

# CARACTERÍSTICAS PETROQUÍMICAS E GEOCRONOLÓGICAS DO GRANITO MANDACARU (PI)

CLÓVIS VAZ PARENTE\*, REINHARDT A. FUCK \*\*,  
MOACIR J. BUENANO MACAMBIRA\*\*\* e ARIEL PROVOST\*\*\*

**ABSTRACT** The post-tectonic A-type Mandacaru Granite intruded the molasse sequence of the Catolé Formation, as well as epimetamorphic metasediments and granite-gneiss terrane of the Brasiliano Cycle Jaguaribeano Belt. The granitic rocks crystallized from a H<sub>2</sub>O-poor subalkaline to slightly alkaline magma, probably derived from lower crustal material. Rb-Sr isotope determinations yielded an age of 559±8 Ma, Ri = 0.70924 ± 0.00010.

**INTRODUÇÃO** O Granito Mandacaru corresponde a um corpo pós-tectônico intrusivo em uma seqüência molassóide do Eopaleozóico (Formação Catolé) e em rochas granito-gnáissicas e epimetamorfitas (Seqüência São Julião) atribuídos ao Proterozóico Superior. Os estudos anteriores ao de Parente (1984) indicavam que esta intrusão corresponderia a um *porphyry copper* (Farina 1980, Terazu 1980, 1981, Gaál 1982, Lopes Filho *et al.* 1982), e que representava um complexo de intrusões múltiplas (Lopes Filho *et al.* 1982). No presente trabalho são apresentadas as feições geo-

químicas e geocronológicas mais importantes do Granito Mandacaru. A geologia e petrografia do granito são discutidas em detalhe em outro trabalho (Parente & Fuck, no prelo) e não serão pormenorizadas aqui.

O Granito Mandacaru localiza-se na região homônima, no município de São Julião, no leste do Estado do Piauí, próximo à divisa com o Ceará. O acesso é realizado por via terrestre, pelas rodovias BR-316 e BR-230. Geologicamente, está inserido na porção sudoeste da Faixa de Dobramentos Jaguaribeana, na borda leste da Bacia do Parnaíba (Fig. 1).

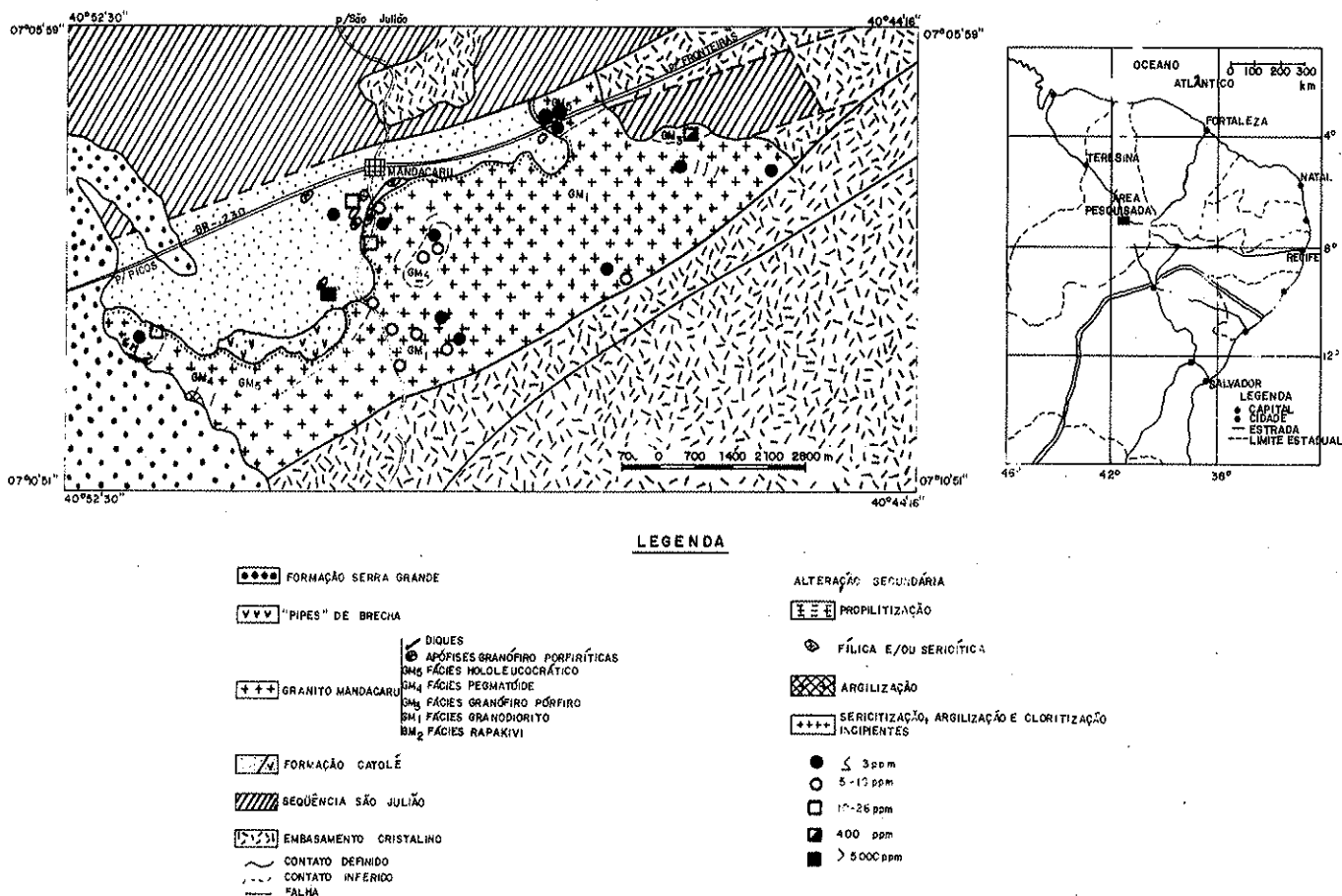


Figura 1 – Mapa geológico e distribuição geoquímica do Cu nas rochas do Granito Mandacaru.

\* Departamento de Geologia, Universidade Federal do Ceará. CEP 60000, Fortaleza, CE  
 \*\* Departamento de Geociências, Universidade de Brasília. CEP 70910, Brasília, DF  
 \*\*\* Centro de Geociências, Universidade Federal do Pará. CEP 66000, Belém, PA

**CARACTERÍSTICAS GEOLÓGICAS DO GRANITO MANDACARU** O Granito Mandacaru possui forma irregular alongada, com cerca de 12 km de diâmetro maior, alinhado na direção NE-SW. É basicamente controlado por sistema de falhas de direção NE-SW, que o coloca a sul em contato com as rochas granito-gnáissicas e a norte com os epimetamorfitos (filitos, metarcóseos, quartzitos e calcários marmorizados) da Sequência São Julião e as rochas vulcânicas (basalto andesítico, dacito, riólitos e piroclásticas) e sedimentares (ruditos argilosos, grauvaça arcoseana, arenito arcoseano e siltitos) da Formação Catolé, das quais contém encraves. A oeste é recoberto pelas rochas sedimentares da Formação Serra Grande. De relevo pouco acentuado, apresenta uma passagem geomorfológica quase imperceptível para os terrenos ocupados pela Sequência São Julião, pela Formação Catolé e pelas rochas granito-gnáissicas pré-cambrianas.

Em função da textura e/ou composição mineralógica, cinco fácies petrográficas podem ser distinguidas no Granito Mandacaru: fácies granodiorito, fácies pegmatítica, fácies granófiro pórfiro, fácies granito hololeucocrático e fácies rapakivi (Fig. 1).

O contato entre a maioria desses fácies é transicional, embora não seja observado em todos eles, de modo que é difícil estabelecer com segurança se é abrupto ou gradacional como um todo. Vale assinalar que não foram encontrados xenólitos e/ou autólitos que pudessem indicar um mecanismo de intrusões múltiplas. Dessa forma, as diferenças faciológicas são atribuídas a estágios distintos de cristalização e resfriamento do corpo durante a ascensão do magma granítico.

As rochas graníticas apresentam, como um todo, granulação média a grossa, aspecto maciço e são normalmente isotrópicas. Em geral, são leucocráticas, os minerais ferromagnesianos, representados por hornblenda e subordinadamente biotita, constituindo menos de 10% do volume da rocha. Diques e apófises de dimensões reduzidas de microgranito, microdiorito, basalto andesítico e raramente pegmatito cortam tanto os diferentes tipos faciológicos da intrusão quanto a Formação Catolé, sendo especialmente frequentes ao longo da borda oeste do granito, onde constituem um verdadeiro colar de apófises de direção NE-SW. Entre esses destacam-se principalmente os granófiros, os tipos mais comuns, especialmente nas apófises.

O contato do granito com as encaixantes, em particular com as rochas da Formação Catolé, é, caracterizado por uma auréola termometamórfica pouco pronunciada, que contém minerais de baixa temperatura representados por quartzo-muscovita-clorita-albita-epídoto nas rochas sedimentares e clorita-epídoto-carbonato-albita-uralita-biotita nas rochas vulcânicas, paragêneses que correspondem ao fácies albita-epídoto *hornfels* (Turner 1981).

Por outro lado, a associação comum das rochas graníticas com granófiros e riólitos e o baixo teor de minerais hidratados, sobretudo biotita e hornblenda (muscovita é ausente), indicam que o líquido granítico migrou quase até a superfície sem cruzar o *solidus*, posicionando-se em condições de T acima de 800°C e profundidade em torno de 3 km. Nestas condições, poder-se-ia esperar uma auréola termometamórfica pronunciada devido ao próprio contraste térmico do magma granítico com as rochas encaixantes. No entanto, a natureza e o ambiente das encaixantes (rochas psamopsefticas dominantes, fraturadas e formadas em

ambiente com tendência redutora) sugerem que a solidificação do Granito Mandacaru foi acompanhada de resfriamento por convecção de fluidos originados das encaixantes. Esse fato inibiu em grande parte a transferência de calor do granito para suas encaixantes bem como alterou e modificou sua associação mineral, o que explica a maior presença de alteração secundária nas zonas de borda.

**CARACTERÍSTICAS GEOQUÍMICAS** Vinte e sete amostras dos tipos petrográficos mais representativos foram analisadas quimicamente nos laboratórios da Geologia e Sondagens Ltda. (Geosol) em Belo Horizonte e da Universidade de Brasília.

As análises dos elementos maiores foram obtidas por métodos instrumentais combinados de fluorescência de raios X, absorção atômica e volumetria realizados nos laboratórios da Geosol e da Universidade de Brasília, enquanto as dos elementos-traços foram realizadas por espectrografia de emissão de 30 elementos nos laboratórios da Geosol.

Os resultados das análises com as respectivas composições normativas são apresentados na tabela 1. Na seleção das amostras foi levada em consideração sua distribuição no interior da intrusão, procurando-se sempre analisar as amostras menos alteradas.

As rochas do Granito Mandacaru são caracterizadas por um alto teor de SiO<sub>2</sub> (>72%), K<sub>2</sub>O ≅ 5%, Na<sub>2</sub>O ≅ 3,5%, baixo teor de CaO e MgO (< 1%), razão Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/Na<sub>2</sub>O + K<sub>2</sub>O + CaO > 1 e coríndon normativo quase sempre ausente ou com valores < 1, apesar de duas amostras apresentarem valores acima de 2. A razão Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/FeO varia de amostra para amostra, o que indica provável interação de água meteórica ou das encaixantes nos estágios finais de cristalização. São rochas alcalinas e subalcalinas, de afinidade sobretudo potássica. Isso é mais bem observado no diagrama de variação de alcalinidade x sílica (Wright 1969), reproduzido na figura 2, em que a quase totalidade das amostras do Granito Mandacaru está plotada no campo alcalino, com afinidade aos campos alcalino intermediário e fortemente alcalino. No diagrama de variação CaO-Na<sub>2</sub>O-K<sub>2</sub>O (Fig. 3), que acentua a distribuição dos álcalis, observa-se nos termos mais diferenciados, principalmente nas rochas de diques e apófises, um enriquecimento de K<sub>2</sub>O em relação a CaO e Na<sub>2</sub>O, o que caracteriza sua afinidade potássica. O baixo teor de CaO e a composição dos plagioclásios predominantemente albiticos (An<sub>3-9</sub>) permitem classificar o Granito Mandacaru, ainda, como um granito *subsolvus*, considerando a presença de feldspato potássico e plagioclásio na rocha (Tuttle & Bowen 1958). A alta razão Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/Na<sub>2</sub>O + K<sub>2</sub>O + CaO encontrada e a eventual presença de coríndon normativo, sugerindo um caráter peraluminoso, devem-se à relativa imobilidade de Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> em relação a Na<sub>2</sub>O, K<sub>2</sub>O e CaO nos processos de alteração ou mesmo no baixo teor de CaO, que é comum a essas rochas. Essa assertiva encontra suporte na ausência de minerais típicos dos granitos peraluminosos, tais como muscovita, topázio, turmalina, granada, cordierita e silimanita (Clarke 1981), e na presença de acmita normativa, em algumas amostras, sobretudo nas menos alteradas, o que indica que as rochas são pobres em Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.

A razão K/Rb varia de 215 nas rochas do fácies granodiorito a 88 nas rochas do fácies granito hololeucocrático. De acordo com Hanson (1978), a razão K/Rb diminui em direção às rochas mais ácidas em uma suíte consangüínea, o que permite dizer que os granitos hololeucocráticos re-

Tabela 1A – Análises químicas dos elementos maiores (%) e elementos menores (ppm) do Granito Mandacaru

AMOSTRA DE ROCHAS	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	FeO	CaO	MgO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	MnO	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	TiO <sub>2</sub>	F.P.F.	F	Sn	Nb	Y	Mo	Cu	Be	Ga	Li	Zr	Rb	Sr	Ba
CV-06A	76,79	12,70	0,70	0,36	0,22	0,12	3,67	3,83	0,02	0,04	0,04	0,58	<30	<5	18	<10	<5	<5	<2	15	<50	130	210	130	360
CV-06B	78,31	11,37	0,38	0,27	0,20	0,09	3,04	5,56	0,01	-	0,10	0,48	650	<5	23	<10	<5	<5	4	16	<50	58	370	94	210
CV-18A	78,42	11,28	0,90	0,24	0,11	0,15	3,35	4,63	0,01	-	0,14	0,63	<30	<5	23	<10	<5	6	<2	16	<50	94	300	97	350
CV-18B	61,5	17,0	3,1	2,14	2,1	1,6	4,16	5,78	0,09	0,18	0,55	1,68	-	-	<20	20	<5	26	-	-	280	220	480	1.850	
CV-18C	69,0	13,8	2,5	0,99	0,42	0,98	3,89	5,59	0,03	0,11	0,38	1,38	-	-	<20	15	<5	6.160	-	-	200	188	157	1.010	
CV-18F	76,06	12,02	0,16	0,28	0,12	0,02	1,83	7,59	0,01	-	0,10	0,32	<30	<5	52	18	<5	5	<2	19	<50	27	570	48	280
CV-20D	73,9	14,2	0,56	0,14	0,63	0,05	4,87	5,06	0,01	0,05	0,10	0,43	-	-	<20	5	<5	6	-	-	23	230	445	1.020	
CV-21	71,4	13,3	1,1	1,14	1,2	1,1	4,33	5,95	0,03	0,17	0,17	0,62	-	-	<20	6	<5	6	-	-	68	230	594	1.840	
CV-26A	68,4	15,2	1,4	1,14	1,3	1,0	4,78	4,84	0,04	0,20	0,35	1,23	-	-	20	10	<5	8	-	-	84	173	765	2.350	
CV-26B	71,12	14,87	0,53	0,33	0,63	0,27	5,46	5,39	0,02	0,04	0,10	0,01	62	<5	12	<10	<5	5	<2	17	<50	54	280	780	1.660
CV-40A	71,67	12,23	0,58	1,43	1,08	0,73	4,11	4,81	0,04	0,02	0,40	1,96	550	<5	24	11	<5	5.600	<2	17	<50	190	230	280	1.150
CV-48A	70,12	13,96	1,32	0,91	1,47	0,88	3,93	3,94	0,04	0,10	0,30	2,09	550	<5	17	<10	<5	12	2	20	<50	190	240	300	970
CV-50	65,14	14,21	2,13	1,19	2,13	1,38	4,41	5,37	0,01	0,05	0,59	2,53	600	<5	26	16	<5	5	5	20	<50	180	120	690	1.840
CV-58A	73,12	14,80	0,40	0,41	0,68	0,34	4,67	4,17	0,02	0,03	0,10	0,46	126	<5	13	<10	<5	5	6	19	<50	52	180	660	1.560
CV-69C	73,52	12,41	0,54	0,61	0,81	0,59	5,46	3,82	0,03	0,08	0,10	1,10	170	<5	<20	<10	<5	400	7	18	<50	98	190	479	1.650
CV-70A	72,89	12,96	0,16	1,07	1,13	0,42	4,72	5,18	0,03	0,04	0,34	1,40	192	<5	17	<10	<5	5	4	21	<50	100	170	570	1.260
CV-86A	70,71	15,60	0,39	0,67	0,79	0,34	4,50	4,50	0,02	0,07	0,11	0,92	158	<5	18	<10	<5	5	5	19	<50	62	230	590	1.280
CV-90A	71,22	13,04	1,17	0,90	1,38	1,09	4,86	4,53	0,03	0,11	0,10	0,77	292	<5	17	<10	<5	7	7	21	<50	110	200	670	1.710
CV-104A	73,13	13,58	0,61	0,64	0,81	0,52	5,02	4,01	0,05	0,02	0,26	1,01	170	<5	17	<10	<5	5	5	21	<50	76	190	540	1.300
CV-139A	70,62	13,87	1,11	0,84	0,15	0,3	3,56	6,06	0,02	0,06	0,27	2,22	170	<5	17	17	<5	12	2	19	<50	230	290	110	1.880
CV-139C	74,03	13,48	1,18	0,35	0,18	0,05	3,67	5,56	0,01	0,03	0,39	0,92	114	<5	17	13	<5	5	2	16	<50	150	330	94	1.000
CV-213I	75,59	12,49	0,49	0,41	1,08	0,10	3,50	4,00	0,04	0,06	0,10	1,30	<30	<5	<20	13	<5	5	2	19	<50	92	210	100	380
MA-08	75,0	13,0	1,0	0,42	0,35	0,08	4,18	5,75	0,01	0,05	0,10	0,10	-	-	<20	16	<5	10	-	-	65	350	68	200	
MA-14	71,1	14,2	1,3	0,35	1,1	0,53	4,78	5,66	0,02	0,09	0,17	0,56	-	-	<20	5	<5	6	-	-	94	247	530	1.540	
MA-45	76,3	12,3	0,93	0,42	0,25	0,07	4,20	5,18	0,01	0,05	0,10	0,44	-	-	26	20	<5	6	-	-	96	335	18	130	
MA-59B	60,8	16,7	2,6	3,28	3,2	1,5	2,71	5,13	0,08	0,41	1,2	0,94	-	-	34	60,	6	10	-	-	270	175	598	2.050	
MA-65	75,9	12,5	0,99	0,28	0,36	0,13	4,06	5,32	0,02	0,05	0,10	0,31	-	-	20	7	<5	4	-	-	110	352	57	210	

Tabela 1B – Norma CIPW das rochas do Granito Mandacaru

AMOSTRA DE ROCHAS	Q	Or	Ab	An	Di	Hy	C	Mt	Ap	Z	Il	Fl	Hm	Mo	Ac
CV-06A	40,21	22,63	31,05	0,86	-	0,35	2,20	1,01	0,09	-	0,08	-	-	-	-
CV-06B	39,16	33,05	25,88	0,62	-	0,26	0,15	0,55	-	0,01	0,19	0,12	-	-	-
CV-18A	41,01	27,57	28,56	0,65	-	0,38	0,53	0,40	-	0,01	0,27	-	0,63	-	-
CV-18B	9,03	34,55	35,60	8,33	-	4,66	0,89	4,55	0,43	0,06	1,06	-	-	-	-
CV-18C	23,66	33,55	33,43	0,49	-	2,48	1,19	2,22	0,26	0,05	0,73	-	1,01	-	-
CV-18F	36,59	45,67	15,77	0,69	-	0,29	0,56	0,24	-	-	0,19	-	-	-	-
CV-20D	25,09	29,87	41,17	1,94	0,27	-	-	0,19	0,12	-	0,19	-	0,43	0,19	-
CV-21D	21,11	35,22	35,35	-	3,35	1,43	-	1,00	0,40	0,01	0,32	-	-	-	1,19
CV-26A	19,35	28,91	40,88	2,88	-	2,95	1,07	1,05	0,48	0,02	0,67	-	-	-	-
CV-26B	17,73	32,21	46,72	0,15	1,54	-	-	0,78	0,10	0,02	0,19	0,01	-	0,56	-
CV-40A	27,03	29,24	35,77	0,74	3,74	1,63	-	0,86	0,07	0,03	0,78	0,10	-	-	-
CV-48A	28,77	23,95	34,26	6,82	-	2,42	0,83	1,97	0,24	0,03	0,59	0,09	-	-	-
CV-50	14,35	32,78	38,54	3,22	6,04	0,75	-	2,23	0,12	0,03	1,16	0,12	0,66	-	-
CV-58A	28,09	24,93	39,97	3,69	-	1,15	1,28	0,59	0,07	0,02	0,19	0,02	-	-	-
CV-69C	26,95	23,02	43,40	-	3,22	0,95	-	-	0,19	0,02	0,19	0,05	-	-	1,59
CV-70A	24,35	30,90	38,19	-	4,80	0,12	-	-	0,10	0,02	0,65	0,03	-	-	0,47
CV-86A	25,59	25,59	38,08	3,51	-	1,61	2,23	0,57	0,16	-	0,21	-	-	-	-
CV-90A	22,55	27,16	41,72	0,39	4,95	0,99	-	1,72	0,26	0,02	0,19	0,04	-	-	-
CV-104A	26,29	24,34	42,99	2,53	1,35	1,01	-	0,90	0,05	0,02	0,50	0,04	-	-	-
CV-139A	26,68	36,92	31,06	0,67	-	0,99	1,25	1,67	0,15	0,05	0,53	0,03	-	-	-
CV-139C	31,25	33,19	31,37	0,88	-	0,13	1,12	0,03	0,07	0,03	0,75	0,02	1,17	-	-
CV-213I	37,49	23,64	29,62	5,01	-	0,51	0,57	0,71	0,14	-	0,19	-	-	-	-
MA-08	28,67	34,07	34,95	-	0,26	0,08	-	1,10	0,12	0,01	0,19	-	0,09	-	0,45
MA-14	20,36	33,83	40,91	0,58	1,66	0,56	-	0,71	0,22	0,02	0,33	-	0,83	-	-
MA-45	31,94	30,55	34,35	-	0,45	0,09	-	0,86	0,12	0,01	0,19	-	-	-	0,98
MA-59B	11,18	30,55	31,64	12,38	-	5,82	0,55	3,80	0,98	0,04	2,30	-	-	-	-
MA-65	31,35	31,34	34,25	0,17	0,70	-	-	0,68	0,12	-	0,12	-	0,52	-	0,03

- |                                   |                              |                                |  |
|-----------------------------------|------------------------------|--------------------------------|--|
| CV-06A – Granito hololeucocrático | CV-21D – Granodiorito        | CV-69C – Granófiro pórfiro     | CV-213I – Granito hololeucocrático       |
| CV-06B – Granito gráfico          | CV-26A – Granodiorito        | CV-70A – Granito leucocrático  | MA-08 – Granófiro                        |
| CV-18A – Microgranito             | CV-26B – Microgranodiorito   | CV-86A – Microgranito          | MA-14 – Granito leucocrático             |
| CV-18B – Quartzo monzonito        | CV-40A – Granófiro porfírico | CV-90A – Granito pegmatóide    | MA-45 – Granófiro                        |
| CV-18C – Granodiorito             | CV-48A – Granófiro porfírico | CV-104A – Granito leucocrático | MA-59B – Hornblenda microdiorito pórfiro |
| CV-18F – Granito gráfico          | CV-50 – Microgranodiorito    | CV-139A – Granito Rapakivi     | MA-65 – Granófiro                        |
| CV-20D – Microgranito             | CV-58A – Granito pegmatóide  | CV-139C – Granito Rapakivi     |  |

fletem provavelmente os termos mais diferenciados do Granito Mandacaru.

Os elementos-traços Ba, Sr, Rb e Cu apresentam as maiores variações nas rochas do Granito Mandacaru: Ba varia de 130 a 1.840 ppm, com valor médio de 1.164 ppm, valor este superior ao proposto por Turekian & Wedepohl (1961, *apud* Vorma 1976) para as rochas graníticas de baixo e alto teor de CaO, que é da ordem de 840 a 420 ppm, respectivamente; Sr varia de 18 a 855 ppm, com teor médio de 340 ppm; e Rb, com teor médio de 263 ppm, varia entre 188 e 570 ppm. Sr e Ba mostram uma diminuição em direção às rochas mais ácidas, caracterizadas pelos granitos hololeucocráticos e pelas rochas de diques e apófises granofíricas, granitos gráficas e microgranitos, enquanto o Rb

apresenta enriquecimento. O Cu, com valores predominantemente entre 4 e 12 ppm, mostra três resultados anômalos de 400, 5.600 e 6.160 ppm, que correspondem a amostras colhidas nas zonas de borda do Granito Mandacaru e em apófises granofíricas intrudidas na Formação Catolé (Fig. 3). Este fato indica uma provável remobilização do Cu das rochas vulcânicas e sedimentares da Formação Catolé, durante a intrusão granítica. Os demais valores encontrados (4-12 ppm) são inferiores aos obtidos em granitos normais, que têm um teor médio em torno de 20 ppm (Taylor 1965) e, sobretudo, aos granitos do tipo Cu-pórfiro, que apresentam um teor mínimo da ordem de 120 ppm (Mason & MacDonald 1978).

Os demais elementos-traços – como F, Sn, Nb, Y, Mo, Be, Ga, Li e Zr – apresentam valores semelhantes aos propostos por Taylor (1965) para granitos normais (Tab. 2).

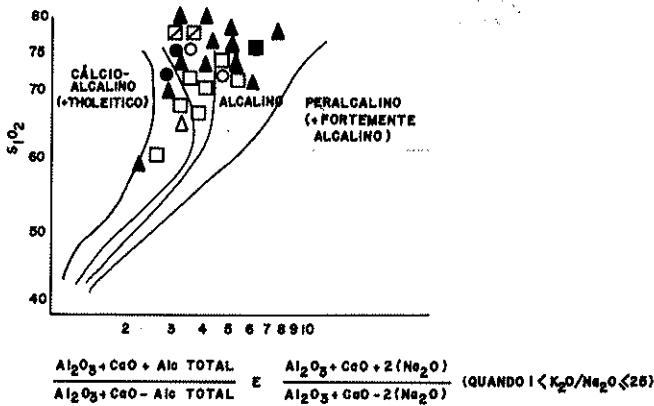


Figura 2 – Diagrama de variação do índice de alcalinidade (Wright 1969) para as rochas do Granito Mandacaru: fácies granito hololeucocrático □; fácies granodiorito ◻; fácies pegmatítico ○; fácies rapakivi ●; fácies granófiro pórfiro ■; e diques e apófises ▲

Tabela 2 – Quadro comparativo dos elementos-traços (ppm) do Granito Mandacaru com os elementos-traços dos granitos de Turekian & Wedepohl (1961) (*apud* Vorma 1976) e Taylor (1963)

Média do Granito Mandacaru	Média dos granitos de Turekian & Wedepohl (1961)		Média dos granitos de Taylor (1965)
	Granito rico em cálcio (CaO > 3%)	Granito pobre em cálcio (CaO < 1%)	
F	230	520	—
Sn	< 5	—	3
Nb	< 20	—	20
Y	11	—	35
Mo	< 5	—	2
Cu	7*	—	20
Be	3,5	—	3
Ga	1,8	—	18
Li	< 50	24	27
Zr	112	140	160
Rb	263	110	120
Sr	340	440	350
Ba	1.164	420	550

\* Valor médio das amostras sem considerar os três resultados anômalos

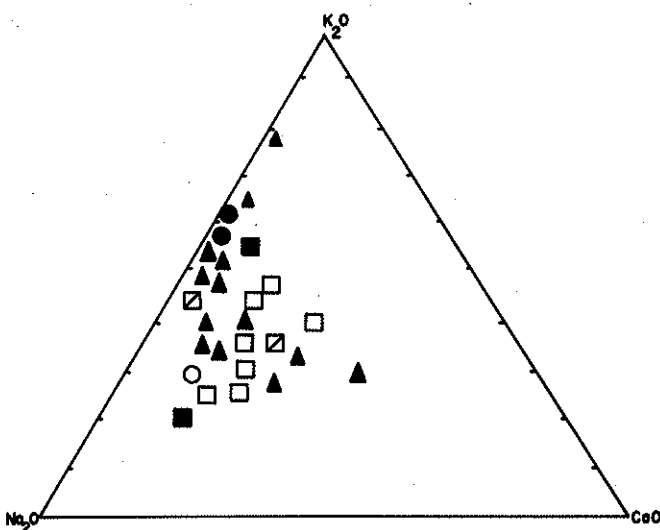
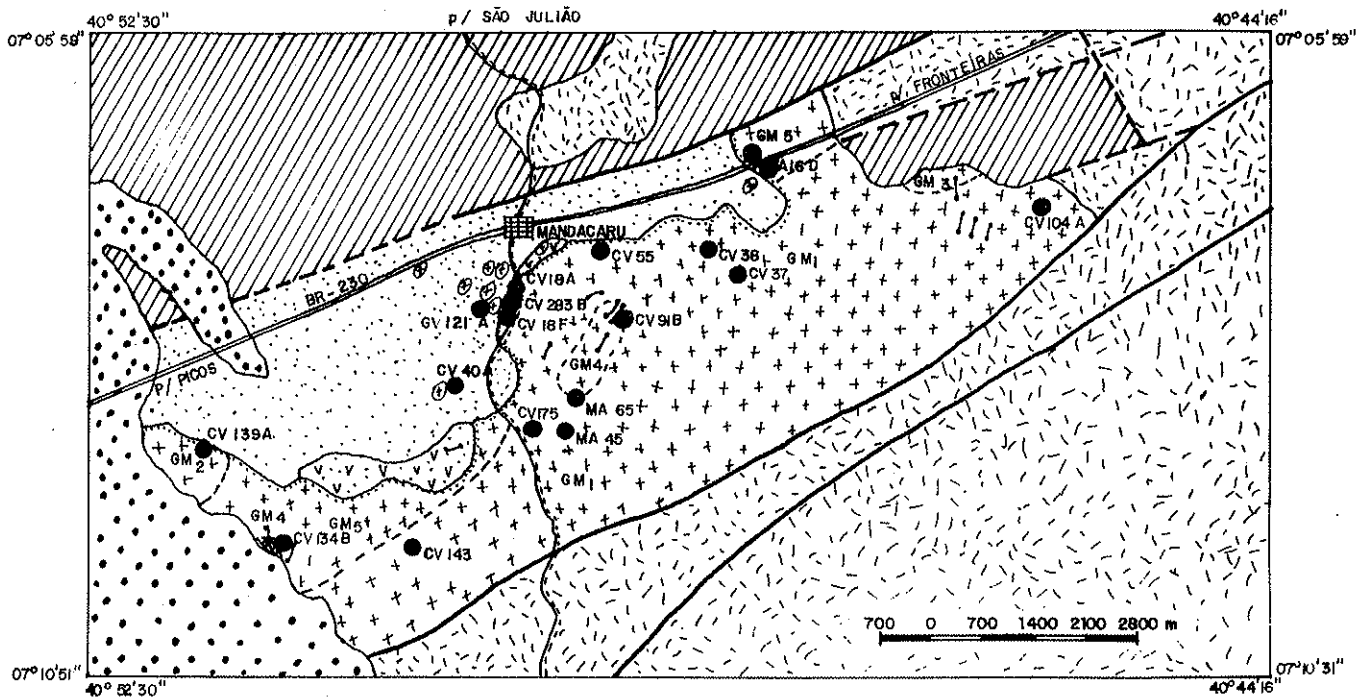


Figura 3 – Diagrama de variação K<sub>2</sub>O-CaO-Na<sub>2</sub>O do Granito Mandacaru

**GEOCRONOLOGIA** Foram realizadas inicialmente 14 determinações radiométricas pelo método Rb-Sr em rochas do Granito Mandacaru (Parente 1984) e, em seguida, mais cinco análises pelo mesmo método, totalizando 19 amostras analisadas. Aliás, os novos dados apenas confirmaram os resultados obtidos por Parente (1984). As análises foram realizadas no laboratório de Geologia Isotópica da Universidade Federal do Pará. Os pontos de coleta das amostras são mostrados na figura 4 e os dados analíticos constam da tabela 3.

A figura 5 representa a isócrona de referência obtida para amostra de diques granofíricas. A isócrona, baseada em seis pontos, indica idade de 574 ± 24 Ma (2σ) e razão inicial Sr<sup>87</sup>/Sr<sup>86</sup> = 0,7072 ± 0,0043 (2σ), compatíveis com os resultados apresentados em Parente (1984) (571 ± 26 Ma e Ri = 0,70914 ± 0,00022). A qualidade do alinhamento dos pontos também é boa (MSWD = 2,18). Por outro lado, a inclusão de duas amostras de apófises granofíricas nesse conjunto de rochas (Fig. 6) dá uma idade de 556 ± 10 Ma (2σ) e RI = 0,7105 ± 0,0005 (2σ), ambos de menores desvios



### LEGENDA























	FORMAÇÃO SERRA GRANDE		ALTERAÇÃO SECUNDÁRIA
	"PIPES" DE BRECHA		PROPILITIZAÇÃO
	GRANITO MANDACARU		FILICA E/OU SERICÍTICA
	DIQUES		ARGILIZAÇÃO
	APÓFISES GRANÓFIRO PORFIRÍTICAS		SERITIZAÇÃO, ARGILIZAÇÃO E CLORITIZAÇÃO INCipientes
	GM <sub>5</sub> FÁCIES HOLOLEUCOCRÁTICO		AMOSTRAS COM GEOCRONOLOGIA
	GM <sub>4</sub> FÁCIES PEGMATÓIDE		CONTATO DEFINIDO
	GM <sub>3</sub> FÁCIES GRANÓFIRO PÓRFIRO		CONTATO INFERIDO
	GM <sub>1</sub> FÁCIES GRANODIORITO		FALHA
	GM <sub>2</sub> FÁCIES RAPA KIVI		
	FORMAÇÃO CATOLÉ		
	SEQÜÊNCIA SÃO JULIÃO		
	EMBASAMENTO CRISTALINO		

Figura 4 – Localização das amostras com geocronologia

Tabela 3 – Resultados radiométricos Rb-Sr das rochas do Granito Mandacaru

AMOSTRA	LITOTIPO	Rb (ppm)	Sr (ppm)	Rb <sup>87</sup> /Sr <sup>86</sup>	Sr <sup>87</sup> /Sr <sup>86</sup>
CV-134B	Hornblenda-quartzo monzonito	144,4 ± 3,3	1.101,0 ± 12,0	0,3796 ± 0,0040	0,712239 ± 0,000025
CV-37	Granodiorito	144,7 ± 3,3	545,2 ± 5,7	0,7843 ± 0,0077	0,715602 ± 0,000046
CV-283B	Granodiorito	153,5 ± 3,6	266,6 ± 3,1	1,6710 ± 0,0200	0,733727 ± 0,000034
CV-213C	Granito hololeucocrático	123,1 ± 2,8	79,96 ± 0,88	4,4920 ± 0,0430	0,797872 ± 0,000065
MA-16D	Granito hololeucocrático	192,0 ± 13,0	53,80 ± 13,40	10,4900 ± 1,200	0,869906 ± 0,000027
CV-139A	Granito Rapakivi	198,7 ± 4,9	53,9 ± 1,10	6,2010 ± 0,0850	0,833567 ± 0,000034
CV-104A	Granito leucocrático	123,3 ± 2,7	466,8 ± 4,70	0,7645 ± 0,0065	0,715325 ± 0,000035
CV-18A	Microgranito	187,1 ± 4,0	78,47 ± 0,76	6,9760 ± 0,650	0,820590 ± 0,000160
CV-18F	Granito gráfico	363,3 ± 9,1	48,89 ± 0,50	22,5000 ± 0,3500	1,183530 ± 0,000026
CV-175	Quartzo pórfiro	230,7 ± 5,3	38,83 ± 0,39	17,4300 ± 0,2000	0,849852 ± 0,000085
CV-143A	Quartzo pórfiro	215,1 ± 4,9	55,20 ± 0,55	11,3800 ± 0,1300	0,799195 ± 0,000091
CV-38	Quartzo pórfiro	216,4 ± 5,0	71,90 ± 0,74	8,7700 ± 0,1000	0,778073 ± 0,000034
CV-40A	Granófiro porfíritico	148,4 ± 3,5	239,50 ± 2,80	1,7960 ± 0,0210	0,724741 ± 0,000049
MA-45	Granófiro	234,4 ± 5,4	22,20 ± 0,22	31,3000 ± 0,3700	0,960053 ± 0,000095
CV-121A	Granófiro porfíritico	163,8	387,1	1,226 ± 0,011	0,720380 ± 0,000190
CV-55	Microgranito	152,50	82,08	5,422 ± 0,055	0,792400 ± 0,001600
CV-91B	Quartzo pórfiro	210,40	58,82	10,430 ± 0,110	0,793360 ± 0,000190
MA-65	Granófiro	237,70	51,90	13,400 ± 0,160	0,819630 ± 0,000068

que os dados anteriores e de perfeita compatibilidade (superposição de valores levando-se em conta os desvios), o que indica que eles são perfeitamente relacionados.

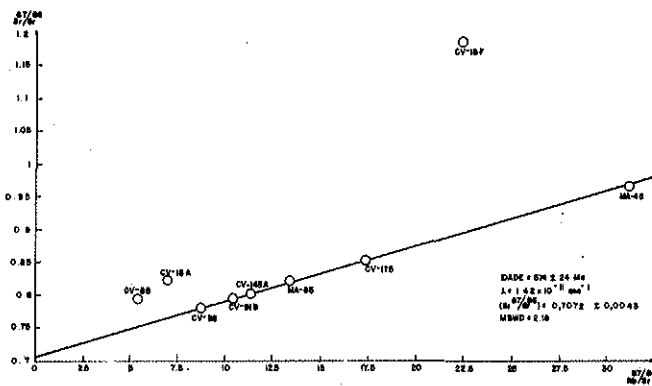


Figura 5 - Isócrona Rb-Sr de referência em rocha total de diques granofíricos do Granito Mandacaru

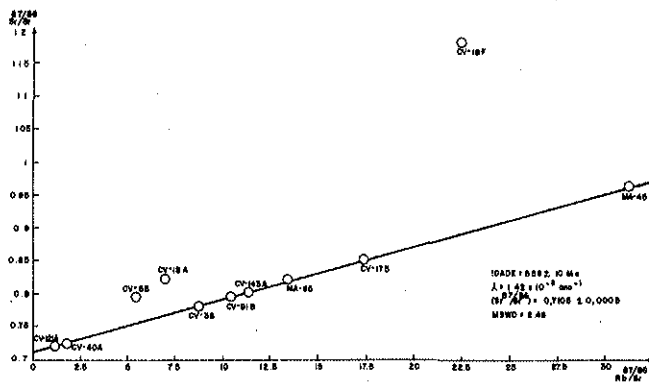


Figura 6 - Isócrona de referência em rocha total de diques do Granito Mandacaru

As três amostras representadas por microgranitos e granito gráfico, que fogem da isócrona, podem ser interpretadas geocronologicamente de várias maneiras: 1) contemporâneas dos granófiros: (1a) com razão inicial mais alta; (1b) com a mesma razão inicial, porém com contaminações (contemporânea ou posterior) por Sr radiogênico; (1c) com a mesma razão inicial, porém apresentando perda recente de Rb; 2) e mais antigas: (2a) sem notável perturbação isotópica e nem químicas; e (2b) com perturbação contemporânea ou posterior. A hipótese (1c) não pode ser aceita, pelo menos isoladamente, por implicar perda de cerca de 50% de Rb no caso dos microgranitos e ainda mais em relação ao granito gráfico. As hipóteses (2a) e (2b) são descartadas pelos dados de campo e petroquímicos, uma vez que tanto os microgranitos como o granito gráfico correspondem às rochas mais diferenciadas da intrusão granítica. A hipótese (1a) é aceitável, a rigor, para os microgranitos (RI = 0,8) mas não seria recomendável para o granito gráfico (RI = 1). Neste caso, as hipóteses (1a) e (1b) seriam mais prováveis considerando o grau de diferenciação das rochas analisadas, bem

como o fato de terem sido coletadas na borda da intrusão granítica, junto do contato com a Formação Catolé (Fig. 4), podendo ter sido contaminadas por Sr<sup>87</sup> radiogênico das encaixantes.

Na figura 7 está representada a isócrona de referência obtida para as rochas plutônicas. A isócrona indica idade de 571 ± 26 Ma, com razão inicial de 0,70914 ± 0,00022. Apesar de construída com apenas três pontos analíticos, a isócrona é confiável em face dos resultados obtidos para os diques granofíricos. Existe também a compatibilidade das duas razões iniciais, dentro do erro analítico, as das rochas plutônicas sendo conhecidas com mais precisão uma vez que essas rochas exibem baixa razão Rb/Sr, os pontos representativos situando-se próximos à origem dos eixos.

A utilização conjunta dos dados de rochas plutônicas e dos diques resulta em uma isócrona de boa qualidade para o granito como um todo, alinhando cinco amostras de granófiros e três de granitóides. A idade obtida é de 559 ± 8 Ma e razão inicial de 0,70924 ± 0,00010 (Fig. 9). O fato de estes diferentes tipos litológicos apresentarem a mesma idade e razão inicial aproximadamente similar, aliado ao bom alinhamento das amostras, como é confirmado pelo baixo valor do parâmetro MSDW (1,11), permite a confirmação implícita de que os diques (ou pelo menos parte deles) e as rochas plutônicas do Granito Mandacaru podem ser considerados contemporâneos ou co-genéticos, o que vem confirmar os dados de campo e os estudos petroquímicos. Nesse sentido, as rochas dos diques devem representar produtos mais diferenciados das rochas plutônicas, o que justifica a razão inicial mais alta. No diagrama isocronônico em referência, podem-se verificar também várias amostras de rochas granitóides plotadas fora da isócrona e em posição bem acima dela. Assim como foi o caso com os diques de microgranitos e granito gráfico, a disposição caótica dessas amostras permite inferir basicamente duas hipóteses: 1) contemporâneas, mas com contaminação ou 2) mais antigas, com perturbação isotópica ou não. Da mesma maneira que os diques acima referidos, todas essas rochas granitóides provêm da zona de contato da intrusão granítica com a Formação Catolé, em oposição às oito amostras da isócrona que procedem de partes mais internas do Granito Mandacaru. Como se discutiu em Parente (1984) e Parente & Fuck (no prelo), o Granito Mandacaru experimentou, durante os estágios finais de cristalização, interação com água meteórica e das encaixantes, fato este que modificou o sistema Rb-Sr, como indica a dispersão dos pontos da figura 8. Desse modo, as importantes modificações no contingente do Sr<sup>87</sup> radiogênico (incorporação) ou de Rb (perda) foram impostas por fluidos aparentemente provenientes das encaixantes que circularam no Granito Mandacaru, sobretudo nas zonas de contato e nas rochas em que se verificou maior cataclase. Trata-se provavelmente dos mesmos fluidos que alteraram e modificaram a associação mineral original das rochas graníticas.

**ALGUNS COMENTÁRIOS QUANTO À ORIGEM DO GRANITO MANDACARU** Considerando a escassez de fluidos magmáticos representados pelos baixos teores de H<sub>2</sub>O, F, Sn, Nb, Mo e Li, que são elementos comumente encontrados em fase de hidrotermalismo, e as feições de alterações discutidas (Parente & Fuck no prelo), acredita-se que o agente responsável pela alteração do Granito Mandacaru foi água meteórica ou água oriunda das encaixantes, associadas possivelmente a fluidos liberados durante a rápi-

da cristalização dos diques pórfiros, o que poderia ser confirmado com um estudo isotópico de oxigênio e hidrogênio.

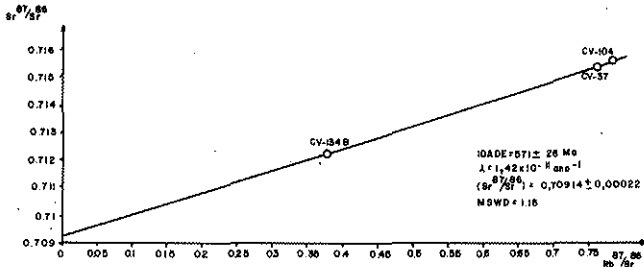


Figura 7 — Isócrona de referência em rocha total de rochas plutônicas do Granito Mandacaru

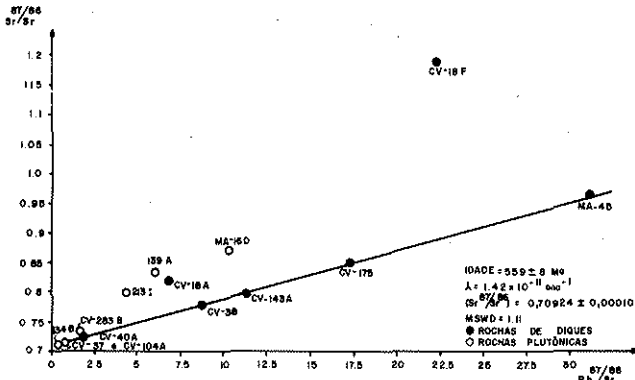


Figura 8 — Isócrona de referência em rocha total do Granito Mandacaru

A razão inicial  $Sr^{87}/Sr^{86}$  do Granito Mandacaru, inferior a 0,710, porém superior às razões iniciais de magmas derivados do manto (0,706), permite inferir várias possibilidades para a derivação do magma original. Pode tratar-se 1) de material derivado por fusão da crosta inferior (granulítica) empobrecida em Rb/Sr; 2) de magma derivado do manto superior e contaminado por assimilação parcial de material da crosta inferior; 3) de material sílico que tenha tido um curto tempo de permanência na crosta; ou 4) de material derivado por fusão parcial de rochas contendo apreciável contribuição de vulcânicas, conforme assinalado por Cordani (*apud* Dantas 1974), para rochas graníticas da Faixa de Dobramentos Jaguaribeana.

As feições petrográficas e geoquímicas do Granito Mandacaru, no entanto, indicam que a fonte mais provável é de magma derivado do manto superior, que sofreu contaminação por parte da crosta inferior, seca e geoquimicamente estéril (crosta granulítica).

A julgar pelas feições supracitadas e o *emplacement* dessas rochas em ambiente geológico distensional intracratônico, pode-se dizer, também, que o Granito Mandacaru corresponde aos granitos tipo A (Loiselle & Wones 1979, Collins *et al.* 1982, Pitcher 1983).

O magma granítico assim formado ascendeu ao longo da estrutura tipo gráben; e dado o baixo teor de  $H_2O$ , pode migrar quase até a superfície sem cruzar o *solidus*. Ao posicionar-se, formou-se margem resfriada representada pelo fácies granofírico e microgranítico devido ao próprio contraste térmico com as rochas encaixantes.

Subseqüentes acomodações tectônicas reativaram falhas e fraturas, e rompeu-se a carapaça previamente formada, o que permitiu a injeção do material do centro do plutão ao longo das fraturas, principalmente nas marginais e naquelas que cortam as rochas sedimentares da Formação Catolé. O caráter profirítico dos diques no interior e nas bordas do corpo bem como das apófises com matriz granofírica introduzidas nas rochas sedimentares, além do fácies de granulização fina, são atestado adicional do caráter intrusivo dessas rochas ao longo de fraturas neoformadas. Devido à baixa pressão confinante, desenvolveram-se ainda, ao longo de fraturas marginais, pequenos veios pegmatíticos e de granito gráfico, apesar da limitada concentração de voláteis. Por outro lado, o remanescente magma cristalizou lentamente, e produziu as texturas pegmatíticas.

O caráter anidro das rochas plutônicas, a escassez de veios pegmatíticos, a associação com riólitos e granófiros, e a presença de rochas máficas efusivo-fissurais constituem feições geológicas que suportam esta interpretação.

As características petrográficas, litoquímicas e o ambiente tectônico do Granito Mandacaru permitem também descharacterizá-lo como granito tipo Cu-pórfiro, visto que a formação de depósitos deste tipo exige condições bastantes especiais e diferentes das que ocorrem nas rochas graníticas intrusivas de Mandacaru. Os depósitos tipo Cu-pórfiro encontram-se, em geral, associados ao magmatismo cálcio-alcalino; cristalizam-se em condições de alta  $PH_2O$  (> 2%  $H_2O$ ); as intrusões mineralizadas no estilo de Cu-pórfiro mostram pouca diferenciação, quartzo diorito, quartzo monzonito e granodiorito sendo os termos petrográficos mais frequentes; o ambiente tectônico dessas rochas está relacionado a regiões de convergência de placas; e as alterações hidrotermais são zonadas, a elas se superpondo a mineralização, bem ao contrário do que apresenta o Granito Mandacaru.

Considerando a idade geocronológica  $559 \pm 6$  Ma ( $2\sigma$ ) bem como as características petrográficas e petroquímicas do Granito Mandacaru e suas relações com as rochas encaixantes, pode-se equipará-lo aos granitos Mucambo e Meruoca do NW do Ceará. Para esses granitos, Sial *et al.* (1981) reportam idades de  $548 \pm 24$  Ma ( $RI = 0,710 \pm 0,0011$ ) e  $507 \pm 36$  Ma ( $RI = 0,7071 \pm 0,0015$ ), respectivamente. De acordo com esses autores, a idade menor e a razão inicial mais baixa do Granito Meruoca representam modificações no sistema Rb-Sr imposta por alterações meteóricas, o que mascara sua verdadeira identidade geocronológica, que, para aqueles autores, seria equivalente à do Granito Mucambo, isto é, aproximadamente 550 Ma. Os três corpos estão relacionados ao mesmo evento magmático, que caracteriza a fase pós-tectônica do Ciclo Brasileiro na Região de Dobramentos Nordeste.

**CONCLUSÃO** O Granito Mandacaru representa uma intrusão pós-tectônica, gerada em ambiente geológico distensional intracratônico. Encontra-se introduzido na Formação Catolé, na seqüência São Julião e nas rochas granito-gnáissicas mais antigas. Os estudos petrográficos, petroquímicos e geocronológicos indicam que o Granito Mandacaru representa um plutão diferenciado, formado a partir

de magma subalcalino a alcalino, pobre em  $H_2O$ , proveniente da crosta inferior, e resultante da interação de material juvenil com esta crosta, que provavelmente seria seca e geoquimicamente estéril (crosta granulítica). O magma granítico assim formado ascendeu ao longo da estrutura tipo gráben e, dado o baixo teor de  $H_2O$ , pode migrar quase à superfície sem cruzar o *solidus*. As características supracitadas permitem dizer também que o Granito Mandacaru corresponde aos granitos tipo A. Posicionado a 550 Ma, o Granito Mandacaru apresenta estreita relação com os granitos pós-tectônicos Meruoca e Mucambo do noroeste do Ceará,

apesar de, nestes dois últimos, não se ter conhecimento da presença de mineralização de cobre.

**Agradecimentos** Os autores agradecem ao CNPq, pelo suporte financeiro (Proc. 40.3563/81); a Geraldo Resende Boaventura, do Laboratório de Geoquímica da UnB, pela realização de parte das análises químicas; e aos professores do Departamento de Geociências da UnB, em particular Marcel A. Dardenne e Hardy Jost, pela ajuda nos trabalhos de laboratório.

#### REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- CLARKE, D.B. - 1981 - The mineralogy of peraluminous granites: A review. *Canadian Mineralogist*, 19:3-17.
- COLLINS, W.J.; BEAMS, S.D.; WHITE, A.G.R.; CHAPPELL, B.W. - 1982 - Nature and origin of A-type Granites with particular reference to southeastern Australia. *Contr. Min. Petrol.*, 80:189-200.
- DANTAS, J.R.A. - 1974 - *Carta Geológica do Brasil ao Milionésimo*. Folha Jaguaribe (SB-24) e Folha Fortaleza (SA-24), Brasil. Brasília, DNPM, 95 p.
- FARINA, M. - 1980 - *Mineralização cupro-argento-aurífera de São Julião, Piauí*. Caracterização Geológica preliminar do primeiro "Porphyry Copper" do Brasil. Recife, CPRM, 19 p. (inédito).
- GÁAL, E.G. - 1982 - *Evaluation of the copper prospect of Mandacaru-PI, with impressions on the Geology of Noroeste and Rio Capim field trip*. Salvador, Caratiba Metais S.A. 3p. (inédito).
- HANSON, G.N. - 1978 - The application of trace elements to the petrogenesis of igneous rocks of granitic composition. *Earth and Planetary Science Letters*, 38:26-43.
- LOISELLE, M.C. & WONES, D.R. - 1979 - Characteristics of anorogenic granites. Abstr. with programs *Geol. Soc. Am. A. G.M.*; 539.
- LOPES FILHO, J.B.; LAGES, P.R.R.; SILVA, R.O.C.; NETO, M.C.; URBANO FILHO, C. - 1982 - *Projeto Cobre-Mandacaru*. COMDEPI/PI. (inédito).
- MASON, D.R. & MacDONALD, J.A. - 1978 - Intrusive rocks and porphyry copper occurrences of Papua New Guinea-Solomon Islands Region: A reconnaissance Study. *Econ. Geol.*, 73:857-877.
- NEVES, B.B. de B. - 1975 - *Regionalização geotectônica do Precambriano nordestino, São Paulo*, 198 p. (Tese de Doutorado, Instituto de Geociências da USP).
- NEVES, B.B. de B. - 1978 - A Propósito da evolução lito-estratigráfica do Precambriano Superior do Nordeste. *Jorn. Miner.*, 7:19-27, Recife.
- NEVES, B.B. de B. - 1983 - *O mapa geológico do Nordeste oriental do Brasil*. Escala 1:1.000.000. São Paulo, (Tese de Livre-Docência, Instituto de Geociências da USP).
- PARENTE, C.V. - 1984 - *Geologia da mineralização de cobre de Mandacaru-PI*. Brasília, 203 p. (Tese de Mestrado, Departamento de Geociências da UnB).
- PARENTE, C.V. & FUCK, R.A. - 1986 - Geologia da ocorrência de cobre de Mandacaru, Piauí. *Rev. Bras. Geoc.* (no prelo).
- PITCHER, W.S. - 1983 - Granite type and tectonic environment. In: HSU, K. (ed.). *Mountain Building Processes*. Academic Press, London, p. 19-40.
- SIAL, A.N.; FIGUEIREDO, M.C.H.; LONG, L.E. - 1981 - Rare earth element geochemistry of the Meruoca and Mucambo plutons, Ceará, northeast Brazil. *Chemical Geology*, 31:271-283.
- TAYLOR, R.R. - 1965 - The application of trace element data to problems in petrology. *Physics and Chemistry of the Earth*, 6:133-213.
- TERAZU, Y. - 1980 - *Relatório sobre a mineralização de cobre de São Julião-Piauí*. Cooperação Técnica Brasil-Japão. DNPM/DGM. (inédito).
- TERAZU, Y. - 1981 - *Relatório sobre a mineralização de cobre de São Julião (II)*. Cooperação Técnica Brasil-Japão. DNPM/DGM. (inédito).
- TUREKIAN, K.K. & WEDEPOHL, W.H. - 1961 - Distribution of elements of some major units of Earth's crust. *Geol. Soc. Am. Bull.* 72:175-192.
- TURNER, J.T. - 1981 - *Metamorphic petrology*. Ed. Hemisphere Publishing Corporation. 524 p.
- TUTTLE, O.F. & BOWEN, M.L. - 1958 - Origin of granite in the light of experimental studies in the system  $NaAlSi_3O_8-KAlSi_3O_8-SiO_2-H_2O$ . *Geol. Soc. Am. Memoir*, 74:153 p.
- VORMA, A. - 1976 - On the petrochemistry of Rapakivi Granites with special reference to the Laitila massif, southwestern Finland. *Geol. Surv. Finl. Bull.*, 285:1-98.
- WRIGHT, J.B. - 1969 - A simple alkalinity ratio and its application to questions of non-orogenic granite genesis. *Geol. Mag.*, 106(4):370-384.

MANUSCRITO

Recebido em 23 de maio de 1986

Revisão aceita em 18 de novembro de 1986

Do rio que tudo arrasta se diz que é violento  
Mas ninguém diz violentas  
As margens que o comprimem

Bertold Brecht