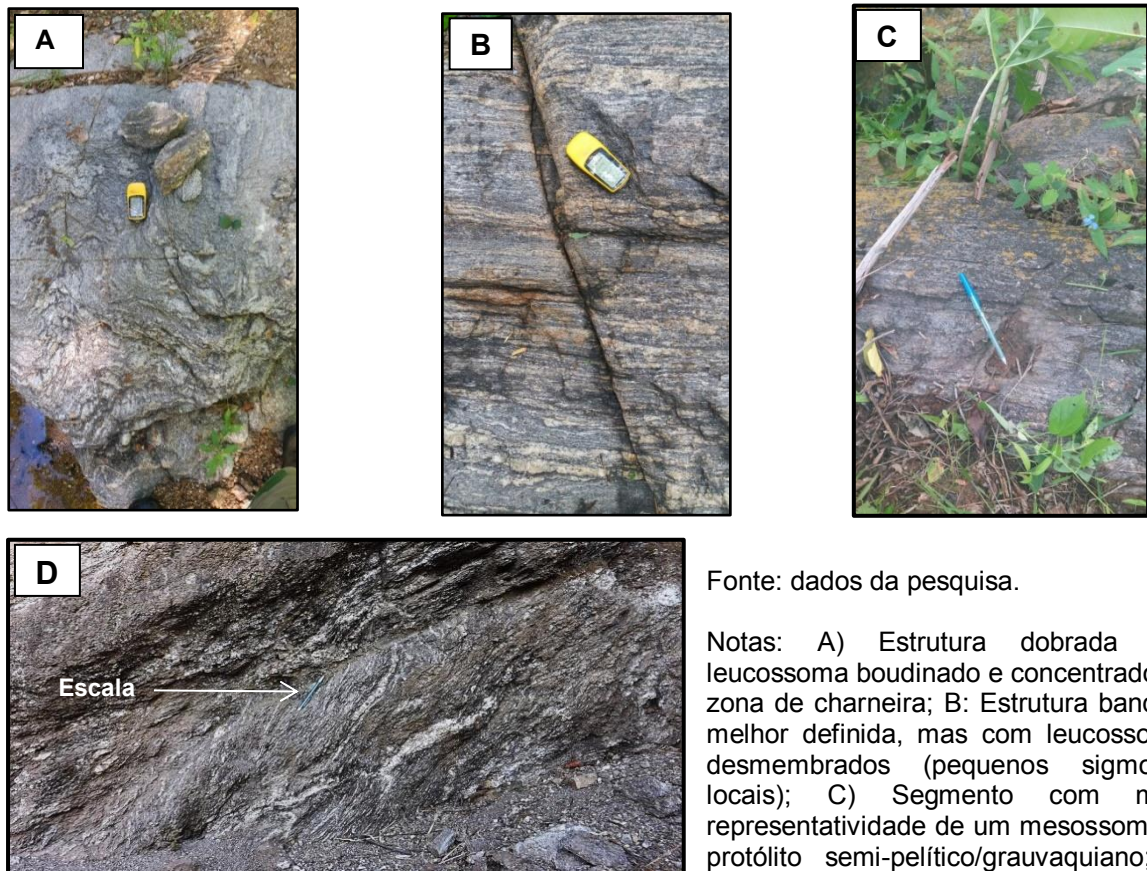


Fonte: Projeto Santa Quitéria (2013), modificado

Em dimensões de amostras de mão, os mesossomas foram descritos, predominantemente, como sillimanita-granada-biotita gnaisses paraderivados de tonalidades cinza (rocha sã) e granulação média a grossa, sendo em parte de aspecto xistoso (variedade mais rica em biotita de protólitos pelíticos).

Em escala microscópica, exemplares relacionados a tratos entre as serras da Igreja e do Céu (FIGURA 8), representam rochas de granulação média a grossa, textura granolepidoblástica constituídas, essencialmente, de feldspato, quartzo, biotita, \pm sillimanita, granada e \pm muscovita; sendo este primeiro mineral o plagioclásio (albita-oligoclásio) e a microclina (esta mais abundante na variedade com maior participação de leucossomas, chegando a suplantar a porcentagem de plagioclásio; FIGURA 12), em grãos xenoblásticos e inequigranulares, por vezes mostrando-se parcialmente saussoritizados/sericitizados. O quartzo ocorre em unidades anédricas e inequigranulares, chegando a representar até cerca de 30% da lâmina; em posições intersticiais aos feldspatos. Por sua vez, a biotita apresenta-se em cristais de granulação fina a média, inequigranulares, com hábito lamelar e pleocroísmo castanho-amarelado ao avermelhado ou marrom escuro característico de alta temperatura (FIGURAS 12E e 14C e D), chegando a formarem agregados

Figura 9 - Paragnaisses migmatitos exibindo porcentagens variadas de leucossomas, geralmente lenticulares, dobrados ou não, refletindo taxas deformacionais diversas.



Fonte: dados da pesquisa.

Notas: A) Estrutura dobrada com leucossoma boudinado e concentrado em zona de charneira; B) Estrutura bandada melhor definida, mas com leucossomas desmembrados (pequenos sigmoides locais); C) Segmento com maior representatividade de um mesossoma de protólito semi-pelítico/grauvaquiano; D) Situação com maior taxa de deformação

(leucossomas em matriz xisto-gnaissica, na forma de estreitas lentes e porfiroclastos, em parte sigmoidais), realçando-se um arranjo estrutural com sigmoides de foliação, resultante de cisalhamento E-W. Coordenadas: 413240W/9496534S. Fotografo: Ana Flávia da C. Cavalcante (2018).

arranjados de forma aleatória, o que reflete uma textura do tipo decussada (agregados escamosos); também pode existir como produto retrometamórfico da granada.

Por seu turno, a silimanita (fibrolita) ocorre em cristais prismáticos alongados, sempre muito finos e inequigranulares, com formas hipidio- a xenoblástica, em parte concentrando-se em charneiras de microdobras; enquanto a granada encontra-se em poiquiloblastos bastante fraturados marcados por inclusões de quartzo, \pm biotita, opacos e \pm apatitas; tendo-se situações em que ora mostram-se arredondados e ora com formatos quase sigmoidais. (FIGURAS 12 e 14), A muscovita quando presente, em baixa porcentagem, encontra-se distribuída de modo aleatório ou concentrando-se, por vezes, aos arredores de cristais de feldspatos, como produtos retrometamórficos.

Figura 10 - Sillimanita-biotita gnaiss, relativamente homogêneo, da porção sul da Serra da Igreja.



Fonte: dados da pesquisa.

Notas: arranjo estrutural com marcante laminação e porfiroclastos de feldspato (milonito gnaiss); noutras parte do afloramento observa-se subordinados e esparsos *boudins* quartzo-feldspáticos, além de estreitos leitos quartzíticos, sentido do enquadramento 190 Az, parâmetro médio da foliação é de $96^{\circ}/15^{\circ}$; coordenadas 413358E/949313S; fotografo - Ana Flávia da C. Cavalcante (2018).

3.2.2 Mármore, rochas calciossilicáticas e anfibolíticas

Trata-se da associação litológica de segunda maior expressividade na área, onde os mármore são amplamente dominantes, sendo a primeira em termos econômicos, tanto por si só, como por servir de encaixantes para os principais

corpos do minério fosforo-uranífero de Itataia. Mostram-se em afloramentos desde blocos soltos de dimensões variadas, até amplos lajedos e “pedreiras” com frentes de altos ângulos, geralmente marcadas por feições cársticas (FIGURA 15).

Mesoscopicamente, os mármore são rochas de tonalidades cinzentas a esbranquiçadas, granulação fina a média, de estrutura bandada (leitos de espessuras de centímetros a metros) refletindo uma variação composicional de menos a mais impuros, chegando a rochas calciossilicáticas. Mostram-se em um sistema de dobras fechadas de vergência meridional envolvido em uma fase de dobramentos abertos de eixos em torno de 70-80Az. Comumente, servem de encaixantes para dique-*sheets* e peças desmembradas, de formatos diversos, de leucogranitóides (Figura 15), além de lentes de paragneisses.

Figura 11 - Sillimanita-biotita paragneisse migmatizado (metatexito de estrutura estromática).



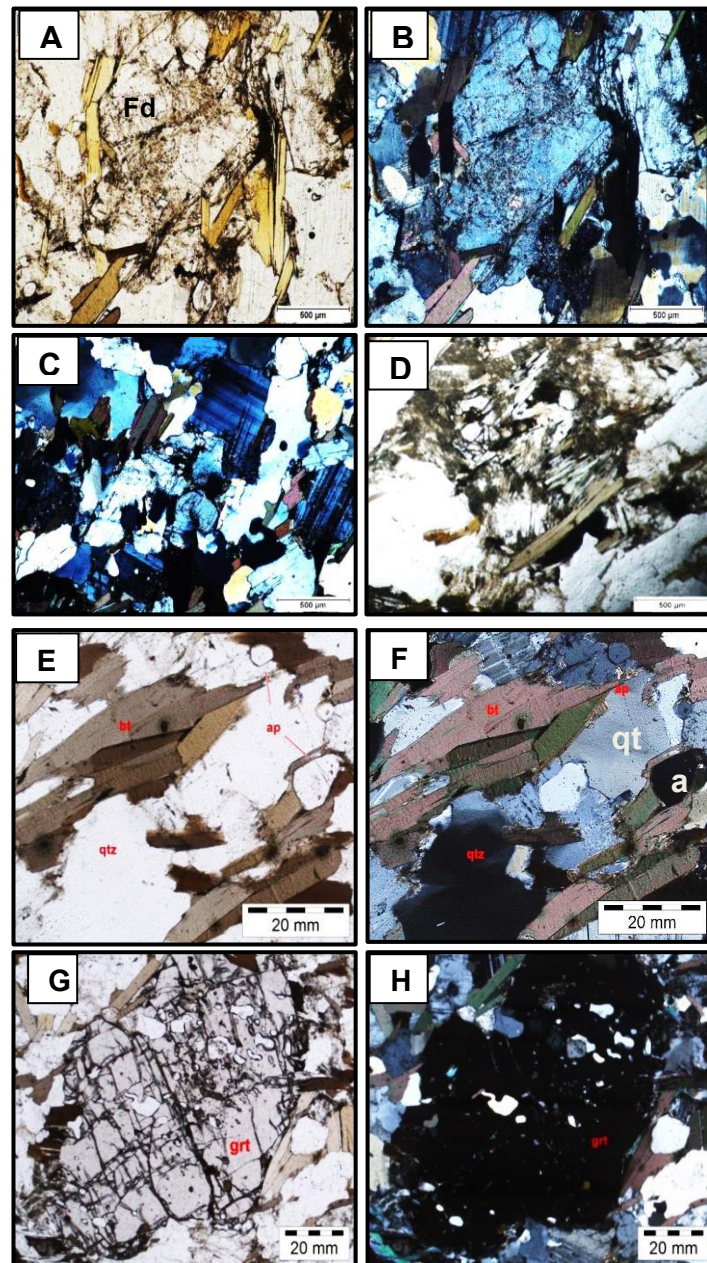
Fonte: dados da pesquisa.

Notas: zona de maior participação leucossomática (leitos boudinados) e marcado por cisalhamento dúctil-frágil de cinemática inversa (bloco baixo à direita, marcado pela escala). Sentido do enquadramento 190 Az. Foliação média de $96^{\circ}/15^{\circ}$. Coordenadas: 413358W/949313S. Fotografo: Ana Flávia da C. Cavalcante (2018).

Numa visão petrográfica, em escala microscópica, um exemplar de mármore mostrou-se como rocha de granulação média e textura ganoblástica formada por uma associação mineral onde destaca-se o carbonato (calcita), como mineral dominante, encontrando-se associado a flogopita, quartzo e titanita para formar um mosaico de cristais preferencialmente subédricos e inequigranulares. Tendo-se a titanita em grãos anédricos, relevo alto característico e coloração variando entre tons de marrom, com leve pleocroísmo, distribuindo-se de modo

disperso em toda a área laminada (FIGURA 16). Enquanto isto, a flogopita ocorre em cristais tabulares, sem obedecer uma orientação preferencial, com coloração variando de bege a marrom (pleocroísmo típico) e clivagem bem característica.

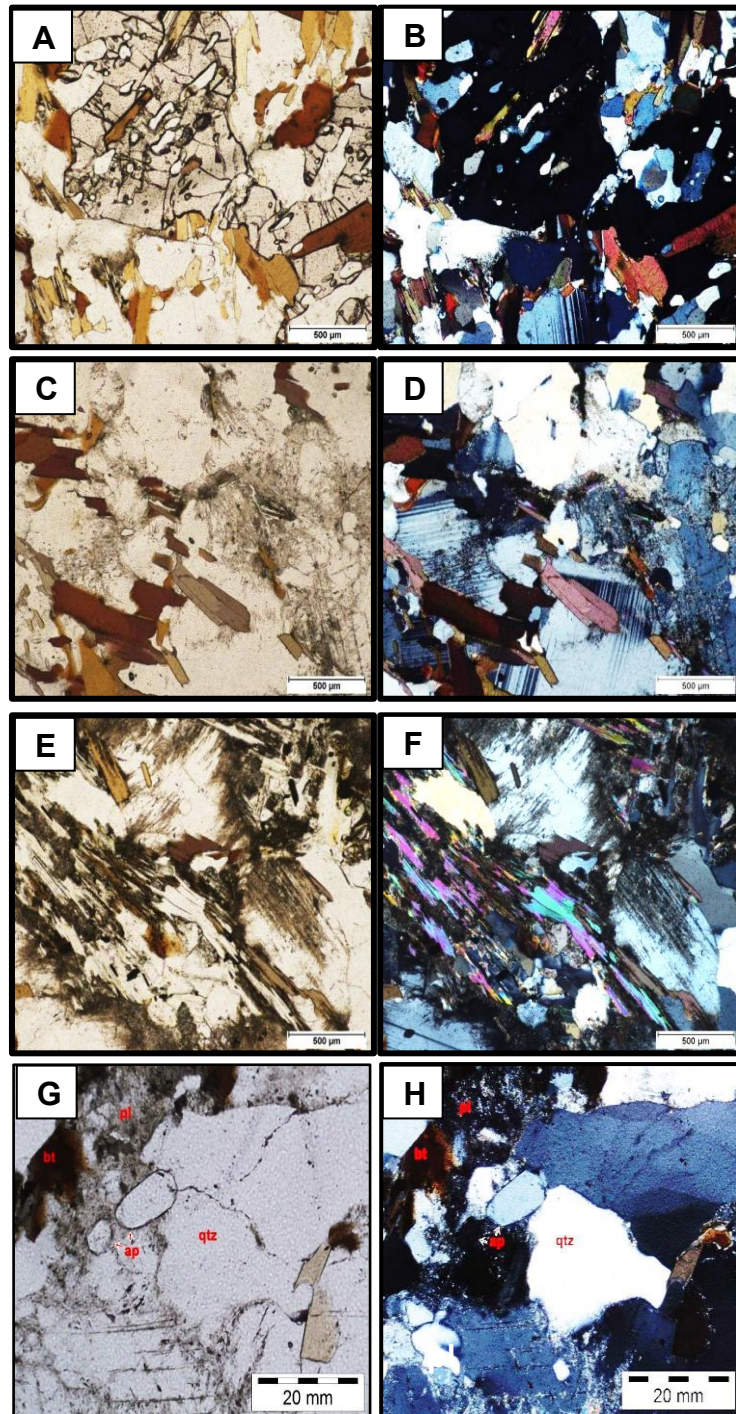
Figura 12 - Fotomicrografias de exemplar de paragnaisse, destacando-se elementos texturais de fraturamento e composicionais da zona da sillimanita com registros retrometamórficos.



Fonte: dados da pesquisa.

Notas: Amostra AF09 (coordenadas 414223W- 9496674S). A. (LN) e B (LP) – Destaque para cristal de plagioclásio fraturado e com zonas de alteração (sericitização) e circundado por finas lamelas de biotita. C (LP) – Porção dominada por cristais de plagioclásio, quartzo e biotita. D (LN) – Zona de concentração de cristais de sillimanita (fibrolita) e de micas (muscovita e biotita); E (LN) e F (LP) – Cristais de apatita como acessório do granada-biotita paragnaisse (mesossoma); : G (LN) e H (LP) – Detalhe de um poiquiloblasto de granada, muito fraturado e incluso numa matriz formada, essencialmente, de quartzo, plagioclásio e biotita.

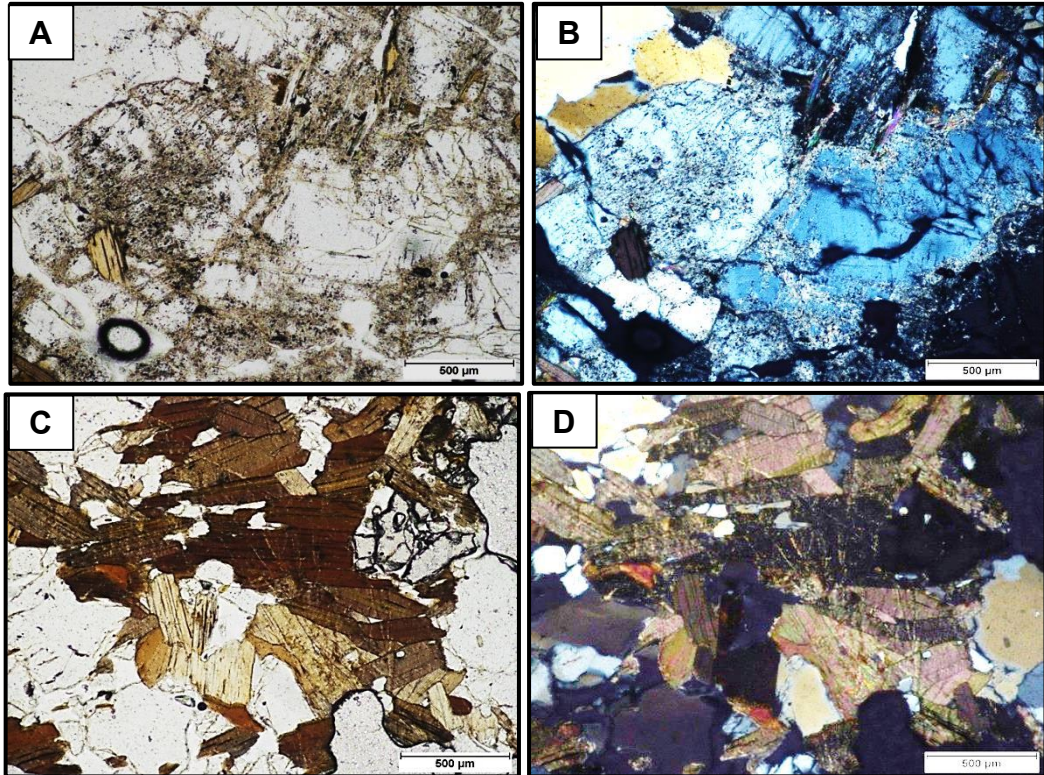
Figura 13 - Fotomicrografias de exemplar de paragneisse, com destaque as feições texturais e as presenças de granadas, micas e apatitas.



Fonte: dados da pesquisa.

Notas: A (LN) e B (LP) – destaque para o cristal de granada, exibindo formato parcial de *sigmoidal boudin* e com diversas fraturas e inclusões (quartzo e biotita, dominantes) que lhe confere o carácter de *poiquiloblasto*; C (LN) e D (LP) – lamelas de biotita, com cores variando de castanho-claro a marrom, por vezes associada a cristais de apatita de granulação fina. E (LN) e F (LP) – agregado de minerais micáceos (muscovita dominante) associado a plagioclásio (parcialmente alterado e de forma lenticular) e quartzo; G (LN) e H (LP) – detalhe para cristais de apatita (ap); amostra AF03; coordenadas 416552 W – 9496192 S.

Figura 14 - Fotomicrografias de paragnaisse, destacando-se aspectos de faturamento e alteração dos feldspatos e a biotita de alta temperatura.



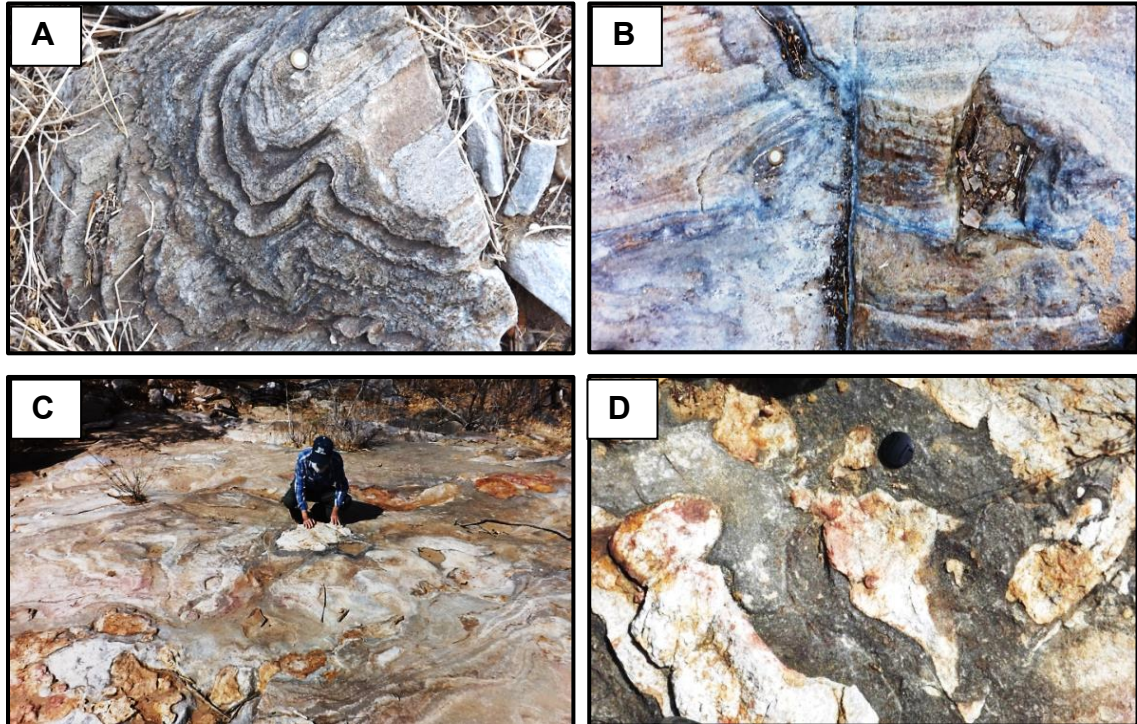
Fonte: dados da pesquisa

Notas: A (LN) e B (LP) - destaque para as feições de alteração (saussuritização) dos cristais de plagioclásio; C (LN) e D (LP) – porção dominada por biotitas de coloração variando fortemente de tons castanho- claro para tons mais escuros (mais alta temperatura), envolvendo, parcialmente, cristal de granada fraturado; amostra AF15; coordenadas 413415E- 9496668W.

Por sua vez, uma amostra do mármore da zona de contato com um corpo de leucogranitóide (episienito; ver adiante), mostrou-se formada, predominantemente, por cristais de calcita (FIGURAS 16 e 17) de granulação média a grossa, com traços de clivagem típicos bem definidos, constituindo-se em unidades anedrais e inequigranulares. Enquanto isto, os cristais de piroxênio (diopsídio) de coloração verde pálido, também anedrais e inequigranulares, encontram-se distribuídos, de modo aleatório no domínio carbonático. Como materiais de influência do epissienito, tem-se cristais de feldspato (albita) alterados. A colofana mostra-se concentrada, especialmente, aos arredores do plagioclásio. Pequenos cristais de titanita (esfeno), em proporção acessória, inclusos na calcita, são geralmente arredondados e exibem sua coloração e pleocroísmo marrom típicos (FIGURA 16C).

No que diz respeito a uma lâmina das rochas calciossilicáticas, a análise petrográfica revelou tratar-se de um litotipo de textura granoblástica formada de

Figura 15 - Arranjos estruturais das rochas metacarbonáticas, em escala de afloramentos.



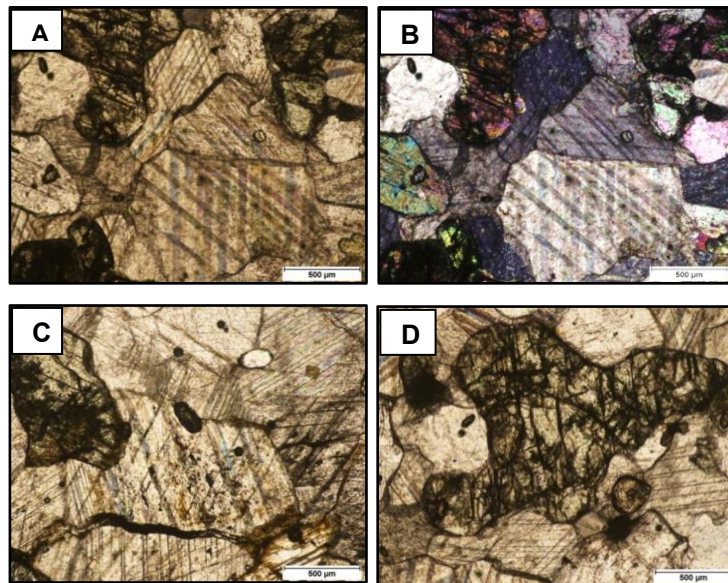
Notas: A) bandamento proporcionado pela alternância entre leitos de metacalcários puros e impuros/ calciossilicáticas; B) do mesmo afloramento, *boudin* de rocha calciossilicática; C) *boudins* de metaleucogranitóide, de tamanhos variados, imerso em rochas metacarbonáticas, num arranjo similar a uma *melange* tectônica; D) detalhes da forma e relacionamento (contatos arredondados e em cúspide) das partes desmembradas do metaleucogranitóide com os metacarbonatos; coordenadas 412582W/9496857S; fotografo - Ana Flávia da C. Cavalcante (2018).

escapolita, condrodita, clinopiroxênio (diopsídio), anfibólio fibroso, quartzo, flogopita, epidoto (zoisita-clinozoisita), vesuvianita alterada para epidoto, calcita, plagioclásio, microclina pertitzada, lamelas de muscovita com leve pleocroísmo e inclusões de zircão com halos pleocróicos, titanita e opacos como a ilmenita (FIGURA 18). No conjunto, refletem uma associação com minerais de temperaturas diferentes, como por exemplo o diopsídio (ca. 500°C) e epidoto + vesuvianita (entre 270°C e 380°C).

Ainda, relacionada a esses tipos litológicos, no contexto metacarbonático, tem-se rocha de textura granoblástica, constituída, essencialmente, de feldspato (plagioclásio), clinopiroxênio (diopsídio), anfibólio (actinolita-tremolita) e quartzo, onde o primeiro mineral, em grãos xenoblásticos, de granulação fina a média, exhibe macla segundo a lei da albita; enquanto o diopsídio, em unidades inequigranulares

xenoblásticas, de granulação de média a grossa, mostra-se, por vezes, em formatos de seções de prismas alongados. Também, os cristais de diopsídio apresentam-se, em parte, constituindo agregados granulares ou mostrando-se alterados para anfibólio e clorita. Os grãos de quartzo são xenoblásticos e de dimensões média a grossa.

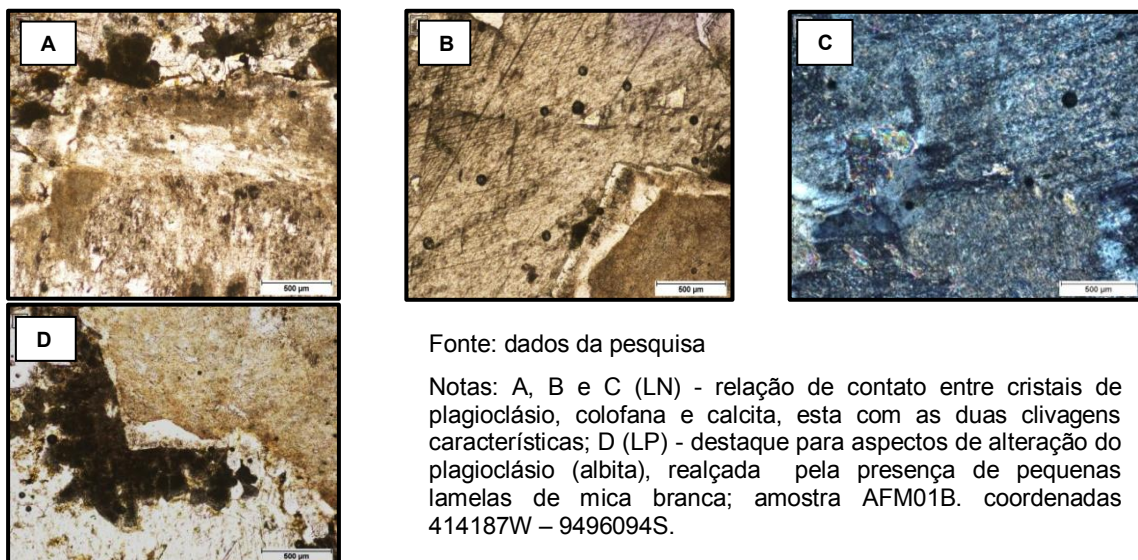
Figura 16 - Fotomicrografias de um exemplar de mármore da zona de contato com episienito.



Fonte: dados da pesquisa

Notas: A (LN) e B (LP) – relações de contato entre cristais de calcita, diopsídio e pequenos cristais de titanita (parte superior esquerda); C e D (LN) - destaque para cristais de piroxênio e titanita inseridos num domínio calcítico; amostra AFM01C; coordenadas 414187W – 9496094S.

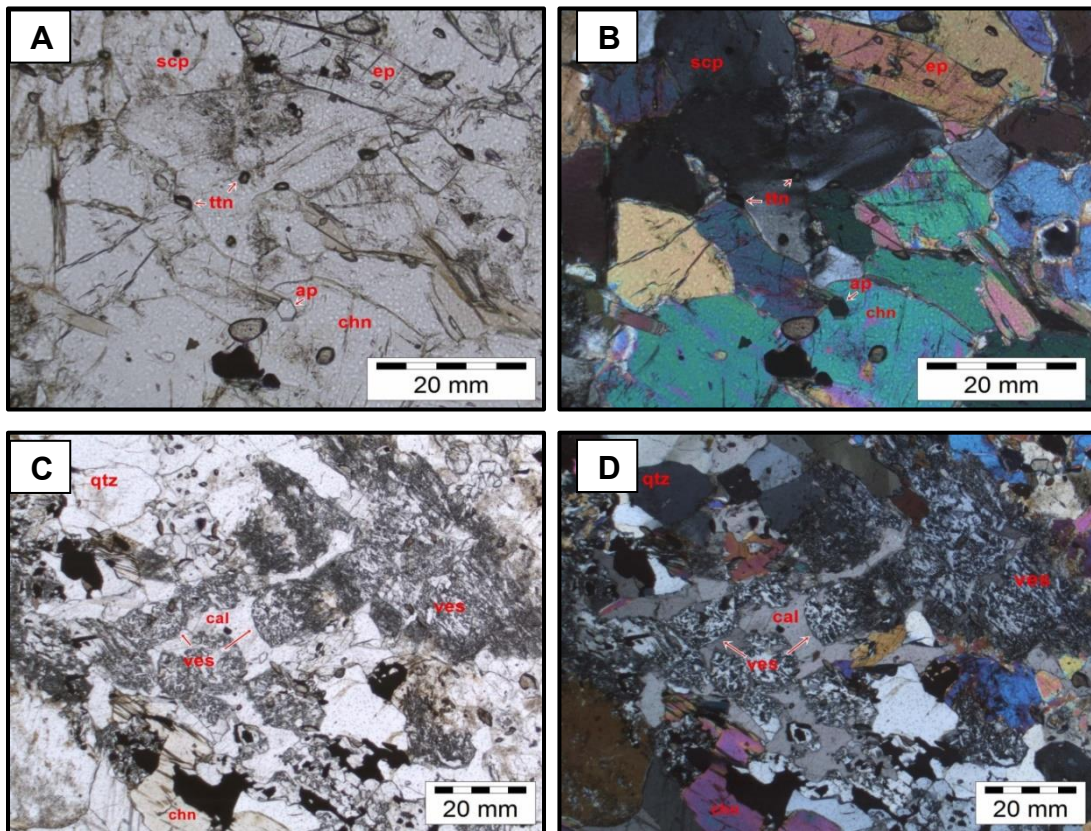
Figura 17 - Aspectos texturais e mineralógicos de uma amostra de mármore, do contato com episienito, em zona albitizada e com a presença de colofana.



Fonte: dados da pesquisa

Notas: A, B e C (LN) - relação de contato entre cristais de plagioclásio, colofana e calcita, esta com as duas clivagens características; D (LP) - destaque para aspectos de alteração do plagioclásio (albita), realçada pela presença de pequenas lamelas de mica branca; amostra AFM01B. coordenadas 414187W – 9496094S.

Figura 18 - Fotografias de rocha calciossilicática, refletindo processos retrometamórficos.



Fonte: dados da pesquisa.

Notas: A (LN) e B (LP) – aspectos texturais de rocha calciossilicática, onde destacam-se os cristais de condrodita (chn), escapolita (scp), epidoto (ep) e quartzo (qz); C (LN) e D (LP) - destaque para modificações texturais marcadas, especialmente, pela presença da vesuvianita (ves) alterada para epidoto, amostra AF06; coordenadas 415256 W – 9495630 S.

Como mineral acessório, destaca-se a presença da titanita, em cristas anédricos, subédricos e, mais raramente, euédricos, mas sempre ocorrendo inclusos ou associados cristais de piroxênio.

Por sua vez, a rocha descrita como anfibolito (amostras etiquetadas como AF01A) aflora (FIGURA 19) às proximidade de um corpo descrito como de episienito, numa zona de transição dos paragneisses migmatíticos para os mármore com níveis de rochas calciossilicáticas. Em decorrência, é muito provável que a mesma tenha origem vinculada aos sedimentos carbonáticos (tais como os calcários e margas).

Micropetrograficamente, trata-se de rocha de textura granonematoblástica a nematoblástica, constituída de anfibólios (FIGURA 20), em parte exibindo, na

porção central, uma coloração castanho-pálida oscilando para uma tonalidade azulada nas bordas. Esta variação de tons, segundo dados bibliográficos (p. ex. VERÍSSIMO *et al.*, 2016), reflete uma passagem do anfibólio cálcico (núcleo) para anfibólio sódio (borda), retratando um processo metassomático. Os mesmos encontram-se em cristais hipidio- a xenoblásticos, de granulação média, parcialmente alterados e fraturados, chegando a mostrar-se em contato direto com o material fosfático (colofana). Por sua vez, a associação anfibólio + plagioclásio (em cristais inequigranulares, xenoblásticos e parcialmente saussuritizados/sericitizados) constitui a quase totalidade da lâmina analisada. A granada, em porcentagem subordinada, mostra-se em cristais altamente fraturados e desmembrados (FIGURA 20), estando sempre associados ao anfibólio (presente tanto nas bordas como nas fraturas); enquanto a colofana apresenta-se tanto esparsamente distribuída, como perfazendo um veio constituído essencialmente pelo material fosfático associado diretamente com o anfibólio. Além disto, como minerais acessórios, encontra-se a apatita com forma cristalina bem definida, estando, por vezes inclusas nos anfibólios; além de minerais opacos (óxidos).

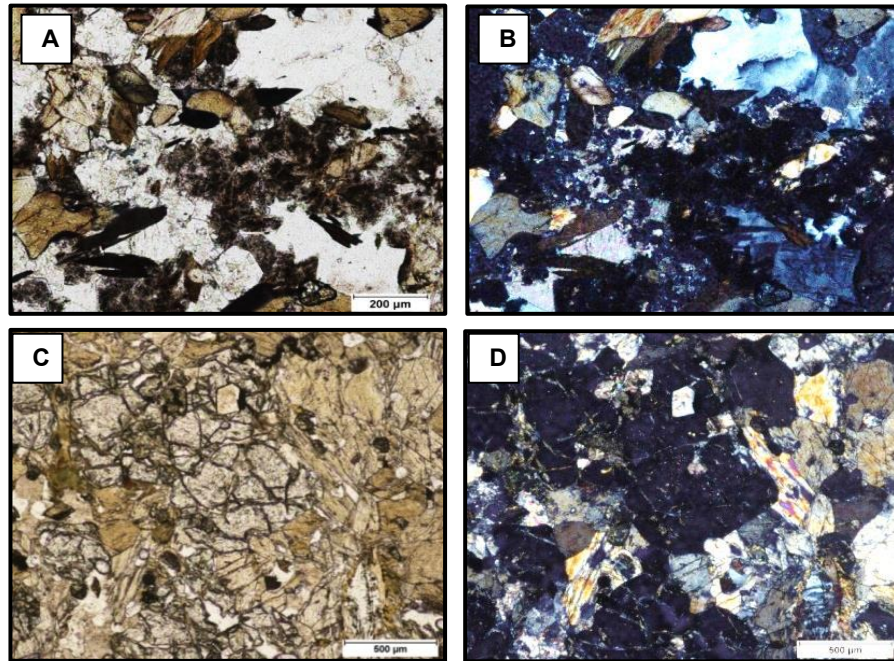
Figura 19 - Vista parcial de um afloramento de rocha anfibolítica.



Fonte: dados da pesquisa

Notas: rocha anfibolítica (granada-anfibólio gnaiss) exibindo foliação/bandamento de mergulho de alto ângulo, com manchas/disseminação e filonetes de colofana conforme e discordantes em relação a foliação; amostra AF01A; coordenadas 414187 W – 9496094 S

Figura 20 - Fotomicrografias de rocha anfibolítica exposta às proximidades do corpo principal da Jazida de Itataia.



Fonte: dados da pesquisa

Notas: A (LN) e B (LP) - destaque para cristais de anfibólio em processo de alteração, onde o núcleo do mineral é cálcico e a borda sódica (ver Capítulo 4), como indicativo de processo metassomático; ocorrendo em contato com a colofana; C (LN) e D (LP) – campo onde destaca-se cristal de granada desmembrada e incluída num arranjo mineral com predomínio do anfibólio. Amostra AF01A; coordenadas 414187 W – 9496094 S.

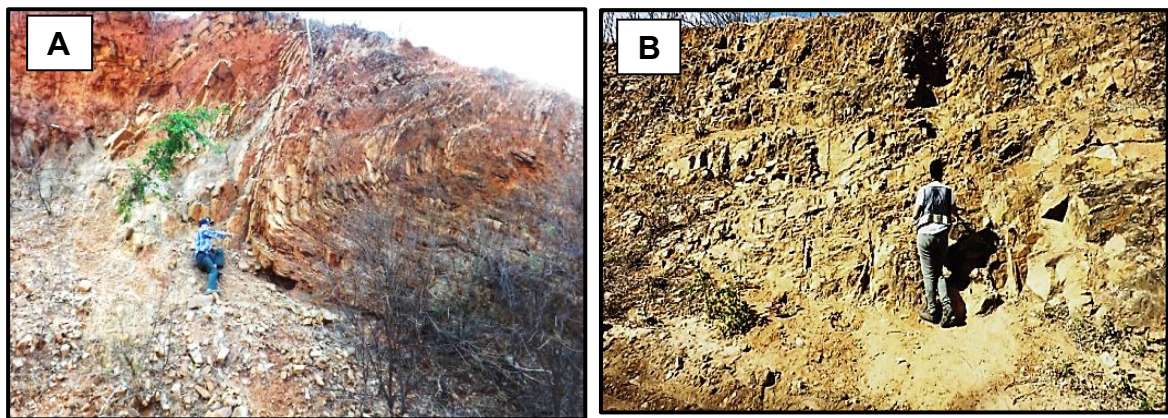
3.2.3 Quartzitos

Esses metassedimentos psamíticos mostram-se em ocorrências de grande (Serra do Céu e Quixaba-Serra das Laranjeiras) à pequena expressão (estreitos leitos intercalados nos paragnaisses), vistas em afloramentos de diversas dimensões, tantos em leitos e margens de córregos, como em escarpas e cumeadas de serras e taludes de estradas de terra (FIGURA 21). Em escala de mão, mostram-se como rochas de granulação média a grossa, geralmente com amplo predomínio do quartzo, podendo mostrar-se com intercalações de mica-quartzo xisto, com ou sem sillimanita.

Análise petrográfica efetuada por CAVALCANTE (2016), em amostra da localidade Quixaba (FIGURA 21), revela uma composição onde destaca-se um

amplo predomínio de cristais de quartzo ($\approx 75\%$) e k-feldspatos ($\approx 25\%$), enquanto o rutilo ocorre, localmente, ao nível de traços. Por sua vez, o quartzo mostra-se em cristais anédricos, amebóides, com leve extinção ondulante (raros cristais são de seção basal); enquanto os cristais de feldspato potássico, hipídio a xenoblásticos, são geralmente pertíticos, estando alguns com maclas da Albita-Periclina (xadrez), típica de microclínio, mostrando-se micropertíticos, albitizados e com alteração para caulim.

Figura 21 - Elementos estruturais do quartzito em afloramento de talude da estrada Lagoa do Mato-Itataia.



Fonte: dados da pesquisa

Notas: A - talude esquerdo da estrada de terra Lagoa do Mato – Itataia – Morrinho, mantido por rochas quartzíticas, configurando zona de fechamento de uma dobra recumbente associada a *thrusts* de vergência SE, mostrando-se bastante fraturadas e afetadas por falhas; escala - J. C. Cavalcante; fotografo - Ana Flávia da C. Cavalcante, nov/2018); B) talude direito da mesma estrada, no mesmo sentido, onde tem-se realce dos sistemas de fraturas NNE e NNW, geralmente de mergulhos muito altos a verticais (245/75; 255/80; 260/86; N15W/90), enquanto valores menores se situam em torno de 275/35, onde medidos; escala: - Ana Flávia da C. Cavalcante; fotografo - J. C. Cavalcante, nov/2018; coordenadas 417902W/9491155S.

3.3 Leucogranitos (Neoproterozóico-Eopaleozóico)

Para estes litotipos, os principais jazimentos são do tipo dique (FIGURA 22), vindo, acessoriamente, os *sheets*, podendo mostrar-se como unidades desmembradas em peças de formatos diversos. Os principais diques têm sido assinalados logo as proximidades norte e sul da serra da Igreja, onde encontra-se a Jazida de Itataia.

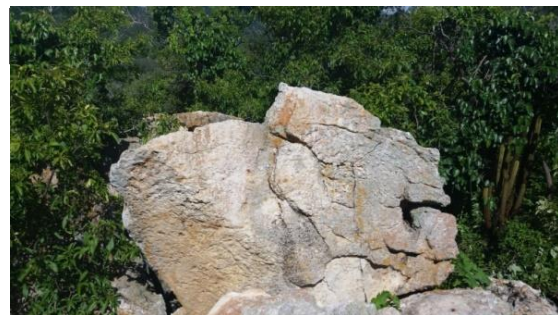
Em análise microscópica, tratam-se de rochas de composição granítica, geralmente de granulação grossa (1-3 cm) a muito grossa (3-10 cm), constituída,

dominantemente, pelos cristais de feldspato potássico (microclina, FIGURA 23), xenomórficos, inequigranulares e parcialmente saussuritizados. Em baixas porcentagens, ocorrem a biotita (cristais anedrais e inequigranulares), o plagioclásio (alterados a carbonato e mica) e a muscovita (escassa e com hábito lamelar típico e granulação de fina a média).

Figura 22 - Vistas parciais de afloramentos de leucogranitos;

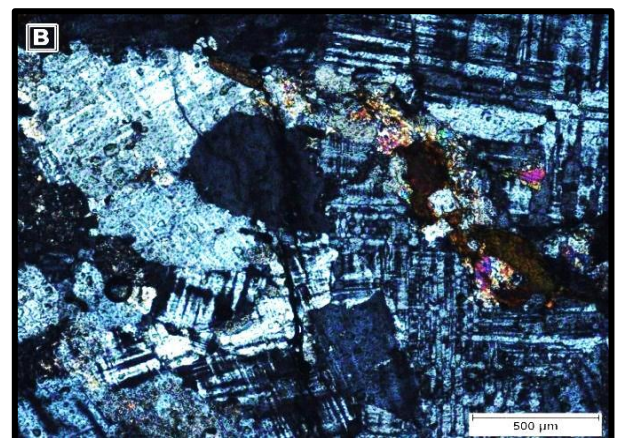
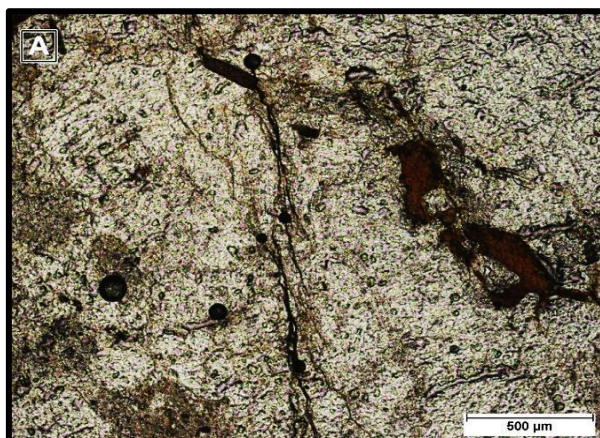


Fonte: dados da pesquisa



Notas: A) local da amostra AF19A de leucogranito de granulação grossa a pegmatítica, mostrando-se fraturado e constituído, basicamente de cristais de feldspatos; B) Exposição do leucogranito relacionado a amostra AF07 (coord. 414394 W – 9495306 S); fotografo - Ana Flávia da C. Cavalcante.(2018).

Figura 23 - Fotomicrografias de leucogranito.



Fonte: dados da pesquisa

Notas: A (LN) e B (LP) – fotomicrografias de leucogranito, envolvendo um campo com predomínio dos cristais de microclina exibindo a sua macla xadrez típica (albita-periclina), mostrando-se bastante fraturados e, localmente, saussuritizados; a biotita, em baixa porcentagem e em lamelas de tonalidades marrom-escuras e avermelhadas, encontra-se posicionada em frações da microclina mais saussuritizada; amostra AF19A; coordenadas 410410E -9498054S.

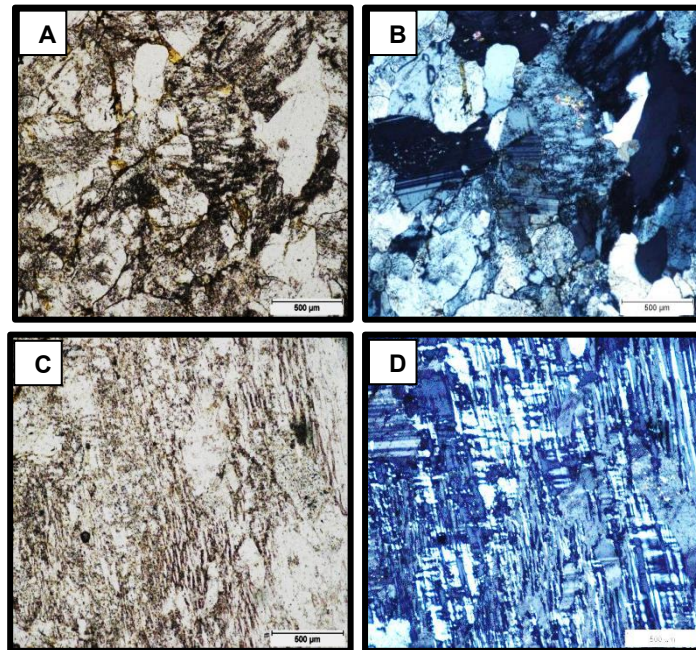
Enquanto isto, em lâmina delgada de uma amostra do afloramento AF07 (FIGURA 24A), a rocha exhibe um certo nível de deformação frágil (porções do tipo microbrecha), sendo constituída, essencialmente, de: - feldspato potássico (microclina perítica e ortoclásio; FIGURAS 23 a 25) em cristais inequigranulares, de granulação de média a muito grossa, em parte alterados para argilominerais; - plagioclásio em unidades inequigranulares, preferencialmente xenomórficas e de granulação média a grossa (exceto os enclaves/pertitas no k-feldspato), também exibindo porções com elevado grau de alteração (saussuritização) que pode situar-se em diversas partes dos cristais; - o quartzo em grãos inequigranulares, também xenomórficos, de granulação fina a grossa. Como acessórios, destaca-se a presença de minerais opacos.

Ainda, do dique da amostra AF07, em posição próxima a SE (FIGURA 8), a rocha mostrou-se constituída, predominantemente, de feldspatos, microclina e plagioclásio (albita), em grande parte saussuritizados (FIGURA 24B), por vezes encerrando produtos de alteração de aspecto “empoeirado”, ocupando quase 100 % do protomineral. Esses feldspatos encontram-se representados por cristais de granulação média a grossa, anédricos, inequigranulares, exibindo marcante grau de fraturamento. Por sua vez, os grãos de quartzo são de granulação fina a média, sendo, também, anedrais e inegranulares, enquanto a muscovita e a biotita (pleocroísmo avermelhado), em baixas porcentagens, mostram-se em pequenas e médias lamelas, inegranulares e dispostas de modo aleatório.

Por seu turno, exemplar da rocha leucogranítica descrita, historicamente, como epissienito (amostra AFM01A), com afloramentos às proximidades norte do corpo principal do minério fósforo-uranífero de Itataia, mostra textura granular composta, essencialmente, de cristais de plagioclásio bem desenvolvidos, de granulação grossa, marcados por extensiva alteração em argilominerais e mica branca. Como produto incorporado tardiamente, encontram-se manchas escuras, de distribuição contínua e esparsa, de apatita amorfa (colofana, FIGURA 26).

Para uma segunda amostra do epissienito (AFM01B), do mesmo ponto, envolvendo uma posição de contato epissienito *versus* rocha metacarbonática, tem-se cristais anedrais de carbonato, com traços de planos de clivagem característicos, mostrando-se em contatos com cristais de plagioclásio, que se mostram saussuritizados. O material fosfático (colofana) ocorre, principalmente, nessas zonas de contatos entre material carbonático e silicático.

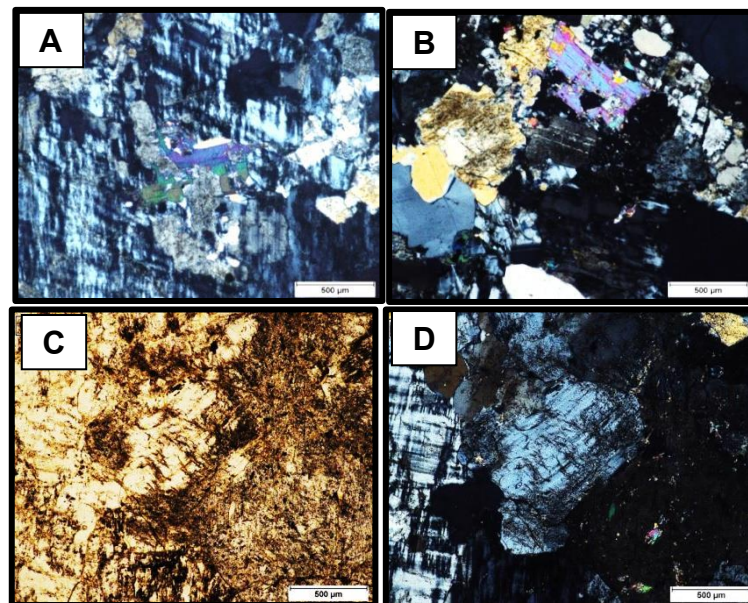
Figura 24 - Fotomicrografias de leucogranito.



Fonte: dados da pesquisa

Notas: A (LN) e B (LP) – destaque para a organização textural entre os grãos xenomórficos de plagioclásio, parcialmente saussuritizados e com inclusões, e quartzo, refletindo efeitos de deformação dúctil; C (LN) e D (LP) – Cristal de feldspato potássico (microclínio) com sua macla albita-periclina típica, envolvendo grãos de plagioclásio (reflexos de exsolução do tipo perthita); amostra AF07A; coordenadas 414394 W – 9495306 S.

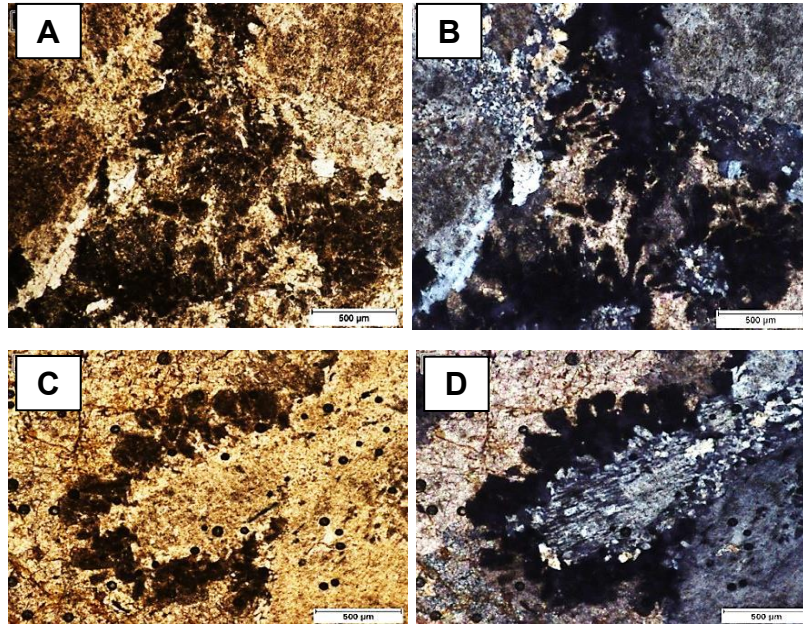
Figura 25 - Fotomicrografias de leucogranito.



Fonte: dados da pesquisa

Notas: A (LP) - destaque para cristal de feldspato potássico (microclina), envolvendo lamelas de muscovita e zonas saussuritizadas; B (LP) - porção dominada por quartzo, feldspatos (plagioclásio e microclina) e muscovita (notar grau de faturamento e alteração); C (LN) e D (LP) – realce para a forte saussuritização dos feldspatos; amostra AF08; coordenadas 414531 W – 9495248 S.

Figura 26 - Fotomicrografias da zona de contato episenito-mármore.



Fonte: dados da pesquisa

Notas: A (LN) e B (LP) – colofana como material mais escuro circundando e preenchendo zonas entre os grãos de plagioclásio alterados; C (LN) e D (LP) – idem; amostra - AFM01A; coordenadas 414635 W – 9495762 S.

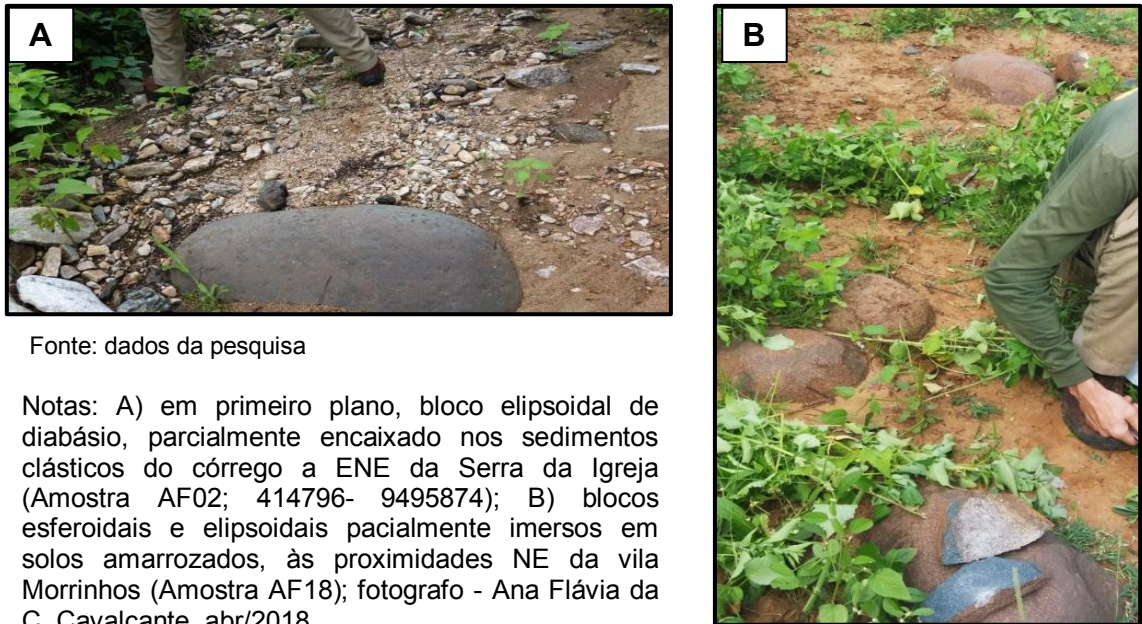
3.4 Suíte Rio Ceará-Mirim (Cretáceo Inferior)

Na área, os afloramentos amostrados relacionam-se a um dique (AF02, AF11 e AF18) reconhecido por Cavalcanti *et al.* (2013) e Veríssimo *et al.* (2016), configurando-se como uma extensão de um dique, antes marcado entre as cidades de Canindé e Choró, que tem sido relacionado ao Magmatismo Rio Ceará-Mirim.

Encontra-se representado por blocos arredondados, com esfoliação esferoidal e de dimensões variadas, geralmente soltos ou parcialmente encaixados em solos amarronzados ou calhas de drenagens, preenchidas por sedimentos de granulometria variável, incorporando cascalhos e/ou blocos de diferentes tipos litológicos (FIGURA 27).

Em escala microscópica, mostra-se constituído de cristais hipidiomórficos de plagioclásio (labradorita), literalmente saussuritizados (FIGURA 28C) para mica fina (pininita); cristais de clinopiroxênios (augita-diopsídio) tabulares, inequigranulares e alterados para biotita (quando associados aos opacos) e esta para clorita; cristais de opacos (magnetita e hematita) estão quase sempre inclusos

Figura 27 - Aspectos de afloramentos do dique máfico Itataia-Morrinhos.



Fonte: dados da pesquisa

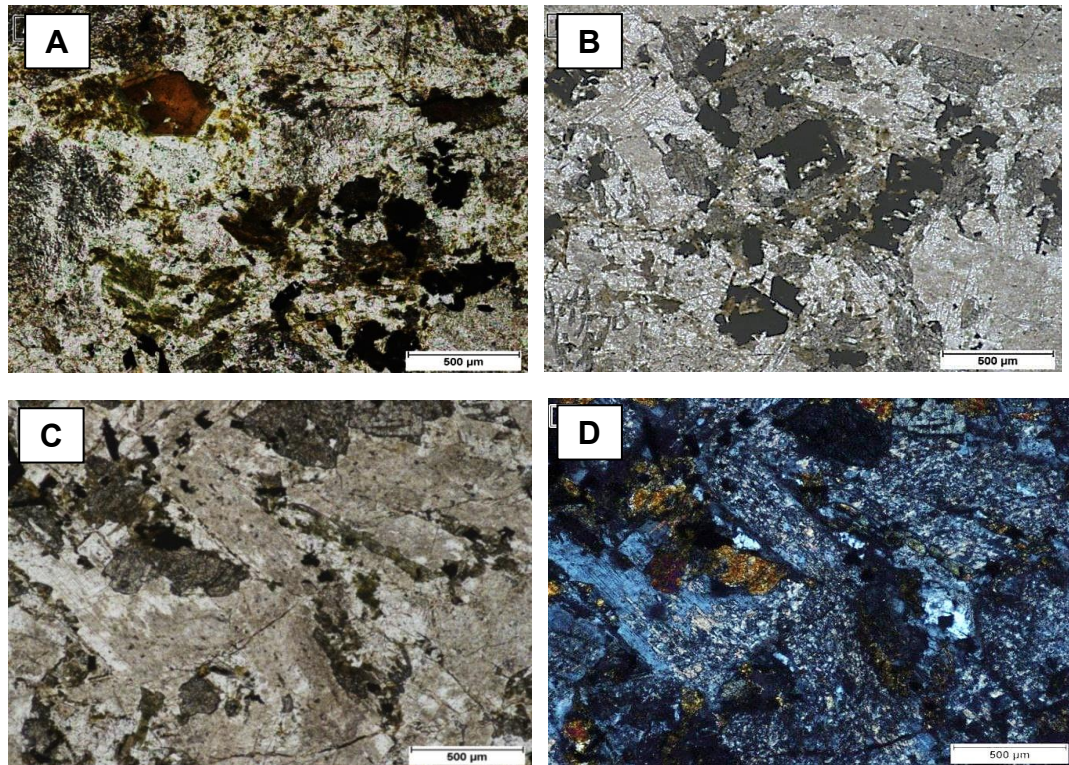
Notas: A) em primeiro plano, bloco elipsoidal de diabásio, parcialmente encaixado nos sedimentos clásticos do córrego a ENE da Serra da Igreja (Amostra AF02; 414796- 9495874); B) blocos esferoidais e elipsoidais parcialmente imersos em solos amarelos, às proximidades NE da vila Morrinhos (Amostra AF18); fotografo - Ana Flávia da C. Cavalcante, abr/2018.

e associados aos cristais de clinopiroxênio. Ainda, destaca-se a presença frequente de finas agulhas de apatitas (FIGURA 29E), inclusas nos feldspatos e mesmo em cristais que atravessam mais de um mineral.

Por sua vez, lâmina da amostra AF18 revelou uma rocha formada, predominantemente, de cristais de plagioclásio, inequigranulares, hipidiomórficos (associação de cristais idiomorfos, subidiomorfos e xenomorfos), de granulação de fina a média, com geminação *Carlsbad* visualizada, preferencialmente, nos cristais menos alterados (o processo de saususurização foi extensivo a todos os cristais).

O piroxênio (augita), de hábito tabular e prismático, mostra coloração variando de incolor a castanho pálido (à luz natural – LN; Figura 29D), com leve pleocroísmo, alteração para biotita e clorita, além de mostrar-se quase sempre associado a minerais opacos. Enquanto isto, a apatita, em cristais incolores e aciculares, de tamanhos variados, ocorre nos mais diversos segmentos da lâmina (FIGURA 29E), tanto inclusos em cristais de plagioclásio, biotita e piroxênio, como desenvolvidos através de diversos cristais.

Figura 28 - Fotomicrografias de exemplares do dique máfico (“diabásio”) Itataia-Morrinhos.



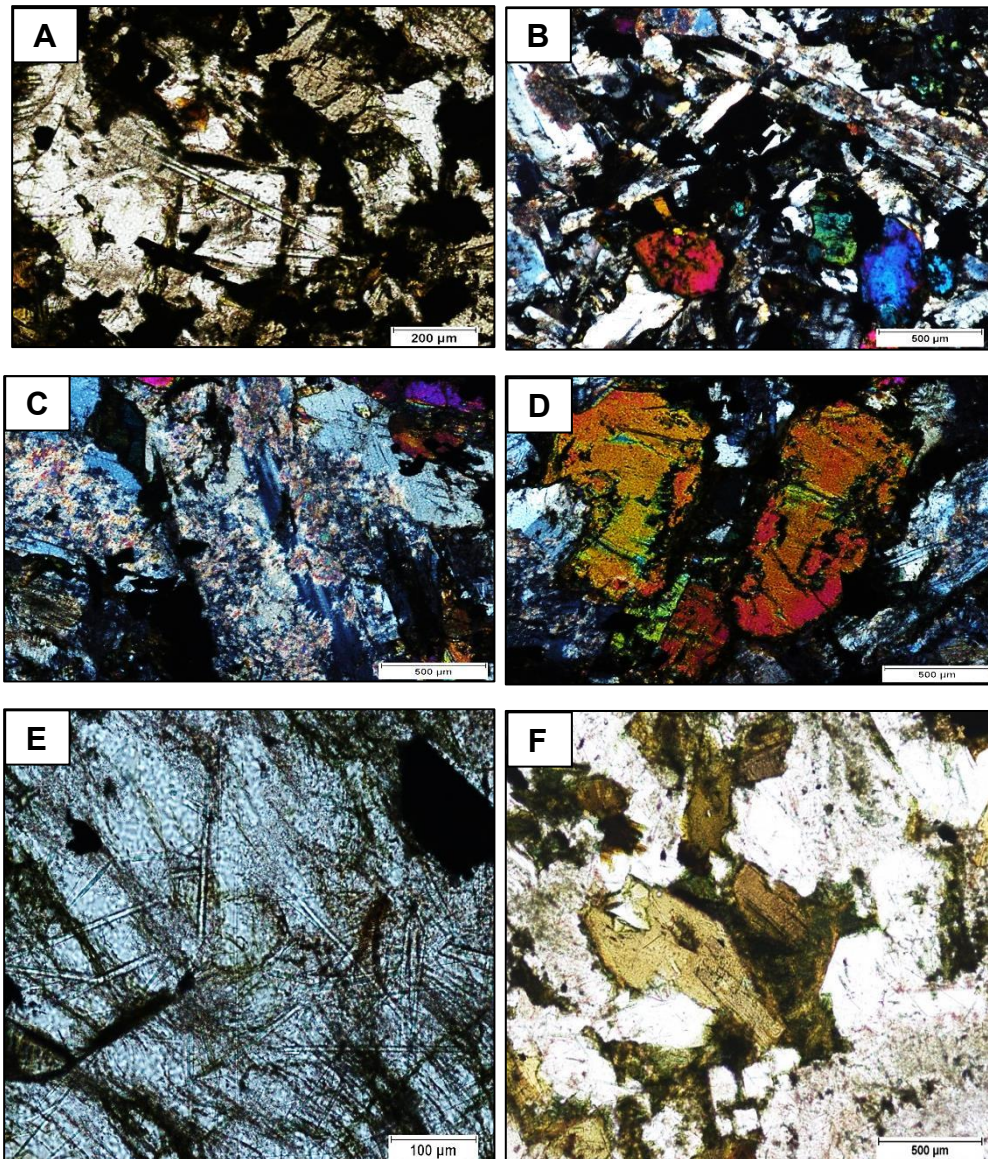
Fonte: dados da pesquisa

Notas: A (LN) - realce para finas e escassas lamelas de biotita em processo de alteração para clorita; B (LN) - área com expressiva porcentagem de cristais de piroxênio intimamente associados a minerais opacos; C (LN) e D (LP) – cristais de plagioclásio com amplos reflexos de alteração em mica branca (saussuritização); amostra AF02.

3.5 Colofanitos (Mesozóico ?)

Os colofanitos constituem o minério fósforo-uranífero da Jazida de Itataia, encontrando-se encaixados predominantemente na associação metacarbonática, sendo classificados, principalmente, como do tipo maciço, que forma os principais corpos, e do tipo em *stockwork*. Também, os colofanitos ocorrem em estreitos veios solitários ou inter cruzados em mármore, rochas calciossilicáticas e anfibolíticas. Nestas mesmas rochas, além de episienitos e paragnaisses, encontram-se ocorrências de colofana disseminada. Algumas feições de distribuição da colofana, em microescala, podem ser vistas nas Figuras 17 e 26.

Figura 29 - Fotomicrografias de exemplares de “diabásio” do dique Itataia-Morrinhos



Fonte: dados da pesquisa

Notas: A (LN) - ao centro, cristal de apatita em contato com plagioclásio e opacos; B (LP) – textura subofítica marcada por um arranjo de cristais de plagioclásio parcialmente alterados e piroxênios com cor de interferência característica; C (LP) – detalhe de cristal de plagioclásio parcialmente alterado. D (LP) – Micropírfiros (microfenocristais) de piroxênio (augita); E - agulhas de apatita, de comprimentos variados, dispersas por todo o campo da fotomicrografia; F (LN) - biotitas como produtos de alteração do piroxênio (amostra AF11).

3.6 Tufas calcárias (Cenozóico)

Cavalcante (2016) descreve depósitos cenozóicos de tufas calcárias distribuídos em área do Serrote (Serra) do Canudo, onde registra-se blocos de dimensões centimétricas até grandes afloramentos.

3.7 Coberturas aluviais e coluvio-eluviais (Holoceno)

Na área, essas coberturas exibem distribuição irregular e pequenas espessuras, estando distribuídas, principalmente, ao longo dos córregos Guaribas e Alcantil.

4 QUÍMICA MINERAL

4.1 O método

Antes de iniciar-se o processo analítico, por intermédio de microsonda eletrônica, foram realizadas, em laboratório do Departamento de Geologia da Universidade Federal do Ceará - UFC, a feitura de laminas delgadas e descrições microscópicas de amostras das rochas selecionadas e consideradas como representativas. Esta primeira etapa foi direcionada às relações entre os grãos/tipificação textural, granulação, identificação mineral (com ênfase a presença de minerais fosfáticos) e produtos de alteração.

Após uma refinada marcação dos minerais a serem estudados (apatitas e anfibólios), seguiu-se para a etapa de análise na microsonda eletrônica *Jeol JXA8230 electron probe microanalyzer* do laboratório do Instituto de Geociências da Universidade de Brasília - UnB (FIGURA 30), onde cada grupo mineral (fosfatos e silicatos) foi analisado com programas específicos para cada composição química pré-definida e sob condição de voltagem 15KV, corrente de 25nA e tempo de análise de 10s.

Figura 30 - Instrumentos utilizados no processo de determinação da composição química (elementos maiores/óxidos) das apatitas.



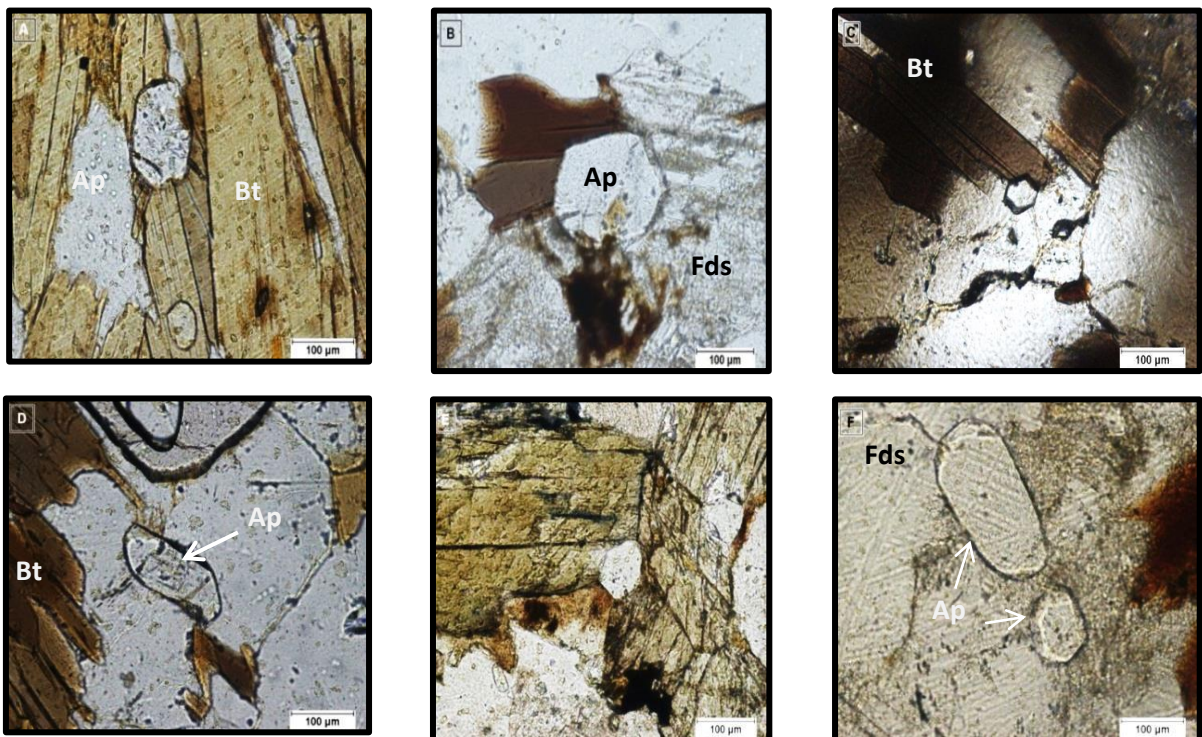
Fonte: dados da pesquisa.

Notas: A e B) instrumentos ao processo de metalização (película de carbono) das lâminas bipolidas que antecede a análise na microsonda eletrônica; C) microsonda eletrônica utilizada no laboratório do Instituto de Geociências da UnB, modelo *Jeol KXA8230 electron probe microanalyzer*.

No caso das apatitas, foram analisadas lâminas bipolidas de exemplares de paragnaisses (FIGURA 31), “diabásio” e de rocha anfibolítica; além de cristal bem desenvolvido desse mineral, foi analisada a apatita amorfa (colofana).

Para a rocha anfibolítica, além da apatita e colofana associada, foram analisados cristais de anfibólio, com a finalidade de determinar a composição química das porções de núcleo e bordas (*rim*), numa associação que retrata feições de transformação-alteração metassomática-hidrotermal. Em análise microscópica é possível observar o centro do anfibólio exibindo, predominantemente, coloração castanho-claro, oscilando para tons azulados nas bordas (FIGURA 32).

Figura 31 - Fotomicrografias de exemplares de paragneisses, com destaque para os cristais de apatitas.



Fonte: dados da pesquisa.

Notas: Ap) apatita; Bt) biotita; Fds) feldspato.

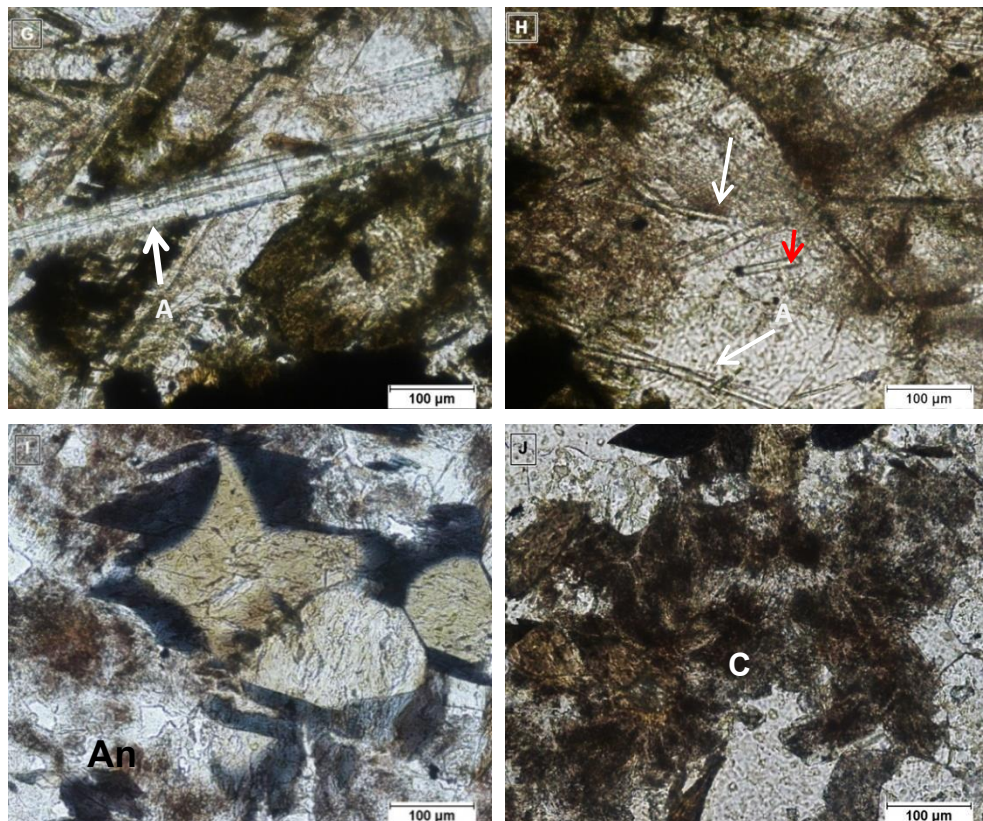
4.2 Os resultados

4.2.1 Os anfibólios

Levando-se em conta os valores exibidos nas tabelas 3 e 4, posteriormente processados (*SOFTWARE MINPET 2.02*), verifica-se que, de acordo com a classificação do IMA (LEAKE *et al.*, 1997), os anfibólios analisados extraídos de rocha gnaíssica anfibolítica, de provável derivação sedimentar (ver Capítulo 2), apresentam as seguintes características químicas:

a) Porções centrais (núcleos) plotadas, quase literalmente, no campo dos anfibólios cálcicos ($BCa > 1,5$; Tabela 3 – *apfu* de 23 O) e pertencendo ao subgrupo onde A ($Na + K < 0,5$; $Ti < 0,5$ e com T_{Si} oscilando entre 6,5 e 6,7 (Tabela 3), Na_2O entre 1,136 e 1,324% e FeO entre 13,478 e 14,058%, posicionando-se no campo da magnésio-hornblenda (diagrama $Mg/(Mg+Fe_2) \times T_{Si}$; Figura 36) (fórmula básica: $Ca_2[(Mg; Fe_{2+})_4Al](Si_7Al)O_{22}(OH)_2$); situação em que os anfibólios exibem teores de CaO e MgO bastante próximos e os de F superiores aos de Cl . Como exceção, duas das análises tem *plot* no campo da edinita-hornblenda ($A (Na + K) > 0,5$; $Ti < 0,5$; $Fe_3 < Al_{vi}$), marcadas por porcentagens de Na_2O e K_2O superiores as demais (TABELAS 3 e 4) (Obs.: Veríssimo *et al.*, 2016, registram os anfibólios cálcicos, de amostras da região estudada, como da série tremolita-actinolita ($ANa + AK < 0,5$; $Ti < 0,5$));

Figura 32 - Fotomicrografias relacionando alguns cristais de apatitas e anfibólios, além da colofana, objetos de análises químicas por microsonda eletrônica.

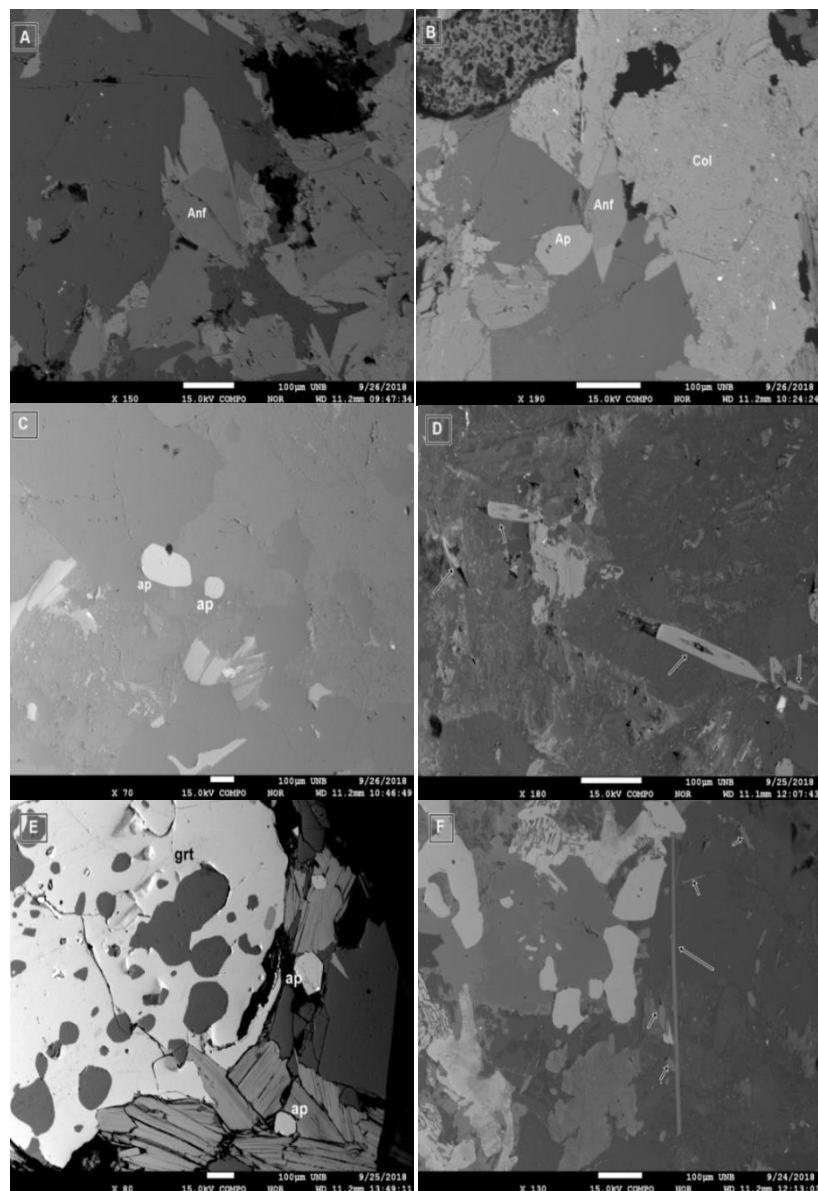


Fonte: dados da pesquisa.

Notas: G e H) “diabásio”; I) rocha anfibolítica alterada; J) colofana em rocha anfibolítica; A) apatita; An) anfibólio; C) colofana.

- b) frações de borda, correspondentes a termos de coloração azulada, encontram-se fixadas no campo dos anfibólios alcalinos (FIGURA 34), no subgrupo com A (Na + K) < 0,5, referente ao espaço da arfvedsonita⁶ (Fórmula, seg. IMA: $\text{NaNa}_2(\text{Fe}^{2+}_4\text{Fe}^{3+})\text{Si}_8\text{O}_{22}(\text{OH})_2$) com TSi oscilando entre 8,2 e 8,9 (TABELA 4) e uma variação composicional do Na₂O entre 6,928 e 7,484% e FeO entre 27,625 e 29,508%.

Figura 33 - Imagens dos minerais objetos de análises por microsonda eletrônica (EMPA).



Fonte: dados da pesquisa.

Notas: A) anfibólio (Anf) do tipo analisado no centro e na borda; B) anfibólio (Anf), colofana (Col) e apatita (ap); C) apatitas em paragneisse migmatítico; D) apatitas de rocha máfica (diabásio); E) apatitas e poiquiloblasto de granada (grt) em paragneisse; F) finas agulhas de apatita em “diabásio”..

Tabela 3 - Resultados das análises por microsonda eletrônica inerentes a núcleos de anfibólios de rocha anfibolítica da Unidade Independência (Complexo Ceará), incluindo respectivos *apfu*.

Amostra	AF1A	AF1A	AF1A	AF1A	AF1A	AF1A	AF1A	AF1A	AF1A
Análise	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Local	Núcleo	Núcleo	Núcleo	Núcleo	Núcleo	Núcleo	Núcleo	Núcleo	Núcleo
SiO3	44.455	44.888	44.829	44.937	44.271	45.79	45.384	45.56	44.964
TiO2	1.355	1.163	1.303	1.391	1.546	1.804	1.121	1.055	0.802
Al2O3	12.576	12.446	11.781	12.101	12.211	12.119	12.076	12.164	12.232
FeO	13.478	14.058	13.843	13.981	13.777	13.899	13.648	13.884	13.572
MnO	0.074	0.008	0.073	0.103	0.05	0.126	0.068	0.205	0
MgO	10.981	11.305	11.115	11.16	11.378	11.145	11.543	11.073	11.272
CaO	11.547	11.707	11.422	11.506	11.406	11.432	11.442	11.61	11.243
Na2O	1.324	1.207	1.136	1.316	1.245	1.283	1.154	1.23	1.227
K2O	1.224	1.172	1.004	1.214	1.185	1.125	1.16	0.946	1.032
F	0.083	0.203	0.202	0.161	0.18	0.199	0.185	0.188	0.255
Cl	0.034	0.012	0.014	0.024	0.01	0.003	0.014	0.021	0.001
P2O5	0	0.068	0.028	0	0	0.025	0.052	0.063	0
UO2	0.028	0	0	0	0.025	0.012	0	0	0
Total	97.116	98.149	96.662	97.821	97.206	98.877	97.766	97.915	96.493
<i>apfu</i>									
TSi	6.583	6.583	6.667	6.619	6.561	6.653	6.666	6.683	6.688
TTi	0	0	0	0	0	0	0	0	0
TAI	1.417	1.407	1.333	1.381	1.438	1.347	1.334	1.317	1.32
Sum_T	8	8	8	8	8	8	8	8	8
C Al	0.778	0.747	0.731	0.719	0.694	0.728	0.756	0.785	0.822
C Fe3	0	0	0	0	0	0	0	0	0
C Ti	0.151	0.128	0.146	0.154	0.172	0.197	0.124	0.116	0.09
C Mg	2.424	2.475	2.464	2.451	2.514	2.414	2.527	2.421	2.497
C Fe2	1.647	1.649	1.656	1.676	1.617	1.658	1.593	1.67	1.591
C Mn	0	0	0.003	0	0.003	0.003	0	0	0
Sum_C	5	5	5	5	5	5	5	5	5
B Fe2	0.022	0.077	0.066	0.046	0.091	0.031	0.084	0.084	0.095
B Mn	0.009	0.001	0.009	0.013	0.006	0.016	0.008	0	0
B Ca	1.832	1.842	1.82	1.816	1.811	1.779	1.8	1.824	1.79
B Na	0.137	0.08	0.105	0.125	0.1092	0.174	0.102	0.117	0.115
Sum_B	2	2	2	2	2	2	2	2	2
A Na	0.243	0.264	0.222	0.251	0.266	0.187	0.221	0.233	0.238
A K	0.231	0.22	0.19	0.228	0.224	0.209	0.217	0.177	0.196
Sum_A	0.474	0.483	0.413	0.479	0.49	0.396	0.438	0.417	0.434
CCl	0.009	0.003	0.004	0.006	0.003	0.001	0.003	0.005	0
CF	0.039	0.039	0.095	0.075	0.084	0.091	0.086	0.087	0.12

Fonte: dados da pesquisa.

Notas: *apfu* (átomos por fórmula unitária) calculados na base de 23 oxigênio; 1.C8 e 4.C3 são de afvedsonita, as demais de Mg-hornblenda (ver Figura 34).

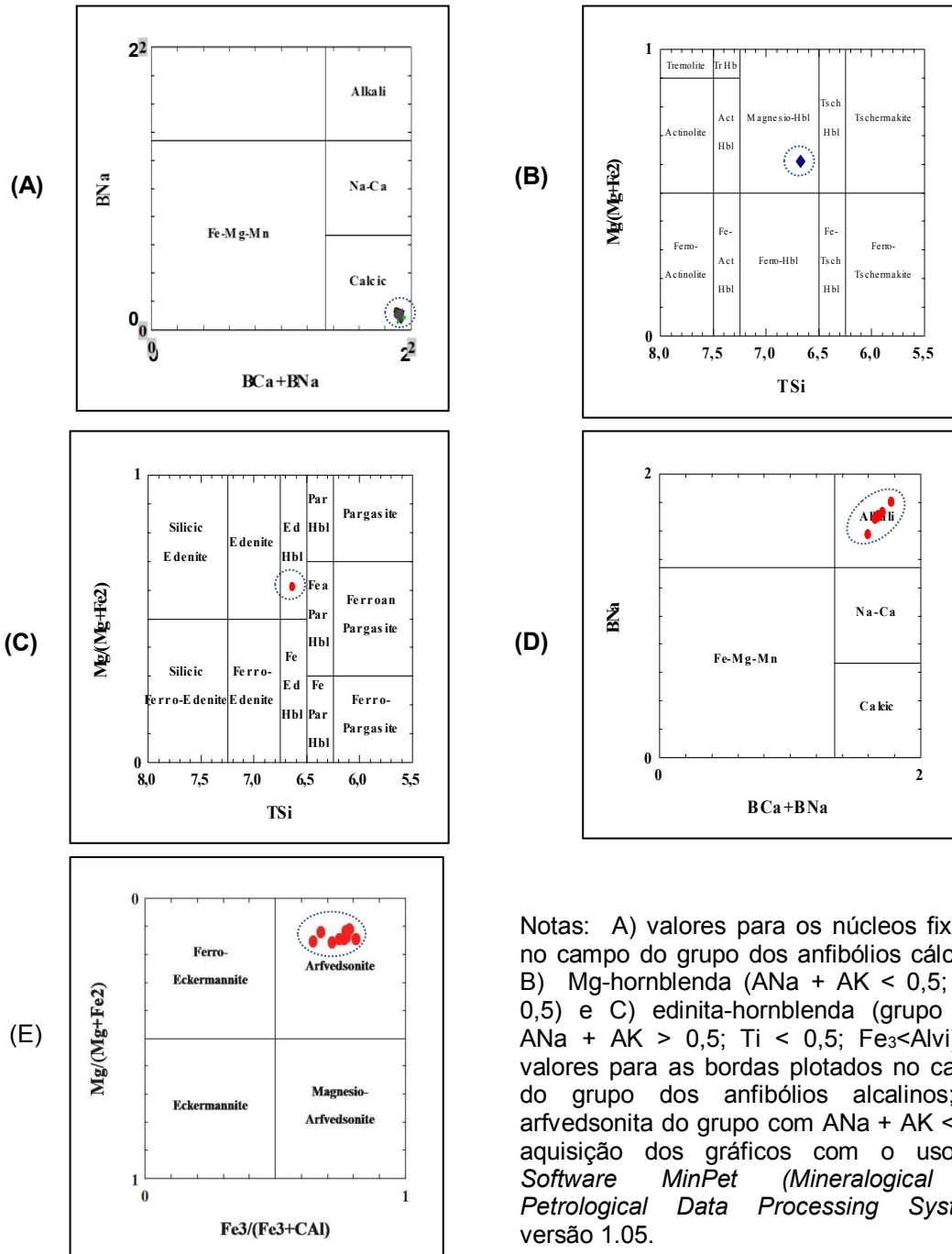
Tabela 4 - Resultados das análises por microsonda eletrônica relativos as bordas de anfibólios de rocha anfibolítica da Unidade Independência (Complexo Ceará), incluindo respectivos *apfu*.

Amostra	AF1A	AF1A	AF1A	AF1A	AF1A	AF1A	AF1A	AF1A	AF1A
Análise	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Local	Borda	Borda	Borda	Borda	Borda	Borda	Borda	Borda	Borda
SiO3	51.62	52.673	52.284	52.447	51.983	51.075	52.695	52.074	52.952
TiO2	4.623	4.078	4.223	3.517	4.462	5.004	4.105	4.656	3.342
Al2O3	0.304	0.493	0.26	0.395	0.304	0.819	0.398	0.183	0.395
FeO	28.444	28.653	29.508	27.625	29.468	29.297	28.746	27.688	27.889
MnO	0	0.075	0.108	0	0	0.095	0	0	0
MgO	2.449	2.896	2.022	3.578	1.992	2.104	2.635	2.538	2.715
CaO	0.06	0.069	0.019	0.103	0.055	0.232	0.109	0.079	0.09
Na2O	7.308	7.38	7.266	7.484	7.104	6.928	7.184	7.103	7.394
K2O	0.354	0.424	0.297	0.393	0.345	0.225	0.329	0.365	0.331
F	0.064	0.007	0.005	0	0	0.005	0.013	0.08	0.071
Cl	0.004	0	0	0	0.002	0	0.004	0.002	0.008
P2O5	0.048	0.006	0	0	0.032	0.01	0	0	0
UO2	0.021	0.013	0.014	0	0	0.048	0.013	0.001	0
Total	95.271	96.764	96.004	95.542	95.747	95.84	96.225	94.735	95.155
<i>apfu</i>									
TSi	8.157	8.175	8.213	8.21	8.189	8.049	8.215	8.225	8.314
TTi	0	0	0	0	0	0	0	0	0
TAI	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Sum_T	8.157	8.175	8.213	8.21	8.189	8.049	8.215	8.225	8.314
C Al	0.057	0.09	0.048	0.073	0.056	0.152	0.073	0.034	0.073
C Fe3	0	0	0	0	0	0	0	0	0
C Ti	0.55	0.476	0.499	0.414	0.529	0.593	0.481	0.553	0.395
C Mg	0.577	0.67	0.474	0	0.468	0.494	0.612	0.598	0.636
C Fe2	3.579	3.719	3.876	3.616	3.882	3.76	3.748	3.657	3.662
C Mn	0	0.01	0.014	0	0	0	0	0	0
Sum_C	4.942	4.965	4.912	4.938	4.935	5	4.915	4.846	4.766
B Fe2	0	0	0	0	0	0.101	0	0	0
B Mn	0	0	0	0	0	0.013	0	0	0
B Ca	0.01	0.011	0.003	0.017	0.009	0.039	0.018	0.013	0.015
B Na	1.99	1.989	1.997	1.983	1.991	1.848	1.982	1.987	1.985
Sum_B	2	2	2	2	2	2	2	2	2
A Na	0.249	0.232	0.216	0.288	0.179	0.269	0.189	0.188	0.266
A K	0.071	0.084	0.06	0.078	0.069	0.045	0.065	0.074	0.066
Sum_A	0.32	0.316	0.275	0.367	0.248	0.314	0.255	0.262	0.332
CCI	0.001	0	0	0	0.001	0.001	0.003	0.021	0.019
CF	0.32	0.003	0.002	0	0	0	0	0	0

Fonte: dados da pesquisa.

Notas: *apfu* (átomos por fórmula unitária) calculados na base de 23 oxigênio.

Figura 34 - Diagramas de classificação dos cristais de anfibólios analisados, com relação BNa versus BCa + BNa.



Fonte: dados da pesquisa.

Como observação, assinala-se que, para a região, os estudos de Castro (2005) e Castro *et al.* (2005a) sugerem para esse tipo de anfibólio verde azulado uma composição de pargasita com fraco enriquecimento de K. Contudo, os dados

ora apresentados para esse tipo de anfibólio são similares aos de Veríssimo *et al.* (2016), registrando-se (TABELAS 3 e 4) cristais de anfibólios com maiores teores CaO (11,243 a 11,707%) e MgO (10,981 a 11,543%) no núcleo e maiores conteúdos de Na, Fe e Ti nas bordas.

Esses últimos autores, além da arfvedsonita ($\text{NaNa}_2 (\text{Fe}_2+4\text{Fe}_3+) \text{Si}_8\text{O}_{22} (\text{OH})_2$), registram, também, anfibólios sódicos⁷ ($A \text{Na} + AK > 0,5$) compatíveis com a composição da ferro-eckermannita ($\text{NaNa}_2 (\text{Fe}_2+4\text{Al}) \text{Si}_8\text{O}_{22} (\text{OH})_2$).

Em quaisquer das situações, esse zoneamento mineral retrata um processo onde anfibólios do subgrupo cálcico foram objetos de parciais transformações metassomáticas (acresção de Na, Si, Fe, Ti e depleção de Ca, Mg, etc), associando-se a um estágio de mineralização hidrotermal seguido de um estágio de alteração hidrotermal.

4.2.2 As apatitas

A química mineral obtida por microsonda eletrônica (EMPA), envolveu cristais de apatita oriundos de “diabásio” (TABELA 5), anfibólito, paragneisses migmatíticos e colofanito; registrando-se porcentagens (em peso) de diversos óxidos, além do F e Cl, cujos cátions e ânions foram recalculados para átomos por fórmula unitária (*apfu* calculado com base em 12 O).

4.2.2.1 As apatitas de “diabásio”

Desta rocha, como era previsível, a totalidade dos registros químicos dos cristais de apatita são típicos de rochas ígneas com conteúdos de F no intervalo de 3,30 a 4,20% (em peso; intervalo de variação de 0,90%) e Cl em 0,04 e 0,19% (TABELAS 5 e 6).

⁷ Polimorfismo e Série: Forma uma série com magnésio-arfvedsonita. Grupo Mineral: - Anfibólio do grupo alcalino: $\text{Fe}^{2+} = (\text{Fe}^{2+} + \text{Mg})$, 0.5; $\text{Fe}^{3+} = (\text{Fe}^{3+} + \text{Al}^{\text{vi}})$, 0.5; $(\text{Na} + \text{K})\text{A}$, 0.5; NaB , 1.34; $\text{MnC} < 2.5$. Cor: Verde, cinza azulado, preto, verde acinzentado. Ocorrência: Comum em granitos alcalinos e outras rochas plutônicas alcalinas e pegmatitos. Associação: Nefelina, albita, aegirina, riebeckita, catoforita, magnésio-catoforita, quartzo. Impurezas comuns: Ti, Mn, Ca, Al, K e F. (In: <http://www.handbookofmineralogy.org/pdfs/arfvedsonite.pdf>, acessado em 12 jul. 2019)

correspondendo a fluorapatita com razão F/Cl entre 22,11 e 82,5. Enquanto isto, o CaO tem valores de 50,135 a 53,525%, P_2O_5 de 41,00 e 43,00 % (em peso) e o UO_2 , em teores muito baixos, de 0,00 a 0,06, geralmente inferiores a 0,03. Com o FeO chegando próximo a 11,9% e o TiO_2 quando não igual a zero tem valores \leq 0,212%.

Comparando esses valores de F e Cl, com aqueles de cloroapatita e fluorapatitas de gabro, tonalito e diorito estudadas por Zhang *et al.* (2017), as apatitas analisadas colocam-se numa extensão lateral á direita ocupando um sítio do campo das fluorapatitas de baixo cloro (<1%, em peso) e alto fluor (>3%, em peso; FIGURA 35).

4.2.2.2 As apatitas de rocha anfibolítica

Deste litotipo, os cristais de apatita ostentam conteúdos de F no intervalo de 2,768 a 4,819% (em peso; intervalo de variação de 2,051%), Cl de 0,003 a 0,073% (TABELAS 7 e 8; FIGURA 36) e CaO de 53,621 a 55,600, correspondendo a fluorapatita com razão F/Cl entre 3,148/ 0,003 e 3,319/ 0,073. Enquanto isto, o P_2O_5 oscila entre 42,388 e 44,444 % (em peso) e o UO_2 , em teores muito baixos, de 0,00 a 0,071%, em sua quase totalidade zero e inferiores a 0,035%. Também, tratam-se de fluorapatitas de baixo cloro (<1%, em peso).e alto fluor (>3%, em peso), diferenciando-se das anteriores por encerrar um teor médio de CaO superior e um intervalo maior de variação dos conteúdos de P_2O_5 , além de porcentagens de FeO inferiores a 0,25% e o TiO_2 quando não igual a zero tem valores \leq 0,156% (TABELA 7 e 8). Por sua vez, os teores de Na_2O , com um máximo de 0,136, não exibem diferenças marcantes com aqueles das apatitas do diabásio.

4.2.2.3 As apatitas de paragnaisses migmatíticos

Destes litotipos (FIGURAS 37 e 38), em relação as amostras AF04 e AF15, as apatitas exibem teores de F no intervalo de 2,91 e 4,555% (em peso; intervalo de variação de 2,051%) e Cl de 0,0 e 0,023% (TABELAS 10 a 13). Por sua vez, o CaO varia entre 53,638 e 54,843 %, o P_2O_5 de 42,52 e 44,417 % (em peso) e o UO_2 , em teores muito baixos, de 0,00 a 0,065%. Referem-se a fluorapatitas de baixo cloro (<1%, em peso).e alto fluor (>2,9%, em peso; FIGURA 38), similares as anteriores,

no entanto com situações com porcentagens de FeO superiores a 0,25%, chegando a 0,419 e o TiO₂ quando não igual a zero tem. valores ≤ 0,117%. Os teores de Na₂O, com um máximo de 0,113, são similares as apatitas do diabásio e do anfíbolito.

Tabela 5 - Resultados das análises (microsonda eletrônica) de apatitas da rocha ígnea máfica (“diabásio”) do dique Itataia-Morrinhos, incluindo respectivos *apfu*.

Amostra	AF11	AF11	AF11	AF11	AF11	AF11	AF11	AF11	AF11	AF11
Análise	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
% em peso										
SiO ₂	0.399	0.474	0.307	1.765	0.519	0.356	0.65	0.551	0.824	1.192
FeO	0.538	0.861	0.814	1.872	0.623	0.552	0.594	0.755	0.756	1.434
MnO	0.065	0.063	0.088	0.003	0.021	0.088	0.072	0	0.126	0.053
MgO	0.181	0.212	0.144	0.221	0.283	0.159	0.177	0.294	0.293	0.365
CaO	52.617	53.186	52.669	50.135	52.825	53.449	52.47	52.25	52.873	50.896
Na ₂ O	0.025	0.003	0.107	0.088	0.004	0.035	0.069	0	0	0.048
K ₂ O	0.098	0.025	0.047	0.034	0.023	0.043	0.063	0.021	0.023	0.025
P ₂ O ₅	42.357	42.492	42.373	39.666	42.406	42.647	42.126	41.728	42.662	41.377
UO ₂	0.033	0	0.015	0.004	0.01	0.06	0.017	0.009	0.005	0.029
F	4.189	3.889	3.754	3.37	3.781	4.056	3.498	3.712	4.098	3.396
Cl	0.061	0.064	0.05	0.141	0.092	0.035	0.057	0.063	0.047	0.077
Al ₂ O ₃	0.039	0.017	0.03	0.423	0.013	0.041	0.048	0	0.104	0.197
TiO ₂	0	0	0	0	0.071	0	0.212	0	0.096	0.011
Total	98.824	99.635	98.806	96.271	99.058	99.805	98.567	97.806	100.171	97.653
<i>apfu</i>										
Fe ₂	0.0213	0.034	0.0324	0.0765	0.0247	0.0217	0.0237	0.0303	0.0296	0.057
Mn	0.0025	0.0024	0.0035	0.0035	0.0008	0.0034	0.0028	0	0.0049	0.0021
Mg	0.0071	0.0083	0.0057	0.009	0.0112	0.0062	0.007	0.0118	0.0115	0.0147
Ca	2.091	2.1004	2.0984	2.05	2.0989	2.1059	2.0976	2.1029	2.0753	2.0543
Na	0.0019	0.0002	0.0085	0.0071	0.0003	0.0027	0.0055	0	0	0.0038
K	0.0077	0.0019	0.0037	0.0038	0.0018	0.0033	0.005	0.0016	0.0018	0.002
Si	0.0079	0.0093	0.0061	0.036	0.0103	0.007	0.0129	0.011	0.0161	0.024
P	1.6841	1.6781	1.6882	1.622	1.6849	1.6803	1.6841	1.6794	1.6745	1.6701
U	0.0013	0	0.0005	0.0001	0.0003	0.0023	0.0008	0.0003	0.0001	0.0011
Cations	11.8277	11.8369	11.849	11.8216	11.8364	11.8335	11.8562	11.839	11.8201	11.8362
CF	0.1665	0.1535	0.1495	0.1378	0.1502	0.1598	0.1298	0.1494	0.1608	0.137
CCI	0.0024	0.0025	0.0019	0.0057	0.0036	0.0013	0.0022	0.0025	0.0018	0.0031

Fonte: dados da pesquisa.

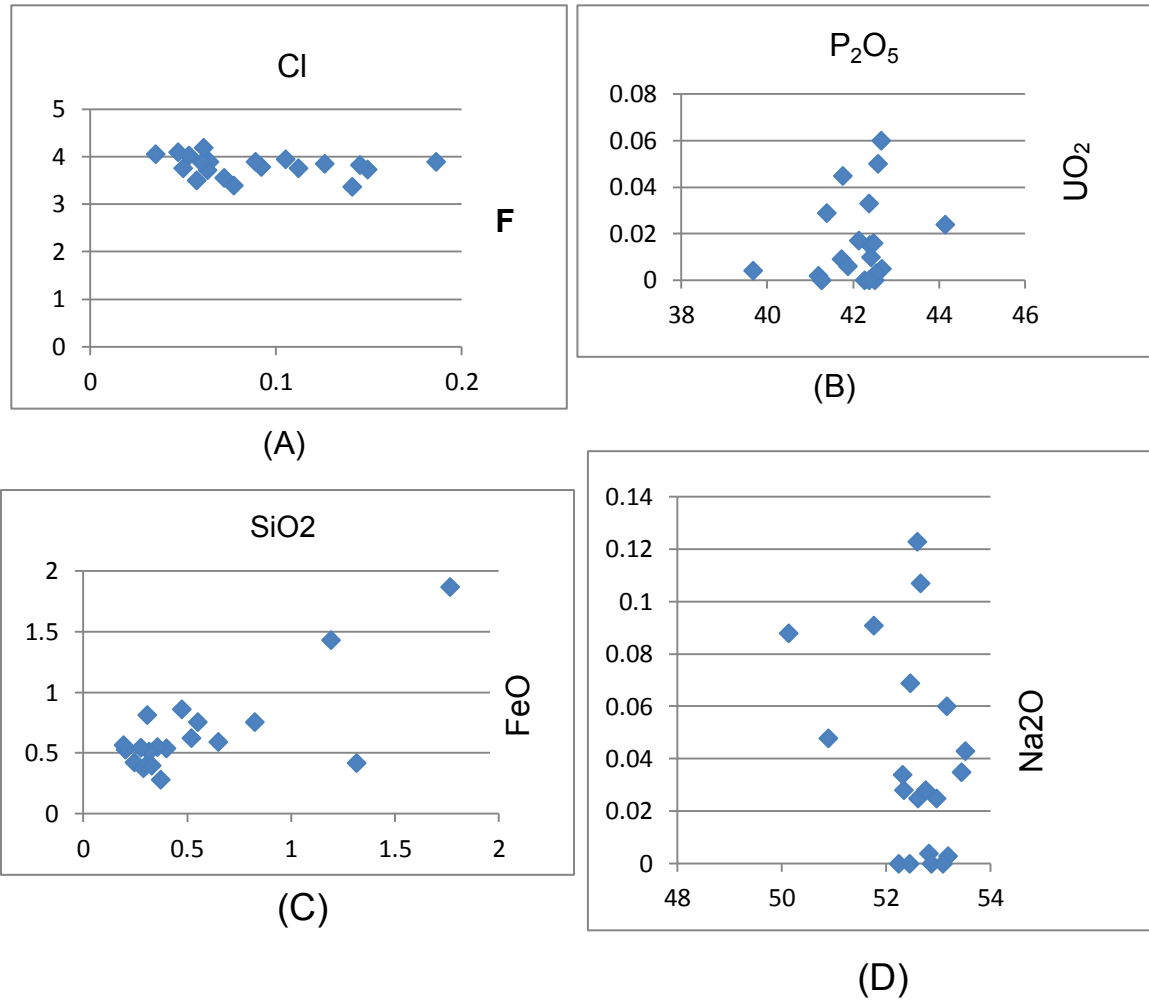
Notas: *apfu* (átomos por fórmula unitária) calculados na base de 12 oxigênios (sistemática utilizada para as demais apatitas, com o uso do *software Minpet*, versão 2.02 (RICHARD, 1995)).

Tabela 6 – Resultados das análises (microsonda eletrônica) de apatitas de rocha ígnea máfica (“diabásio”) do dique Itataia-Morrinhos, incluindo respectivos *apfu*.

Amostra	AF18	AF18	AF18	AF18	AF18	AF18	AF18	AF18	AF18	AF18
Análise	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
% em peso										
SiO ₂	0.373	0.247	0.288	1.315	0.303	0.317	0.202	0.328	0.278	0.193
FeO	0.279	0.423	0.377	0.42	0.402	0.51	0.531	0.398	0.545	0.568
MnO	0.011	0.12	0	0.087	0.045	0.056	0.001	0.012	0	0
MgO	0.109	0.161	0.077	0.065	0.046	0.072	0.058	0.033	0.094	0.133
CaO	53.525	52.967	52.454	51.774	52.32	52.761	52.606	53.163	52.346	53.096
Na ₂ O	0.043	0.025	0	0.091	0.034	0.028	0.123	0.06	0.028	0
K ₂ O	0.115	0.016	0.12	0.158	0.074	0.116	0.115	0.067	0.1	0.087
P ₂ O ₅	42.523	41.755	42.573	41.184	42.252	42.465	42.355	41.255	41.867	44.142
UO ₂	0.003	0.045	0.05	0.002	0	0.016	0	0	0.006	0.024
F	3.735	3.854	3.878	3.554	3.946	3.885	3.89	3.827	3.76	4.022
Cl	0.149	0.126	0.06	0.072	0.105	0.186	0.089	0.145	0.112	0.053
Al ₂ O ₃	0.03	0.004	0.015	0.031	0.01	0.025	0.053	0	0.005	0.04
TiO ₂	0.011	0.162	0.075	0.138	0.081	0	0.097	0	0	0
Total	99.299	98.254	98.32	97.379	97.933	98.759	98.462	97.644	97.533	100.653
<i>apfu</i>										
Fe ₂	0.011	0.0169	0.015	0.0169	0.0161	0.0203	0.0212	0.016	0.0219	0.0221
Mn	0.0004	0.0048	0	0.0035	0.0018	0.0022	0.0004	0.0004	0	0
Mg	0.0043	0.0064	0.003	0.0026	0.0018	0.0028	0.0023	0.0013	0.0037	0.0051
Ca	2.1217	2.1206	2.0988	2.0941	2.1008	2.1012	2.1037	2.1417	2.1119	2.0749
Na	0.0034	0.002	0	0.0073	0.0027	0.0022	0.0098	0.0048	0.0022	0
K	0.0091	0.0012	0.0096	0.0127	0.0059	0.0092	0.0091	0.0053	0.008	0.0068
Si	0.0073	0.0049	0.0057	0.0265	0.006	0.0063	0.004	0.0066	0.0056	0.0037
P	1.6856	1.6717	1.7034	1.6658	1.6965	1.6912	1.6938	1.662	1.6891	1.725
U	0.0001	0.0018	0.002	0.0008	0	0.0006	0	0	0.0002	0.0009
Cations	11.8457	11.8338	11.8393	11.8351	11.8354	11.8379	11.8472	11.8401	11.8446	11.8404
CF	0.148	0.1543	0.1551	0.1437	0.1584	0.1547	0.1555	0.1541	0.1517	0.1571
CCI	0.0059	0.005	0.0024	0.0029	0.0042	0.0074	0.0035	0.0058	0.0045	0.002

Fonte: dados da pesquisa

Figura 35 - Apatitas do “diabásio” em gráficos binários das relações: A – Fluor x Cloro; B – UO_2 x P_2O_5 ; C – FeO x SiO_2 e D – Na_2O x CaO .



Fonte: Dados da pesquisa.

Notas: registra-se um predomínio do Fluor sobre o Cloro e o primeiro com média dos valores entre 3 e 4 % (em peso), característicos da fluorapatita de alto F e baixo Cl; estando as apatitas de mais alto fluor aquelas com porcentagens de CaO entre 52,5 e 53,5%; teor máximo de UO_2 , em torno de 0,06% (em peso), para uma maioria das porcentagens de P_2O_5 situada entre 42 e 43%

Tabela 7 – Resultados das análises químicas (microsonda eletrônica) de apatitas de rocha anfíbolítica, com respectivos *apfu*.

Amostra	AF1A-ap	AF1A-ap	AF1A-ap	AF1A-ap	AF1A-ap	AF1A-ap	AF1A-ap
Análise	1	2	3	4	5	6	7
% em peso							
SiO ₂	0.038	0.22	0	0.013	0.03	0.082	0.002
FeO	0.162	0.205	0.105	0.167	0.137	0.244	0.094
MnO	0.012	0.06	0.051	0	0.152	0.099	0.042
MgO	0.015	0.085	0.002	0.031	0.044	0	0
CaO	55.225	54.785	55.175	54.385	54.513	55.28	54.47
Na ₂ O	0.011	0.071	0.047	0.016	0	0.007	0.014
K ₂ O	0	0.035	0	0.003	0.011	0	0.006
P ₂ O ₅	42.95	42.494	44.122	43.624	43.716	43.639	42.388
UO ₂	0.02	0.03	0.028	0	0	0	0
F	3.179	3.804	3.037	3.148	3.966	3.809	3.677
Cl	0.005	0.008	0.023	0.003	0.01	0.051	0.006
Al ₂ O ₃	0	0.065	0.002	0.031	0	0.031	0
TiO ₂	0	0	0	0.05	0.021	0.03	0
Total	100.28	100.26	101.31	100.15	100.93	101.66	99.15
<i>apfu</i>							
Fe ₂	0.0063	0.0085	0.004	0.0065	0.0053	0.0094	0.0037
Mn	0.0004	0.0023	0.0019	0	0.0059	0.0038	0.0016
Mg	0.0005	0.0033	0.0005	0.0012	0.0017	0	0
Ca	2.1738	2.1513	2.1512	2.1438	2.1252	2.1411	2.1636
Na	0.0008	0.0055	0.0036	0.0012	0	0.0005	0.0011
K	0	0.0027	0	0.0002	0.0008	0	0.0004
Si	0.0007	0.0043	0	0.0002	0.0005	0.0015	0.0097
P	1.6906	1.6686	1.7202	1.7196	1.7043	1.6902	1.6837
U	0.0007	0.0011	0.001	0	0	0	0
Cations	11.875	11.85	11.883	11.876	11.946	11.85	11.856
CF	0.1251	0.1493	0.1184	0.124	0.1546	0.1475	0.146
CCI	0.0001	0.0003	0.0008	0.0001	0.0003	0.0019	0.0002

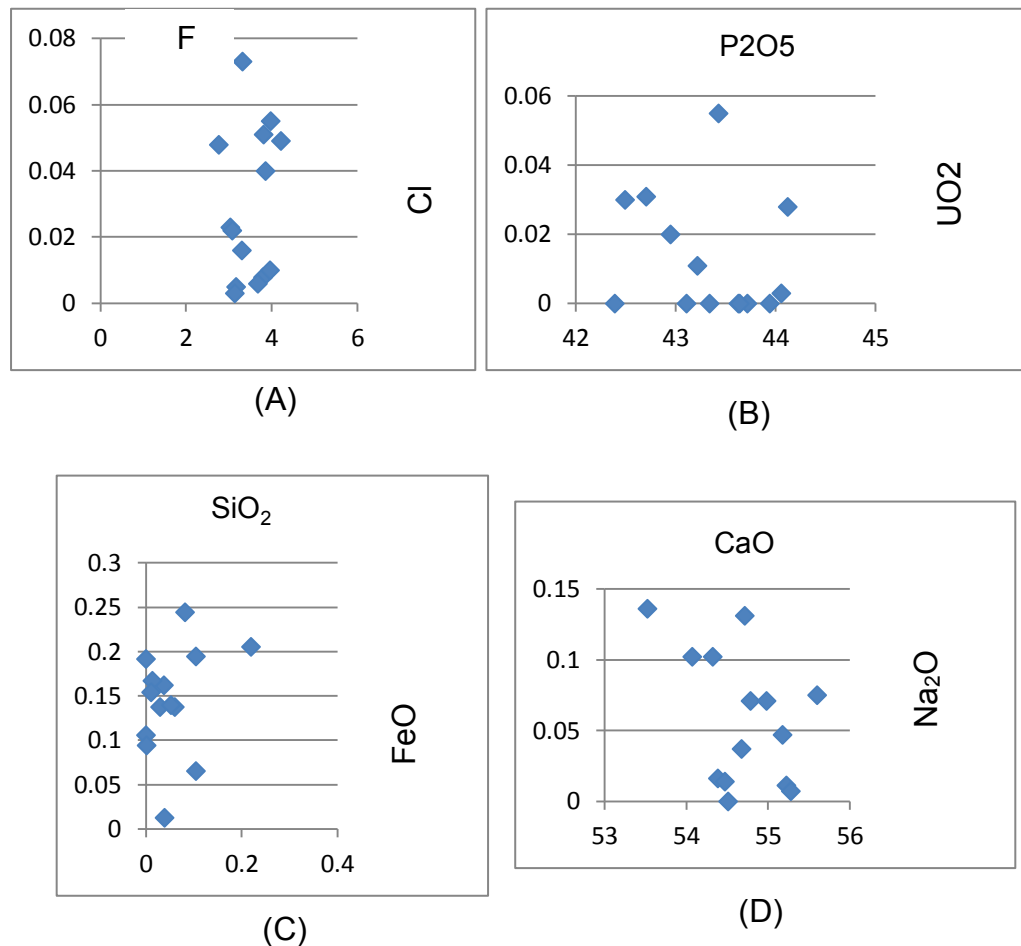
Fonte: dados da pesquisa.

Tabela 8– Resultados das análises químicas (microsonda eletrônica) de apatitas de rocha anfíbolítica, com respectivos *apfu*.

Amostra	AF03	AF03	AF03	AF03	AF03	AF03	AF03	AF03	AF03	AF03	AF03	AF03
Análise	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
% em peso												
SiO ₂	0.105	0.06	0.052	0.039	0.011	0	0.104	0.066	0.028	0.062	0.041	0.043
FeO	0.194	0.137	0.139	0.012	0.154	0.191	0.065	0.102	0.099	0.16	0.043	0.197
MnO	0.123	0.045	0.117	0.099	0	0	0.041	0.105	0	0.038	0.081	0
MgO	0.021	0.03	0.039	0.018	0.035	0.024	0.017	0.033	0.043	0.022	0.042	0.015
CaO	55.6	53.521	54.711	54.076	54.325	54.676	54.983	54.502	54.596	54.566	54.636	53.63
Na ₂ O	0.075	0.136	0.131	0.102	0.102	0.037	0.071	0.078	0.052	0.1	0.097	0.043
K ₂ O	0.008	0	0.007	0	0	0	0	0	0.032	0	0.014	0.008
P ₂ O ₅	44.056	43.217	43.43	43.336	43.108	42.704	43.943	43.391	44.444	43.58	44.239	43.302
UO ₂	0.003	0.011	0.055	0	0	0.031	0	0.071	0.066	0.051	0.024	0
F	2.768	3.86	3.305	3.319	3.98	4.223	3.082	3.845	3.468	4.78	3.873	4.819
Cl	0.048	0.04	0.016	0.073	0.055	0.049	0.022	0.01	0.017	0.007	0.013	0.03
Al ₂ O ₃	0	0	0.02	0.051	0	0.009	0.018	0	0.025	0.006	0.015	0.006
TiO ₂	0.055	0	0	0.025	0.156	0.025	0	0	0.055	0.105	0.009	0
Total	101.88	99.423	100.63	99.737	100.24	100.18	101.04	100.58	101.46	101.46	101.49	100.06
<i>apfu</i>												
Fe ₂	0.0075	0.0054	0.0054	0.0004	0.006	0.0074	0.0025	0.0039	0.0037	0.0059	0.0016	0.0074
Mn	0.0047	0.0017	0.0045	0.0039	0	0	0.0016	0.0041	0	0.0014	0.003	0
Mg	0.0008	0.0011	0.0015	0.0007	0.0013	0.0009	0.0006	0.0012	0.0016	0.0008	0.0015	0.0005
Ca	2.158	2.1184	2.145	2.1384	2.1319	2.1449	2.1489	2.133	2.0507	2.039	2.0483	2.0303
Na	0.0058	0.0107	0.0102	0.008	0.008	0.0029	0.0055	0.0061	0.0039	0.0074	0.0072	0.0032
K	0.0006	0	0.0005	0	0	0	0	0	0.0024	0	0.001	0.0006
Si	0.002	0.0011	0.001	0.0007	0.0002	0	0.002	0.0012	0.0005	0.0011	0.0007	0.0008
P	1.7099	1.7105	1.7027	1.7137	1.6917	1.6751	1.7174	1.6982	1.6694	1.6285	1.6585	1.6393
U	0.0001	0.0004	0.0021	0	0	0.0012	0	0.0027	0.0024	0.0019	0.0009	0
Cations	11.892	11.851	11.873	11.87	11.844	11.834	11.881	11.85	11.871	11.823	11.859	11.82
CF	0.1074	0.1527	0.1279	0.1312	0.1561	0.1656	0.1204	0.1504	0.1302	0.1786	0.1452	0.1824
CCI	0.0018	0.0015	0.0006	0.0028	0.0021	0.0019	0.0008	0.0003	0.0006	0.0002	0.0004	0.0011

Fonte: dados da pesquisa.

Figura 36.- Apatitas do anfibolito: gráficos binários das relações A – Fluor x Cloro; B – UO_2 x P_2O_5 ; C – FeO x SiO_2 e D – Na_2O x CaO .



Fonte: dados da pesquisa.

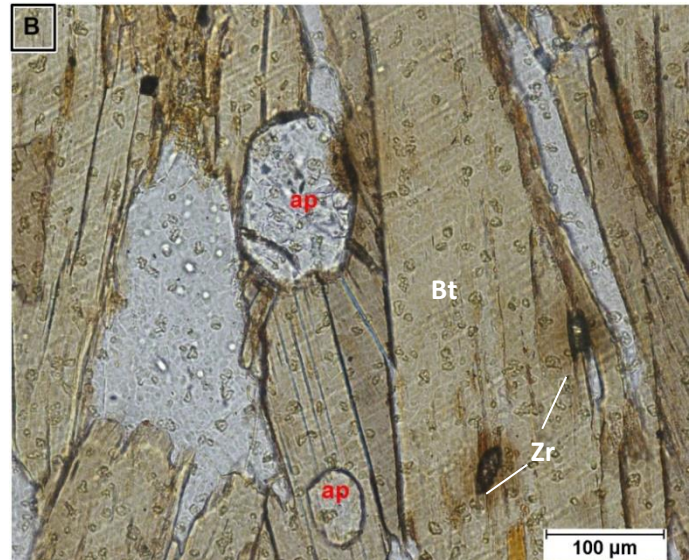
Notas: observa-se o predomínio do Fluor sobre o Cloro e o primeiro com média dos valores similar ao do diabasio (entre 3 e 4 %,em peso), característicos da fluorapatita de alto F e baixo Cl; teor máximo de UO_2 igual a 0,055% (em peso), para uma dispersão das porcentagens de P_2O_5 entre 42,3 e 44,2%.

Por seu turno, os resultados analíticos de AF09 (TABELAS 12 a 13) mostram uma variação de F entre 2,893 e 4,890% e Cl entre 0,0 e 0,039%; com CaO entre 53,245 e 54,962%, P_2O_5 no intervalo 41,933 a 44,735 % (em peso) e o UO_2 , em teores de 0,00 a 0,108%. Neste caso, as porcentagens de FeO são, também, superiores a 0,25% (0,037 a 0,232%); enquanto o TiO_2 situa-se entre 0,00 e 0,239%. Gráficos binários das Relações entre Fluor x Cloro, UO_2 x P_2O_5 e FeO x SiO_2 de apatitas dos paragnais são exibidas no Figura 39.

Figura 37 - Vista parcial do afloramento de paragnaisse com baixa taxa de leucossomas lenticulares, relacionado à amostra AF09.



Figura 38 - Fotomicrografia de seção delgada do paragnaisse AF09, com destaque para o cristal de apatita objeto de análise por microsonda eletrônica



Fonte: dados da pesquisa.

Notas: ap) apatita do tipo analisado; Bt) Biotita; Zr) zircão com halos pleocróicos.

Alem da química mineral das apatitas dos paragnaises, foi obtida, por intermédio de Difractometria de Raios-X em monocristal, a representação da estrutura cristalina de um cristal de apatita de uma amostra deste tipo petrográfico (FIGURAS 40 e 41), revelando também tratar-se da Fluorapatita.

4.2.2.4 A Apatita amorfa associada a rocha anfibolítica

Para um contexto de apatita amorfa/criptocristalina (colofana) associado a rocha anfibolítica, os dados químicos (TABELAS 14 e 15) materializam uma composição com o F oscilando entre 2,398 e 4,145%, Cl de 0,00 a 0,016% (FIGURA 42), CaO entre 48,758 e 53,412%, P₂O₅ no intervalo 31,886 a 42,193% (em peso) e o UO₂ em porcentagens de 0,017 a 0,496%, num intervalo distinto daquele exibido por Cavalcanti *et al.* (2018), de 0,074 a 0,816%. Diferenciando-se

dos casos anteriores, o FeO tem valores dominantes superiores a 0,4%, chegando ao máximo de 1,437 %, enquanto o TiO₂ situa-se entre 0,00 e 0,192%.

Tabela 9 – Resultados das análises químicas (microsonda eletrônica) de apatitas de rochas gnáissicas paraderivadas, incluindo respectivos *apfu*.

. Amostra	AF04	AF04	AF04	AF04	AF04	AF04	AF04	AF04	AF04	AF04	AF04	AF04
Análise	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
% em pêso												
SiO ₂	0.03	0.063	0.042	0.039	0.038	0.126	0.033	0.01	0.032	0.025	0.018	0.03
FeO	0.133	0.419	0.216	0.324	0.302	0.217	0.08	0.111	0.274	0.186	0.155	0.204
MnO	0.047	0.091	0.07	0.012	0.064	0.056	0.069	0.065	0.011	0.118	0.084	0.113
MgO	0.007	0.007	0.039	0.005	0.02	0.052	0.02	0.029	0.014	0.024	0.062	0.012
CaO	54.027	54.14	54.544	54.549	54.517	53.851	54.831	54.843	54.136	54.628	54.823	54.734
Na ₂ O	0.062	0.063	0.024	0.088	0.012	0.113	0.053	0.047	0.104	0.053	0.109	0.083
K ₂ O	0.001	0.131	0	0.079	0.007	0.019	0	0.015	0.009	0.022	0.006	0.001
P ₂ O ₅	43.01	43.427	43.793	43.2	43.335	43.963	44.008	43.754	43.458	43.114	44.254	43.74
UO ₂	0	0	0.009	0	0.03	0.048	0.065	0.017	0.017	0.023	0.007	0.007
Cl	0.018	0	0.003	0.002	0	0	0.009	0	0	0.004	0	0.003
Al ₂ O ₃	0.032	0.019	0	0.004	0	0	0.03	0	0.014	0	0.017	0
TiO ₂	0	0.004	0.071	0.014	0	0.117	0.085	0.094	0	0	0	0
Total	99.805	100.306	100.656	100.585	100.446	100.486	101.151	100.754	99.816	100.128	101.798	100.798
apfu												
Fe ₂	0.0052	0.00164	0.0082	0.0122	0.0114	0.0082	0.003	0.0042	0.0104	0.0073	0.0059	0.0079
Mn	0.0018	0.0035	0.0026	0.0004	0.0024	0.0021	0.0026	0.0024	0.0004	0.0046	0.0032	0.0044
Mg	0.0002	0.0002	0.0014	0.0001	0.0007	0.0019	0.0007	0.001	0.0005	0.0009	0.0023	0.0004
Ca	2.1273	2.129	2.0727	2.0682	2.0718	2.0451	2.0683	2.0774	2.0716	2.1521	2.1191	2.143
Na	0.0048	0.0049	0.0118	0.0066	0.0009	0.0085	0.0039	0.0035	0.0079	0.0041	0.0084	0.0065
K	0.0078	0.0103	0	0.0059	0.0005	0.0014	0	0.0011	0.0006	0.0017	0.0004	0.0078
Si	0.0005	0.0012	0.0007	0.0007	0.0007	0.0023	0.0006	0.0001	0.0006	0.0004	0.0003	0.0005
P	1.6935	1.7077	1.6641	1.6379	1.6469	1.6696	1.66	1.6573	1.663	1.6085	1.7112	1.7126
U	0	0	0.0003	0	0.0011	0.0018	0.0024	0.0006	0.0006	0.0009	0.0002	0.0002
Cations	11.8362	11.8757	11.8787	11.8581	11.8611	11.8738	11.8748	11.8879	11.8888	11.9714	11.8539	11.8772
CF	0.166	0.1318	0.1211	0.1485	0.1392	0.1262	0.1218	0.1157	0.1154	0.1314	0.1511	0.1265
CCI	0.0007	0	0.0001	0.078	0	0	0.0003	0	0	0.0001	0	0.0001

Fonte: dados da pesquisa.

Tabela 10 – Resultdos das análises químicas (microsonda eletrônica) de apatitas de rochas gnaíssicas paraderivadas, incluindo respectivos *apfu*.

Amostra	AF15	AF15	AF15	AF15	AF15	AF15
Análise	1	2	3	4	5	6
% em peso						
SiO ₂	0.043	0.036	0.058	0.059	0.062	0.073
FeO	0.276	0.255	0.166	0.266	0.037	0.214
MnO	0	0.02	0.147	0.079	0	0.084
MgO	0.046	0.027	0.049	0.029	0.04	0.041
CaO	54.138	53.922	54.574	53.638	54.227	54.25
Na ₂ O	0.08	0.064	0.107	0.034	0.078	0.076
K ₂ O	0	0.013	0	0.036	0.002	0.029
P ₂ O ₅	43.568	44.417	44.036	44.133	43.325	42.52
UO ₂	0.016	0.001	0	0.027	0	0
F	2.91	3.793	4.112	4.555	4.091	3.388
Cl	0.033	0.007	0.001	0.002	0.023	0.014
Al ₂ O ₃	0	0	0.01	0.019	0.043	0
TiO ₂	0.041	0.066	0	0	0.045	0.07
Total	99.919	101.022	101.529	100.959	100.245	99.329
<i>apfu</i>						
Fe ₂	0.0136	0.0099	0.0064	0.0103	0.0014	0.0084
Mn	0.0025	0.0007	0.0056	0.003	0	0.0033
Mg	0.001	0.001	0.0018	0.0011	0.0015	0.0016
Ca	2.0966	2.1017	2.114	2.0855	2.1271	2.1536
Na	0.0069	0.0049	0.0082	0.0026	0.0061	0.006
K	0.0067	0.001	0	0.0027	0.0001	0.0023
Si	0.0004	0.0007	0.0011	0.0011	0.0012	0.0014
P	1.6802	1.7313	1.7092	1.7159	1.6994	1.6879
U	0.0008	0.0039	0	0.001	0	0
Cations	11.8108	11.8543	11.845	11.8246	11.8406	11.8678
CF	0.1948	0.1478	0.1592	0.1771	0.1604	0.1344
CCI	0.0003	0.0002	0.0038	0.0078	0.0009	0.0005

Fonte: dados da pesquisa.

Tabela 11 – Dados analíticos (microsonda eletrônica) de apatitas extraídas de rocha gnáissica paraderivada, incluindo respectivos *apfu*

Amostra	AF09	AF09	AF09	AF09	AF09	AF09	AF09	AF09	AF09
Análise	1	2	3	4	5	6	7	8	9
% em peso									
SiO ₂	0.004	0.051	0.076	0.034	0.108	0.061	0.199	0.046	0
FeO	0.194	0.081	0.063	0.091	0.126	0.174	0.181	0.142	0.145
MnO	0.16	0.004	0.09	0.087	0.024	0	0.016	0.036	0.056
MgO	0.001	0.032	0.041	0.027	0	0.036	0.023	0.031	0.023
CaO	53.453	53.557	53.644	53.301	53.773	53.595	54.046	53.245	53.921
Na ₂ O	0.025	0.018	0.064	0.053	0.033	0.096	0	0.088	0.041
K ₂ O	0	0.002	0.033	0	0	0.017	0.007	0.006	0
P ₂ O ₅	43.288	42.742	43.354	41.933	42.976	42.657	43.61	42.703	43.265
UO ₂	0	0	0	0	0.029	0.052	0.012	0.108	0
F	3.874	4.551	3.386	2.893	3.363	4.388	3.231	4.714	3.354
Cl	0.013	0.007	0	0	0.007	0	0.017	0	0
Al ₂ O ₃	0.036	0.015	0	0.019	0	0	0.091	0.014	0.01
TiO ₂	0	0.085	0.014	0	0	0	0	0	0.086
Total	99.414	99.227	99.339	97.22	99.021	99.228	100.07	99.148	99.489
<i>apfu</i>									
Fe ₂	0.0074	0.003	0.0024	0.0035	0.0048	0.0066	0.0068	0.0045	0.0055
Mn	0.0061	0.0001	0.0034	0.0034	0.0009	0	0.0006	0.0013	0.0021
Mg	0.0038	0.0012	0.0015	0.001	0	0.0013	0.0008	0.0011	0.0008
Ca	2.0438	2.0459	2.0576	2.0901	2.0681	2.0487	2.0586	2.0342	2.0646
Na	0.0019	0.0013	0.0013	0.0041	0.0025	0.0073	0.0005	0.0067	0.0031
K	0	0.0001	0.0025	0	0	0.0013	0.0012	0.0004	0
Si	0.0076	0.0009	0.0014	0.0006	0.002	0.0011	0.0037	0.0008	0
P	1.6551	1.6327	1.6629	1.6443	1.6528	1.6306	1.661	1.6314	1.6566
U	0	0	0	0	0.0011	0.0019	0.0004	0.0041	0
Cations	11.855	11.827	11.873	11.891	11.872	11.837	11.875	11.821	11.874
CF	0.1481	0.1738	0.1298	0.1134	0.1293	0.1677	0.123	0.18	0.1284
CCI	0.0004	0.0002	0	0	0.0002	0	0.0006	0	0

Fonte: dados da pesquisa.

Tabela 12 - Dados analíticos (microsonda eletrônica) de apatitas extraídas de rocha gnaíssica paraderivada, incluindo respectivos *apfu*.

Amostra	AF09	AF09	AF09	AF09	AF09	AF09	AF09	AF09	AF09	AF09
Análise	10	11	13	13	14	15	16	17	18	19
% em pêso										
SiO ₂	0.06	0.022	0.023	0	0.081	0.026	0.066	0	0.109	0.054
FeO	0.069	0.126	0.103	0.054	0.025	0.058	0.051	0.086	0.176	0.15
MnO	0.094	0	0.098	0.114	0.126	0.005	0.104	0	0.033	0.078
MgO	0.045	0.012	0.002	0	0.033	0.056	0.021	0.012	0.006	0.013
CaO	53.635	53.347	54.387	54.536	54.215	54.169	54.186	53.969	54.348	54.366
Na ₂ O	0.022	0.014	0.092	0.03	0.04	0.047	0.045	0.046	0.102	0.068
K ₂ O	0.027	0	0.01	0	0.024	0	0	0.004	0.016	0.016
P ₂ O ₅	42.023	43.111	44.039	43.807	43.313	42.802	43.483	43.515	43.992	43.376
UO ₂	0	0.014	0.024	0.06	0.004	0.059	0.017	0.002	0.01	0
F	4.89	4.169	3.155	3.892	3.665	3.5	4.246	4.156	3.95	3.693
Cl	0.016	0	0	0	0.018	0	0.006	0	0.008	0.002
Al ₂ O ₃	0.001	0.006	0.013	0	0.035	0	0	0	0	0.027
TiO ₂	0.005	0	0.153	0.082	0	0	0	0.086	0.004	0.07
Total	98.824	99.066	100.77	100.94	100.03	99.248	100.44	100.13	101.09	100.385
<i>apfu</i>										
Fe ₂	0.0026	0.0048	0.0038	0.002	0.0009	0.0023	0.0019	0.0033	0.0068	0.0058
Mn	0.0036	0	0.0037	0.0042	0.0043	0.0001	0.004	0	0.0012	0.003
Mg	0.0017	0.0004	0.0075	0	0.0012	0.0022	0.0008	0.0004	0.0002	0.0005
Ca	2.0539	2.0442	2.0588	2.0552	2.0672	2.1513	2.1202	2.119	2.1156	2.1338
Na	0.0016	0.001	0.0069	0.0022	0.003	0.0031	0.0035	0.0036	0.0079	0.0053
K	0.002	0	0.0007	0	0.0018	0	0	0.0003	0.0012	0.0012
Si	0.0011	0.0004	0.0004	0	0.0015	0.0005	0.0012	0	0.0021	0.001
P	1.6092	1.6519	1.6671	1.6509	1.6479	1.6999	1.7014	1.7085	1.7125	1.7024
U	0	0.0005	0.0009	0.0022	0.0001	0.0023	0.0006	0.0078	0.0003	0
Cations	11.8158	11.8428	11.883	11.8536	11.8632	11.8613	11.8349	11.8385	11.8494	11.857
CF	0.1872	0.1597	0.1194	0.1466	0.1443	0	0.1661	0.1631	0.1537	0.1449
CCI	0.0006	0	0	0	0.0007	0	0.0002	0	0.0003	0.0078

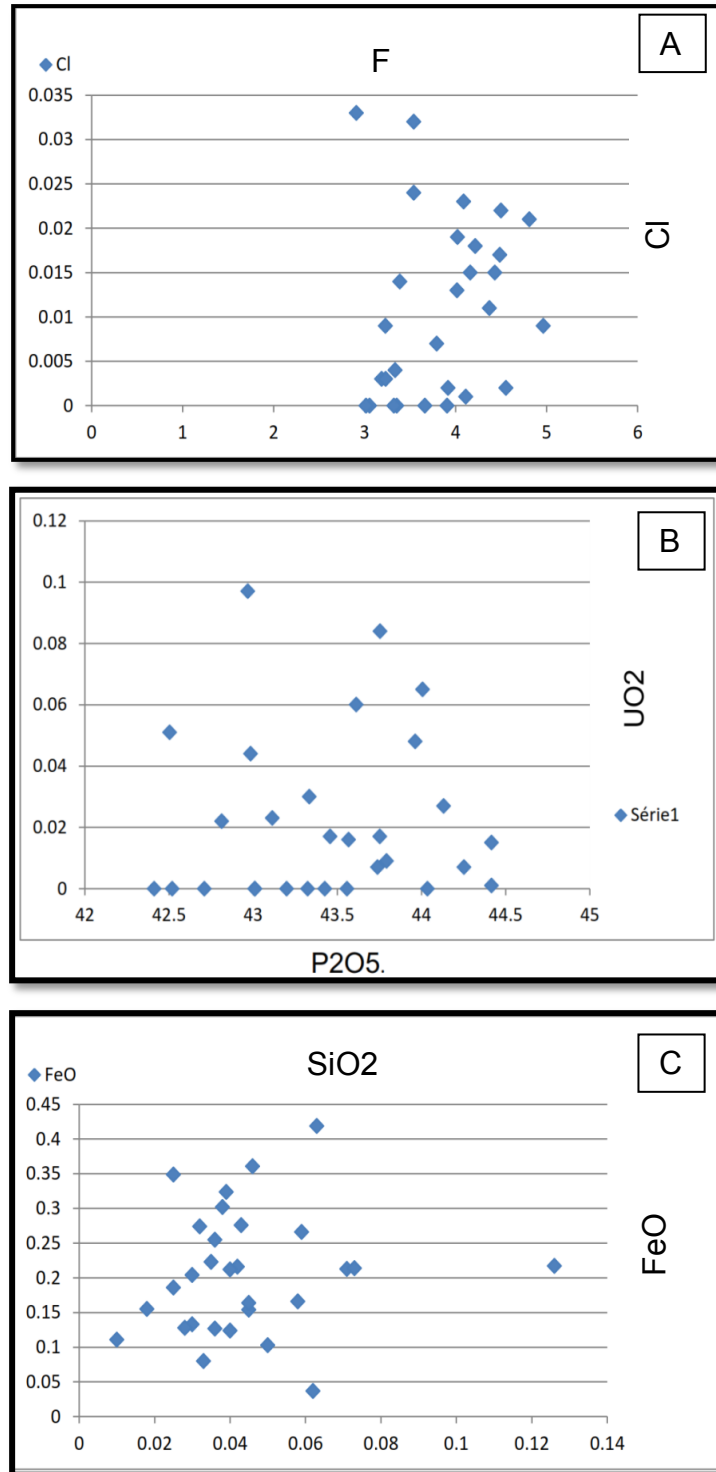
Fonte: dados da pesquisa

Tabela 13 - Dados analíticos (microsonda eletrônica) de apatitas extraídas de rocha gnáissica paraderivada, incluindo respectivos *apfu*

Amostra	AF09	AF09	AF09	AF09	AF09	AF09	AF09	AF09	AF09	AF09
Análise	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29
% em pêso										
SiO2	0.071	0.02	0.012	0.029	0	0	0.037	0.002	0.098	0.021
FeO	0.064	0.037	0.232	0.119	0.019	0.059	0.05	0.071	0.092	0.199
MnO	0	0.079	0	0	0.05	0	0	0.119	0.104	0
MgO	0.018	0	0.039	0.046	0	0.016	0.025	0	0.038	0.029
CaO	54.176	54.789	54.962	54.497	54.533	54.696	54.41	54.725	54.235	53.794
Na2O	0.046	0.043	0.032	0.078	0.024	0.022	0.074	0.075	0.035	0.013
K2O	0	0	0.002	0	0	0	0	0	0.016	0
P2O5	43.662	43.926	44.735	44.226	43.839	43.013	43.398	43.864	43.917	44.079
UO2	0	0	0.046	0.035	0.101	0	0.042	0	0.027	0
F	3.973	3.676	4.125	3.571	4.277	3.401	3.757	3.742	3.092	4.35
Cl	0.002	0.001	0.002	0.028	0	0	0.006	0.02	0.021	0
Al2O3	0	0	0.016	0.017	0.001	0	0	0.007	0	0
TiO2	0.036	0	0.041	0.158	0.04	0	0	0.239	0	0.111
Total	100.38	101.02	102.51	101.29	101.08	99.775	100.22	101.28	100.37	100.76
<i>apfu</i>										
Fe2	0.0025	0.0014	0.0089	0.0046	0.0007	0.0023	0.0019	0.0027	0.0036	0.0077
Mn	0	0.003	0	0	0.0019	0	0	0.0046	0.004	0
Mg	0.0007	0	0.0014	0.0017	0	0.0006	0.0009	0	0.0014	0.0011
Ca	2.1235	2.1366	2.1089	2.1204	2.1201	2.1617	2.1379	2.128	2.1336	2.0973
Na	0.0036	0.0033	0.0024	0.006	0.0018	0.0017	0.0058	0.0058	0.0027	0.001
K	0	0	0.0001	0	0	0	0	0	0.0012	0
Si	0.0013	0.0003	0.0002	0.0005	0	0	0.0007	0.0038	0.0019	0.0004
P	1.7114	1.7129	1.7165	1.7202	1.7044	1.7	1.7052	1.7057	1.7277	1.7185
U	0	0	0.0017	0.0013	0.0039	0	0.0016	0	0.001	0
Cations	11.845	11.859	11.841	11.859	11.831	11.868	11.854	11.853	11.878	11.83
CF	0.1557	0.1433	0.1583	0.1389	0.1662	0.1344	0.1476	0.1455	0.1216	0.1695
CCI	0.0078	0.0039	0.0076	0.001	0	0	0.0002	0.0007	0.0008	0

Fonte: dados da pesquisa

Figura 39 - Apatitas de paragneisses. gráficos binários das relações A – Fluor x Cloro; B – UO_2 x P_2O_5 , C – FeO x SiO_2 .



Fonte: dados da pesquisa.

Notas: para valores, ver Tabelas 9 a 13; observar a similaridade destas relações com àquelas dos litotipos anteriores.

Figura 40 – Estrutura cristalina de apatita oriunda de rocha gnáissica, como resultado de análise através de Difratorômetro de Raios-X (DRX)..

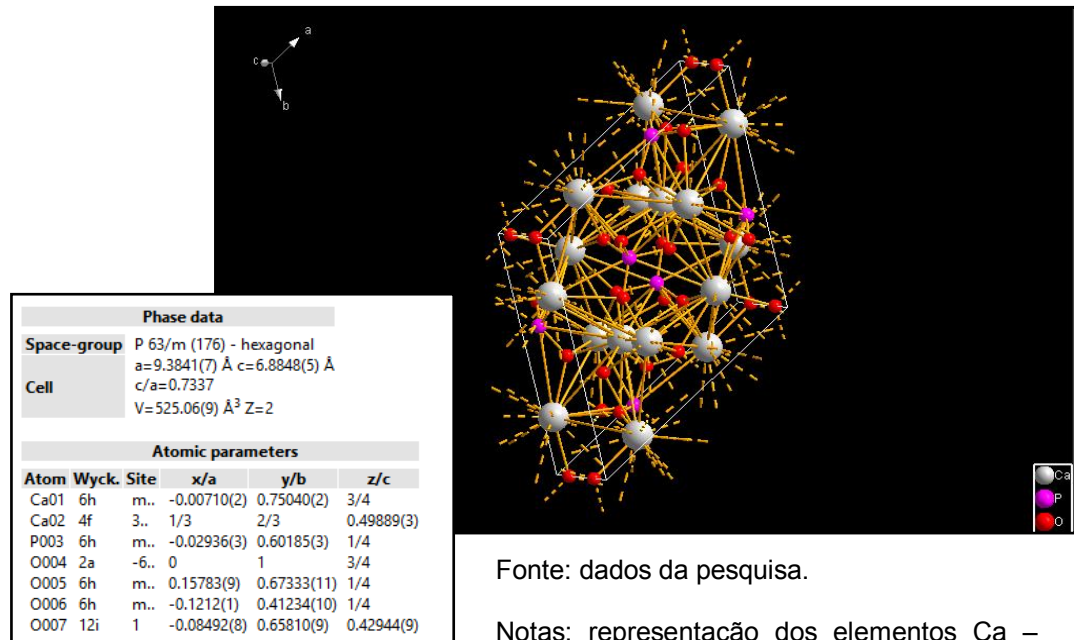
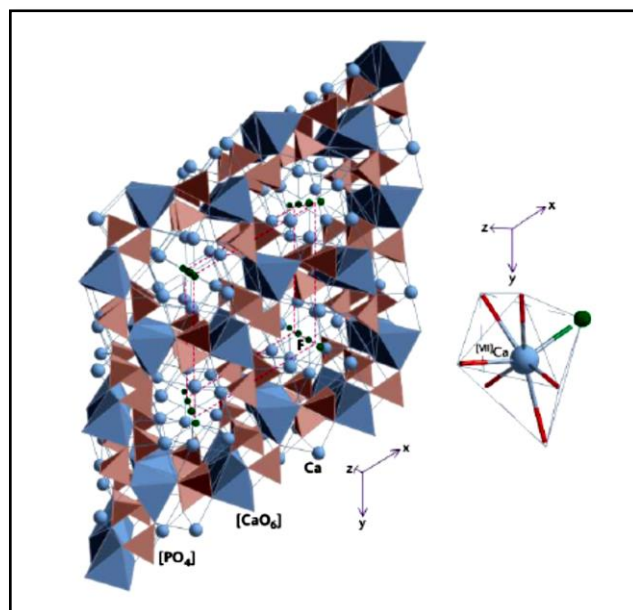


Figura 41 - Estrutura cristalina da flúorapatita (STOSCH, 2000).



Notas: poliedros irregulares (CaO_6 , em azul) são ligados a tetraedros (PO_4 , em marrom), o prisma trigonal triencapuzado (Ca, esfera azul) e a um ânion (F, esfera verde).

Tabela 14 - Resultados das análises químicas (microssonda eletrônica) da colofana associada à rocha anfibolítica, incluindo respectivos *apfu*.

Amostra	AF1A_C	AF1A_C	AF1A_C	AF1A_C	AF1A_C	AF1A_C	AF1A_C	AF1A_C	AF1A_C	AF1A_C
Análise	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
% em peso										
SiO ₂	0.101	0.023	0	1.078	5.561	0.04	3.752	0.088	0.04	0.08
FeO	0.647	0.08	0.544	0.488	3.059	1.437	0.813	0.535	0.439	1.182
MnO	0.39	0.297	0.559	0.204	0.118	0.68	0.138	0.234	0.17	0
MgO	0	0.035	0	0.039	0.169	0.021	0.19	0.014	0.022	0.017
CaO	50.896	52.975	48.758	51.974	42.24	51.083	50.055	52.139	53.194	53.412
Na ₂ O	1.858	0.762	3.089	0.746	1.963	0.579	0.361	0.906	0.474	0.508
K ₂ O	0.051	0.031	0.005	0.014	0.039	0.035	0.088	0.028	0	0.002
P ₂ O ₅	38.739	40.4	36.42	41.225	33.888	31.886	39.532	37.252	41.356	41.241
UO ₂	0.088	0.017	0.069	0.175	0.039	0.08	0.059	0.496	0.062	0.082
F	2.715	3.726	2.398	4.278	2.771	3.037	4.109	3.406	3.771	4.086
Cl	0.016	0.005	0	0.008	0.181	0	0.001	0.008	0	0
Al ₂ O ₃	0.035	0	0.057	0.528	0.116	0	0.808	0.009	0.04	0.014
TiO ₂	0	0.167	0.044	0	0	0.066	0.055	0	0	0.161
Total	94.389	96.948	90.933	98.954	88.936	87.665	98.231	93.679	97.98	99.065
<i>apfu</i>										
Fe ₂	0.0271	0.0033	0.0236	0.0193	0.1357	0.0646	0.0325	0.0224	0.0169	0.0469
Mn	0.0163	0.0123	0.0234	0.0193	0.0052	0.035	0.0055	0.0098	0.0006	0
Mg	0	0.0014	0	0.0015	0.0074	0.0009	0.0076	0.0005	0.0008	0.0006
Ca	2.1321	2.111	2.1211	2.0575	1.8743	2.2973	2.0029	2.1926	2.0582	2.1198
Na	0.1557	0.0632	0.2687	0.059	0.1742	0.052	0.0288	0.0762	0.0036	0.0403
K	0	0.0025	0.0004	0.0001	0.0034	0.0031	0.007	0.0023	0	0.0001
Si	0.0021	0.0004	0	0.0213	0.1233	0.0008	0.075	0.0018	0.0007	0.0015
P	1.6228	1.6756	1.5843	1.632	1.5037	1.4339	1.5818	1.5666	1.6001	1.6367
U	0.0036	0.0007	0.0003	0.0069	0.0017	0.0035	0.0023	0.0208	0.0023	0.0032
Cations	11.9588	11.8752	12.0271	11.8267	11.8329	11.887	11.7657	11.8546	11.8717	11.8514
CF	0.1137	0.1545	0.1043	0.1693	0.1229	0.1365	0.1644	0.1432	0.1459	0.1621
CCI	0.0007	0.0002	0.0002	0.0003	0.008	0	4.0016	0.0003	0	0

Fonte: dados da pesquisa.

Notas: *apfu* (átomos por fórmula unitária) calculados com base em 12 oxigênios.

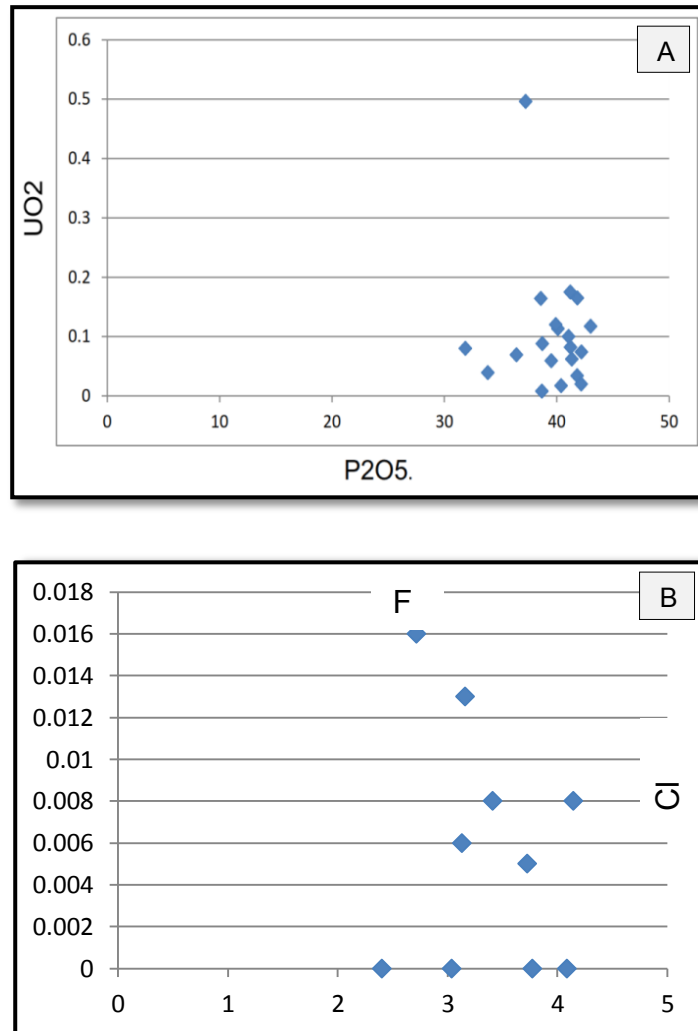
Tabela 15 - Resultados das análises químicas (microssonda eletrônica) da colofana associada a rocha anfibolítica, incluindo respectivos *apfu*.

Amostra	AF1A_C	AF1A_C	AF1A_C	AF1A_C	AF1A_C	AF1A_C	AF1A_C	AF1A_C	AF1A_C	AF1A_C
Análise	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
% em peso										
SiO ₂	1.506	0.032	5.17	0	0.402	0.266	0.1	0.028	0.257	1.832
FeO	0.696	0.468	0.959	0.04	0.167	0.059	6.999	0.126	0.403	0.11
MnO	0.022	0.001	0.121	0.131	0.085	0.052	0	0.092	0.078	0.13
MgO	0.143	0	0.327	0	0.019	0	0.044	0	0.011	0.11
CaO	51.695	52.875	48.492	53.248	53.185	53.432	50.137	53.832	52.97	51.323
Na ₂ O	0.603	0.523	0.283	0.653	0.474	0.562	0.435	0.428	0.302	0.81
K ₂ O	0.035	0.026	0.124	0.012	0	0.014	0.038	0	0	0.037
P ₂ O ₅	40.122	41.064	38.599	41.834	42.193	43.024	38.697	42.22	41.84	39.926
UO ₂	0.113	0.1	0.164	0.034	0.02	0.117	0.008	0.074	0.165	0.12
F	3.817	4.145	3.566	3.156	3.129	3.069	4.184	3.785	3.393	3.169
Cl	0	0.008	0.021	0.013	0.006	0	0.018	0.004	0.021	0.034
Al ₂ O ₃	0.236	0	1.055	0	0.096	0.071	0.042	0.002	0.037	0.639
TiO ₂	0.116	0.192	0	0.025	0.116	0	0.035	0.066	0	0.226
Total	97.497	97.687	97.375	97.814	98.574	99.374	98.971	99.062	98.043	97.124
apfu										
Fe ₂	0.028	0.0188	0.0387	0.0016	0.0066	0.0023	0.2779	0.005	0.0162	0.0044
Mn	0.0008	4.02	0.0048	0.0052	0.0034	0.002	0	0.0036	0.0031	0.0052
Mg	0.0057	0	0.0132	0	0.0007	0	0.0017	0	0.0004	0.0044
Ca	2.0864	2.127	1.9616	2.1482	2.1297	2.1231	1.9908	2.1392	2.1299	2.0849
Na	0.0486	0.042	0.0228	0.0526	0.0379	0.0446	0.0345	0.034	0.0242	0.0658
K	0.0028	0.002	0.01	0.0009	0	0.0011	0.003	0	0	0.003
Si	0.0303	0.0006	0.1045	0	0.008	0.0052	0.0019	0.0005	0.0051	0.0372
P	1.6193	1.6519	1.5614	1.6877	1.6895	1.7095	1.5365	1.6777	1.6823	1.6219
U	0.0045	0.004	0.0066	0.0013	0.0008	0.0046	0.0003	0.0029	0.0066	0.0048
Cations	11.8328	11.8481	11.7475	11.8987	11.8825	11.8916	11.8499	11.8631	11.8641	11.8506
CF	0.154	0.1667	0.1442	0.1273	0.1252	0.1219	0.1661	0.1504	0.1364	0.1287
CCl	0	0.0003	0.0008	0.0005	0.0002	0	0.0007	0.0001	0.0008	0.0013

Fonte: dados da pesquisa.

Notas: *apfu* (átomos por fórmula unitária) calculados com base em 12 oxigênios.

Figura 42 - Apatitas da colofano: gráficos binários das relações: A – UO_2 x P_2O_5 , B – F x Cl.

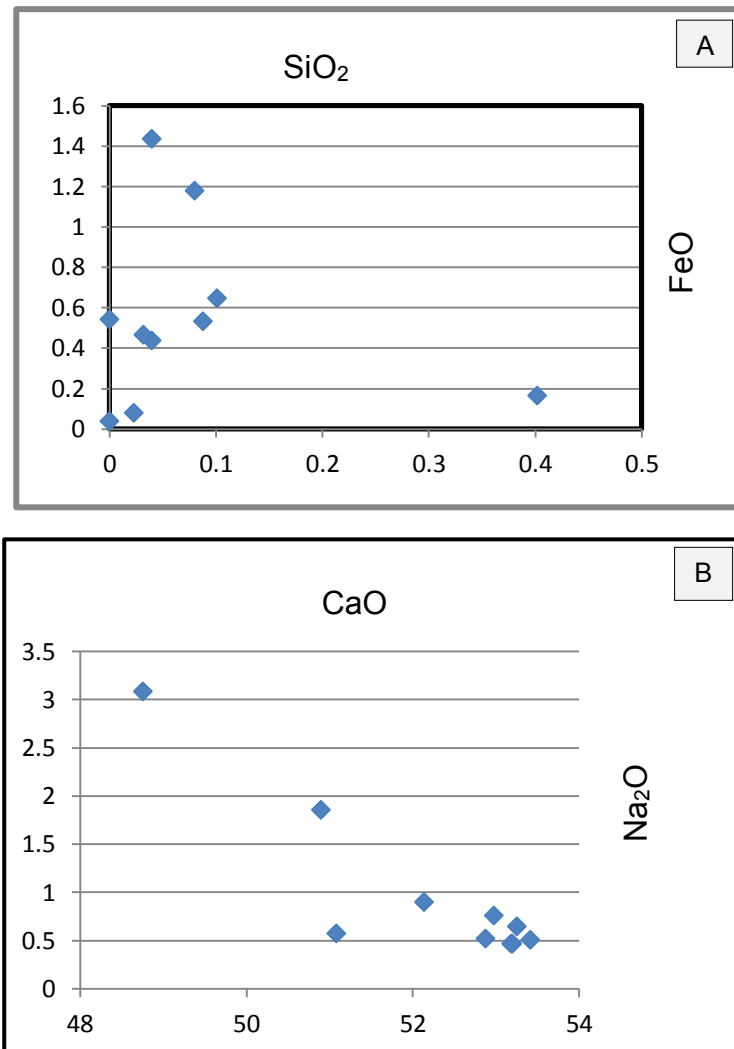


Fonte: dados da pesquisa.

Notas: - valores de P_2O_5 de maior concentração em torno de 40%⁷.

⁷ Cavalcanti *et al.* (2018) assinalam que a apatita prismática exibe, comumente, o U em baixas porcentagens (UO_2 oscilando de 0,006 a 0,09%) e ligeiramente superior teor médio de flúor, enquanto que o colofano encerra teores de U mais altos (UO_2 de 0,074 a 0,816%) e menor conteúdo de F. Enquanto isto, a apatita prismática tem teores maiores de P_2O_5 e menores de FeO, Na_2O e SrO, quando comparados com a apatita criptocristalina.

Figura 43 - Apatitas da colofana: gráficos binários das relações: A – SiO₂ x FeO, B – CaO x Na₂O



Fonte: dados da pesquisa

Notas: valores de FeO superiores a 0,4%, predominantes, como diferencial das apatitas dos paragnaisses e anfibolito, sendo parcialmente similar aos do diabásio.

Nesta colofana, como nas apatitas das demais rochas, as razões F/P_2O_5 sempre abaixo de 0,11 apontam para a inexistência de carbonato-apatita (francolita), mineral comum nos depósitos fosfáticos sedimentares (razão F/P_2O_5 “ideal para a fluorapatita é da ordem de 0,089, enquanto que, para a francolita altamente substituída, é de 0,148 (BURNETT, 1977; MCCLELLAN e KAUWENBERGH, 1990, respectivamente – apud SANCHES, 1997; Obs: - considera-se que as razões F/P_2O_5 são governadas, em grande parte, pelo grau de

substituição carbonática). Também, as razões $\text{CaO/P}_2\text{O}_5$ (TABELA 11) abaixo de 1,3 reforçam a inexistência da carbonato-apatita, já que esta exige razões que se situam acima de 1,50.

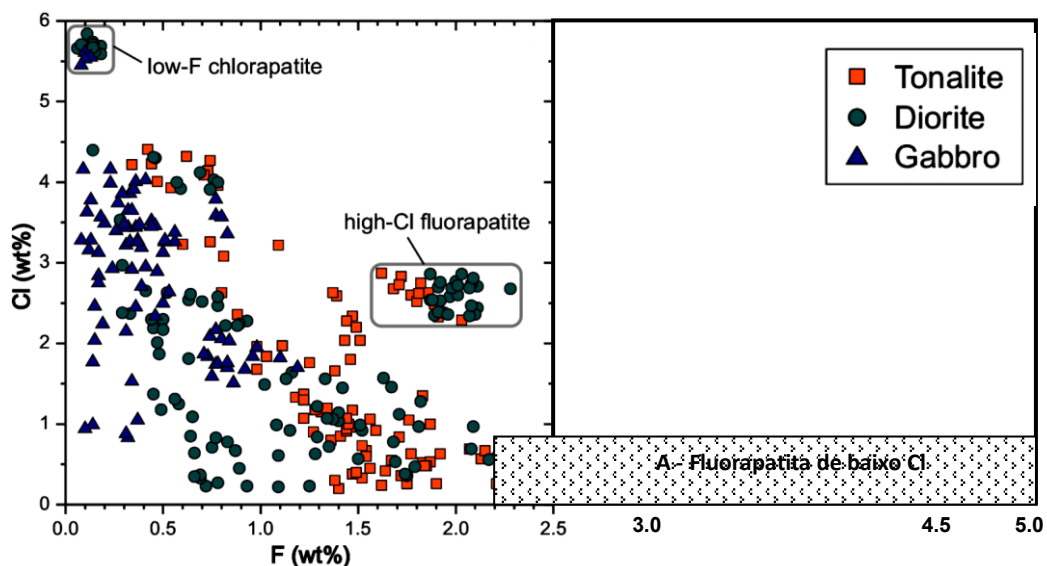
Em síntese, as apatitas analisadas situam-se no campo das fluorapatitas de alto flúor e baixo cloro (Figura 44)⁸.

Tabela 16 - Composição da fluorapatita comparada com a da francolita.

Constituinte (%)	Fluorapatita (z = 0)	Francolita z/6-z ≈ 30
CaO	55,6	55,1
P ₂ O ₅	42,2	34,0
CO ₂	0	6,3
F	3,77	5,04
Na ₂ O	0	1,4
MgO	0	0,7
CaO/P ₂ O ₅	1,318	1,621
F/P ₂ O ₅	0,089	0,148

Fonte: McClellan (1980), apud Sanches (1997).

Figura 44 - Plot binário da variação composicional do F e Cl de apatitas relacionadas a tonalito, diorito e gabro.



Fonte: Zhang *et al.* (2017).

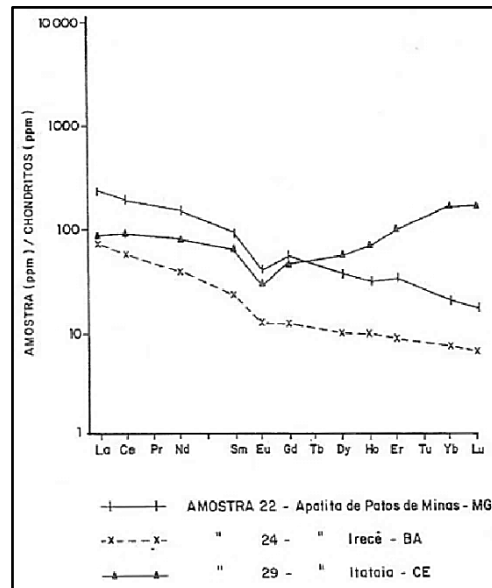
Notas: modificado com o acréscimo do campo de variação FxCl das apatitas analisadas (A).

⁸ Trabalhos anteriores (p.ex.: CAVALCANTE, 2016) registram, para amostras do colofanito de Itataia, a existência tanto da fluorapatita, como da hidroxiapatita.

No que tange à questão genética de uma apatita do depósito fósforo-uranífero de Itataia, tem-se o registro de que:

O comportamento excepcional da apatita de Itataia é concernente às razões La/Yb (0,54), $\Sigma\text{ETRL}/\Sigma\text{TRP}$ (1,74) e Gd/Yb (0,29), mostrando a importante abundância dos ETRP. Uma hipótese que poderia ser considerada é a presença de U^{4+} e ETRP, em solução, na forma de complexos com carbonatos, e, a partir desses complexos, a participação desses cátions na estrutura da apatita, em substituição ao Ca^{2+} . Em suma, o comportamento da apatita de Itataia, em relação aos ETR, é bastante peculiar. Ainda, o teor total de ΣETR é relativamente baixo (109,79). (DUTRA e FORMOSO, 1995).

Figura 45 - Padrões de distribuição de ETR (*spider diagrams*) em relação ao condrito de apatitas de rochas metassedimentares de Patos de Minas - MG e Irecê -BA, frente aquele da apatita de Itataia - CE.



Fonte: Dutra e Formoso (1995).

Notas: observa-se importantes teores dos ETRP da apatita de Itataia e baixos teores da apatita de Irecê (BA).

5 LITOQUÍMICA

No presente estudo, este tema objetivou, apenas, compatibilizar o quimismo do “diabásio”, em jazimento diqueforme, da área da Jazida de Itataia, com aqueles relacionados ao Magmatismo Rio Ceará-Mirim, predominantemente do Cretáceo Inferior (145 a 125 ou 140 a 120 Ma; ARARIPE e FEIJÓ, 1994).

Conforme Ngonge *et al.* (2016), as rochas toleíticas que constituem o Enxame de Diques Rio Ceará-Mirim (EDCM) tem sido subdivididas nos seguintes grupos: - Olivina toleítos de alto teor de Ti; - toleitos evoluídos de alto Ti ($\text{TiO}_2 \geq 1,5\%$ em peso; $\text{Ti} / \text{Y} > 360$); e - toleitos de baixo Ti ($\text{TiO}_2 \leq 1,5\%$ em peso; $\text{Ti} / \text{Y} \leq 360$). Envolve um contexto, em que todos os grupos exibem diferentes graus “de enriquecimento em elementos incompatíveis, em relação ao manto primitivo”, bem como anomalias negativas de Pb. Enquanto isto, “as abundâncias de Nb-Ta, similares aos magmas do tipo OIB, são encontrados nos toleitos com olivina”; já os toleitos evoluídos de alto-Ti e baixo-Ti, respectivamente, mostram depleções moderadas a altas, com os de baixo-Ti exibindo “alguma contaminação com materiais crustais (félsicos)”, acontecida durante a ascensão do magma.

Em relação às amostras analisadas, os valores litoquímicos (% em peso; TABELA 15) da SiO_2 , do K_2O e Na_2O oscilam, respectivamente, entre 55,09 – 55,44, 2,02-2,24 e 2,93-2,94, com $\text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O}$ iguais a 4,95 e 5,18, cujos valores plotados no diagrama TAS (Total de Álcalis *versus* Sílica) de Le Bas *et al.* (1986; FIGURA 46), usado para a classificação química de rochas vulcânicas, situam-se no campo do andesito basáltico, relacionando-se ao domínio da série subalcalina de Irvine e Baragar (1971); enquanto isto, no diagrama de Cox *et al.* (1979; FIGURA 47) a amostra AF11 localiza-se sobre a linha divisória entre os campos andesito e o andesito basáltico, tendo-se a F18 tangenciando esta linha, pelo lado do andesito. Já no diagrama K_2O *versus* SiO_2 (PICCERILLO e TAYLOR, 1976; FIGURA 48), visualiza-se uma inserção no campo da série cálcio-alcalina de alto-K, enquanto no K_2O *versus* Na_2O de Winter (2001; FIGURA 49) revela-se no campo das séries potássicas (*K-series*). Também, estas porcentagens de K_2O e SiO_2 , em relação aos basaltos alcalinos, sinalizam uma contaminação crustal durante o processo de ascensão do magma.

No diagrama triangular AFM ($A = Na_2O + K_2O$ versus $F = FeO^*$ versus $M = MgO$; IRVINE e BARAGAR, 1971; FIGURA 50) e no diagrama binário SiO_2 versus FeO_{total} (MIASHIRO, 1974; FIGURA 51) os exemplares são revelados no campo da série toleítica. Contudo, o registro de um aumento de SiO_2 e uma diminuição de P_2O_5 , da amostra AF11 para AF18, reflete uma tendência que é comum em litotipos das séries cálcio-alcálicas (GILL, 1981). Além disto, observa-se um aumento no teor MgO da primeira à segunda amostra, associado a acréscimos nas porcentagens de Na_2O e K_2O , envolvendo certa estabilização Fe_2O_3 em torno de 14,2.

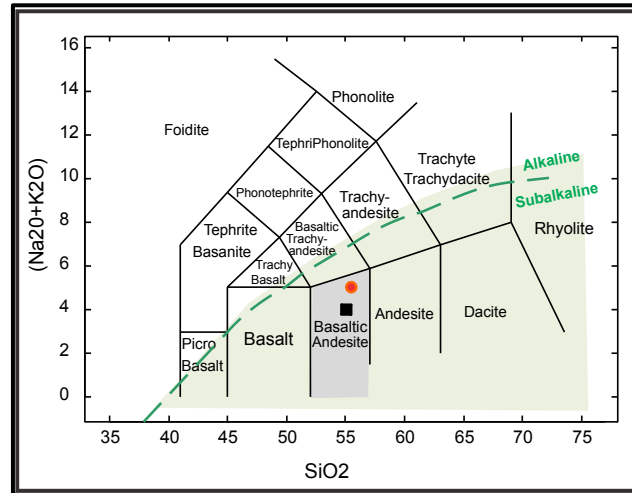
Tabela 17 - Dados geoquímicos de amostras de “diabásio” do dique Itataia (N da Serra da Igreja)-Morrinhos

Amostras	Elementos maiores/óxidos (%)											
	Al ₂ O ₃	CaO	Cr ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	K ₂ O	MgO	MnO	Na ₂ O	P ₂ O ₅	SiO ₂	TiO ₂	LOI
AFM11	12,77	6,82	0,01	14,20	2,02	3,3	0,18	2,93	0,75	55,09	2,93	0,64
AFM18	12,53	7,07	0,02	14,17	2,24	3,6	0,20	2,99	0,71	55,44	2,88	0,59
Amostras	Elementos traços/terras raras (ppm)											
	Ba	Sr	Zn	Zr	V	Ce	Co	Cs	Cu	Dy	Er	Eu
AFM11	647	509	147	329	216	95,6	32,3	0,80	76	8,81	4,69	3,88
AFM18	577	514	146	322	257	92,7	31,6	0,66	63	8,80	4,71	3,77
Amostras	Ga	Gd	Hf	Ho	La	Lu	Mo	Nb	Nd	Ni	Pt	Rb
	Sm	Sn	Ta	Tb	Th	Tl	Tm	U	W	Y	Yb	
AFM11	24,3	11,59	8,58	1,79	43	0,55	3	28,93	59,2	25	13,33	48,1
AFM18	24,6	11,54	8,47	1,78	44	0,53	3	23,81	56,5	26	12,9	57
AFM11	13,2	5	2,76	1,7	4,8	<0,5	0,66	1,22	1	44,17	3,5	
AFM18	12,8	4,4	1,73	1,68	4,2	<0,5	0,65	1,18	0,4	43,47	3,5	

Fonte: dados da pesquisa.

Por sua vez, em relação aos diagramas discriminantes litoquímico-tectônicos, tem-se no diagrama Ti-Zr-Y (PEARCE e CANN, 1973; FIGURA 52) as amostras projetadas no campo **C** relativo aos basaltos cálcio-alcálicos, refletindo a mesma assinatura marcada no diagrama Ti-Zr-Sr, dos mesmos autores (1973; FIGURA 53). Já em relação ao Y versus Zr/4 versus Nb_x2 (MESCHÉDE, 1986), inerente a rochas basálticas, registra-se posições no campo All (FIGURA 54) que é comum aos basaltos alcálicos e toleitos intraplacas (continentais); enquanto no diagrama Th-Hf-Ta de Wood (1980; FIGURA 55), o exemplar AF11 aparece no campo basaltos alcálicos intraplaca (*Within Plate Basalt – WPA*) e o AF18 no **campo dos** basaltos tipo E-MORB (N-MORB enriquecido de elementos traços incompatíveis) e toleitos intraplacas.

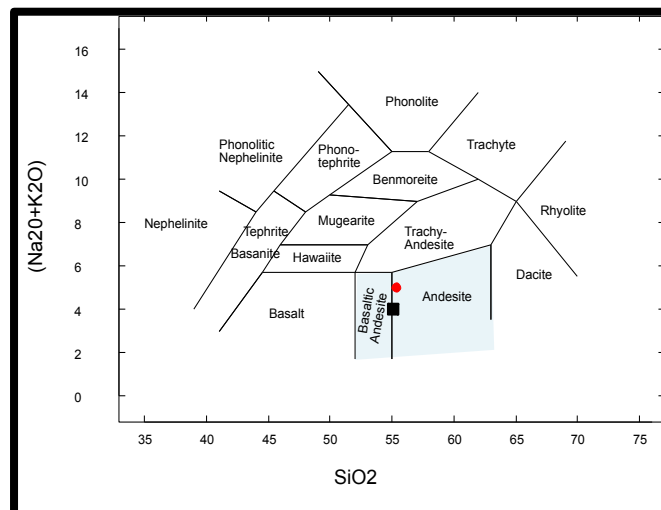
Figura 46 - Diagrama TAS (*Total Alkali versus Silica*; LE BAS *et al.*, 1986) para amostras do “diabásio” Itataia-Morrinhos.



Fonte: dados da pesquisa.

Notas: diagrama revelando as amostras do “diabásio” Itataia-Morrinhos posicionadas no campo Andesito Basáltico, relacionado ao domínio da Série Subalcalina de Irvine e Baragar⁶ (1971; linha verde interrompida como divisória entre os campos das séries alcalina e subalcalina); amostra AF18 revelada pelo círculo vermelho e a amostra AF11 através do quadrado preto (simbologia adotada nas demais figuras deste capítulo).

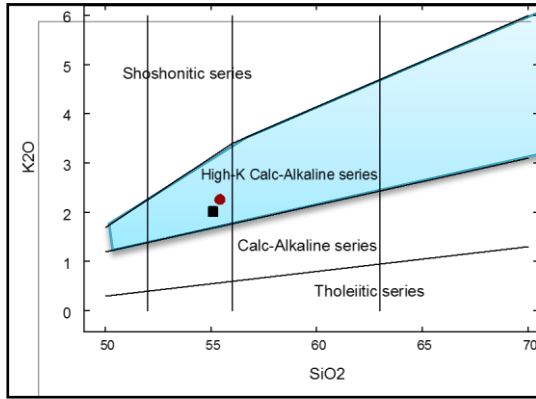
Figura 47 - Diagrama TAS de Cox *et al.* (1979), para as rochas vulcânicas, com plotes das amostras do dique Itataia-Morrinhos.



Fonte: dados da pesquisa.

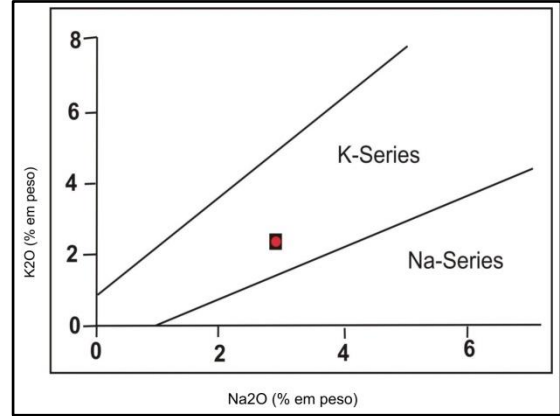
Notas: - a amostra AF11 plotada sobre a linha divisória entre os campo andesito e o andesito basáltico, enquanto a AF18 chega a tangenciar esta linha, pelo lado do andesito.

Figura 48 - Amostras do dique Itataia-Morrinho plotadas no diagrama K_2O versus SiO_2 de Piccerillo e Taylor (1976), revelando-se no campo da série cálcio-alcalina de alto-K,



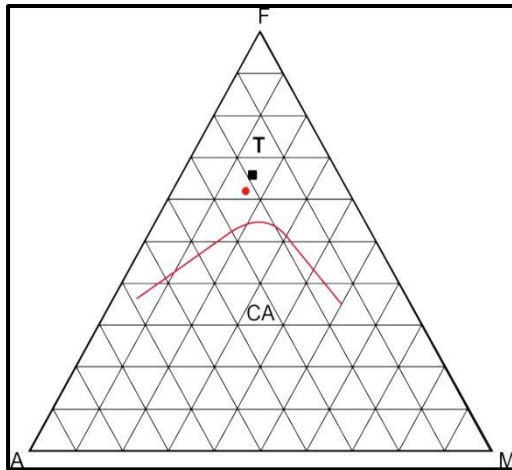
Fonte: dados da pesquisa.

Figura 49- Posicionamentos dos dados K_2O versus Na_2O , plotados no diagrama de Winter (2001), revelando-se como inclusos no campo das séries potássicas (K-Series).



Fonte: dados da pesquisa.

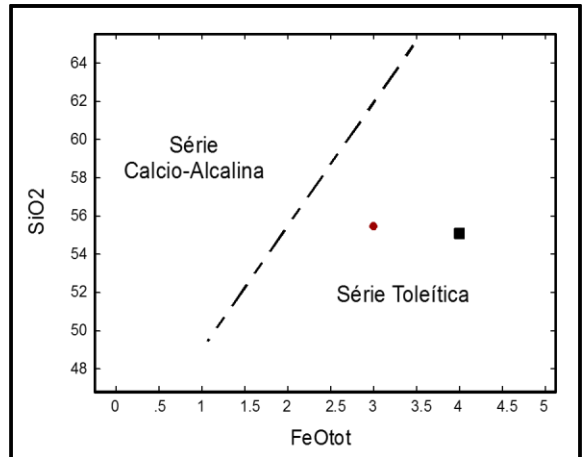
Figura 50 - Amostras do dique Itataia-Morrinho plotadas no diagrama AFM (IRVINE e BARAGAR, 1971).



Fonte: dados da pesquisa

Notas: registro do “diabásio” Itataia-Morrinhos no campo toleítico (tendência dominante para os diabásios e gabros dos diques Rio Ceará-Mirim). T) Série toleítica; CA) Série Cálcio-alcalina.

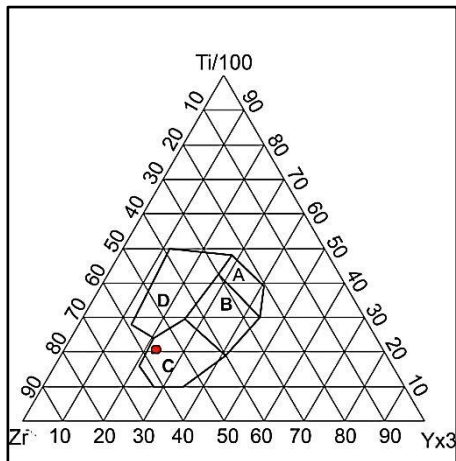
Figura 51 - Diagrama binário SiO_2 versus FeO_{total} de discriminação entre as séries cálcio-alcalina e toleítica (MIASHIRO, 1974).



Fonte: dados da pesquisa

Notas: amostras plotadas no campo da Série Toleítica.

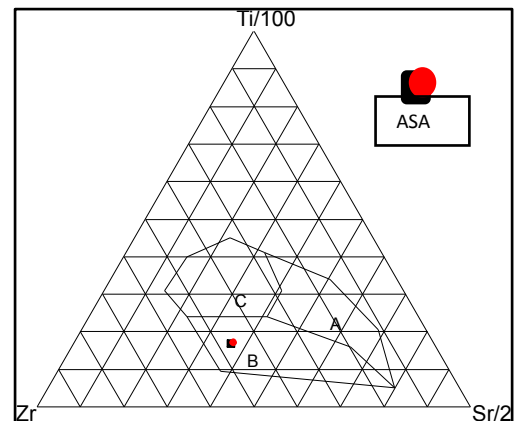
Figura 52 - Dados químicos das amostras do dique Itataia-Morrinhos plotados no diagrama discriminante Ti-Zr-Y de Pearce e Cann (1973).



Fonte: dados da pesquisa.

Notas: A) toleitos de arco de ilha; B) campos dos basaltos MORB (*Middle Ocean Ridge Basalt*) e cálcio-alcálicos; C) basaltos cálcio-alcálicos; D) basaltos intra-placas; A e C são os campos dos IAB (*Island-arc basalt*), D o campo do OIB (*Ocean Island Basalt*) e B um campo híbrido, envolvendo uma mistura de MORBs e IABs. (assim, além dos basaltos de assoalho oceânico, incluem toleitos de arco de baixo K e basaltos cálcio-alcálicos); observa-se uma superposição, quase completa, entre as amostras AF11 e AF18.

Figura 53- Dados das amostras do dique Itataia-Morrinhos plotados no diagrama Ti-Zr-Sr de Pearce e Cann (1973).



Fonte: dados da pesquisa.

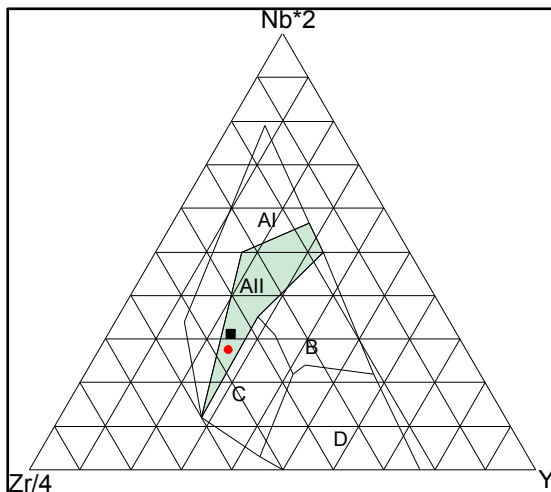
Notas: A) campo dos basaltos de arco de ilhas (IAB); B) basaltos cálcio-alcálicos; e C) basaltos de assoalho oceânico (tipo MORB); ASA) imagem ampliada da superposição entre as amostras AF11 e AF18.

No que tange aos elementos traços e terras raras, assinala-se que o “diabasio” amostrado caracteriza-se através de um valor de Sr mediano (ca. 510 ppm) e alto de Y (ca. 44 ppm), enquanto a razão La/Yb de ~ 12,5 aponta para um moderado fracionamento dos elementos de terras raras. Por sua vez, a razão Ce/Yb = 53,8 (média) muito alta em relação ao intervalo 6,5 a 21,2 assinalado por Sengupta e Ray (2010, *apud* ALMEIDA *et al.*, 2012) para os toleitos intraplacas. As razões Zr/Nb situam-se em torno de 5,6.

Com base no diagrama *spider* normalizado segundo o Manto Primitivo (FIGURA 56), tem-se um certo enriquecimento em terras raras leves (*LREE*), Ce e Nd, em relação as terras raras pesadas (*HREE*) representada pelo Y, com um teor próximo ao de Ti; sendo a anomalia negativa de Sr o principal destaque. Já quando se considera os valores normalizados do tipo N-MORB (*Normal-Mid-Ocean Ridges*

Basalt; FIGURA 57), verifica-se uma tendência de anomalias positivas dos LILE (*Large Lithophile Elements*) Rb e Ba, enquanto o Sr, que é também um elemento

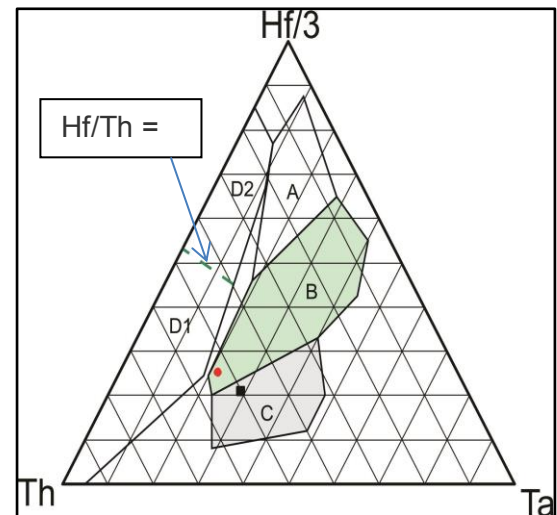
Figura 54 - Posições das amostras segundo o diagrama discriminante Y-Zr/4- Nb^x2 de Meschede (1986) para rochas basálticas.



Fonte: dados da pesquisa

Notas: A I + AII) campo dos basaltos alcalinos intraplacas (continentais); AII + C) campo dos toleitos intraplacas (continentais); B) campo dos magmas tipo E-MORB; D) tipo N-MORB; C + D) basaltos de arco vulcânico; amostras AF11 e AF18 plotadas no campo AII.

Figura 55 - Localização das amostras do diabásio, segundo o diagrama Th-Hf-Ta de Wood (1980), discriminante geoquímico-ambiente tectônico.



Fonte: dados da pesquisa

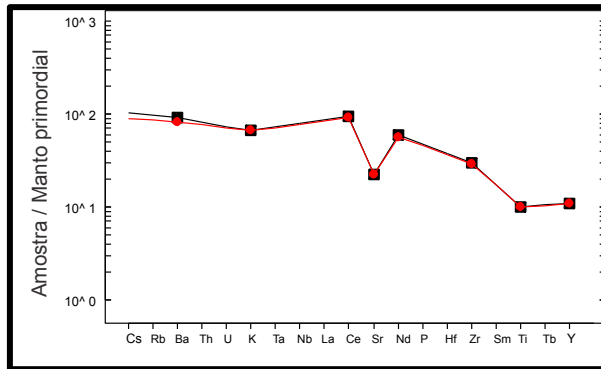
Notas: A) basaltos tipo N-MORB; B) basaltos tipo E-MORB e toleitos intraplaca; C) WPA: basaltos alcalinos intraplaca; D1 (Hf/Th > 3) corresponde aos toleitos de arcos de ilhas (IAT), enquanto D2 (Hf/Th > 3) aos basaltos cálcio-alcalinos de arcos (CAB); Linha interrompida marca razão Hf/Th = 3; amostras AF11 e AF18 plotadas nos campos B e C, respectivamente.

um elemento incompatível, mostra-se depletado (anomalia negativa); tendo-se elementos como o Nb, Ti, e Y (HFSE - *High Field Strength Elements*), também tendendo à depleção. Ao passo que no diagrama relacionado ao OIB (*Ocean Island Basalt*; FIGURA 58) realçam-se as anomalias negativas de Nb, Sr e Ti e enriquecimento de K e Y, além de uma pequena depleção do Ta, na relação entre a amostra AF11 e AF18.

Em síntese, as amostras analisadas (augita-diopsídio diabásio, segundo análises micropetrográficas) relacionam-se aos magmas de ambientes intraplacas continentais, do grupo de alto-Ti ($\text{TiO}_2 \geq 1,5\%$ em peso), sendo classificadas quimicamente como andesitos basálticos (FIGURA 46) e andesitos (FIGURA 47)

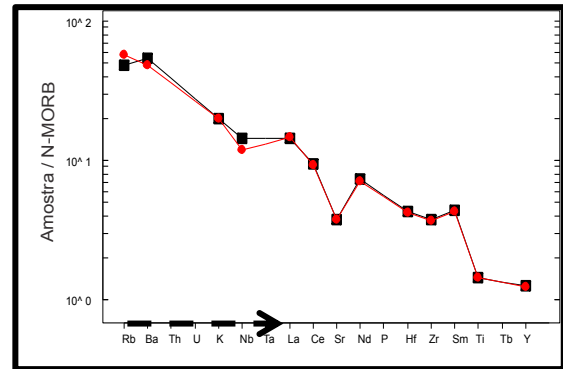
subcalinos/toleíticos (o teor de SiO₂ em torno de 55%, em peso, já as classificariam como do tipo intermediário, mostrando proximidades com o limite

Figura 56 - Diagrama de elementos traços normalizados aos valores do manto primitivo (primordial) de Wood *et al.* (1979a).



Fonte: dados da pesquisa.

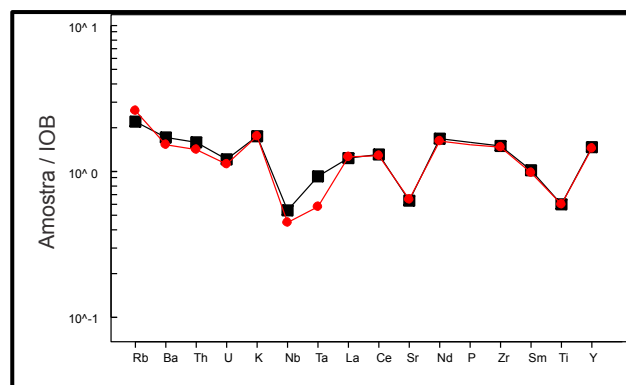
Figura 57 - Diagrama de elementos traços normalizados em relação aos N-MORB (SAUNDERS e TARNEY, 1984; SUN (1980).



Fonte: dados da pesquisa

Notas: seta apontando no sentido contrário ao aumento da incompatibilidades dos elementos.

Figura 58 - Diagrama de elementos traços normalizado em relação ao IOB (SUN, 1980).



Fonte: dados da pesquisa

superior do intervalo admitido para as básicas – 45 a 52%). As razões P₂O₅/K₂O, em torno de 3, é similar ao grupo dos toleítos de alto-Ti evoluídos citado por Ngonge *et al.* (2016). Comparando os dados destes autores, diagramados na Figura 59, com aqueles da Tabela 14, envolvendo os elementos traços como expostos nas Figuras 57 (N-MORB) e 58 (IOB), inerente ao grupo toleítico de alto Ti, assinala-se, no presente estudo, depleção em Nb, Ta, Sr e Ti, enriquecimento em elementos incompatíveis (p.ex. o K (K₂O > 2,0%), Rb >40 ppm e Zr>320 ppm) e em elementos

terras raras leves (La, Ce e Nd). Encontrando-se na Figura 59, excluindo-se elementos não analisados, suaves anomalias de Nb e Sm.

A depleção Nb, Ta e Ti, juntamente com o enriquecimento de Rb e uma composição sem olivina, sinalizam para uma contaminação de crosta continental e uma cristalização em nível crustal mais raso⁷. A razão P_2O_5/K_2O em torno de 0,343 aproxima-se daquela exibida por Ngonge *et al.* (2016) para as amostras relacionadas aos toleitos de alto-Ti, do Enxame de Diques Ceará-Mirim, isto é, em ca. 0,3; onde os de baixo-Ti, com maior contribuição crustal, possuem valores mais baixos (ca. 0,18).

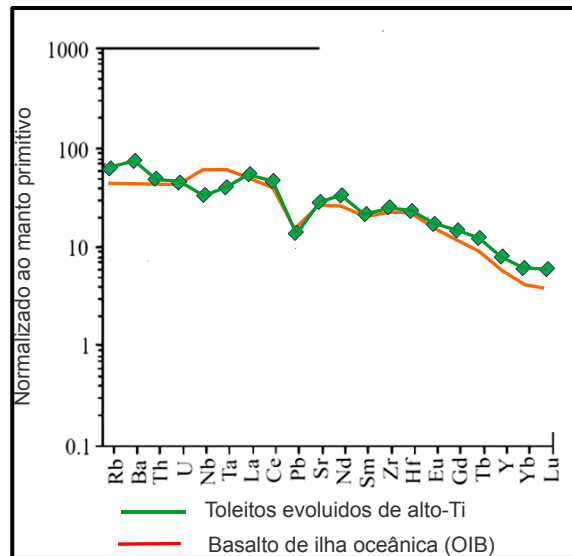
Por seu turno, a classificação de andesito basáltico coincide com aproximadamente 50 % das amostras de diabásios toleíticos da porção oriental da Bacia do Parnaíba, analisadas por Silva *et al.* (2017) e quase a totalidade daquelas estudadas por Guimarães (2017), a despeito dos diques Rio Ceará-Mirim, onde Ngonge *et al.* (2016) mostram uma única amostra plotada no campo andesito basáltico. Enquanto no diagrama TAS (seg. LE BAS *et al.* 1986) apresentado por Macêdo *et al.* (2017), tem-se amostras dos enxames de diques Ceará-Mirim EW e NE com valores concentrados, predominantemente, no quadrante noroeste do campo dos andesitos basálticos.

Em relação às rochas “básicas” de alto-Ti da Fm. Sardinha estudadas por Silva *et al.* (2017), verifica-se diferenças nos teores de certos óxidos e elementos traços/terras raras, como por exemplo, nas amostras ora estudadas: - Maiores teores de P_2O_5 (0,71-075 vs. 0,16 a 0,30), K_2O (2,02 e 2,24 vs. 0,25 a 1,14), Rb (48,1 e 57 vs. 45 a 36), Sr (509 e 514 vs. 81 a 352), Nb (23,61 e 28,93 vs. 6 a 12) e U (1,18 e 1,22 vs. 0,21 a 0,99); e - menores teores de MgO e CaO.

Por sua vez, para o contexto dos diques cretácicos do Domínio Ceará Central, os dados litoquímicos exibidos por Cavalcanti e Bessa (2011), relacionados

⁷ Benimoff e Puffer (2001) descrevem: “O contraste entre a química uniforme do *flood* basalto ... e a química menos uniforme de diques e soleiras ... deve-se provavelmente a uma combinação de fatores. (1) Os diques são relativamente suscetíveis a alterações deutéricas e efeitos metassomáticos em comparação com os fluxos; (2) a química dos diques é influenciada pela profundidade do posicionamento; diques profundos na crosta tendem a ser mais ricos em fases densas, particularmente olivina, do que os diques rasos (3) Soleiras (como o *Palisades Sill*) e até intrusões verticais (como *Snake Hill*) são relativamente suscetíveis a processos de fracionamento *in situ*, e (4) os diques são relativamente suscetíveis à contaminação crustal e à mistura de produtos de fusão próximos a seus contatos externos do que os fluxos de basalto”.

Figura 59 - Diagramas *Spider* de toleitos de alto-Ti de amostras do Enxame de Diques Ceará-Mirim, normalizados em relação ao manto primitivo.



Fonte: Ngonge *et al.* (2016), simplificada.

Notas: perfis da abundância média dos elementos incompatíveis de toleitos de alto-Ti (*spider* verde) normalizados em relação ao manto primitivo, incluindo o *spider* da média composicional para OIB (em vermelho) exibida por Sun e McDonough (1989).

a rochas vulcânicas hidrotermalizadas (uma delas situada no alinhamento do dique em questão, na Fazenda Pedra Preta, SE de Canindé-CE), são bastante diferentes; exibem baixo-TiO₂ (0.23 e 0.93 wt.%) e teores inferiores dos elementos maiores, com exceção do P (P₂O₅ >25 e razão P₂O₅/K₂O = 1.250); com representação dos elementos traços/terras raras em diagrama *spider* (tipo normalizado segundo manto primitivo de SUN e MCDONOUGH 1989) muito movimentado e com importantes anomalias negativas de Pb, K e Ti e um forte enriquecimento em U.

6 TERMOCRONOLOGIA

6.1 Considerações iniciais

Estudos termocronológicos são realizados em diferentes campos das geociências; sendo amplamente utilizados na geologia do petróleo, na exploração mineral e em pesquisas de geologia básica. Ao longo dos anos os diferentes métodos termocronológicos foram sendo aperfeiçoados, bem como a aplicabilidade de cada um deles.

Dos métodos utilizados na termocronologia de baixa temperatura, os mais utilizados são os do Traço de Fissão (*Apatite Fission Tract - AFT*) e do U-Th/He em apatitas, fato decorrente do teor elevado de U e Th nesse mineral. O primeiro método⁹ é baseado na contagem de traços (defeitos) presentes nos grãos enriquecidos em elementos radioativos. O segundo método é baseado na produção de He pela série de decaimento dos elementos radioativos U e Th (geração de partículas α), onde esses elementos são quantificados e analisados para a obtenção da idade termocronológica.

Esses métodos, por envolverem marcantes sensibilidades a baixas temperaturas (60 a 110 ° C e 40 a 80 ° C, respectivamente; FIGURA 60) vem se constituindo em ferramentas populares para estudos que envolvem processos geodinâmicos da crosta superior e quase superficiais. Geralmente são utilizados nos seguintes contextos: - Determinação do tempo de exumação durante a compressão e extensão ao longo de margens tectônicas ativas; - estudo de evoluções térmicas de bacias sedimentares e áreas ou regiões fontes de detritos/ clastos; - estabilidade de regiões cratônicas por centenas de milhões de anos; - quantificação de deslocamentos verticais de falhas (FIGURA 61); - delimitação de idades de eventos de mineralizações; e – estudos geomorfológicos (evolução da paisagem).

⁹ A datação por traço de fissão baseia-se no decaimento por fissão espontânea do ^{238}U [constante de decaimento (λ_f) = $8,5 \times 10^{-17} \text{ a}^{-1}$ Os produtos da fissão - dois núclídeos filhos altamente carregados – desintregando-se em direções opostas, em alta velocidade, produzindo uma trilha linear no mineral hospedeiro ou no vidro do rolamento U, conhecido como um traço de fissão.

Figura 60 - Temperaturas de fechamento para diferentes e comumente utilizados termocronômetros,



Fonte: Thermochronology – Techniques and Methods. Disponível em:
<https://era.ed.ac.uk/bitstream/handle/1842/854/Chp4.pdf;jsessionid=3E920FC2B872A569755B124BCC31326C?sequence=9>

Notas: os traços de fissão (*Fission Tract* – FT) e (U-Th)/He de apatitas encontram-se em posições de temperaturas mais baixas; Intervalos de temperaturas para *Fission Track Apatite* é de 60-110° C (ou 120°) e (U-Th)/He Apatite é de 40-80°C; TF) temperaturas de fechamento.

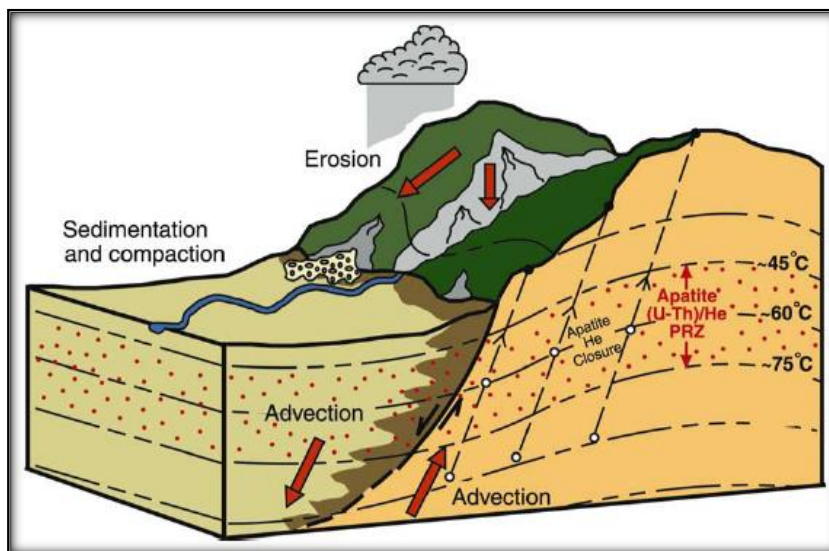
6.2 Procedimentos

A separação dos cristais de apatita utilizados nas análises obedeceu as seguintes etapas: - moagem das amostras coletadas em campo, com o uso de britadores; - peneiramento em peneira de 80 *mesh* (retirada do material mais fino); - separação dos minerais por densidade, utilizando-se o bromofórmio; e - seleção manual dos minerais, com o auxílio de uma lupa com o aumento de 40x, separando-se os grãos de melhor qualidade (de preferência todos os grãos com as mesmas características; exemplos bibliográficos na FIGURA 62).

Para o presente estudo foram separadas apatitas de cinco amostras (epissienito e gnaisses) da área da Jazida de Itataia, envolvendo uma média de 100 a 150 grãos por amostra. Além disto, amostras de colofanito, brechas e de alguns litotipos hospedeiros do minério fósforo-uranífero foram coletados e preparados para a separação de cristais de apatita, porém o trabalho foi em vão, não se encontrando, em quaisquer exemplares, o referido mineral.

As etapas de seleção das apatitas e de datação foram desenvolvidas no laboratório de termocronologia da Universidade Estadual Paulista-UNESP, Campus de Rio Claro (FIGURA 63) .

Figura 61 - Processos térmicos em segmento crustal limitado por falhas normais que interferem na interpretação dos dados da termocronologia (U - Th) / He de apatita.



Fonte: Ehlers e Farley, 2003

Notas: “As isotermas (linhas tracejadas) são curvadas a partir da advecção de massa e calor (setas vermelhas) na parede e no teto (*footwall and hanging wall*), e pelo relevo topográfico. Rochas de subsuperfície (círculos abertos) são exumadas e amostradas na superfície (círculos preenchidos). A zona vermelha pontilhada entre ~45 e ~75° C representa a zona de retenção parcial do hélio (HePRZ), onde a difusão do hélio não é rápida o suficiente para manter uma concentração nula, nem lenta o suficiente para a retenção completa do hélio” (Ehlers e Farley, 2003).

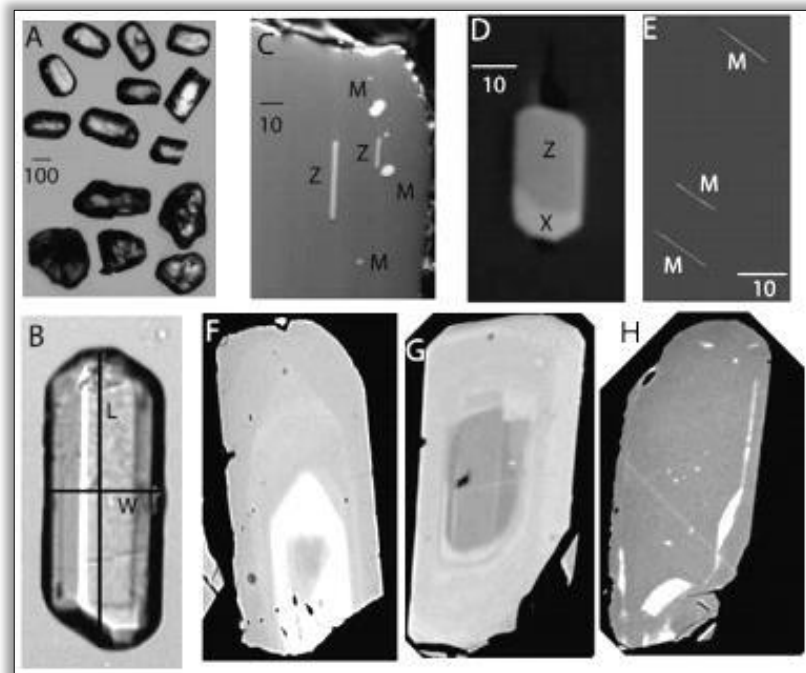
6.3 Resultados

Das cinco amostras selecionadas para estudo termocronológico, tem-se resultado de apenas uma (AFG1; TABELA 16), inerente a um exemplar extraído de um epissienito que aflora às proximidades do principal corpo fósforo-uranífero.

Levando-se em conta os valores (U-Th)/He obtidos de apatitas, entre ca. 90 e ca. 65 Ma (isto é, 90,9 - limite Cenomaniano *versus* Turoniano – a 64,5 Ma, ou seja o estágio inicial do Paleogeno, inerente ao Daniano que situa-se entre 66 e 61,6 Ma), tem-se o primeiro número dentro do intervalo da idade AFT (*apatite fission tract*) de 91 ± 6 Ma exibida por Netto *et al.* (1991, *apud.* CAVALCANTI *et al.* 2018) e relacionada à apatitas de brechas carbonosas mineralizadas da Jazida de Itataia.

Este registro termocronológico AFT levou os primeiros autores a considerar “ a existência de um evento térmico cretáceo associado à gênese do minério de Itataia”.

Figura 62 - Fotomicrografias de cristais de apatita. suas morfologias, inclusões e zoneamentos, como elementos influenciadores nas determinações termocrológicas.



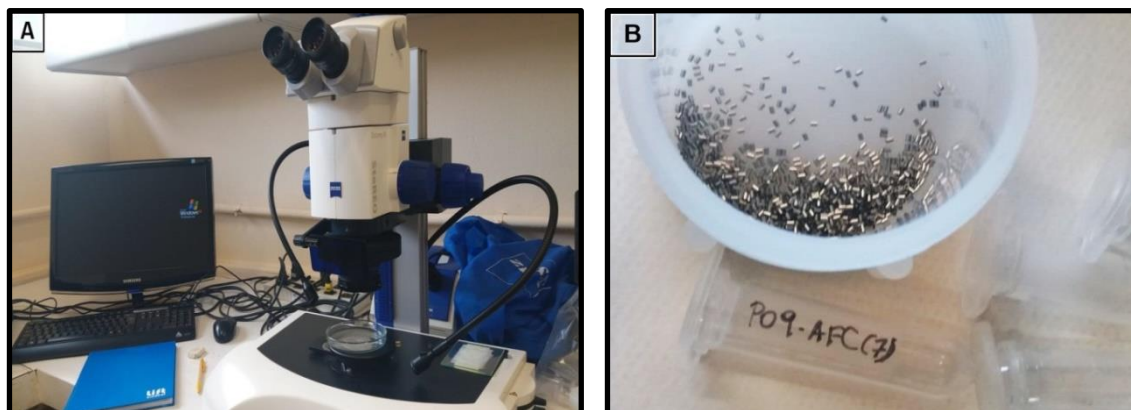
Fonte: Ehlers e Farley (2003).

Notas: “(A) Este painel mostra grãos euédricos que têm morfologia típica apropriada para correção da α -ejeção (superior) e grãos arredondados e anedrais com geometrias muito complexas para aplicar uma correção direta (menor). (B) Um cristal euédrico típico apropriado para correção da α -ejeção, com o comprimento do grão (L) e a seção transversal do prisma (W) indicada. (C-E) Estas três imagens de retroespalhamento de elétrons SEM mostram inclusões comuns em apatita que podem produzir idades He erroneamente altas: Monazita, Zircão e Xenotima. As inclusões em C e D são grandes o suficiente para serem facilmente detectadas em grãos não polidos sob um microscópio binocular, mas as pequenas agulhas de monazita em E não são facilmente detectadas. (F-H) Estas imagens de retroespalhamento SEM mostram zoneamento de elementos maiores e menores (principalmente Y, Ce, La, Si e P). As regiões brilhantes são enriquecidas em Y, Ce e La, e análises de ICP-MS mostram que esses elementos se correlacionam fortemente com U e Th nessas apatitas. Assim, essas imagens são indicativas de zonação em U e Th. Note que zonações normais, invertidas e irregulares podem ocorrer e cada uma terá um efeito diferente e potencialmente grande nas idades He. Nos painéis A e C-E, a barra de escala está em μm ; nos painéis B e F- H, os grãos de apatita têm $\sim 300 \mu\text{m}$ de comprimento” (EHLERS e FARLEY, 2003).

Estas idades em torno de 90 Ma apontam para um intervalo de temperatura de 60 a 80°C, onde a zona de anelamento parcial da apatita (*partial annealing zone* – PAZ; análise AFT; FIGURA 62) coincide com a zona de retenção parcial (*partial retention zone* - PRZ) do 4He (análise (U-Th)/He), envolvendo um

contexto termal não suficiente a regularizar as concentrações do 4He nas apatitas. Em decorrência, a idade de 65,1 Ma sugere uma subsequente etapa de exumação/denudação.

Figura 63 - Equipamentos utilizados no laboratório de termocronologia da Unesp-Rio Claro.



Fonte: Dados da pesquisa

Notas: A) Lupa para separação dos melhores grãos de apatita e computador para, com auxílio de *softwares* específicos, fazer a medição desses grãos e obtenção de fotografias; B) Grãos de apatita encapsulados e armazenados no *ependorf*, separados e identificados por amostra.

6.4 Os dados termocronológicos (U-Th)/He obtidos *versus* idades AFT de outras áreas do Estado do Ceará e cercanias.

Os dados coligidos (TABELA 18) comparados com aqueles de análises AFT exibidos por Cavalcante (2006, TABELA 19), para área sob influências da Zona de Cisalhamento Senador Pompeu (FIGURA 65, Área 2), pode-se considerar a primeira idade como relacionada ao grupo de idades de 111,6 - 91,0 Ma e a segunda ao grupo de 70,1-36,5 Ma; sendo o registro em torno de 90 Ma considerado como a culminação das fases mais importantes da deriva entre os continentes Sul-Americano e Africano, do Cretáceo Inferior ao Superior (MIZUSAKI *et al.* 2002).

Em decorrência, este valor em torno de 90 Ma, reflete o término de resfriamento regional (70°C a 90°C), envolvendo importantes oscilações verticais, da litosfera continental no Nordeste Brasileiro, acontecido entre 130 ou 100 e 90 Ma (MORAES NETO *et al.*, 2000; MORAES NETO, HEGARTY e KARNER, 2006; CAVALCANTE, 2006). Por sua vez, a idade de ca. 65 Ma obtida no presente estudo (TABELA 18) não condiz com um aquecimento regional acontecido entre 90 e 30 Ma, conforme assinalado por Cavalcante (2006); sendo, todavia, coerente com um

“resfriamento denudacional que começou no Cretáceo Superior (80–60 Ma)” (HARMAN *et al.* 1998, apud MORAIS NETO *et al.* 2009a). Deve-se levar em conta, também: - o evento transpressional na Bacia Potiguar e o de soerguimento do Maastrichtiano, relacionados ao Cretáceo Superior e posteriores a abertura do Atlântico Equatorial (FREIRE *et al.*, 2012); e – os dois eventos paleotermiais assinalados por Mojzeszowicz (2009) para a Província Borborema, com base em análises de traços de fissão em apatitas, inerentes a dois eventos de resfriamento, um ocorrido entre o Albiano e o início do Cenomaniano (110 – 80 Ma) e outro com início no Eopaleogeno (66 Ma). Evento de resfriamento em torno de 60 Ma, com base em termocronologia U-Th-Sm/He em apatitas, tem sido registrado em áreas da margem continental sudeste do Brasil.

Para a região da Bacia Jaibaras (Figura 65, Área 4), Godoy (2010) apresenta idades AFT que variam entre 158 Ma, 116 Ma e 85 Ma, portanto em conformidade com aquelas que têm sido determinadas para outras áreas da Província Borborema (MORAES NETO, HEGARTY e KARNER, 2006; MORAES NETO *et al.*, 2008, 2009a; MOJZESZOWICZ, 2009); assinala, também, as idades de

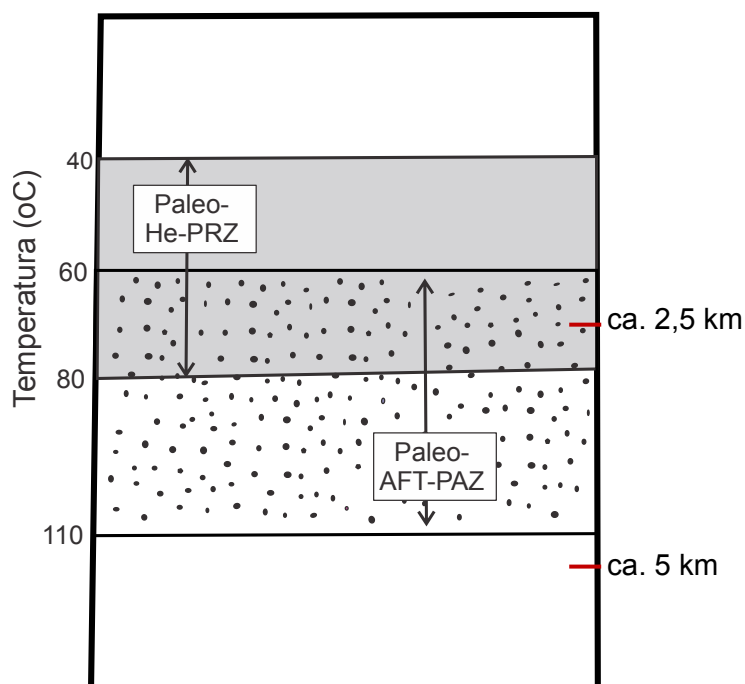
Tabela 18– Dados relativos à datação U-Th/He em apatita de rocha descrita como episienito.

Sample name	aliquot	Width 1 W (um)	Width 2 W (um)	Length N (um)	Term.	Raius (um)	R=W/2	Density (g/cm3)
AFG1	10	129,25	196,16	32,11	1	32,18	64.63	3,2E-12
AFG1	22	147,06	263,64	34,84	2	35,46	73.53	3,2E-12
AFG1	24	122,46	206,44	20,79	2	23,28	61,23	3,2E-12
	Volume (um ³)	Mass (mg)	Raw (U-Th-Sm)/He age (Ma)	Analytical error	Ft	Corrected (U-Th-Sm)/He age (Ma)	(+/-) estimated	
AFG1	639397,88	0,002	51,7	0,04	0,79	65,1	0,6	
AFG1	1060898,64	0,003	72,5	0,06	0,83	87,8	0,7	
AFG1	412793,14	0,001	71,0	0,06	0,79	90,1	0,8	
	U (ppm)	Th	Sm	Th/U	4He (ncc/g)	Ft	Age (Ma)	
AFG1	70,09	53,61	46,48	0,77	1.07E-09	0,79	65,1	
AFG1	72,20	58,29	48,16	0,81	2.58E-09	0,83	87,8	

Fonte: Dados da pesquisa.

Notas: U(ppm) – teor de urânio medido, Th(ppm) teor de tório, Th/U – razão de tório e urânio, 4He – total de He extraído, mass (mg) – peso dos minerais analisados, Ft – correção da idade U-Th/He. Os resultados das análises de (U-Th)/He em apatitas. eU (uranio efetivo) é calculado como [U ppm] + (0.237*[Th ppm]; fator de correção, segundo Farley *et al.* [1996], assumindo distribuição homogênea de U e Th; incerteza estimada é igual a incerteza analítica 2σ que inclui as incertezas de medição do U, Th e He; idade AHe corrigida = idade bruta (raw)AHe / Ft.

Figura 64 - Superposição das zonas de anelamento parcial (*partial annealing zone* – PAZ; análise AFT) e de retenção parcial (*partial retention zone* - PRZ) do 4He (análise (U-Th)/He).



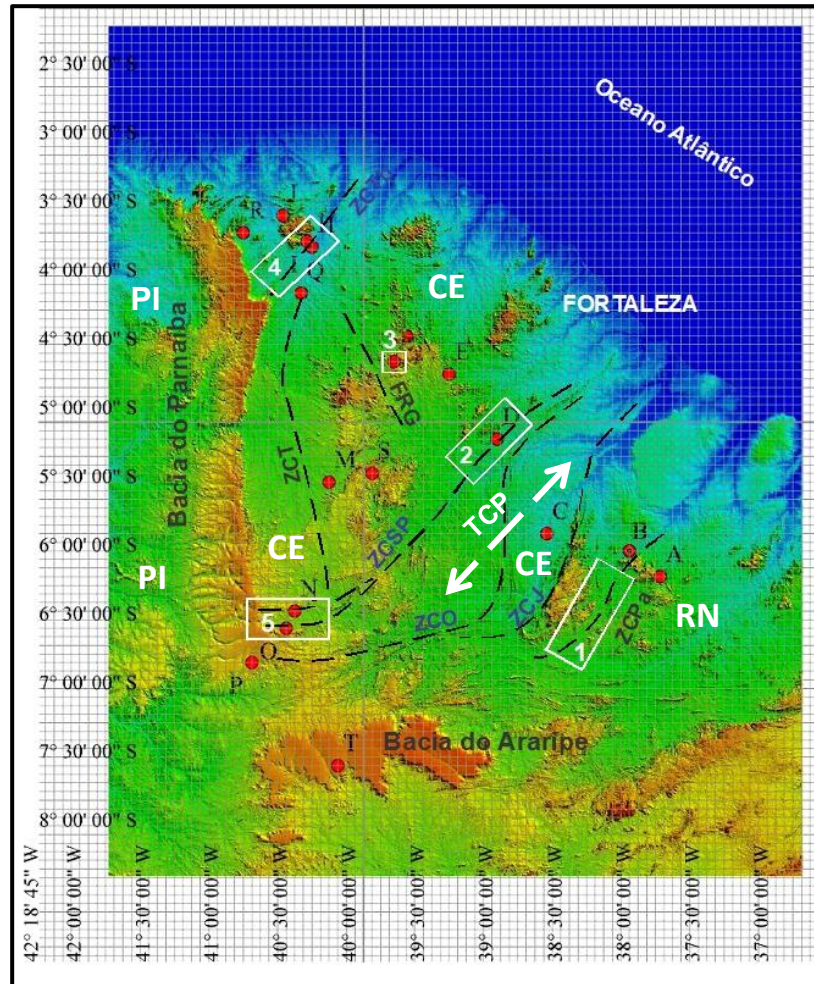
Fonte: construção baseada nas figuras 60 e 61 e em Stockl *et al.* (2000).

Tabela 19 - Resultados analíticos das idades por traços de fissão em apatitas da região da Zona de Cisalhamento Senador Pompeu.

Amostra	Altitude (m)	Nº de cristais	Idade aparente (Ma)	Idade corrigida (Ma)
SP06	103	17	67,3 ± 49,2	111,6 ± 22,8
SP44	247	12	82,4 ± 6,3	108,2 ± 8,8
SP18	171	41	66,3 ± 4,6	96,1 ± 8,1
SP11	94	37	71,2 ± 6,4	94,6 ± 9,4
SP23	180	102	68,1 ± 4,4	91,0 ± 6,1
SP24	212	53	23,8 ± 2,8	36,5 ± 6,9
SP41	153	40	44,7 ± 3,6	62,9 ± 6,3
SP12	141	07	45,9 ± 8,0	64,1 ± 11,8
SP04	63	94	46,1 ± 3,5	67,3 ± 5,9
SP36	224	58	43,2 ± 3,2	67,6 ± 8,8
SP34	217	42	48,1 ± 4,5	70,1 ± 7,6
SP15	150	23	82,2 ± 10,4	b
SP42	155	05	77,3 ± 11,5	b

Fonte: Cavalcante (2006).

Figura 65 – Áreas com estudos termocronológicos AFT delimitadas sobre imagem de relevo SRTM (90 m), envolvendo todo o Estado do Ceará (CE) e porção ocidental do Rio Grande do Norte (RN) e oriental-nordeste do Piauí (PI).



Fonte: dados da pesquisa.

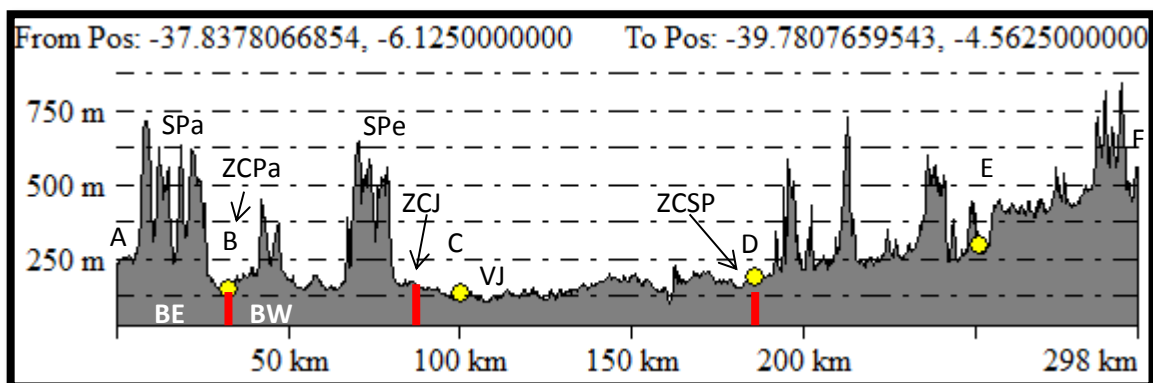
Notas: A a P e T) pontos de referências para seções topográficas; 1 a 5) áreas com idades termocronológicas AFT (1- Portalegre, 2 – Quixada; 3 – Itaitaia, 4 – Baía Jaibaras e 5 – Baía Cococi); zonas de cisalhamento Portalegre - ZCPa, Senador Pompeu - ZCSP, Orós – ZCO, Tauá - ZCT e Transbrasiliana ou Sobral-Pedro II - ZCTb.; *Trend* (Zona de Afinação Crustal) Cariri-Potiguar - TCP; Falha Rio Groairas – FGR.

100 e 60 Ma para “uma época que, segundo Morais Neto *et al.* (2008), foi a principal época de soerguimento do *Plateau* da Borborema”.

Ainda, pode-se somar as informações de Nobrega (2004) relacionadas a uma área situada às proximidades da fronteira oeste do Estado do Ceará (Área 1, FIGURA 65), num segmento crustal com marcantes referenciais de oscilações

crustais meso-cenozóicas, desde a Bacia Potiguar, ao N, até a Bacia Rio do Peixe, ao S. Nesta, o autor sugere uma história térmica onde o bloco Oeste (FIGURAS 65 e 66) sofreu um resfriamento linear a partir de 230 Ma, cessado “em 140 Ma, por um período de estabilidade com aquecimento, com pico em 45 Ma, e seguido de um resfriamento linear até o presente”. Considerando o bloco Leste, o autor aventa um resfriamento linear a 105 Ma, com taxa de soerguimento relativa de 42 m/Ma, processo finalizado pelo início de um processo de aquecimento, “iniciado por volta de 60 Ma e com pico de aquecimento em 25 Ma”. Desta narrativa, extrai-se uma parcial compatibilidade de evolução termal entre o bloco E da Zona de Cisalhamento Portalegre e o segmento crustal onde insere-se a Jazida de Itataia; ficando dúvidas sobre o citado aquecimento de 60-25 Ma.

Figura 66 - Seção topográfica Serra de Portalegre (RN) – Fazenda Itataia (CE).



Fonte: dados da pesquisa.

Notas: A) Região de Portalegre-RN; SPa) Serra de Portalegre; SPe) Serra do Pereiro; VJ) – Vale do Jaguaribe; F) Fazenda Itataia-CE; Zonas de cisalhamento Portalegre - ZCPa (B); Jaguaribe – ZCJ e Senador Pompeu - ZCSP (D – ponto no segmento Quixeramobim-Quixadá); BE) Bloco Leste; BW) Bloco Oeste; na Área 1 (Figura 65), os dados obtidos por Nobrega (2004) mostram para o intervalo 100 - 250 m uma maior incidência dos valores de ca. 90 a ca.145Ma, enquanto para o intervalo 450-550m tem-se valores de ca. 170 a ca. 250 Ma, com as idades entre 300 e 390 Ma (3 amostras) relacionadas a amostras de afloramentos de altimetrias entre 200 e 550m; na Área 2 (Figura.65) as amostras analisadas por Cavalcante (2006) são de afloramentos situados entre as altitudes de 250 e 60 m (Tabela 19), com idades AFT nos intervalos de ca.130 - ca.60 Ma e ca. 60 - ca. 30 Ma (uma única idade) ou, considerando-se a margem de erro e excluindo-se a idade de $36,4 \pm 6,9$ Ma, seria de $133,4 - 84,9$ Ma e $77,7 - 52,3$ Ma; na Área 3 (Figura 65), amostras colhidas em cotas em torno de 500 m, idade AFT de ca.90 Ma e (U-Th)/He de ca. 65 Ma e ca. 90 Ma; B-D) seção entre a ZCPa e a ZCSP envolvendo o principal segmento do *Trend* (Zona de Afinamento Crustal) Cariri-Potiguar, de evolução cretácica.

7 GEOCROLOGIA

A amostra do dique máfico Itataia-Morrinhos objeto de análise cronorradiométrica U-Pb em zircões foi processada, em todas as suas etapas, no Laboratório de Geocronologia da UNB, envolvendo equipamentos LA-ICPMS (*Laser Ablation – Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry*), *Netune + New Wave UP-213*, com padrões *GI + Plešovice*. Incorporando-se ao processo computacional o método/suplemento *Chronus* (Oliveira, 2015), em sua versão 2.0.0-alpha.3, direcionado à redução (tratamento) dos dados U-Pb. Em relação aos zircões *Plešovice* (Sláma *et al.* 2008)⁷, foram utilizadas 17 unidades (TABELA 20) com cronologia média $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ de 326 Ma e uma idade concórdia de 336.2 ± 2.7 Ma, com MSWD = 1.4 (FIGURA 67). No processo, levando-se em conta os zircões do exemplar do dique em questão, foram descartados, para efeito dos cálculos das idades, valores de parte (25) dos zircões analisados (alguns em decorrência do elevado ^{204}Pb). No geral, com base na Tabela 21, a maioria das idades $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ não exibe valor inferior a 564 Ma, ficando uma maior porcentagem no intervalo de 2.300-1.800 Ma (Era Paleoproterozóico do Período Riaciano ao Orosiriano); onde os registros neoproterozóicos são de 564, 610, 676, 776, 783 e 958 Ma.

De acordo com a Figura 68, as idades relativas aos interceptos superiores, entre ca. 2.000 e ca. 2.200 Ma, além daquela de ca. 2.695 Ma, encontra marcante compatibilidade com idades dos ortognaisses do Núcleo Paleoproterozóico-Arqueano de Tróia (domínio do Complexo Cruzeta de Cavalcante *et al.*, 2003; onde idades U-Pb de zircões de diversos litotipos, registradas por vários autores, são agrupadas por Costa *et al.*, 2018 - apud Costa, 2018 - como: rochas do embasamento de 2675 ± 64 a 3270 ± 5 ; como registro de um evento acrescionário/pré-colisional entre 2130 ± 3 a 2190 ± 6 ; e como evento colisional de 2036 ± 28 a 2103 ± 3).

No caso da cronologia dos zircões arqueanos, de ca. 2.695 Ma, relaciona-se ao intervalo de tempo que tem sido estabelecido para rochas da Unidade Pedra Branca, do referido complexo (metatonalitos com idades U-Pb SHRIMP de 2698 ± 8 e U-Pb diluição isotópica de 2675 ± 64 ; ARAUJO *et al.* 2017 e FETTER 1999).

⁷ Zircões *Plešovice*: - zircões de referência para LA-ICP-MS, extraídos de amostras de uma fácies de rocha granulítica potássica coletadas na porção sul do *Bohemiano Massif*, em *Plešovice*, na *Czech Republic*.

Tratando-se dos valores relativos aos interceptos inferiores (FIGURA 68), as idades de 635 ± 22 , 594 ± 14 e 551 ± 11 refletem eventos tectono-metamórficos inerentes à evolução neoproterozóica do Sistema de Dobramentos Rio Curú-Independência (Complexo Ceará e cronocorrelatos), onde são registrados zircões metamórficos em torno de 630 Ma e crescimentos metamórficos aos redores dos núcleos de zircões detríticos que apontam para um desenvolvimento de várias fases metamórficas com mecanismos distintos, em 640, 610, 580 e 540 Ma (ARAUJO *et al.*, 2017). Tendo-se para o quartzito de Lagoa do Mato (área SE de Itataia) zircões detríticos que forneceram, predominantemente, idades de 2101 a 2190 Ma, além de idades concordantes $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ de 578, 575 e 540 Ma, em áreas de sobrecrecimentos (ARAUJO *et al.*, *op. cit.*). Em decorrência, as idades U-Pb ora exibidas (TABELA 21 e FIGURA 68) apontam para zircões herdados de uma fonte constituída, predominantemente, de rochas arqueano-paleoproterozóicas metamorfizadas no Neoproterozóico, das quais o magma básico foi contaminado. Assim, nenhuma idade foi reconhecida como dos tempos de cristalização da rocha do dique Itataia-Morrinhos.

Tabela 20 - Valores analíticos de zircões de referência *Plešovice*.

									DWp ⁴
Identifier	206* (%)	²⁰⁴ Pb cps	²⁰⁶ Pb mV ¹	Th/U	²⁰⁶ Pb/ ²⁰⁴ Pb	1s%	²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁶ Pb	1s %	²⁰⁷ Pb/ ²³⁵ U
004-PLESOVICE	0.0146	12	0.0032	0.070	106962	16.43	0.05326	0.46	0.390
005-PLESOVICE	0.0180	14	0.0029	0.069	86672	16.28	0.05322	0.46	0.383
006-PLESOVICE	0.0109	9	0.0034	0.075	143392	19.28	0.05311	0.40	0.391
007-PLESOVICE	0.0114	14	0.0042	0.081	137289	21.54	0.05321	0.46	0.386
008-PLESOVICE	0.0113	11	0.0034	0.114	138322	13.50	0.05335	0.45	0.397
009-PLESOVICE	0.0113	9	0.0035	0.113	138326	13.42	0.05337	0.46	0.389
010-PLESOVICE	0.0161	12	0.0032	0.113	96659	19.67	0.05338	0.41	0.399
017-PLESOVICE	0.0104	7	0.0036	0.067	150567	12.02	0.05491	0.37	0.386
018-PLESOVICE	0.0142	8	0.0025	0.060	110015	11.20	0.05482	0.49	0.378
019-PLESOVICE	0.0122	8	0.0030	0.061	127654	12.49	0.05499	0.37	0.375
020-PLESOVICE	0.0139	12	0.0030	0.062	112281	16.13	0.05438	0.40	0.385
021-PLESOVICE	0.0208	14	0.0025	0.057	75101	17.12	0.05420	0.45	0.381
022-PLESOVICE	0.0220	20	0.0027	0.060	70940	21.44	0.05320	0.40	0.379
023-PLESOVICE	0.0153	11	0.0028	0.064	102236	16.52	0.05362	0.42	0.385
024-PLESOVICE	0.0106	7	0.0027	0.063	146909	23.30	0.05438	0.50	0.387
025-PLESOVICE	0.0097	5	0.0034	0.067	160206	10.13	0.05444	0.48	0.378
026-PLESOVICE	0.0101	6	0.0032	0.101	154911	10.93	0.05430	0.52	0.389

Fonte: informe do Laboratório de Geocronologia da UnB (ver texto).

Notas: Segundo dados laboratoriais, para a configuração das tabelas 2 e 3 foi utilizado o modelo de relatório de dados (com modificações) encontrado em <http://www.plasmage.org/recommendations>.

1- O fator de conversão de mV para CPS é 62500000; 4 - não corrigido para Pb comum; 5 - discordância calculada como $(1 - (\text{idade } ^{206}\text{Pb} / ^{238}\text{U} / \text{idade } ^{207}\text{Pb} / ^{206}\text{Pb})) * 100$. As constantes de decaimento de Jaffey *et al.* (1971).

DWp - *Data for Wetherill plot* (ver continuação).

Continua.

Tabela 20 - Valores analíticos de zircões de referência Plešovice
Continuação.

Data for Wetherill plot ⁴						Ages ⁴				
1s %	²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U	1s %	Rho	²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁶ Pb	2s abs	²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U	2s abs	²⁰⁷ Pb/ ²³⁵ U	2s abs	%U-Pb disc ⁵
0.90	0.0531	0.68	0.75	340	21	333	4	334	5	1.88
0.89	0.0522	0.67	0.75	338	21	328	4	329	5	3.03
0.79	0.0534	0.58	0.73	334	18	335	4	335	5	-0.50
0.82	0.0525	0.56	0.69	338	21	330	4	331	5	2.31
0.80	0.0540	0.54	0.68	344	20	339	4	340	5	1.32
0.80	0.0529	0.55	0.68	344	21	332	4	334	5	3.47
0.80	0.0542	0.58	0.73	345	18	340	4	341	5	1.50
0.74	0.0510	0.52	0.71	409	16	321	3	332	4	21.52
0.80	0.0500	0.51	0.64	405	22	315	3	326	4	22.33
0.70	0.0494	0.47	0.67	412	16	311	3	323	4	24.51
0.72	0.0513	0.47	0.65	387	18	322	3	330	4	16.67
0.75	0.0509	0.46	0.62	379	20	320	3	327	4	15.60
0.72	0.0517	0.48	0.66	337	18	325	3	326	4	3.69
0.75	0.0521	0.50	0.66	355	19	327	3	331	4	7.82
0.81	0.0516	0.52	0.64	387	22	324	3	332	5	16.11
0.81	0.0504	0.54	0.66	389	22	317	3	326	5	18.62
0.82	0.0520	0.52	0.63	383	23	327	3	334	5	14.74

Fonte: informe do Laboratório de Geocronologia da UnB (ver texto).

Notas: Segundo dados laboratoriais, para a configuração das tabelas 2 e 3 foi utilizado o modelo de relatório de dados (com modificações) encontrado em <http://www.plasmage.org/recommendations>; 1) O fator de conversão de mV para CPS é 62500000; 4) não corrigido para Pb comum; 5) discordância calculada como $(1 - (\text{idade } ^{206}\text{Pb} / ^{238}\text{U} / \text{idade } ^{207}\text{Pb} / ^{206}\text{Pb})) * 100$; constantes de decaimento de Jaffey *et al.* (1971).

Tabela 21 - Resultados U-Pb (LA-ICPMS) para zircões da amostra AF-11 (“diabásio” do dique Itataia-Morrinhos).

Identifier	206* (%)	²⁰⁴ Pb cps	²⁰⁶ Pb mV ¹	Th/U	²⁰⁶ Pb/ ²⁰⁴ Pb	1s%	²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁶ Pb	1s %	DWp ⁴ ²⁰⁷ Pb/ ²³⁵ U
Idade 1.9 Ga									
017-ZR13	0.0141	6	0.0028	0.145	108343	12.53	0.11825	0.38	5.664
048-ZR37	0.1803	44	0.0013	0.165	8624	41.72	0.07646	0.97	1.349
061-ZR48	0.0114	10	0.0016	0.465	133717	66.17	0.11813	0.59	5.624
065-ZR50	0.0171	14	0.0036	0.367	89203	23.97	0.11835	0.47	5.738
Idade 2.0 Ga									
005-ZR3	0.0098	13	0.0051	0.153	155181	18.24	0.12438	0.36	6.070
006-ZR4	0.0111	13	0.0025	0.694	137197	57.53	0.12408	0.37	6.097
016-ZR12	0.0294	9	0.0014	0.267	51917	14.76	0.12442	0.43	5.892
032-ZR26	0.0820	20	0.0015	0.432	18586	27.13	0.12231	0.47	5.853
033-ZR27	0.0515	8	0.0009	0.319	29551	18.12	0.12381	0.54	5.936
034-ZR28	0.0234	8	0.0019	0.419	65259	14.02	0.12000	0.49	5.404
035-ZR29	0.0269	5	0.0013	0.497	56515	11.74	0.12517	0.50	6.283
036-ZR30	0.0926	8	0.0004	0.564	16821	11.71	0.06083	0.83	0.767
046-ZR35	0.0214	12	0.0022	0.382	71020	17.22	0.12340	0.47	5.902
058-ZR45	0.0158	10	0.0024	0.550	96418	14.60	0.12164	0.45	5.507
069-ZR54	0.0248	7	0.0014	0.435	61549	13.26	0.12052	0.43	5.304
074-ZR59	0.0072	9	0.0048	0.681	211259	15.39	0.12157	0.47	5.679
Idade 2.1 Ga									
004-ZR2	0.1201	17	0.0006	0.519	12662	25.69	0.13221	0.60	6.558
011-ZR9	0.1631	8	0.0003	0.006	9545	19.29	0.06089	2.06	0.833
012-ZR10	0.0291	16	0.0026	0.134	52138	30.02	0.13256	0.60	6.709
020-ZR16	0.0502	14	0.0015	0.466	30117	22.00	0.13385	0.47	7.254
028-ZR22	0.0097	14	0.0036	0.051	157688	35.44	0.12910	0.44	6.096
030-ZR24	0.0155	8	0.0022	0.195	98368	28.10	0.12934	0.50	6.367
043-ZR32	0.0255	17	0.0024	0.364	59384	22.67	0.13205	0.43	6.877
049-ZR38	0.2942	125	0.0095	0.041	5228	12.62	0.12416	0.53	4.611
053-ZR40	0.4194	115	0.0061	0.027	3680	6.75	0.11706	0.47	3.740
054-ZR41	0.1757	45	0.0022	0.089	8858	56.06	0.07254	1.20	1.105
068-ZR53	0.0113	10	0.0015	0.177	134300	68.79	0.13127	0.42	6.633
071-ZR56	0.0028	6	0.0091	0.068	534234	15.38	0.13399	0.37	7.055
072-ZR57	0.0111	10	0.0034	0.481	137543	14.82	0.12832	0.49	5.573
Idade 2.6 Ga									
009-ZR7	0.0127	9	0.0033	0.285	117280	15.78	0.17993	0.43	11.838
015-ZR11	0.1580	4	0.0002	0.307	9821	12.64	0.07208	1.11	1.593
029-ZR23	0.0354	14	0.0015	0.655	42171	18.37	0.17748	0.42	11.253
045-ZR34	0.0137	15	0.0024	0.370	109147	30.30	0.17744	0.46	11.336
047-ZR36	0.8212	187	0.0053	0.453	1852	4.34	0.15698	0.56	7.710
050-ZR39	0.0111	10	0.0033	0.416	133166	16.51	0.18523	0.45	12.715

Fonte: dados da pesquisa.

Notas: 1) O fator de conversão de mV para CPS é 62500000; 4) não corrigido para Pb comum; 5) discordância calculada como $(1 - (\text{idade } 206\text{Pb} / 238\text{U} / \text{idade } 207\text{Pb} / 206\text{Pb})) * 100$; constantes de decaimento de Jaffey *et al.* (1971).

Continua.

Tabela 21- Resultados U-Pb (LA-ICPMS) para zircões da amostra AF-11 (“diabásio” do dique Itataia-Morrinhos).

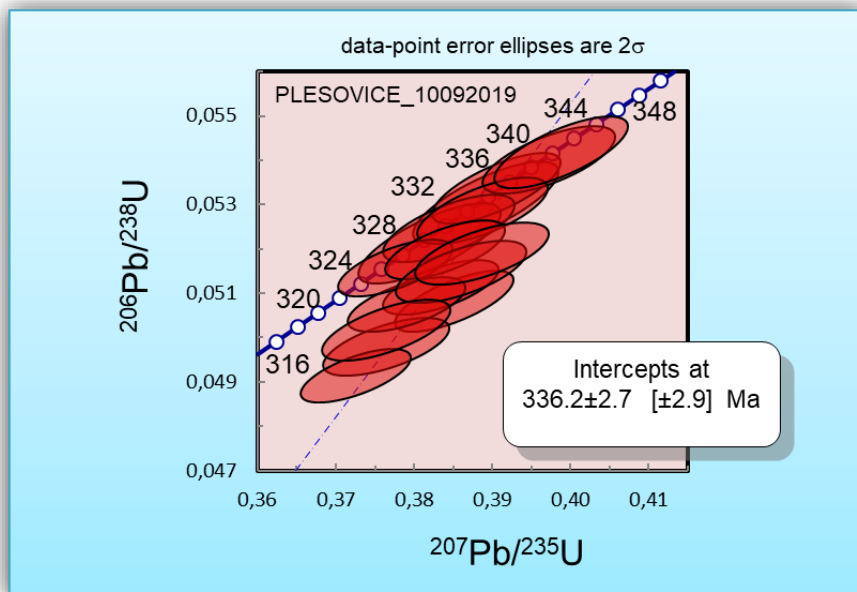
Continuação

Data for Wetherill plot ⁴						Ages ⁴				
1s %	²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U	1s %	Rho	²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁶ Pb	2s abs	206Pb/238U	2s abs	²⁰⁷ Pb/ ²³⁵ U	2s abs	% U-Pb disc ⁵
0.75	0.3474	0.53	0.71	1930	14	1922.098	18	1926	13	0.41
1.17	0.1280	0.53	0.46	1107	39	776.3419	8	867	14	29.87
0.98	0.3452	0.69	0.70	1928	21	1911.87	23	1920	17	0.85
0.83	0.3516	0.57	0.69	1931	17	1942.39	19	1937	14	-0.56
0.77	0.3539	0.58	0.75	2020	13	1953.272	19	1986	13	3.31
0.74	0.3563	0.52	0.70	2016	13	1964.821	18	1990	13	2.52
0.79	0.3435	0.54	0.69	2021	15	1903.312	18	1960	14	5.80
0.85	0.3470	0.59	0.70	1990	17	1920.496	20	1954	15	3.50
0.93	0.3477	0.66	0.71	2012	19	1923.457	22	1966	16	4.40
0.85	0.3266	0.59	0.70	1956	17	1821.847	19	1885	15	6.87
0.97	0.3640	0.74	0.76	2031	18	2001.117	25	2016	17	1.48
1.11	0.0915	0.64	0.58	633	35	564.3365	7	578	10	10.87
0.80	0.3469	0.52	0.65	2006	17	1919.568	17	1962	14	4.31
0.79	0.3283	0.53	0.68	1980	16	1830.291	17	1902	14	7.58
0.87	0.3192	0.65	0.75	1964	15	1785.748	20	1870	15	9.07
0.77	0.3388	0.48	0.63	1979	17	1880.846	16	1928	13	4.98
1.15	0.3597	0.90	0.79	2127	21	1980.888	31	2054	20	6.89
2.38	0.0992	1.13	0.48	635	87	609.7788	13	615	22	4.01
0.92	0.3670	0.59	0.64	2132	21	2015.309	20	2074	16	5.48
0.81	0.3931	0.54	0.67	2149	16	2136.987	20	2143	14	0.56
0.79	0.3425	0.54	0.69	2086	15	1898.54	18	1990	14	8.97
0.84	0.3570	0.58	0.68	2089	17	1968.124	19	2028	15	5.78
0.78	0.3777	0.53	0.68	2125	15	2065.488	19	2096	14	2.82
0.93	0.2693	0.67	0.72	2017	19	1537.367	18	1751	15	23.77
0.91	0.2317	0.69	0.75	1912	17	1343.408	17	1580	15	29.73
1.54	0.1105	0.88	0.57	1001	48	675.7619	11	756	16	32.49
0.80	0.3665	0.58	0.72	2115	15	2012.752	20	2064	14	4.84
0.74	0.3819	0.51	0.70	2151	13	2084.963	18	2118	13	3.06
1.11	0.3149	0.92	0.83	2075	17	1764.97	29	1912	19	14.95
0.75	0.4771	0.49	0.65	2652	14	2514.777	20	2592	14	5.18
1.50	0.1602	0.94	0.63	988	45	958.0592	17	967	19	3.06
0.80	0.4598	0.57	0.71	2629	14	2438.817	23	2544	15	7.25
0.91	0.4633	0.69	0.76	2629	15	2454.231	28	2551	17	6.65
1.04	0.3562	0.80	0.77	2423	19	1964.023	27	2198	19	18.96
0.79	0.4978	0.52	0.67	2700	15	2604.493	22	2659	15	3.55

Fonte: dados da pesquisa.

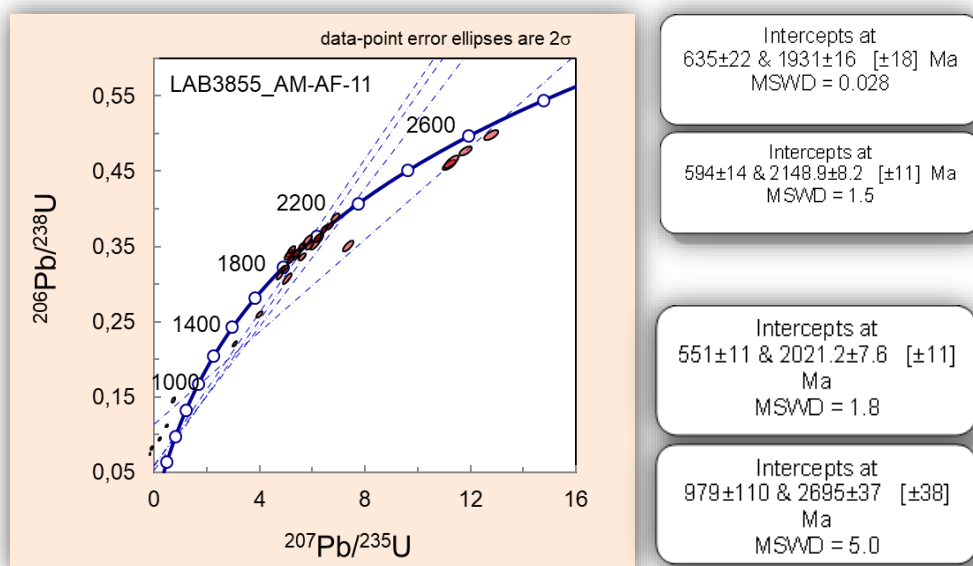
Notas: 1) O fator de conversão de mV para CPS é 62500000; 4) não corrigido para Pb comum; 5) discordância calculada como $(1 - (\text{idade } 206\text{Pb} / 238\text{U} / \text{idade } 207\text{Pb} / 206\text{Pb})) * 100$; constantes de decaimento de Jaffey *et al.* (1971).

Figura 67 - Diagrama concordia para zircões *Plešovice*.



Fonte: Informe do Laboratório de Geocronologia da UnB (ver texto).

Figura 68 - Diagrama concórdia para zircões da amostra AM-AF-11 (“diabásio” do dique Itataia-Morrinhos)..



Fonte: dados da pesquisa.

8 CONCLUSÕES

Com base nos principais temas do presente estudo, desenvolvidos entre os capítulos 4 e 7, conclui-se:

- a) Em termos da química mineral, os anfibólios relacionados à uma rocha anfibolítica, de provável derivação sedimentar, revelam para suas partes centrais, de tonalidades castanhas, composições do grupo cálcico, subgrupo A ($\text{Na} + \text{K} < 0,5$; $\text{Ti} < 0,5$, representados pela magnésio-hornblenda e edinita-hornblenda; enquanto isto, porções das bordas, de tonalidades azuladas, plotam no campo dos anfibólios alcalinos, sendo incluídos no subgrupo com A ($\text{Na} + \text{K} < 0,5$, referente à arfvedsonita. Este zoneamento mineral revela um processo onde anfibólios do subgrupo cálcico foram objetos de parciais transformações metassomáticas (acresção de Na, Si, Fe, Ti e depleção de Ca, Mg, etc). No que diz respeito as apatitas extraídas de rocha anfibolítica, diabásio, paragnaisses, além da colofana distribuída em “manchas” e veios na rocha anfibolítica, revelaram composições da fluorapatita de alto F e baixo a baixíssimo (ou mesmo zero) Cl e U. Mesmo na colofana, os teores de P_2O_5 , concentrados em torno de 40 (wt. %), são inferiores aos de outras rochas (exceto uma de diabásio), enquanto o U_2O_2 não chega a ser expressivo, apenas mostrando alguns valores superiores a 0,1 wt. % (limite máximo para apatitas das demais rochas).
- b) A rocha ígnea máfica constituinte do dique Itataia-Morrinhos, descrita petrograficamente como diabásio, exhibe composição química de andesitos basálticos (ou de uma zona transicional entre estes e os andesitos), pertencentes a série subalcalina-toleítica de alto-Ti e com indicadores de contaminação de materiais da litosfera continental. Em função dos dados litoquímicos, é correlacionável à uma importante fração das rochas do Enxame de Diques Ceará-Mirim e da Formação Sardinha; mostrando-se, por outro lado, com teores de elementos maiores e traços díspares, quando confrontados com aqueles de rochas vulcânicas hidrotermalizadas, do mesmo enxame de diques e descritas por Cavalcante e Bessa (2011), onde destacam-se os elevados teores de P ($\text{P}_2\text{O}_5 > 25$) e U.

- c) As idades resultantes das análises (U-Th)/He em apatitas extraídas de um corpo de episenito, com valores em torno de 90 Ma (compatível à idade de traços de fissão de apatita de uma brecha carbonosa da Jazida de Itataia), reflete um estágio superior do evento de resfriamento regional da litosfera continental do Nordeste Brasileiro, acontecido entre 100 e 90 Ma (Cenomaniano-Turoniano: 100,5 – 89,8 ±0,3 Ma), num intervalo de tempo onde insere-se o magmatismo Cuó (idade de ca. 93 Ma e de ocorrências esparsas em áreas orientais externas ao Domínio Ceará Central - DCC) e o final da sedimentação Exu na Bacia do Araripe. Quanto ao valor termocronológico de ca. 65 Ma, encontra-se no intervalo do “evento intermediário de resfriamento”, da transição Cretáceo Superior–Eocene Inferior (65–50 Ma), sugerido por Moraes Neto *et al.* (2009). Este contexto aponta para a necessidade de estudos detalhados sobre a tipologia e indicadores termais das apatitas cristalinas do colofanito de Itataia (existem cristais de apatitas herdadas inseridas no material amorfo formado, predominantemente, abaixo de 110°C?).
- d) Com os números da geocronologia radiométrica (U-Pb em zircões, não foi possível precisar a idade de cristalização do dique máfico Itataia-Morrinhos; contudo, as populações de zircões herdados, de idades pré-cambrianas (predominantemente paleoproterozóicas, entre ca. 2000 e ca. 2200), reforçam o sinalizado pela litoquímica, relativo a uma contaminação do magma durante sua ascensão na crosta continental.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, F. F. M. *et al.* Províncias estruturais brasileiras. *In: SIMPÓSIO GEOLOGIA DO NORDESTE*, 8, 1977, Campina Grande, **Atas...** Campina Grande-PB: SBG/ Núcleo Nordeste, p. 363-391, 1977.

ALMEIDA, A. R.; PARENTE, C. V.; ARTHAUD, M. H. **Geologia da Folha Itatira; SB.24-V-B-V, escala 1:100.000: nota explicativa integrada com Quixeramobim e Boa Viagem.** Programa Geologia do Brasil, CPRM - Serviço Geológico do Brasil (parceria com a UFC), Secretaria de Geologia, Mineração e Transformação Mineral, Ministério de Minas e Energia, UFC-CPRM, Fortaleza, 196 p., 2008.

ALMEIDA, C. N. *et al.* Caracterização geológica e geoquímica das intrusões de rochas metamáficas e félsicas nos mármores do Sul do Espírito Santo. **Revista Brasileira de Geociências**, São Paulo, 42(2): 245-264, jun. 2012. Disponível em: www.sbgeo.org.br. Acesso em: 09 abr. 2019.

AMARAL, W. S. **Integração de dados aerogeofísicos e geológicos e sua contribuição a evolução geodinâmica do Domínio Ceará Central, Província Borborema.** 2007, 165p. Dissertação (Mestrado em Geologia) – Instituto de Geociências, Universidade de Campinas, Campinas-SP, 2007.

AMARAL, W. S. *et al.* U-Pb, Lu-Hf and Sm-Nd geochronology of rocks from the Forquilha Eclogite Zone, Ceará Central Domain, Borborema Province, NE-Brazil. *In: VII-SSAGI SOUTH AMERICAN SYMPOSIUM ON ISOTOPE GEOLOGY*, 2010, Brasília. **Extended Abstracts...** Brasília: SBGq, p. 113-116, 2010. 1 CD-ROM.

ANGEIRAS, A. G.; NETO, A. M.; CAMPOS, M. Mineralização fósforo-uranífera, associada a epissienitos sódicos no Pré-Cambriano cearense. *In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA*, 30, Recife, **Anais...** Recife: SBG, 1978. v. 1, p. 341., 1978.

ANGELIM, L. A. A.; MEDEIROS, V. C.; NESI, J. R. **Mapa geológico do Estado do Rio Grande do Norte.** Projeto Geologia e Recursos Minerais do Estado do Rio Grande do Norte, CPRM/FAPERN, Recife, 2006. 1 mapa, color., Escala 1:500.000.

ARARIPE, P. T.; FEIJÓ, F. J. Bacia Potiguar. **Boletim de Geociências da Petrobras**, Rio de Janeiro, v. 8, n. 1, p. 127-141, jan.-mar.1994.

ARAUJO. C. E. G. de; PINÉO, T.R.G. **Mapa Geológico: Folha Novo Oriente, SB.24-V-C-VI.** Estado do Ceará. Programa Geologia do Brasil, CPRM - Serviço Geológico do Brasil, Secretaria de Geologia, Mineração e Transformação Mineral Ministério de Minas e Energia, 2011. 1 mapa, color. Escala 1:100.000.

ARAUJO. C. E. G. de. *et al.* Tracing Neoproterozoic subduction in the Borborema Province (NE-Brazil): clues from U-Pb geochronology and Sr-Nd-Hf-O isotopes on granitoids and migmatites. **Lithos**, v. 202-203, p.167-189, may 2014. Disponível em: <http://doi.org/10.1016/j.lithos.2014.05.015>. Acesso em: 28 ago. 2018.

ARAUJO, C. E. G. de, *et al.* U-Pb detrital zircon provenance of metasedimentary rocks from the Ceará Central and Médio Coreau Domains, Borborema Province, NE-Brazil: Evidence for a long-lived Neoproterozoic active continental margin. In: Schmitt, R.S.; Trouw, R.; Carvalho, I.S.; Collins, A. (eds). **GONDWANA 14, Abstracts...** Rio de Janeiro: Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, p. 79, 2011.

ARAUJO, C. E. G. de, *et al.* Geochemistry and $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ zircon ages of granitoids from the southern portion of the Tamboril-Santa Quitéria granitic-migmatitic complex, Ceará Central Domain, Borborema Province (NE Brazil). **Journal of South American Earth Sciences**, 33 (1):21-33, jul. 2011.

ARAÚJO, C. E. G.; NALETO, J. L. C. **Mapa Geológico: Folha Mombaça, SB.24-V-D-V.** Estado do Ceará. Programa Geologia do Brasil, CPRM - Serviço Geológico do Brasil, Secretaria de Geologia, Mineração e Transformação Mineral, Ministério de Minas e Energia, 2014. 1 mapa, color. Escala 1:100.000.

ARTHAUD, M. H. *et al.* Caracterização estrutural e radiométrica da *Nappe* de Itatira, Ceará Central. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 42. 2004, Araxá-MG, **Anais...** Belo Horizonte: SBG, 2004. 1CD-ROM.

ARTHAUD, M. H. **Evolução Neoproterozóica do Grupo Ceará (Domínio Ceará Central, NE Brasil): Da Sedimentação À Colisão Continental Brasileira.** 2007. 170 p. Tese (Doutorado em Geologia) - Instituto de Geociências, Universidade de Brasília, Brasília, 2007.

ARTHAUD, M. H. **Mapa Geológico: Folha Itatira, SB.24-V-B-V.** Estado do Ceará. Programa Geologia do Brasil, CPRM - Serviço Geológico do Brasil, Secretaria de Geologia, Mineração e Transformação Mineral, Ministério de Minas e Energia, Contrato CPRM-UFC, 2008. 1 mapa, color. Escala 1:100.000.

BENIMOFF, A. I.; PUFFER, J. H. **The Uniform Composition of CAMP Diabase Types and the Absence of Wall Rock Contamination at Northern New Jersey and Staten Island , New York Locations.** New York State Geological Association Guidebook, New York, p.4-58, 2001. Disponível em: <http://www.nysga-online.net/wp-content/uploads/2018/07/2001.pdf>. Acesso em 27 abr. 2019.

BASEI, M. A. S. Contribution of SHRIMP U–Pb zircon geochronology to unravelling the evolution of Brazilian Neoproterozoic fold belts. **Precambrian Research** v.183, n.1, p. 112–144, nov. 2010.

BOTELHO, A. C. **Química Mineral e Catodoluminescência de Apatita Magmática como Indicadores de Proveniência Tectônica.** 2017. 42p. Monografia (Graduação em Geologia) – Departamento de Geologia, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2017.

BRAGA, I. F. **Mapa Geológico: Folha Ipueiras, SB.24-V-A-VI.** Estado do Ceará. Programa Geologia do Brasil, CPRM - Serviço Geológico do Brasil, Secretaria de Geologia, Mineração e Transformação Mineral, Ministério de Minas e Energia, 2013, 1 mapa, color. Escala 1:100.000.

BRITO NEVES, B. B. **Regionalização geotectônica do Pré-cambriano nordestino**. 1975. 198 p. Tese (Doutorado em Geologia) - Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1975.

BRITO NEVES, B. B.; SANTOS, E.J.; VAN SCHMUS, W. R. **Tectonic History of the Borborema Province**. In: Cordani U.G., Milani E.J., Thomaz Filho A., Campos D.A. (eds.) Tectonic Evolution of South America. Rio de Janeiro, International Geological Congress, 31, Rio de Janeiro, p. 151-182, 2000.

BRITO NEVES, B. B. *et al.* Idades U-Pb em zircão de alguns granitos clássicos da Província Borborema. **Geologia USP. Série Científica**, São Paulo, v. 3, p. 25-38, ago. 2003.

BRITO NEVES, B. B.; FUCK, R, A; PIMENTEL, M. M. The Brasiliano collage in South America: a review. **Braz. J. Geol.**, v. 44, p. 493-518, sept. 2014.

BRITO NEVES, B. B. *et al.* A preserved early Ediacaran magmatic arc at the northernmost portion of the Transversal Zone central subprovince of the Borborema Province, Northeastern South America. **Braz. J. Geol.**, 2016, vol.46, n.4, pp.491-508, dez. 2016.

BUHN B. *et al.* High spatial resolution analysis of Pb and U isotopes for geochronology by laser ablation multi-collector inductively coupled plasma mass spectrometry (LAMC-ICP-MS). **Anais da Acad. Bras. de Ciências**, 81(1): 99-114, mar. 2009.

CABY, R.; ARTHAUD, M. H. Major Precambrian nappes of the Brazilian Belt. Ceará, Northeast Brazil. **Geology**, n. 14, p. 871-874, oct.1986.

CABY, R.; ARTHAUD, M. H.; ARCHANJO, C. J. Lithostratigraphy and petrostructural characterization of supracrustal units in the Brasiliano Belt of Northeast Brazil: geodynamic implications. In: Silva Filho, A.F. da & Lima, E.S. de (eds.) Geology of the Borborema Province, Northeast Brazil. **Journal of South American Earth Sciences**, 8(3/4):235-246, jul-oct. 1995.

CAMPELO, R. C. **Análise de terrenos na porção setentrional da Província Borborema, do Brasil: integração de dados geológicos e gravimétricos**. 1999. 130 p. Dissertação (Mestrado em Geodinâmica e Geofísica) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 1999.

CAMPOS, M. *et al.* **Projeto Rio Jaguaribe, relatório final**. Brasília, DNPM, 149p. (Série Geologia), 1976.

CASTRO, N. A. **Evolução geológica proterozóica da região entre Madalena e Taperuaba, Domínio Tectônico Ceará Central (Província Borborema)**. 2004, 221 p. Tese (Doutorado em Geologia) – Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2004.

CASTRO, G. L. *et al.* Isotopos de Carbono e Oxigenio dos Mármoreos Associados com o Deposito Fósforo-Uranífero de Itataia, Ceará. **Revista Brasileira de Geociências**, 35(2):199-208, jun. 2005.

CASTRO, N. A.; BASEI, M. A .S.; ONOE, A. T. Phosphorous-uraniferous mineralization at Itataia (Ceara state, Brazil): geological aspects and $40\text{Ar}/39\text{Ar}$ age. SOUTH AMERICAN SYMPOSIUM ON ISOTOPE GEOLOGY, 5, **Anais...** Buenos Aires: Idea Gráfica, 2006. Disponível em: <https://repositorio.usp.br/item/001519795> . Acesso em: 23 abr. 2019.

CASTRO, N. A. *et al.* Ordovician A-type granitoid magmatism on the Ceará Central Domain, Borborema Province, NE-Brazil. **Journal of South American Earth Sciences**, v. 36, p. 18-31, jul. 2012.

CAVALCANTE, A. F. da C. **Novas contribuições sobre a geologia da região de Itataia-CE**. 2016. 89 p. Monografia (Graduação em Geologia) – Departamento de Geologia, Universidade Federal do Ceará, Departamento de Geologia, Fortaleza, 2016.

CAVALCANTE, A. S. A. **Evolução termocronologica do Sistema de Falhas Senador Pompeu-CE**. 2006. 70 p. Dissertação (Mestrado em Geodinâmica e Geofísica), Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2006.

CAVALCANTE, J. C. 1987. **Estratigrafia das folhas Mombaça e Catarina - uma proposta**. 1987. Fortaleza, CPRM/REFO, 15 p. (Relatório Interno)

CAVALCANTE, J. C. A gigafatia crustal Centro Goiana-Hoggar Central, um elemento importante na evolução proterozóica superior-fanerozóica do Brasil-África. In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DO NORDESTE, 15, **Atas...** Natal: SBG/Núcleo Nordeste, 1993, bol. 13, p.311-312. 1993.

CAVALCANTE, J. C. **Limites e evolução geodinâmica do Sistema Jaguaribeano, Província Borborema, Nordeste do Brasil**. 1999. 178p. Dissertação (Mestrado em Geodinâmica e Geofísica) - Centro de Ciências Exatas e da Terra, Departamento de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 1999.

CAVALCANTE, J. C.; GOMES, I. P. O Grupo Novo Oriente no Extremo Oeste do Estado do Ceará, Domínio Setentrional da Província Borborema. In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DO NORDESTE, 20, **Anais...** Fortaleza: SBG/Núcleo Nordeste, 2003, bol. 18, p.311-312, 2003.

CAVALCANTE, J. C. *et al.* **Mapa Geológico do Estado do Ceará**. MME-DNPM/MI-SUDENE/Governo do Estado do Ceará, Fortaleza, 1983. 1 mapa, color. Escala 1:500.000.

CAVALCANTE, J. C. *et al.* **Mapa Geológico do Estado do Ceará**. Convênio CPRM-Serviço Geológico do Brasil, Secretaria de Minas e Metalurgia, Ministério das Minas e Energia x Secretaria de Recursos Hídricos, Governo do Estado do Ceará, 2003. 1 mapa, color. Escala 1:500.000.

CAVALCANTE, J. C. **Geologia Regional**. In: TORRES, P. F. M. *et al.* 2008. Geologia e Recursos Minerais da Folha Quixadá (SB-24-V-B), escala 1:250.000. Programa Geologia do Brasil, CPRM - Serviço Geológico do Brasil, Secretaria de Minas e Metalurgia, Ministério das Minas e Energia, Fortaleza, 2008 (inédito).

CAVALCANTI, J. A. D.; VALE FILHO, D, P. **Mapa Geológico; Folha Parambu, SB.24-Y-A-III**. Estado do Ceará. Programa Geologia do Brasil, CPRM - Serviço Geológico do Brasil, Secretaria de Geologia, Mineração e Transformação Mineral, Ministério de Minas e Energia, 2014. 1 mapa, color. Escala 1:100.000.

CAVALCANTI, J. A. D. **Mapa Geológico: Folha Várzea do Boi, SB.24-V-D-IV**. Estado do Ceará. Programa Geologia do Brasil, CPRM - Serviço Geológico do Brasil, Secretaria de Geologia, Mineração e Transformação Mineral, Ministério de Minas e Energia, 2011. 1 mapa, color. Escala 1:100.000

CAVALCANTI J. A. D.; BESSA M.D.M.R. **A pesquisa de fosfato na área Ceará Central**. 2011. In: Abram *et al.* (eds.). Projeto fosfato Brasil - Parte 1. CPRM-Serviço Geológico do Brasil, Secretaria de Geologia, Mineração e Transformação Mineral,, Ministério das Minas e Energia, Salvador: CPRM, p. 487-518, 2011.

CAVALCANTI, J. A. D. *et al.* Contribution of the karstic environment of the origin of the collophanities of Itataia uranium-phosphorus deposit, Borborema province, Brazil. In: **ICS, Proceedings, Posters**, p. 173-178, 2013. Disponível em: <https://www.researchgate.net>. Acesso em: 25 jul.2016.

CAVALCANTI, J. A. *et al.* A hydrothermal karst-hosted U-P deposit related to Pangea break-up: Itataia deposit, Borborema Province, Northeastern Brazil - a review. 2018. **Journal of the Geological Survey of Brazil**, Rio de Janeiro. 1 (1):43-60, apr. 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.29396/jgsb.2018.v1.n1.4>. Acesso em: 23 abr.2019.

COSTA, F. G. da. **Mapa Geológico: Folha Crateús, SB.24-V-C-III**. Estado do Ceará. Programa Geologia do Brasil, CPRM - Serviço Geológico do Brasil, Secretaria de Geologia, Mineração e Transformação Mineral, Ministério de Minas e Energia, 2011. 1 mapa, color. Escala 1:100.000.

COSTA, F. G. da. *et al.* 2036 Ma SHRIMP zircon age for PGE-Bearing chromitite of the Troia mafic-ultramafic complex, Ceará Central Domain. In: SOUTH AMERICAN SYMPOSIUM ON ISOTOPE GEOLOGY - SSAGI, 9, 2014, São Paulo, **Program and abstracts...** São Paulo: Instituto de Geociências – USP, 2014. p. 164.

COSTA, F. G. da. *et al.* Geology, geochronology and gold metallogenesis of the Serra das Pipocas Granite-Greenstone Terrane, Troia Massif, North Borborema Province, Brazil. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 48, 2016, Porto Alegre, **Anais...** Porto Alegre: SBG, 2016. Disponível em; <http://rigeo.cprm.gov.br/xmlui/bitstream/handle/doc/16882/top8.pdf?sequence=1&isAllowed=y>; Acesso em: 30 jan.2019.

COSTA, F. G. da. *et al.* U-Pb (LA-ICPMS) zircon ages and Nd isotopes for granitoids of the Tamboril-Santa Quitéria Complex, Ceará Central Domain: implication for neoproterozoic syncollisional magmatism in north Borborema Province. **Geologia USP, Série científica**, 13(2):115-174, jun. 2013.

DELGADO, I. de M. *et al.* **Geotectônica do Escudo Atlântico**. In: BIZZI, L. A., Geologia, Tectônica e Recursos Minerais do Brasil L. A. Bizzi, Schobbenhaus, C. , Vidotti R. M., Gonçalves, J. H. (eds.). Geologia, Tectônica e Recursos Minerais do Brasil. 2003. Brasília, CPRM, p. 227-332. 2003.

DUTRA, C. V.; FORMOSO, M. L. L. Considerações sobre os elementos terras raras em apatitas. **Geochimica Brasiliense**, 9(2): 185-199, 1995

EHLERS T. A.; FARLEY K. A. Apatite (U-Th)/He thermochronometry: methods and applications to problems in tectonic and surface processes. **Earth and Planetary Science Letters**, v. 206, p.1-14, jan. 2003.

FAVALI, J. C. **Contribuição ao estudo das mineralizações fosfáticas uraníferas da jazida de Itataia**: nota técnica – EFOR. PM 01/81. Rio de Janeiro, 1982. Relatório NUCLEBRÁS.

FETTER, A. H. **U/Pb and Sm/Nd Geochronological Constraints on the Crustal Framework and Geologic History of Ceará State, NW Borborema Province, NE Brazil: implications for the Assembly of Gondwana**. 1999, 164 p. Tese (PHD), Department of Geology, Kansas University, Kansas, 1999.

FETTER, A. H. *et al.* Evidence for Neoproterozoic continental arc magmatism in the Santa Quitéria Batholith of Ceará State, NW Borborema Province, NE Brazil: implications for the assembly of West Gondwana. **Gondwana Research**, 6(2): 265-273, apr. 2003.

FREIRE, A. F. M. *et al.* Correlação de Eventos Tectono-Magmático-Deposicionais das Bacias Sedimentares Brasileiras. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 46, 2012, Santos-SP, **Anais...**, Seção Poster, Santos: SBG, 2012.

GARCIA, M. G. M.; ARTHAUD, M. H. Caracterização de trajetória P-T em nappes brasilianas: região de Boa Viagem/Madalena – Ceará Central (NE Brasil). **Revista de Geologia**, Universidade Federal do Ceará, 17(2):173-191. dez. 2004.

GODOY, D. F. **Evolução termocronológica por traços de fissão em apatita e zircão das Bacias da Transição Proterozóico-Fanerozóico de Camaquã (RS), Castro (PR), Eleutério (SP/MG), Jaibaras e Cococi (CE)**. 2010. 127 p. Tese (Doutorado em Geologia Regional) - Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2010. Disponível em: <http://hdl.handle.net/11449/103034>. Acesso em: 10 abr. 2016.

GOMES, J. R. de C. *et al.* **Geologia Regional**. In: Projeto Radambrasil; Folha s SB.24/25, Jaguaribe/Natal: geologia, geomorfologia, pedologia, vegetação e uso potencial da terra. Rio de Janeiro. MME/SG, 744p. (Levantamento de Recursos Naturais, v. 23, p. 31-300. 1981.

GONÇALVES, L. C. **Contribuição Geofísica à Análise do Arcabouço Tectônico do Domínio Rio Grande do Norte, Província Borborema – NE Brasil**. 2009, 100 p. Dissertação (Mestrado em Geologia - Área de Concentração em Geofísica Aplicada) - Instituto de Geociências, Universidade de Brasília, Brasília, 2009.

GUIMARÃES, P. M. **Petrografia e litogeoquímica de rochas básicas do poço 1UN-26, porção oriental da Bacia do Parnaíba, Nordeste do Brasil**. 2017, 115p. Monografia (Graduação em Geologia) – Instituto de Geologia-IGEO, Universidade Federal do Rio de Janeiro-UFRJ, Rio de Janeiro, 2017. Disponível em: <https://pantheon.ufrj.br/bitstream/11422/7933/1/GUIMAR%C3%83ES%2C%20P.M.pdf>. Acesso em: 15 jul.2019.

JARDIM DE SÁ, E. F. *et al.* Terrenos proterozóicos na Província Borborema e a margem norte do Cráton São Francisco. **Revista Brasileira de Geociências**, 22(4):472-480, 1992.

JARDIM DE SÁ, E. F. **A Faixa Serido (Província Borborema, NE do Brasil) e o seu significado geodinâmico na Cadeia Brasileira/Pan-Africana**. 1994, 803 p. Tese (Doutorado em Geociências) - Instituto de Geociências, Universidade de Brasília. Brasília-DF. 1994.

JARDIM DE SÁ, E. F.; MEDEIROS, W.E. de; CASTRO, D.L de. Contribuição da gravimetria aos modelos de estruturação crustal da Província Borborema, Nordeste do Brasil. *In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DO NORDESTE*, 17, 1997, Fortaleza, **Atas...** Fortaleza: SBG/Núcleo Nordeste, bol.15, p.352-357, 1997.

LAGES, G. A. L. *et al.* **O Magmatismo Estateriano/Calimianiano e os Ortognaisses Coloete: Indício de Granito Orogênico, Leste da Zona Transversal, Província Borborema**. *In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DO NORDESTE*, 25, 2013, Gravatá, **Atas...** Gravata: SBG/Núcleo Nordeste, p. 509-510, 2013.

LAGES, G. A. L. *et al.* Statherian-Calymian (ca. 1.6 Ga) magmatism in the Alto Moxotó Terrane, Borborema Province, northeast Brazil: Implications for within-plate and coeval collisional tectonics in West Gondwan. **Journal of South American Earth Sciences**, v. 91, p. 116-130, apr. 2019. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0895981118303626>; Acesso em: 15 jul. 2019;

LEAKE, B. E. *et al.* Nomenclature of amphiboles: Report of the subcommittee on amphiboles of the International Mineralogical Association, commission on new minerals and mineral names. **The Canadian Mineralogist**, 35(1):219-246, 1997..

LE BAS, H. *et al.* A chemical classification of volcanic rocks based on the total alkali-silica diagram. **Journal of Petrology**, v.27, n.3, 1986.

LOPES, D. N.; LOPES, R. N. S. Avaliação do Background da Mina de Itataia-Ceará em Processo Pré-exploratório. **HOLOS**, Ano 34, v. 02, p. 26-38, 2018. Disponível em: <http://www2.ifrn.edu.br/ojs/index.php/HOLOS/issue/view/140>. Acesso em: 20 fev. 2019.

MACÊDO FILHO, A. A. *et al.* A Província Magmática do Atlântico Equatorial (EQUAMP), NE do Brasil. *In: XVI SIMPÓSIO NACIONAL DE ESTUDOS TECTÔNICOS, X INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON TECTONICS. Anais...*

Salvador: SBG, (s.n.), 2017. Disponível em:

https://www.researchgate.net/publication/327270865_A_Provincia_Magmatica_do_Atlantico_Equatorial_EQUAMP_NE_do_Brasil.

Acesso em: 18 jul. 2019.

MENDONÇA, J. C. G. S. *et al.* Caracterização estratigráfica dos metassedimentos da região de Itataia – Ceará (Grupo Itataia). *In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA*, 32, 1982, Salvador. **Anais...** Salvador: SBG, v. 1, p. 325–338, 1982,

MENDONÇA, J. C. G. S. *et al.* **Jazida de Urânio de Itataia-CE**. 1985. *In: Principais depósitos minerais do Brasil*. Ministério de Minas e Energia, Departamento Nacional da Produção Mineral, Brasília, v.1, p. 121-131, 1985.

MONIÉ, P.; CABY, R.; ARTHAUD, M.H. The Neoproterozoic Brazilian orogeny in northeast Brazil: $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ and petrostructural data from Ceará. **Precambrian Research**, v. 81, p. 241-264, febr, 1997.

MORAIS NETO, J. M. *et al.* Uplift and erosion in the Borborema Province, Northeast Brazil: insights from apatite fission track analysis. *In: INTERNATIONAL GEOLOGICAL CONGRESS*, 31. Rio de Janeiro, **Abstract...** Rio de Janeiro: SBG, p. GS 18.1, 2000.

MORAIS NETO, J. M.; HEGARTY, K.; KARNER, G.D. Abordagem preliminar sobre paleotemperatura e evolução do relevo da bacia do Araripe, nordeste do Brasil, a partir da análise de traços de fissão em apatita. **Boletim de Geociências da Petrobras**, 14 (1):113–11, mai. 2006.

MORAIS NETO, J. M. *et al.* Age of the Serra do Martins Formation, Borborema Province, northeastern Brazil: constraints from apatite and zircon fission track analysis. **Boletim de Geociências da Petrobras**, 16(1):23-52, mai. 2008.

MORAIS NETO, J. M. *et al.* Timing and mechanism for the generation and modification of the anomalous topography of Borborema Province, Northeast Brazil. **Marine and Petroleum Geology**, 26(7): 1070-1086, aug. 2009a.

MORAIS NETO, J. M. Termocronologia aplicada a estudos de exumação regional: Ferramentas, limitações e aplicação na Borborema oriental. *In: XIII SIMPÓSIO NACIONAL DE ESTUDOS TECTÔNICOS, VII INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON TECTONICS*. Campinas-SP, SBG, 2009b.

MIZUSAKI, A. M. P. *et al.* Mesozoic and Cenozoic Igneous Activity and its Tectonic Control in Northeastern Brazil. **Journal of South American Earth Sciences**, 15:183-198, jun. 2002.

MOJZESZOWICZ, A. G.. **Evolução da tectônica rúptil no nordeste do Brasil baseada na termocronologia por traço de fissão em apatita**. 2009, 64 p. Monografia (Graduação em Geologia) - Instituto de Geologia, Universidade Estadual Paulista –UNESP, Rio Claro, 2009.

NGONGE, E. D. *et al.* Petrology of continental tholeiitic magmas forming a 350-km-long Mesozoic dyke swarm in NE Brazil: Constraints of geochemical and isotopic data. **Lithos**, v.258-259, p.228-252, abr. 2016.

NOGUEIRA, J.F. **Estrutura, geocronologia e alojamento dos batólitos de Quixadá, Quixeramobim e Senador Pompeu – Ceará Central**. 2004, 123 p. Tese (Doutorado em Geologia) – Instituto de Geologia, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2004.

OLIVEIRA, J.F.; CAVALCANTE, J.C. (orgs.). **Texto Explicativo da Folha Mombaça, SB.24 -V-D-V (Escala 1:100 000)**. Programa Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil, DNPM/CPRM, Brasília, 185 p. 1989.

PADILHA A. L. *et al.* Magnetotelluric soundings in NE Brazil: Constraints for dual subduction zones with opposite polarity beneath the NW Borborema province. *In: INTERNATIONAL CONGRESS OF THE BRAZILIAN GEOPHYSICAL SOCIETY*, 13, Rio de Janeiro, p.26-29, 2013. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/269250443>; Acesso: 08/06/2017.

PARENTE, C. V.; ARTHAUD, M. H. O Sistema Orós-Jaguaribe no Ceará-NE do Brasil. **Revista Brasileira de Geociências**, 25(4): 297-305, dez.1995.

PARENTE *et al.* Depósitos de escarnitos mineralizados em ferro e cobre do arco magmático de Santa Quitéria, Ceará, Província Borborema do nordeste do Brasil. **Brazilian Journal of Geology**, 45(3): 359-382, set. 2015.

PEREIRA, F. S. *et al.* Stock Lagoa de Dentro, Domínio Macururé, Sistema Orogênico Sergipano: Geologia, Petrografia e Geoquímica. **Scientia Plena**, v. 13, n.2, p. 13-25, fev. 2017.

PITOMBEIRA, J.P.A. *et al.* Vestiges of a continental margin ophiolite type in the Novo Oriente region, Borborema Province, NE Brazil. **Journal of South American Earth Sciences**, v.73, p.78-99, jan.2017, Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0895981116302899?via%3Dihub>. Acesso em: 23 abr. 2018.

PITOMBEIRA, J. P. ; AMARAL, W. S. Geoquímica e Geocronologia do Complexo Granito-Migmatítico Palmácia-Pacatuba-Maranguape, Porção NE do Domínio Ceará Central. *In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DO NORDESTE*, 27, João Pessoa. **Anais...**, João Pessoa: SBG/Núcleo Nordeste, s.n., 2017. Disponível em: <http://www.geologiadordeste.com.br/anais/>. Acesso em: 26 abr. 2019.

PESSOA, R. R. *et al.* Contribuição ao estudo da evolução geocronológica do Macico de Tróia – CE. *In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DO NORDESTE*, XII, João Pessoa. **Atas...** João Pessoa: SBG/Núcleo Nordeste, p. 75-83, 1986.

SÁ, J. M. Augen gnaisses vs augen gnaisses da Faixa Jaguaribeana, NE do Brasil: estratigrafia, geoquímica e idades U -Pb. *In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DO NORDESTE*, 17, Fortaleza, **Resumos Expandidos...** Fortaleza: SBG/Núcleo Nordeste, bol. 15, p.113-117, 1997.

SÁ, J. M. *et al.* U-Pb and Sm-Nd data of the Rhyacian and Statherian Orthogneisses from Rio Piranhas-Seridó and Jaguaribeano Terranes, Borborema Province, Northeast of Brazil. **Geologia USP. Série Científica**, revista, v. 14, p. 97-110, 2014.

SANCHES, A. L. **O Fosforito Proterozóico da região de Irecê (Bahia): Caracterização Cristalográfica e Química**. 1997, 93 p. Dissertação (Mestrado em Metalogênese) - Instituto de Geociências, Universidade Federal da Bahia, Salvador, 1997.

SANTOS, T. J. S. *et al.* Nd isotopes and the provenance of metasediments of the Itataia Group, Northwest Borborema Province, NE Brazil. *In: SOUTH AMERICAN SYMPOSIUM ON ISOTOPE GEOLOGY*, 4., 2003, Salvador. **Short Papers**, Salvador: CBPM; IRD, p. 286-289. 2003.

SANTOS, T. J.; GARCIA, M. G.; AMARAL, W. S. Relics of eclogite facies assemblages in the Ceara Central Domain, NW Borborema Province, NE Brazil: Implications for the assembly of West Gondwana. **Gondwana Research**, v. 15, n. 3-4, p. 454-470, jun. 2009.

SANTOS, T. J. dos. *et al.* U-Pb age of the coesite-bearing eclogite from NW Borborema Province, NE Brazil: Implications for western Gondwana assembly. **Gondwana Research**, v. 28, n.3, p.1183-1196, oct. 2015.

SANTOS E. J. dos. Ensaio preliminar sobre terrenos e tectônica acrescionária na Província Borborema. *In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA*, 39, Salvador, **Anais...** Salvador: SBG, v. 6, p. 47-50, 1996.

SANTOS E. J. dos. *et al.* Terranes and their boundaries in the Proterozoic Borborema Province, NE Brazil. *In: SIMPOSIO NACIONAL DE ESTUDOS TECTONICOS*, 7., Lençóis, Bahia. **Anais...** Lençóis: SBG. p. 121-124, 1999.

SANTOS, E. J. dos; NUTMAN A.;P.; BRITO NEVES, B.B. de. Idades SHRIMP U-Pb do Complexo Sertânia: Implicações Sobre a Evolução Tectônica da Zona Transversal, Província Borborema. **Geologia USP. Série Científica**, revista, **São Paulo**, 4 (1): 1-12, abr, 2004.

SANTOS, T. J. S dos. *et al.* Neoproterozoic tectonic and magmatic episodes in the NW sector of the Borborema Province, NE Brazil, during assembly of western Gondwana. **Journal of South American Earth Sciences**, 25(3): 271-284, may 2008.

SANTOS, E. J dos. *et al.* Paleoproterozoic Juvenile Accretion in the Alto Moxotó Terrane, Borborema Province, Northeast Brazil. *In: SOUTH AMERICAN SYMPOSIUM OF ISOTOPIC GEOLOGY*, 6, Bariloche. **Proceedings...** Bariloche. p. 425- 428. 2008.

SANTOS, E. J. dos. *et al.* The Cariris Velhos tectonic event in northeast Brazil. **Journal of South American Earth Sciences**, v. 29, p. 61-76, jan. 2010.

SANTOS E. J. dos. *et al.* **Metalogênese das porções norte e central da província Borborema**. In: Silva, M. da G. da; Rocha Neto, M.B. da; Jost, H.; Kuyumjian, R, M. (Orgs.), *Metalogênese das províncias tectônicas brasileiras*. CPRM-Serviço Geológico do Brasil, Secretaria de Minas e Metalurgia, Ministério das Minas e Energia, Belo Horizonte, p.343-388, 2014.

SANTOS, L. C. M. de L. **O Paleoproterozoico (2.3 A 1.6 Ga) do Terreno Alto Moxotó, Província Borborema: Significado e implicações para o Gondwana Ocidental**. 2012, 110p. Dissertação (Mestrado em Geologia) - Instituto de Geociências, Universidade de Brasília, Brasília, 2012.

SANTOS, L. C. M. L. *et al.* Early to late Paleoproterozoic magmatism in NE Brazil: the Alto Moxoto Terrane and its tectonic implications for the pre-West Gondwana assembly. **Journal of South American Earth Sciences**, 58, 188-209, mar.2015.

SILVA, J. R. A. **Caracterização hidrogeológica da Jazida de Itataia, Ce**. 2003, 156 p. Dissertação (Mestrado em Geologia) - Departamento de Geologia, Centro de Ciências, Universidade Federal do Ceará-UFC, Fortaleza, 2003.

SILVA, A. G. da *et al.* The petrogenesis of tholeiitic diábases in eastern Parnaíba Basin: evidence for geochemical heterogeneities in the subcontinental lithospheric mantle in NE Brazil. **Brazilian Journal of Geology**, 47(1): 109-126, mar. 2017.

SILVA-SILVA, L. C; GORAYEB, P.S. de S; GALARZA, M. A. A Suíte Granítica Uruburetama no Arco Magmático Santa Quitéria – Norte da Província Borborema. In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DO NORDESTE, 27, 2017, João Pessoa. **Resumos...** João Pessoa: SBG/Núcleo Nordeste, 2017. Disponível em: http://www.geologiadordeste.com.br/safetyarea/v3.0/trabalhos/resumo_pdf/314.pdf. Acesso em 03 fev. 2019.

SILVA, C. D. A. da. **Prospecção Geológica e Geofísica das Ocorrências de Cu-Fe-P do tipo IOCG, Borda Oeste do Arco Magmático de Santa Quitéria, Ipaporanga/Ce**. 2016, 123 p. Dissertação (Mestrado em Geologia) - Departamento de Geologia, Centro de Ciências, Universidade Federal do Ceará-UFC, Fortaleza, 2016.

TORRES P. F. M. *et al.* Aspectos Geológicos, Petrográficos e Geoquímicos dos Mármore Dolomíticos com Nódulos de Quartzo da Sequência Metavulcano-Sedimentar de Acarape-Ce. **Revista Brasileira de Geociências**, São Paulo, 36 (4): 748-760, dez. 2006.

TORRES, P. F. M. *et al.* **Geologia e Recursos Minerais da Folha Quixadá (SB-24-V-B), escala 1:250.000**. Programa Geologia do Brasil, CPRM - Serviço Geológico do Brasil, Secretaria de Minas e Metalurgia, Ministério das Minas e Energia, Fortaleza, 2008 (inédito).

UCHÔA FILHO, E. C. *et al.* Petrografia da Sequência Metaultramáfica de Novo Oriente-CE: Vestígios de um ofiolito transicional ou uma margem passiva pobre em magma. **Revista de Geologia**, Fortaleza, 27(1):19-37, jan-jun. 2014.

VAN SCHMUS, W. R. S. *et al.* U/Pb and Sm/Nd geochronological studies of the eastern Borborema Province, northeastern Brazil: initial conclusions. **Journal of South America Earth Sciences**, 8 (3-4): 267-288, jul- oct. 1995.

VERÍSSIMO, C. U. V. *et al.* The Itataia phosphate-uranium deposit (Ceará, Brazil) new petrographic, geochemistry and isotope studies. **Journal of South America Earth Sciences**. v. 70, p. 115-144, oct. 2016.

VIANA, C. M. de P. *et al.* Perfil Municipal 2017 – Santa Quitéria. IPECE- SEPLAG, Governo do Estado do Ceará, Fortaleza, 18 p., jan. 2018.

ZHANG, C. *et al.* Apatite in the dike-gabbro transition zone of mid-ocean ridge: Evidence for brine assimilation by axial melt lens. **American Mineralogist**, v.102, p. 558–570, mar. 2017.

Obs: As referenciais relativas aos gráficos litoquímicos, excetuando-se aquela relacionada a Ngonge *et al.* (2016), foram extraídas diretamente do *Software PetroGraph* versão 1.05, desenvolvido por M. Petrelli.