

DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DE MINERAIS PESADOS NA PLATAFORMA CONTINENTAL DO ESTADO DO MARANHÃO

Michel Henri Arthaud — Jáder Onofre de Moraes
George Satander Sá Freire ⁽¹⁾

Laboratório de Ciências do Mar
Universidade Federal do Ceará
Fortaleza — Ceará — Brasil

O estudo de minerais pesados que ocorrem em ambientes sedimentares tem grande importância na exploração dos recursos geológicos, principalmente na mineração. A determinação de províncias petrográficas submarinas permite não somente a avaliação da viabilidade econômica das concentrações mineralógicas, mas também a identificação de suas fontes (rochas-mãe), seguindo os níveis de maturidade e correlações. Os minerais pesados se originam de fontes diversas onde diferentes processos determinam suas características.

Este trabalho tem por finalidade obter subsídios para uma melhor delimitação das províncias mineralógicas da plataforma continental do Estado do Maranhão, na área compreendida entre as longitudes de 41°W e 46°W.

MATERIAL E MÉTODOS

As 48 amostras destinadas a esse estudo (figura 1) foram selecionadas dentre aquelas obtidas nas seguintes expedições: viagem do barco Pesquisador IV, da Superintendência

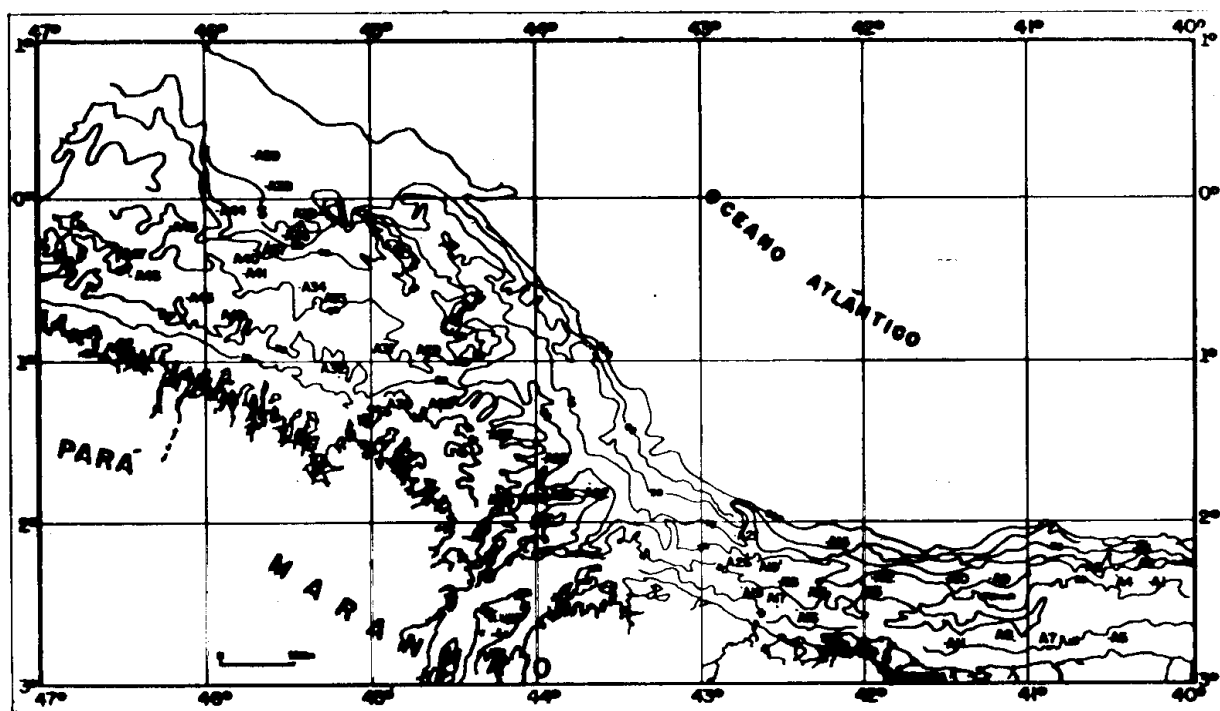


Figura 1 — Localização das estações de coleta na região estudada.

(1) — Bolsista do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq).

T A B E L A I
Participação relativa porcentual (gramas por 100 g de fração pesada) dos minerais pesados da plataforma continental do Estado do Maranhão.

Amostra	Magnésita	Ilmenita	Oxido de ferro	Zircão	Monazita	Rutilo	Turmalina	Granada	Cianita	Estaurolita	Andaluzita	Epídoto	Leucóxênio	Piroxênio	Hornblenda	Outros anfíbios
A.1	—	9,9	4,2	12,4	1,7	—	7,0	1,0	20,0	4,7	5,0	13,1	1,2	—	13,4	6,4
A.2	0,7	24,8	—	19,2	—	0,3	5,1	5,6	14,1	0,5	—	12,1	—	—	16,3	1,3
A.3	2,0	12,8	0,8	15,3	0,6	0,5	2,4	5,8	44,3	0,1	0,5	—	—	—	8,3	6,6
A.4	—	22,4	—	7,1	—	—	6,1	1,5	39,7	1,6	—	4,4	—	—	2,4	13,3
A.5	—	30,5	2,4	7,6	—	1,4	20,4	0,8	19,4	2,9	—	6,4	—	—	7,6	—
A.6	—	22,5	—	9,0	—	—	5,1	1,0	39,6	2,8	—	4,2	—	—	8,8	5,6
A.7	—	25,5	4,6	13,8	2,4	—	14,7	—	20,5	7,6	—	10,9	—	—	—	—
A.8	1,2	30,1	2,1	12,3	—	3,0	21,3	—	14,8	9,2	1,2	2,4	—	—	0,6	1,8
A.9	—	40,4	3,5	2,6	2,2	—	7,2	1,5	17,2	7,9	—	14,8	—	—	2,6	—
A.10	2,5	32,3	—	12,4	—	0,5	21,5	—	20,3	8,8	0,3	—	—	—	1,4	—
A.11	2,2	34,0	3,4	10,9	2,0	0,7	11,0	—	14,1	5,7	0,7	6,0	2,9	1,0	—	—
A.12	1,5	31,8	5,7	10,0	1,0	0,4	18,9	1,1	4,2	3,0	0,7	3,1	—	2,8	—	—
A.13	0,1	30,9	6,7	10,5	2,6	—	14,9	1,3	6,9	3,6	—	3,8	—	—	—	—
A.14	3,2	29,1	4,3	13,1	2,8	2,9	18,5	—	3,2	8,6	—	4,2	8,0	2,3	—	—
A.15	0,5	37,4	1,4	7,0	1,9	—	14,2	1,4	4,6	2,5	—	0,8	15,2	1,0	—	—
A.16	1,8	36,2	6,4	20,4	—	0,6	13,4	—	2,8	6,8	7,8	0,6	11,0	—	4,0	0,3
A.17	—	43,7	—	19,0	—	3,0	21,3	—	4,6	6,9	1,5	—	—	—	—	—
A.18	—	45,2	—	19,6	—	—	26,1	—	3,9	5,2	—	—	—	—	—	—
A.19	0,4	44,6	0,6	33,9	—	0,8	12,1	—	1,6	5,0	—	0,2	—	—	—	—
A.20	0,4	37,6	0,4	26,6	—	—	25,1	—	3,6	4,0	—	0,2	—	—	—	—
A.21	—	43,6	6,1	9,7	0,1	—	18,2	—	7,9	—	1,4	2,8	—	—	—	—
A.22	4,6	20,8	20,0	14,1	—	—	17,8	—	5,1	8,3	—	7,1	—	—	2,8	—
A.23	—	36,4	2,6	21,6	—	—	17,5	—	14,3	—	—	0,4	—	—	—	—
A.24	2,8	45,3	6,7	13,4	1,8	0,7	8,9	—	5,4	8,9	—	2,5	9,2	—	—	—
A.25	1,6	57,9	8,6	1,1	1,7	—	11,2	—	3,2	3,9	—	—	7,6	—	—	—
A.26	—	49,2	10,9	12,1	—	2,0	15,0	—	8,6	4,6	—	—	10,8	—	—	—
A.27	2,5	42,7	2,3	16,3	1,5	—	12,9	0,4	2,0	8,0	—	—	3,8	—	—	—
A.28	8,7	38,9	6,2	4,4	1,0	—	17,2	—	1,2	6,8	—	0,4	0,6	11,8	—	—
A.29	—	46,7	—	21,3	0,3	0,6	15,1	—	9,4	1,6	—	2,4	5,2	3,0	—	—
A.30	1,0	—	10,4	4,2	0,2	—	25,4	—	2,8	9,5	—	1,1	—	2,6	—	—
A.31	—	54,9	—	13,3	—	—	21,1	—	10,1	5,2	4,9	4,7	14,7	—	18,0	—
A.32	1,3	49,6	15,6	4,0	—	0,2	12,7	—	2,9	6,4	—	0,8	—	—	—	—
A.33	—	50,9	—	9,1	—	1,8	15,2	—	2,7	0,8	8,9	3,5	—	—	—	—
A.34	—	34,7	16,9	11,5	—	—	20,2	—	6,1	14,0	—	2,9	—	—	—	—
A.35	0,3	52,6	4,6	12,9	—	2,0	12,2	—	5,0	11,5	—	0,2	—	—	—	—
A.36	—	34,7	0,5	31,1	—	0,6	12,6	—	3,4	10,8	1,0	—	—	—	—	—
A.37	—	32,0	29,6	12,3	—	—	8,0	—	1,9	13,7	—	0,7	—	—	—	—
A.38	6,8	36,0	6,2	9,2	0,3	—	10,9	0,1	3,1	13,6	—	0,6	—	—	—	—
A.39	1,6	6,3	3,2	0,8	—	—	2,6	—	1,1	16,0	—	2,2	7,2	1,7	—	—
A.40	—	24,2	47,4	11,2	0,1	0,9	4,2	—	0,6	18,0	—	—	66,3	—	—	—
A.41	—	52,0	7,5	5,1	—	1,2	5,1	—	2,0	9,7	—	0,3	—	—	—	—
A.42	—	15,4	23,0	7,3	—	0,2	9,5	—	3,5	24,6	—	—	—	—	—	—
A.43	0,4	18,5	23,0	9,7	0,5	—	13,8	0,4	4,3	3,6	1,7	1,3	33,0	—	—	—
A.44	—	41,5	4,8	5,8	—	—	10,2	—	0,9	3,7	2,5	3,0	21,3	—	—	—
A.45	—	27,7	0,1	4,9	—	—	8,1	—	1,8	26,5	—	1,7	4,8	—	—	—
A.46	1,0	8,4	7,4	4,9	—	—	15,3	—	0,8	6,7	1,2	—	50,2	—	—	—
A.47	—	18,1	2,0	3,1	2,8	—	13,1	—	—	0,9	19,0	21,7	7,0	—	—	—
	—	—	—	—	—	—	—	—	1,0	15,8	8,1	1,6	35,3	—	—	0,2

do Desenvolvimento do Nordeste (SUDENE); Operações Norte-Nordeste, do NOc. Almirante Saldanha; Operação Geomar VIII, do NOc. Almirante Câmara; viagem do NOc. Prof. W. Besnard, pelo projeto Remac.

Em laboratório, as amostras foram analisadas do ponto de vista granulométrico e as frações foram tratadas pelo método de precipitação, através do bromofórmio. O concentrado de minerais pesados foi separado com um eletroíma Frantz, conforme Parfenoff *et al.* (1970).

ANÁLISE DOS DADOS

Os minerais pesados mais expressivos da área estudada são constituídos pela magnetita, ilmenita, óxido de ferro, leucoxênio (opacos) e zircão, rutilo, turmalina, granada, cianita, estauroilita, andalusita, epidoto e hornblenda (transparentes).

Outros minerais, tais como os anfibólios e piroxênios (com exceção da hornblenda), ocorreram em pequena quantidade, o mesmo acontecendo com a silimanita, cuja presença foi constatada em apenas duas amostras. Por este motivo, todos os anfibólios e piroxênios foram representados em dois grupos separados (tabela I).

No diagrama triangular (figura 2), cada vértice, representa, respectivamente, as porcentagens em peso do zircão + turmalina (Z + T) dos minerais de metamorfismo (MM) e dos outros minerais transparentes (OUTROS). Estas associações mineralógicas são consideradas em relação à soma total dos pesos dos mesmos, que corresponde a 100%.

Observa-se neste diagrama, que mais de 80% das amostras analisadas contêm mais de

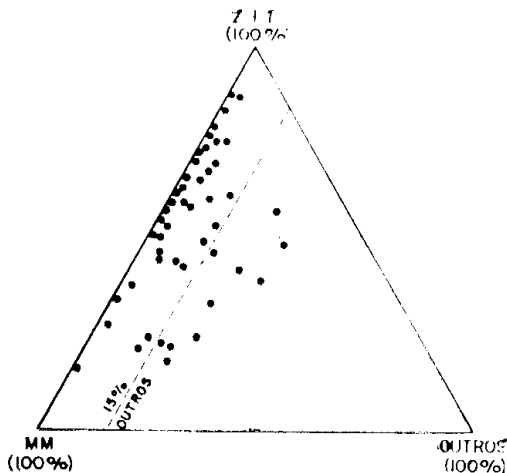


Figura 2 — Diagrama triangular: zircão + turmalina (Z + T); granada + cianita + estauroilita + andalusita + epidoto (MM); outros minerais transparentes (OUTROS).

85% das associações zircão + turmalina e minerais de metamorfismo.

Para uma análise mais detalhada, foram destacados dois minerais de metamorfismo de maior importância, no caso, cianita e estauroilita, para que, juntamente com a associação zircão + turmalina, fosse traçado e analisado o diagrama triangular (figura 3). Daí, resultou a identificação de três zonas de maior concentração (figura 4), que apresentam as seguintes características: zona A, determinada pela predominância da associação zircão + turmalina; zona B, onde há maior concentração de cianita, e zona C, com ocorrência de estauroilita em grande escala.

Através do mapeamento destas zonas de máxima concentração, foram delimitadas três províncias petrográficas: área A — a mais ex-

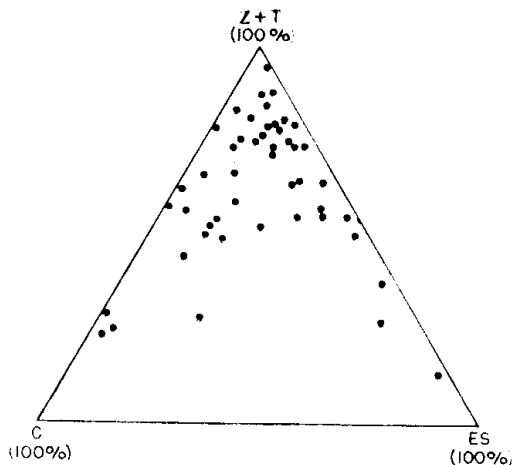


Figura 3 — Diagrama triangular: zircão + turmalina (Z + T); cianita (C); estauroilita (ES).

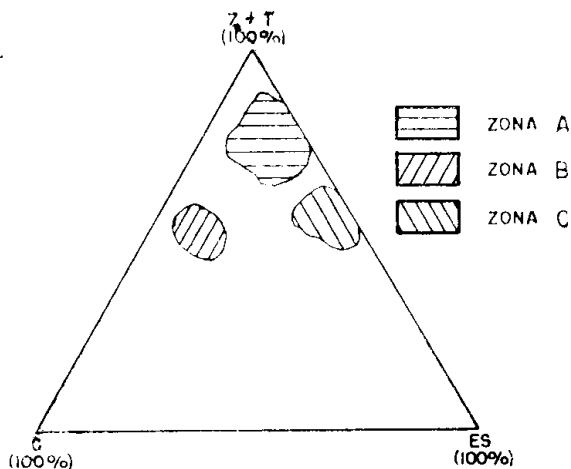


Figura 4 — Diagrama triangular representativo das zonas de maior concentração de minerais pesados.

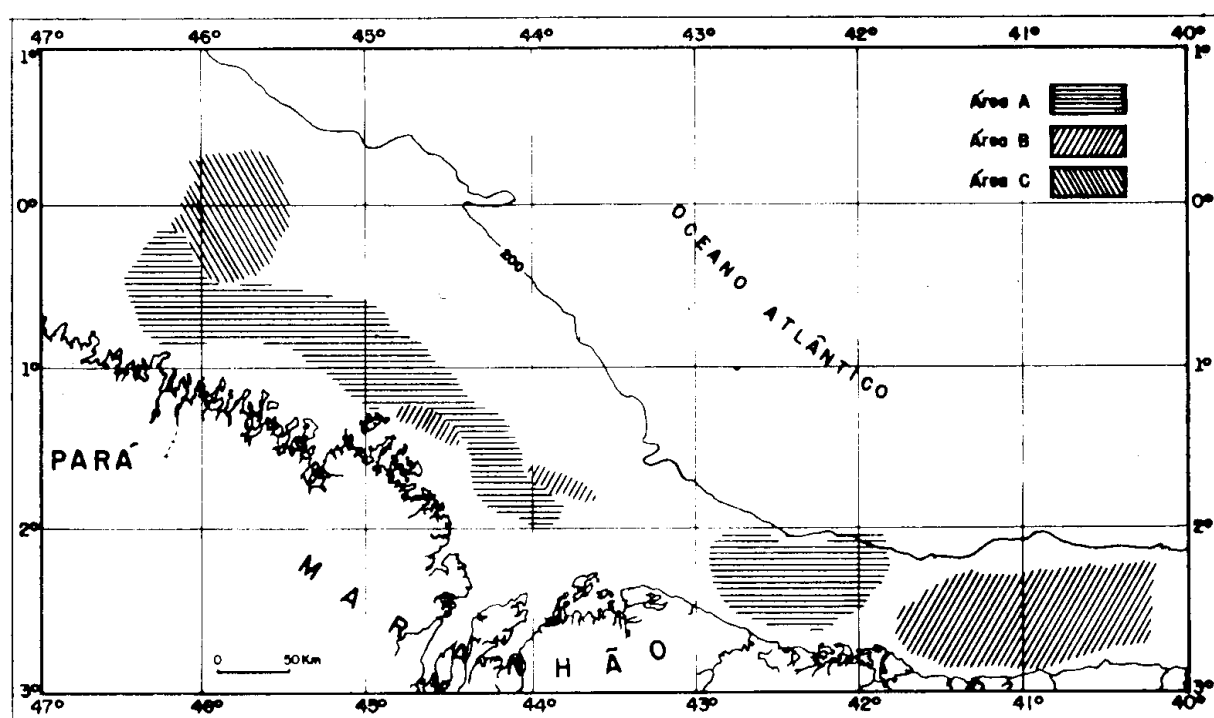


Figura 5 — Distribuição das províncias petrográficas na plataforma continental do Estado do Maranhão.

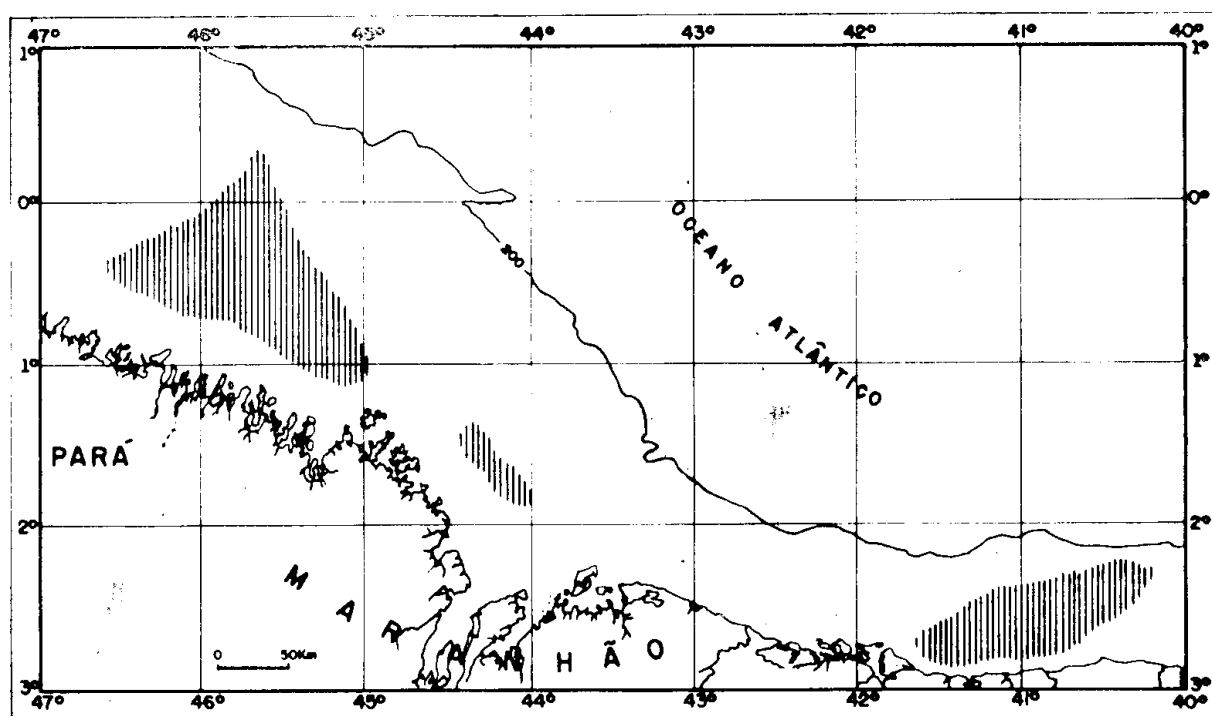


Figura 6 — Distribuição das zonas de concentração da ilmenita, na plataforma continental do Estado do Maranhão.

tensa, caracterizada pela predominância de zircão + turmalina, na plataforma do Estado do Maranhão; *área B* — localizada entre as longitudes de 40°W e 42°W e na plataforma maranhense, com predominância da cianita; e *área C* — entre as longitudes de 45°W e 46°W, definida por alta concentração de estauroлита (figura 5).

A ilmenita é o mineral mais abundante nas amostras coletadas, representando, em média, 33,5% do peso total dos minerais pesados, podendo às vezes atingir até 50%. Sendo este mineral considerado de grande interesse econômico, por ser uma das principais fontes de titânio, foi determinada, separadamente, sua porcentagem em peso em relação

TABELA II

Peso da ilmenita, em gramas por quilograma, nas amostras coletadas na plataforma continental do Estado do Maranhão.

Amostra	Peso (g/kg)	Amostra	Peso (g/kg)	Amostra	Peso (g/kg)	Amostra	Peso (g/kg)
A.1	0,495	A.13	0,927	A.25	0,579	A.37	0,640
A.2	1,736	A.14	0,291	A.26	1,476	A.38	1,080
A.3	0,640	A.15	0,374	A.27	1,281	A.39	0,315
A.4	1,344	A.16	0,362	A.28	0,778	A.40	0,968
A.5	2,745	A.17	0,874	A.29	0,467	A.41	1,560
A.6	1,350	A.18	1,808	A.30	—	A.42	0,462
A.7	2,550	A.19	2,230	A.31	0,549	A.43	0,555
A.8	1,204	A.20	1,504	A.32	0,992	A.44	1,660
A.9	0,808	A.21	0,436	A.33	1,018	A.45	1,108
A.10	0,969	A.22	0,062	A.34	0,694	A.46	0,252
A.11	1,020	A.23	0,364	A.35	1,055	A.47	0,724
A.12	0,318	A.24	1,359	A.36	1,041	A.19'	0,802

à amostra total (tabela II). As zonas em que a ilmenita aparece em quantidades maiores que 1 kg por tonelada, estão representadas na figura 6.

A monazita está representada em pequenas proporções, conforme a análise das amostras disponíveis, o que parece indicar poucas possibilidades para sua exploração econômica.

DISCUSSÃO

O critério utilizado neste trabalho para fazer a delimitação das províncias petrográficas corresponde perfeitamente àquele do estudo da plataforma da Região Norte (Pomerancblum & Costa, 1972), onde se considerou a ocorrência predominante de zircão + turmalina, cianita e estauroilita como fator principal.

A geologia regional do litoral do Estado do Maranhão ainda é pouco conhecida em detalhe, o que dificulta a identificação precisa das fontes distribuidoras.

Levando-se em conta sua posição geográfica, é possível correlacionar a existência da estauroilita, mineral de metamorfismo médio (fim da facies xisto verde) com o Grupo Gurupi. Este é constituído, essencialmente, de xistos e micaxistos cortados por veios de quartzo em alto grau de decomposição (Nunes *et al.*, 1973) e está localizado no litoral noroeste do Estado do Maranhão.

A cianita que, por sua vez, caracteriza metamorfismo regional de alta pressão, no início da facies anfíbolito (Winkler, 1970), está a exigir um estudo de geologia litoral mais detalhado para determinação do seu local de origem.

A ilmenita, que ocorre como constituinte acessório de rochas ígneas básicas, especialmente gabros, noritos, basaltos e doleritos, assim como de algumas rochas metamórficas, está possivelmente correlacionada com as grandes intrusões de rochas básicas que ocorrem na Bacia do Maranhão.

CONCLUSÕES

- 1 — Pela análise detalhada dos diagramas de ocorrência mineralógica, foi possível dividir a plataforma continental maranhense em três províncias petrográficas, caracterizadas pela predominância da associação zircão + turmalina, da cianita e da estauroilita, respectivamente.
- 2 — O mineral pesado encontrado em maiores proporções na fração total de sedimento foi ilmenita. Faz-se necessário, no entanto, uma análise mais acurada de outras amostras para uma opinião mais definida sobre a viabilidade econômica deste placer.
- 3 — Os minerais andalusita e silimanita, que geralmente são formados juntamente com estauroilita em rochas de metamorfismo intermediário, foram encontrados apenas em proporções raras. Os minerais característicos de rochas ígneas são, também, pouco expressivos.

RÉSUMÉ

Ce travail préliminaire à pour but d'étudier les minéraux lourds de la plate-forme de l'Etat du Maranhão (Nord-Est du Brésil).

Une cinquantaine d'échantillons ont été sélectionnés parmi le matériel collecté par dragage au cours de campagnes océanographiques effectuées en 1975 dans la région. Les minéraux lourds ont été séparés à l'aide de bromoforme et étudiés au moyen d'un électro-aimant Frantz.

Deux types de conclusions sont fournies par le présent travail: il est possible de séparer la plate-forme du Maranhão en trois provinces pétrographiques (une province orientale caractérisée par l'abondance relative de disthène, une province centrale caractérisée par la prédominance de l'association zircon + tourmaline et une province occidentale caractérisée

par l'abondance relative de staurotide); l'ilménite, bien qu'elle soit le mineral lourd prédominant dans la majorité des échantillons, ne semble pas pouvoir être exploitée économiquement.

BIBLIOGRAFIA

Nunes, A. B.; R. F. F. Lima & C. N. B. Filho — 1973 — Geologia da folha de SA. 23 e parte da folha

SA. 24 Fortaleza, pp. 3-33, 7 figs. In *Levantamento de Recursos Naturais*, 3, DNPM, Projeto Radam, Rio de Janeiro.

Parfenoff, A.; C. Pomerol & J. Tourenq — 1970 — *Les minéraux en grains*. Masson et Cie., 578 pp., Paris.

Pomerancblum, M. & M. P. A. Costa — 1972 — Integração de informações sobre os minerais pesados da plataforma brasileira. *Ann. XXVI Congr. Soc. Bras. Geol.*, São Paulo, 2 : 179-186, 7 figs.

Winkler, H. G. F. — 1970 — *Petrogenesis of metamorphic rocks*. Springer-Verlag, 2nd ed., 237 pp., New York.