

EVOLUÇÃO MAGMÁTICA DA INTRUSÃO BÁSICA NO POÇO 1UN30 E SUA INTERAÇÃO COM O ARENITO ENCAIXANTE, NA PORÇÃO NORTE DA BACIA DO PARNAÍBA (N E NE DO BRASIL)

MAGMATIC EVOLUTION OF BASIC INTRUSION IN THE WELL 1UN30 AND ITS INTERACTION WITH THE ENCLOSING SANDSTONE, IN THE NORTHERN OF THE PARNAÍBA BASIN

Juliana Ferreira GODOT SOUZA¹, Cícera Neysi de ALMEIDA², Reiner NEUMANN³, Leonardo Fonseca BORGHI DE ALMEIDA², Julio Cezar MENDES¹, Silvia Regina de MEDEIROS¹, Sérgio Castro VALENTE⁴ Alan Wanderley de Albuquerque MIRANDA⁴, Artur CORVAL⁴, Francisco de Assis NEGRI⁵

¹Universidade Federal do Rio de Janeiro. Graduação em Geologia. Avenida Athos da Silveira Ramos, 274 - Cidade Universitária, Ilha do Fundão. Rio de Janeiro – RJ. E-mail: julianagodot@hotmail.com

²Universidade Federal do Rio de Janeiro. Departamento de Geologia. CCMN. Avenida Athos da Silveira Ramos, 274 - Cidade Universitária, Ilha do Fundão Rio de Janeiro – RJ. E-mails: neysi@geologia.ufrj.br, lborghi@geologia.ufrj.br; julio@geologia.ufrj.br; silvia@geologia.ufrj.br

³CETEM Centro de Tecnologia Mineral, Coordenação de Análises Minerais, Setor de Caracterização Tecnológica. Avenida Pedro Calmon, 900 - Cidade Universitária, Ilha do Fundão. Rio de Janeiro - RJ.
E-mail: rneumann@cetem.gov.br

⁴Universidade Federal Rural do de Janeiro. Instituto de Agronomia, Departamento de Geociências. Rodovia BR 465 Km 7. Cidade Universitária. Seropédica – RJ.
E-mails: sergio@ufrj.br; alanmirandageo@gmail.com; corvalgeo98@gmail.com

⁵Instituto Geológico do Estado de São Paulo, Centro de Geologia e Meio Ambiente. Avenida Miguel Stéfano, 3900. Água Funda. São Paulo – SP. E-mail: negri.francisco@gmail.com

Introdução
Geologia Regional
Materiais, Métodos e Técnicas
Resultados
 Descrição resumida do Poço 1UN30
 Petrografia
 Química Mineral
 Piroxênio
 Plagioclásio
MEV-EDS
Litogeoquímica
Conclusões e Considerações Finais
Agradecimentos
Referências

RESUMO - Este trabalho desenvolveu-se através dos resultados das análises petrográficas, químicas e litogeoquímicas do testemunho do poço 1UN30, perfurado na Bacia do Parnaíba. A petrografia aponta: a rocha ígnea como de textura glomeroporfirítica e mineralogia essencial de plagioclásio e piroxênio, com olivina e minerais opacos acessórios; o arenito como quartzo arenito a subarcóseo com arcabouço de quartzo, K-feldspato e minerais opacos, e interstícios preenchidos por tremolita e argilominerais. A rocha ígnea, pela litogeoquímica, é um basalto toleítico intraplaca. Análises em MEV no arenito apontaram os argilominerais como do grupo illita-smectita e identificaram minerais do grupo da clorita. Pelas texturas e química dos grãos, identifica-se duas fases de formação de plagioclásio. Uma mais cálcica ocorre como núcleos corroídos, zonados e de textura peneira grossa. A outra consiste nas bordas dos núcleos corroídos ou em cristais isolados, zonados e com textura peneira fina. Conclui-se que a rocha foi formada por quatro eventos evolutivos: primeira fase de cristalização; descompressão rápida, durante a ascensão da câmara magmática; mistura com magma mais quente, rico em cálcio; e segunda fase de cristalização. A interação com o magma formou tremolita e argilominerais no arenito encaixante, com preservação do aspecto sedimentar prévio, em um processo denominado diagênese de contato.

Palavras-chave: Bacia do Parnaíba, Formação Sardinha, Basalto, Evolução magmática, Diagênese de Contato.

ABSTRACT - This work was developed as a result of petrographic, chemical and litogeochemical analysis of the 1UN30 well, drilled in the Parnaíba Basin. The petrography indicates that the igneous rock has glomeroporphyritic texture and essential mineralogy of plagioclase and pyroxene with olivine and opaque minerals as accessories. The sandstone is a quartzarenite to subarkose with framework of the quartz, K-feldspar and opaque minerals, and interstices filled by tremolite and clay minerals. The igneous rock, by litogeochemical, is an intraplate tholeiitic basalt. Analysis of MEV pointed the clay minerals as belonging to the illite-smectite group and identified minerals of chlorite group. Through the textures and chemical analysis of the grains, two phases of plagioclase formation are identified. The most calcic phase occurs as corroded and zoned core with thick sieve textured. The other consists at the edges of corroded cores or in isolated crystals, zoned and with fine sieve texture. It concludes that the rock was formed by four evolutionary events: the first phase of crystallization; rapid decompression during rising of the magma chamber; mix with a warmer and rich in calcium magma; and the second phase of crystallization. The interaction with the magma formed tremolite and clay minerals in the sandstone, maintaining the anterior sedimentary aspect, in a process called contact diagenesis.

Keywords: Parnaíba Basin, Sardinha Formation, Basalt, Magmatic Evolution, Contact Diagenesis.

INTRODUÇÃO

Localizada no Nordeste do Brasil, a Bacia do Parnaíba é constituída por sucessões sedimentares cortadas por intrusões basálticas que se apresentam sob a forma de diques e soleiras e compreendem à Formação do Mosquito, de idade triássica/jurássica, e à Formação Sardinha, de idade cretácea (Almeida *et al.*, 2000). Esta associação de rochas ígneas e sedimentares está relacionada com sistemas petrolíferos não convencionais, onde as intrusões magmáticas desempenham um papel de catalisador na geração de hidrocarbonetos, além de servirem na sua vedação e retenção (Abelha, 2013).

Trabalhos anteriores acerca do magmatismo na Bacia do Parnaíba abordam principalmente dados obtidos a partir de amostras de superfície (eg. Bellieni *et al.*, 1990; Merle *et al.*, 2011),

havendo unicamente o trabalho de da Silva *et al.* (2017) que trata amostras de subsuperfície. Seu número é, portanto, insuficiente dada a importância econômica dessas rochas. Para suprir essa demanda, o presente artigo apresenta novos dados petrográficos, litogeoquímicos e de química mineral obtidos a partir da análise do testemunho de um poço (1UN30) perfurado anteriormente pelo Projeto Carvão da Bacia do Parnaíba (1975) realizado pela CPRM (Serviço Geológico do Brasil). Tais dados permitiram o estudo da evolução magmática da intrusão de rocha básica reconhecida no poço, além da interação desta com o arenito encaixante. Conhecimentos considerados de grande importância para a melhor compreensão dos sistemas petrolíferos da Bacia do Parnaíba.

GEOLOGIA REGIONAL

A bacia do Parnaíba é uma bacia intracratônica fanerozóica localizada no Norte/Nordeste do Brasil, nos estados do Piauí, Maranhão, Tocantins e Pará (Almeida *et al.*, 2000). Compreende uma extensa área deposicional com cerca de 600.000km² de extensão e aproximadamente 3.500m de espessura em seu depocentro (Vaz *et al.*, 2007).

Sua evolução litoestratigráfica começou no final do Cambriano/início do Ordoviciano com a deposição de sedimentos siliciclásticos imaturos (Grupo Jaibaras) sobre riftes e grábens, recém-formados no contexto do rifteamento de Laurentia e Báltica (Bond *et al.*, 1984; Oliveira & Mohriak, 2003). Segundo Goes *et al.* (1990), a Bacia do Parnaíba pode ser dividida em quatro superseqüências sedimentares separadas por discordâncias regionais bem marcadas. Na porção basal há a seqüência siluro-ordoviciano (Grupo Serra Grande), a seqüência devoniana (Grupo Carindé) e a seqüência carbonífero-permiana (porção basal do Grupo Balsas). Associadas a elas, houve dois episódios de intenso magmatismo básico correlacionáveis com eventos de ruptura de

supercontinentes. O primeiro ocorrido no Triássico-Jurássico (Formação Mosquito) gerou também áreas de acomodação onde depositaram-se os sedimentos clásticos que compõe a Formação Pastos Bons. O segundo episódio data do Cretáceo e constitui a Formação Sardinha. Sobrepostos a esses cinco eventos, há a seqüência cretácea, cuja deposição associa-se a ciclos transgressivos correlacionados à abertura do Oceano Atlântico Sul.

Na análise estrutural da Bacia do Parnaíba destacam-se três feições morfo-estruturais principais, os lineamentos Picos-Santa Inês (NW-SE), Transbrasiliano (NE-SW) e Tocantins-Araguaia (N-S; Oliveira & Mohriak, 2003). Durante sua evolução, desde o Ordoviciano até o início do Carbonífero, as direções dos eixos deposicionais foram controladas por fraturas e falhas herdadas do embasamento. A partir deste período, houve um deslocamento dos depocentros da bacia para sua porção central e o padrão de sedimentação passou a ser concêntrico até o Jurássico. A forma externa da bacia assumiu uma morfologia ovalada, típica do tipo sinéclise (Vaz *et al.*, 2007).

MATERIAIS, MÉTODOS E TÉCNICAS

O material analisado são amostras coletadas em diferentes profundidades do poço 1UN30, perfurado no município de Anapurus (MA) pelo Projeto Carvão da Bacia do Parnaíba (1975) realizado pela CPRM (Serviço Geológico do Brasil). O testemunho do poço (Figura 1) encontra-se alocado na litoteca do 4º distrito do

DNPM (Departamento Nacional de Pesquisa Mineral), na cidade de Recife, estado de Pernambuco (Brasil). As amostras coletadas são quatro (Figura 1). Duas da intrusão ígnea e duas da rocha sedimentar encaixante na região próxima ao contato. As profundidades são, respectivamente, 380,20m, 380,00m, 379,85m e 379,50m.

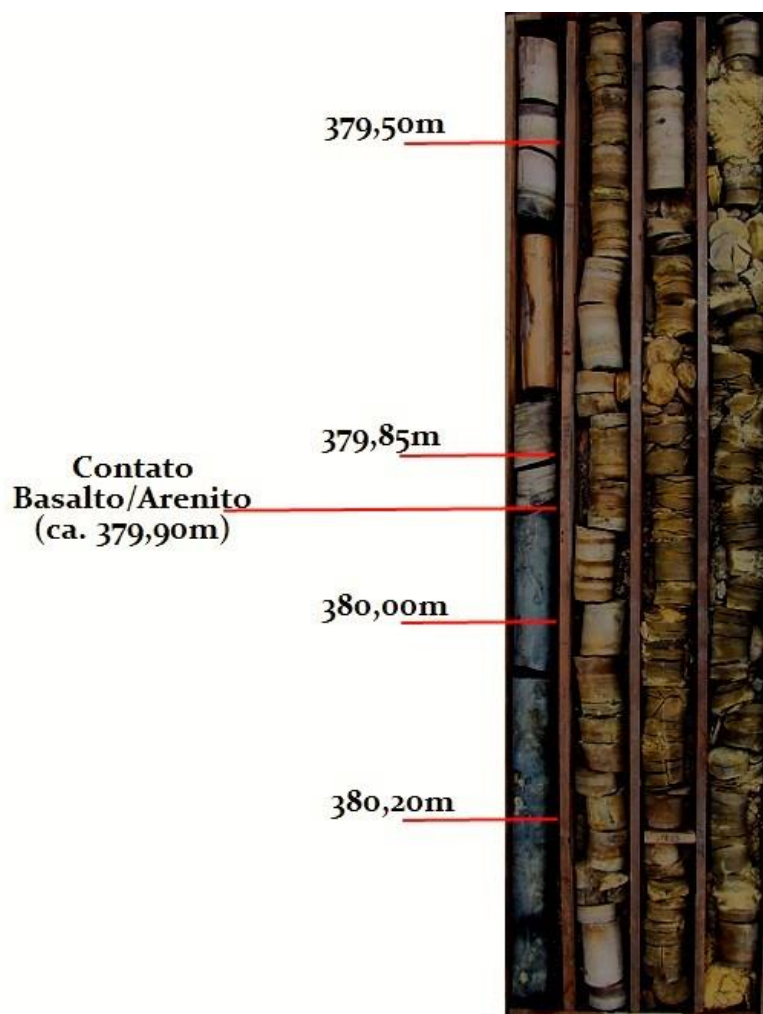


Figura 1 - Foto do testemunho do poço 1UN30 com as profundidades das amostras coletadas e o contato com a intrusão destacados.

A análise petrográfica consistiu na descrição das quatro lâminas em microscópio óptico de luz polarizada do modelo Carl Zeiss Axio imager A.1. Para as lâminas de rocha ígneas, os aspectos observados e identificados foram granulagem, textura, mineralogia e índice de cor. Devido à granulagem fina das rochas não foi possível determinar sua composição modal. Já na descrição das lâminas sedimentares identificou-se a granulometria, angulosidade dos grãos, tipos de contatos e composição mineralógica da rocha. Sua classificação baseou-se no diagrama de Dott (1964). Para o estudo da química mineral, revestiu-se as lâminas com uma película de carbono e então empregou-se as técnicas analíticas de microsonda eletrônica (JEOL, modelo JXA 8230) e MEV-EDS (Microscopia Eletrônica de Varredura acoplada com microanálise química por fluorescência de raios X).

As duas lâminas de rocha magmática foram submetidas à microsonda eletrônica, onde visou-se a amostragem química da olivina, do piroxênio e do plagioclásio. As condições

analíticas da microsonda foram: voltagem de 15KeV, corrente de 20nA, diâmetro de feixe de 1 micrômetro e correção ZAF O conteúdo de SiO_2 , Al_2O_3 , FeO_t , CaO , Na_2O e K_2O foi analisado para o plagioclásio e de SiO_2 , Al_2O_3 , TiO_2 , FeO_t , MgO , MnO , CaO e Cr_2O_3 para os cristais de piroxênio. O avançado estado de alteração da olivina impediu a sua análise e dificultou a análise de piroxênio. No total, foram analisados cinco cristais de piroxênio pertencente à matriz, com pontos feitos na borda e no núcleo dos grãos. No entanto, apenas foram considerados resultados satisfatórios (mais de 95% de confiabilidade) em 6 dos 10 pontos realizados (Tabela 1). Quanto ao plagioclásio, analisou-se 14 fenocristais, com amostragem de perfil para os grãos que apresentavam zoneamento e de borda e núcleo para os demais (Tabela 2). Todos os pontos de plagioclásio apresentaram resultados satisfatórios. Os padrões de plagioclásio estavam de acordo com *Plagioclase An-65 (Astimex Scientific Limited)* e os de piroxênio segundo o *Cr-Augita Smithsonian*.

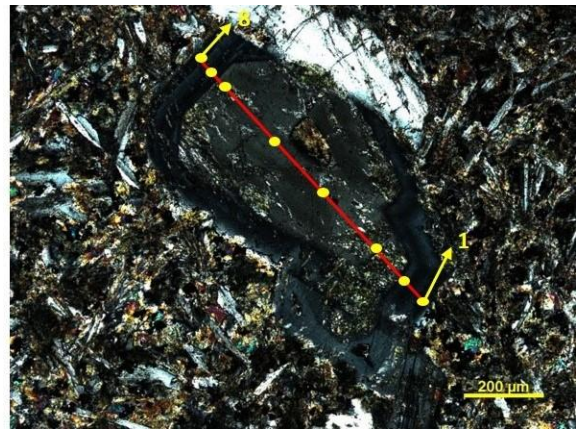
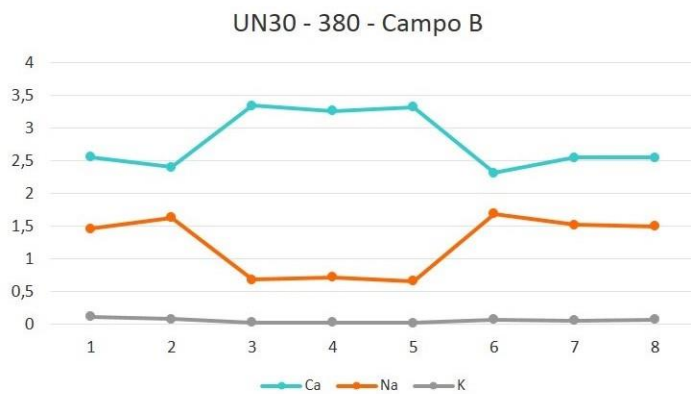


Figura 2 – Gráfico da composição química, considerando Ca, Na e K, de plagioclásio zonado ao longo de uma seção de pontos amostrados.

O método MEV-EDS, com equipamento de modelo FEI Quanta 400, foi empregado para a análise e melhor identificação dos minerais localizados nos interstícios da lâmina da rocha encaixante de profundidade 379,50m. A lâmina de rocha sedimentar da região mais próxima ao contato não foi submetida a análise.

Posteriormente, as sobras da laminação das amostras de rocha ígnea foram preparadas (britadas e moídas até a transformação destas em um pó homogêneo) e enviadas ao *Activation Laboratories*

LTD (ACTLABS), em Ontário (Canadá), onde foram realizadas as análises litogeoquímicas de rocha total para elementos maiores (SiO_2 , TiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , MnO , MgO , CaO , Na_2O , K_2O , P_2O_5), de elementos-traço (Rb, Ba, Sr, U, Th, Nb, Y, Zr, Hf, Sc, Cr e Ni) e de elementos terras raras (ETR) pelo método ICP-MS (*Inductively Coupled Plasma – Mass Spectrometry*). Com os dados litogeoquímicos obtidos, foram gerados diagramas de classificação, de ambiência geotectônica e *spidergrams* no software GCDkit.

RESULTADOS

Descrição resumida do Poço 1UN30

O poço 1UN30 possui uma profundidade perfurada de 383,30m. Segundo os testemunhos analisados (Figura 3), os primeiros 40,00m são preenchidos por sedimentos arenosos inconsolidados. Depois seguem-se intercalações de argilitos, siltitos e folhelhos com arenitos finos a muito finos, e localmente arenitos médios que raramente apresentam estratificação cruzada. Neste intervalo, as camadas mais finas são mais abundantes no topo que na base. A uma profundidade de 379,90m observa-se o contato dessas sucessões com a rocha ígnea, que conta com uma espessura perfurada de 3,40m. O corpo magmático é caracterizado por uma rocha de coloração cinza escura e ocasionais faixas de pirita.

Descrições prévias do poço realizadas pelo Projeto Carvão da Bacia do Parnaíba (1975) classificam o intervalo inconsolidado do topo como pertencente ao Terciário. As sucessões arenosas e lamíticas mais rasas, onde predomina a fração mais fina com arenitos médios a finos, são da Formação Itapecuru, enquanto as sucessões basais pertencem à Formação Cabeças. A intrusão ígnea é descrita como pertencente à

Formação Sardinha.

Petrografia

A petrografia das lâminas da intrusão aponta uma rocha melanocrática (IC ca. 65%), hipocrystalina (com 5% de vidro) e hipidiomórfica a xenomórfica que apresenta textura glomeroporfirítica, com 10% de fenocristais. A matriz possui texturas diversas, incluindo ofítica, subofítica, intergranular e intersetal. A mineralogia da rocha consiste em plagioclásio e piroxênio (clino e orto) como minerais essenciais; olivina e minerais opacos como acessórios; e talco, serpentina, bowlingita, iddingsita, uralita, clorita, epidoto e leucoxênio como produtos de alteração.

Os fenocristais são de plagioclásio, olivina e clinopiroxênio e ocorrem, respectivamente, com proporções de 92%, 2% e 6% em relação ao total de fenocristais. A fase predominante é plagioclásio (5,0-1,0 mm) que se apresenta como cristais tabulares euédricos a subédricos em aglomerados com o piroxênio ou de forma isolada. Os grãos geralmente apresentam zoneamento, corrosão, alteração para caolinita e feições de peneira (fina e grossa), syneusis e textura tipo esponja. Os fenocristais de clino-

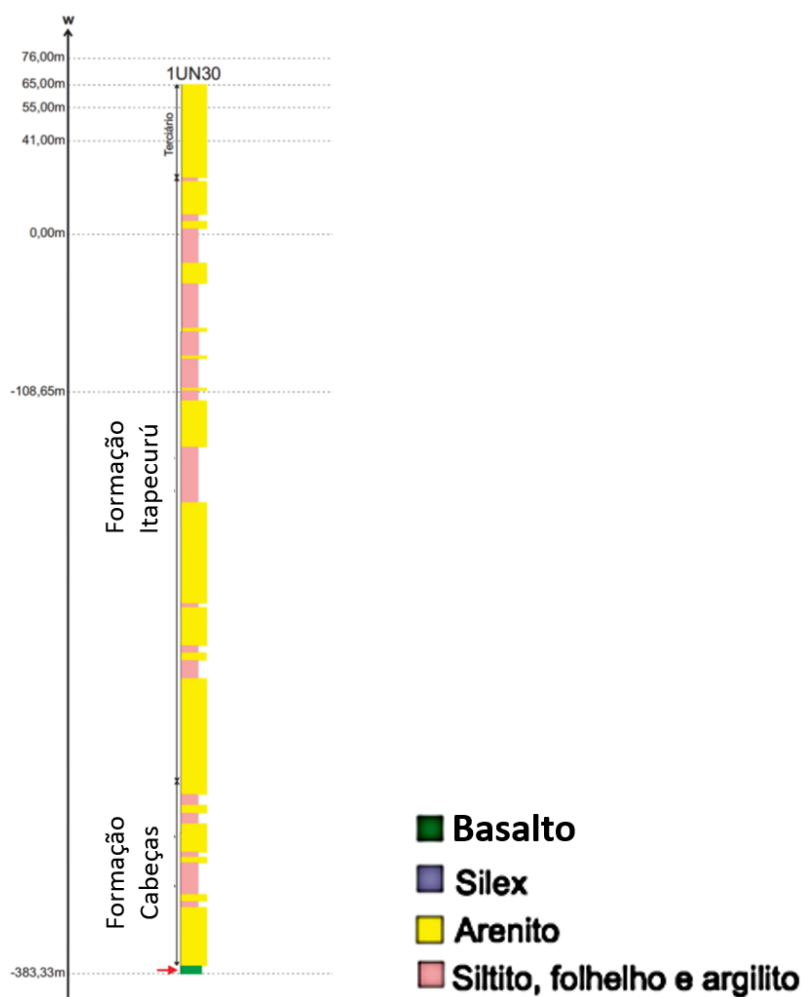


Figura 3 – Perfil esquemático do poço 1UN30.

piroxênio (0,5-0,8 mm) ocorrem como cristais anédricos com pleocroísmo incolor a verde, relevo alto cores de interferência azul a rosa de terceira ordem e localmente com coloração verde amarronzada decorrente da alteração. Eles apresentam-se isolados ou em aglomerados e estão levemente alterados para epidoto, clorita e uralita. Olivina (0,2-1,2 mm) ocorre unicamente como fenocristais isolados subédricos a anédricos de hábito granular e alterados para talco, serpentina, bowlingita e iddingsita.

Na matriz, os grãos de plagioclásio (0,1-0,8 mm) são incolores, de relevo baixo, cor de interferência baixa, euédricos a subédricos e têm hábito tabular. Além disso apresentam zoneamento, corrosão e raras fraturas. Na matriz foram observados dois tipos de piroxênio (0,1-0,2 mm): clinopiroxênio e ortopiroxênio (numa proporção aproximada de 85/15). Esses dois tipos possuem características similares e por esta razão não foram descritos separadamente. Eles possuem coloração verde, com relevo alto, pleocroísmo de incolor a verde, cor de interferência variando de tons de amarelo e alaranjado (OPX) e coloração azul a rosa (CPX) de segunda ordem e raramente

apresentam duas direções de clivagem. São anédricos, granulares e exibem forte alteração nas bordas para uralita e epidoto, estando apenas o núcleo preservado. Os minerais opacos (0,05-0,2 mm) ocorrem como grãos subédricos a anédricos, geralmente em agregados e localmente isolados, alterados para leucóxênio. A composição modal aproximada da matriz indica que esta é composta principalmente por plagioclásio (52%) e piroxênio (40%), com minerais opacos subordinados (8%).

O arenito possui granulometria fina a muito fina com grãos subangulosos a subarredondados apresentando contatos tangenciais e suturados. É classificado como quartzo arenito a subarcóseo (Figura 4), possuindo arcabouço de quartzo, K-feldspato e minerais opacos. Em seus interstícios, observa-se a presença de minerais fibrosos (0,05-0,1mm) com cores de interferência elevadas, relevo alto, leve pleocroísmo em tons de verde claro a incolor e duas direções de clivagem formando um ângulo de 60° identificados como tremolita. Também se observou argilominerais, identificados como grãos submilimétricos, de cores de interferência altas e relevo baixo, organizados em aglomerados.

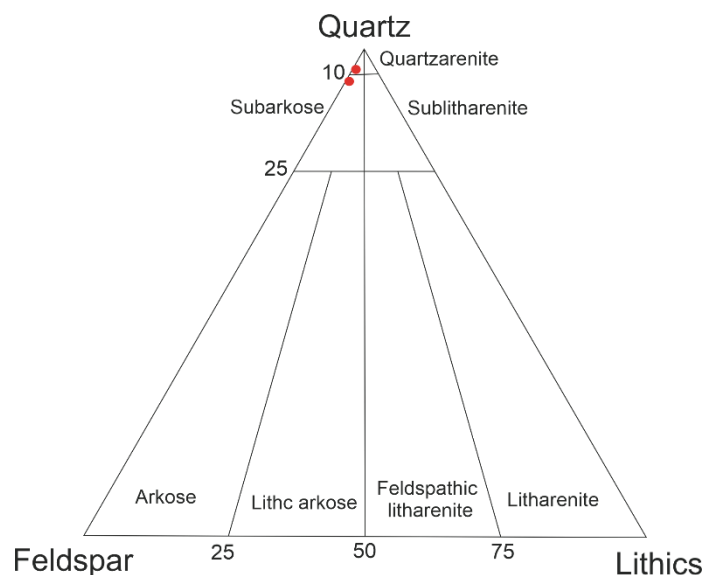


Figura 4 – Diagrama de classificação de Arenitos (Dott, 1964).

Química Mineral

Os resultados analíticos obtidos em microsonda eletrônica para piroxênio e plagioclásio e suas respectivas fórmulas estruturais calculadas encontram-se listados nas tabelas 1 e 2 abaixo.

Tabela 1 – Resultados da análise química do piroxênio utilizando microsonda eletrônica.

Lâmina	number	Al ₂ O ₃	MgO	Na ₂ O	SiO ₂	FeO	CaO	TiO ₂	MnO	Cr ₂ O ₃	Total	% CaO	% MgO	% FeO
1UN30_380	PX_CF_1N	5,981	11,463	0,876	48,83	15,791	11,348	0,453	0,136	0,024	94,902	29%	30%	41%
1UN30_380	PX_CF_1B	5,24	9,774	0,099	39,141	26,219	6,46	0,041	0,133	0	87,107	-	-	-
1UN30_380	PX_CF_2N	12,009	11,263	0,077	40,971	20,292	0,056	2,178	0,08	0	86,926	-	-	-
1UN30_380	PX_CF_2B	12,287	11,426	0,106	39,24	20,609	0,05	2,792	0,08	0	86,59	-	-	-
1UN30_380.20	PX_CH_1N	3,867	15,201	0,149	50,404	10,95	18,152	0,344	0,241	0,003	99,311	41%	34%	25%
1UN30_380.20	PX_CH_1B	3,516	15,295	0,127	51,05	10,468	18,989	0,362	0,224	0,009	100,04	42%	34%	23%
1UN30_380.20	PX_CG_1N	4,729	9,046	0,452	48,221	21,064	11,126	0,173	0,194	0,009	95,014	27%	22%	51%
1UN30_380.20	PX_CG_1B	3,7	14,504	0,25	49,838	13,393	16,393	0,256	0,229	0,025	98,588	37%	33%	30%
1UN30_380.20	PX_CI_1N	4,101	10,649	0,314	50,749	19,923	11,229	0,202	0,28	0	97,447	27%	25%	48%
1UN30_380.20	PX_CI_1B	13,847	11,166	0,096	34,222	23,292	0,509	0,362	0,089	0	83,583	-	-	-

Tabela 2 – Resultados da análise química do plagioclásio utilizando microsonda eletrônica.

Number	Na ₂ O	Al ₂ O ₃	SiO ₂	CaO	K ₂ O	FeO	Total	Coluna1	% Alb	% Arn	% Ort
CA_PLA_01_P1	4,666	30,069	52,577	11,903	0,733	1,218	101,166	_CA_PLA_01_P1	27%	69%	4%
CA_PLA_01_P2	3,934	29,094	51,028	12,273	0,474	3,131	99,934	_CA_PLA_01_P2	24%	74%	3%
CA_PLA_01_P3	3,975	29,983	52,323	12,906	0,347	1,051	100,585	_CA_PLA_01_P3	23%	75%	2%
CA_PLA_01_P4	4,196	30,433	51,969	13,028	0,327	1,148	101,101	_CA_PLA_01_P4	24%	74%	2%
CA_PLA_01_P5	4,342	30,173	52,494	12,678	0,272	1,006	100,965	_CA_PLA_01_P5	25%	73%	2%
CA_PLA_01_P6	4,224	30,059	52,518	12,66	0,372	0,941	100,774	_CA_PLA_01_P6	24%	73%	2%
CA_PLA_01_P7	4,427	30,161	52,548	12,361	0,326	1,054	100,877	_CA_PLA_01_P7	26%	72%	2%
CA_PLA_01_P8	5,573	28,747	54,509	10,659	0,39	0,964	100,842	_CA_PLA_01_P8	34%	64%	2%
CA_PLA_01_P9	4,337	30,701	51,217	12,844	0,599	1,424	101,122	_CA_PLA_01_P9	24%	72%	3%
CA_PLA_01_P10	5,363	28,636	54,569	10,851	0,952	1,095	101,466	_CA_PLA_01_P10	31%	63%	6%
CA_PLA_02_P1	4,24	30,369	52,065	12,73	0,403	1,336	101,143	_CA_PLA_02_P1	24%	73%	2%
CA_PLA_02_P2	4,84	29,894	52,656	12,009	0,322	0,9	100,621	_CA_PLA_02_P2	28%	70%	2%
CA_PLA_02_P3	4,42	30,207	52,137	12,626	0,342	1,096	100,828	_CA_PLA_02_P3	25%	73%	2%

Tabela 2 – Resultados da análise química do plagioclásio utilizando microsonda eletrônica (*continuação*).

Number	Na ₂ O	Al ₂ O ₃	SiO ₂	CaO	K ₂ O	FeO	Total	Coluna1	% Alb	% Arn	% Ort
CA_PLA_02_P4	4,254	30,288	52,314	12,595	0,249	0,933	100,633	_CA_PLA_02_P4	25%	74%	1%
CA_PLA_02_P5	4,538	29,906	52,547	12,129	0,291	1,181	100,592	_CA_PLA_02_P5	27%	72%	2%
CA_PLA_02_P6	3,963	30,994	51,072	13,466	0,293	1,231	101,019	_CA_PLA_02_P6	22%	76%	2%
CB_PLA_01_P1	4,169	30,942	51,556	13,181	0,485	1,174	101,507	_CB_PLA_01_P1	23%	74%	3%
CB_PLA_01_P2	4,638	29,901	52,75	12,41	0,308	1,101	101,108	_CB_PLA_01_P2	27%	72%	2%
CB_PLA_01_P3	1,911	34,282	46,784	17,066	0,087	1,127	101,257	_CB_PLA_01_P3	10%	90%	0%
CB_PLA_01_P4	2,018	34,018	47,296	16,666	0,092	0,953	101,043	_CB_PLA_01_P4	11%	89%	0%
CB_PLA_01_P5	1,842	34,086	46,802	16,894	0,065	0,95	100,639	_CB_PLA_01_P5	10%	90%	0%
CB_PLA_01_P6	4,817	29,773	53,084	11,934	0,276	0,946	100,83	_CB_PLA_01_P6	28%	70%	2%
CB_PLA_01_P7	4,274	30,852	50,758	12,994	0,236	1,037	100,151	_CB_PLA_01_P7	24%	74%	1%
CB_PLA_01_P8	4,269	30,593	52,05	13,164	0,281	1,151	101,508	_CB_PLA_01_P8	24%	74%	2%
CD_PLA_01_B	3,91	30,959	50,547	13,329	0,294	1,073	100,112	_CD_PLA_01_B	22%	76%	2%
CD_PLA_01_N	2,894	32,56	48,753	14,951	0,112	0,965	100,235	_CD_PLA_01_N	16%	83%	1%
CE_PLA_01_P1	4,763	29,63	52,882	11,869	0,468	1,452	101,064	_CE_PLA_01_P1	28%	69%	3%
CE_PLA_01_P2	2,842	32,445	48,767	15,005	0,146	1,312	100,517	_CE_PLA_01_P2	16%	83%	1%
CE_PLA_01_P3	3,091	32,152	49,348	14,717	0,131	1,093	100,532	_CE_PLA_01_P3	17%	82%	1%
CE_PLA_01_P4	3,155	32,181	49,417	14,901	0,126	1,121	100,901	_CE_PLA_01_P4	17%	82%	1%
CE_PLA_01_P5	3,247	32,11	49,05	14,804	0,15	1,031	100,392	_CE_PLA_01_P5	18%	81%	1%
CE_PLA_01_P6	3,12	31,94	49,557	14,802	0,13	1	100,549	_CE_PLA_01_P6	17%	82%	1%
CE_PLA_01_P7	2,942	32,498	48,81	15,269	0,114	1,224	100,857	_CE_PLA_01_P7	16%	83%	1%
CE_PLA_02_B	4,756	29,814	53,257	11,935	0,313	1,1	101,175	_CE_PLA_02_B	28%	70%	2%
CE_PLA_02_N	4,392	30,479	52,042	12,667	0,228	1,037	100,845	_CE_PLA_02_N	25%	73%	1%
CA_PLA_01_P1	3,566	30,939	50,941	13,915	0,478	1,243	101,082	_CA_PLA_01_P1	20%	77%	3%
CA_PLA_01_P2	2,163	33,436	47,563	16,384	0,168	0,94	100,654	_CA_PLA_01_P2	12%	88%	1%
CA_PLA_01_P3	1,906	32,405	47,259	16,502	0,215	1,037	99,324	_CA_PLA_01_P3	10%	89%	1%
CA_PLA_01_P4	3,508	30,336	50,865	13,709	0,29	1,279	99,987	_CA_PLA_01_P4	20%	78%	2%
CA_PLA_01_P5	3,68	30,883	50,748	13,811	0,281	0,899	100,302	_CA_PLA_01_P5	21%	78%	2%
CA_PLA_01_P6	3,392	31,007	50,614	14,056	0,278	0,971	100,318	_CA_PLA_01_P6	19%	79%	2%
CA_PLA_01_P7	3,475	31,419	50,379	14,318	0,274	1,055	100,92	_CA_PLA_01_P7	19%	79%	2%
CA_PLA_01_P8	4,36	30,659	50,506	12,835	0,596	1,329	100,285	_CA_PLA_01_P8	25%	72%	3%
CD_PLA_INF_P1	4,157	30,213	51,458	13,085	0,576	1,463	100,952	_CD_PLA_INF_P1	23%	73%	3%
CD_PLA_INF_P2	3,348	31,333	50,165	14,267	0,325	1,097	100,535	_CD_PLA_INF_P2	19%	80%	2%
CD_PLA_INF_P3	3,441	31,439	50,055	14,569	0,356	0,988	100,848	_CD_PLA_INF_P3	19%	79%	2%
CD_PLA_INF_P4	3,723	30,618	51,208	13,632	0,277	0,916	100,374	_CD_PLA_INF_P4	21%	77%	2%
CD_PLA_INF_P5	2,359	33,077	47,641	16,115	0,157	0,945	100,294	_CD_PLA_INF_P5	13%	86%	1%
CD_PLA_INF_P6	3,779	30,02	50,18	13,304	0,445	2,11	99,838	_CD_PLA_INF_P6	22%	76%	3%
CD_PLA_INF_P7	2,489	32,732	48,104	15,753	0,215	1,012	100,305	_CD_PLA_INF_P7	13%	85%	1%
CD_PLA_INF_P8	2,929	31,633	49,111	14,555	0,397	1,589	100,214	_CD_PLA_INF_P8	16%	81%	2%
CD_PLA_MEIO_P1	4,829	29,091	52,98	11,797	0,867	1,298	100,862	_CD_PLA_MEIO_P1	28%	67%	5%
CD_PLA_MEIO_P2	3,666	30,94	50,804	13,745	0,268	0,822	100,245	_CD_PLA_MEIO_P2	21%	78%	2%
CD_PLA_MEIO_P3	2,312	32,948	48,044	15,826	0,155	0,937	100,222	_CD_PLA_MEIO_P3	13%	87%	1%
CD_PLA_MEIO_P4	2,974	31,899	49,112	14,917	0,188	0,84	99,93	_CD_PLA_MEIO_P4	16%	83%	1%
CD_PLA_MEIO_P5	2,332	33,133	47,753	16,156	0,141	0,806	100,321	_CD_PLA_MEIO_P5	13%	87%	1%
CD_PLA_MEIO_P6	2,374	33,138	47,888	16,03	0,153	0,83	100,413	_CD_PLA_MEIO_P6	13%	86%	1%
CD_PLA_MEIO_P7	2,375	32,873	47,918	16,078	0,151	0,95	100,345	_CD_PLA_MEIO_P7	13%	86%	1%

Tabela 2 – Resultados da análise química do plagioclásio utilizando microsonda eletrônica (*continuação*).

Number	Na ₂ O	Al ₂ O ₃	SiO ₂	CaO	K ₂ O	FeO	Total	Coluna1	% Alb	% Arn	% Ort
CD_PLA_MEIO_P8	4,188	30,426	51,484	12,932	0,502	1,188	100,72	_CD_PLA_MEIO_P8	24%	73%	3%
CD_PLA_SUP_P1	3,896	30,431	51,218	13,295	0,504	1,043	100,387	_CD_PLA_SUP_P1	22%	75%	3%
CD_PLA_SUP_P2	4,507	29,677	52,294	12,364	0,328	0,974	100,144	_CD_PLA_SUP_P2	26%	72%	2%
CD_PLA_SUP_P3	3,659	30,945	50,727	13,843	0,232	1,03	100,436	_CD_PLA_SUP_P3	21%	78%	1%
CD_PLA_SUP_P4	3,606	30,956	50,644	13,68	0,264	0,8	99,95	_CD_PLA_SUP_P4	21%	78%	2%
CD_PLA_SUP_P5	2,541	33,029	47,827	15,962	0,136	0,93	100,425	_CD_PLA_SUP_P5	14%	86%	1%
CD_PLA_SUP_P6	3,864	30,58	51,164	13,43	0,276	1,027	100,341	_CD_PLA_SUP_P6	22%	76%	2%
CD_PLA_SUP_P7	3,664	30,939	50,67	13,909	0,27	0,915	100,367	_CD_PLA_SUP_P7	21%	78%	2%
CD_PLA_SUP_P8	3,698	30,704	50,862	13,25	0,448	1,124	100,086	_CD_PLA_SUP_P8	21%	76%	3%
CD_PLA_SUP_P9	4,206	29,967	51,868	12,987	0,449	1,063	100,54	_CD_PLA_SUP_P9	24%	74%	3%
CE_PLA_01_P1	3,035	24,281	43,294	7,971	0,572	19,748	98,901	_CE_PLA_01_P1	26%	69%	5%
CE_PLA_01_P2	4,142	30,261	51,408	13,151	0,56	1,08	100,602	_CE_PLA_01_P2	23%	74%	3%
CE_PLA_01_P3	4,984	29,133	53,312	11,216	0,653	1,238	100,536	_CE_PLA_01_P3	30%	67%	4%
CE_PLA_01_P4	4,049	30,459	51,098	13,48	0,374	1,158	100,618	_CE_PLA_01_P4	23%	75%	2%
CE_PLA_01_P5	3,786	30,663	51,178	13,724	0,299	1,084	100,734	_CE_PLA_01_P5	21%	77%	2%
CE_PLA_01_P6	4,095	30,14	51,58	13,142	0,348	0,983	100,288	_CE_PLA_01_P6	23%	75%	2%
CE_PLA_01_P7	4,036	30,415	51,586	13,333	0,314	1,048	100,732	_CE_PLA_01_P7	23%	75%	2%
CE_PLA_01_P8	3,979	30,332	51,343	13,246	0,438	1,069	100,407	_CE_PLA_01_P8	23%	75%	2%
CE_PLA_01_P9	4,208	29,788	52,244	12,881	0,533	1,328	100,982	_CE_PLA_01_P9	24%	73%	3%
CF_PLA_01_P1	3,385	31,597	49,66	14,553	0,266	1,027	100,488	_CF_PLA_01_P1	19%	80%	1%
CF_PLA_01_P2	3,963	30,218	51,431	13,402	0,31	0,954	100,278	_CF_PLA_01_P2	22%	76%	2%
CF_PLA_01_P3	3,886	30,352	51,268	13,383	0,252	0,94	100,081	_CF_PLA_01_P3	22%	76%	1%
CF_PLA_01_P4	4,119	30,303	51,75	13,184	0,26	0,941	100,557	_CF_PLA_01_P4	23%	75%	1%
CF_PLA_01_P5	3,811	30,956	50,754	13,776	0,258	0,962	100,517	_CF_PLA_01_P5	21%	77%	1%
CF_PLA_01_P6	3,311	31,383	49,858	14,425	0,169	0,926	100,072	_CF_PLA_01_P6	18%	81%	1%
CF_PLA_01_P7	3,541	30,993	50,473	13,83	0,193	0,967	99,997	_CF_PLA_01_P7	20%	79%	1%
CF_PLA_01_P8	4,186	30,13	51,955	12,928	0,548	1,27	101,017	_CF_PLA_01_P8	24%	73%	3%
CF_PLA_02_B1	3,579	30,847	49,628	13,863	0,485	0,985	99,387	_CF_PLA_02_B1	20%	77%	3%
CF_PLA_02_B2	3,505	31,399	50,286	14,351	0,344	1,069	100,954	_CF_PLA_02_B2	19%	79%	2%
CF_PLA_02_N	3,644	31,12	50,289	14,076	0,262	0,951	100,342	_CF_PLA_02_N	20%	78%	1%
CF_PLA_03_B1	3,646	31,255	50,681	14,08	0,298	1,05	101,01	_CF_PLA_03_B1	20%	78%	2%
CF_PLA_03_B2	3,45	31,629	49,927	14,317	0,338	1,059	100,72	_CF_PLA_03_B2	19%	79%	2%
CF_PLA_03_N	3,338	31,84	49,572	14,488	0,209	0,872	100,319	_CF_PLA_03_N	19%	80%	1%

Piroxênio

Segundo o diagrama de classificação de Deer (1992), os cristais de piroxênio analisados são classificados como augita/ferroaugita (Figura 5). Apresentam zoneamento composicional inverso, com aumento nos teores de Ca e Mg e diminuição nos teores de Fe do núcleo para a borda.

Plagioclásio

Para os fenocristais que apresentaram zoneamento composicional no estudo petrográfico, foram realizadas análises de

perfil e nos grãos aparentemente homogêneos foram realizadas análises de núcleo e borda. Os resultados analíticos indicam que o plagioclásio possui uma composição cálcica, com teores menores de sódio e baixos níveis de potássio. Os pontos analisados se classificam predominantemente dentro do campo da bytownita (An₇₀₋₉₀) no diagrama de classificação química de Deer (1992). Localizadamente, há também pontos classificados como labradorita, conforme indicado na Figura 6.

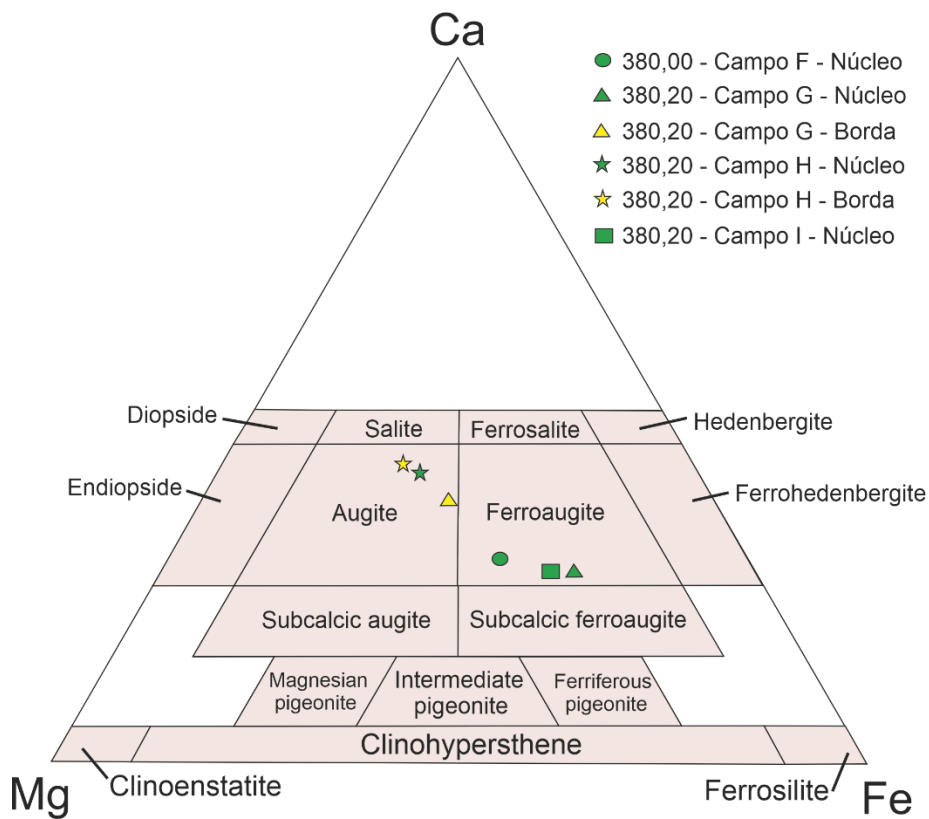


Figura 5 – Diagrama de classificação química do piroxênio (Deer, 1992).

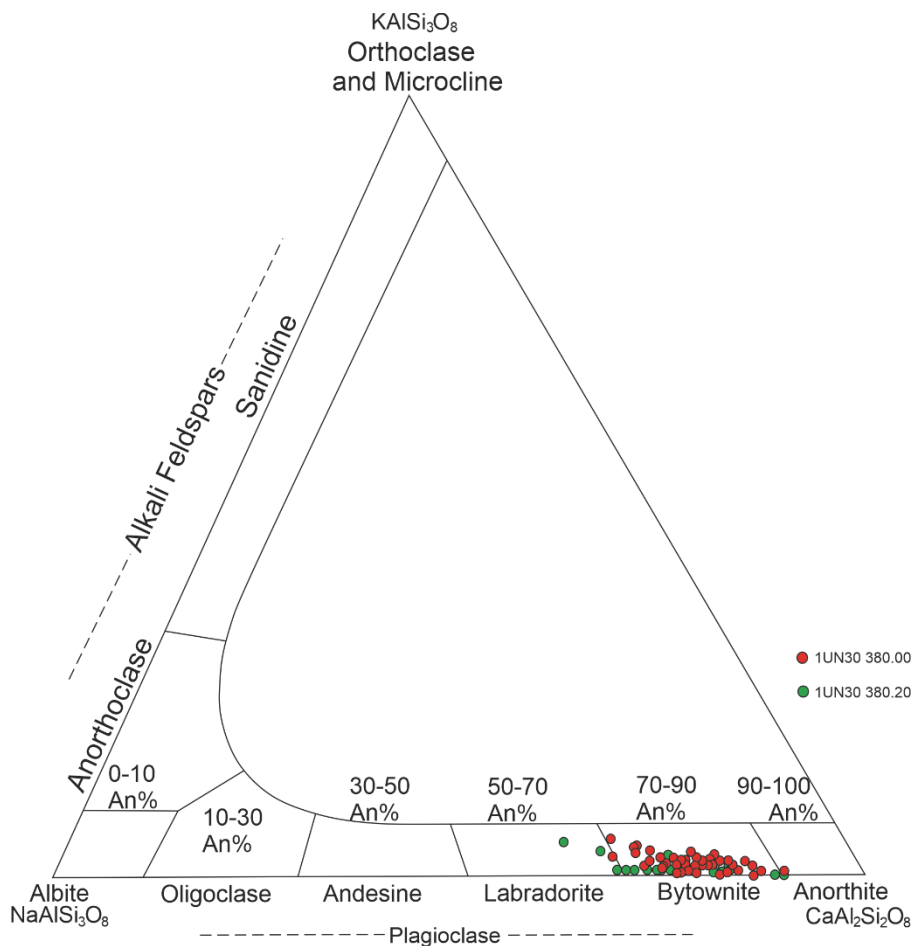


Figura 6 – Diagrama de classificação química do feldspato (Deer, 1992).

Os gráficos de variação dos teores de Ca, Na e K e a ilustração dos pontos analisados estão dispostos na figura 7. Verifica-se que o plagioclásio

apresenta zoneamento composicional normal, onde o núcleo dos cristais possui composição mais enriquecida em cálcio que a borda.

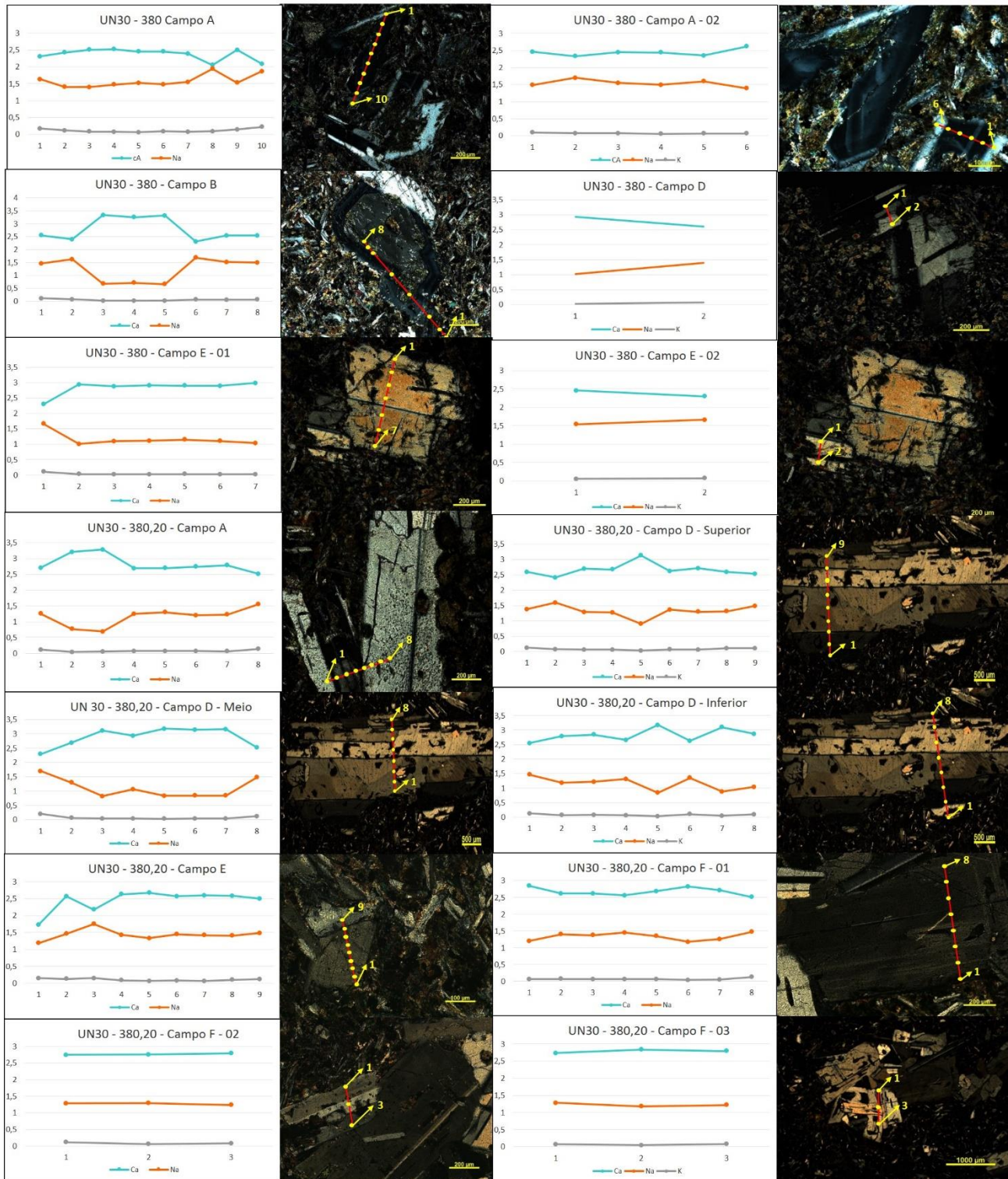


Figura 7 – Gráficos de variação dos níveis de Ca, Na e K ao longo de uma seção de pontos amostrados em plagioclásios zonados.

A análise desses gráficos também permite identificar duas diferentes fases de formação de fenocristais de plagioclásio ao longo da evolução magmática dessa intrusão. A fase de cristalização mais recente possui níveis médios de 2,5% de cálcio, podendo alcançar até 3% de sua composição química total. Ela consiste principalmente em fenocristais isolados homogêneos ou zonados e que, eventualmente, apresentam textura em peneira fina.

Localmente, os fenocristais desta fase também apresentam *syneuses*. Estas possuem uma composição química ainda menos cálcica (geralmente em torno de 2,5%) o que indica que se formaram posteriormente aos fenocristais aos quais são subordinadas. Além disso, esta fase de cristalização mais nova também é encontrada em associação com a fase anterior, consistindo neste caso as bordas dos núcleos corroídos.

A fase mais antiga tem níveis de cálcio próximos a 3,5% de sua composição química total e aparece unicamente em associação com a fase posterior de cristalização, apresentando-se como núcleo de alguns fenocristais de plagioclásio. Em alguns grãos o núcleo (mais cálcico) encontra-se corroído e apresenta textura em peneira grossa e zoneamento enquanto a borda está apenas zonada e localmente com textura em peneira fina.

Tais características foram observadas igualmente nas duas lâminas magmáticas, não havendo nenhuma mudança observada da composição do plagioclásio com a variação da profundidade.

MEV-EDS

Os resultados analíticos obtidos a partir das análises em MEV-EDS encontram-se listados na tabela 3. No total, foram analisados dezenove pontos nos elementos O, Si, Al, Mg, Fe, K, Na e S.

Os resultados apontam que os interstícios da rocha sedimentar encaixante são preenchidos por argilominerais do grupo da esmectita, por cristais dos grupos da clorita e da zeólita, por grãos de anfibólio e por K-feldspato (Figura 8).

Os argilominerais são os minerais de preenchimento mais comuns. Tanto ele quanto os grãos dos grupos da clorita e da zeólita, estes últimos pouco frequentes, aparecem como minerais fibrosos nas bordas dos interstícios e em contato com os grãos do arcabouço. Os cristais de anfibólio são geralmente granulares e localizam-se na região central dos interstícios da rocha. Além disso, eles encontram-se fortemente alterados para minerais ricos em ferro e associados à alteração hidrotermal. O k-feldspato é a variedade mineral menos frequente encontrada, aparecendo localmente como cristais tabulares nas bordas dos interstícios.

Uma associação comum desse preenchimento é mostrada na Figura 9, onde foi feito um mapeamento dos elementos principais sobre a imagem de MEV. Observa-se uma região central rica em magnésio com uma borda rica em ferro e uma franja de cristais ricos em potássio. A região enriquecida em Mg e Fe constitui o cristal de anfibólio, com o núcleo preservado e as bordas alteradas. Os cristais de aparência fibrosa ricos em potássio nas bordas do interstício constituem cristais de illita.

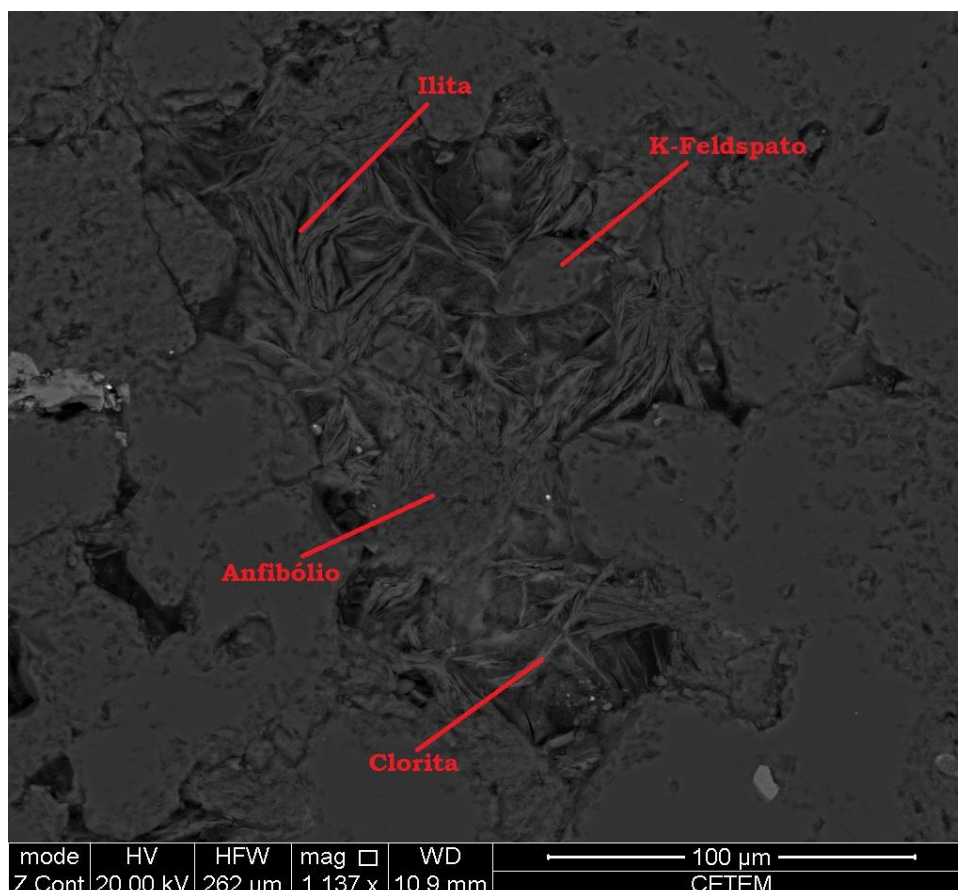


Figura 8 – Foto de imagem de MEV de interstício preenchido com illita, clorita, K-feldspato e anfibólio.

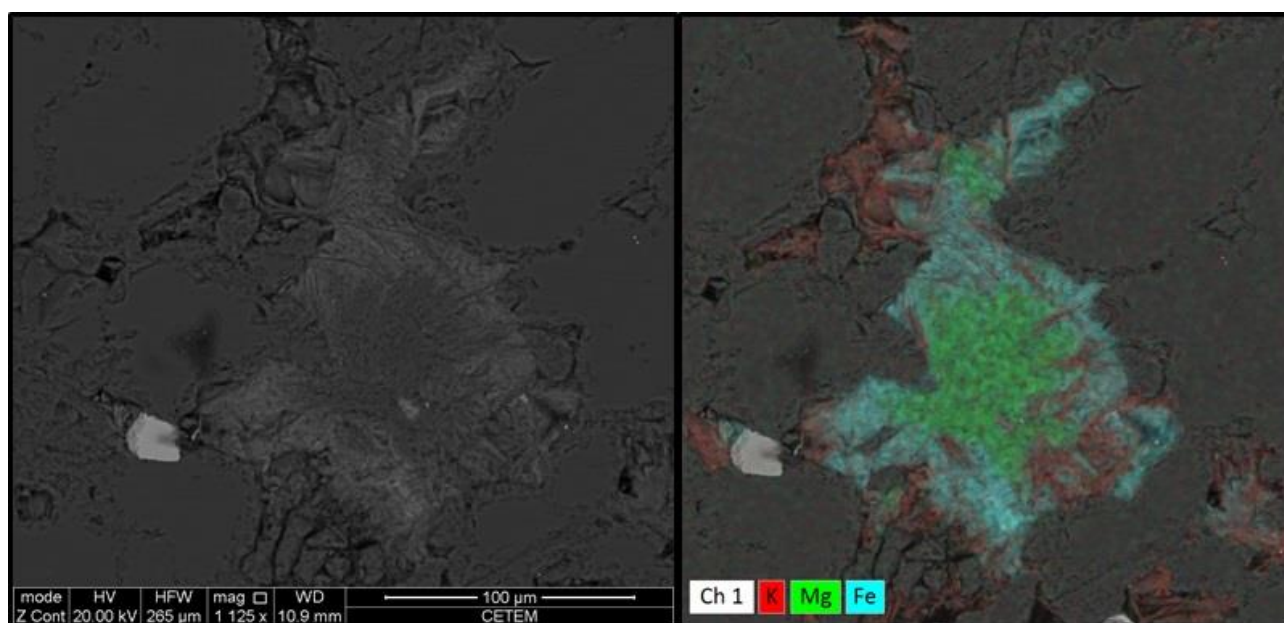


Figura 9 – Foto de imagem de MEV (esquerda) com o mapeamento dos elementos (direita).

Tabela 3 – Resultados das análises de MEV.

Ponto	Oxigênio	Silício	Alumínio	Magnésio	Ferro	Potássio	Sódio	Enxofre
03	61,04	16,64	16,11	0,76	0,21	3,93	1,31	-
05	58,51	10,67	12,70	10,43	7,68	-	-	-
08	60,89	13,60	17,41	4,47	2,00	0,06	1,50	0,07
10a	55,68	19,12	18,84	0,44	0,23	3,61	1,94	0,13
10b	61,54	13,80	10,99	9,31	2,28	0,59	0,93	0,56
11a-K	60,34	18,62	15,89	0,13	0,41	2,44	1,98	0,18
11a-Mg	60,16	11,76	11,00	14,67	2,16	0,08	0,04	0,13
12-Fe	55,73	11,97	14,19	6,12	11,63	0,06	0,07	0,23
12-K	49,19	23,40	20,39	0,24	0,33	4,90	1,38	0,16
12-Mg	59,50	11,70	11,59	14,39	2,74	0,02	0,01	0,05
13-Fe	60,86	10,54	12,75	6,29	9,39	0,06	0,06	0,05
13-K	55,89	15,18	15,05	8,39	3,06	1,75	0,48	0,19
13-Mg-M	58,96	11,81	11,73	14,61	2,75	0,02	0,01	0,09
13-Mg-S	59,59	12,64	8,10	1,47	16,15	0,34	0,46	1,25
14-k	59,38	18,02	16,78	0,28	0,14	4,27	1,08	0,04
14-Mg	59,13	10,79	12,14	9,16	7,97	0,24	0,24	0,33
15-Fe	58,59	12,81	8,33	1,68	16,09	0,88	0,46	1,17
15-K	57,08	19,99	16,16	0,40	0,33	4,52	1,21	0,32
15-Mg	59,53	11,58	11,67	13,95	3,05	0,06	0,05	0,11

Litogeoquímica

Os resultados obtidos pela litogeoquímica, quando projetados nos diagramas AFM (Irvine & Baragar, 1971; Figura 10) e TAS (Le Bas *et al.*, 1986, com curva de Irvine & Baragar, 1971; Figura 11) classificam a rocha da intrusão como basalto da série toleítica. Esses

basaltos são levemente empobrecidos em MgO (5,5 - 5,7%), enriquecidos em FeO_t (15,0 - 17,2%) e com teores moderados de TiO₂ (2,2 %).

O gráfico discriminante de ambientes tectônicos (Pearce & Norry, 1979; Figura 12) confirma que se tratam de basaltos intraplaca.

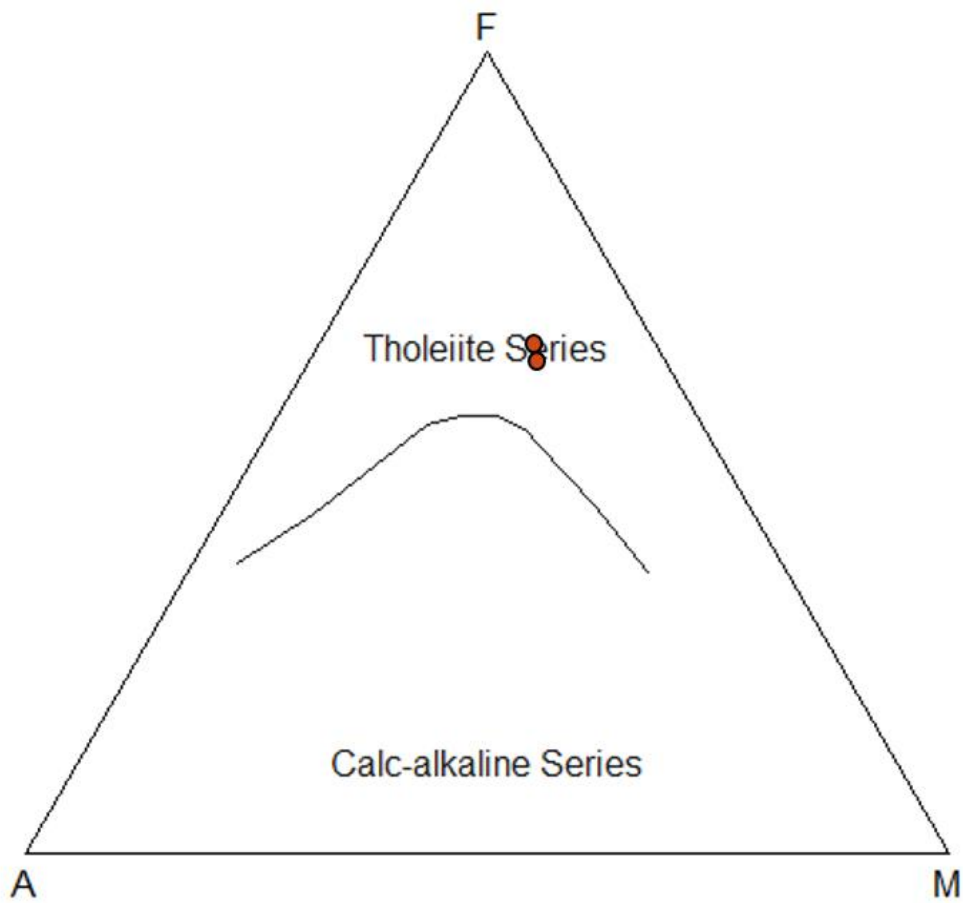


Figura 10 – Diagrama de classificação AFM (Irvine & Baragar, 1971).

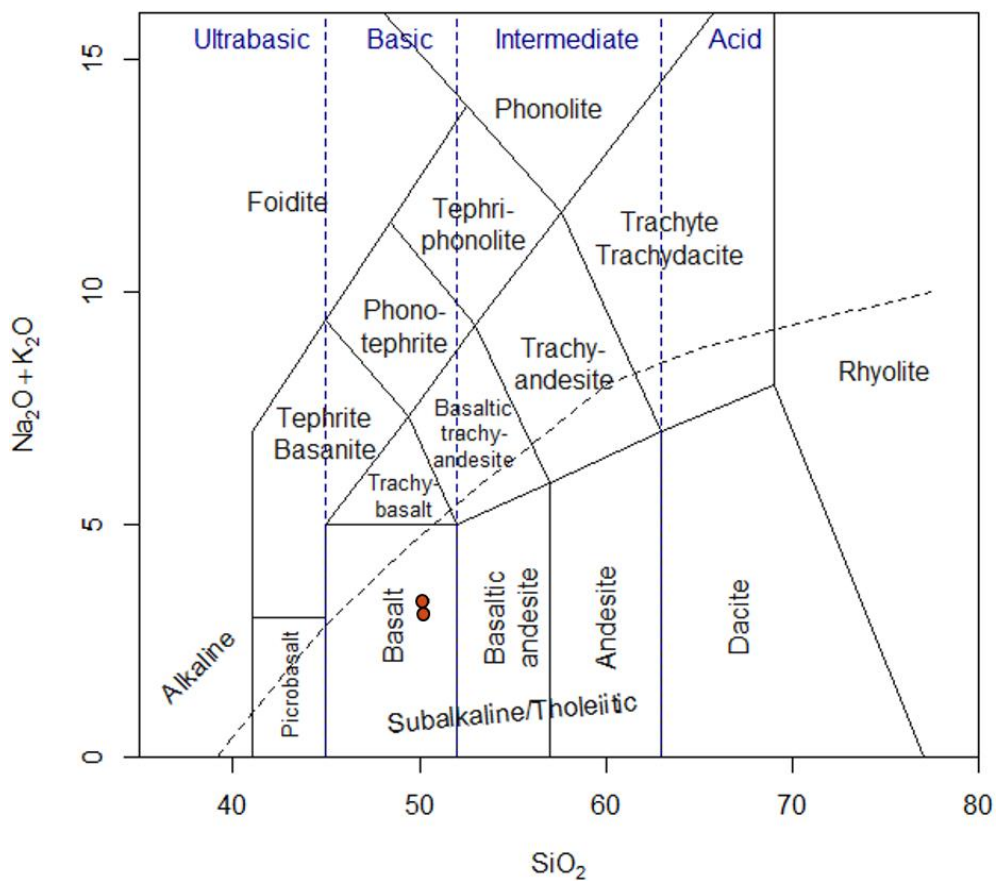


Figura 11 – Diagrama de classificação TAS (Le Bas *et. al.*, 1986).

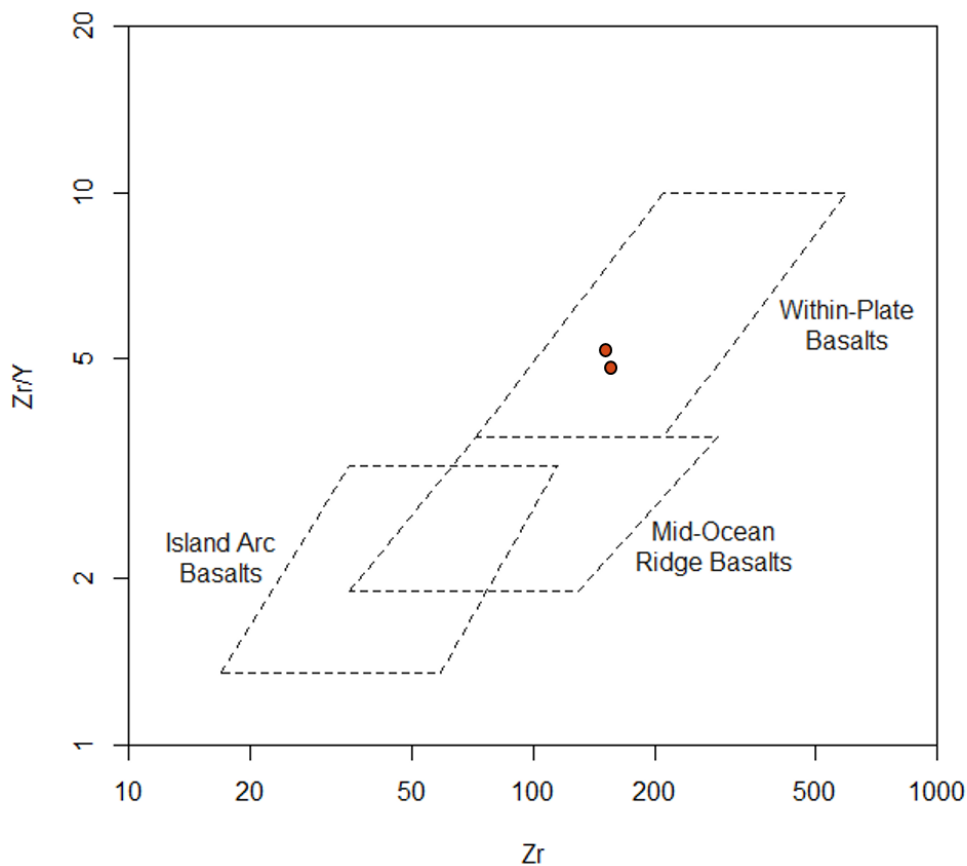


Figura 12 – Diagrama de classificação de ambiência geotectônica (Pearce & Norry, 1979).

No diagrama multielementar normalizado para o manto primitivo (Mc Dounagh & Sun, 1995; Figura 13) observa-se que as amostras apresentam enriquecimento geral no espectro de elementos-traço, embora verifique-se um maior enriquecimento dos LILE (20 a 40 vezes o manto primitivo) em relação aos HFSE (5 a 7 vezes o manto primitivo), e razões

médias $LILE_N/HFSE_N$ entre 4,0 e 9,2. Depressões em Nb, Ta, Sr e P também foram constatadas. Os padrões observados são similares a padrões de basaltos de derrames continentais observados em vários continentes (eg. Thompson *et al.*, 1983; Peate *et al.*, 1992; Peate & Hawkesworth, 1996; 2000; Beccaluva *et al.*, 2009).

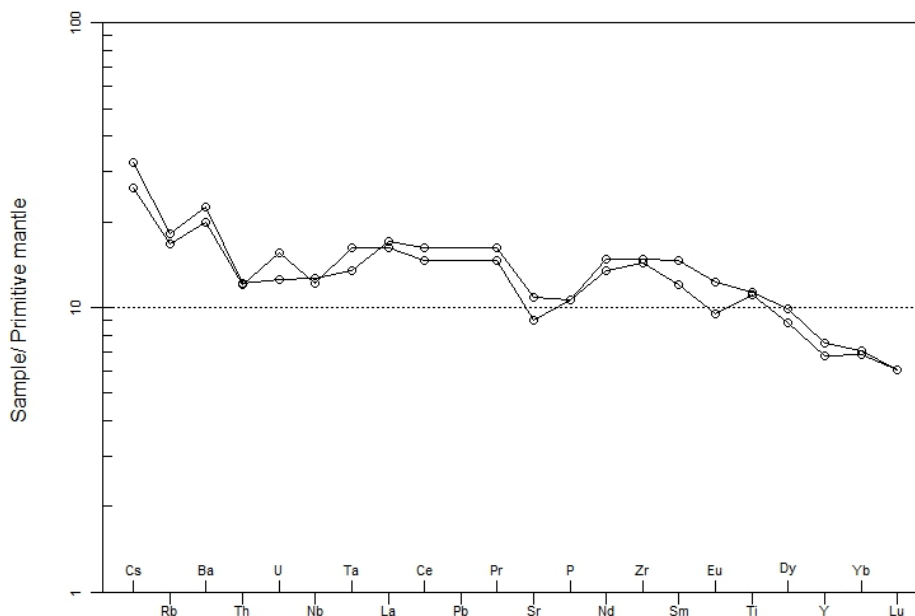


Figura 13 – Spidergram multielementar normalizado para o manto primitivo (Mc Dounagh & Sun, 1995).

No diagrama normalizado para elementos terras raras segundo o condrito de Boynton (1984; Figura 14) verifica-se também o enriquecimento em todos os elementos, muito embora apresentem-se levemente fracionados revelando um maior enriquecimento nos

ETRL em relação aos ETRP, com razão média Ce_N/Yb_N em torno de 4,0. Uma outra feição observada nesses padrões é uma moderada anomalia negativa de Eu que pode estar relacionada com as condições de fO_2 e/ou fracionamento de plagioclásio.

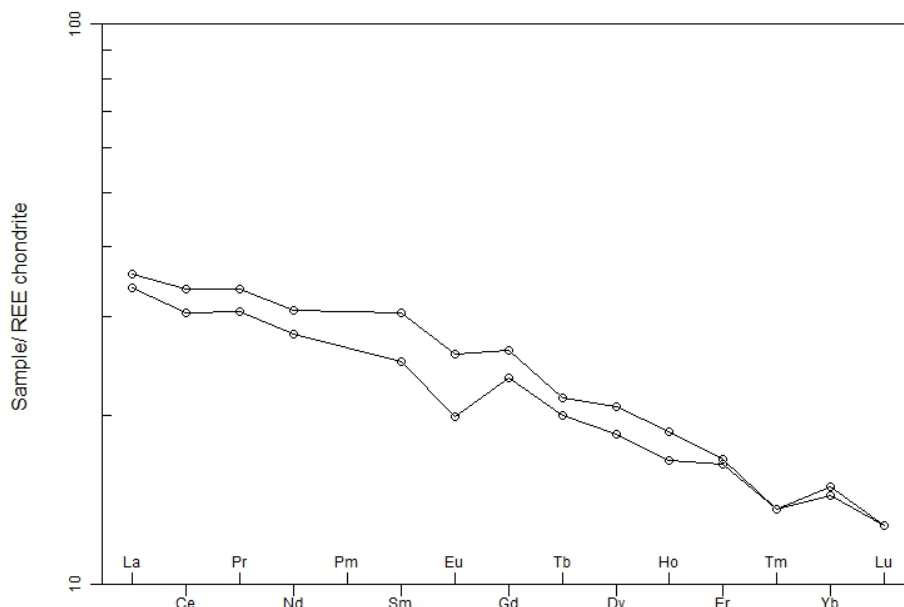


Figura 14 – Spidergram multielementar normalizado para o condrito (Boynton, 1984).

Tabela 4 – Resultados das análises litogeoquímicas.

Tabela 4 (parte 1)

AMOSTRA	Ba	Ce	Cr	Cs	Dy	Er	Eu	Ga	Gd	Hf	Ho	La	Lu	Nb	Nd
DESCRIPTION	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm
1UN-30 380,20	148,5	27,2	70	0,68	6,67	3,5	1,89	22,2	6,75	4,3	1,34	11,1	0,41	8,3	18,5
1UN-30 380,00	131,5	24,6	70	0,55	5,95	3,43	1,46	24,2	6,05	4,3	1,19	10,5	0,41	8	16,8

Tabela 4 (parte 2)

AMOSTRA	Pr	Rb	Sm	Sn	Sr	Ta	Tb	Th	Tm	U	V	W	Y	Yb	Zr
DESCRIPTION	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm
1UN-30 380,20	4,11	10,9	5,94	2	216	0,5	1,02	0,97	0,44	0,25	494	<1	32,3	3,11	155
1UN-30 380,00	3,73	10	4,87	3	179	0,6	0,95	0,96	0,44	0,31	480	1	29,1	3,01	151

Tabela 4 (parte 3)

AMOSTRA	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	Cr ₂ O ₃	TiO ₂	MnO	P ₂ O ₅	SrO	BaO	LOI	Total
DESCRIPTION	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%
1UN-30 380,20	49,8	13,35	15,2	9,53	5,47	2,67	0,41	0,02	2,28	0,21	0,22	0,01	0,02	1,72	100,91
1UN-30 380,00	47,9	12,4	17,1	6,57	5,7	2,8	0,38	0,01	2,22	0,16	0,22	0,02	0,01	3,43	98,92

CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados petrográficos, químicos e litogeoquímicos do corpo intrusivo estudado apontam que sua composição se trata de basalto toleítico associado a derrames continentais. Os teores de Mg, Fe e Ti sugerem o seu enquadramento em basaltos transicionais dentro da conhecida classificação de basaltos de baixo e

alto-Ti relacionados a derrames continentais (Peate *et. al.*, 1992). Essas características estão de acordo com o contexto estratigráfico, estrutural e geotectônico das intrusões magmáticas da Bacia do Parnaíba anteriormente estabelecido por outros autores (Bellieni *et. al.*, 1990; Vaz *et. al.*, 2007; Merle *et. al.*, 2011; Silva *et. al.*, 2017).

Os dados das análises químicas em microsonda eletrônica e as relações microtexturais sugerem a evolução magmática dessa intrusão como uma sequência de eventos ordenados desde a câmara magmática até depois de sua acomodação na rocha encaixante. Inicialmente, dentro da câmara magmática, houve uma primeira fase de cristalização que aconteceu de forma lenta. Nela foram formados os núcleos dos cristais de piroxênio e dos fenocristais de plagioclásio. Posteriormente, ocorreu uma dissolução parcial/corrosão e originou-se a textura em peneira grossa presente nos fenocristais de plagioclásio formados durante a fase de cristalização anterior. Essa feição, segundo Rentijh *et. al.* (2014), é decorrente de uma rápida descompressão do magma durante sua ascensão da câmara magmática. Tal ascensão caracteriza o segundo evento evolutivo do magma. A textura do tipo peneira fina, também de acordo com Rentijh *et. al.* (2014), é promovida por injeção de um novo magma mais quente, rico em cálcio, que se mistura com o líquido restante. Dessa forma, esse processo ocasionou a segunda fase de cristalização do plagioclásio, marcado pela presença de textura em peneira fina. Esta última etapa também deu origem à borda dos cristais de piroxênio.

No que se refere à rocha sedimentar encaixante, a observação de contatos intergranulares tangenciais e suturados apontam que o arenito, na zona próxima à região de contato com a intrusão, formou-se sob condições de forte diagênese.

Adicionalmente, a presença de tremolita e de outros minerais de anfibólio, que se estabilizam acima das condições diagenéticas, sugerem que a rocha também foi submetida a temperaturas ainda mais elevadas que as da diagênese. Tais condições devem-se presumidamente ao contato com o líquido magmático. No entanto, a preservação de estruturas sedimentares primárias e ausência de quaisquer características

indicativas de metamorfismo descartam a hipótese de a rocha ter passado por processos de metamorfismo de contato. Conclui-se então que a zona próxima ao contato com a rocha basáltica passou por um processo denominado como diagênese de contato.

O termo foi definido no trabalho de McKinley *et. al.* (2001) para descrever as mudanças paragenéticas ocorridas nos arenitos do Grupo Sherwood Triássico e associadas, devido à falta de indicações claras de metamorfismo de contato, com a intrusão ígnea observada na área. A paragenese mineral descrita por ele incluía a predominância de minerais de anfibólio que são também observados em grande quantidade no arenito do poço aqui estudado. Da mesma forma, outros minerais observados como os argilominerais do grupo da esmectita, os minerais do grupo da clorita, a zeólita e o k-feldspato também foram relatados como produtos da diagênese de contato em seu e em outros trabalhos (Brauckmann & Füchtbauer, 1983; McKinley *et. al.*, 2001; Bernet & Gaupp, 2005).

Apesar de ter nomeado todos os processos observados por eles como metamorfismo de contato, Brauckmann & Füchtbauer (1983) descreveram uma paragenese mineral semelhante à de McKinley *et. al.* (2001) em algumas das amostras estudadas dos arenitos e siltitos da Formação Atane, na península de Nûssuaq na Groelândia, onde afirmaram hesitar em aplicar o termo metamorfismo para essas “regiões de fraca alteração, sugestivas que as temperaturas permaneceram menores que 200 °C”. Em seu trabalho, esses autores associaram a formação de minerais como anfibólio e clorita ao Mg, Fe e Ti proporcionado pelas intrusões basálticas, além do calor fornecido por elas. Também sugerem que a formação dos argilominerais do grupo esmectita aconteceu tardiamente, no período de resfriamento da intrusão.

AGRADECIMENTOS

Esta pesquisa foi realizada em associação com o projeto de P&D "Suites basálticas da bacia do Parnaíba e suas relações com sistemas petrolíferos associados", registrado como ANP 19088-4 e Fundação COPPETEC IGEO-19.343, patrocinado pela Geopark Brasil com recursos da Participação Especial firmados pela ANP como “Compromisso de Investimentos com Pesquisa e Desenvolvimento”.

REFERÊNCIAS

- ABELHA, M. Bacia do Parnaíba. In: 12ª RODADA DE LICITAÇÕES DE PETRÓLEO E GÁS, ANP, Superintendência de Definição de Blocos, 2013, Rio de Janeiro. Slides... Rio de Janeiro: ANP, 2013, 122 slides, color.

- Disponível em: http://rodadas.anp.gov.br/arquivos/Round_12/Seminarios_R12/apresentacao/r12_04_parnaiba.pdf. Acessado em: 22 de maio de 2018.
- AGUIAR, G.A. Revisão geológica da bacia paleozóica do Maranhão. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 25, 1971, São Paulo. **Anais...** São Paulo: Sociedade Brasileira de Geologia, 1971, v. 3, p. 113-122.
- ALMEIDA, F. F. M.; BRITO NEVES, B. B.; CARNEIRO, C. D. R. The origin and evolution of the South American Platform. **Earth Science Reviews**, v. 50, p. 77-111, 2000.
- BECCALUVA, L.; BIANCHINI, G.; NATALI, C.; SIENA, F. Continental Flood Basalts and Mantle Plumes: a Case Study of the Northern Ethiopian Plateau. **Journal of Petrology**, v. 50, n. 7, p. 1377-1403, 2009.
- BELLIENI, G.; COMIN-CHIARAMONTI, P.; MARQUES, L. S.; MELFI, A. J. PICCIRILLO, E. M.; NARDY, A. J. R.; ROISENBERG, A. High- and low-TiO₂ flood basalts from Paraná Plateau (Brazil): petrology and geochemical aspects bearing on their mantle origin. **Neues Jahrbuch Mineralogie Abhandlungen**, v. 150, p. 273-306, 1984.
- BELLIENI, G.; PICCIRILLO, E. M.; CAVAZZINI, G.; PETRINI, P.; COMIN-CHIARAMONTI, P.; NARDY, A. J. R.; CIVETTA, A. J.; MELFI, A. J.; ZANTEDESCHI, P. Low- and high TiO₂, Mesozoic tholeiitic magmatism of the Maranhão basin (NE-brazil) - K-Ar age, geochemistry, petrology, isotope characteristics and relationships with Mesozoic low- and high TiO₂ flood basalts of the Paraná Basin (SE-Brazil). **Neues Jahrbuch Mineralogischer Abhandlungen**, v. 162, p. 1-33, 1990.
- BERNET, M. & GAUPP, R. Diagenetic history of Triassic sandstone from the Beacon Supergroup in Central Victoria Land, Antarctica. **New Zealand Journal of Geology and Geophysics**, v. 48, n. 3, p. 447-458, 2005.
- BOND, G.C.; NICKESON, P. A.; KOMINZ, M.A. Breakup of a supercontinent between 625 Ma and 555 Ma: new evidence and implications for continental histories. **Earth and Planetary Science Letters**, v. 70, n. 2, p. 325-345, 1984.
- BRAUCKMANN, F. J. & FÜCHTBAUER, H. Alterations of cretaceous siltstones and sandstones near basalt contacts (Núgssuaq, Greenland). **Sedimentary Geology**, v. 35, p. 193-213, 1983.
- CHIPERA, S.J. & APPS, J.A. Geochemical Stability of Natural Zeolites. **Reviews in Mineralogy and Geochemistry**, v. 45, n. 1, p. 118-161, 2001.
- DA SILVA, A. G.; ALMEIDA, C. N.; VALENTE, S. DE C.; BORGHI, L. F. Petrogênese de diabásios toleíticos na porção oriental da Bacia do Parnaíba: evidências para heterogeneidade no manto litosférico subcontinental no NE do Brasil. **Brazilian Journal of Geology**, v. 47, n. 1, 2017.
- DEER, W. A.; HOWIE, R. A.; ZUSSMAN, J. (Autores). **Single-Chain Silicates (Rock-Forming Minerals)**. Geological Society of London, 680p., 2ª edição, 1997.
- DOTT, R.H. (Autor). Wacke, Greywacke and Matrix—What Approach to Immature Sandstone Classification? **Journal of Sedimentary Petrology**, v. 34, p. 625-632, 1964.
- ESPOSITO, K. J. & WHITNEY, G. (Autores). **Thermal Effects of Thin Igneous Intrusions on Diagenetic Reactions in a Tertiary Basin of Southwestern Washington**. U.S. Geological Survey, Information Services, 40p., 1995.
- GOES, A.M.O.; SOUZA, J.M. P.; TEIXEIRA, L.B. Estágio exploratório e perspectivas petrolíferas da Bacia do Parnaíba. **Boletim de Geociências da Petrobras**, v. 4, p. 55-64, 1990.
- LE MAITRE, R. W. (Autor). **A Classification and Glossary of Terms: Recommendations of the International Union of Geological Sciences Subcommission on the Systematics of Igneous Rocks**. Edimburgo. Cambridge University Press, 2. ed., p. 236, 2002.
- LEITE, J.F.; ABOARRAGE, A. M.; DAEMON, R. F. **Projeto Carvão da Bacia do Parnaíba. Relatório final das etapas II e III**. DNPM/CPRM, Recife, 1 v., 1975.
- MCKINLEY, J. M.; WORDEN, R. H.; RUFFELL, A. H. Contact diagenesis: the effect of an intrusion on reservoir quality in the Triassic Sherwood sandstone Group, Northern Ireland. **Journal of Sedimentary Research**, v. 71, n. 3, p. 484-495, 2001.
- MERLE, R.; MARZOLI, A.; BERTRAND, H.; REISBERG, L.; VERATI, C.; ZIMMERMANN, C.; CHIARADIA, M.; BELLINI, G.; ERNESTO, M. 40Ar/39Ar ages and Sr-Nd-Pb-Os geochemistry of CAMP tholeiites from Western Maranhão basin (NE Brazil). **Lithos**, v. 122, n. 3-4, p. 137-151, 2011.
- MCKINLEY, J. M.; WORDEN, R. H.; RUFFELL, A. H. Contact diagenesis: the effect of an intrusion on reservoir quality in the triassic Sherwood Sandstone Group, Northern Ireland. **Journal of Sedimentary Research**, v. 71, n. 3, p. 484-495, 2001.
- OLIVEIRA, D. C. & MOHRIAK, W. U. Jaibaras trough: an important element in the early tectonic evolution of the Parnaíba interior sag basin, Northern Brazil. **Marine and Petroleum Geology**, v. 20, n. 3-4, p. 351-383, 2003.
- PEATE, D.; HAWKESWORTH, C. J.; MANTOVANI, M. Chemical stratigraphy of the Paraná lavas (South America): classification of magma types and their spatial distribution. **Bulletin of Volcanology**, v. 55, n.1, p. 119-139, 1992.
- PEATE, D. & HAWKESWORTH, C. J. Lithospheric to asthenospheric transition in Low-Ti flood basalts from southern Parana, Brazil. **Chemical Geology**, v. 127, n. 1-3, p. 1-24, 1996.
- RENJITH, M.L. Micro-textures in plagioclase from 1994-1995 eruption, Barren Island Volcano: Evidence of dynamic magma plumbing system in the Andaman subduction zone. **Geoscience Frontiers**, v. 5, p. 113-126, 2014.
- STRECKEISEN, A. To each plutonic rock its proper name. **Earth Science Reviews**, v. 12, p. 1-33, 1976.
- THOMPSON, T. W.; LIU, W. T.; WEISSMAN, D. E. Synthetic aperture radar observation of ocean roughness from rolls in an unstable marine boundary layer. **Geophysical Research Letters**, v. 10, n. 12, 1983.
- VAZ, P.K.; REZENDE, N. DAS G. DE A. DA M.; FILHO, J. R. W.; TRAVASSOS, W. A. S. Bacia do Parnaíba. **Boletim de Geociências da Petrobras**, v. 15, p. 253-263, 2007.

Submetido em 5 de junho de 2019

Aceito para publicação em 3 de junho de 2020