

# INTRUSÃO ALCALINA DE MORRO PRETO (GO): GEOLOGIA, PETROGRAFIA E GEOQUÍMICA

Guillermo Rafael Beltran Navarro<sup>1</sup>, Antenor Zanardo<sup>2</sup>, Fabiano Tomazini da Conceição<sup>3</sup>,  
Nélson Angeli<sup>4</sup>

- (1) Departamento de Petrologia e Metalogenia - DPM, UNESP. Av. 24 A, n° 1515, Rio Claro - SP. CEP 13506-900. Endereço eletrônico: navarro@rc.unesp.br.  
(2) Departamento de Petrologia e Metalogenia - DPM, UNESP. Av. 24 A, n° 1515, Rio Claro - SP. CEP 13506-900. Endereço eletrônico: azanardo@rc.unesp.br.  
(3) Departamento de Planejamento Territorial e Geoprocessamento - DEPLAN, UNESP. Av. 24 A, n° 1515, Rio Claro - SP. CEP 13506-900. Endereço eletrônico: ftomazini@rc.unesp.br.  
(4) Departamento de Petrologia e Metalogenia - DPM, UNESP. Av. 24 A, n° 1515, Rio Claro - SP. CEP 13506-900. Endereço eletrônico: nangeli@rc.unesp.br.

Introdução  
Materiais e métodos  
Geologia local  
Caracterização petrográfica das litologias do corpo alcalino de Morro Preto  
Carbonatito Silicificado  
Silexito Rico em Óxidos e/ou Hidróxidos de Ferro  
Lamprófiro Hidrotermalizado e/ou Laterizado  
Egirina(?) Sienito Silicificado e Laterizado  
Rocha Alcalina Ferruginizada  
Basalto Alcalino (?)  
Geoquímica das rochas do Morro Preto  
Carbonatito Silicificado  
Silexito  
Lamprófiro Hidrotermalizado ou Laterizado  
Basalto Alcalino (?)  
Microscopia eletrônica  
Conclusões  
Agradecimentos  
Referências Bibliográficas

**RESUMO** - A intrusão alcalina de Morro Preto, localizada ao norte da cidade de Piranhas (GO), corresponde a um corpo irregular a subcircular com aproximados 3,34 km<sup>2</sup> alojado em gnaisses atribuídos ao Arco Magmático de Goiás. É constituída principalmente por carbonatitos e lamprófiros com graus variados de laterização e silicificação, além de silexitos e, em menor expressão, por sienito ferruginizado e basalto alcalino. Quimicamente mostram baixas concentrações em Cs, K, Na, Rb e altas concentrações em elementos como TR, Nb, Ba, Th e U. Isto aparenta resultar de processos de laterização/silicificação e da formação de fases minerais raras (ou neoformação de fases minerais), como fosfatos com alta concentração de TR e Th, oxi-hidróxidos de Fe, Ba, Mn, e oxi e/ou silico-fosfatos de ETR, Nb, Ta, dentre outros, e a formação de barita. A presença de rochas carbonatíticas com alto P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e o enriquecimento acentuado em TR sugere a possibilidade de mineralizações destes componentes, similar às observadas em outros complexos alcalinos de Goiás e de Minas Gerais, como Catalão e Araxá. A distribuição de elementos menores, traços e TR mostram que as rochas são produtos de alteração de rochas ígneas alcalinas como carbonatitos, lamprófiros e basaltos alcalinos, rochas já enriquecidas em elementos como Th, U, TR (principalmente em ETRL), Nb e Ta. Os teores anormalmente altos são resultado do processo de enriquecimento supérgeno (processos de intemperismo como silicificação e laterização) e/ou alteração hidrotermal com baixa temperatura.

**Palavras-chave:** Morro Preto, rocha alcalina, geoquímica.

**ABSTRACT** - The alkaline intrusion of Morro Preto, located to the north of Piranhas (GO), is an irregular to subcircular rock body with about 3,34 km<sup>2</sup>, hosted in gneisses of the Goiás Magmatic Arc. It is chiefly constituted by carbonatites and lamprophyres with several degrees of laterization and silicification, as well as silexites and minor contents of ferruginous syenites and alkaline basalts. Chemically, it shows low concentrations in Cs, K, Na, Rb and high contents of REE, Nb, Ba, Th and U. This is probably due to the processes of laterization/silicification, and to the new rare mineral phases formed, i.e., phosphates with high concentration in REE and Th, oxi-hydroxides of Fe, Ba and Mn, and/or siliceous phosphates of REE, Nb, Ta, among others, and barite formation. Carbonatitic rocks with high P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> and expressive enrichment in REE suggests possible mineralization in these components, similar to other alkaline complexes in Goiás (Catalão) and Minas Gerais (Araxá). The distribution of minor, REE and trace elements show that these rocks are alteration products of alkaline igneous rocks as carbonatites, lamprophyres and alkaline basalts, once these rocks are naturally enriched in elements as Th, U, REE (in special LREE), Nb and Ta. The excessively high contents in these rocks results from supergene enrichment and/or hydrothermal alteration in low temperature.

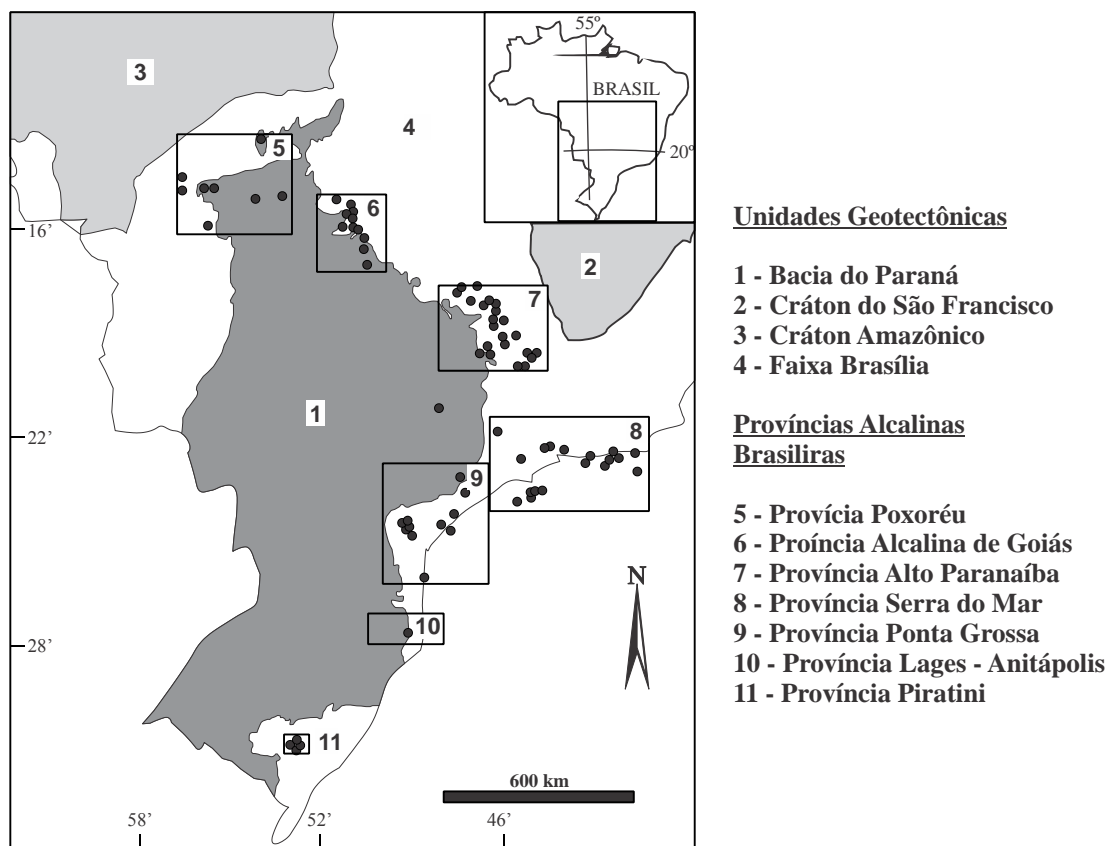
**Keywords:** Morro Preto, alkaline rock, geochemistry.

## INTRODUÇÃO

A Província Alcalina do Sul de Goiás ou ígneos de filiação alcalina e natureza plutônico-vulcânica (Figura 1) é composta por corpos vulcânica que ocorrem sob a forma de *sills*,

diques, *plugs* e *pipes*, além de derrames e depósitos de lavas piroclásticas (Lacerda Filho et al., 1999; Moreira et al., 2008), resultantes de magmatismo ultrapotássico do Cretáceo (Gibson et al., 1995). Diversos autores relatam esse magmatismo como uma atividade de pluma mantélica que formou kamafugitos, kimberlitos, lamproitos e complexos alcalinos-carbonatíticos que afetou a plataforma brasileira, do fim do Jurássico ao Terciário Inferior, e que teve início com os derrames basálticos da bacia do Paraná (Herz, 1977; Toyoda et al., 1994; Gibson et al., 1995; Santos & Clayton, 1995; Amaral et al., 1997; Thompson et al., 1998; Brod et al., 2000).

As principais ocorrências plutônicas da Província Alcalina do Sul de Goiás (Morro do Engenho; Santa Fé; Montes Claros de Goiás; Córrego dos Bóias; Morro do Macaco; Buriti; Arenópolis; Amarinópolis; Águas Emendadas; Santo Antônio da Barra) ocorrem entre as cidades de Iporá e Rio Verde, distribuídas em uma área alongada segundo N30W, com aproximadamente 70 km de largura por 250 km de comprimento. As manifestações vulcânicas associadas a esta província ocorrem, principalmente, nas proximidades de Santo Antônio da Barra, distribuídas preferencialmente em uma faixa de direção NW/SE (Lacerda Filho et al., 1999).



**Figura 1.** Províncias alcalinas da região centro-sul do Brasil (modificado de Ulbrich & Gomes, 1981).

Estas manifestações magmáticas alcalinas estão associadas ao tectonismo cretácico, tendo sua última fase ocorrida concomitantemente com a deposição da porção superior do Grupo Bauru – Formação Marília (Souza Jr. et al., 1983). A Província Alcalina de Goiás (Lacerda Filho et al., 1999; Moreira et al., 2008) é subdividida em duas unidades: i) Suíte Vulcânica de Santo Antônio da Barra e/ou Formação Santo Antônio da Barra e ii) Suíte

Plutônica de Iporá e/ou Complexo Alcalino Iporá.

A Suíte Santo Antônio da Barra compreende uma sequência de derrames e brechas, compostas por leucititos, olivina leucititos, melaneferinitos, álcali basanitos, tefritos, lamprófiros, traquitos, nefelinitos, teralitos, brechas carbonáticas, condutos de fourchiquitos, kamafungitos, melanonchiquitos

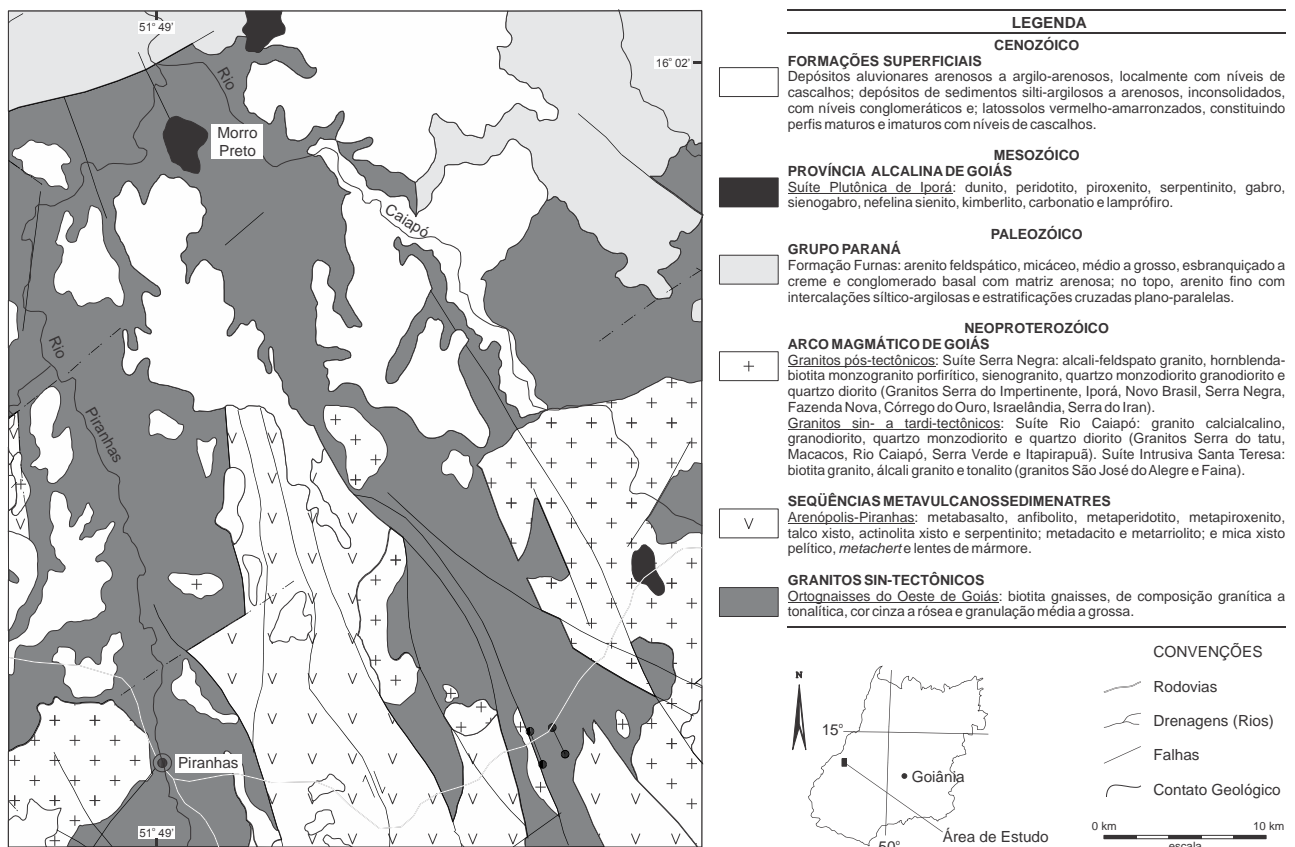
e fonolitos (Rezende et al., 1999; Moreira et al., 2008).

A Suíte Plutônica de Iporá (anteriormente denominada de Grupo Iporá por Guimarães et al., 1968) engloba uma série de corpos intrusivos de filiação alcalina e natureza plutono-vulcânica de idade cretácea. Estes corpos são caracterizados pela natureza plutônica de pequenas dimensões, compostos por rochas duníticas, peridotíticas, piroxeníticas, serpentinitos, gabros, sienogranitos, nefelina sienitos, silexitos, carbonatitos, kimberlitos e lamprófiros. Dentre os principais corpos destacam-se os corpos de Santa Fé, Morro dos Macacos (Iporá), Morro do Engenho, Montes Claros de Goiás, Rio dos Bois, Arenópolis e Buriti (Lacerda Filho et al., 1999; Moreira et al., 2008).

Segundo Danni et al. (1992) esses conjuntos de corpos alcalinos são derivados de magma picrítico alcalino, resultante do fracionamento de olivina, clinopiroxênio e plagioclásio em câmaras subvulcânicas rasas (Cerqueira & Danni, 1994). Para Pena & Figueiredo (1972) o magmatismo mais ultrabásico é mais antigo, sugerindo um magmatismo sequenciado, com

características cada vez mais ácidas. Cerqueira & Danni (1994) confirmam a cristalização fracionada, e concluem que as rochas subvulcânicas (microsienitos e traquitos) representam pulsos magmáticos tardios, nos quais os traquitos parecem derivar da contaminação de magmatismo mais saturado.

Na região de Piranhas ocorrem três intrusões alcalinas pertencentes a Suíte Plutônica de Iporá, alojadas no Arco magmático de Goiás, entre elas a ocorrência de Morro Preto, localizada próximo a confluência entre os rios Piranhas e Caiapó (Figura 2). Este trabalho apresenta dados petrográficos e geoquímicos da ocorrência alcalina de Morro Preto. O Morro Preto corresponde a uma pequena intrusão subcircular com cerca de 3,34 km<sup>2</sup> de área, alojada nos gnaisses pertencentes ao Arco Magma-tico de Goiás. Esta é constituída predominantemente por blocos de rochas de granulação fina, com graus variados de alteração e fortemente silicificadas e laterizadas, de cor variada (são rochas de cor branca, branca rosada, branca acinzentada, avermelhada e cinzenta).



**Figura 2.** Mapa Geológico simplificado da região de Piranhas (modificado de Lacerda Filho et al., 1999).

## MATERIAIS E MÉTODOS

As análises petrográficas consistiram na observação macroscópica das amostras com auxílio de lupa de mão de 20 vezes e análise microscópica de luz transmitida (30 seções delgadas), realizada em microscópio monocular de marca Leitz (Wetzlar SM-Lux Pol).

Foram selecionadas 21 amostras do Morro Preto para estudos litogeoquímicos de elementos maiores, traços e Terras Raras. Cinco amostras correspondem a litotipos interpretados como carbonatito silicificado, nove correspondem a silexitos, seis a lamprófios hidroteralizados e outra a basalto alcalino. As análises químicas (rocha total) foram realizadas pelo Laboratório Acme (Analytical Laboratories LTD, Vancouver, Canadá), utilizando os métodos 4A (ICP-ES) e 4B (ICP-MS), seguindo a rotina convencional de britagem e moagem realizadas no Laboratório de Preparação de Amostras do Departamento de Petrologia do IGCE/UNESP. Os elementos maiores ( $\text{SiO}_2$ ,  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{MnO}$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{CaO}$ ,  $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{K}_2\text{O}$  e  $\text{P}_2\text{O}_5$ ) foram obtidos por Espectrômetro de Emissão em Plasma Indutivamente Acoplado (ICP-ES), após fusão utilizando metaborato/tetraborado de lítio e digestão em ácido nítrico diluído, sendo a perda

ao fogo (LOI) determinada pela diferença de peso da amostra antes e depois do aquecimento a  $1.000^\circ\text{C}$  por quatro horas. Os elementos-traços (Cs, Rb, Ba, Th, U, Nb, Ta, Sr, Zr, Hf, Y) e Terras Raras (La, Ce, Pr, Nd, Sm, Eu, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Yb, Lu) foram analisados no Espectrômetro de Massa em Plasma Indutivamente Acoplado (ICP-MS), após fusão utilizando metaborato/tetraborado de lítio e digestão em ácido nítrico, sendo que para os metais preciosos e base (Cd, Cu, Mo, Ni, Pb, Tl, Zn) a digestão foi por água régia. O tratamento dos dados geoquímicos e a construção de diagramas foram realizados com emprego do programa *MINPET* versão 2.02 (Richard, 1995). Os resultados das análises são apresentados na Tabela 1.

Algumas seções delgadas foram usadas para obtenção de imagens através de microscopia eletrônica de varredura (MEV) e avaliação da composição mineralógicas através de análise semiquantitativa (EDS), utilizando o microscópio Field Emission Gun JSM 6330 F do Laboratório de Nanociências e Nanotecnologia “Cesar Lattes” do Laboratório Nacional de Luz Síncrotron (LNLS), Campinas, São Paulo.

**Tabela 1.** Análises químicas representativas da intrusão alcalina de Morro Preto.

Amostra	MP-0 <sup>a</sup>	MP-61A <sup>a</sup>	MP-184 <sup>a</sup>	MP-185 <sup>a</sup>	MP-194A <sup>a</sup>	MP-1 <sup>b</sup>	MP-54 <sup>b</sup>	MP-59 <sup>b</sup>	MP-105 <sup>b</sup>	MP-113A <sup>b</sup>
$\text{SiO}_2$	65,29	2,87	60,26	55,52	23,97	91,26	78,03	78,51	84,3	91,81
$\text{TiO}_2$	0,01	0,04	0,01	0,02	0,04	0,04	0,02	0,04	0,01	0,02
$\text{Al}_2\text{O}_3$	0,11	0,63	0,32	0,12	0,1	0,15	0,47	1,47	0,38	0,07
$\text{Fe}_2\text{O}_3\text{T}$	6,18	7,62	8,32	5,0	3,77	6,05	15,18	14,21	10,47	4,19
$\text{MnO}$	0,7	0,16	1,25	0,53	0,4	0,81	1,49	1,31	1,02	0,89
$\text{MgO}$	0,05	0,13	0,04	0,06	0,02	0,04	0,14	0,12	0,13	0,02
$\text{CaO}$	13,97	49,53	14,3	19,91	39,03	0,15	0,3	0,15	0,07	0,26
$\text{Na}_2\text{O}$	0,22	0,26	0,07	0,19	0,41	0,01	*	*	0,01	*
$\text{K}_2\text{O}$	0,01	0,07	0,03	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
$\text{P}_2\text{O}_5$	11,07	34,72	11,71	16,13	29,84	0,38	0,53	0,43	0,68	0,3
LOI	1,4	2,9	3,1	1,2	1,4	0,7	3,1	3,1	2,4	2,3
<b>TOTAL</b>	<b>98,91</b>	<b>98,96</b>	<b>99,47</b>	<b>98,63</b>	<b>99,03</b>	<b>99,53</b>	<b>99,27</b>	<b>99,35</b>	<b>99,31</b>	<b>99,84</b>
Sc	12	1	9	9	4	7	10	10	13	5
V	44	74	35	27	24	17	11	9	13	22
Cr	13,68	27,37	*	13,68	*	13,68	*	27,37	20,53	*
Co	11,5	5,3	8,8	7,2	6,1	6,4	10,1	15,7	6,4	6,8
Ni	10,5	5,3	15,9	3,8	4,1	8,5	7,5	9,3	8,5	27,4
Cu	3,2	1,6	6,3	3,5	3,4	4	5,2	4,6	3,5	8,6
Zn	66	147	91	40	135	33	290	277	158	55

Rb	0,4	1,8	0,2	0,3	0,2	0,4	0,5	0,2	0,5	*
Cs	0,1	*	*	0,1	0,2	0,1	*	*	0,1	*
Sr	6224,6	6116,9	1675	8547,4	5455,2	289,5	249,3	323,4	316,2	63,2
Ba	1255	561	1432	1134	1382	1347	2870	2289	2615	1493
Y	139,8	117,7	60,5	176,2	115,8	78,9	79,5	69,1	88,8	5,9
Zr	110,5	147,2	28	68,5	41,9	22,4	62,6	44,9	27,6	19,9
Hf	0,4	0,9	0,6	0,3	0,6	0,1	1,6	1,2	0,3	0,2
Nb	155,7	84,6	19,3	218,3	29,8	7,8	11,3	18,8	139,3	58,8
Ta	21,3	22,5	0,5	22,5	0,8	0,3	0,4	1,1	1,5	9,5
Pb	20,8	47,4	11,5	30,8	41,1	22	14,3	11,7	71,3	4,1
Th	10,8	9,4	6,8	12	11,2	11,4	30,1	28	16,8	0,5
U	19,2	147,8	8,3	16	10,3	1,6	7,5	7,5	4	7,4
Ga	1,6	1,3	1,4	1,7	1,6	2,2	0,6	1,6	2,9	0,8
La	242	213,8	112,4	243,4	142	454,6	732,4	757	678,4	73,7
Ce	583,7	503,9	288,6	588,7	316,1	1115,5	1381,8	1479,5	1272,2	162,8
Pr	66,38	60,97	34,71	67,65	35,85	135,99	150,29	152,64	129,95	17,79
Nd	285	243,7	143,1	284,9	145,8	582,9	535,7	535,7	453,3	67,5
Sm	49,58	41,19	27,5	49,11	26,13	91,36	74,7	72,46	58,33	8,79
Eu	14,94	11,21	8,06	15,7	7,8	25,98	19,42	18,81	15,69	2,07
Gd	40,78	29,06	22,26	46,14	20,91	65,49	48,95	47,3	42,18	4,48
Tb	5,64	3,65	2,98	7,21	3,3	6,99	5,85	5,9	4,95	0,43
Dy	27,59	17,27	14	38,46	19	25,72	22,97	23,12	21,69	1,99
Ho	5,02	3,54	2,4	7,04	4,4	2,99	3,09	3,13	3,42	0,23
Er	12,6	10,74	5,74	16,52	12,63	5,56	6,78	7,06	7,91	0,62
Tm	1,69	1,5	0,82	1,94	2,1	0,67	0,87	0,75	0,89	0,08
Yb	8,45	8,6	4,8	9,62	12,6	3,52	4,18	3,51	4,49	0,58
Lu	0,97	1,15	0,66	1,11	1,85	0,39	0,43	0,4	0,48	0,08

a – carbonatito silicificado, b – silexito, c – lamprófito laterizado ou hidrotermalizado, d – basalto alcalino. \* valores abaixo do limite de detecção.

Tabela 1. (continuação).

Amostr a	MP- 115 <sup>b</sup>	MP – 135 <sup>b</sup>	MP- 167 <sup>b</sup>	MP- 197 <sup>b</sup>	MP- 49 <sup>c</sup>	MP- 86 <sup>c</sup>	MP- 140 <sup>c</sup>	MP- 151 <sup>c</sup>	MP- 168 <sup>c</sup>	MP- 148 <sup>c</sup>	MP- 103 <sup>d</sup>
SiO <sub>2</sub>	88,9	87,19	71,51	89,27	40,39	39,59	42,91	53,66	60,34	56,2	39,35
TiO <sub>2</sub>	0,01	0,01	0,23	0,01	0,1	0,1	0,05	0,11	0,15	0,06	2,79
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,19	0,15	0,09	0,13	0,86	2,04	0,09	0,14	0,10	0,34	10,03
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> T	6,93	8,93	20,42	8,17	50,71	51,55	43,9	40,35	30,75	42,43	12,39
MnO	1,77	1,06	2,18	0,43	0,41	2,31	1,13	1,07	3,37	0,08	0,21
MgO	0,01	0,16	0,02	0,03	0,19	0,03	0,01	0,04	0,06	0,04	14,94
CaO	0,08	0,1	0,12	0,08	0,24	0,16	0,07	0,04	0,13	0,03	12,03
NA <sub>2</sub> O	*	0,01	0,01	0,01	*	*	0,01	0,01	*	0,01	1,79
K <sub>2</sub> O	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,03	0,01	0,01	0,01	0,03	1,65
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,21	0,26	0,79	0,22	0,41	0,91	0,45	0,50	0,35	0,04	0,76
LOI	0,9	1,60	1,3	1,40	6,2	1,9	0,1	2,20	1,2	0,6	2,9
TOTA											
L	98,98	99,43	96,63	99,66	99,5	98,62	88,74	98,09	96,52	99,88	99,08
Sc	15	20	11	19	15	18	6	8	8	2	30
V	17	13	35	29	317	57	40	41	72	47	285
Cr	27,37	61,58	13,68	20,53	82,11	27,37	20,53	13,68	54,74	27,37	2
Co	8,5	10,1	25,6	4,5	28,3	32,9	16,3	17,1	20,3	7,2	64,2

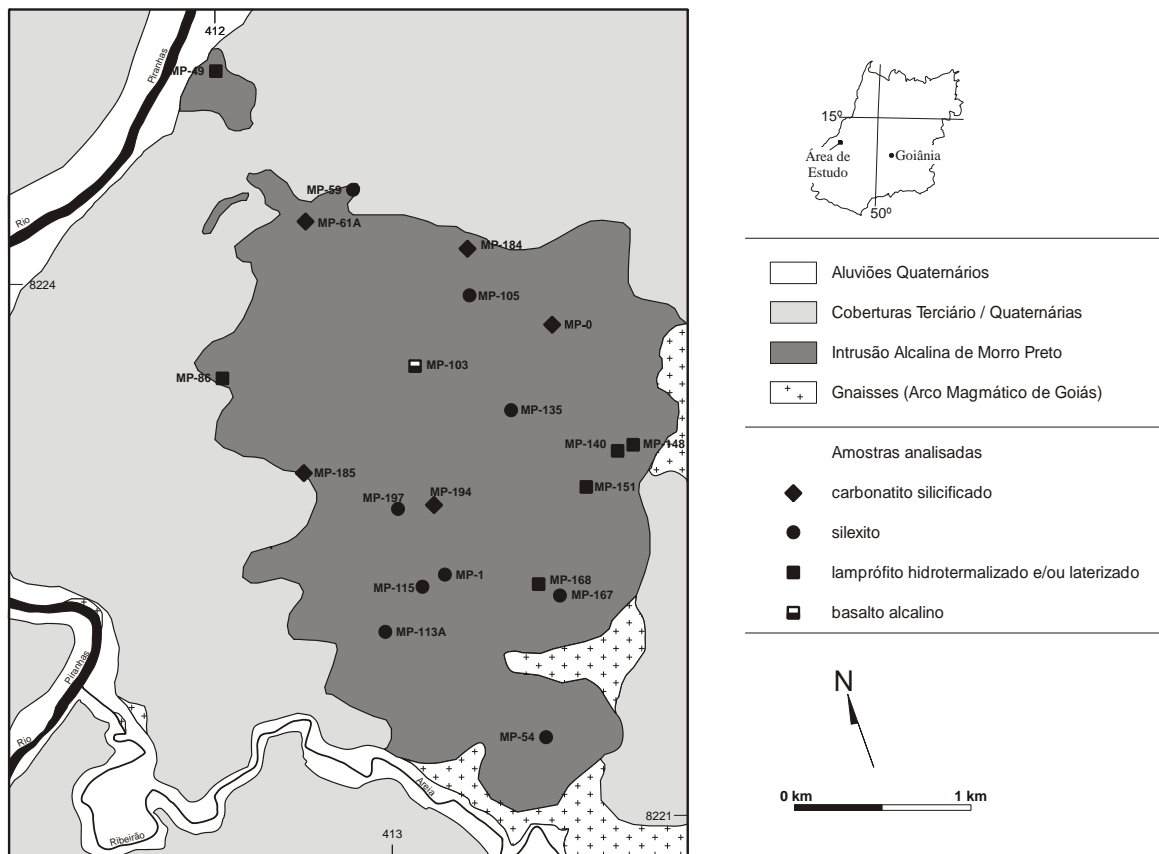
Ni	5,3	11,2	6,8	7,4	9,6	16,4	9,8	6,7	7,8	14,1	281,5
Cu	5,0	3,4	3,6	4,3	5	3,8	4,2	5,4	29,9	56	56,8
Zn	197	591	350	520	457	139	473	459	991	45	68
Rb	0,3	1,1	0,5	0,2	0,8	1,7	0,3	0,5	0,4	1,3	89,8
Cs	*	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	*	0,1	3,5
											1051,
Sr	96,8	86,8	458,7	107,6	95,2	751,5	655,1	517,3	608,5	17,4	5
							5000		2518		
Ba	5907	1913	14352	1348	516	8415	0	7837	1	262	3453
Y	68,6	111	73,3	55	92,4	128,1	55,3	227,7	44,3	5,7	28,9
Zr	9,2	124,9	87	27,5	266,5	162,6	28,7	222,4	69	31,2	285,1
Hf	*	4,1	0,2	0,2	2,3	0,6	0,5	1,3	0,7	0,6	7
							1949,				
Nb	200,4	284,6	889,9	64,2	60,8	1171,7	8	966	201	24,8	95,2
Ta	0,90	2,8	3,1	2,3	0,2	2,1	5,6	1,9	0,9	0,1	6,1
Pb	49,4	47,9	229,7	37,1	98,7	87,3	122,2	166,5	207,7	8	3,9
Th	74,5	17,4	171,7	38,3	524,3	197,1	350,7	400	157,6	0,6	7,2
U	1,8	3,7	3,6	2,1	10,8	9,5	11,5	18,8	2,8	0,4	2
Ga	0,8	2,2	2,7	2,5	1,2	3,2	3,8	3,2	2,3	2,5	15,6
								1452,			
La	585,2	376,9	5462,7	171,2	185,4	120,3	2243	3	997,9	13,6	78,5
							3471,		1761,		
Ce	999,8	872,9	5871,7	356,9	789,8	282,4	7	2505	6	18,3	159,5
							295,0	265,6	172,3		
Pr	114,17	90,83	372,25	38,61	87,63	40,26	8	9	8	2,17	18,55
Nd	419,9	348,9	869,1	158,7	323,1	216,4	828,6	798,3	476,7	6,6	73,5
Sm	56	52,05	57,59	32,3	47,1	73,62	70,35	79,86	43,79	0,98	11,64
Eu	15,26	15,05	13,32	10,76	11,05	19,1	17,13	20,94	9,26	0,33	3,53
Gd	39,24	41,73	41,5	30,66	27,11	43,98	49,19	63,20	23,47	0,92	9,32
Tb	4,58	5,76	3,94	4,19	3,66	5,04	4,37	7,59	2,34	0,15	1,23
Dy	18,82	27,63	18,06	17,55	19,6	25,55	16,36	39,96	10,73	0,85	5,8
Ho	2,7	4,35	2,84	2,4	3,48	4,33	2,15	7,38	1,46	0,19	0,99
Er	5,72	9,85	6,65	5,08	9,9	11,77	4,14	21,44	3,77	0,63	2,48
Tm	0,79	1,13	0,83	0,59	1,61	1,63	0,48	2,96	0,42	0,11	0,33
Yb	3,86	5,93	4,24	3,18	11,29	8,12	2,25	16,33	1,85	0,72	1,77
Lu	0,47	0,77	0,49	0,37	2,07	1,02	0,23	1,9	0,21	0,11	0,25

a – carbonatito silicificado, b – silexito, c – lamprófito laterizado ou hidrotermalizado, d – basalto alcalino. \* valores abaixo do limite de detecção.

## GEOLOGIA LOCAL

A intrusão alcalina de Morro Preto localiza-se ao norte da cidade de Piranhas (GO), e corresponde a uma pequena intrusão subcircular a irregular, com cerca de 3,34 km<sup>2</sup>

de área e com cerca de 180 m de altura, alojada nos gnaisses pertencentes ao Arco Magmático de Goiás (Figura 3).



**Figura 3.** Mapa Geológico simplificado da Intrusão do Morro Preto.

As coberturas (solos, lateritas e depósitos coluvionares) dominam toda a porção norte e nordeste da área, não permitindo a exposição de rochas do substrato no qual se encontram depositadas e/ou desenvolvidas. São constituídas por solo argilo-arenoso a areno-argiloso de espessura métrica, apresentando cor vermelha, creme e rosa avermelhada. Fragmentos angulosos de dimensões milimétricas e restos de laterita associados são comuns.

Nas porções mais próximas ao morro (pé do morro e drenagens), o solo é rico em blocos centimétricos a métricos constituídos por fragmentos de rochas provenientes do corpo alcalino Morro Preto (solo coluvionar). Estes depósitos predominam junto ao morro e circundam-no, sendo a melhor exposição na porção norte do morro. Encobrem em grande parte os gnaisses que afloram na porção sul da área.

As lateritas são avermelhadas a creme, ricas em ferro e quartzo (fragmentos) e ocorrem circundando o Morro Preto, principalmente na porção sudeste do referido morro (região da antiga estrada que leva a torre). Níveis de cascalheira, com seixos centimétricos

(predominantemente quartzosos) ocorrem em algumas porções.

As rochas relacionadas ao Arco Magmático de Goiás são constituídas por muscovita gnaiss de coloração esbranquiçada e granulação média a grossa. Afloram principalmente na porção sul e sudoeste na forma de blocos, ocorrendo na maior parte sob as coberturas e aluviões. Em algumas drenagens ocorre na forma “*in situ*”. Efeitos de silicificação também são observados nestas rochas, principalmente próximos ao contato com as rochas que compõem o Morro Preto. Nestes locais a rocha apresenta granulação fina, aspecto maciço, cor branca a creme e é mais pobre em muscovita. Na margem do córrego das Areias, aflora biotita gnaiss bandado (bandamento milimétrico a centimétrico), de granulação média a grossa e coloração cinza escuro.

Na região das principais drenagens (córrego das Areias, rios Piranhas e Caiapó) ocorrem depósitos aluvionares com espessuras métricas, formados por areia branca a creme, de granulação média a grossa, constituídos principalmente por quartzo e mica (muscovita), com finos níveis de minerais opacos. Em alguns locais ocorrem faixas estreitas de

conglomerados, constituídos por seixos quartzosos, de dimensões centimétricas, apresentando forma ovalada. Estes conglomerados, de grosso modo, acompanham a orientação das principais drenagens.

As rochas que compõem a intrusão de Morro Preto possuem granulação fina, coloração variada (cor branca; branca rosada; branca acinzentada; avermelhadas; cinzentas), exibindo em alguns locais fraco bandamento marcado principalmente pela variação da coloração. Porém, não se observa orientação mineral definindo foliação ou fluxo magmático. Afloram em sua maioria na forma de blocos de dimensões variadas, e apenas em elevações topográficas ocorrem “*in situ*”. Restos de material rico em ferro com aspecto de laterita ocorrem dispersos pela área de ocorrência da intrusão. O material aflorante é constituído principalmente por sílica (calcedônia e

quartzo), com quantidades variáveis de hematita, goethita, barita, apatita e argilominerais; algumas porções ricas em hematita/magnetita ocorrem como intercalações, predominantemente nas bordas do corpo e circundando-o, constituindo fraco bandamento com médio a alto ângulo de mergulho.

Algumas cavidades (de dimensões milimétricas) ocorrem nestas rochas e são preenchidas por quartzo, às vezes formando pequenos geodos de cristais milimétricos bem formados, associado ou não a barita.

Mineralogicamente as rochas que compõem a intrusão alcalina de Morro Preto são constituídas principalmente por quartzo e/ou calcedônia, hidróxido de ferro, apatita e crandallita. Em menor proporção pode ocorrer ainda carbonato, anatásio e barita.

## CARACTERIZAÇÃO PETROGRÁFICA DAS LITOLOGIAS DO CORPO ALCALINO DE MORRO PRETO

Petrograficamente observa-se uma substituição total a quase total da mineralogia primária das rochas alcalinas de Morro Preto, acompanhada ou não de ferralitização (geração de hematita) e, às vezes, também da precipitação de hidróxidos de ferro, formação de apatita, barita e em menor quantidade de argilominerais, aparentemente do grupo da montmorillonita. Fantasmas de texturas porfiríticas, com formas indicativas da presença de cristais primários de olivina e piroxênio, são raramente observadas. Em função das respectivas feições texturais, estruturais e dos minerais ou pseudomorfos de minerais primários presentes as rochas observadas no corpo intrusivo Morro Preto foram classificadas e caracterizadas conforme abaixo.

### Carbonatito Silicificado

Seções delgadas deste tipo de rocha mostram estruturas isotrópicas com domínios granulares pouco orientados, com sutis estruturas de fluxo marcadas por agregados de cristais de apatita. Também exibem estruturas de substituição ricas em moldes dos materiais anteriores formados por cristais eudrais de olivina, piroxênio e possivelmente dolomita com dimensões menores que 1 mm. A textura é densa,

engrenada e fibroradial, típica de substituição e preenchimento de cavidades, e exibe domínios granulares hipidiomorficos e xenomórficos.

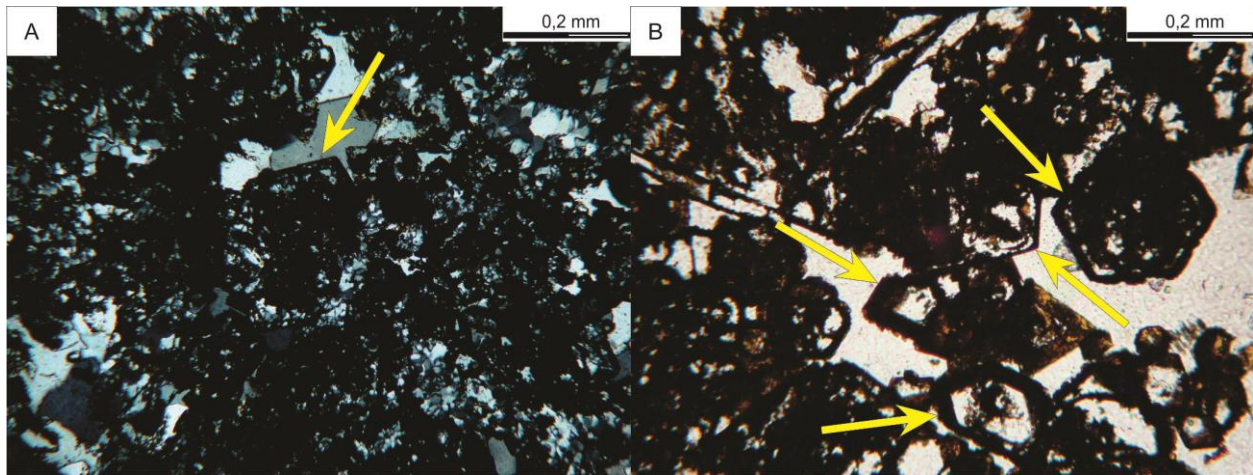
A sílica (quartzo e calcedônia variam entre 30% - 80%) ocorre predominantemente sob a forma de cristais anedrais de quartzo que chega a atingir 500  $\mu\text{m}$  na dimensão maior. Apresenta granulação e textura diferente, sendo que dentro dos pseudomorfos moldados por hidróxidos os cristais de quartzo possuem granulação mais fina, podendo, localmente, ser considerados como calcedônia grossa, neste caso com arranjo fibrorradiado a granular. Envolvendo os pseudomorfos o quartzo apresenta granulação bem maior atingindo até 500  $\mu\text{m}$  na dimensão maior, com média da ordem de 50 a 100  $\mu\text{m}$ . A calcedônia ocorre formando pequenos domínios arredondados a irregulares, de disposição globular. Apresenta granulação variada, chegando a atingir mais de 200  $\mu\text{m}$  de diâmetro. Aparenta ter substituído carbonato, silicatos ferro magnesianos e outros minerais, inclusive apatita (Fotomicrografia 1A, B).

A crandallita (e/ou minerais do grupo da crandallita, varia entre 10%-50%) ocorre formando massas compactas, microcristalinas, e/ou cristais maiores constituindo agregados interpenetrados e engrenados; apenas nas

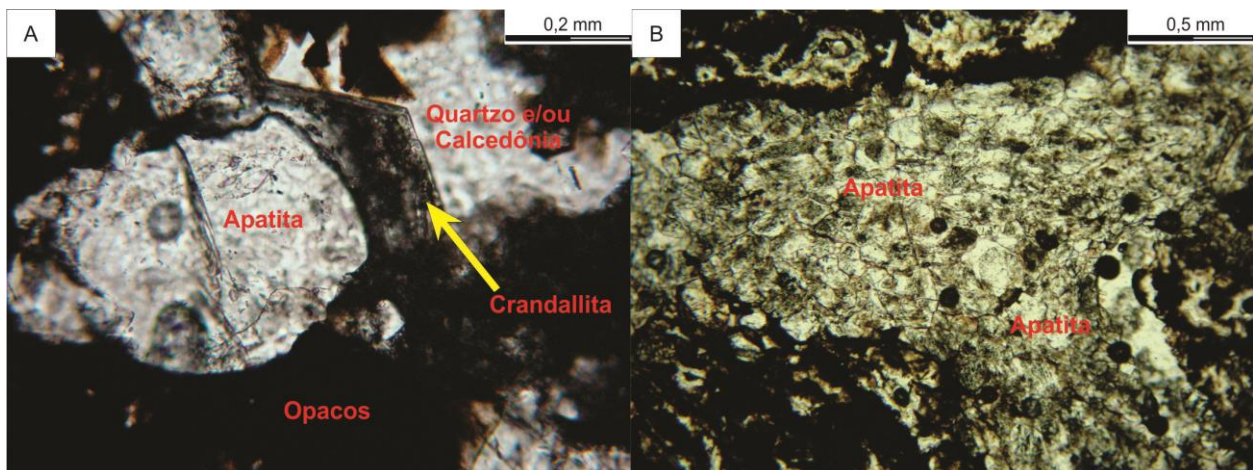


bordas em contato com a calcedônia forma halos mais límpidos com arranjo hexagonal ou pseudo-hexagonal. Aparece resultar da transformação total de leitos constituídos basicamente por apatita que se intercala com

leitos ricos em sílica e/ou carbonatos. Localmente chega a formar coroas euédricas (hexagonais) sobre cristais corroídos de apatita (Fotomicrografia 2A).



**Fotomicrografias 1A e 1B.** Fantasmas de minerais primários (carbonatos, silicatos ferro magnesianos e apatita (?) indicado por setas amarelas) substituídos por sílica (quartzo e/ou calcedônia) e óxidos/hidróxidos.



**Fotomicrografias 2.** A) Coroa euédrica de crandallita sobre cristal de apatita. B) agregado policristalino de apatita.

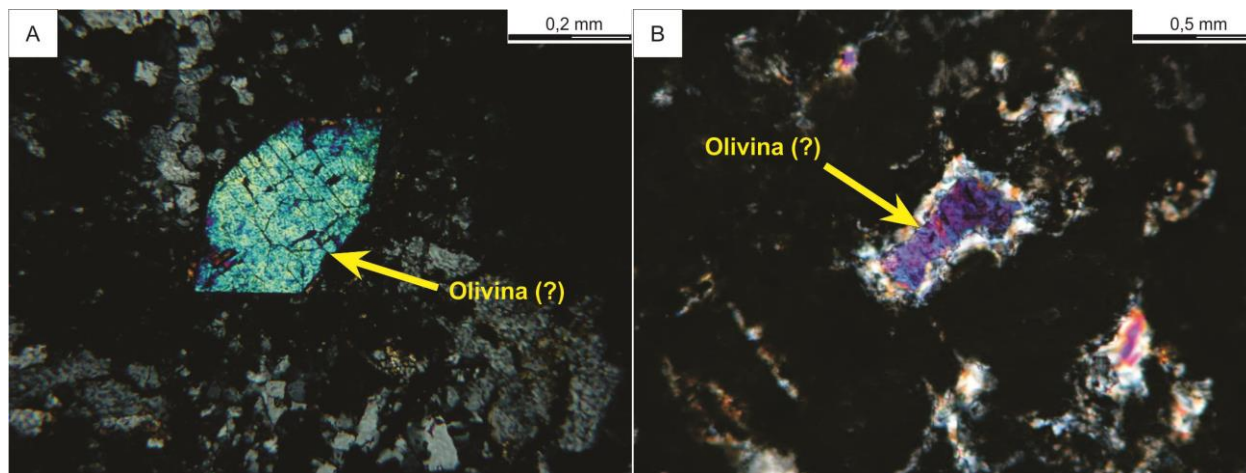
A apatita (variação entre 25% - 55%; em uma amostra o teor de apatita chega a 75%) ocorre formando cristais granulares equidimensionais a prismáticos curtos, atingindo no máximo 400  $\mu\text{m}$  de comprimento com dimensões médias da ordem de 150  $\mu\text{m}$ . Os cristais são ricos em cavidades tabulares dispostas segundo o eixo *c* e formam agregados policristalinos densos, praticamente uniminerálicos (Fotomicrografia 2B). Ocorre também como cristais isolados, que localmente mostram corrosões e substituição para minerais do grupo da crandallita.

Os hidróxidos/óxidos de ferro (10% - 25%) e possivelmente argilominerais (?) formam massas heterogêneas, irregulares, que envolvem os domínios apatíticos e os agrupamentos de calcedônia. Ocorrem principalmente como filetes desenhando pseudomorfo euédricos a subédricos de olivina, piroxênios e possivelmente dolomita e apatita. Localmente apresentam estruturas que sugerem a substituição de silicatos prismáticos a tabulares. Cabe ressaltar que os aspectos texturais dessa fase mineral (granulação fina, aspecto poroso e intercrescimento com outras fases minerais), em associação com a natureza opaca a

translúcida, leva a superestimação na quantificação, em observação macroscópica e microscópica por luz transmitida.

Em uma seção delgada constituída basicamente por calcedônia e/ou quartzo de granulação fina foi observado um cristal

euédrico com cerca de 350  $\mu\text{m}$  na dimensão maior, sem alteração e corrosão, e mais dois cristais arredondados e/ou xenomórficos, por corrosão, com características ópticas da olivina (Fotomicrografias 3A e 3B).



**Fotomicrografias 3.** A) Cristal euédrico e B) xenomórfico de olivina (?).

Associado a silicificação e/ou filetes de hidróxidos de ferro aparece um mineral não identificado (<2%) de cor amarelo claro, relevo alto (superior ao da olivina) que forma agregado microcristalino de birrefringência moderada a alta, podendo tratar-se de um fosfato. Esse mineral chega a formar minúsculos glóbulos e aparentemente possui elongação positiva.

Os aspectos texturais observados nas lâminas delgadas sugerem que estas rochas tem como protólito rocha carbonatítica, localmente bandada, contendo dolomita/ankerita e silicatos euédricos (olivina, piroxênio, etc.) e com bandas ricas em apatita (apatititos), se intercalando com lamprófiro rico em carbonato ou carbonatito rico em minerais silicáticos. A calcita teria sido substituída pela sílica de granulação maior e os outros cristais por sílica mais fina.

### **Silexito Rico em Óxidos e/ou Hidróxidos de Ferro**

Este tipo de rocha apresenta estrutura difusamente bandada ou laminada com a estrutura marcada predominantemente pela disposição de opacos na forma de difusas lâminas mais ou menos paralelas. A textura é granular, com frequentes glóbulos de calcedônia fibrorradial, e a granulação é muito

fina. A distribuição granulométrica é serial e os maiores cristais atingem cerca de 250  $\mu\text{m}$ .

O quartzo (70% - 90%) ocorre sob a forma de cristais anedrais equidimensionais a alongados chegando a atingir 250  $\mu\text{m}$  de comprimento. Apresenta distribuição serial aparecendo material fino fibroso a granular (calcedônia), às vezes com formas globulares. A granulação e aspecto textural sugerem origem hidrotermal de baixa temperatura. Os cristais de quartzo englobam raros cristais prismáticos a aciculares de crandallita e um material não determinado que constitui agregado microcristalino de aspecto microglobular de arranjo botroidal/esferulítico.

O hidróxido de ferro (30%-10%) ocorre como massa associada e/ou envolvendo a hematita e como minúsculos cristais prismáticos, menores que 10  $\mu\text{m}$  de comprimento, às vezes arqueado, gerando aspecto de vermes. O hidróxido também desenha pseudomorfos de minerais silicáticos e/ou apatita. A hematita forma concentrações arredondadas a irregulares, às vezes, com sobrecrescimento fibrorradial de goethita/hematita gerando glóbulos de limites irregulares interpenetrados na massa silicosa.

A barita (<2%) ocorre como cristais minúsculos a pequenos, anedrais, dispersos pela

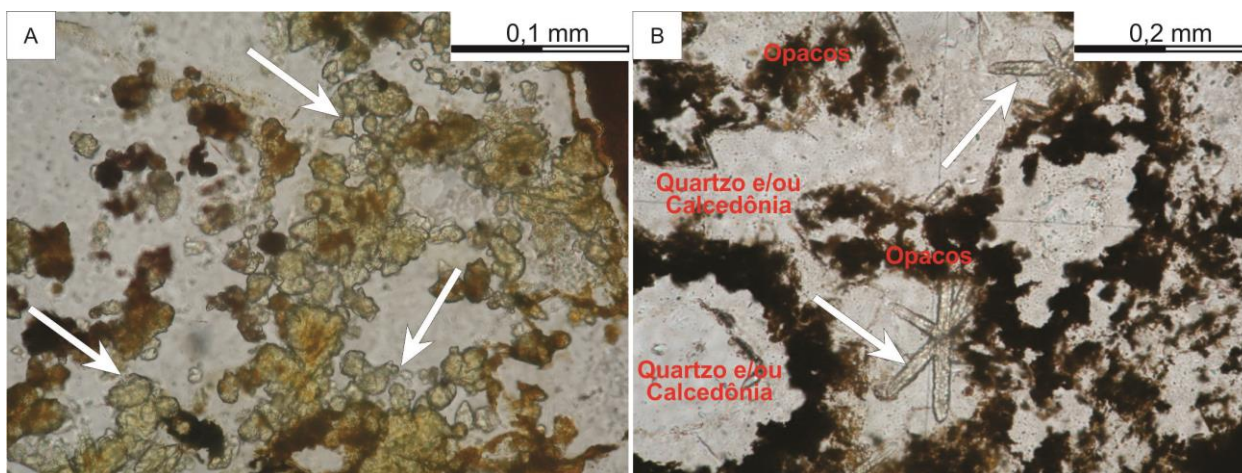
lâmina ou preenchendo pequenas cavidades na rocha.

A crandallita (tr) aparece sob a forma de minúsculos e raros cristais prismáticos a fibrosos, reconhecido pela elongação positiva, relevo moderado a alto positivo e birrefringência baixa.

O mineral não identificado (<1%) aparece incluso no quartzo, formando agregados microcristalinos globulares aglutinados em cachos ou formando massas irregulares de aspecto botroidal de relevo alto e birrefringência moderada a alta e elongação

positiva. Também forma agregados estrelados de cristais prismáticos (Fotomicrografia 4A, B) e pode aparecer constituindo cristais prismáticos quase incolores, de cor verde amarelada pálido, e aspecto vermiforme. Pode ser fosfato com lantânio e Terras Raras, hipótese esta ainda não confirmada.

As texturas e mineralogia associada a este tipo de rocha sugere que a silicificação deve ser resultado de hidrotermalismo de baixa temperatura e não de processos supérgenos, provavelmente sobre carbonatitos e/ou lamprófiros.



**Fotomicrografia 4.** A) agregados microcristalinos formando massas irregulares de aspecto botroidal e B) agregados estrelados de cristais prismáticos de mineral não identificado (setas brancas).

### Lamprófiro Hidrotermalizado e/ou Laterizado

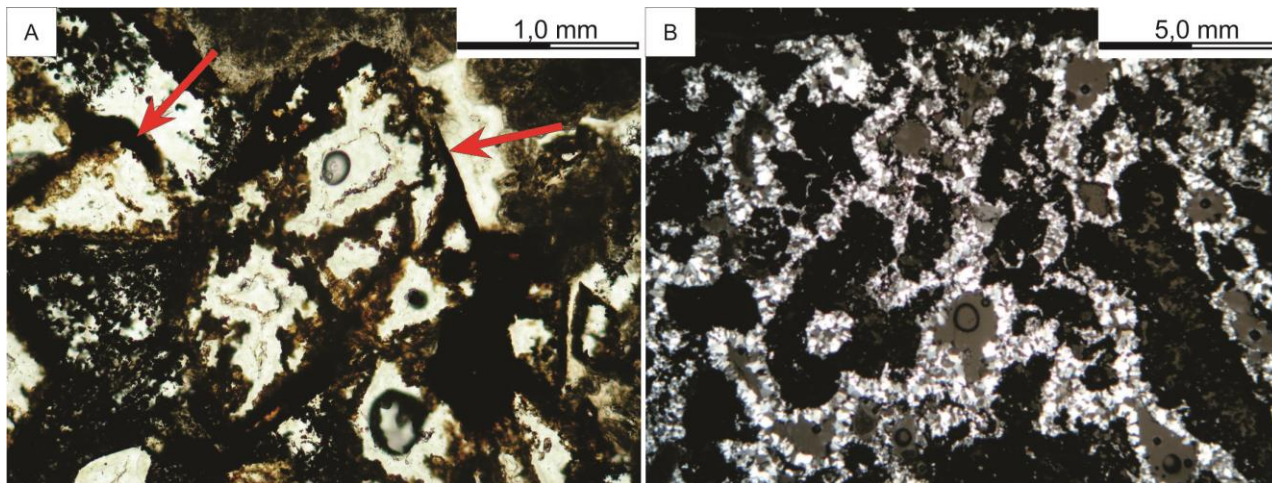
São rochas com estrutura isótropa maculada de textura granular com arranjos fibroradiais a globulares e pseudomorfos subedrais a euedrais de minerais silicáticos. A granulação é fina, inequigranular serial, com os maiores cristais atingindo mais de 500  $\mu\text{m}$ . Localmente as rochas são difusamente bandadas, com estrutura vesicular a amigdaloidal formada por massa constituída basicamente por hidróxidos/óxido de ferro, constituindo domínios arredondados a irregulares formados por calcedônia e/ou quartzo de granulação fina, crescidos perpendicularmente às paredes das cavidades, que em sua maioria possuem núcleos vazios. São comuns fraturas de distensão preenchidas por calcedônia e quartzo fino com estrutura em pente ou septária.

Os óxidos/hidróxidos de ferro (20% - 50%) ocorrem formando manchas e massas irregulares e pseudomorfos, com variação de

diafaneidade e de cor sugerindo ser constituída por magnetita, hematita e hidróxidos de ferro. A magnetita chega a atingir mais de 500  $\mu\text{m}$  e constitui cristais anedrais a euedrais. A hematita é de granulação fina de aspecto pulverulento, formando películas e filetes dispostos intersticialmente ou formando massas ao redor de cristais de magnetita. Chama a atenção à presença de agregados pulverulentos difusos ou em cachos constituídos por minúsculos glóbulos de hematita (menores que 5  $\mu\text{m}$ ) englobados pelo quartzo. Os hidróxidos de ferro (goethita e/ou limonita) ocorrem formando manchas oriundas da alteração e lixiviação dos minerais prismáticos (silicatos e possivelmente carbonatos). Frequentemente desenham formas euedrais rômbricas, prismáticas ou mais complexas, que foram dissolvidas (pseudomorfos) sugerindo pseudomorfose de olivina, piroxênio, anfibólio e/ou carbonato (Fotomicrografia 5A).

O quartzo e/ou calcedônia grossa (35% - 65%) aparece intercrescido com os hidróxidos/hematita e revestindo as cavidades de dissolução, que são irregulares a semi-esféricas, às vezes tabulares (Fotomicrografia 5B). O quartzo ocorre sob a forma de cristais prismáticos a equidimensionais (granulares), com dimensões máximas da ordem de 250  $\mu\text{m}$  e tamanho médio de 20  $\mu\text{m}$  - 50  $\mu\text{m}$ . Os cristais prismáticos ocorrem dispostos perpendicularmente às paredes formando

texturas em pente, septária, fibroradial e globular, podendo conter núcleos vazios ou cheios, formando agregados policristalinos. Ocorrem também constituindo agregados granulares com contatos retos a lobulados de granulação mais grossa no núcleo de espaços maiores, moldados por coroa de quartzo com disposição radial ou em pente. Vários cristais apresentam linhas de crescimento com disposição concêntrica.



**Fotomicrografia 5.** A) Pseudomorfos de minerais (olivina, piroxênio, anfibólio e/ou carbonato?) totalmente substituídos por sílica. B) quartzo e/ou calcedônia revestindo cavidades irregulares a subsféricas de dissolução.

A apatita (ausente a <5%) ocorre sob a forma de cristais anedrais corroídos, demonstrando forte dissolução (corrosão).

A crandallita (traços a <5%) aparece sob a forma de massas engrenadas, com limites nítidos entre os cristais, que são mal formados.

O carbonato (ausente a <3%) aparece como cristais pequenos, micrométricos, romboédricos bem definidos, ou corroídos, englobados pelo quartzo. Exibem ou não alteração parcial liberando óxidos/hidróxidos de ferro e/ou manganês.

Os minerais de argila (ausente a <2%) ocorrem localmente dispostos intersticialmente a cristais de quartzo, com linhas de crescimento e formas subedrais a euedrais. Exibe índice de refração menor que o quartzo e está pigmentado por óxidos e hidróxidos de ferro. O índice de refração indica que se trata de argilominerais do grupo da esmectita.

A barita (<1%) ocorre como cristais anedrais, minúsculos a pequenos, dispersos pela

lâmina delgada ou preenchendo pequenas cavidades na rocha associado a quartzo.

Completando a mineralogia aparece microagregados irregulares a globulares de relevo alto, cor verde amarelado/amarronzado, relevo alto e birrefringência alta que sugere tratar-se de anatásio ou leucóxênio (ausente a <1%).

Os dados petrográficos evidenciam que a rocha pretérita (lamprófito) foi submetida a intensa silicificação, que substituiu quase totalmente a mineralogia primária, restando pseudomorfos, óxidos e/ou hidróxidos de ferro e cristais corroídos de apatita. Os aspectos texturais/estruturais sugerem que a silicificação é hidrotermal de baixa temperatura e não pedogenética.

### **Egirina(?) Sienito Silicificado e Laterizado**

Rocha de estrutura isótropa maculada (manchada) com domínios granulares microcristalinos, com estrutura de brecha e

fibrorradiado. Os dados petrográficos, em especial a variação textural da sílica, sugerem tratar-se de rocha alterada por processo hidrotermal de baixa temperatura e/ou supérgeno.

A calcedônia ( $\pm 35\%$ ) aparece de dois tipos, um de aspecto sujo, rico em microporos e inclusões de hidróxidos que resulta da alteração de feldspatos alcalinos e outros minerais silicáticos (tectossilicatos, inossilicatos e possivelmente filossilicatos). Outro ocorre preenchendo fraturas de distensão e cavidades de dissolução e exibe aspecto límpido e granulação maior. Em alguns casos aparenta preencher cavidades de dissolução de sulfetos e/ou carbonatos.

O microclínio ou ortoclásio triclinizado ( $\pm 30\%$ ) ocorre sob a forma de cristais relativamente grandes com geminação em grade nítida, fraturados, envoltos e corroídos (substituição por calcedônia). Também aparece sob a forma de pequenos cristais eudrais sem sinais de corrosão envoltos por calcedônia límpida. O arranjo sugere que a calcedônia límpida resultou da substituição de zeólita, carbonato e/ou nefelina?

O hidróxido/óxido de ferro ( $\pm 20\%$ ?) ocorre formando uma massa amorfa a criptocristalina, que desenvolveu principalmente sobre as concentrações de minerais máficos englobando material silicático.

O piroxênio alcalino ( $\pm 15\%$ ) ocorre como fibras isoladas, parcial a totalmente alterado no interior dos cristais de feldspatos alcalinos maiores e, principalmente, formando agregados fibrosos a fibrorradiais. Os cristais são prismáticos delgados de seção quase quadrada, com extinção praticamente paralela, alongação negativa, pleocroísmo quase ausente, cor verde claro e é biaxial negativo de 2V grande (da ordem de  $80^\circ$ ) e com dispersão  $r > v$  normalmente alta. Um dos eixos ópticos está quase que paralelo ao eixo  $c$ . Pode ser uma espécie de acmita com alto Al e pobre em  $Fe^{3+}$  para explicar o baixo pleocroísmo, cor muito clara e altíssima dispersão, necessitando de química mineral para uma melhor classificação.

### **Rocha Alcalina Ferruginizada**

Rochas de estrutura isotrópica com estrutura variada de colóide, granular microcristalina e de cavidades preenchidas por monocristais ou

agregados de cristais granulares. Também ocorre massa de óxidos e hidróxidos com cavidades preenchidas por calcedônia granular e barita.

Os óxidos e hidróxidos de ferro aparentam atingir concentrações da ordem de 85%. Formam uma massa compacta, aparecendo nas cavidades ou bordas das massas de material fibrorradiado.

A calcedônia ( $\pm 10\%$ ) forma domínios submilimétricos (no máximo atinge 1,5 mm de diâmetro), irregulares a subarredondados (subesféricos?) de limites pontiagudos e interpenetrados com hidróxidos.

A barita ( $\pm 5\%$ ) constitui cristais pequenos a minúsculos preenchendo cavidades e raramente ocorre associado à calcedônia.

### **Basalto Alcalino (?)**

Deste litotipo observou apenas uma amostra, encontrada sob a forma de pequeno matacão arredondado, que aparenta ser proveniente do desmantelamento por intemperismo de um dique. Possui estrutura levemente orientada por fluxo magmático, com orientação dos fenocristais e de minúsculos cristais prismáticos a subtabulares presentes na matriz. A textura é porfirítica com fenocristais eudrais a subeudrais de olivina e piroxênio, que chegam a atingir pouco mais de 2 mm de diâmetro. É uma rocha magmática de colocação rasa, hipoabissal, com estrutura de fluxo e natureza alcalina.

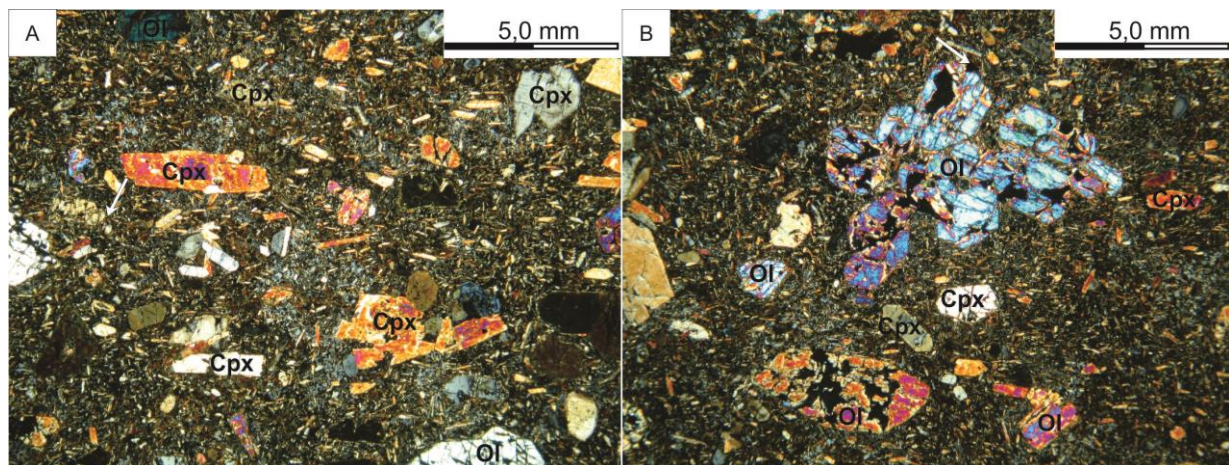
O clinopiroxênio ( $\pm 52\%$ ) ocorre sob a forma de fenocristais (Fotomicrografia 6A), sempre menores que 2 mm, eudrais a subeudrais, exibindo nítido zoneamento e linhas de crescimento. O núcleo tende a apresentar cor verde claro e leve pleocroísmo e a borda cor arroxeada leve. Ocorre também sob a forma de cristais prismáticos a aciculares constituindo a matriz. Possui 2V entre  $50^\circ$  e  $60^\circ$  e forte dispersão ( $r > v$ ), sugerindo tratar-se de augita titanífera.

A olivina ( $\pm 20\%$ ) ocorre apenas como fenocristais, que chegam a atingir mais de 2 mm, são eudrais a subeudrais e não apresentam zoneamento (Fotomicrografia 6B). Ocorre parcialmente orientada.

O feldspato alcalino ( $\pm 20\%$ ) ocorre sob a forma de cristais pequenos, menores que 0,3 mm. Os cristais maiores ocorrem geralmente

englobando os cristais menores de piroxênio, apatita e minerais opacos. Apresenta textura poiquilítica, caráter óptico negativo e 2V pequeno, sugerindo tratar-se de sanidina sódica ou anortoclásio.

A biotita ( $\pm 3\%$ ) aparece intersticialmente, principalmente como produto de transformação dos minerais máficos, apresentando cor marrom escuro a vermelho, e formas anedrais e dimensões pequenas a minúsculas.



**Fotomicrografia 6.** A) Fenocristais subedrais orientados de clinopiroxênio (Cpx) e B) fenocristais de olivina (Ol) euédricos a subédricos dispersos na matriz composta por clinopiroxênio e feldspato alcalino.

Os minerais opacos ( $\pm 4\%$ ) ocorrem sob a forma de pequenos a minúsculos cristais anedrais a euedrais, com dimensões máximas da ordem de 150  $\mu\text{m}$ . A forma dos cristais sugerem tratar-se de magnetita.

A apatita ( $\pm 1\%$ ) ocorre sob a forma de cristais aciculares a prismáticos delgados intercrescidos com outros minerais, em especial

clinopiroxênio de granulação fina e feldspato alacalino.

Os hidróxidos de ferro ocorrem em diminuta quantidade, formando filmes dispostos intersticialmente e sobre os cristais maiores de olivina e piroxênio (fraturas), chegando a se confundir com biotita.

## GEOQUÍMICA DAS ROCHAS DO MORRO PRETO

### Carbonatito Silicificado

As amostras interpretadas como provenientes de carbonatito apresentam grande variação no conteúdo de  $\text{SiO}_2$  (2,87%-65,29%), altos conteúdos de  $\text{CaO}$  (13,97%-49,53%), de  $\text{P}_2\text{O}_5$  (11,07%-34,72%), baixos conteúdos de  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  (3,77%-8,32%) e conteúdos muito baixos de  $\text{TiO}_2$  (0,01%-0,04%),  $\text{Al}_2\text{O}_3$  (0,10%-0,63%),  $\text{MnO}$  (0,16%-1,25%),  $\text{MgO}$  (0,02%-0,13%),  $\text{Na}_2\text{O}$  (0,07%-0,41%) e de  $\text{K}_2\text{O}$  ( $<0,01\%$ -0,07%) (Figura 4). A composição normativa (CIPW) mostra como minerais principais: quartzo, apatita e hiperstênio, com pequenas quantidades de diopsídio e magnetita.

Os diagramas de concentrações normalizadas para elementos incompatíveis (Figura 5A), normalizados ao condrito C (Taylor & MacLennan, 1985), mostram que o material analisado foi empobrecido em Cs, Rb,

K, Ti, Sc, V, Zn, Cu, Ni e Cr, e apresentam conteúdos de Cs, Rb, K, Ti, Sc, V e Zn próximos ao condrito. São enriquecidas em Ba, Th, U, Nb, Ta, Sr, Zr e Y, e muito enriquecidas em P. O empobrecimento dos elementos menos móveis, a exemplo do Ti e Cr, pode ser atribuído ao processo magmático (protólito empobrecido nestes elementos), sendo que os mais facilmente mobilizáveis, a exemplo do K e Rb, deve ser resultado do processo de silicificação.

O conteúdo total de ETR é alto ( $\Sigma\text{ETR}_{\text{Total}} = 668,03\text{-}1.344,34$ ;  $\Sigma\text{ETRL} = 614,37\text{-}1.249,46$ ;  $\Sigma\text{ETRP} = 53,66\text{-}128,04$  ppm). Os elementos Terras Raras Leves (ETRL) normalizados pelo condrito C (Taylor & MacLennan, 1985), apresentam concentrações entre 89,6 e 663,2 vezes acima do condrito C, enquanto que os elementos Terras Raras Pesadas (ETRP)

apresentam concentrações entre 17,3 e 150,7 vezes (Figura 6A). A relação entre a distribuição de ETRL e ETRP mostra forte fracionamento, mostrando um enriquecimento muito mais acentuado entre os ETRP que entre ETRL ( $La_N/Eu_N = 3,3-4,5$ ;  $Gd_N/Lu_N = 1,4-5,2$ ;  $La/Lu_N = 7,9-25,9$ ) (Figura 6A).

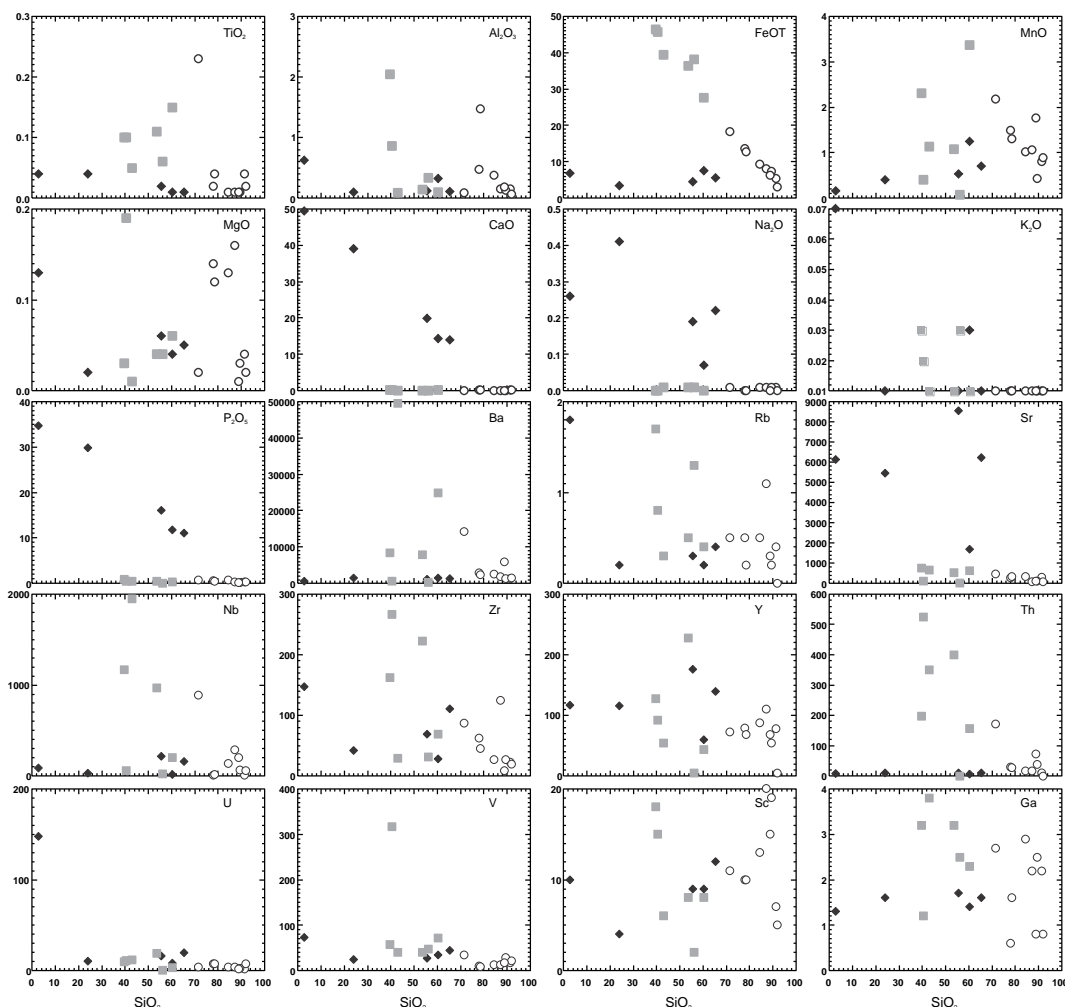
### Silexito

As amostras de silexito analisadas apresentam composição em relação ao teor de  $SiO_2$ , ácida ( $SiO_2 = 71,51\%-91,81\%$ ). Possuem baixos a altos conteúdos de  $Fe_2O_3$  (4,19%-20,42%),  $MnO$  (0,43%-2,18%) e conteúdos muito baixos de  $TiO_2$  (0,01%-0,23%),  $Al_2O_3$  (0,07%-1,47%),  $MgO$  (0,01%-0,16%),  $CaO$  (0,07%-0,30%),  $Na_2O$  (<0,01%-0,01%),  $K_2O$  (<0,01%-0,01%) e de  $P_2O_5$  (0,21%-0,79%) (Figura 4). A composição normativa (CIPW) dos silexitos mostra como minerais principais:

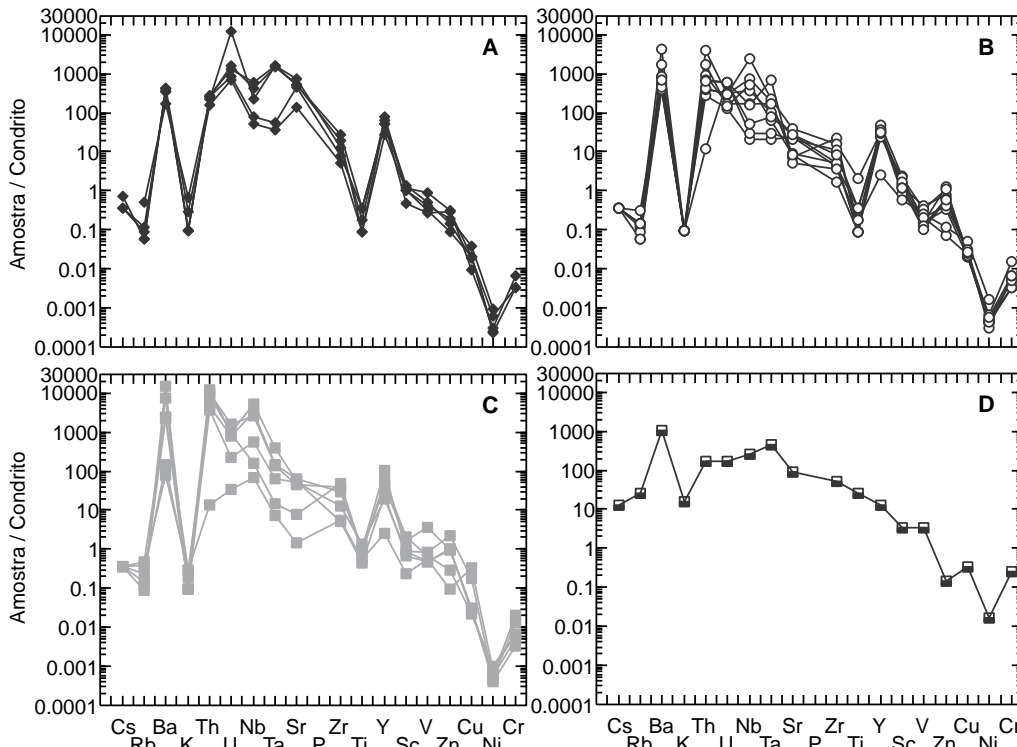
quartzo e hiperstênio, com pequenas quantidades de magnetita.

Os diagramas de concentrações relativas aos elementos incompatíveis, normalizados ao condrito C (Taylor & MacLennan, 1985), mostram que os silexitos são empobrecidos em Cu, Ni e Cr, e apresentam conteúdos de Cs, Rb, K, P, Ti, Sc, V e Zn próximos ao condrito C (Figura 5B). São mais enriquecidos em Ba, Th, U, Nb, Ta, Sr, Zr e Y (Figura 5B).

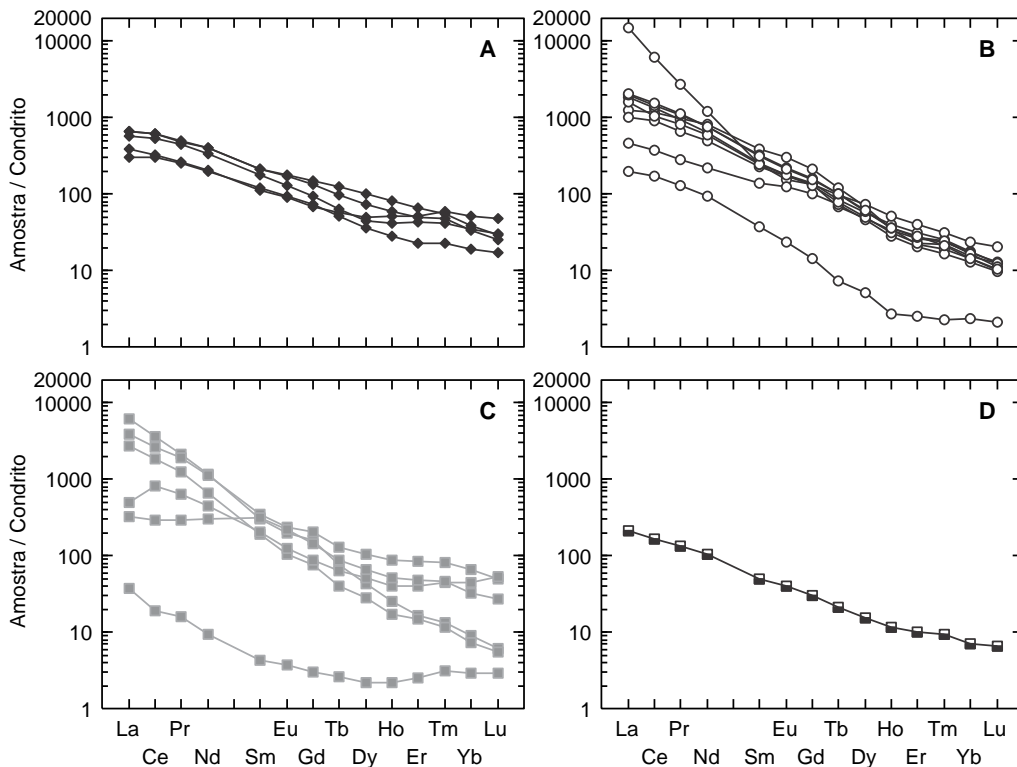
O conteúdo total de ETR é alto a muito alto ( $\Sigma ETR_{Total} = 832,49-12.725,21$ ;  $\Sigma ETRL = 768,47-12.646,66$ ;  $\Sigma ETRP = 64,02-111,33$  ppm). Os elementos ETRL normalizados pelo condrito C (Taylor & MacLennan, 1985), apresentam concentrações entre ~123 e ~14.884 vezes acima do condrito C, enquanto que os elementos ETRP entre ~9,71 e ~214 vezes (Figura 6B).



**Figura 4.** Diagramas binários de elementos maiores ( $TiO_2$ ,  $Al_2O_3$ ,  $FeO_{Total}$ ,  $MgO$ ,  $CaO$ ,  $Na_2O$ ,  $K_2O$  e  $P_2O_5$ ) e de elementos menores (Cs, Ba, Rb, Sr, Nb, Zr, Y, Th, U, V, Sc, Ga) versus  $SiO_2$ , mostrando a variação da composição das amostras. Losangos = carbonatito silicificado. Círculos = silexito. Quadrados cinzas = lamprófito laterizado ou hidrotermalizado.



**Figura 5.** Spiderdiagram de elementos menores, traços e ETR da intrusão alcalina de Morro Preto normalizados pelo Condrito de Taylor & MacLennan (1985), mostrando a variação da composição das amostras analisadas. A) para carbonatitos silicificados; B) para silexitos; C) para lamprófitos laterizados ou hidrotermalizados; D) para basalto alcalino.



**Figura 6.** Diagramas de distribuição dos Elementos Terras Raras da intrusão alcalina de Morro Preto normalizados pelo Condrito de Taylor & MacLennan (1985), mostrando a variação da composição das amostras analisadas. A) para carbonatitos silicificados; B) para silexitos; C) para lamprófitos laterizados ou hidrotermalizados; D) para basalto alcalino.



A relação entre a distribuição de ETRL e ETRP mostra forte fracionamento, revelando um enriquecimento muito mais acentuado entre os ETRP que entre ETRL ( $La_N/Eu_N = 3,77-97,22$ ;  $Gd_N/Lu_N = 6,75-20,91$ ;  $La/Lu_N = 48,04-1.157,36$ ) (Figura 6B). Os silixitos são mais enriquecidos em ETRL e mais empobrecidos em U, Sr e ETRP, que os as rochas tidas como derivadas de carbonatitos.

Uma amostra de silixito apresenta composição em relação a ETR diferente. Esta amostra, em relação aos ETR, possui teores muito mais baixos, principalmente em relação à ETRP ( $\Sigma ETR_{Total} = 341,14$ ;  $\Sigma ETRL = 332,65$ ;  $\Sigma ETRP = 8,49$  ppm e  $La_N/Eu_N = 8,44$ ;  $Gd_N/Lu_N = 6,97$ ;  $La/Lu_N = 95,64$ ), indicando um protólito mais empobrecido em ETR.

### Lamprófiro Hidrotermalizado ou Laterizado

As amostras de rochas interpretadas como lamprófiro laterizado apresentam composição, em relação a sílica, básica a intermediária ( $SiO_2 = 39,59\%-60,34\%$ ), altos conteúdos de  $Fe_2O_3$  ( $30,75\%-51,55\%$ ), baixos a altos teores de  $MnO$  ( $0,08\%-3,37\%$ ) e conteúdos baixos a muito baixos de  $TiO_2$  ( $0,06\%-0,15\%$ ),  $Al_2O_3$  ( $0,1\%-2,04\%$ ),  $MgO$  ( $0,03\%-0,15\%$ ),  $CaO$  ( $0,03\%-0,24\%$ ),  $Na_2O$  ( $<0,01\%-0,01\%$ ),  $K_2O$  ( $<0,01\%-0,03\%$ ) e de  $P_2O_5$  ( $0,40\%-0,91\%$ ) (Figura 4). A composição normativa (CIPW) dos lamprófiros mostra como minerais principais hiperstênio, magnetita e quartzo com pequenas quantidades de magnetita.

Os diagramas de concentrações normalizadas para elementos incompatíveis, normalizados ao condrito C (Taylor & MacLennan, 1985), mostram que as amostras de lamprófiro hidrotermalizado e/ou laterizado analisadas são empobrecidas em Cu, Ni e Cr, e apresentam conteúdos de Cs, Rb, K, P, Ti, Sc, V e Zn próximos ao condrito. São enriquecidas em Ba, Th, U, Nb, Ta, Sr, Zr e Y (Figura 5C).

O conteúdo total de ETR é alto ( $\Sigma ETR_{Total} = 853,-7005,03$ ;  $\Sigma ETRL = 752,08-6925,86$ ;  $\Sigma ETRP = 44,25-160,76$  ppm). Os ETRL normalizados pelo condrito C (Taylor & MacLennan, 1985) apresentam concentrações entre  $\sim 106,4$  e  $\sim 6.111,7$  vezes acima do condrito C, enquanto que teores de ETRP variam entre  $\sim 5,5$  e  $\sim 206,5$  vezes (Figura 6C). A relação entre a distribuição de ETRL e ETRP forma dois padrões de distribuição destas

amostras. O primeiro padrão mostra forte fracionamento, denotando um enriquecimento muito mais acentuado em ETRL em relação aos ETRP ( $La_N/Eu_N = 16,44-31,04$ ;  $Gd_N/Lu_N = 5,36-26,62$ ;  $La/Lu_N = 79,35-1012,41$ ) (Figura 6C). O segundo conjunto de amostras exibe menor fracionamento entre ETRP e ETRL ( $La_N/Eu_N = 1,49-3,97$ ;  $Gd_N/Lu_N = 1,63-4,14$ ;  $La/Lu_N = 9,29-12,24$ ).

Uma amostra de lamprófiro hidrotermalizado ou laterizado apresenta composição, em relação a elementos menores, traços e à ETR, um pouco diferente em relação às outras amostras de lamprófiros. Possui menores teores em Ba, Th, U, Nb, Ta, Sr, P, Y e Zn e teores muito mais baixos de ETR, principalmente em relação a ETRP ( $\Sigma ETR_{Total} = 45,66$ ;  $\Sigma ETRL = 41,98$ ;  $\Sigma ETRP = 3,68$  ppm e  $La_N/Eu_N = 9,77$ ;  $Gd_N/Lu_N = 1,04$ ;  $La/Lu_N = 12,84$ ), sugerindo um protólito mais empobrecido em ETR.

### Basalto Alcalino (?)

A amostra de basalto alcalino apresenta composição ultrabásica ( $SiO_2 = 39,35\%$ ), baixos conteúdos de  $MnO$  ( $0,21\%$ ),  $P_2O_5$  ( $0,76\%$ ),  $Na_2O$  e  $K_2O$  ( $1,79\%$  e  $1,65\%$ , respectivamente), altos conteúdos de  $TiO_2$  ( $2,79\%$ ) e médios de  $Al_2O_3$  ( $10,03\%$ ),  $Fe_2O_3$  ( $12,39\%$ ),  $MgO$  ( $14,94\%$ ) e de  $CaO$  ( $12,03\%$ ). A composição normativa (CIPW) do basalto alcalino mostra como minerais principais diopsídio, olivina, anortita, leucita e nefelina, com pequenas quantidades de ilmenita, magnetita e apatita. Nos diagramas álcalis vs. sílica (Irvine & Baragar, 1971) e AFM (Irvine & Baragar, 1971) e  $Zr/TiO_2 \cdot 0,0001 \times Nb/Y$  mostram que o basalto analisado apresenta afinidade toleítica alcalina e composição química de basanitos e/ou nefelinitos (Figura 7A, B, C). Segundo os diagramas discriminantes  $Hf/3$  vs.  $Th$  vs.  $Ta$  e  $Hf/3$  vs.  $Th$  vs.  $Nb/16$  (Wood et al., 1979; Wood, 1980) a amostra é classificada como toleíto intra-placa (Figura 7D).

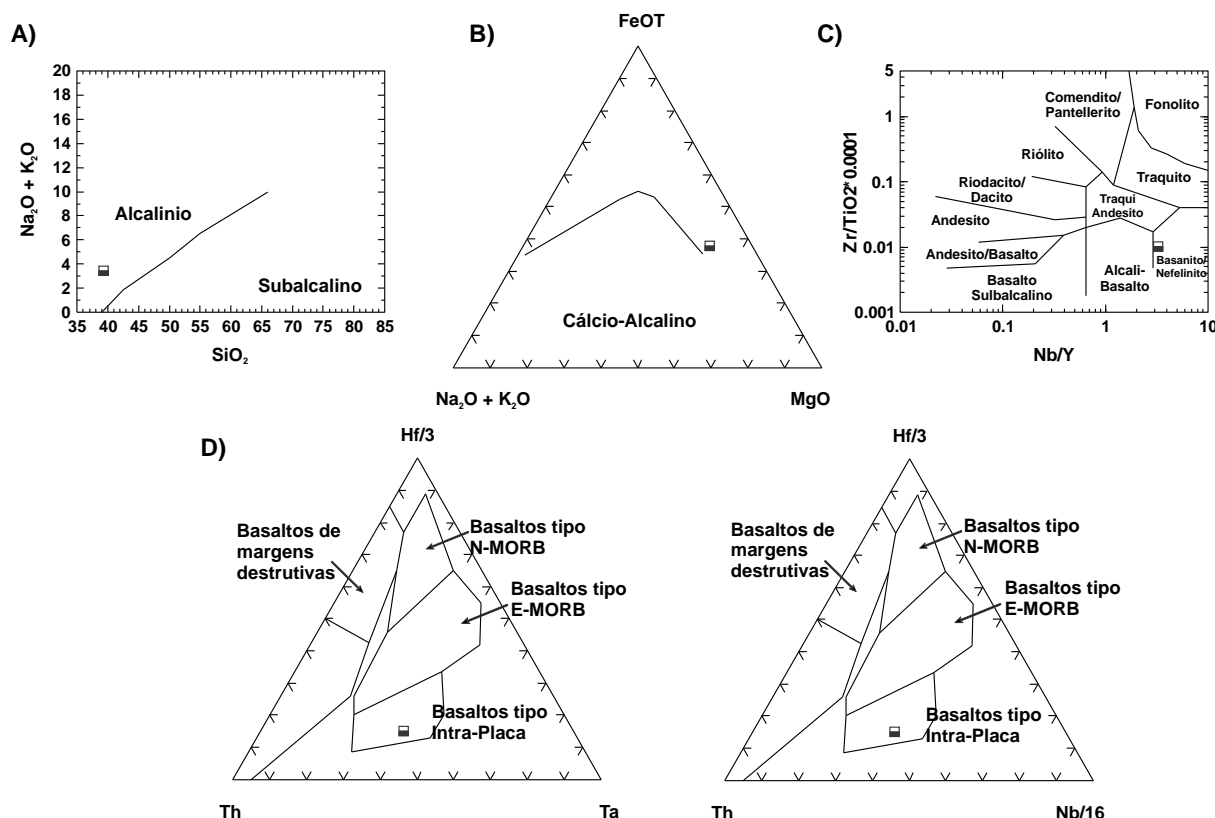
Os diagramas de concentrações normalizadas para elementos incompatíveis, normalizados ao condrito C (Taylor & MacLennan, 1985), mostram que o basalto alcalino é empobrecido em Zn, Cu, Ni e Cr, e apresenta conteúdos de Sc e V próximos ao

condrito, sendo enriquecido em Cs, Rb, Ba, Th, U, Nb, Ta, Sr, Zr, Ti e Y (Figura 5D).

O conteúdo total de ETR é médio a baixo em relação às outras litologias analisadas (496,78 ppm). Os ETRL normalizados pelo condrito C (Taylor & McLennan, 1985) apresentam concentrações entre 40,57 e 213 vezes acima do condrito C, enquanto que os ETRP entre 6,56 e 30,45 vezes (Figura 6D). A relação entre a distribuição de ETRL e ETRP mostra forte fracionamento, mostrando um enriquecimento muito mais acentuado em ETRL em relação aos ETRP ( $La_N/Eu_N = 5,27$ ;  $Gd_N/Lu_N = 4,64$ ;  $La/Lu_N = 32,59$ ) (Figura 6D).

Os dados petrográficos e geoquímicos mostram que as rochas da região foram

submetidas a forte processo de alteração hidrotermal de baixa temperatura e/ou supérgena. A forte silicificação observada nas rochas, em função da granulação grossa da calcedônia e formação de cristais de quartzo relativamente grandes, foi interpretada como resultante de processo hidrotermal de baixa temperatura (fontes termais?), e posterior alteração supérgena. O acentuado enriquecimento em ferro observado resulta da preservação parcial da magnetita e formação de hematita, goethita e hidróxidos de ferro amorfos, pela ação dos processos mencionados acima (hidrotermalismo e ação supérgena).



**Figura 7.** Diagramas discriminantes e classificatórios para amostra de basalto alcalino da intrusão alcalina Morro Preto. A) Diagrama álcalis vs. sílica com limite segundo Irvine & Baragar (1971); B) Diagrama AFM com limite segundo Irvine & Baragar (1971); C) Diagrama de classificação Zr/TiO<sub>2</sub> vs. Nb/Y segundo Winchester & Floyd (1977); D) Diagramas discriminantes Hf/3 vs. Th vs. Ta e Hf/3 vs. Th vs. Nb/16 (Wood et al. 1979; Wood, 1980).

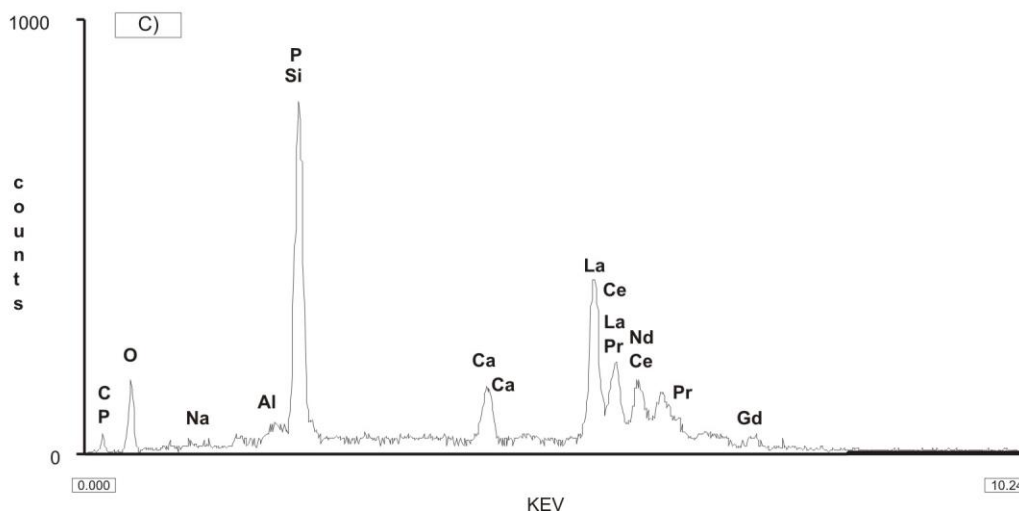
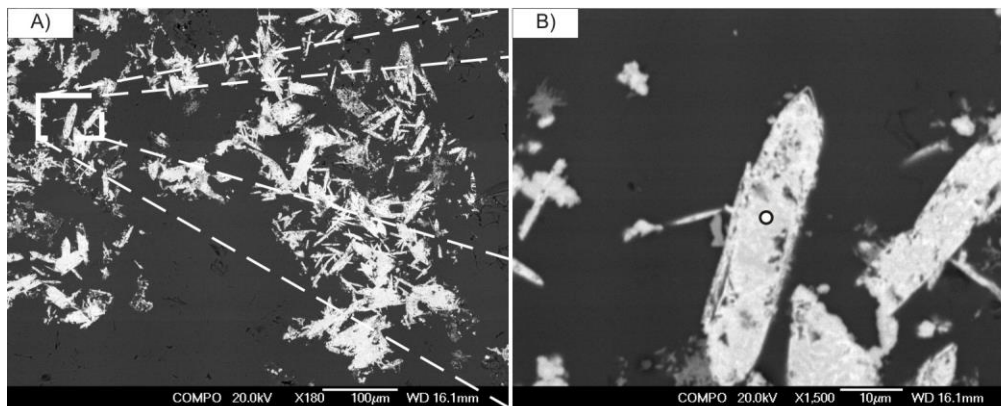
## MICROSCOPIA ELETRÔNICA

Através do uso do microscópio de varredura foi possível identificar fases minerais que compõem as rochas em quantidades muito pequenas. As imagens de elétrons retroespalhados e os dados composicionais

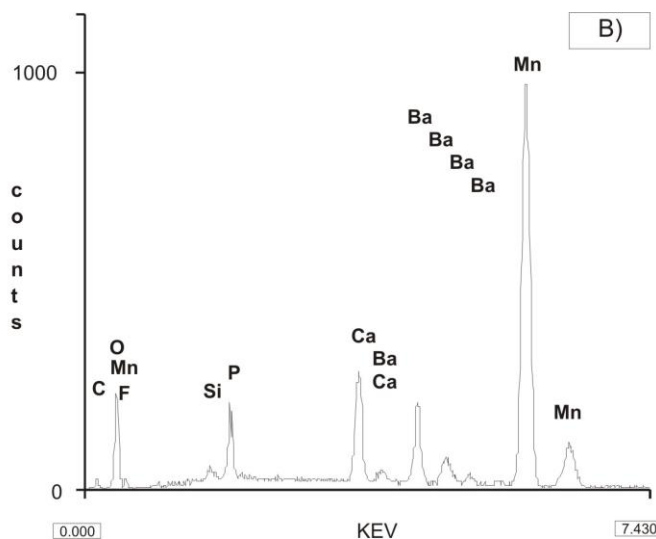
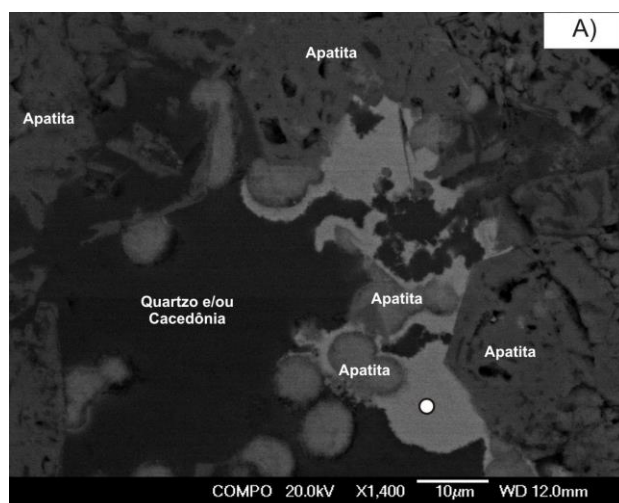
mostram que são comuns nas rochas a presença de fosfatos de Terras Raras as vezes com Th (monazita?), secundários, formando cristais euédricos a subédricos, prismáticos, menores que 50  $\mu\text{m}$ , que ocorrem dispersos pela lâmina

(Fotomicrografia 7). Também foram identificadas as presenças de cristais de oxihidróxidos de bário e manganês (romanechita?) (Fotomicrografia 8) e de barita (Fotomicrografia 9). Raros cristais com núcleo composto por óxido ou fosfo-silicato de Nb, U,

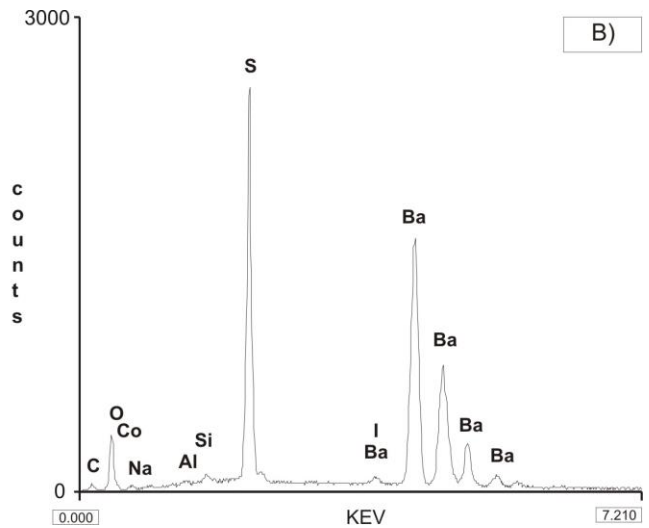
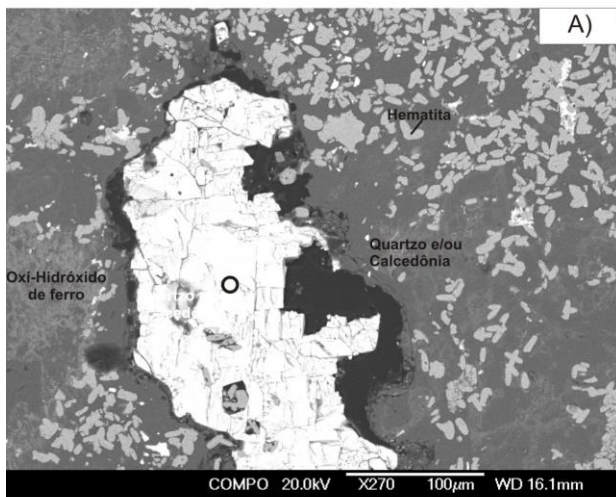
Ta e Ba não identificados (minerais do grupo do pirocloro e/ou talvez do grupo do rabdifânio), ocorrem dispersos pelas lâminas delgadas (Fotomicrografia 10). Em uma seção delgada foi identificado um cristal xenomórfico de Au (Fotomicrografia 11).



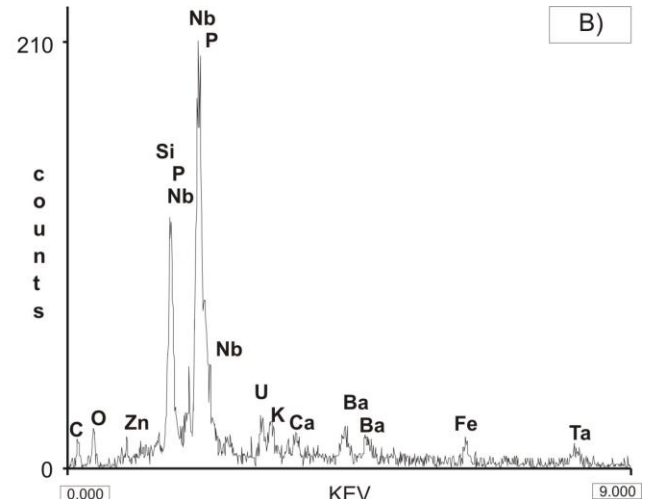
**Fotomicrografias 7.** A) e B) imagens de elétrons retro-espalhados de cristais euédricos de fosfatos de ETR. C) análise semiquantitativa (EDS) da composição do cristal analisado.



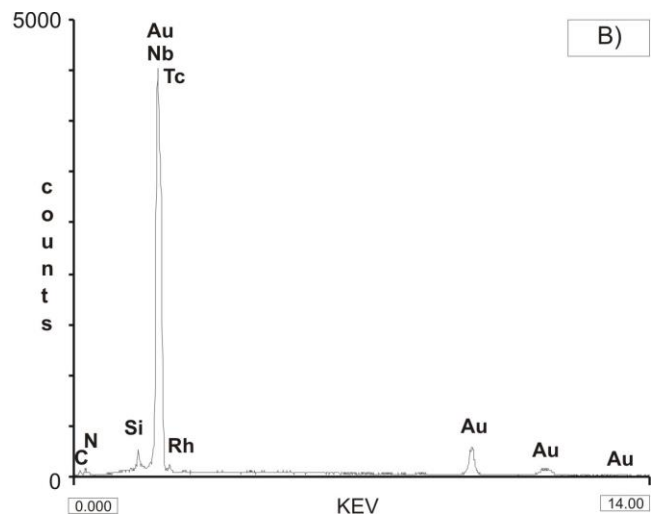
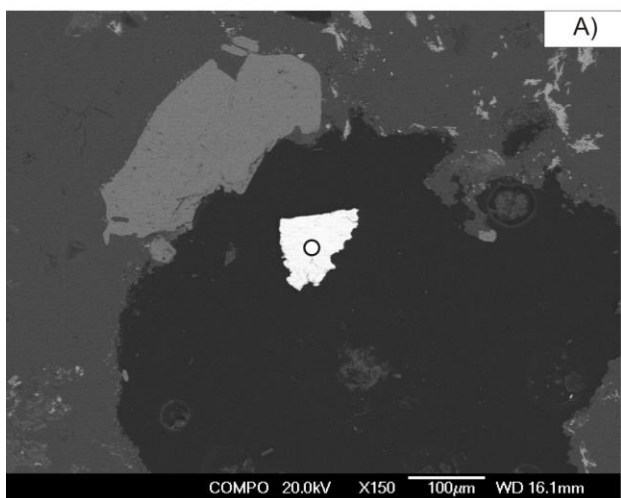
**Fotomicrografia 8.** A) imagem de elétrons retro-espalhados de agregados botroidais de oxihidróxidos de Ba e Mn. B) análise semiquantitativa (EDS) da composição do cristal analisado.



**Fotomicrografia 9.** A) imagem de elétrons retro-espalhados de cristal anedral de barita. B) análise semiquantitativa (EDS) da composição do cristal analisado.



**Fotomicrografia 10.** A) Imagem de elétrons retro-espalhados de cristal parcialmente silicificado, com núcleo composto por óxido ou fosfo-silicato de Nb, U, Ta e Ba (mineral do grupo do pirocloro?). B) análise semiquantitativa (EDS) da composição do cristal analisado.



**Fotomicrografia 11.** A) Imagem de elétrons retro-espalhados de cristal xenomórfico de ouro. B) análise semiquantitativa (EDS) da composição do cristal analisado.

## CONCLUSÕES

A ocorrência alcalina de Morro Preto é representada por afloramentos de rochas fortemente silicificadas, ricas em quartzo de granulação fina e calcedônia, frequentemente enriquecidas em ferro. Os afloramentos são representados apenas por blocos que resistiram aos processos pedogenéticos. Os dados geoquímicos das rochas indicam que os protólitos foram submetidos a intenso processo de alteração. Quimicamente, os processos supérgenos como silicificação e ferruginização são caracterizados pela redistribuição e remoção de elementos móveis e concentração de elementos menos móveis como ETR, Ti e Fe no produto final. As baixas concentrações em Cs, K, Na, Rb e as altas concentrações em elementos como ETR, Nb, Ba, Th e U observadas nas rochas são resultados do processo de alteração e a formação de fases minerais neofornadas durante o processo hidrotermal de baixa temperatura e intemperismo, como fosfatos secundários de ETR e Th, óxi-hidróxidos de Fe, Ba, Mn, e óxi e/ou silico-fosfatos de ETR, Nb e Ta, e a formação de barita. A atuação de hidrotermalismo de baixa temperatura, antes da alteração supérgena, é evidenciada por aspectos texturais relativos a granulação da sílica (quartzo) e a sua disposição em veios. A presença de rochas com alto  $P_2O_5$  indica a ocorrência de níveis fosfáticos carbonatíticos.

Os padrões geoquímicos e o “perfil de alteração” observados na intrusão alcalina de Morro Preto são similares aos observados em outros complexos alcalinos de Goiás e Minas Gerais. A distribuição de elementos incompatíveis e ETR mostram que as rochas são produtos de alterações de rochas ígneas alcalinas como carbonatitos, lamprófiros e basaltos alcalinos, rochas já enriquecidas em elementos como Th, U, ETR (principalmente em ETRL) e Nb, Ta, etc., e os teores muito altos desses elementos são resultantes do processo de enriquecimento supérgeno.

Durante o processo de alteração hidrotermal de baixa temperatura e/ou supérgeno (silicificação e laterização) ocorreu um enriquecimento acentuado em ETR e outros elementos devido a retenção destes elementos no perfil de alteração através da formação de fosfatos de ETR, barita, oxi-hidróxidos de Fe, Mn e Ba. Estes processos também são reponsáveis pelos baixos conteúdos em elementos alcalinos, devido a mobilização dos protólitos. O padrão de distribuição de elementos incompatíveis e ETR mostra que as rochas são produtos de alteração de rochas ígneas alcalinas, já enriquecidas em ETR, e elementos de alto componente força como Nb, Ta, Y, etc., e que o alto conteúdo nesses elementos está associado ao enriquecimento supérgeno.

## AGRADECIMENTOS

À FAPESP (Processos nº 08/50723-0 e 05/59203-1) e CNPq (processo nº nº304535/2011-7).

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. AMARAL, G.; BORN, H.; HADLER, J.C.; IUNES, P.J.; KAWASHITA, K.; MACHADO, D.L.; OLIVEIRA, E.P.; PAULO, S.R.; TELLO, C.A. Fission track analysis of apatites from São Francisco craton and Mesozoic alkaline-carbonatite complexes from central and southeastern Brazil. **Journal of South American Earth Sciences**, v. 10, n. 3/4, p. 285-294, 1997.
2. BROD, J.A.; GIBSON, S.A.; THOMPSON, R.N.; JUNQUEIRA-BROD, T.C.; SEER, H.J.; MORAES, L.C.; BOAVENTURA, G.R. The kamafugite-carbonatite association in the Alto Paranaíba Igneous Province, southeastern Brazil. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 30, p. 408-412, 2000.
3. CERQUEIRA, M.R.S. & DANNI, J.C.M. 1994. Zonas Composicionais dos Clinopiroxênios do Complexo Alcalino da Fazenda Buriti, Iporá-GO. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 38, 1994, Camboriú. **Resumos Expandidos...** Camboriú: Sociedade Brasileira de Geologia, 1994. v.3, p. 119.
4. DANNI, J.C.M.; SILVA, A.J.G.C.; CAMPOS, J.E.G.; CERQUEIRA, M.R.S. Picritos Alcalinos do Sul de Goiás: Características Mineralógicas e Geoquímicas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 37, 1992, São Paulo. **Resumos Expandidos...** São Paulo: Sociedade Brasileira de Geologia, 1992. v. 2, p. 89.
5. GIBSON, S.A.; THOMPSON, R.N.; LEONARDOS, O.H.; DICKIN, A.P.; MITCHELL, J.G. The Late Cretaceous impact of the Trindade mantle plume – evidence from large-volume, mafic, potassic magmatism in SE Brazil. **Journal of Petrology**, v. 36, n.1, p. 189-229, 1995.
6. GUIMARÃES, G.; GLASER, I.; MARQUES, V.J. Sobre a ocorrência de rochas alcalinas na região de Iporá, Goiás. **Mineração Metalurgia**. v. 48, n. 283, p. 5-11, 1968.
7. HERZ, N. Timing of spreading in the South America. Information from brazilian alkaline rocks. **Geol. Soc. America Bull.**, n. 88, p. 101-112, 1977.

8. IRVINE, T.N. & BARAGAR, W.R.A. A guide to the chemical classification of the common volcanic rocks. **Canadian Journal of Earth Sciences**, n. 8, p.523-548, 1971.
9. LACERDA FILHO, J. V. de; REZENDE, A.; SILVA, A. da. Programa de Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil - Geologia e Recursos Minerais do Estado de Goiás e Distrito Federal. Goiânia: CPRM, METAGO S.A., UnB, 1999, 2ª edição. 184p.
10. MOREIRA, M.L.O.; MORETON, L. C.; ARAÚJO, V.A.; LACERDA FILHO, J.V.; COSTA, H. F. da. Geologia do Estado de Goiás e Distrito Federal. MME/CPRM - SIC/FUNMINERAL/GO. 2008, 141 p.
11. PENA, G.S. & FIGUEIREDO, A.J. de. *Projeto Alcalinas – Relatório Final*. Goiânia: DNPM/CPRM, 1972. 143 p. (Conv. DNPM/CPRM). 1972.
12. REZENDE, A.; NILSON, A.A.; SILVA, A.; ALVARENGA, C.J.S.; GEBRIM, E.; GODOI, H.O.; LACERDA FILHO, J.V.; DANNI, J.C.M.; CAMPOS, J.E.G.; BRILHANTE, J.R.; DARDENNE, M.A.; RESENDE, M.; PIMENTEL, M.M.; BOTELHO, N.F.; BARBOSA, P.A.R.; BOAS, P.F.V.; LIMA, T.M.; FILHO, W.R. Descrição das Unidades. In: LACERDA FILHO, J.V.; REZENDE, A.; SILVA, A. (orga.). Programa Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil. Geologia e Recursos Minerais do Estado de Goiás e do Distrito Federal. Escala 1:500.000. 2ª edição. Executado pela CPRM – Serviço Geológico do Brasil. Superintendência Regional de Goiânia/METAGO/UnB. 184 p. 1999.
13. SANTOS, R.V. & CLAYTON, R.N. Variations of oxygen and carbon isotopes in carbonatite – a study of Brazilian alkaline complexes. **Geochimica Cosmochimica Acta**, v. 59, n. 7, p. 1339-1352, 1995.
14. SOUZA JÚNIOR, J.J. de; FREIRE, F.A.; OLIVEIRA, F.C.; SILVA, R.H.; BONOW, C.W.; MOREIRA, H.L. Geologia da Bacia Sedimentar do Paraná. In: Projeto RADAMBRASIL - *Folha SE.22 - Goiânia*. Rio de Janeiro, 1983. p. 154-248 (Levantamento de Recursos Naturais, v. 31).
15. TAYLOR S.R. & MACLENNAN S.M. *The continental crust: its composition and evolution*. Oxford: Blackwell, 1985. 312 p.
16. THOMPSON, R.N.; GIBSON, S.A.; MITCHELL, J.C.; DICKIN, P.; LEONARDOS, O.H.; BROD, J.A.; GREENWOOD, J.C. Migrating Cretaceous-Eocene magmatism in the Serra do Mar alkaline province, SE Brazil: melts from the deflected Trindade mantle plume? **Journal of Petrology**, v. 39, n. 8, p. 1493-1526, 1998.
17. TOYODA, K.; HORIUCHI, H.; TOKONAMI, M. Dupal anomaly of Brazilian carbonatite: geochemical correlation with hotspots in the South Atlantic and implications for the mantle source. **Earth and Planetary Science Letters**, v. 126, p. 315-331, 1994.
18. ULBRICH, H.H.G.J. & GOMES, C.B. Alkaline rocks from continental Brazil. **Earth Science Reviews**, v. 17, p. 135-154, 1981.
19. WINCHESTER, J.A. & FLOYD, P.A. Geochemical discrimination of different magma series and their differentiation products using immobile elements. **Chemical Geology**, v. 20, p. 325-343, 1977.
20. WOOD, D.A. The application of a Th-Hf-Ta diagram to problems of tectonomagmatic classification and to establishing the nature of crustal contamination of basaltic lavas of the British Tertiary volcanic province. **Earth and Planetary Science Letters**, n. 50, p. 11-30, 1980.
21. WOOD, D.A.; JORON, J.-L.; TREUIL, M. A re-appraisal of the use of trace elements to classify and discriminate between magma series erupted in different tectonic settings. **Earth and Planetary Science Letters**, n. 45, p. 326-336, 1979.

*Manuscrito recebido em: 22 de setembro de 2012  
Revisado e Aceito em: 21 de novembro de 2013*