

**GEOTERMOMETRIA DE BASALTOS TERCIÁRIOS E MESOZÓICOS
DO NORDESTE DO BRASIL ***

Alcides Nóbrega Sial

Departamento de Geologia. Centro de Tecnologia. UFPE. Recife, PE.

Pedro Luiz Pretz Sartori

Departamento de Geociências. Centro de Ciências Naturais e Exatas.
UFSM. Santa Maria, RS.**RESUMO**

Dados químicos obtidos a partir de amostras de olivina basaltos Terciários do Rio Grande do Norte e da Paraíba, bem como de basaltos toleíticos Mesozóicos da Bacia do Maranhão, no nordeste do Brasil, permitiram estimar as temperaturas de cristalização dos plagioclásios contidos nessas rochas de acordo com o geotermômetro de KUDO & WEILL (5).

Nos cálculos efetuados, admitindo-se condições de equilíbrio entre os cristais e o líquido, foi considerada a composição química da borda do plagioclásio e da matriz intersticial.

Nos olivina basaltos, as temperaturas registradas para pressões d'água de 1 Kbar situaram-se entre 1078^o - 1168^oC, mostrando perfeita concordância com o geotermômetro de HAKLI & WRIGHT (3), utilizado para essas rochas por SIAL (8).

Com relação aos basaltos toleíticos, os valores ficaram compreendidos entre 1140^o - 1230^oC, para condições de 1 Kbar de pressão d'água.

SUMMARY

SIAL, A.N. and SARTORI, P.L.P., 1979. Plagioclase geothermometry for some Mesozoic and Tertiary basalts, Northeast Brazil. *Ciência e Natura* (1): 79-87.

Chemical data of some Tertiary olivine basaltic samples from the States of Rio Grande do Norte and Paraíba, and of Mesozoic tholeiitic basalts from the Maranhão sedimentary basin as well, allowed a preliminary estimate of the crystallization temperatures of their plagioclases through the KUDO and WELL's geothermometer (5).

In the calculation of the equilibrium temperatures between the plagioclase crystals and the liquid, the chemical composition of their edges and the composition of the rock matrix were used.

In olivine basalts, temperatures ranging from 1078^o to 1168^oC

*Trabalho apresentado no IX Simpósio de Geologia do Nordeste. Natal, RN.

at 1 Kbar water pressure were recorded, in accordance with previously determined temperatures through HAKLI and WRIGHT's (3) approach (SIAL, 8).

For the tholeiitic basalts, temperature estimates ranged from 1140°C to 1230°C, at 1 Kbar water pressure.

INTRODUÇÃO

O termômetro relativo ao plagioclásio, desenvolvido por KUDO & WEILL (5), é conhecido na literatura geológica em razão da sua aplicabilidade às rochas vulcânicas de composição basáltica a riolítica.

Partindo dos resultados obtidos por BOWEN (1), sobre o processo de cristalização dos plagioclásios a altas temperaturas, KUDO & WEILL (5) estabeleceram um geotermômetro baseado no equilíbrio entre o plagioclásio e o líquido magmático.

Para o cálculo da temperatura, esse método empírico requer a determinação das percentagens de SiO_2 , Al_2O_3 , CaO e Na_2O no líquido residual e dos componentes albita e anortita no plagioclásio coexistente.

Quando a temperatura já tiver sido obtida de outra maneira, essa avaliação pode ser usada na estimativa da pressão d'água existente durante a cristalização da rocha.

No presente trabalho, esse geotermômetro foi aplicado a alguns olivina basaltos Terciários do Rio Grande do Norte e da Paraíba, bem como aos basaltos toleíticos Mesozóicos da Bacia do Maranhão, que ocorrem no nordeste do Brasil. Dados químicos, mineralógicos e petrográficos relativos a essas rochas, encontram-se reunidos em estudo de SIAL (7).

Os basaltos Terciários do Rio Grande do Norte ocorrem sob a forma de *necks*, *plugs*, diques e derrames. São encontrados ao longo de uma faixa com direção geral norte-sul, na região central do Rio Grande do Norte e norte da Paraíba (Figura 1). *Necks* e *plugs* são mais abundantes do que os derrames; estes são encontrados próximos a Macau (RN), Açú (RN) e Boa Vista (PB). Os primeiros são geralmente observados cortando rochas Precambrianas enquanto os derrames, como os de Macau, atravessam sedimentos do Cretáceo da Bacia do Apodi (RN).

Olivina, augita cálcica e subcálcica, minerais oxidoférricos e plagioclásio são os principais constituintes dessas rochas. *Nefelina* e *feldspato potássico* aparecem como minerais intersticiais nos *necks* e *plugs* mais alcalinos e não foram observados nos derrames. A ordem de cristalização varia bastante de um para outro corpo rochoso. Em alguns *necks* e *plugs*, nódulos peridotíticos e gabríticos, além

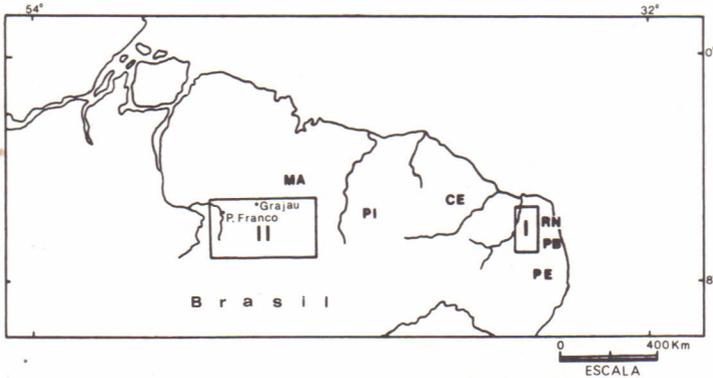


Figura 1. Localização das principais áreas de ocorrência de basaltos Terciários (I) e Mesozóicos (II), no nordeste do Brasil.

de xenocristais de plagioclásio, feldspato alcalino e quartzo, foram descritos e estudados por SIAL (7).

De acordo com o sistema de classificação de IRVINE & BARAGAR (4), essa província inclui basaltos alcalinos (potássicos) basaltos picríticos (sódicos), basaltos subalcalinos (pobres em potássio) e hawaitos (sódicos).

Os basaltos Mesozóicos do Maranhão ocorrem principalmente como derrames de lavas nas regiões de Porto Franco, Grajaú e Fortaleza de Nogueiras, no Maranhão (Figura 1). De outra parte, nas localidades de Pastos Bons, São João dos Patos, Vitória do Alto Parnaíba, no Maranhão, e em São Felix do Piauí, Beneditinos, São Miguel do Tapuio, Batalha, Mudança e Buriti dos Lopes, no Piauí, aparecem também rochas correlacionáveis com as anteriores na forma, geralmente, de corpos de diabásio.

Tais rochas mostram notável uniformidade em seu aspecto textural e na composição mineralógica. Assim, plagioclásio, augita sub-cálcica e pigeonita são os constituintes essenciais, enquanto vidro e opacos apresentam-se como acessórios; calcedônia, zeólitos, prehnita e pumpellyita são secundários e comumente preenchem vesículas. A seqüência de cristalização é variável mas, em geral, mostra ter se iniciado com o plagioclásio seguido pela pigeonita e augita que por vezes cristalizaram simultaneamente.

Do ponto de vista químico essas rochas se caracterizam pela presença de quartzo e hiperstênio normativos (apenas em alguns casos aparece olivina) correspondendo, portanto, a toleitos superaturados.

MATERIAL E MÉTODO

O material empregado nesse estudo correspondeu a dez amostras de rochas basálticas, cujos resultados analíticos são apresentados nas Tabelas I e II.

Os dados referentes à composição do plagioclásio e da matriz dessas rochas foram obtidos por meio de uma microsonda eletrônica ARL, modelo EMX - SM, com três espectrômetros dispersivos e três pares de cristais (LiF/ADP, LiF/ADP e LiF/RAP). Nas correções dos fatores de instrumentação e de matriz empregou-se o método descrito por BOYD et al. (2).

Para cada uma das amostras em questão foram analisados o núcleo e a borda de cristais de plagioclásios. Nas tabelas apresentadas neste trabalho, as análises correspondem a borda do plagioclásio, de modo a considerar a situação de equilíbrio, entre os cristais e o líquido, a mais ideal possível.

A análise da matriz intersticial, supostamente representando a composição do líquido ao fim da cristalização, foi obtida com o diâmetro do feixe eletrônico de aproximadamente 50 μ .

O cálculo da temperatura foi processado com o auxílio de um programa de computação eletrônica, na resolução da Eq.(7) de KUDO & WEILL, considerando as condições de 1, 500 e 1.000 bárias de pressão d'água.

Conquanto MATHEZ (6) tenha modificado a equação estabelecida por KUDO & WEILL (5) visando a sua aplicação, mais especificamente, para o caso de rochas basálticas, os cálculos efetuados durante a realização deste trabalho, com base no procedimento sugerido pelo autor, conduziram a valores invariavelmente mais altos e menos concordantes quando comparados com outros geotermômetros descritos na literatura pertinente. Sendo assim, o método de KUDO & WEILL (5) ainda parece ser o mais indicado, pelo menos para o caso das rochas estudadas.

RESULTADOS

Analisando-se os resultados contidos na Tabela I chama a atenção o fato de que as temperaturas de equilíbrio plagioclásio-líquido magmático, para os olivina basaltos Terciários do Rio Grande do Norte e da Paraíba, que foram obtidas considerando a pressão d'água de 1.000 bárias, mostraram excelente concordância com os valores obtidos por SIAL (8) pelo método de HAKLI & WRIGHT (3), com base no fracionamento de níquel entre a olivina e o piroxênio (Tabela III), indicando que a cristalização dessas rochas ocorreu, provavelmente, a essa pressão d'água.

TABELA I
ANÁLISE DA MATRIZ INTERSTICIAL DE BASALTOS TERCIÁRIOS
DO RIO GRANDE DO NORTE E DA PARAÍBA

Óxidos	A - 2	A - 42	A - 74	A - 93	BV - 22
SiO ₂	48,65	46,39	52,78	47,04	53,02
TiO ₂	1,84	2,47	1,99	1,92	3,42
Al ₂ O ₃	12,73	10,85	17,88	14,38	19,65
FeO*	10,11	6,64	5,57	8,21	6,57
MnO	0,14	0,18	0,14	0,23	0,35
NiO	0,05	0,03	0,03	0,01	0,01
MgO	4,87	12,96	3,20	5,43	2,41
CaO	16,39	19,42	7,25	11,31	10,09
Na ₂ O	3,45	0,94	5,88	5,38	4,85
K ₂ O	3,42	0,02	2,21	5,37	0,92
Total	101,65	99,90	97,14	99,38	101,31

COMPOSIÇÃO DA BORDA DOS CRISTAIS DE PLAGIOCLÁSIOS

Óxidos	A - 2	A - 42	A - 74	A - 93	BV - 22
SiO ₂	55,15	53,55	54,59	56,04	58,90
Al ₂ O ₃	27,71	27,85	27,36	26,38	24,93
MgO	0,27	0,12	0,07	0,17	0,10
CaO	10,93	12,35	10,99	9,34	8,43
Na ₂ O	5,79	5,43	4,46	6,85	7,61
K ₂ O	0,22	0,04	0,17	0,40	0,57
Total	100,70	99,33	97,18	99,18	100,54
OR	1,24	0,19	1,06	2,13	3,00
AB	48,33	44,21	41,89	55,82	60,20
AN	50,43	55,60	57,05	42,05	36,79

TEMPERATURA DE CRISTALIZAÇÃO (°C),
SEGUNDO O MÉTODO DE KUDO & WEILL (1970)

1 bar	1199	1148	1252	1166	1164
500 bárias	1154	1109	1203	1121	1121
1.000 bárias	1121	1078	1168	1086	1086

* Fe calculado como FeO.

Localização das amostras:

- A - 2 : 3,5 Km a sudoeste de Açu, RN.
- A - 42 : 18 Km a noroeste de São Tomé, RN.
- A - 74 : 17 Km a oeste de Pedra Preta, RN.
- A - 93 : 7 Km a oeste de Lajes; Pico do Cabugi, RN.
- BV - 22 : 3,6 Km a sudoeste de Boa Vista, PB.

TABELA II
ANÁLISE DA MATRIZ INTERSTICIAL DE BASALTOS MESOZÓICOS
DA BACIA DO MARANHÃO.

Óxidos	G - 2B	G - 12B	PF - 40	PF - 43	PF - 44
SiO ₂	58,33	51,41	58,24	66,43	65,24
TiO ₂	0,27	1,28	1,34	0,22	0,68
Al ₂ O ₃	15,13	14,28	16,31	16,68	18,14
FeO*	2,34	10,21	5,47	0,64	1,94
MnO	0,01	0,18	0,07	0,01	0,08
MgO	1,84	5,74	0,42	0,43	0,27
CaO	1,56	9,69	1,95	0,81	1,10
Na ₂ O	7,13	3,66	6,86	3,43	3,28
K ₂ O	10,47	1,13	8,39	9,66	9,78
Total	97,09	98,29	99,04	98,14	100,49

COMPOSIÇÃO DA BORDA DOS CRISTAIS DE PLAGIOCLÁSIO

Óxidos	G - 2B	G - 12B	PF - 40	PF - 43	PF - 44
SiO ₂	52,70	58,61	50,86	54,45	54,71
Al ₂ O ₃	26,91	28,64	30,06	26,62	29,84
MgO	0,10	0,28	0,25	0,10	0,07
CaO	11,21	9,33	14,63	10,99	12,42
Na ₂ O	6,13	2,62	3,69	4,01	3,63
K ₂ O	0,17	0,06	0,01	0,11	-
Total	97,22	99,53	99,49	96,28	100,66
OR	0,88	0,44	0,95	0,76	-
AB	49,33	33,58	31,29	39,47	34,65
AN	49,77	65,97	68,60	59,76	65,34

TEMPERATURA DE CRISTALIZAÇÃO (°C),
SEGUNDO O MÉTODO DE KUDO & WEILL (1970)

	1 bar	1240	1227	1337	1306	1299
500 b̄arias	1181	1177	1273	1243	1239	
1.000 b̄arias	1139	1141	1233	1202	1199	

* Fe calculado como FeO.

Localização das amostras:

G - 2B : Grajaū, MA.

G - 12B : 6 Km ao sul de Grajaū, MA.

PF - 40 : Paraíso, 40 Km a este de Porto Franco, MA.

PF - 43 : 30 Km ao sul de Porto Franco, MA.

PF - 44 : 25 Km a oeste de Estreito, rodovia Belem-Brasília, GO.

TABELA III

COMPARAÇÃO DAS TEMPERATURAS DE CRISTALIZAÇÃO DE BASALTOS TERCIÁRIOS DO NORDESTE (RIO GRANDE DO NORTE E PARAÍBA).

Amostra	Segundo o método de HAKLI & WRIGHT (1967)					Segundo o método de KUDO & WEILL (1970)
	Ol ^{Ni}	Pir ^{Ni}	Matr ^{Ni}	Ol ^{Ni} /Pir ^{Ni}	Ol ^{Ni} /Matr ^{Ni}	Plag. - Matriz P _{H₂O} = 1 Kbar T (°C)
	ppm	ppm	ppm	T (°C)	T (°C)	T (°C)
A - 2	2100	720	-	1120	-	1121
A - 42	2000	440	-	1078	-	1078
A - 74	2660	400	-	1160	-	1168
A - 93	1600	330	100	1085	1080	1086
BV- 22	2060	-	100	-	970	1086

No caso dos basaltos toleíticos Mesozóicos da Bacia do Maranhão, comparando-se as temperaturas calculadas para diferentes pressões d'água (Tabela II), observa-se que os valores mais coerentes, inclusive quando comparados com o geotermômetro de HAKLI & WRIGHT (3), correspondem àqueles relacionados com as condições de 1.000 bárias de pressão d'água, provavelmente devido a água contida nas camadas sedimentares que foram atravessadas pelo magma basáltico em ascensão. De outra parte, esses resultados parecem também indicar que o plagioclásio cristalizou antes do piroxênio (Tabela IV), com uma diferença média de temperatura de $170 \pm 10^{\circ}\text{C}$ (Figura 2).

TABELA IV

COMPARAÇÃO DAS TEMPERATURAS DE CRISTALIZAÇÃO DE BASALTOS MESOZÓICOS DA BACIA DO MARANHÃO.

Amostra	Segundo o método de HAKLI & WRIGHT (1970)			Segundo o método de KUDO & WEILL (1970)
	Pir ^{Ni}	Matr ^{Ni}	Pir ^{Ni} /Matr ^{Ni}	Plag. - Matriz P _{H₂O} = 1 Kbar T (°C)
	ppm	ppm	T (°C)	T (°C)
G - 2b	450	50	964	1139
G - 12B	830	100	970	1141
PF - 40	410	100	1070	1233
PF - 43	560	100	1021	1202
PF - 44	450	100	1042	1199

CONCLUSÕES

Tendo em vista os cálculos realizados no presente traba

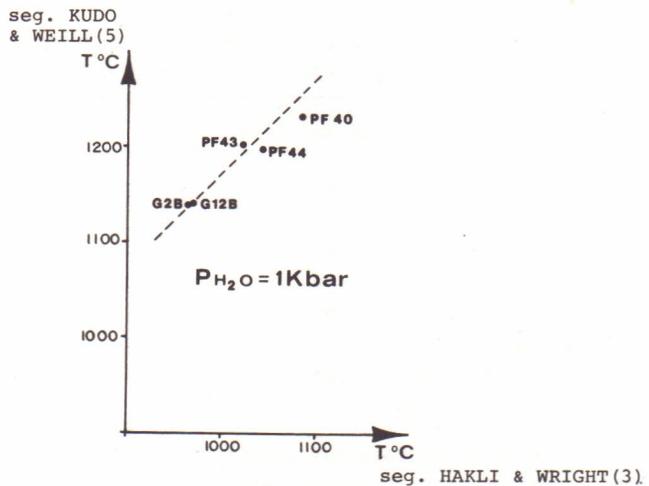


Figura 2. Projeção dos valores das temperaturas contidos na Tabela IV, relativos aos basaltos da Bacia do Maranhão.

lho, sobre as temperaturas de equilíbrio plagioclásio-líquido magmático, conclui-se o seguinte:

1. Os valores obtidos para as temperaturas de cristalização dos plagioclásios de olivina basaltos Terciários do Rio Grande do Norte e da Paraíba situaram-se entre 1078° - 1168°C , indicando que estas rochas cristalizaram, possivelmente, sob pressão d'água, em torno de 1 Kbar.

2. No caso dos basaltos toleíticos Mesozóicos da Bacia do Maranhão, os dados ora disponíveis sugerem que os plagioclásios cristalizaram sob pressão de 1 Kbar, no intervalo de temperatura de 1140° - 1230°C , talvez devido a água contida nas rochas sedimentares que foram atravessadas pelo magma em ascensão.

AGRADECIMENTOS

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pela concessão da bolsa de estudo a um dos autores (A.N.SIAL) durante sua permanência nos E.U.A. onde foi realizada a parte analítica deste trabalho.

BIBLIOGRAFIA CITADA

1. BOWEN, N.L. The melting phenomena of the plagioclase feldspars. *Am. J. Sci.*, Ser. 4, 35 : 577 - 599, 1913.
2. BOYD, F.R.; FINGER, L.W.; CHAYES, F. Computer reductions of electron probe data. *Carn. Inst. of Washington. Year Book* 67, 1529, p. 210, 1969.

3. HAKLI, T.A. & WRIGHT, T.L. The fractionation of nickel between olivine and augite as a geothermometer. *Geochim. et Cosmochim. Acta*, 31 (5) : 877 - 884, 1967.
4. IRVINE, T.N. & BARAGAR, W.R.A. A guide to the chemical classification of the common volcanic rocks. *Can. J. Earth Sci.*, 8 : 523-548, 1971.
5. KUDO, A.M. & WEILL, D.F. An igneous plagioclase thermometer. *Contr. Miner. and Petrol.*, 25 : 52 - 65, 1970.
6. MATHEZ, E.A. Refinement of the KUDO-WEILL plagioclase thermometer and its application to basaltic rocks. *Contr. Miner. and Petrol.*, 11 : 61 - 72, 1973.
7. SIAL, A.N. *Petrology and tectonic significance of the post-Paleozoic basaltic rocks of Northeast Brazil*. Davis, Univ. of California. 1974, 403 p. (Ph.D. Dissertation).
8. SIAL, A.N. Fracionamento de Ni entre olivina e augita e a temperatura de cristalização dos basaltos Terciários do Rio Grandedo Norte e Paraíba. In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DO NORDESTE, VII, 1975. Atas ... Fortaleza. SBG. Bol. nº 5 : 242 - 246.

Recebido em junho, 1979; aceito em outubro, 1979.

