

SOCIEDADE BRASILEIRA DE GEOLOGIA

**ANAIS  
DO  
XXVI CONGRESSO**

Volume 2



BELEM, PA - OUTUBRO 1972

# SOCIEDADE BRASILEIRA DE GEOLOGIA

S E D E

INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

Cidade Universitária — Caixa Postal, 20.897 — São Paulo, SP

## DIRETORIA EXECUTIVA

Acyr Ávila da Luz	—	Presidente
Otávio B. C. Melo	—	Vice-Presidente
Eduardo C. Damasceno	—	1.º Secretário
Kazumi Miura	—	2.º Secretário
Yociteru Hasui	—	1.º Tesoureiro
Carlos A. Bortoluzzi	—	2.º Tesoureiro

## CONSELHO DIRETOR

Acyr Ávila da Luz

Aldo Cunha Rebouças	Faustino Penalva
Ariplínio A. Nilson	João H. Grossi Sad
Augusto M. C. França	José R. de Andrade Ramos
Benjamin Bley de B. Neves	Kazumi Miura
Carlos A. Bortoluzzi	Nicéia M. Trindade
Carlos Walter M. Campos	Otávio B. C. Mello
Eduardo C. Damasceno	Yociteru Hasui

# XXVI CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA

## COMISSÃO ORGANIZADORA

Breno Augusto dos Santos	—	Presidente
Otacílio Raulino de Sousa	—	1.º Secretário
Otávio Blanco Rodrigues	—	2.º Secretário
Raimundo Ruy P. Bahia	—	1.º Tesoureiro
Claiton P. Pinto	—	2.º Tesoureiro

**Coordenação das Sessões Técnicas e Simpósios:**  
Peter E. Knup e Wilson Scarpelli

**Coordenação das Excursões:**  
Antônio Monteiro de Jesus

**Coordenação do Editorial:**  
Vital José R. Wanderly e Léa Maria M. Diniz

**Coordenação de Impressão:**  
Carlos Gilberto M. Marques

**Coordenação da Mostra:**  
José Luiz G. Arantes

**Coordenação de Som e Projeção:**  
Francisco de Assis M. Wolf e Sérgio João Frizzo

**Coordenação do Programa Social:**  
Guilherme Galeão da Silva e José Maria S. Santos

**Coordenação de Divulgação:**  
Otávio B. C. Melo

**EDITOR:** Umberto G. Cordani

**Para a publicação deste número contribuíram:**

CONSELHO NACIONAL DE PESQUISAS

COORDENAÇÃO DE APERFEIÇOAMENTO DO PESSOAL DE NÍVEL SUPERIOR  
— CAPES

E558.1063

C 749a

V.2(26)

ex.2

008675

CPRM - BIBLIOTECA - BELÉM  
TOMBO: 008675  
DATA: 30/11/09 VERSÃO 8.11BE  
PHL - PERSONAL HOME LIBRARY

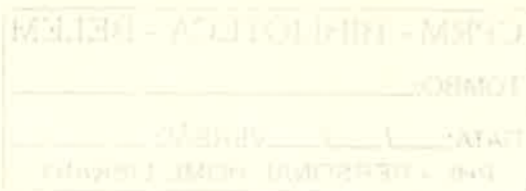
## XXVI CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA

VOLUME 2

## I Simpósio de Oceanografia e Geologia Marinha

## Í N D I C E

Índice dos levantamentos sobre a margem continental brasileira — Carlos A. B. Amaral, Marco Aurelio Vicalvi, José Carlos de Carvalho e Maria Eugenia M. Santos .....	3
Surficial sediments of the brazilian continental margin — John D. Milliman, Henyo T. Barretto, A. Barreto, Marcio P. A. Costa e Odimo Francisconi .....	29
Diapiric structures offshore Southern Brazil — R. Leyden e J. R. Nunes .....	45
Natureza da sedimentação atual do rio Amazonas — Testemunhos e geomorfologia submarina, "canyon" Amazonas — testemunhos submarinos — Alberto Garcia de Figueiredo Jr., Luiz Antonio Pierantoni Gamba, Marcus Gorini e Eliane da Costa Alves ..	51
Geologia da plataforma continental do Maranhão, Piauí, Ceará e Rio Grande do Norte — Kazumi Miura e José Coutinho Barbosa	57
Classificação das bacias sedimentares brasileiras segundo a tectônica de placas — H. E. Asmus e R. Porto .....	67
Gênese, evolução e classificação de estruturas sedimentares primárias no canal da Barra da Tijuca, GB — Paulo Roberto Cordeiro de Farias e Raimundo Eurico de Brito Dantas .....	91
Provincias fisiográficas e sedimentos da margem continental atlântica da América do Sul — L. R. Martins, C. M. Urien e L. W. Butler .....	105
Distribuição faciológica da margem continental Sul Riograndense — L. R. Martins, U. Melo, A. M. C. França, I. Santana e I. R. Martins .....	115
The north brazilian rifge and the extension of equatorial fracture zones into the continent — George M. Bryan, Navesh Kumar e Paulo Jackson M. de Castro .....	133
Delta morphology in relation to the discharge/wave power climate — J. M. Coleman e L. D. Wright .....	145
Sedimentologia da plataforma continental norte brasileira — Malvina Pomerancblum e Marcio Paulo de Ataíde Costa .....	157
Integração de informações sobre os minerais pesados na plataforma continental brasileira — Malvina Pomerancblum e Marcio Paulo de Ataíde Costa .....	179
Estudo preliminar das províncias geomorfológicas da margem continental brasileira — Sylvio G. Zembruski, Henyo T. Barreto, Jorge C. Palma e John D. Milliman .....	187
A plataforma continental da costa leste brasileira, entre o rio São Francisco e a ilha de São Sebastião (10º30-25º Lat. S): Notas sobre os principais tipos de fundo — Marc Kempf .....	211
Plataforma continental do norte, nordeste e leste do Brasil: Amostras de fundo coletadas pelo NOC Alte. Saldanha em 1968 — Paulo Nobrega Coutinho e Marc Kempf ..	235
Prospecções de fundo realizadas na plataforma continental do norte, nordeste e leste do Brasil pelo Laboratório de Ciências do mar, U. F. Pe., ou com sua participação — Marc Kempf .....	245
Characterization of surface sediments on the northern and eastern Brazilian shelf — Jannes M. Mabesoone, Marc Kempf, e Paulo Nobrega Coutinho .....	261
Paleogeografia do Quaternário Superior na plataforma continental norte brasileira — Maria Eugenia C. Marchesini Santos .....	267
Recursos minerais da margem continental brasileira — Carlos Alberto Becker Amaral, Marco Aurelio Vicalvi, Leopoldo Amaral Barreto e Carlos Ivan Santana .....	289
Introdução a Oceanografia do Estuário Amazônico — Fernando Manuel Fontes Diêgues	301
Glauconita como processo de alteração de biotita: ocorrência na plataforma continental norte-brasileira — Malvina Pomerancblum e Marcio Paulo de Ataíde Costa .....	319



## ÍNDICE DOS LEVANTAMENTOS SOBRE A MARGEM CONTINENTAL BRASILEIRA <sup>(1)</sup>

Por

CARLOS A. B. AMARAL<sup>(2)</sup>, MARCO AURÉLIO VICALVI<sup>(2)</sup>,  
JOSÉ CARLOS DE CARVALHO<sup>(2)</sup> e MARIA EUGÊNIA M. SANTOS<sup>(3)</sup>

### ABSTRACT

This PROJECT covers the whole Continental Margin (Shelf: 800,000 km<sup>2</sup> — Slope: 200,000 km<sup>2</sup> — Rise: 800,000 km<sup>2</sup>) extending to both — continental and marine adjacent areas. Basic informations concerning the surveys carried out are presented and include the following: photography, physical oceanography, chemistry and biology (sea-bed flora and fauna), bathymetry, submarine photography, samples of sediments and surface rocks, magnetometry gravimetry reflection and refraction seismics and underwater drilling.

The geographic position of the surveys in each of these categories is shown on maps at a scale of 1:5,000,000 and each map is accompanied by a table listing the essential references. By this means, those interested will obtain rapid visual information as to the surveys carried out in each area and their nature, date of execution, scales used, the executant and/or responsible organization and the means of access to the resulting documentation.

### 1 — INTRODUÇÃO

Este Projeto abrange toda a Margem Continental (Plataforma: 800.000 km<sup>2</sup>; Talude: 200.000 km<sup>2</sup>; Sopé: 800.000 km<sup>2</sup>) estendendo-se para ambos os lados — continental e marítimo. Apresentam-se informações básicas sobre os levantamentos realizados na Margem Continental Brasileira, abrangendo os seguintes temas: fotografia, oceanografia física, química e biológica (bentos), batimetria, fotografia submarina, amostragem de sedimentos e rochas superficiais, magnetometria, gravimetria, reflexão e refração sísmica e perfuração submarina.

A localização geográfica dos levantamentos referentes a cada tema é indicada em mapa na escala de 1:5.000.000 e cada mapa é acompanhado de uma tabela em que estão listados as referências essenciais dos diversos levantamentos. Com isto, consegue-se mostrar aos técnicos

interessados, através de rápida visualização, os levantamentos realizados em cada área, e, sobre estes trabalhos, informar principalmente as naturezas, datas de execução, as escalas, as instituições executoras e/ou responsáveis pelas pesquisas, bem como o acesso aos documentos resultantes.

O índice deverá ser detalhado à escala de 1:1.000.000 e periodicamente atualizado, e, no futuro, contando-se com os recursos da computação eletrônica, este deverá evoluir para um mais completo Sistema de Informações com a finalidade de se implantar um Banco de Dados.

Para possibilitar as atualizações, solicita-se a sua colaboração (ou a de sua entidade) no sentido do fornecimento das informações sobre seus trabalhos (4), contendo os dados acima mencionados. Em troca, coloca-se à sua disposição, sempre que solicitado, um índice atualizado sobre nossa Margem Continental (5).

### 2 — LEVANTAMENTOS GEOFÍSICOS

#### 2.1 — Histórico dos trabalhos da Petrobrás

Os primeiros trabalhos de geofísica realizados pela Petrobrás na plataforma, datam de 1957. Numa primeira fase de pesquisa, foram delineadas algumas estruturas através de trabalhos de sísmica de reflexão nas plataformas

(1) Parte integrante do Programa de Avaliação dos Recursos Minerais.

— Sub-Programa Mapas Índice, do D.N.P.M. e desenvolvido dentro do PROJETO REMAC (Programa de Reconhecimento Global da Margem Continental).

(2) Departamento Nacional da Produção Mineral.

(3) Companhia de Pesquisas de Recursos Minerais.

(4) Encaminhar para: D.N.P.M. — D.G.M. — Setor de Geologia Marinha — Av. Pasteur, 404 — Rio de Janeiro — GB.

(5) Pedidos para: o mesmo endereço acima.

ÁREA LINHA	L.O.C.	ANO	ENTIDADES		TÍTULO	CLASSIF.	COBERT. km <sup>2</sup>	ESPAÇ. LINHAS(km)	TOTAL EST.	DISTR. EST./km <sup>2</sup>	APRESENTAÇÃO DE DADOS
			RESP.	EXEC.							
A1	F-9	65-66	Petr.	U.G.C.	Lev. grav. marit. na plat. cont. em frente às costas de AL e SE	S-det.	9.140	4	4.466	0,5	Petr./DEXPRO/Grav. nº 75 Petr./RPBA nº 453
A2	G-11	66	Petr.	EG-13 U.G.C.	Lev. grav. marit.: área Rio Real - Monte Gordo - B do Recôncavo	S-det.	1.800	4	978	0,5	Petr./DEXPRO/Grav. nº 68 Petr./RPBA nº 967
A3	H-11	64-65	Petr.	U.G.C.	Lev. grav. marit. de Ilhéus e Monte Gordo	S-det.	2.958	4	1.602	0,5	Petr./DEXPRO/Grav. nº 63 Petr./RPBA nº 922
A4	H-13	67	Petr.	EG-13 U.G.C.	Lev. grav. marit.: área Caravelas - Ilhéus	S-det.	12.000	4	6.000	0,5	Petr./DEXPRO/Grav. nº 83 Petr./RPBA nº 1.062
A5	H-14	66-67	Petr.	EG-13 U.G.C.	Lev. grav. marit. da B. Bahia Sul	S-det.	21.000	4	9.735	0,5	Petr./DEXPRO/Grav. nº 80 Petr./RPBA nº 1.048
A6	M-14	66	Petr.	U.G.C.	Lev. grav. marit.: área Regência - Caravelas	S-det.	2.412	4	1.250	0,5	Petr./DEXPRO/Grav. nº 78 Petr./RPBA nº 1.017
A7	I-15	67	Petr.	EG-13 U.G.C.	Regência	S-det.	9.000	4	3.850	0,4	Petr./DEXPRO/Grav. nº 84 Petr./RPBA nº 1.072
A8	M-11	63-64	Petr.	EG-13 U.G.C.	Cabo Frio	det.	—	0,5	5.622	4	Petr./DEXPRO/Grav. nº 38 Petr./RPBA nº 2.049.1

TABELA 1 Levantamentos gravimétricos

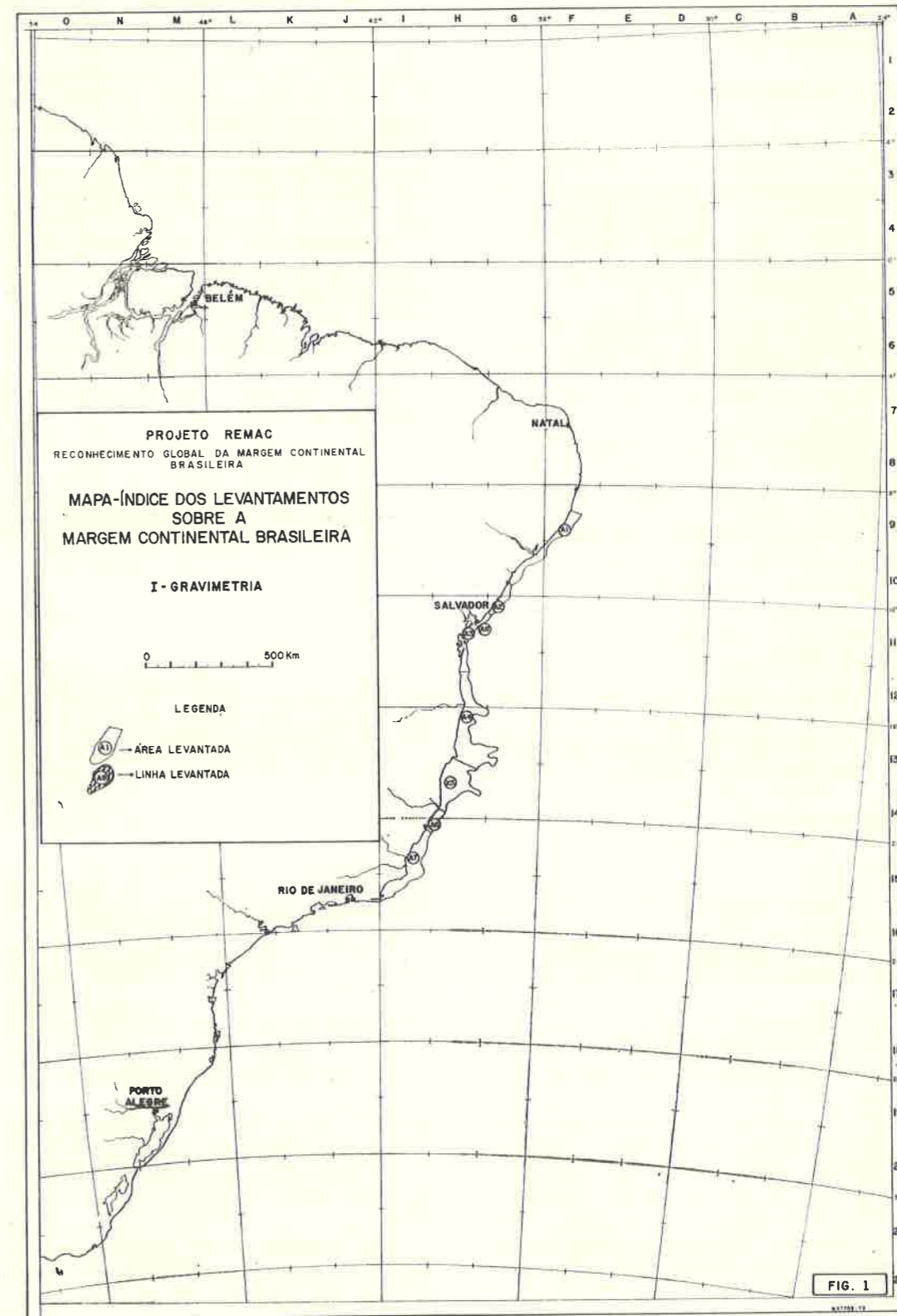
de Alagoas, Sergipe, Maranhão e Rio de Janeiro. Seguiram-se trabalhos de refração sísmica na área leste e de gravimetria desde Alagoas até Cabo Frio, incluindo um levantamento de detalhe na Baía de Todos os Santos. Somente a partir de 1967, teve início a fase intensiva de trabalhos na plataforma, com a execução de levantamentos magnetométricos na costa norte do País, que foram sendo estendidos por toda a plataforma.

Esses levantamentos com a finalidade de reconhecimento geral da estruturação da plataforma e da espessura dos sedimentos existentes, serviram de base para a programação dos levantamentos sísmicos que se iniciaram em 1968.

## 2.2 — Gravimetria

Em dezembro de 1962 a Petrobrás assinou um contrato com a United Geophysical Co para a realização de um trabalho gravimétrico marítimo de detalhe na Baía de Todos os Santos, com a finalidade de determinar a extensão e direção da bacia do Recôncavo e também, mapear qualquer anomalia existente. Os trabalhos efetivos começaram em abril de 63, e a parte inicial consistiu de uma linha base entre Salvador e Itaparica. A partir de Itaparica o trabalho se espalhou em todas as direções, até cobrir toda a baía. Para as águas profundas utilizou-se o navio «Flora» e em águas rasas (10 m e menos) usou-se uma embarcação anfíbia. O espaçamento entre as linhas foi de 500 m para 5.622 estações, dando 4 est/km<sup>2</sup>. O sistema de posicionamento utilizado foi o «Decca Hi-Fix», os gravímetros «Lacoste & Romberg» e os batímetros, um de pressão e um eletrônico modelo «Lacoste & Romberg».

Em 1964, objetivando o delineamento das estruturas existentes e complementando o semi-detalhe já feito na parte terrestre tiveram início os trabalhos de gravimetria na plataforma continental da Bahia. Esses levantamentos de semi-detalhe se estenderam para o norte, até Antunes em Alagoas e para o sul, até Cabo Frio no Rio de Janeiro, totalizando 58.310 km<sup>2</sup> de área coberta para 27.861 estações, em média 0,5 est/km<sup>2</sup>, com espaçamento de 4 km entre as linhas. Os instrumentos usados na prospecção foram os gravímetros marítimos «Lacoste & Romberg», o posicionamento foi dado pelos sistemas eletrônicos «Hastings-Raydist» tipo bidimensional DM e «Decca Hi-Fix» (two range) e os batímetros, um de pressão e um eletrônico «Lacoste & Romberg».



Os trabalhos gravimétricos realizados pela Petrobrás estão representados na Fig. 1 e as referências encontram-se na Tabela 1.

### 2.3 — Magnetometria

O United States Naval Oceanographic Office tem realizado investigações geomagnéticas em áreas oceânicas desde o início do Projeto MAGNET, em 1953. Estes serviços aéreos pelo mundo todo fornecem dados para a computação e mapeamento de todos os elementos do campo magnético terrestre.

Com a introdução do «proton procession magnetometer» as medidas de intensidade magnética também puderam ser feitas rotineiramente por meio de navios desde 1957.

As medidas a bordo de aviões são feitas com um «Naval Ordnance Laboratory Vector Airborne Magnetometer (VAM-2)». Usando-se este magnetômetro, a intensidade magnética total, inclinação e declinação são determinadas respectivamente com as seguintes aproximações:  $\pm 15$  gammas,  $\pm 0,1$  graus e  $\pm 0,2$  graus. Os dados observados são gravados, desde 1964, digitalmente cada 3 segundos, por um sistema de gravação magnética.

Todas as medidas a bordo de navios são feitas com o magnetômetro de precessão nuclear, o qual grava a intensidade magnética total com uma precisão absoluta de  $\pm 1-2$  gammas. Essas medidas são feitas continuamente em intervalos de 2-6 segundos. Os dados são gravados com registros analógicos e digital.

O Projeto MAGNET é um dos mais significativos serviços de geofísica do U.S.N.O.O. Estes serviços empregam normalmente dois aviões equipados com «vector airborne magnetometers» que medem a intensidade e direção do campo magnético terrestre. O serviço foi programado para cobrir todas as áreas oceânicas com igual prioridade. As linhas são geralmente orientadas E-W e espaçadas de 200 milhas. As altitudes de voo variam de 4.000 a 20.000 pés, dependendo das condições de serviço, porém a maior parte é feita entre 8.000 e 10.000 pés. O controle primário de navegação é o astral, todavia, «doppler radar», «Radar», «Loran-A», «Loran-B» e «visual sights» são usados, quando possível. Os dados geomagnéticos são apresentados em uma forma tabular com coordenadas tempo e espaço, em publicações especiais.

Além do Projeto MAGNET, o U.S.N.O.O. tem conduzido serviços geomagnéticos detalhados a bordo de aviões ou navios. Os «Special Geomagnetic Surveys» são usualmente realizados sobre uma malha padrão e com frequência produzem dados suficientes para a confecção de cartas de contorno. Os valores coletados ao longo das linhas de serviço fornecem dados sobre as áreas onde não se têm quaisquer informações. As áreas de trabalho e descrições são apresentadas em relatórios especiais, sendo também discutidas as condições de serviço, instrumentação, processamento de dados, e em algumas instâncias, análises e interpretações.

No mapa da Fig. 2, estão representadas várias linhas executadas pelo U.S.N.O.O. dentro do Projeto MAGNET, e a área dos rochedos de São Pedro e São Paulo onde foram realizados trabalhos geomagnéticos especiais.

A partir de 1967, a Petrobrás iniciou uma fase intensiva de trabalhos na plataforma continental brasileira. Os trabalhos gravimétricos foram substituídos, em função da economia e rapidez, por levantamentos aeromagnéticos que se iniciaram na costa norte do País e foram se estendendo por toda a plataforma, com alguns recobrimentos de terras emersas.

O primeiro trabalho de reconhecimento foi executado pela LASA, em 1967, na região de Barreirinhas entre Camocim (CE) e Salinópolis (PA), cobrindo uma área de plataforma até a cota batimétrica de 50 m, com espaçamento de 4 km entre as linhas principais, e altura do voo de 300 m para um total de 53.100 km de perfis. O sistema de posicionamento utilizado foi o «Raydist DR-100» e «Radar Doppler» e as medidas foram feitas com o aeromagnetômetro «Gulf Flux Gate».

A partir de 1967 a Petrobrás contratou a Prakla — Gesellschaft für praktische Lagertattenforschung GmbH, para a execução de serviços aeromagnetométricos no Brasil e interpretação dos dados obtidos.

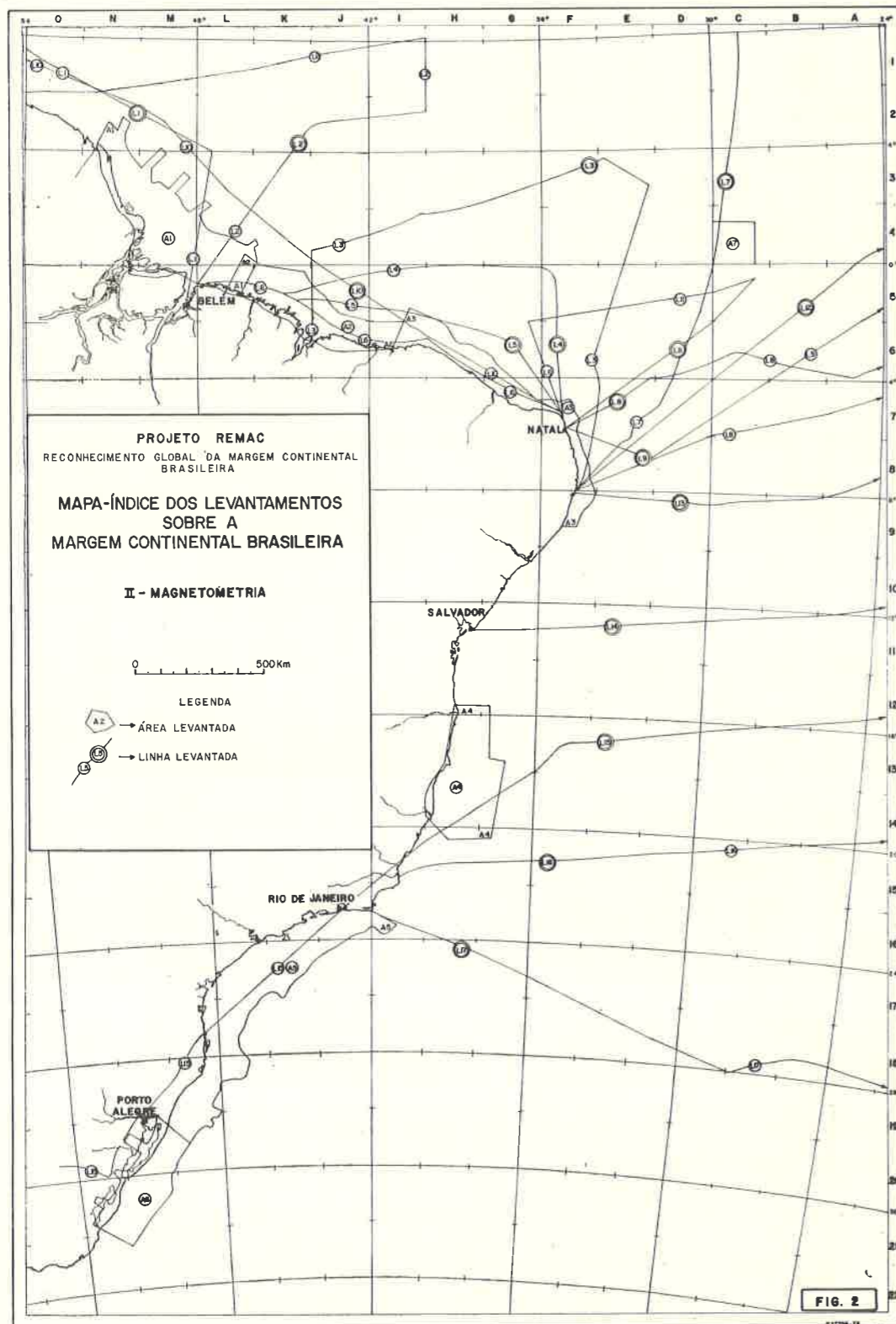
Em 1968 foi levantada a área entre Salinópolis (PA) e Olapoque (AP) e na primeira metade de 1969, foram cobertas as áreas do Espírito Santo-Bahia Sul. Em seguida, serviços aeromagnetométricos foram executados na plataforma norte-nordeste e sul (Cabo Frio-Chuí).

Esses trabalhos só não incluíram a costa leste — de Alagoas ao Espírito Santo — por já terem sido realizados, em tal área, levantamentos gravimétricos cujas informações substituem as do processo anterior.

ÁREA Linha	LOC. M-4	ANO	ENTIDADE		TÍTULO	COBERT. km	ESPAÇ. km	ALTURA DE VOO (m)	APRESENTAÇÃO DE DADOS
			RESP.	EXEC.					
A-1	M-4	68-69	Petr.	PRAKLA	Aeromagnetométrical Survey - Plat. Cont. Pará-Anapó	53.397	4	700	Relat. Int. Petr. nº 3173
A-2	J-6	67	Petr.	LASA	Lev. Aeromagnetométrico da Região de Barreirinhas	53.100	2,5	300	Relat. Int. Petr. nº 2940
A-3	F-7	70	Petr.	PRAKLA	Aeromagnetométrical Survey - Plat. Cont. do Nordeste	23.073	5	700	Relat. Int. Petr. nº 3761
A-4	M-14	68-69	Petr.	PRAKLA	Aeromagnetométrical Survey - Plat. Cont. Bahia Sul - E. Santo	23.064	4	700	Relat. Int. Petr. nº 3220
A-5	K-17	69-70	Petr.	PRAKLA	Aeromagnetométrical Survey - Plat. Cont. Sul	52.932	4,5	700	Relat. Int. Petr. nº 3E19
A-6	N-21	69	Petr.	PRAKLA	Aeromagnetométrical Survey - Plat. Cont. Rio Grande do Sul	17.877	4	700	Relat. Int. Petr. nº 3222
A-7	C-4	63	U.S.N.O.O.	U.S.N.O.O.	Special Geomagnetic Survey - Aeromagnetic Survey of St. Peter and St. Paul Rocks	3.600(1)	25(1)	165 - 330	Relat. Informal: I.R. nº 67-52 do Naval Oceanographic Office, Magnetic Division, Hydrographic Surveys
L-1	N-2	67	U.S.N.O.O.	U.S.N.O.O.	"Projeto Magnet" Linha 0039				
L-2	K-2	"	"	"	" 0043				
L-3	F-3	"	"	"	" 0036				
L-4	F-6	"	"	"	" 0037				
L-5	G-6	"	"	"	" 0038				
L-6	G-7	"	"	"	" 0044				
L-7	C-3	"	"	"	" 0034				
L-8	E-7	"	"	"	" 0035				
L-9	E-8	"	"	"	" 0046				
L-10	J-5	"	"	"	" T 104				
L-11	D-6	"	"	"	" 201 A				
L-12	B-5	"	"	"	" 201 B				
L-13	D-9	"	"	"	" 203 B				
L-14	E-11	"	"	"	" 204				
L-15	F-13	"	"	"	" 205				
L-16	F-15	"	"	"	" 206				
L-17	H-17	"	"	"	" 247				

Relat. Informal: I.R. nº 67-52 do Naval Oceanographic Office, Magnetic Division, Hydrographic Surveys Department, os dados são disponíveis em microfílmee

TABELA 2 Levantamentos magnetométricos



O programa inicial de magnetometria previsto para uma faixa limitada em 30 m de lâmina d'água, por várias razões foi estendido até a profundidade de 200 m, totalizando 222 mil quilômetros de perfis magnetométricos, com medições em 27.700 estações. O espaçamento entre as linhas principais foi de 4-5 km e entre as de controle, 25 km.

O equipamento utilizado pela PRAKLA foi um avião «Aero Commander 680 F» voando a 700 m e o sistema de posicionamento «ANA Aircraft Navigation and Positioning System», auxiliado pelo «Radar Doppler System» tipo «GPK 1.000» associado com o «Navigation data computer TNC 50». Os outros instrumentos utilizados para controle de voo foram: «Altímetro barométrico PRAKLA», «Flight path camera PRAKLA LK 21» e o «Gyro Sperry C 12 (high precision)», este para o controle horizontal. O magnetômetro utilizado foi o «PRAKLA'S digital free proton-precession magnetometer PM 24» com registros digital e analógico.

Todos estes trabalhos encontram-se representados no mapa da Fig. 2 e as referências estão na Tabela 2.

#### 2.4 — Sísmica

Após os trabalhos de magnetometria, as áreas mais promissoras foram selecionadas pela Petrobrás, para levantamentos sísmográficos que se iniciaram em 1968. Naquele mesmo ano, foram executados 10.200 km de linhas de reflexão e 410 km de linhas de refração. Os trabalhos se concentram nas áreas de Sergipe, Alagoas, Bahia-Sul, Espírito Santo e Campos.

Os trabalhos prosseguiram em 1969 e o seu volume foi dobrado em relação ao ano anterior, com a execução de 22.170 km de linhas sísmicas, estendendo-se, desta vez, por toda a plataforma continental, exceto a faixa correspondente ao nordeste do País. A maior concentração ocorreu na foz do Amazonas. Na plataforma sul tiveram caráter de reconhecimento e em Sergipe e algumas áreas de Espírito Santo foram levados ao detalhe.

Até junho de 1971 foram executados... 65.220 km de linhas sísmicas que cobriram praticamente toda a plataforma com reconhecimento sísmico geral e trabalhos de detalhe nas áreas consideradas de melhores perspectivas para a liberação de poços pioneiros.

ÁREA LINHA	LOC.	ANO	ENTIDADE		BACIA - PLATAFORMA	MET.	TIPO DE OPERAÇÃO	COBERT. km
			RESP.	EXEC.				
A 1	M-3	68-71	Pet.	WGC/GSI	Foz do Amazonas	RI	MART	19.514
L 2	K-5	72	Pet.	GSI	Pará - Maranhão	RI	MART	545
A 3	J-6	61-71	Pet.	WGC/GSI	Barreirinhas	RI	MART	5.528
A 4	H-6	71-72	Pet.	GSI	Piauí - Ceará	RI	MART	4.490
A 4	H-6	72	Pet.	WGC	"	RI	AGRZ	488
A 5	G-7	71-72	Pet.	WGC/GSI	Petiguar	RI	MART	1.529
A 5	G-7	72	Pet.	WGC	"	RI	AGRZ	293
L 6	F-8	71	Pet.	GSI	Pernambuco - R.G. do Norte	RI	MART	244
A 7	F-9	57-71	Pet.	WGC/GSI	Alagoas	RI	MART	1.573
A 8	G-10	57-70	Pet.	WGC/GSI	Sergipe	RI	MART	6.293
A 8	G-10	71-72	Pet.	WGC	"	RI	AGRZ	683
A 8a	G-10	67	Pet.	Petr.	"	Rr	AGRZ	535
A 8b	G-10	68	Pet.	WGC	"	Rr	MART	90
L 9	G-11	61-71	Pet.	GSI	Bahia Norte - Todos os Santos	RI	MART	495
L 9	G-11	56-72	Pet.	WGC/GSI	"	RI	AGRZ	1.145
A-10	H-12	58	Pet.	GSI	Recôncavo	FI	MART	578
A-11	H-14	57-71	Pet.	WGC/GSI	Bahia Sul - E. Santo	RI	MART	23.066
A-11	H-14	71-72	Pet.	WGC	"	RI	AGRZ	1.249
A11a	H-14	67	Pet.	Petr.	"	Rr	AGRZ	132
A11a	H-14	68	Pet.	WGC	"	Rr	MART	319
A 12	I-15	58-71	Pet.	GSI	Campos	RI	MART	3.813
A 13	L-17	69-71	Pet.	GSI	Santos	RI	MART	11.854
A 14	N-20	69-70	Pet.	GSI	Pelotas	RI	MART	2.921

TABELA 3

Levantamentos sísmicos. Apresentação de dados: relatórios de atividades das equipes sísmicas; relatórios internos Petr. DEXPRO/DIVEX/SEGEF I.



PERFURAÇÕES SUBMARINAS							ESTUDOS DE FUNDOS										
NOME DO POÇO	CDD	ANO	ENTIDADES		LÂM. C/ÁGUA (m)	PROF. (m)	ESTADO ATUAL	EM LEEC	CORR		VISIB		TEMP		FOTOGRAFIA FUNDO	AMOSTR	
			RESP	ELEG					S	F	S	F	S	F		SUPERF	TEST
I-BAS-009-BA	H-12	71	"	VINE	15.2	3104.0	AB S										
I-BAS-008-BA	H-12	72	"	VINE	49.4	2890.0	AB S										
I-BAS-014-BA	H-12	72	"	DISC		2071.0	AB S	SE	X	X	X	X	X	X		5	5
I-BAS-003-BA	H-12	70	"	VINE	37.0	3526.0	AB S										
I-BAS-004-BA	H-11	71	"	VINE	21.5	2827.0	AB S	SE	X	X	X	X	X	X		5	5
I-BAS-005-BA	H-11	71	"	Pet-I	20.5	2343.0	ABAE	SE	X	X	X	X	X	X		5	5
I-BAS-010-BA	H-11	72	"	Pet-I	22.0	970.0	AB S	SE	X	X	X	X	X	X		5	—
I-BAS-007-BA	H-13	71	"	VINE	23.7	3074.0	AB S										
I-BAS-012-BA	H-13	72	"	VINE	22.8		AB S										
I-BAS-011-BA	H-13	72	"	Pet-I		3330.0	—	SE	X	X	X	X	X	X		4	—
I-BAS-002-BA	H-13	70	"	VINE	31.0	357.0	ABAM	SE	X	X	X	X	X	X	20 (n)	5	5
I-BAS-002A-BA	H-13	70	"	VINE	32.0	3730.0	AB S										
I-BAS-016-BA	H-13	72	"	"	"	"	AB S										
I-BAS-001-BA	H-14	71	"	VINE	21.3	3037.0	AB S	SE	X	X	X	X	X	X		5	4
I-ESS-008-ES	H-14	71	"	P-59	32.0	3639.2	AB S										
I-ESS-002-ES	H-14	69	"	VINE	38.5	4000.0	ABAE										
I-ESS-005-ES	H-14	71	"	P-59	45.8	4212.9	AB S	SE	X	X	X	X	X	X		4	5
I-ESS-001-ES	H-14	68	"	VINE	47.2	3131.0	AB S										
9-CPRM-001-ES	H-14	71	CPRM	VINE	39.0	1016.0	EPAO										
I-ESS-006-ES	H-14	71	Pet	P-59	22.0	3128.8	AB S	SE	X	X	X	X	X	X		5	5
I-ESS-004-ES	H-14	70	"	VINE	29.0	2901.7	AB S										
I-ESS-009-ES	H-14	71	"	VINE	26.0	3658.5	AB S	SE	X	X	X	X	X	X		6	5
I-ESS-003-ES	H-14	70	"	VINE		4216.0	AB S										
I-RJS-002-RJ	I-16	71	"	P-59	62.5	3548.0	AB S										
I-RJS-005A-RJ	I-16	72	"	CYCL	84.0		AB S										
I-RJS-003A-RJ	I-16	71	"	P-59	58.0	1465.0	AB S										
I-RJS-003-RJ	I-16	71	"	P-59	58.0	3740.0	AB S										
I-RJS-003B-RJ	I-16	72	"	P-59	58.0		ABAE										
4-RJS-006-RJ	I-16	72	"	P-59	61.0	1548.0	AB S										
I-RJS-004A-RJ	I-15	72	"	P-59	46.0	3400.0	AB S										
I-RJS-004-RJ	I-15	72	"	P-59	46.0	400.0	ABAM										
I-RJS-001-RJ	I-15	71	"	P-59	49.0	3744.7	AB S										
I-RJS-008-RJ	I-15	72	"	P-59	42.0	3900.0	AB S										
I-SPS-002-SP	K-17	72	"	CYCL	13.8	2970.0	AB S										
I-SPS-001-SP	K-17	72	"	CYCL	62.0		AB S										
I-PRS-001-PR	L-17	70	"	P-59	64.0	4500.0	AB S	SE	X	X	X	X	X	X		2	1
2-RSS-001-RS	M-20																
I-RNS-001-RN	G-7																
I-SPS-003-SP	J-16																
I-SPS-004-SP	K-17																
I-RJS-005-RJ	I-16	72	"	CYCL	80.1	0.1	AB S	SE	X	X	X	X	X	X		5	5

TABELA 4

Perfurações realizadas pela PETROBRÁS. Apresentação de dados: pastas de poços — Petr. DEXPRO/DIPER.

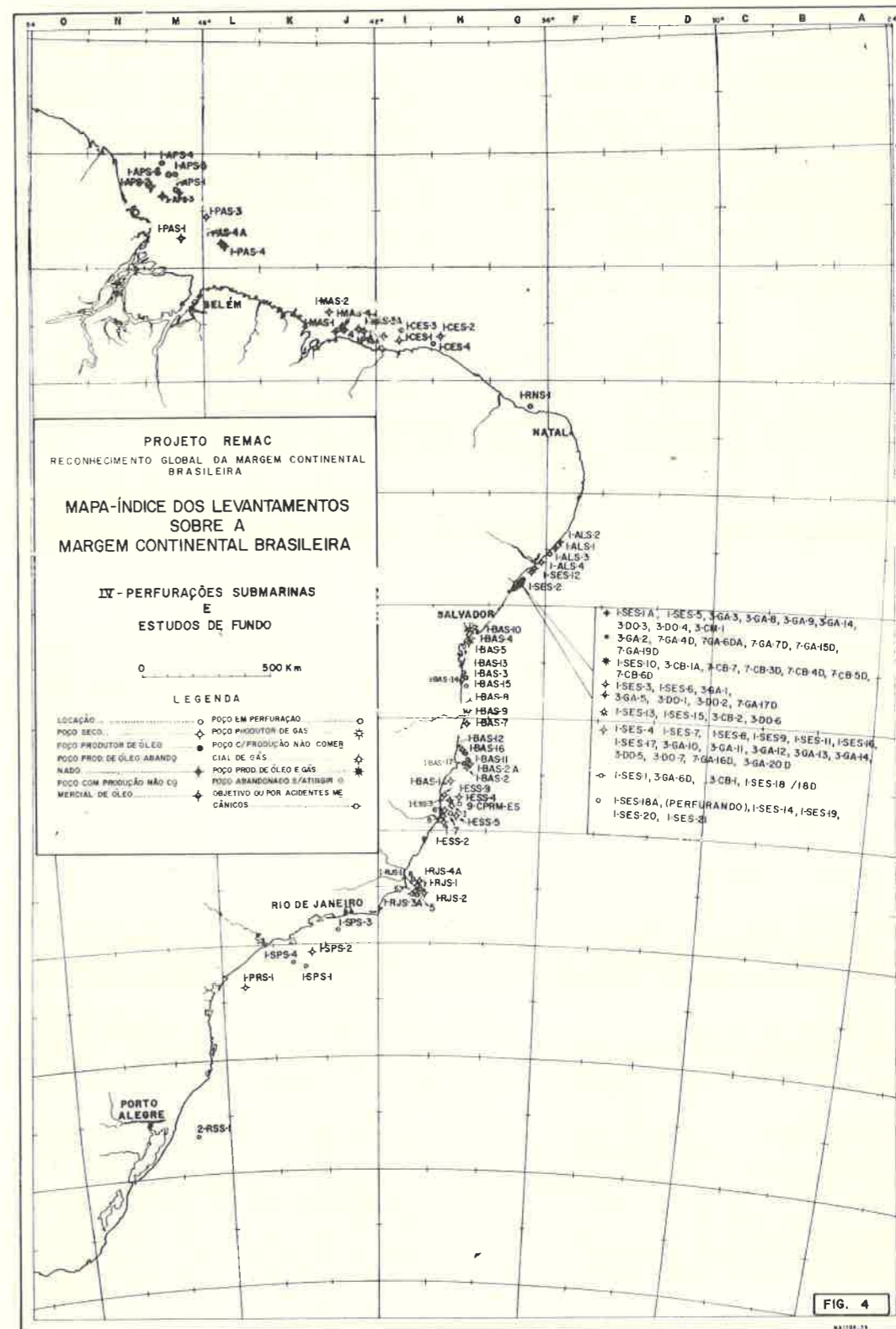
Na segunda metade de 1971, os trabalhos sísmográficos prosseguiram em caráter de detalhe nas áreas mais promissoras e em caráter de reconhecimento no litoral da Paraíba e Pernambuco, totalizando para esse ano, 17.257 km de cobertura.

Na Fig. 3 e Tabela 3 estão representadas, respectivamente, as áreas e linhas e as referências dos trabalhos de sísmica executados pela Petrobrás na plataforma continental brasileira.

3 — PERFURAÇÕES SUBMARINAS E ESTUDOS DE FUNDO

Uma vez realizados os levantamentos geofísicos básicos das áreas mais favoráveis, a Petrobrás contratou uma plataforma de sondagem do tipo auto-elevatória («Vinegarroon»), com capacidade para perfurar até 5 mil metros, em lâmina d'água de 50 m e construiu, nos estaleiros nacionais, outra plataforma («Petrobrás I») para operação em águas rasas. Com a primeira unidade foi iniciada, em junho de 1968, a perfuração do primeiro poço pioneiro, a 80 km de Vitória, o 1-ESS-1. Em seguida, o equipamento foi deslocado para o litoral sergipano e, em frente a Aracaju, perfurou o poço Sergipe Submarino n.º 1, descobrindo, em outubro de 1968, o primeiro campo petrolífero submarino brasileiro, denominado Guaricema. A segunda plataforma de perfuração («Petrobrás I») entrou em operação em novembro de 1968, em frente a Maceió, com a perfuração do

trobrás contratou uma plataforma de sondagem do tipo auto-elevatória («Vinegarroon»), com capacidade para perfurar até 5 mil metros, em lâmina d'água de 50 m e construiu, nos estaleiros nacionais, outra plataforma («Petrobrás I») para operação em águas rasas. Com a primeira unidade foi iniciada, em junho de 1968, a perfuração do primeiro poço pioneiro, a 80 km de Vitória, o 1-ESS-1. Em seguida, o equipamento foi deslocado para o litoral sergipano e, em frente a Aracaju, perfurou o poço Sergipe Submarino n.º 1, descobrindo, em outubro de 1968, o primeiro campo petrolífero submarino brasileiro, denominado Guaricema. A segunda plataforma de perfuração («Petrobrás I») entrou em operação em novembro de 1968, em frente a Maceió, com a perfuração do



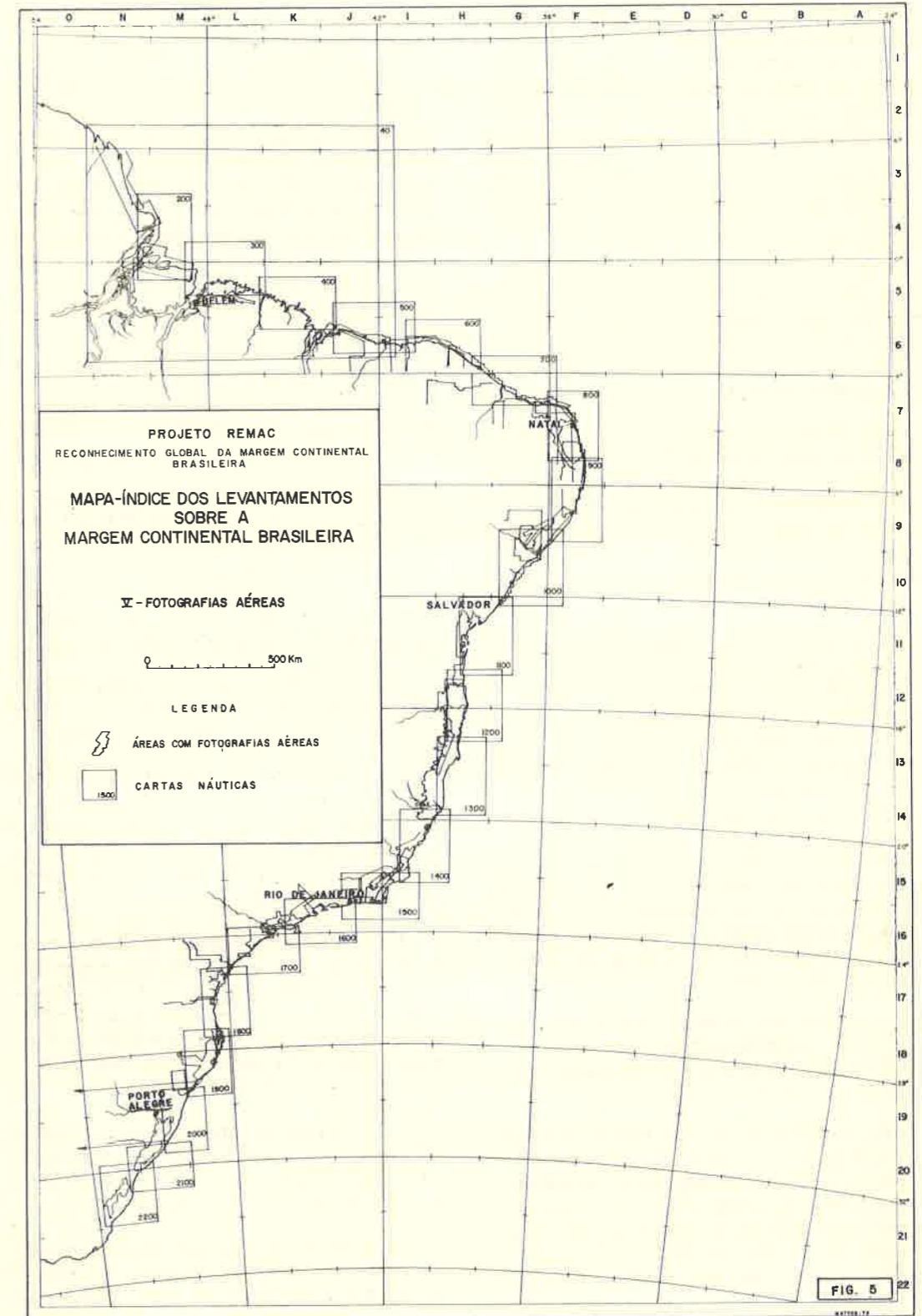


1-ALS-2. Posteriormente, outras plataformas e dois navios sonda foram contratados, estes para operar em águas profundas (até 200 m), na foz do Amazonas e no litoral sul. Desta forma, a Petrobrás conta atualmente com as seguintes plataformas e embarcações:

No mapa da Fig. 4 estão representados os 112 poços perfurados pela Petrobrás na plataforma continental brasileira, até setembro de 1972. Os furos distribuem-se desde a foz do Amazonas até a bacia de Santos.

A área de maior atividade perfuratória concentra-se na plataforma de Sergipe, onde foram descobertos quatro campos produtores de petróleo. Nas plataformas Bahia Sul-Espírito Santo, Foz do Amazonas, Pará-Maranhão, Alagoas e Santos, todos os poços perfurados resultaram secos. Nas plataformas Barreirinhas (MA), Piauí-Ceará, Recôncavo-Almada e Campos, alguns furos revelaram a presença de petróleo, porém em quantidades subcomerciais.

Plataformas elevatórias	Petrobrás I	National 80-B	3.600 m	águas rasas
	Vinegarroon	Oilwell 96	5.000 m	
	Penrod 59	National 1625-DE	7.500 m	
	Penrod 55	National 1625-DE	5.000 m	
Embarcações	Neptune I	National 1625-DE	6.000 m	—
	Delta Marine 8	Cont. Emsco-A 550 RE	2.000 m	
Navios	Diamont S-25	Oilwell 96	2.750 m	para lâm. d'água de 180 m
	Discoverer I		5.000 m	
	Cyclone		6.000 m	



REF.	LOC.	ANO	LOCAL	TRECHO	ENTIDADES		CAMARA	DIST. FOCAL	ALTURA de VÔC	ESCALA 1	
					RESP	EXEC					
40	I-2	71-72	AP-PA-MN	CABO ORANGE - S. LUIS	"	"	WILD	88,35 - 88,65	6 200-7 100	80 000	
200	M-3	52-68	AP-PA	I. MARACÁ - I. MACHADINHO	"	"	FAB	K-17 / K-17B	150,99 - 153,1	3 000-4 500	20 000 - 50 000
300	L-4	59-66	PA	CABO MAGUARI - PTA QUATIPURU	"	"	"	K-17 / ZEISS	151,0 - 154,2	3 000-5 000	20 000 - 30 000
400	J-5	59-61	MA	BAIA S MARCOS - TUTÓIA	"	"	"	K-17 / FAIRCHILD	151,9 - 305,0	1 500 - 4 500	10 000 - 30 000
500	I-8	53-70	MA-CE-PI	TUTOÍIA - LUIZ CORREIA	"	"	FAB-DHN	K-17 / T-11 / Zeiss	152,5 - 153,2	3 000-4 500	20 000 - 30 000
600	H-6	62	CE	CAMOCIM	"	"	FAB	K-17 / T-11 / Zeiss	151,9 - 153,2	1 500-4 500	10 000 - 30 000
700	F-6	56-71	CE-RN	FORTALEZA - PTA TUBARÃO	"	"	FAB-SACS	K-17 / K-17B / Zeiss	88,4 - 153,0	1 500-4 500	10 000 - 60 000
800	F-7	55-65	RN-PB	CAÇARA - JOÃO PESSOA	"	"	FAB-LASA	K-17 / T-11 / Zeiss	151,2 - 153	600-4 600	15 000 - 30 000
900	F-8	56-65	PB-PE	JOÃO PESSOA - TAMANDARÉ	"	"	FAB-PROSP	K-17 / Zeiss	152,5 - 153,1	1 500-4 500	10 000 - 30 000
1000	F-11	53-62	AL-SE-BA	MACEIO - RIO JACUIPE	"	"	FAB-SACS	K-17 / T-11 / Zeiss	151,2 - 154,7	1 500 - 4 500	10 000 - 30 000
1100	G-12	55-62	BA	SALVADOR - RIO AQUIPE	"	"	"	K-17 / FAIRCHILD	151,9 - 153,7	1 000 - 4 500	6 500 - 30 000
1200	G-13	59-62	BA	RIO AQUIPE - P. CORUMBAU	"	"	FAB	K-17	152,4 - 153,1	1 500 - 4 500	10 000 - 30 000
1300	H-14	54-62	BA-ES	P. CORUMBAU - RIO DOCE	"	"	"	K-17 / K-17C	151,9 - 153,1	1 500 - 4 500	10 000 - 30 000
1400	H-16	54	ES-RJ	I. FRANCIS - CABO S. TOMÉ	"	"	"	K-17	153,1	4 500	30 000
1500	I-16	54-68	RJ-GB	C.S. TOMÉ - RIO DE JANEIRO	"	"	"	K-17 / Zeiss	152,4 - 153,1	7 500-4 500	5 000 - 30 000
1600	J-17	54-68	GB-SP	RIO DE JANEIRO - S. SEBASTIÃO	"	"	FAB-NAT	K-17 / K-17B / Zeiss	152,0 - 152,9	1 300-4 500	8 000 - 30 000
1700	K-17	54-68	SP	I. S. SEBASTIÃO - CANANÉIA	"	"	FAB	K-17 / Zeiss / Fairchild	152,4 - 305,0	3 000-4 500	12 000 - 30 000
1800	L-18	54-70	SP-PR-SC	P. GRAJAUNA - I. STA. CATARINA	"	"	"	Zeiss / Fairchild	153,15	1 500-4 500	10 000 - 30 000
1900	M-19	56-68	SC-RS	I. STA. CATARINA - TORRES	"	"	"	K-17 / Zeiss	152,0 - 153,0	1 650-4 600	11 000 - 30 000
2000	M-20	58	RS	TORRES - CIDREIRA	"	"	"	K-17	152,4	4 500	30 000
2100	N-21	56-62	RS	TRAMANDÁ - C. S. GONÇALO	"	"	T-11 / K-17	151,2 - 153,7	1 500-4 600	10 000 - 30 000	
2200	N-21	51-63	RS	R. GRANDE - STA. VITÓRIA DO PALMAR	"	"	"	K-17	151,9 - 153,1	1 500-4 500	10 000 - 30 000

TABELA 5

Fotografias aéreas do litoral brasileiro. Apresentação de dados: Arquivo Técnico da DHN/MM.

Em algumas locações foram realizadas estudos de fundo, geralmente por mergulhadores da Subaquática Engenharia Ltda. Esses estudos constam de medidas de correntes de superfície e de fundo, fotografias de fundo, temperatura de superfície e de fundo, observações «in situ», amostragem superficial e testemunhagem.

Atualmente só os furos executados pela «Neptune I» e «Petrobrás I» são precedidos de estudos de fundo, exigência de suas respectivas companhias seguradoras.

As informações sobre as perfurações realizadas pela Petrobrás na plataforma continental brasileira, encontram-se relacionadas na Tabela 4.

#### 4 — FOTOS AÉREAS

As informações apresentadas no Mapa-Índice deste tema foram obtidas na Diretoria de Hidrografia e Navegação do Ministério da Marinha (D.H.N.) e na Seção de Cartografia do D.N.P.M. (que possui folhas ao milionésimo contendo as áreas levantadas), porém a grande maioria dos dados referidos, são de responsabilidade da D.H.N.

Para facilidade de apresentação na tabela, os levantamentos foram relacionados às cartas náuticas da D.H.N. Desse modo, ao se procurar saber se uma determinada área possui fotos aéreas, localiza-se primeiramente essa área no mapa, verifica-se a que carta náutica pertence e na tabela procuram-se as especificações para essa carta náutica: instituições (responsável e executora), escalas, datas, distâncias focais e câmaras utilizadas. Os dados apresentados são resumidos e nos dão somente os dois extremos das especificações. Portanto a tabela indica somente o acesso aos dados, mas não dá particularidades sobre uma determinada área levantada.

A maioria dos trabalhos executados para a D.H.N. foram procedidos pela FAB, embora existam levantamentos realizados pela Cruzeiro, LASA, Prospec e Natividade.

Há ainda uma série de outros trabalhos executados por essas companhias para diferentes instituições, como PETROBRÁS, SUDENE, DNOS, SUVALE, DNER, CEPLAC, e Fosforita Olinda. Futuramente, quando do detalhamento à escala de 1:1.000.000, tais trabalhos deverão ser colocados individualmente no mapa.

A Fig. 5 mostra as áreas de fotografias aéreas relacionadas às cartas náuticas e a Ta-

bela 5 traz as informações gerais sobre os levantamentos.

#### 5 — BATIMETRIA

Em 1935 com o navio hidrográfico «Rio Branco», a antiga Diretoria de Navegação do Ministério da Marinha iniciava uma fase regular de levantamentos na costa brasileira. É dessa época a instalação, no NHi «Rio Branco», de um ecobatímetro «Atlas» que executou no canal de S. Sebastião, as primeiras sondagens sonoras efetuadas no País, em levantamentos hidrográficos. As cartas da série 1.600 foram publicadas. Os trabalhos continuaram depois, com uma certa irregularidade, até a mudança, em 1946, do nome da antiga Repartição Hidrográfica para Diretoria de Hidrografia e Navegação, nome mantido até o presente

Através da D.H.N., a Marinha de Guerra realiza trabalhos de levantamentos hidrográficos ao longo de toda a costa do Brasil, bem como executa levantamentos oceanográficos, pesquisas maregráficas, meteorológicas e magnéticas. A D.H.N. representa ainda o Brasil junto ao Bureau Hidrográfico Internacional e às repartições congêneres estrangeiras.

As cartas náuticas publicadas pela D.H.N. e que contém entre outras informações, pontos e curvas batimétricas, classificam-se em:

a) — **Cartas Gerais:** escalas menores que 1:3.000.000 compreendendo trechos extensos e se destinam ao estudo de grandes derrotas oceânicas. São exemplos deste grupo, a carta nº 1 (Brasil-Costa e Ilhas ao Largo) e a carta 4001 (Trinidad-Natal).

b) — **Cartas de Grandes Trechos:** escalas entre 1:1.500.000 e 1:3.000.000, compreendendo um grande trecho da costa e se destinam à navegação fora do alcance dos faróis e pontos de terra. As cartas de n.ºs 10, 20 e 30, correspondentes às costas Norte, Leste e Sul, são cartas de grande trechos.

c) — **Cartas de Médios Trechos:** escalas entre 1:500.000 e 1:1.500.000, compreendendo trechos de extensão média. As cartas da série 40 e 90 pertencem a esta classificação.

d) — **Cartas de Pequenos Trechos:** escalas entre 1:150.000 e 1:500.000, abrangem pequenos trechos e se destinam à navegação costeira. As cartas da série 100 a 2.200 pertencem a esta divisão.

e) — **Cartas Particulares:** escalas maiores de 1:150.000 compreendem reduzidos trechos da costa ou portos, baías, enseadas, etc.

O catálogo DN 63-7 de 1966 publicado pela D.H.N., traz a relação de todas as cartas náuticas já publicadas e as projetadas.

As cartas GEBCO (General Bathymetric Chart of the Oceans) possuem tamanho padrão de 6° entre latitudes com escala real no Equador, de 1:1.000.000. A D.H.N. realiza sondagens e mantém sempre atualizados e corrigidos em metros, os dados que são publicados pelo International Hydrographic Bureau de Mônaco.

Convém assinalar que os trabalhos de gravimetria e sísmica, já abordados, trazem excelentes informações batimétricas.

Cartas náuticas, GEBCO e referências, encontram-se representadas, respectivamente, no mapa da Fig. 6 e Tabela 6.

#### 6 — AMOSTRAGEM DE SEDIMENTOS E ROCHAS SUPERFICIAIS

A primeira grande expedição concebida expressamente para estudar todos os aspectos científicos dos oceanos foi a do «H.M.S. CHALLENGER» que circunavegou o globo de 1872 a 1876.

No Brasil a primeira Comissão Oceanográfica da D.H.N. teve lugar em 1956, pelo Navio Escola «GUANABARA». Desse ano em diante foram realizadas uma série de comissões, principalmente pelo N. Oc. «Almirante Saldanha».

Nessas comissões oceanográficas são realizadas as tarefas de oceanografia geológica, física, química e biológica, além de estudos meteorológicos, hidrográficos e pesca.

Para a oceanografia geológica coletam-se os sedimentos superficiais por meio de busca-fundos, dragas e testemunhadores para estudos de composição mineralógica, química e textural.

Com vistas a preservar convenientemente as amostras coletadas durante as comissões, a D.H.N. está firmando convênio com a Universidade Federal do Rio de Janeiro, através do Laboratório de Geologia Marinha do Instituto de Geociências, para que este funcione como um Centro Nacional de Armazenamento e Distribuição de Amostras.

No Mapa-Índice deste tema (Fig. 7) estão representadas as linhas das operações N — NE I e II, Sul I, Leste III e GEOMAR I a IV, executadas pela D.H.N. com o N. Oc. «Almirante Saldanha», alguns cruzeiros do navio «Vema» executados pelo Lamont Doherty Geological Observatory e trabalhos do Lacimar nas áreas de Alagoas — Sergipe — Pernambuco. A Tabela 7 contém as referências sobre os levantamentos apresentados na Fig. 7.

#### 7 — OCEANOGRAFIA FÍSICA E QUÍMICA

Nos trabalhos de Oceanografia Física são feitas medições de profundidade, corrente, salinidade e temperatura. Outras propriedades físicas que podem ser medidas são: cor, som, radiação, etc.

Nos trabalhos de Oceanografia Química são determinados: teor de oxigênio dissolvido, concentração de íons fosfato, nitrato, nitrito, silicato, amônia e o pH, além dos íons metálicos e outros.

Todas as áreas e linhas apresentadas neste Mapa-Índice (Fig. 8) foram executadas pela D.H.N., que se utilizou principalmente do N. Oc. «Almirante Saldanha». As operações foram: Trident I, II e III, Equalant I e II, N — NE I e II, Leste I, II e III, Sul I e II, GEOMAR II e III e Sta. Marta I. As referências encontram-se na Tabela 8.

Neste tema deverão ser incluídos, num futuro próximo, os trabalhos executados pelo Instituto Oceanográfico da Universidade de São Paulo e alguns navios estrangeiros.

#### 8 — OCEANOGRAFIA BIOLÓGICA (BENTO)

Para os estudos de Oceanografia Biológica o bento é coletado por dragagem.

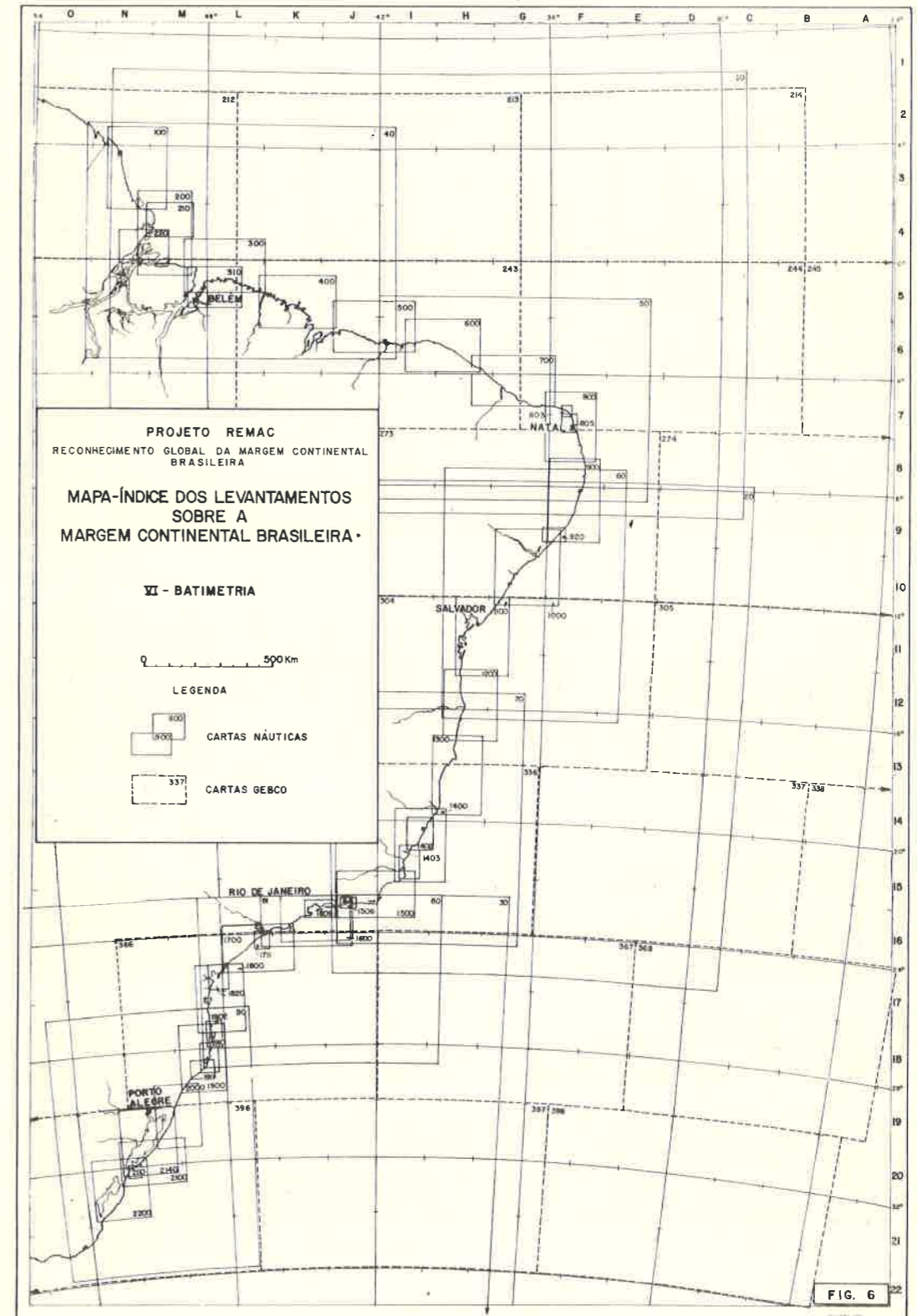
No Mapa-Índice deste tema (Fig. 9) estão representadas as áreas das operações N — NE I e II, GEOMAR I a IV, Leste I e III, executadas pela D.H.N. com o N. Oc. «Almirante Saldanha» e os trabalhos do Lacimar, de Pernambuco ao Ceará. As referências encontram-se na Tabela 9.

Aqui também deverão ser incluídos, futuramente, os trabalhos do N. Oc. «Prof. Bernard» para o I.O.U.S.P.

CARTAS LÍNIAS	Nº	LOC.	TÍTULO	ENTIDADE		ANO	ESCALA 1:
				RESP.	EXEC.		
GEBCO	212	L-2		I. H. B.	D. H. N.		1.000.000
"	213	G-2		"	"		"
"	214	B-2		"	"		"
"	243	G-5		"	"		"
"	244	B-5		"	"		"
"	245	B-5		"	"		"
"	273	I-8		"	"		"
"	274	D-8		"	"		"
"	304	I-11		"	"		"
"	305	D-11		"	"		"
"	336	G-14		"	"		"
"	337	B-14		"	"		"
"	338	A-14		"	"		"
"	368	N-17		"	"		"
"	367	E-17		"	"		"
"	368	D-17		"	"		"
"	398	L-20		"	"		"
"	397	F-20		"	"		"
"	398	F-20		"	"		"
NAUTICA	10	C-1	CABO ORANGE - RECIFE	D. H. N.	D. H. N.	60	2.728.200
"	20	C-9	RECIFE - RIO DE JANEIRO	"	"	66	2.593.366
"	30	G-16	RIO DE JANEIRO - RIO DA PRATA	"	"	67	2.378.700
"	40	I-2	BAIA DO OIAPOQUE - RIO PARNAIBA	"	"	71	1.359.563
"	60	E-5	RIO PARNAIBA - RECIFE	"	"	61	1.155.870
"	60	E-8	RECIFE - BELMONTE	"	"	64	1.136.100
"	70	G-12	BELMONTE - RIO DE JANEIRO	"	"	71	1.091.261
"	80	H-16	RIO DE JANEIRO - ILHA DE S. CATARINA	"	"	62	1.052.310
"	81	L-16	RIO DE JANEIRO - SANTOS	"	"	60	330.200
"	90	L-18	ILHA DE S. CATARINA - MALDONADO	"	"	71	990.526
"	100	M-2	CABO ORANGE - I. DE MARACÁ	"	"	-	316.836
"	200	M-3	I. DE MARACÁ - I. MACHADINHO	"	"	-	316.836
"	210	M-4	PROXIMIDADES DA BARRA NORTE DO R. AMAZONAS	"	"	68	200.000
"	220	M-4	BARRA NORTE - PORTO DE SANTANA	"	"	68	200.050
"	300	L-4	I. MACHADINHO - CABO GURUPI	"	"	70	317.106
"	310	L-5	SALINÓPOLIS - BELEM	"	"	63	200.000
"	400	J-5	CABO GURUPI - I. DE SANTANA	"	"	70	317.010
"	800	I-5	I. DE SANTANA - CAMOCIM	"	"	63	316.836
"	800	H-6	CAMOCIM - FORTALEZA	"	"	68	316.680
"	700	F-6	FORTALEZA A PONTA 3 IRMÃOS	"	"	61	316.220
"	800	F-7	PONTA 3 IRMÃOS - CABO BRANCO	"	"	67	315.428
"	803	F-7	CANAL DE S. ROQUE	"	"	44	50.000
"	805	F-7	PONTA DOS ANÉIS - PONTA DO TABATINGA	"	"	42	100.000
"	900	F-8	CABO BRANCO - MACEIO	"	"	64	316.600
"	920	F-9	PORTO DE MACEIO (PROX)	"	"	64	80.000
"	1000	F-11	MACEIO - R. ITARIRI	"	"	64	311.449
"	1100	G-11	R. ITARIRI - ILHEUS	"	"	63	308.900
"	1200	G-12	PORTO DE ILHEUS - PONTA CUMURUXATIBA	"	"	71	305.090
"	1300	M-13	PONTA CUMURUXATIBA - R. DOCE	"	"	65	301.039
"	1400	M-14	R. DOCE - CABO S. TOME	"	"	61	296.450
"	1402	I-15	BARRA DE STA. CRUZ - BAIA DE BENEVENTE	"	"	61	135.000
"	1403	I-15	BARRO DO ITAPEMIRIM - CABO S. TOME	"	"	60	134.040
"	1600	I-16	CABO STOME - RIO DE JANEIRO	"	"	63	292.760
"	1506	J-18	PROX. BAIA DE GUANABARA	"	"	63	71.000
"	1600	J-17	RIO DE JANEIRO - ILHA S. SEBASTIAO	"	"	48	290.961
"	1609	K-16	BAIAS DE I. GRANDE E SEPETIBA	"	"	46	120.000
"	1700	L-16	I. S. SEBASTIAO - I. DE BOM ABRIGO	"	"	60	288.723
"	1711	L-17	PROX. DO PORTO DE SANTOS	"	"	61	80.000
"	1800	L-17	I. DO BOM ABRIGO - I. DO ARVOREDO	"	"	61	284.530
"	1820	M-17	PROX. BARRA DE PARANAQUA	"	"	61	90.000
"	1900	M-19	I. DO ARVOREDO - TORRES	"	"	59	279.330
"	1902	M-18	PROX. I. STA. CATARINA	"	"	57	100.230
"	1910	M-18	I. CORAL - CABO STA. MARTA GRANDE	"	"	58	100.211
"	1911	M-19	CABO DE STA. MARTA GRANDE - ARARANGUA	"	"	58	99.770
"	2000	M-19	TORRES A MOSTARDAS	"	"	64	274.000
"	2100	N-21	MOSTARDAS - RIO GRANDE	"	"	64	269.500
"	2110	N-21	PROX. PORTO DE RIO GRANDE	"	"	61	50.000
"	2140	N-21	LAGOA DOS PATOS	"	"	68	271.600
"	2200	N-21	RIO GRANDE - ARROIO CHUI	"	"	65	268.812

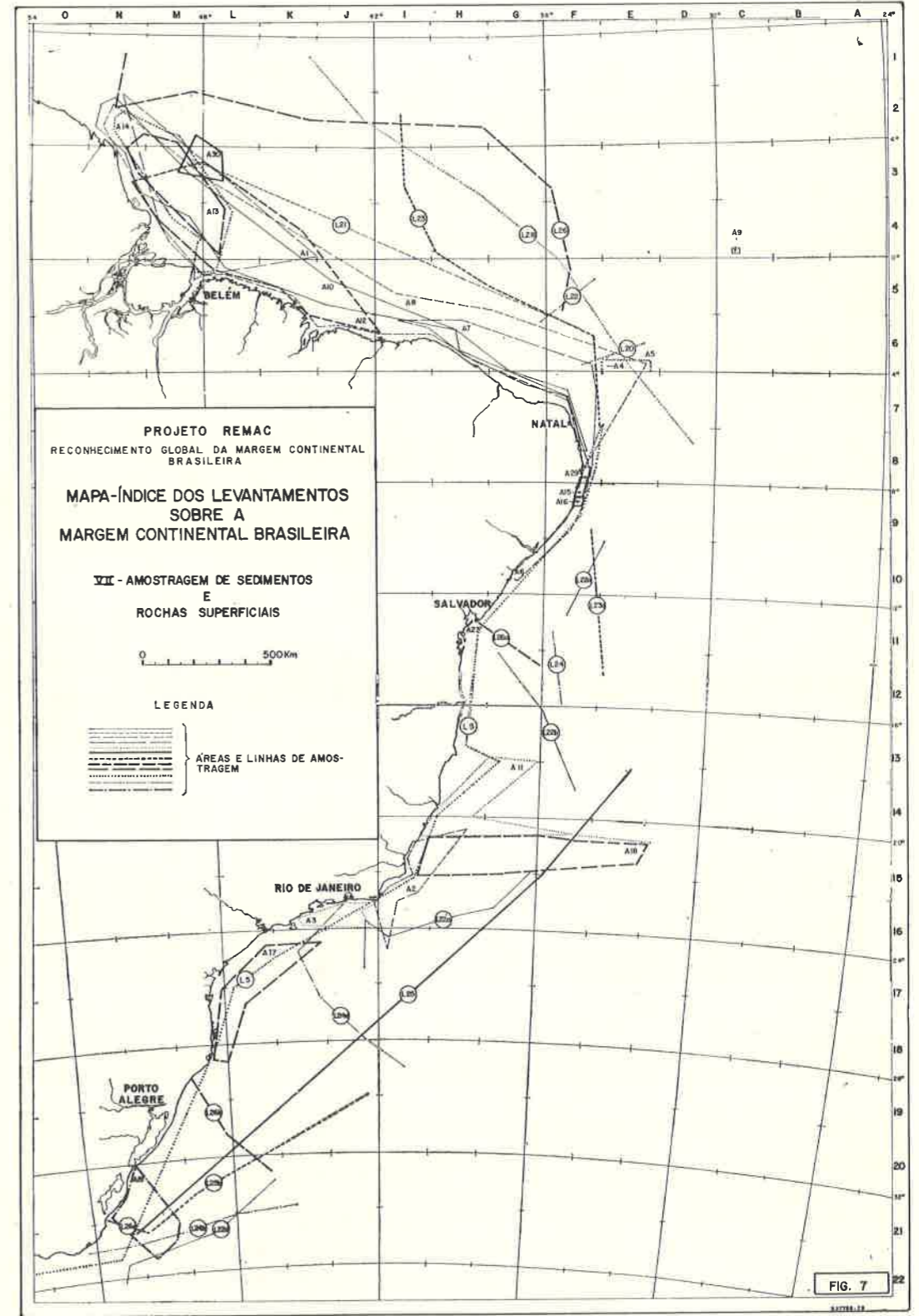
TABELA 6

Cartas batimétricas. Apresentação de dados: cartas fornecidas pela DHN/MM.



ÁREA / LINHA	LOC.	ANO	ENTIDADE RESPONSÁVEL EXECUTORA	NAVIO	ÁREA	OPERAÇÃO	Nº de Estações	ANÁLISES	APRESENTAÇÃO DE DADOS
A1	R-4	58	DHN	ALDANHA	ARAPA / MARRANHÃO	---	52	FACIES	DO - 06 - VII - DMH OTTMANN, 1960. BOL. BOL. 888 (19) 2
A2	F-15	60	"	"	C. FRIJO / VITÓRIA	---	83	"	DO - 06 - X - DMH OTTMANN & OTTMANN, 1970. TOUFFP (9/11) P. 87
A3	R-16	61	"	"	C. FRIJO / P. DO BOI	---	89	"	DO - 08 - XII - DMH COUTINHO, 1970. TOUFFP (9/11) P. 81 OTTMANN, 1965. REV. S.P.G.D. (5/21) P. 101
A4	E-6	61	"	BIRIUS	ATOL DAS ROCAS	---	8	TIPO SEDIM.	FOREST, 1968. AN. INST. OC. (44) P. 21
A5	H-15	61-62	CHRS	CALYPSO	COSTA ATLANTICA	---	184	FACIES	MARSONNE-TINOCO, 1967. T.O.U.F.P. (17/8) P. 25
A6	E-6	65	SUDENE	AKAROA	ALAGOAS-BERGIPE	---	200	"	KEMPF, 1970. TOUFFP (9/11) P. 9
A7	H-6	65-66	"	CANOPIUS	PERNAMBUCO/CEARA	---	117	"	DO - 26 - XI - DMH
A8	I-8	67	DHN	ALDANHA	NORTE - NORDESTE	N/NE - I	183	"	KEMPF ET ALII, 1970. TOUFFP (9/11) P. 9
A9	C-4	63	WHO 1	CHAIN	ILHAS S. PEDRO/S. PAULO	---	---	---	(CITADO IN MARSONNE & COUTINHO, 1970 TOUFFP (12) P. 139
A10	C-4	66	"	ATLANTIS II	"	---	---	---	---
A11	J-6	68	DHN	BALDANHA	NORTE - NORDESTE	N/NE - II	32	FACIES	DO - 26 - XII
A12	Q-14	68	"	"	LESTE	LESTE I	18	DESC. SEDIM.	GORINI & ESTEVES, 1971. AN. AC. BRAS. CIEN. (NO PRELO)
A13	E-16	69	"	"	NORTE	GEOMAR - I	60	FACIES	(DO - 32 - I ZEMBRUSKI ET ALII BOL. TEC. PET
A14	L-14	70	"	"	"	GEOMAR - II	91	"	GORINI ET ALII, 1970. RELATÓRIO DE BORDO
A15	M-8	71	"	"	"	GEOMAR - III	136	"	BARRETO ET ALII, 1971. RELATÓRIO DE BORDO
A16	F-9	69	LACIMAR	SERRA AZUL	PERNAMBUCO	---	160	"	ZEMBRUSKI ET ALII, 1971. RELATÓRIO DE BORDO
A17	F-9	69-69	SUDENE	CANOPIUS	"	---	---	---	KEMPF, 1970. TOUFFP (9/11) P. 125
A18	L-17	69	DHN	PESQUEIRO	B. SÃO PAULO/PARAMAR	SUL I	36	"	KEMPF, 1970. TOUFFP (9/11) P. 111
A19	E-15	71	"	"	LESTE	LESTE III	11	DESC. SEDIM.	RELATÓRIO INTERNO "DHN"
A20	M-21	72	"	"	SUL	GEOMAR - IV	122	FACIES	MARTINS, 1972. RELATÓRIO DE BORDO
A21	E-8	68	L. O. S. O.	VEAMA	COSTA ATLANTICA-ALHIL	CRUZEIRO 9	9	DESC. CRIAÇÃO	NOCC
A22	J-4	61	"	"	"	CRUZEIRO 12	12	MEGASCOPICA	NOCC
A23	F-10	69	"	"	"	CRUZEIRO 14	19	TESTEMUNHOS	NOCC
A24	J-18	60	"	"	"	CRUZEIRO 15	19	"	NOCC
A25	M-22	61	"	"	"	CRUZEIRO 16	18	"	NOCC
A26	M-17	61	"	"	"	CRUZEIRO 17	6	"	NOCC
A27	M-17	61	"	"	"	CRUZEIRO 18	35	"	NOCC
A28	M-11	62	"	"	"	CRUZEIRO 19	6	"	NOCC
A29	M-20	62	"	"	"	CRUZEIRO 20	6	"	NOCC
A30	M-22	62	"	"	"	CRUZEIRO 21	6	"	NOCC
A31	M-11	63	"	CONRAD	"	CRUZEIRO 22	134	FACIES	KEMPF, 1970. T.O.U.F.P. (9/11) P. 93
A32	M-4	63	"	"	PERNAMBUCO	---	---	---	---
A33	F-8	69	SUDENE	LACIMAR	NORTE	---	25	DESC. SEDIM.	RELATÓRIO DE BORDO
A34	F-8	69	"	SHELL	"	---	---	---	---
A35	L-3	70	"	"	"	---	---	---	---

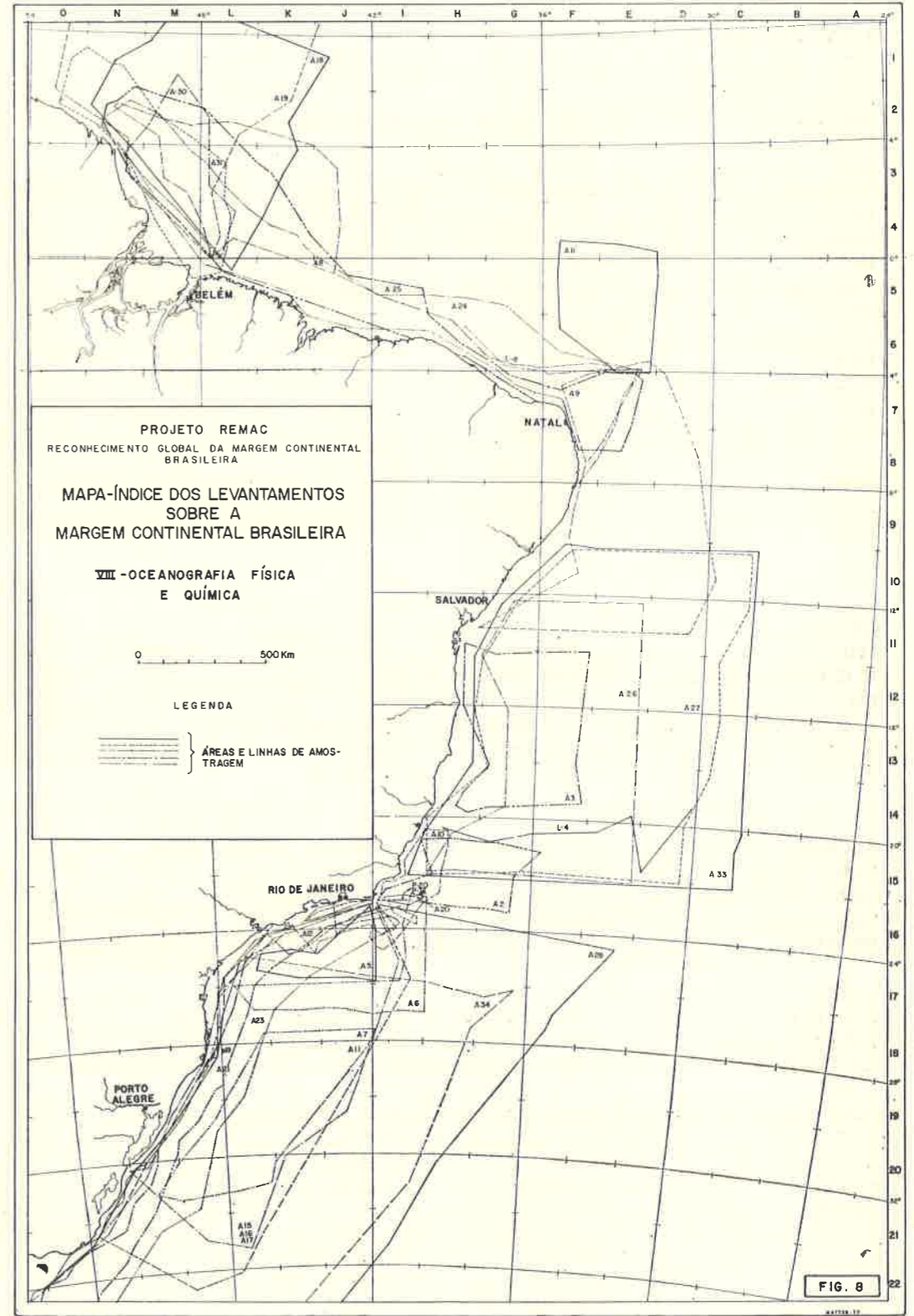
TABELA 7 Amostragem de sedimentos e rochas superficiais.



ÁREA Linha	LOC. ANO	ENTIDADE RESP. EXEC.	NAVIO	ÁREA	COMISSÃO OCEANOGRÁFICA	OPERAÇÃO	Nº DE EST.	ANÁLISES		APRESENTAÇÃO DE DADOS
								FÍSICA	QUÍMICA	
A - 1	I-16	56	DHN	GUANABARA	CABO FRIO - SANTOS	I	25	T-8-Ve	O2-PO4	D6-20-1
A - 2	B-18	57	II	SALDANHA	CABO FRIO - GUARAPARI	II	21	II	O2-PO4-pH	D6-20-II
A - 3	F-14	57	II	II	RIO DOCE - CAMAMU	III	26	II	O2-PO4-pH	D6-20-III
A - 4	F-15	57	II	II	VITORIA - TRINDADE	IV	09	II	O2-PO4-pH	D6-20-IV (PARTE I)
A - 6	J-17	57	II	II	CABO FRIO - PARANAGUA	V	14	II	O2-PO4-pH	D6-20-IV (PARTE II)
A - 6	J-18	57	II	II	CABO FRIO - CAMBORIU	VI	17	II	O2-PO4-pH	D6-20-IV (PARTE III)
A - 7	J-19	58	II	II	CABO STA MARTA - ALBARDÃO	VII	27	II	O2-PO4-pH-NO2	D6-20-V
A - 8	F-6	58/59	II	II	CABO ORANGE - RECIFE	XIII	52	II	O2-PO4-pH	D6-06-VIII
A - 9	F-7	59	II	II	SALVADOR - F. DE NORONHA	IX	42	II	O2-PO4-pH-NO2-SiO4	D6-06-IX
A - 10	H-15	60	II	II	CABO FRIO - VITORIA	X	83	II	O2-PO4-pH	D6-06-X
A - 11	F-4	60	II	II	MORTE DE FERNANDO DE NORONHA	XI	18	II	O2-PO4-pH-NO2	D6-06-XI
A - 12	K-17	61	II	II	CABO FRIO - PONTA DO BOI	XII	60	II	O2-PO4-pH	D6-06-XII
A - 13	I-17	61	II	II	CABO FRIO - MARAMBAIA	XIII	16	II	O2-PO4-pH-NO2-NO3-NH3	D6-06-XIII
A - 14	J-19	62	II	II	CABO FRIO - CABO POLÓNIO	XIV	70	II	O2-PO4	D6-06-XIV
A - 15	L-22	62	II	II	II	XV	82	II	O2-PO4-NO2-NO3-NH3	D6-06-XV
A - 16	L-22	62	II	II	II	XVI	84	II	O2-PO4-pH-NO2-NO3	D6-06-XVI
A - 17	L-22	63	II	II	II	XVII	60	II	O2-PO4-pH-NO2-NO3	D6-06-XVII
A - 18	J-1	63	II	II	ÁREA EQUATORIAL	XX	42	II	O2-PO4-pH-NO2	9-85/87
A - 19	K-2	63	II	II	II	XXI	57	II	O2-PO4-pH-NO2-NO3	9-87/87
A - 20	L-18	66	II	II	AO LARGO DE CABO FRIO	XXX	Fundado	II	O2-PO4-NO2-NO3-SiO4-NH3	D6-26-XI
A - 21	M-19	66	II	II	CABO FRIO - MAR DEL PLATA	XXXI	72	II	O2-PO4-NO2-NO3-SiO4	D6-26-XII
P - 11	I-16	67	II	II	AO LARGO DE CABO FRIO	XXXII	75	II	O2-PO4-NO2-NO3-SiO4	D6-26-IX
A - 23	L-18	67	II	II	CABO FRIO - MAR DEL PLAT	XXXIII	75	II	O2-PO4-NO2-NO3-SiO4-Cu	D6-26-X
A - 24	M-5	67	II	II	RECIFE - CABO ORANGE	XXXIV	184	II	O2-PO4-pH-NO2-NO3-SiO4-NH3	D6-26-XI
A - 25	I-6	68	II	II	II	XXXV	101	II	O2-PO4-pH-NO2-NO3	D6-26-XII
A - 26	E-12	68	II	II	CABO S. TOMÉ - R. ITAPICURU	XXXVII	56	II	O2-PO4-pH-NO2-NO3	9-36/68
A - 27	C-12	69	II	II	CABO S. TOMÉ - MACEIO	XXXIX	79	II	O2-PO4-pH-NO2-NO3	9-10/69
A - 28	E-17	69	II	II	CABO FRIO - MAR DEL PLATA	XLII	22	II	II	9-86/69
P - 10	M-19	69	II	II	AO LARGO DE CABO FRIO	XLIII	Fundado	II	II	9-48/69
A - 30	M-1	70	II	II	BELÉM - CABO ORANGE	XLV	38	II	II	9-295/70
A - 31	L-3	71	II	II	II	XLVI	71	II	II	9-296/71
A - 23	I-16	71	II	II	AO LARGO DE CABO FRIO	XLVII	99	II	II	9-295/71
A - 33	C-15	71	II	II	CABO S. TOMÉ - MACEIO	XLVIII	92	II	II	Altas Oceanográficas
A - 34	9-18	72	II	II	RIO DE JANEIRO - RIO DA PRATA	XLIX	92	II	II	

TABELA 8

Levantamentos de Oceanografia Física e Química.



LISTAS DAS SIGLAS E ABREVIATURAS USADAS NAS TABELAS

Loc .....	localização da área ou linha de trabalho
Resp .....	entidade responsável
Exec .....	entidade executora
Classif .....	classificação de trabalho
Cobert .....	cobertura em km ou km <sup>2</sup>
Espaç .....	espaçamento entre as linhas
Est .....	estações
Distr .....	distribuição das estações por km <sup>2</sup>
Met .....	método
Prof .....	profundidade
Corr .....	correntes
S .....	superfície
F .....	fundo
Visib .....	visibilidade
Temp .....	temperatura
Fotogr .....	fotografia
Amostr .....	amostragem
Superf .....	superficial
Test .....	testemunho
Ref .....	referência
T-S-Vo .....	temperatura — salinidade — vol. específico
GEBCO .....	General Bathymetric Chart of Oceans
Petr .....	Petrobrás
U. G. C. ....	United Geophysycal Co.
EG .....	Equipe de Gravimetria
U. S. N. O. O. ....	United State Naval Oceanographic Office
LASA .....	Levantamentos Aerofotogramétricos S. A.
W. G. C. ....	Western Geophysical of America
G. S. I. ....	Geophysical Service Inc.
SACS .....	Serviço Aéreos Cruzeiro do Sul
FAB .....	Força Aérea Brasileira
DHN .....	Diretoria de Hidrografia e Navegação
NAT .....	Natividade
PROSP .....	Prospec — Levantamentos, Prospecções e Aerofotogrametria S. A.
I. H. B. ....	International Hydrographic Bureau
C. N. R. S. ....	Centro National de la Recherche Scientifique
SUDENE .....	Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste
LACIMAR .....	Laboratório de Ciências do Mar — Univ. Fed. de Pernambuco
WHOI .....	Woods Hole Oceanographic Institution
LDGO .....	Lamont-Doherty Geological Observatory
S. E. ....	Subaquática Engenharia Ltda.
RPBA .....	Região de Produção da Bahia
DEXPRO .....	Departamento de Exploração e Produção
DIPER .....	Divisão de Perfuração
S. - det .....	semi-detalhe
det .....	detalhe
Rl .....	reflexão
Rr .....	refração
MART .....	marítimo, águas profundas

AGRZ ....	marítimo, águas rasas
DVAE .....	desenvolvimento, anti-econômico
AB S .....	abandonado seco
ABAM .....	abandonado, acidente mecânico
ABAE .....	abandonado, anti-econômico
DSNA .....	descobridor nova área
EXAO .....	extensão, alcançou o objetivo
DVOG .....	desenvolvimento, óleo e gás
DSNJ .....	descobridor nova jazida
DV O .....	desenvolvimento, óleo
DV S .....	desenvolvimento, seco
DNJP .....	descobridor de nova jazida profunda
EXAE .....	extensão, anti-econômico
X .....	com medição de
O .....	valor zero de medição

Plataformas

Pet. I .....	«Petrobrás I»
VINE .....	«Vinegarroon»
P 55 .....	«Penrod 55»
P 59 .....	«Penrod 50»
Nep I .....	«Neptune I»

Embarcações

S-25 .....	«Diamond»
DM-8 .....	«Delta Marine»

Navios

Disc .....	«Discoverer I»
Cycl .....	«Cyclone»

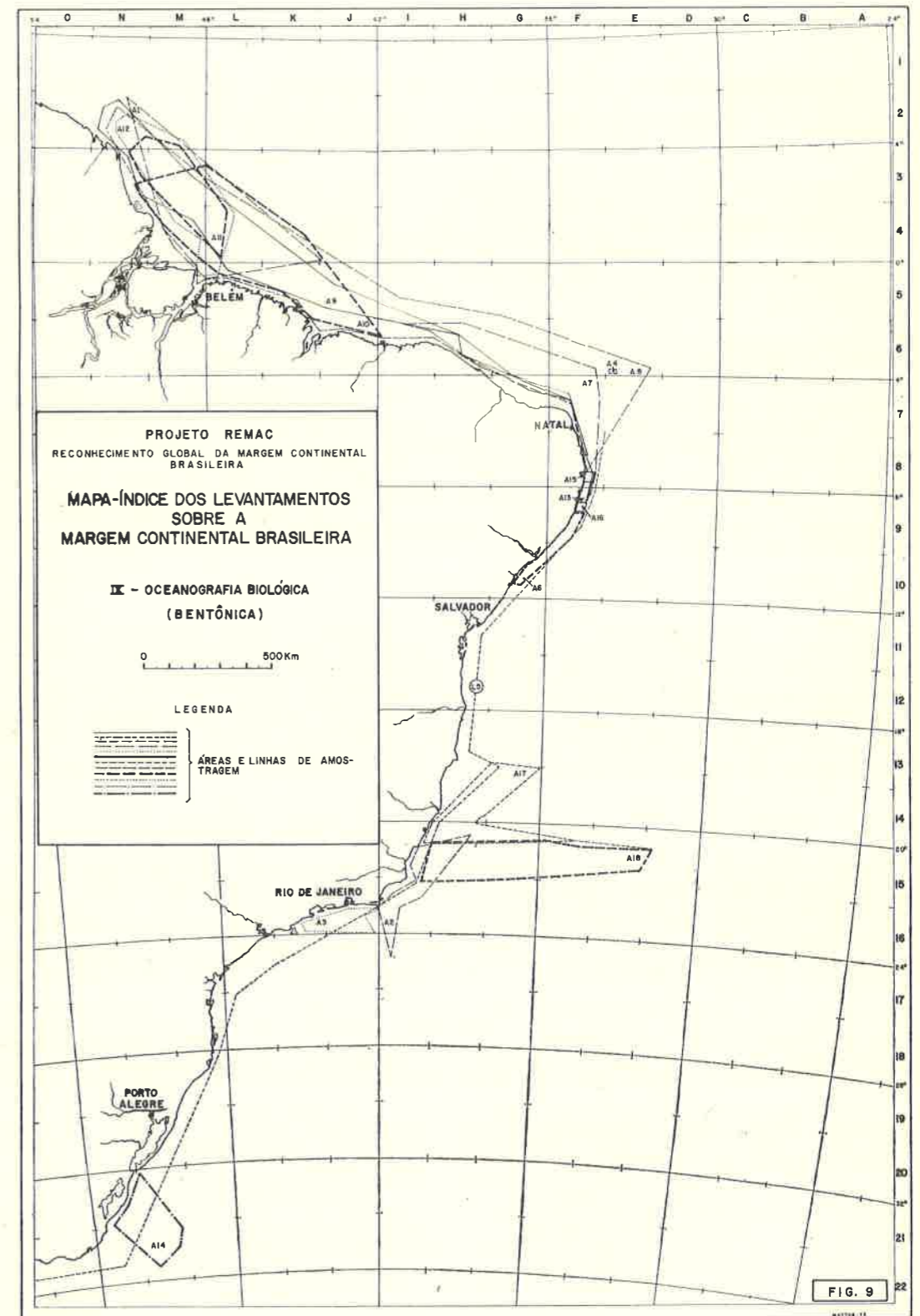
LISTA GERAL DOS TRABALHOS(\*)

- 01 — Relatórios internos da Petrobrás: Gravimetria, Magnetometria, Sísmica e Perfurações Submarinas
- 02 — Arquivo Técnico da Diretoria de Hidrografia e Navegação
- 03 — Seção de Cartografia do D.N.P.M.: Fotos Aéreas

(\*) Esta lista inclui somente os títulos das publicações consultadas e os nomes das instituições visitadas. As referências sobre cada trabalho em particular, encontram-se nas tabelas que acompanham os mapas, coluna "Apresentação de Dados".

ÁREA LINHA	LOC.	ANO	ENTIDADE RESP	EXEC.	NAVIO	ÁREA	OPERAÇÃO	Nº DE EST.	ANÁLISES	APRESENTAÇÃO DE DADOS
A 1	N-2	58	D.H.N.	D.H.N.	SALDANHA	AMAPA-MARANHAO		52	MICROFAUNA	DG-06 - VII - D.H.N.
A 2	I-16	60	"	"	"	CABO FRIO - VITORIA		59	BENTO	DG-06 - X - D.H.N.
A 3	K-16	61	"	"	"	CABO FRIO - P. DO BOI		59	"	DG-06 - XII - D.H.N.
A 4	E-6	61	"	"	SIRIUS	ATOL DAS ROCAS		8	MICROFAUNA	T.O.U.F.P. (7/8) p. 91
A 5	H-12	61-62	C.N.R.S.	M.H.N.	CALYPSO	COSTA ATLANTICA - AM DO SUL		184	PESCA BENTO	FOREST.1966-AN. INST.OC.(44) p.21
A 6	G-10	65	SUDENE	LACIMAR	AKAROA	ALAGOAS - SERGIPE		200	PLANTON-BEN	1970. T.O.U.F.P. (9/11)
A 7	F-7	65-66	"	"	CANOPIUS	PERNAMBUCO - CEARÁ		117	BENTO	T.O.U.F.P. (9/11) p. 9
A 8	E-6	68	D.H.N.	D.H.N.	SALDANHA	NORTE - NORDESTE	N-NE-I	183	"	D.G.-26-XI - D.H.N.
A 9	J-5	68	"	"	"	"	N-NE-II	32	"	D.G.-26-XII - D.H.N.
A10	J-6	69	"	"	"	NORTE	GEOMAR-I	80	"	D.G.-32-I - D.H.N.
A11	L-4	70	"	"	"	"	GEOMAR-II	91	"	RELAT. DE BORDO
A12	N-2	71	"	"	"	"	GEOMAR-III	136	"	T.O.U.F.P. (9/11) p. 95
A13	F-9	65	LACIMAR	LACIMAR	Serra Azul	PERNAMBUCO		160	"	
A14	N-22	72	D.H.N.	D.H.N.	CANOPIUS	SUL	GEOMAR-IV	122	"	RELAT. DE BORDO
A15	F-6	69	SUDENE	LACIMAR	SALDANHA	PERNAMBUCO		114	"	T.O.U.F.P. (9/11) p. 95
A16	F-9	68-69	"	"	PESQUEIRO	"	LESTE I	36	"	T.O.U.F.P. (9/11) p. 111
A17	G-14	68	D.H.N.	D.H.N.	SALDANHA	LESTE	LESTE III	16	"	AN.ACAD.BRAS. CI. (no prelo)
A18	E-15	71	"	"	"	"		11	"	

- 04 — N.O.D.C. — National Oceanographic Data Center — Descrições preliminares de testemunhos pelo Lamont-Doherty Geological Observatory
- 05 — Relatórios de bordo — GEOMAR I a IV — D.H.N.
- 06 — DN 63-7 — Catálogo de cartas náuticas e publicações, 1966 D.H.N.
- 07 — Folheto D.H.N. — «Navegue com Segurança»
- 08 — IR NO. 67-52 — U.S. Naval Oceanographic, Office Geomagnetic Surveys.
- 09 — T.O.U.F.P. — Trabalhos Oceanográficos da Univ. Fed. de Pernambuco
- 10 — R.G.P.D.G. — Revue de Geographie Physique et Geologie Dynamique
- 11 — S.B.G. — Sociedade Brasileira de Geologia
- 12 — An. Inst. Oc. — Annales du Institut Oceanographique
- 13 — An. Acad. Bras. Ci. — Anais da Academia Brasileira de Ciências
- 14 — Atlas Oceanográfico — D.H.N.
- 15 — Publicações da D.H.N. das séries: DG 06, 20, 26 32 e G 10 36, 48, 85, 87, 96, 291, 295, 296.
- 16 — Barreto, Mário R. — História da Hidrografia nas Costas do Brasil, D.H.N. 1965.



# SURFICIAL SEDIMENTS OF THE BRAZILIAN CONTINENTAL MARGIN <sup>(1)</sup>

By

JOHN D. MILLIMAN<sup>(2)</sup>, HENYO T. BARRETTO<sup>(3)</sup>, LEOPOLDO A. BARRETO<sup>(4)</sup>,  
MARCIO P. A. COSTA<sup>(4)</sup> and ODIMO FRANCISCONI<sup>(4)</sup>

## ABSTRACT

The nature and distribution of sediments on the continental margin of Brazil have been defined on the basis of more than 800 bottom samples and numerous chart notations. The uneven distribution of sediment samples does not allow an equally detailed description of all area, but three major sedimentary provinces are recognized.

1) Sediments off the Amazon — Pará River complex (extending as far southeast as Fortaleza) are terrigenous. South of the Amazon, shelf sands are predominantly orthoquartzitic and presumably were derived from coastal plain areas. Feldspar and heavy mineral-rich sediments characterize the sediments deposited by the Amazon. Deposition of silt and clay has been limited to nearshore areas by the Guiana Current. As a result sediments on the outer shelf and upper slope are dominated by relic shallow-water carbonate-rich sands.

2) Sediments on the continental shelf off northern, northeastern and eastern Brazil, from Fortaleza to Cabo Frio, are dominantly carbonate-rich sands. These sands are characterized by large quantities of coralline algae and lesser amounts of *Halimeda* and bryozoan fragments. The only modern terrigenous sediments occur near the mouths of large rivers, such as the São Francisco and Doce.

3) Sediments on the shelf and slope south of Cabo Frio are mainly terrigenous. Except for nearshore and outer shelf bands of sands, most of the sediment is mud. Apparently this sediment was derived from the nearby coastal mountains and by the northward transport of Rio de la Plata sediments by the Malvinas Current. The lack of carbonate sediments in this area is the result of high rates of terrigenous deposition combined with relatively low water temperatures.

## INTRODUCTION

The first sediment studies on the Brazilian continental margin were made during the HMS CHALLENGER expedition to the area in 1873. A subsequent cruise by the METEOR (1922-1924) collected more than 30 additional samples (Correns, 1937; Pratje, 1935). For the most part, however, an intensive study of the

surficial sediments on the Brazilian continental margin did not begin until programs initiated in the mid to late 1960's by several Brazilian universities and governmental agencies. By the end of 1972 these investigations resulted in the collection of more than 1500 sediment samples, the locations of many of which are shown in Figures 1-4. Although the location of many samples from the shelf off southern Bahia and Santa Catarina are not shown in these maps, the uneven distribution of sample data is obvious. The best studied area is the shelf off the Amazon River, from which nearly 500 sediment samples have been collected and where sample density locally exceeds 1 sample per 100 km<sup>2</sup>. In contrast, the shelf south of the Amazon is poorly sampled and locally (especially south of Santos) the sample density is less than 1 sample per 10,000 km<sup>2</sup> (Figure 4).

This uneven sample distribution necessitates that any discussion of sediment characteristics on the Brazilian continental margin be directed towards those areas with best coverage. For the sake of ease in graphic presentation the Brazilian margin has been divided into four areas: The Amazon Shelf stretching from Cabo Orange to Ceara State, the northern and northeastern area, extending to 11°S, eastern Brazil, between 11° and 22°S and southern Brazil, 22° to 34°S. In the following discussion, major emphasis is placed upon the Amazon Shelf. Discussions of the other areas are limited to only the most basic parameters.

(1) Contribution No 2654 of the Woods Hole Oceanographic Institution, Woods Hole, Massachusetts, 02543.

(2) Woods Hole Oceanographic Institution, Woods Hole, Massachusetts, U.S.A.

(3) Cenpes/Depro, PETROBRAS, Rio de Janeiro, Brazil.

(4) CPRM, Rio de Janeiro, Brazil.



## METHODS

A total of 800 sediment samples were analyzed during this study. Sediment size (percentages of gravel, sand, silt and clay), percent carbonate (determined by both gasometric and acid-leaching techniques), percent organic nitrogen (determined by Kjeldahl analysis), carbonate components, heavy minerals, iron-staining, roundness and quartz, feldspar and glauconite contents were measured. The last six parameters were measured on the insoluble 125-250 micron fraction (Milliman, 1972).

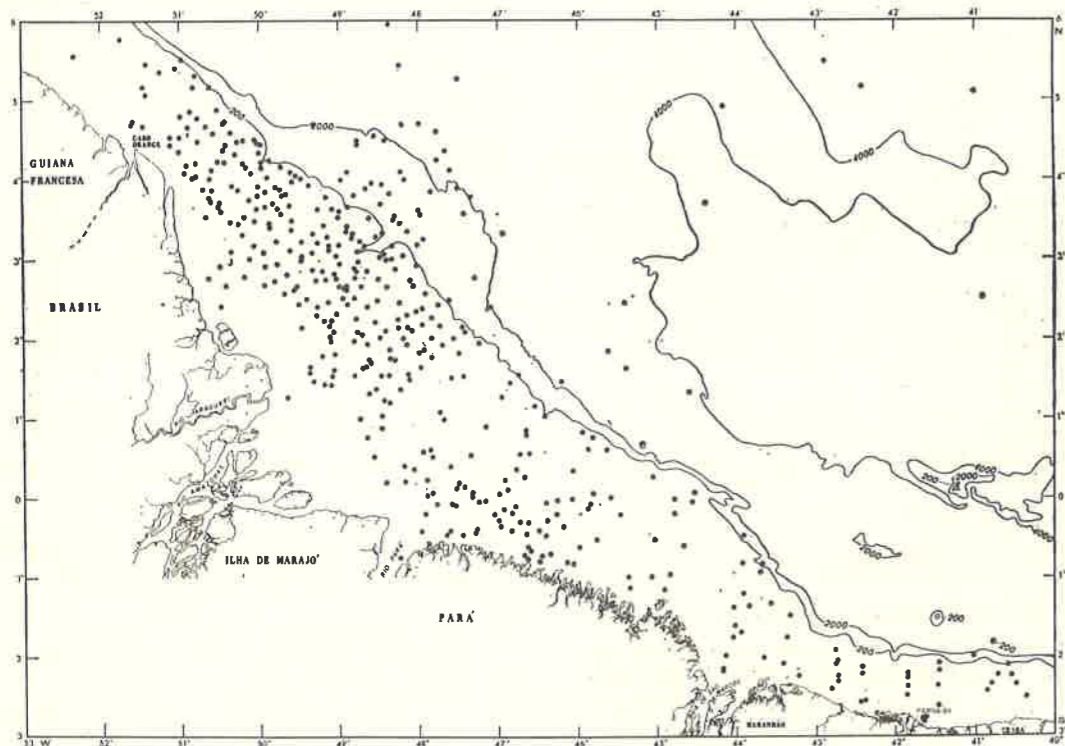
## AMAZON SHELF

**Sediment Texture** — As mentioned above, the relatively close sample spacing on the Amazon Shelf allow us to discuss the distribution of many more petrographic parameters than possible for the more sparsely sampled shelves. The nearshore sediments north of the Pará River are dominated by silt and clay; sand generally accounts for less than 10 percent of the nearshore sediment (Figure 5). Southeast

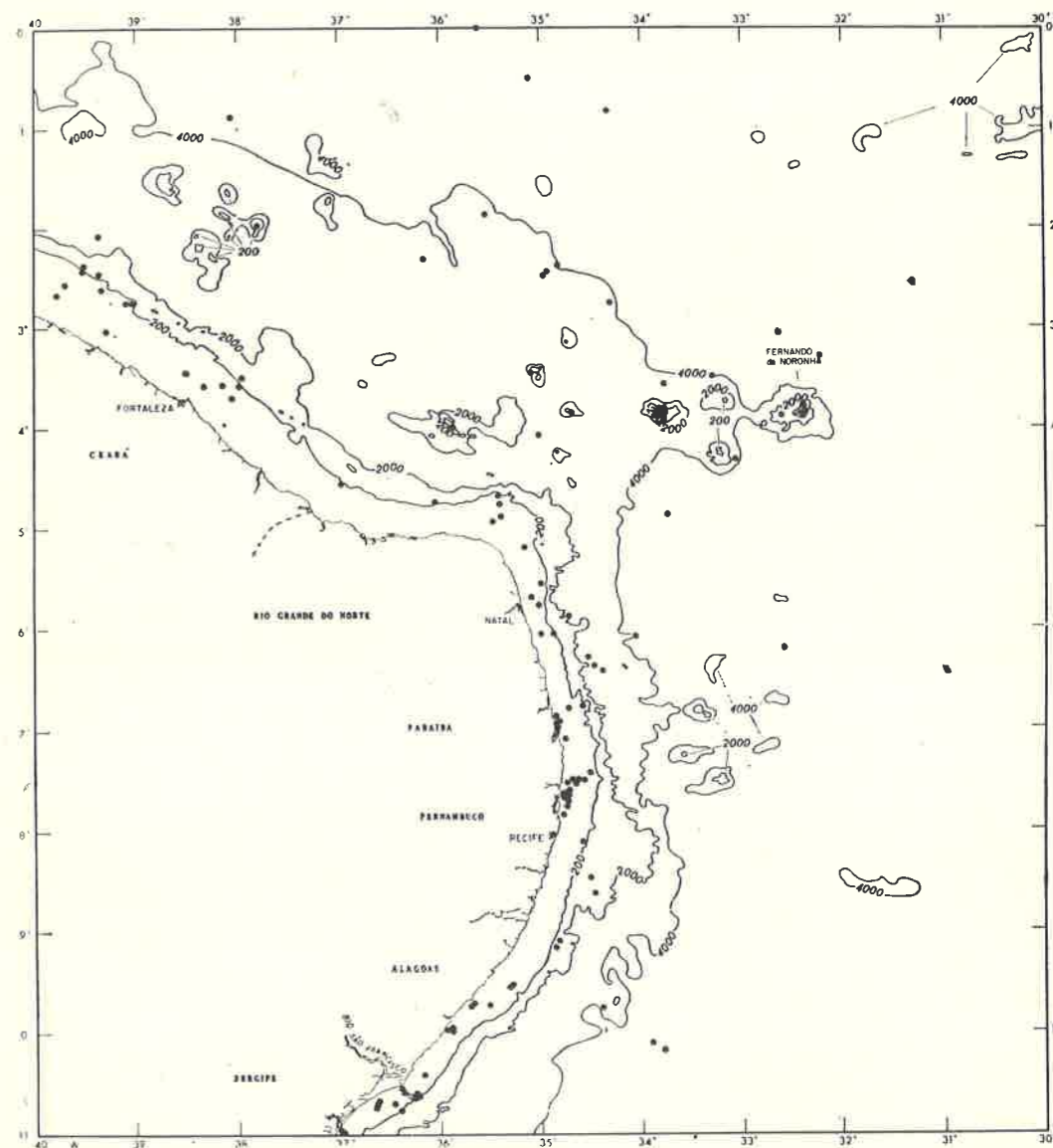
of the Pará and offshore from the Amazon-Pará complex, the shelf sediments tend to be composed almost entirely of sand. Generally outer shelf sediments contain less than 5 percent silt and clay. On the continental slope silt and clay contents increase with increasing water depth.

A band of sand-rich sediment extends onto the inner shelf just north of the present-day Amazon River. Morphological evidence (Zembruski and others, this volume), together with petrographic data presented elsewhere in this paper, suggests that this band of coarse sediment was deposited in a channel of the Amazon River during the last low stand of sea level.

**Calcium Carbonate** — The amount of calcium carbonate in Amazon Shelf sediments increases sharply offshore. Inner shelf sediments generally contain less than 5 percent calcium carbonate, whereas outer shelf and upper slope sediments can contain more than 95 percent (Figure 6). Generally, however, outer shelf sediments north of the Pará River contain between 25 and 50 percent carbonate, although isolated sediment patches contain far



Distribution of sediment samples off the Amazon shelf. Isobaths are in meters.



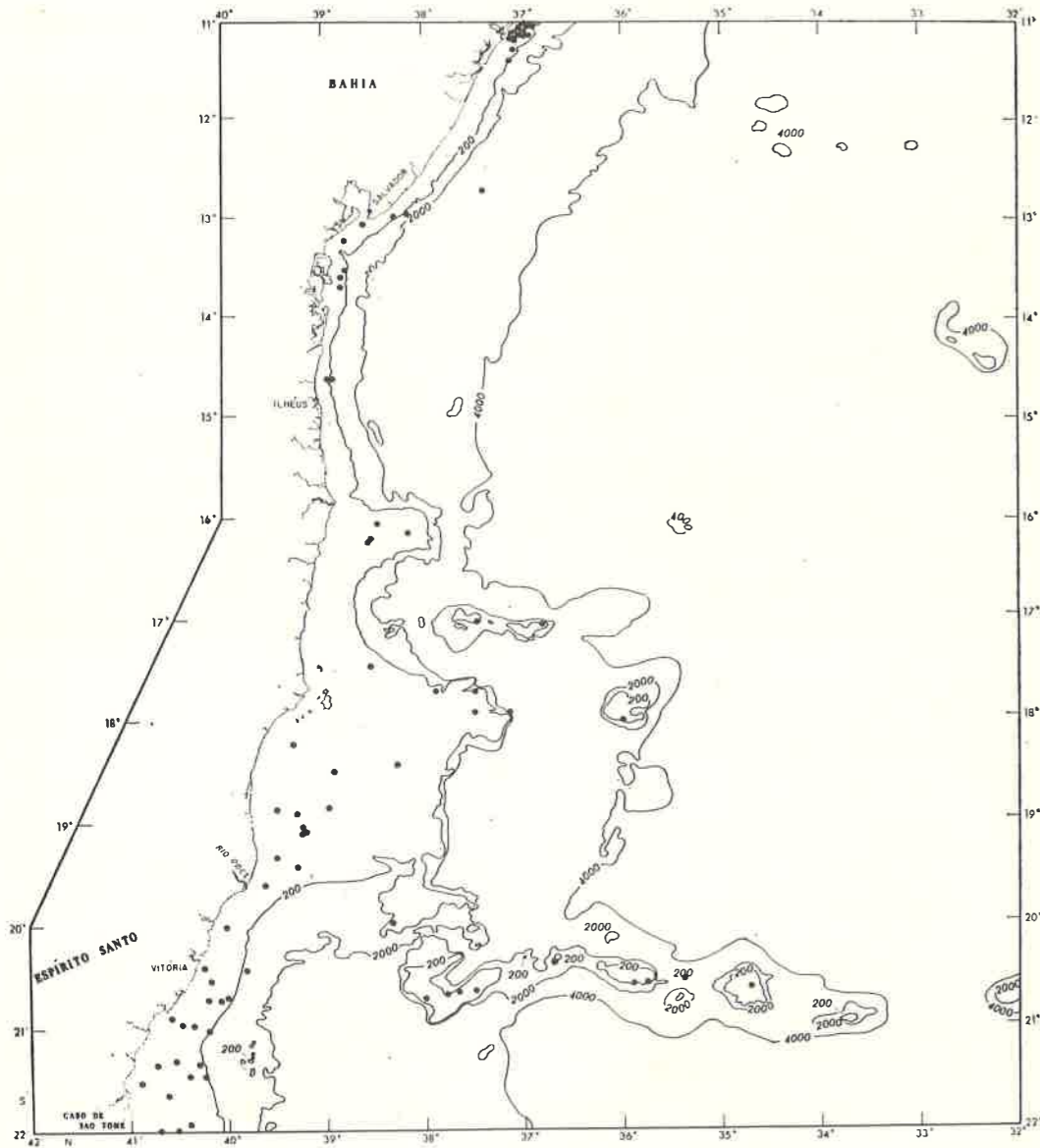
2 — Distribution of sediment samples off northern and northeastern. Isobaths are in meters.

higher concentrations. Sediments southeast of the Pará contain slightly higher amounts of carbonate, especially those sediments southeast of São Marcos Bay.

One interesting feature is the presence of lobes of carbonate-poor and -rich sediments across to the outer shelf. Sediments containing less than 5 percent carbonate lie no more than 10 to 20 km away from sediments with more than 75 percent carbonate (Fig. 6). Particularly notable are the several lobes of carbonate-poor sediment near the Amazon Canyon and off the

Pará River and São Marcos Bay. Perhaps these lobes represent relic fluvial channel deposits.

The components contributing to the carbonates on the Amazon Shelf are a function of both sediment texture and carbonate content. Inner shelf low-carbonate muds contain mollusk debris (mainly bivalves) together with lesser amounts of echinoid fragments (both tests and spines) and benthonic foraminifera. Outer shelf sediments contain large quantities of coralline algae, bryozoans and benthonic

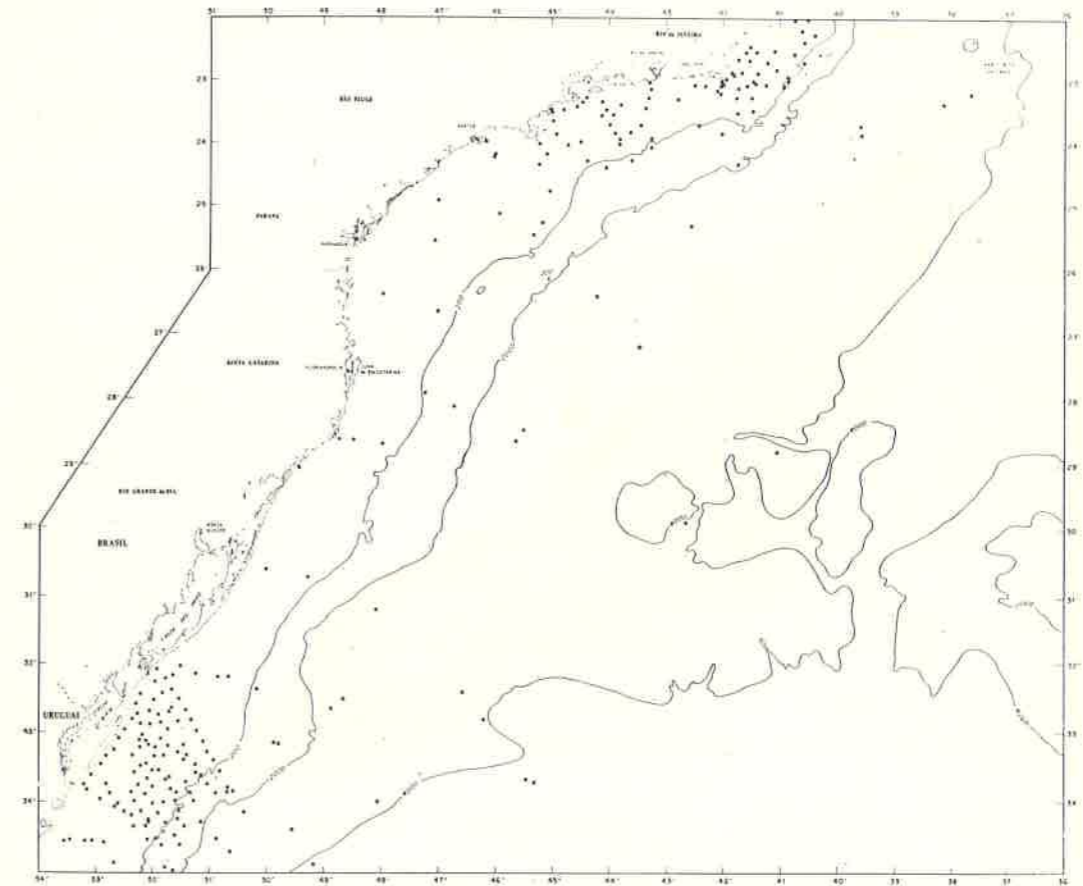


3 — Distribution of sediment samples off eastern Brazil. Isobaths are in meters.

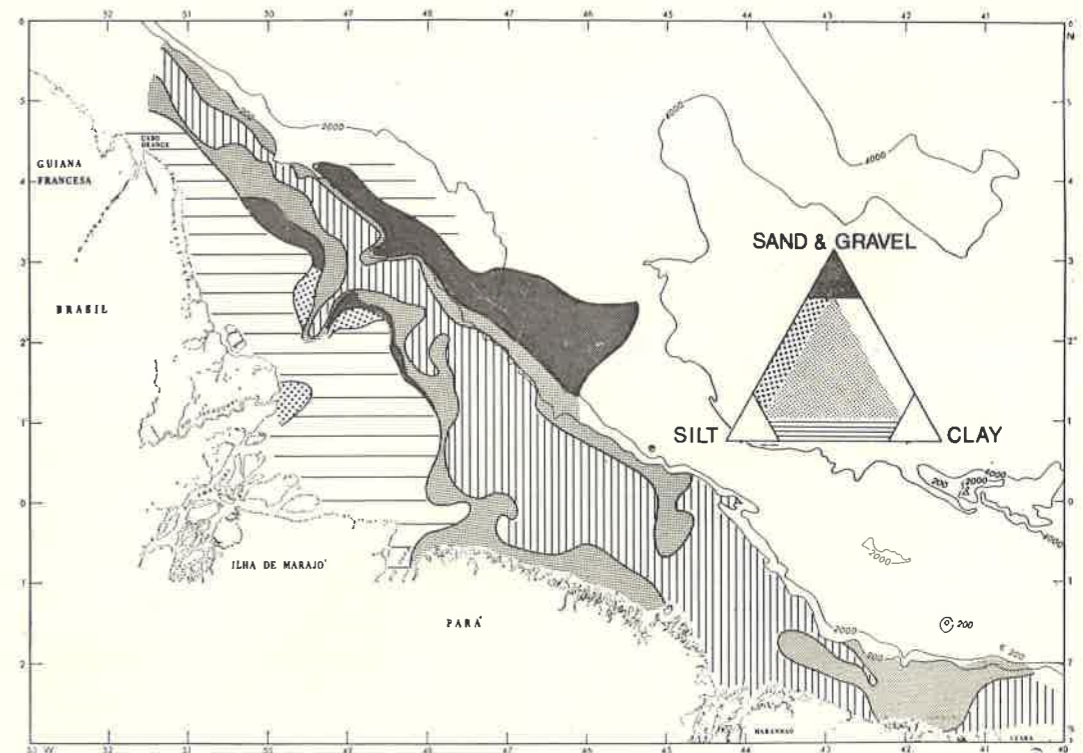
foraminifera (especially miliolids and amphigasterinids; both of which are mostly discolored, suggesting that they are relic). A belt of magnesian calcite ooids extends along the outer shelf and upper slope off the Amazon Canyon (Milliman and Barretto, in preparation) and limestone fragments, probably indicative of a broad nearsurface outcrop, occur along the outer shelf.

**Organic Matter (Nitrogen)** — The organic content of sediments can best be quantified in terms of nitrogen; organic content is equal

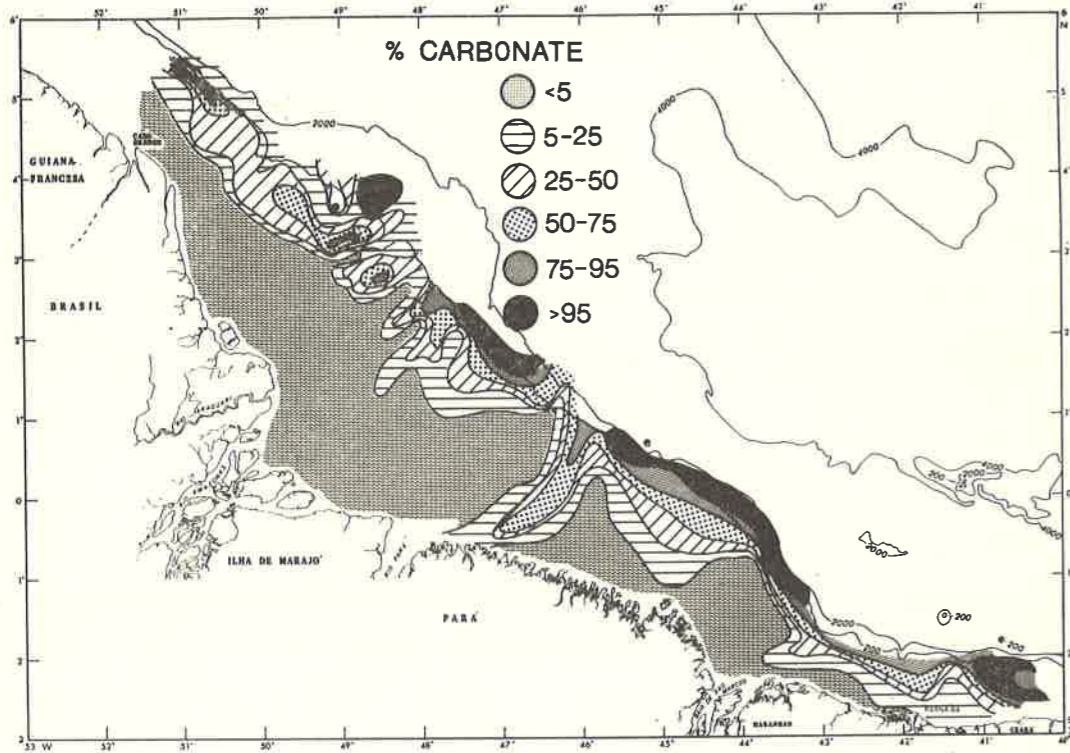
to approximately 20 times the nitrogen content. Organic matter on the Amazon Shelf follows the distribution of mud. Highest organic contents occur in the nearshore and upper slope muds, lowest concentrations in the shelf sands (Figure 7). The relation of nitrogen content to sediment size appears to be more or less linear but it does not follow the trend derived for the sediments off the eastern United States (Figure 8). This may reflect differences in climates or sources of organic matter between the two areas.



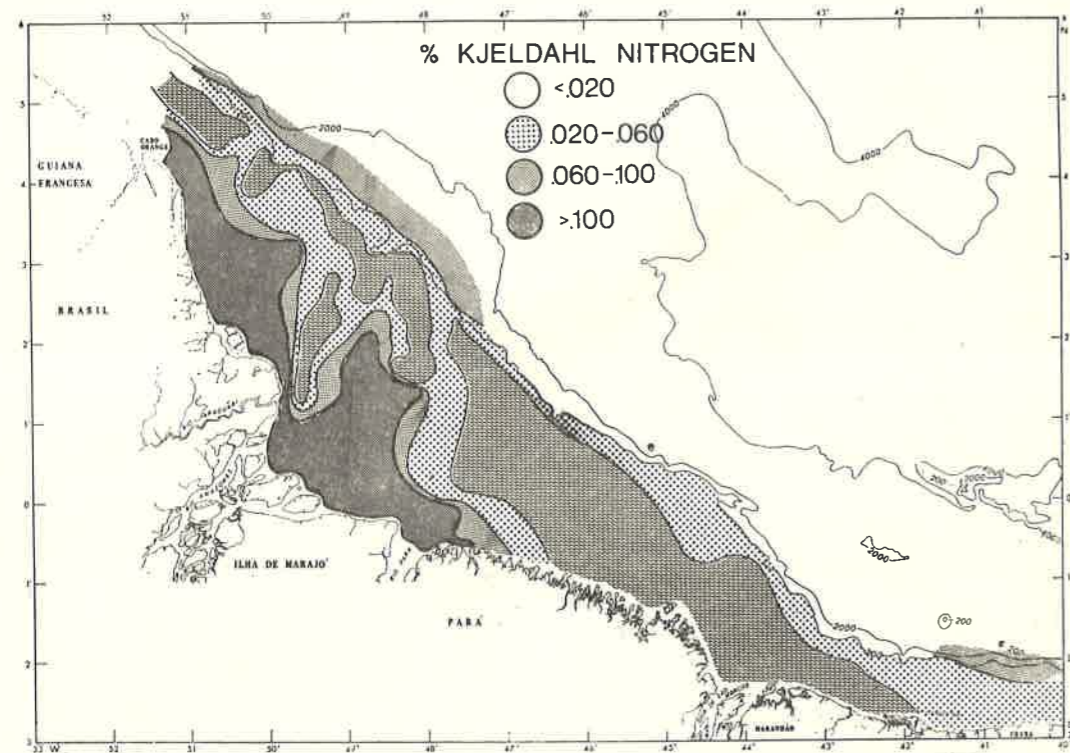
4 — Distribution of sediment samples of southern Brazil. Isobaths are in meters.



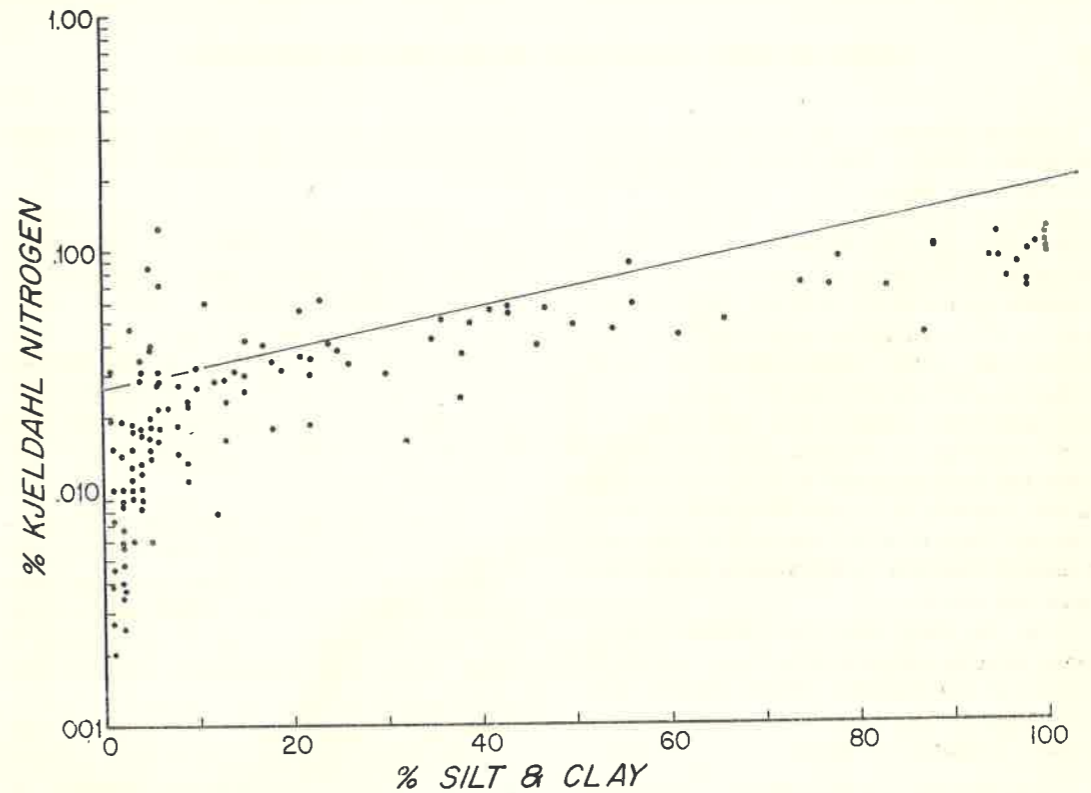
5 — Size distribution of sediments on the Amazon Shelf.



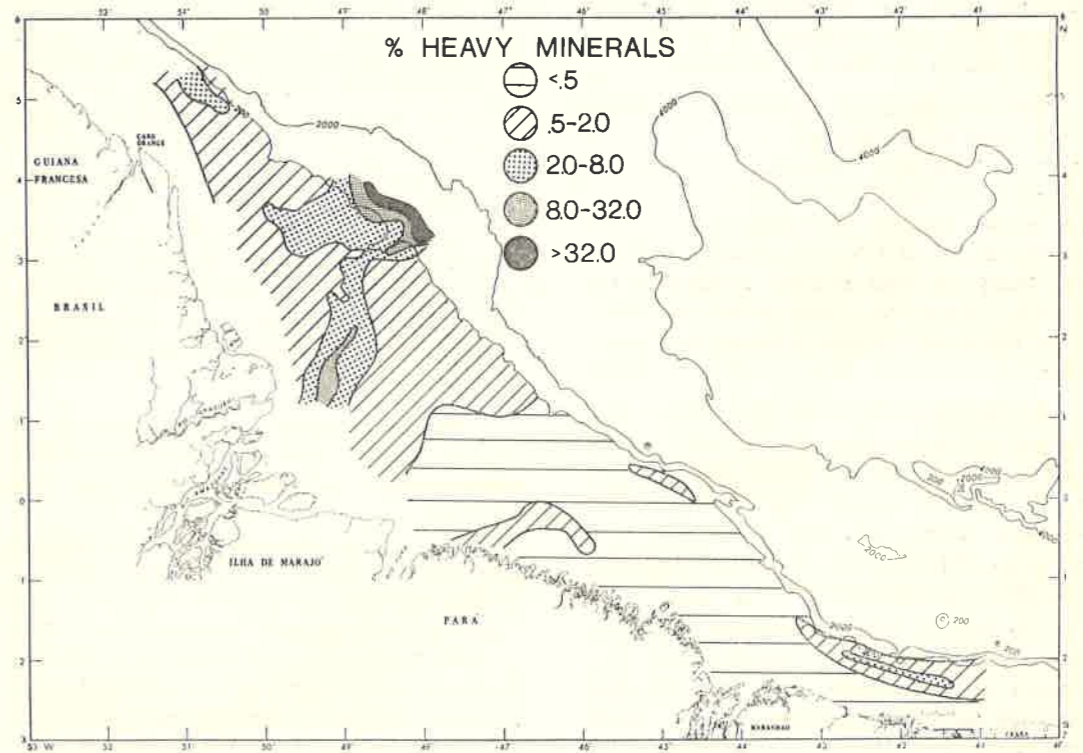
6 — Carbonate content in the Amazon Shelf sediments.



7 — Distribution of kjeldahl nitrogen in the Amazon Shelf sediments.



8 — Variation of sediment size (expressed as silt plus clay) versus nitrogen. Finer grained sediments tend to contain greater amounts of organic matter. However, it should be noted that the trend of nitrogen versus sediment size on the Amazon Shelf does not fit the trend line derived by Emery and Uchupi (1972) (solid line) for the sediments of the eastern United States.



9 — Distribution of heavy minerals (within the carbonate-free 125-250 micron sand fraction) along the Amazon Shelf. Note that the divisions are geometric not linear progressions.

**Heavy Minerals** — Heavy mineral (specific gravity greater than 2.88) content generally accounts for less than 0.5 percent of the carbonate-free 125-250 micron fraction on the shelf southeast of the Pará River. One notable exception is the high concentration of heavy minerals on the outer shelf off Parnaíba (Figure 9). Shelf sediments northwest of the Pará contain far higher concentrations of heavy minerals, generally between 0.5 and 2.0 percent, but with a band of very high concentrations (reaching 28 percent) along the axis of what has been suggested to be a relic channel of the Amazon. A further discussion of these minerals, most of which are detrital, has been presented elsewhere in this volume (Pomerancblum and others).

On the slope near the Amazon Canyon heavy mineral concentrations locally exceed 50 percent of the insoluble 125-250 micron fraction. Most of this material is limonite, presumably authigenic in origin.

**Iron-staining and Roundness** — Sediments southeast of the Amazon are comparatively free of iron-staining, as are the inner shelf sediments northwest of the Amazon (Figure 10). The outer shelf, however, is covered by sediments which are extensively iron-stained; in places more than 95 percent of the insoluble 125-250 micron fraction is iron-stained.

The roundness of sedimentary particles can be used as one measure of the amount of transport (and thus maturity) of a sediment. Roundness characteristics of the insoluble 125-250 micron fraction correspond closely with the distribution of other petrographic parameters. Shelf sediments southeast of the Pará are generally subrounded to subangular, while those to the northwest are mostly subangular to angular.

**Quartz and Feldspar** — The insoluble sand fractions of most sediments on the Amazon Shelf are dominated by quartz and feldspar. In the 125-250 micron light fraction most sediments contain less than 25 percent rock fragments and glauconite, the remainder being composed of quartz and feldspar.

The ratio of feldspar to quartz (feldspar/(quartz + feldspar)) varies greatly over the Amazon Shelf. Southeast of the Pará the shelf sediments are highly quartzitic feldspar rarely constituting more than a few percent of the light fraction (Figure 11). To the northwest, on the other hand, the sediments are signifi-

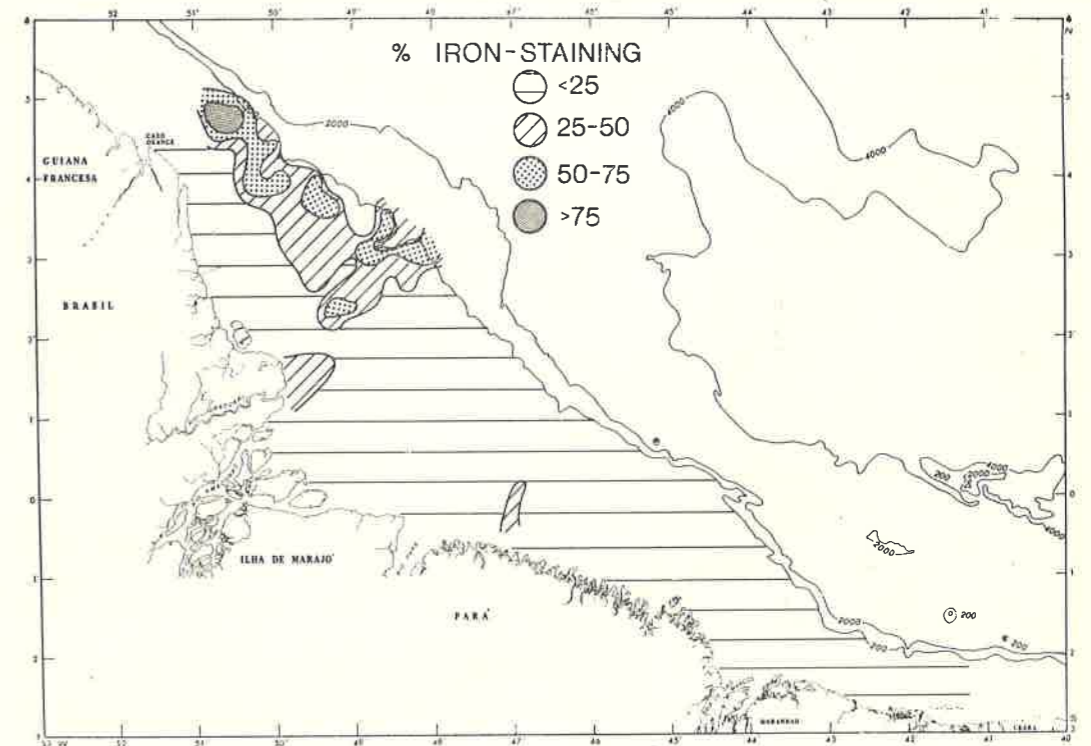
cantly more arkosic, the  $f/(q+f)$  ratio averaging between 15 and 25 percent.

**Glauconite** — Glauconite on the Amazon Shelf is generally present as green-black pellets, which suggests that it was derived from pre-existing formations (detrital) rather than being authigenic (Milliman, 1972). Shelf sediments north of the Pará contain between 5 and 25 percent glauconite (within the insoluble 125-250 micron light fraction) while those to the south contain appreciably less (Figure 12).

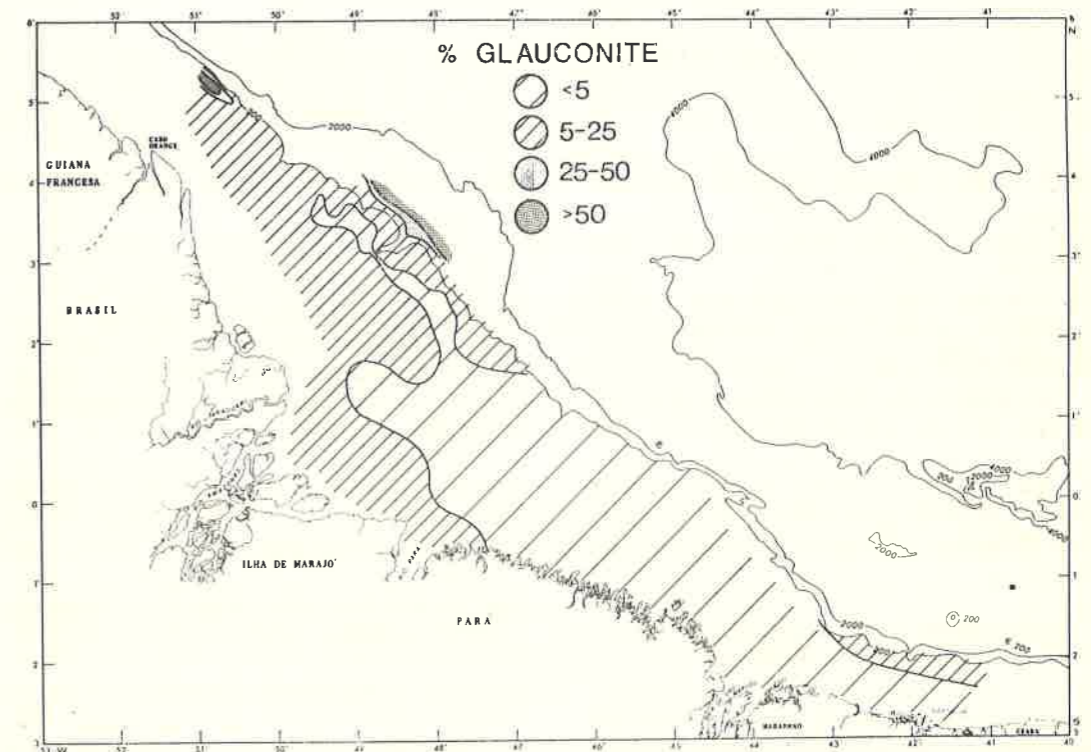
A different type of glauconite is an important component in the slope sediments near the Amazon Canyon. Here light green grains are present as internal molds within foraminiferal and other skeletons as well as replacements of fecal pellets. This glauconite is probably relatively recent in age. The coincidence of glauconite- and limonite-rich sediments on the Amazon Slope suggests special environmental conditions which facilitate the formation of both types of grains. At present, however, the specific environment is not defined.

**Summary** — The sediments of the Amazon Shelf belong to two well-defined petrographic provinces. Southeast of the Pará are subrounded to subangular clear orthoquartzitic sands, relatively free of glauconite and heavy minerals; carbonate contents tend to be high. The shelf to the northwest is dominated by sediments with an angular to subangular sand fraction, rich in feldspar, heavy minerals and glauconite and relatively poor in carbonate. Presumably this latter province represents sediment derived from the Amazon, while the more mature sediments to the southeast may represent coastal plain sediments derived from the neighboring coastline.

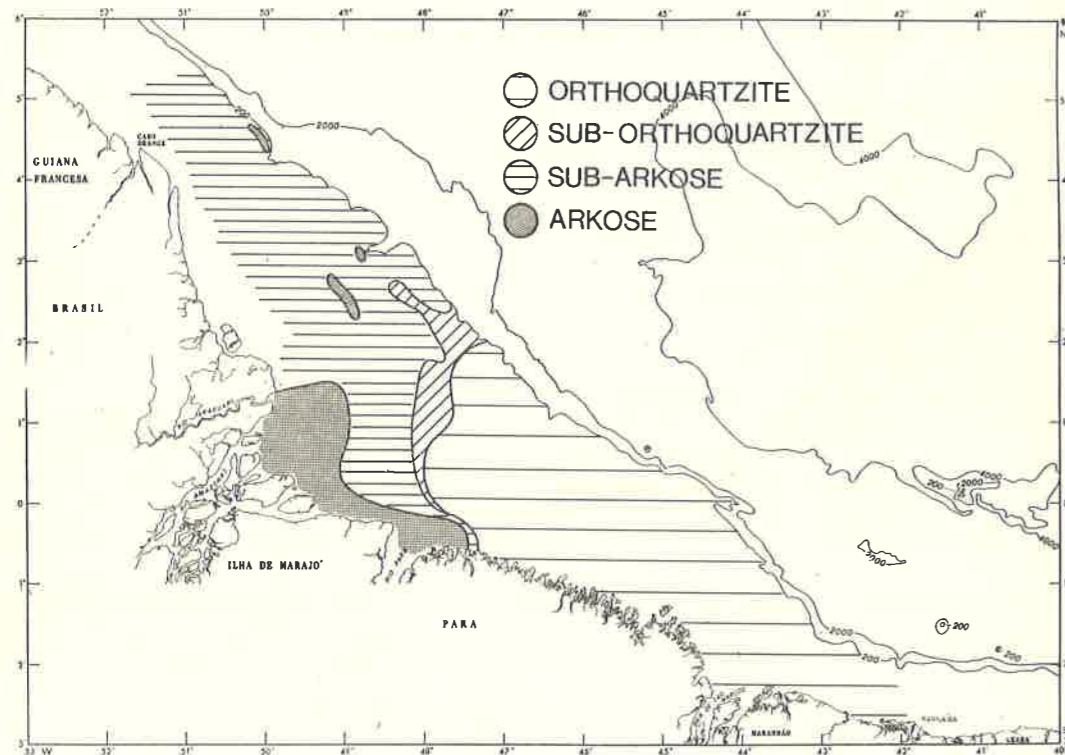
The high amount of mud found in the nearshore areas north of the Amazon undoubtedly reflects Holocene sedimentation. The offshore sands containing shallow-water carbonates (particularly benthonic foraminifera and ooids) probably were deposited primarily during the last low stand of sea level. The iron-stained outer shelf sediments north of the Amazon imply subaerial (lateritic) weathering. Another possible relict of low sea level is the presence of possible river channels which can be delineated by several petrographic parameters. The sharp delineation between modern Holocene muds and relic (mixed with resi-



10 — Iron staining in the insoluble 125-250 micron light-mineral fraction on the Amazon Shelf.



11 — Variation of feldspar and quartz in the sediments on the Amazon Shelf. By calculating the ratio feldspar/(quartz + feldspar) within the insoluble 125-250 micron light fraction, sediments can be grouped into four categories according to Pettijohn (1957): Orthoquartzitic ( $f/(q + f) < .05$ ), sub-orthoquartzitic ( $f/(q + f) = .05 - .10$ ), sub-arkosic ( $f/(q + f) = .10 - .25$ ) and arkose ( $f/(q + f) > .25$ ).



12 — Percentage of glauconite in the insoluble 125-250 light fraction.

dual?) sands is probably caused by the strong equatorial Guiana Current which carries modern Amazon sediment along the coast to the northwest (for example, see Eisma, 1967; Eisma and van der Marel, 1971) and also prevents terrigenous sediment from accumulating on the outer shelf.

At present the slope sediments near the Amazon Canyon are poorly known, but the upper slope appears to be an area in which relatively little carbonate is accumulating. Detrital sediments are augmented by the large-scale formation of authigenic glauconite and limonite.

#### NORTHERN AND NORTHEASTERN BRAZILIAN MARGIN

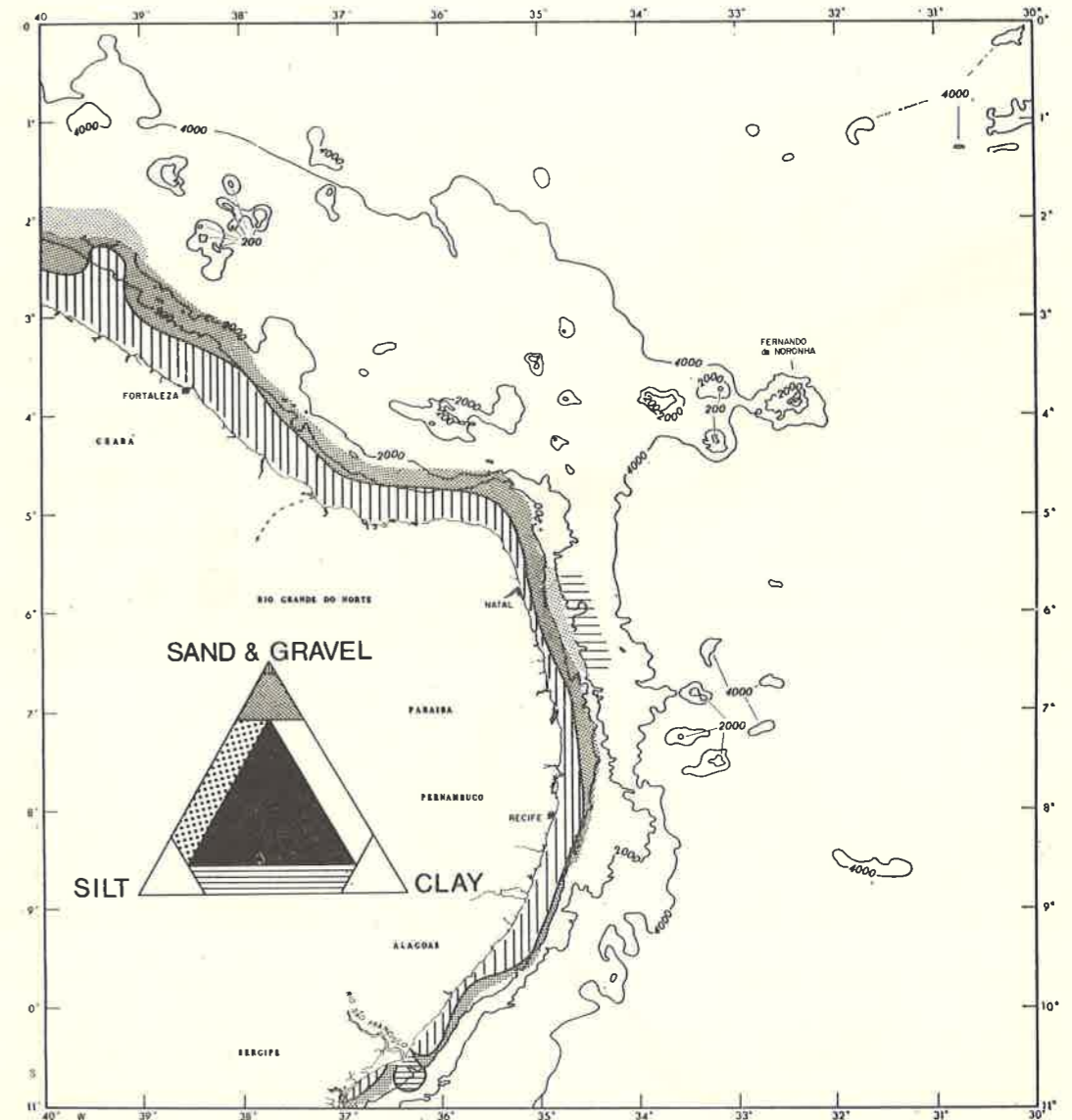
The few samples that have been collected and studied permit only a preliminary discussion of the sediments in this area (Figure 2). Shelf sediments are mostly coarse-grained, sand and silty sand being the dominant sediment types (Figure 13). The only notable exception is the

lens of fine-grained sediment off the São Francisco River.

Nearshore and mid-shelf sands west of the state of Natal are rich in quartz (orthoquartzitic). Carbonate content generally is less than 5 percent (Figure 14). To the south, carbonate values increase, largely in response to low terrigenous influx. Carbonate-rich sediments in this area dominated by large quantities of coralline algae and associated organisms (particularly *Halimeda*, bryozoans and tropical foraminifera) (Kempf, 1969a, 1969b; Mabesoone and Coutinho, 1970). Sediments adjacent to the São Francisco River contain relatively small amounts of carbonate (mainly molluscan debris).

#### EASTERN BRAZIL

Presently available sediment samples from this area allow us an even poorer picture of sedimentary parameters than for the northern and northeastern shelf (Figure 3). Except for areas immediately adjacent to the São Fran-

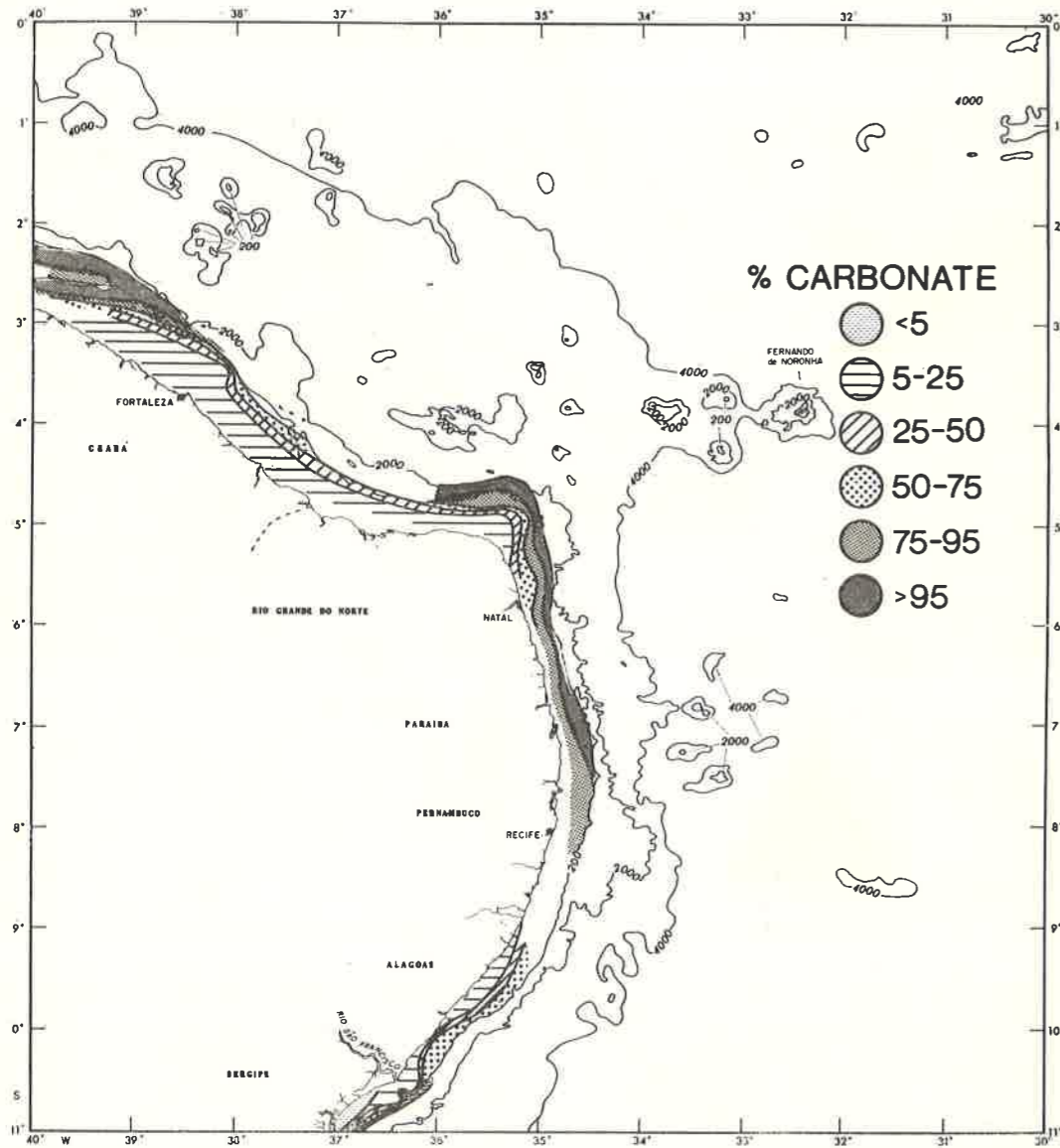


13 — Distribution of sediment types on the northern and northeastern shelf.

cisco and Doce Rivers, sediments appear to be composed of sand and gravel (Figure 15). Preliminary data suggest that carbonate-rich sediments predominate over most of the middle and outer shelf (Figure 16). Apparently the coralline algae assemblage is very common, especially on the banks of Bahia and Espírito Santo states (see the article by Kempf in this volume).

#### SOUTHERN BRAZIL

The number of sediment samples available from this area are so few (Figure 4) that sedimentological parameters can be inferred only with the aid of bottom notations on navigation charts. When these two sources of data are combined, a rough picture of the distribution of sediment texture is obtained.

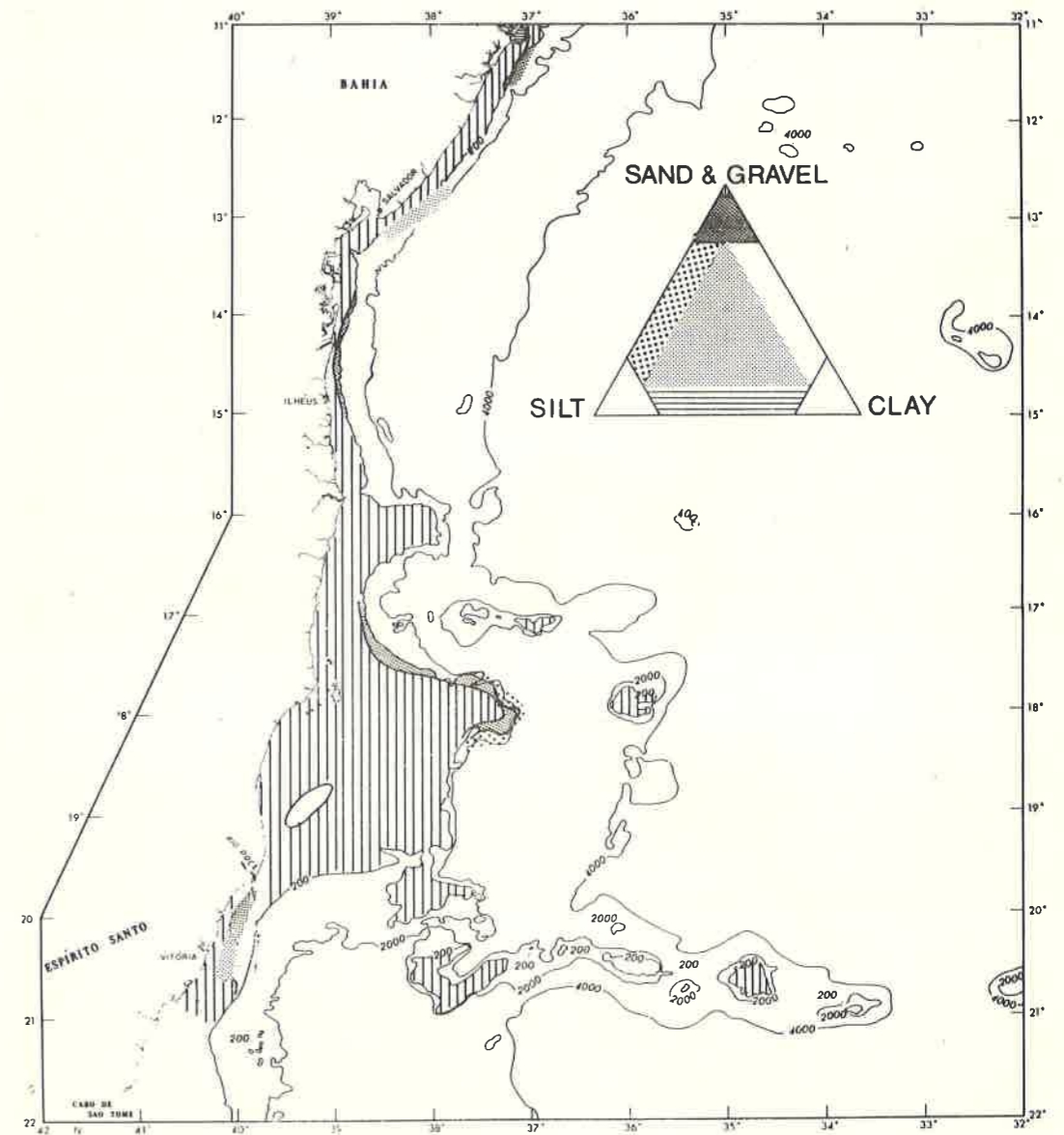


14 — Distribution of calcium carbonate in the shelf sediments of northern and northeastern Brazil.

North of Cabo Frio, sands and gravels predominate. To the south, shelf sediments contain large quantities of silt and clay; except for nearshore bands of sand off São Paulo, Paraná and Rio Grande do Sul states, most of the shelf sediment is dominated by mud (Figure 17).

Available data concerning carbonate distribution on the southern Brazilian shelf are very scattered. The sediments appear to be

low in carbonate, the inner shelf sediments containing appreciably less than 25 percent  $\text{CaCO}_3$  (Figure 18). The algal-rich sediments which characterize the shelf off eastern, northeastern and northern Brazil are largely absent south of Cabo Frio (Kempf, this volume), probably in response to both the greater influence of terrigenous sedimentation and the seasonal influence of temperate waters brought northward by the Malvinas Current. Primary

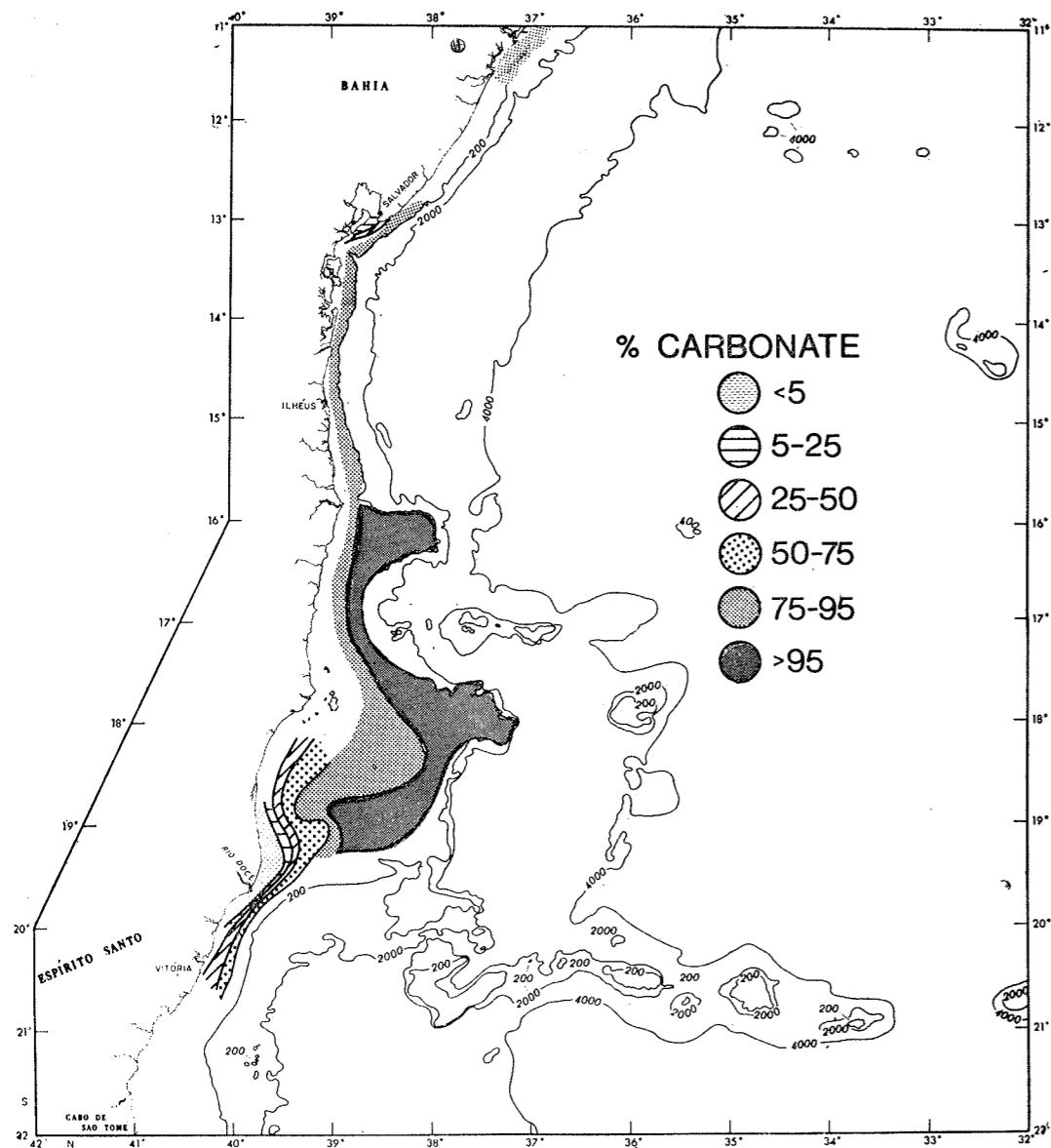


15 — Distribution of sediment types on the eastern Brazilian shelf.

carbonate components on the southern shelf include bivalves, benthonic foraminifera and (locally) bryozoans.

Preliminary data indicate that the sediments range from suborthoquartzite to arkose, with differing amounts of heavy minerals (generally less than 5 percent of the insoluble 125-250 micron fraction). The source of this detrital-rich mud is not known, but three

possibilities seem likely: 1) modern Rio de la Plata sediments carried northward by the Malvinas Current; 2) Terrigenous sediment derived from the neighboring coastal mountains; 3) relic lagoon deposits similar to those forming in neighboring coastal lagoons (such as Lagoa dos Patos). Further studies on the detrital mineralogy and suspended matter in the shelf waters should help resolve this problem.

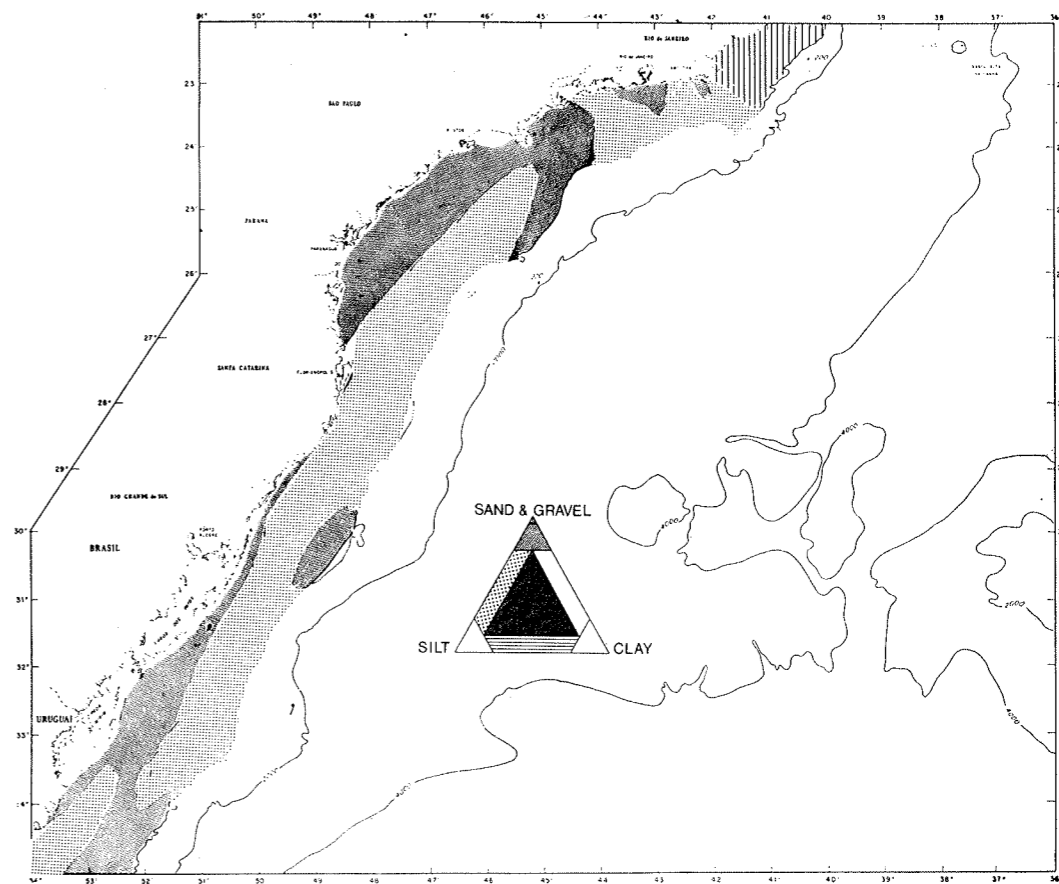


16 — Percent carbonate in the sediments off eastern Brazil. The lack of contours is the result of the few sediment analyses available from this area

### CONCLUSIONS

The dense sampling pattern on the Amazon Shelf allows us to make relatively complete conclusions about the source and history of the sediments in this area. In contrast, present data do not allow us to delineate even such basic parameters as size or carbonate content over much of the rest of the Brazilian shelf.

Even with the sporadic distribution of samples, the Brazilian continental shelf can be divided into three general sedimentary provinces. 1) Off the Amazon River, sedimentation is basically detrital. Southeast of the Amazon-Pará complex, sediments appear to have been derived from coastal plain formation; sediments to the northwest were transported by the Amazon River. The Guiana Current has car-



17 — Distribution of sediment types on the southern Brazilian continental shelf.

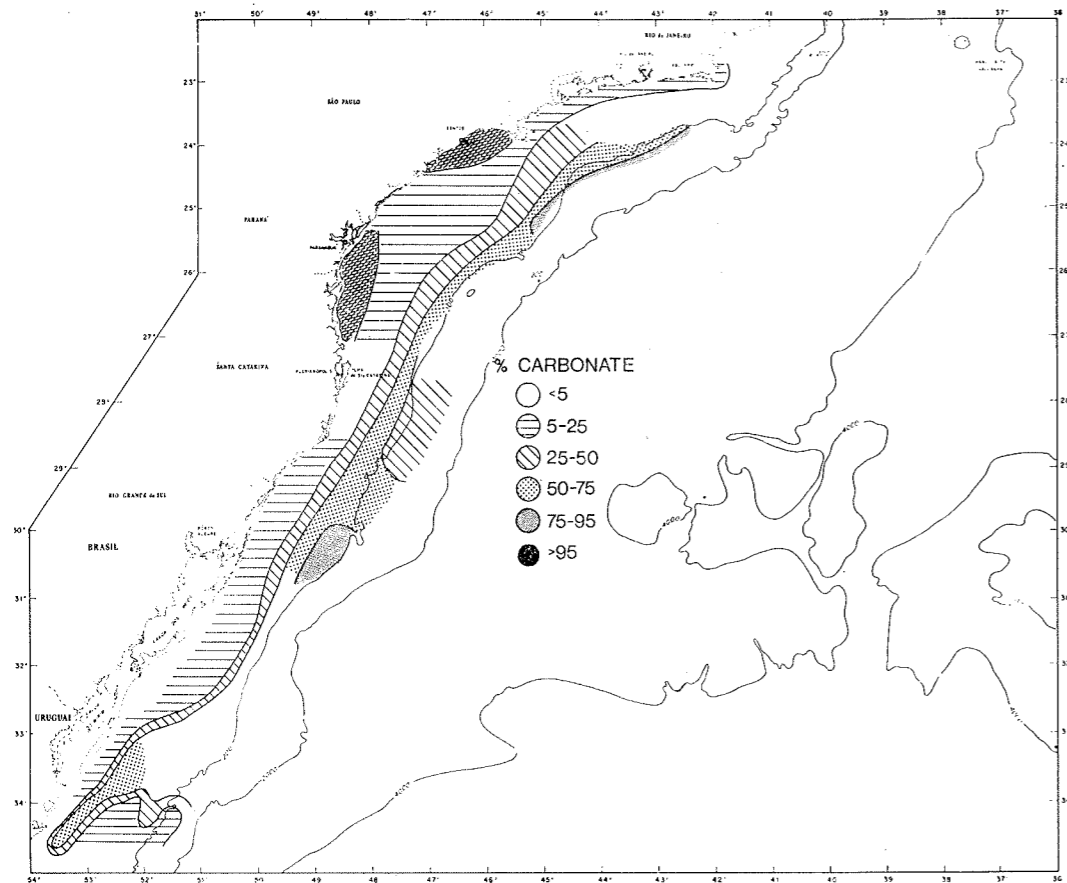
ried most modern terrigenous sediment to the northwest, although a nearshore band of Holocene Amazon mud is slowly migrating across the shelf. Carbonate deposition has supplemented sediments on the outer shelf. 2) Off northern, northeastern, and eastern Brazil, to as far south as Cabo Frio, sediments are dominated by carbonates. Coralline algal sands and gravels cover much of the bottom. Northwest of Natal and adjacent to the few major rivers in the area, sediments are terrigenous. 3) South of Cabo Frio calcium carbonate deposition becomes increasingly subdued as the waters become cooler and terrigenous sedimentation increases. The source of the detrital muds which occur over much of the southern shelf is not yet known.

Hopefully many of the gaps in our knowledge will be filled during the forthcoming BRAZIL-WHOI study of the Brazilian continental margin in 1972-73. The proposed

sediment sampling program, together with echo sounding and seismic records should give us sufficient data to delineate more accurately the composition, provenance and history of the continental margin sediments off Brazil.

### ACKNOWLEDGEMENTS

Sediment samples were supplied from many individuals and institutions and their help is gratefully acknowledged: British Museum of Natural History (J. D. H. Wiseman), National Oceanic and Atmospheric Administration (G. D. Keller), University of Miami (C. Emiliani), Lamont-Doherty Geological Observatory (R. Capo, through supporting funds of the Office of Naval Research Contract No N00014-67-A-0108-0004 and the National Science Foundation, grant GA-19690) and particularly through the Universidade Federal de Pernambuco (M. Kempf and P. Nobrega Coutinho) and the Directoria de Hidrografia e Navegação. The writers thank C. P. Summerhayes and E. Uchupi for critical reading of the manuscript. This work was supported under contract with Petroleo Brasileiro S.A. (Brazil).



18 — Distribution of calcium carbonate in the sediments on the southern Brazilian continental shelf.

#### BIBLIOGRAPHY

- CORRENS, C. W. (1937) — Die Sedimente des Äquatorialen Atlantischen Ozeans. *Wissensch. Ergeb. Deut. Atlant. Exped. ("METEOR")*, 1925-1927, v. 3(3), 298 p.
- EISMA, D. (1967) — Oceanographic observations on the Surinam Shelf. *Hydrographic Newsletter*, Spec. Publ. No 5, p. 21-53.
- EISMA, D. and van der MAREL, H. W. (1971) — Marine muds along the Guyana Coast and their origin from the Amazon Basin. *Mineral. and Petrol.*, v. 31, p. 321-334.
- EMERY, K. O. and UCHUPI, E. (1972) — Western North Atlantic Ocean: topography, rocks, structure, water, life and sediments. *Amer. Assoc. Petroleum Geologists Memoir* 17, 532 p.
- KEMPF, M. (1969a) — Nota preliminar sobre fundos costeiros da região de Itamaracá (Norte do Estado de Pernambuco, Brasil). *Trab. Ocean. Univ. Fed. Pernam.*, v. 9-11, p. 95-110.
- KEMPF, M. (1969b) — Plataforma continental de Pernambuco (Brasil). *Trab. Ocean. Univ. Fed. Pernam.*, v. 9/11, p. 111-124.
- MABESOONE, J. M. and COUTINHO, P. N. (1970) — Littoral and shallow marine geology of northern and northeastern Brazil. *Trab. Ocean. Univ. Fed. Pernam.*, v. 12, 212 p.
- MILLIMAN, J. D. (1972) — Atlantic continental shelf and slope of the United States. *Petrology of the sand fraction of sediments, northern New Jersey to southern Florida*, U.S. Geol. Survey Prof. Paper 529-J, 40 p.
- PETTIJOHN, F. J. (1957) — *Sedimentary Rocks*, New York, Harper and Bros. 718 p.
- PRATJE, O. (1935) — Die Sedimente des Südatlantischen Ozeans. *Wissensch. Ergeb. Deut. Atlant. Exped. ("METEOR")*, 1925-1927, v. 3(2), 171 p.

## DIAPIRIC STRUCTURES OFFSHORE SOUTHERN BRAZIL

By

R. LEYDEN<sup>(1)</sup> e J. R. NUNES<sup>(2)</sup>

#### ABSTRACT

Diapiric structures, attributed to salt, are observed on the continental margin of Southern Brazil. The area of diapirs is within a rough triangle with the São Paulo plateau as the base. The northern apex is not clearly defined as the zone of diapirs narrows northward but appears to be approximately where the Columbia Seamount chain meets the coast. The hypothesis that salt causes the structures observed is supported by well information from the continental shelf region or western leg of the triangle. Sonobuoy refraction, reflection information and normal reflection data are used to outline this zone of offshore diapirs.

#### INTRODUCTION

During the months of May through July of 1972 the Research Vessel ROBERT D. CONRAD of Lamont-Doherty Geological Observatory conducted geophysical studies on the continental margin of Brazil. These studies were supported by the U.S. National Science Foundation, International Decade of Ocean Exploration. The Brazilian Government granted permission for the research and provided direct assistance. Brazilian scientists from Petrobras and the National Department of Mineral Production helped to plan the cruise, gather the data and reduce the data. Although the 1972 work was mainly of a reconnaissance nature from Uruguay to the Guianas, (Fig. 1) certain regions of interest were examined more thoroughly than others. One of these regions was the São Paulo plateau.

#### RESULTS

On the São Paulo plateau (Fig. 2) two ship refraction profiles by R/V VEMA and ARA CANEPA in 1960 plus reflection profiles by R/V VEMA in 1967 had indicated that above a typical continental rise section, a near-

surface seismic horizon existed which could contain evaporites (Fig. 3) (Leyden et al., 1971). Butler, 1970 from geophysical data collected aboard the R/V OCEANOGRAPHER had pointed out that diapiric features existed in the slope region leading to São Paulo plateau. Sonobuoy refraction profiles (Ewing et al., 1969) from the shelf proper also indicated the presence of a seismic horizon, which could contain evaporites. Confirmation that salt exists on the shelf proper was provided by Petrobras from shelf exploratory drilling. At Site (1-SPS-2) salt was drilled just prior to the arrival of R/V CONRAD in Rio de Janeiro and those results were made known to the visiting scientists. With that information plus other Petrobras drill information from the Campos and Espírito Santos shelves the decision was made to follow the zone of diapiric structures, apparent on the São Paulo plateau, northward in an attempt to stratigraphically link those coastal basins offshore.

Figure 4 (for location see Fig. 2) shows the results of sonobuoy refraction profiles on the São Paulo plateau recorded during this cruise. As can be seen in Figure 4, a 4.5 km/sec horizon normally associated with the velocity of salt was not consistently recorded in these profiles. It is the opinion of the authors that the extremely rough topography exhibited in the normal reflection profiles caused a wide scatter in velocities. With such steep dips, wide angle reflections often occur and may be picked as refractions on the original records. Wide angle reflection from horizontal bedding planes are easily distinguished

(1) Lamont-Doherty Geological Observatory Palisades, New York U.S.A.

(2) Petrobrás — RPBA-Direx.



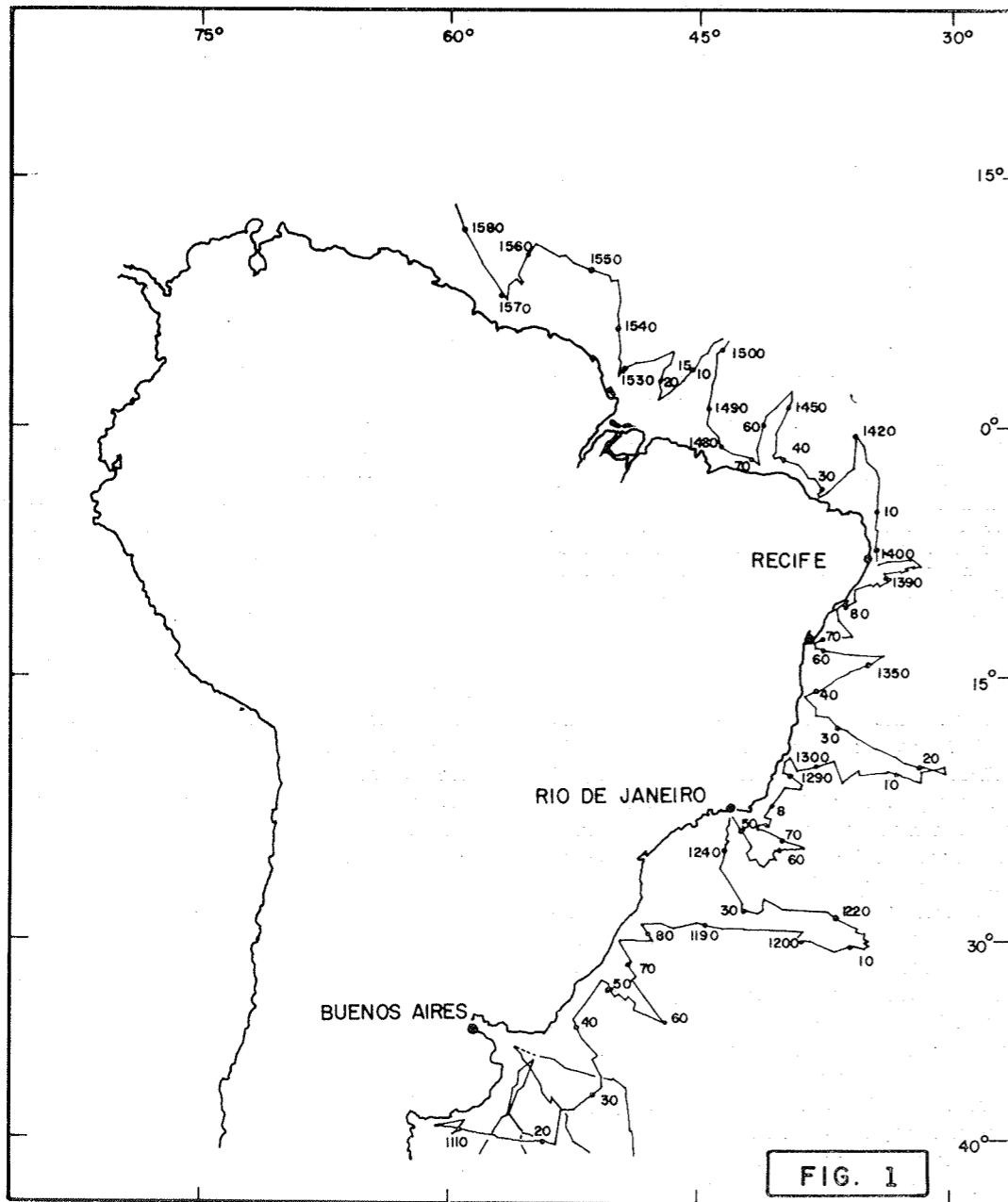


Figure 1 — Track of CONRAD-15 during the I.D.O.E. 1972 continental margin study of Brazil. Leg 7 Bahia Blanca, Argentine to Rio de Janeiro, Brazil. Leg 8 Rio de Janeiro — Recife, Brazil. Leg 9 Recife to Georgetown, Barbados.

from refractions. However, in these records, from the São Paulo plateau, the horizon in question exhibits a large range of dips. Although velocities range from 3.6 km/sec to 4.7 km/sec in these profiles within the layer which may contain evaporites, it is obvious from the vertical reflection profiles that an extremely irregular surface is being observed. The results of the magnetic profiles recorded simultaneously with the reflection data rule out the possibility that these features are igneous intrusions. We, therefore, conclude that the roughness is due to a sedimentary horizon which we believe represents a zone of salt diapirs. Figure 5 shows the results of a seismic line extending offshore of the Campos basin. Sonobuoy 155, recorded quite near drill site

(1-RJS-2) of Petrobras, encountered bedded salt at a depth of 3.3 to 3.5 km. Note in this figure how apparent the diapiric structures become seaward from the base of the slope. Figure 6 shows the seaward limit of the zone of diapirs observed on the Brazilian continental rise from the São Paulo plateau to the Espirito Santos shelf region. The seaward limit of the diapirs, shown as a dashed line in Figure 6, has been determined by examining the reflection data from R/V VEMA and R/V CONRAD cruises across the proposed zone. There is no continuous pronounced scarp at the edge of the diapir zone. A scarp is present on the southeast edge of the São Paulo plateau but it is associated with a basement high. Oceanic layer two may be traced from the

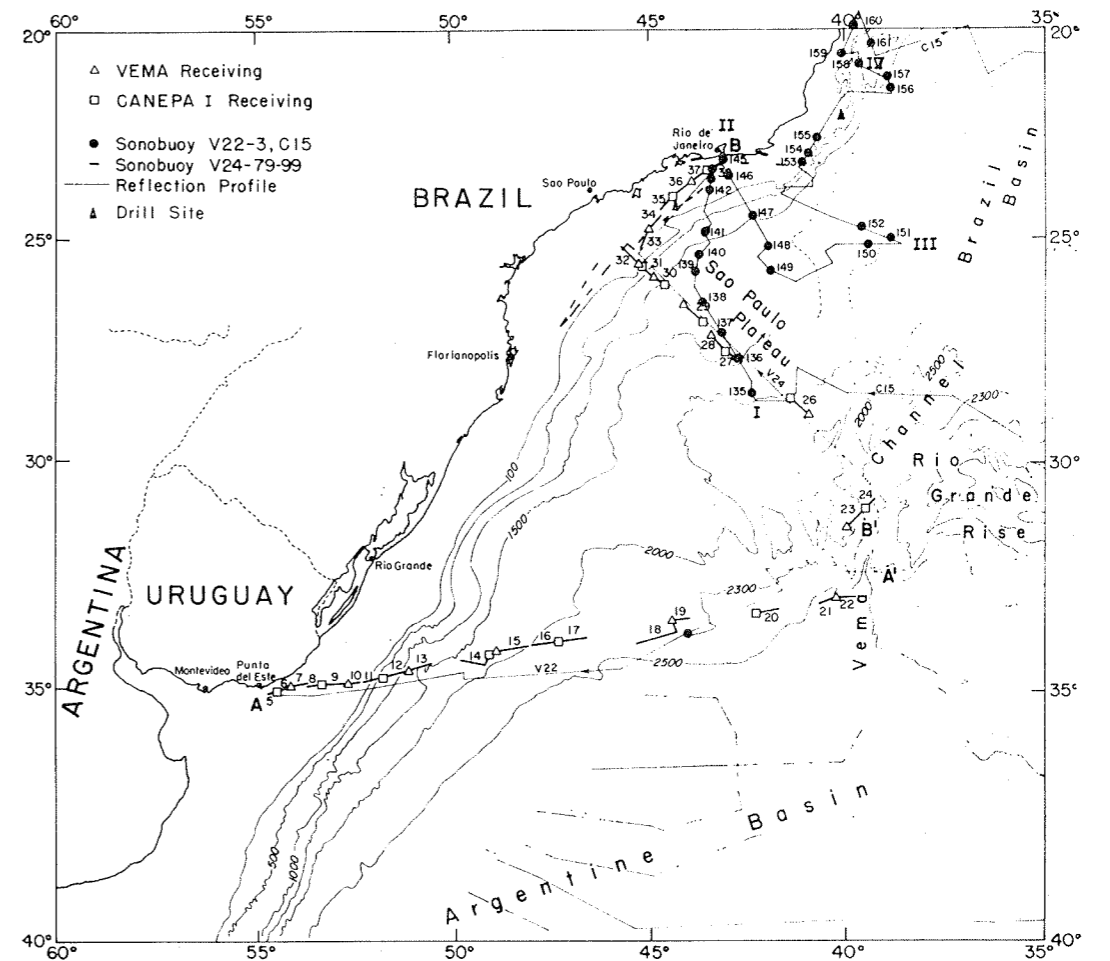


Figure 2 — Locations of C-15 sonobuoys numbered 135-161. For section I-II and II-III see also Figure 4. For section II-IV see Figure 5. Previously published refraction work along A'-B is shown in Figure 3. Other tracks with reflection data that were for control shown in Figure 6. Drill sites mentioned in the are located near 35° southwest of Rio and 155° northeast of Rio.

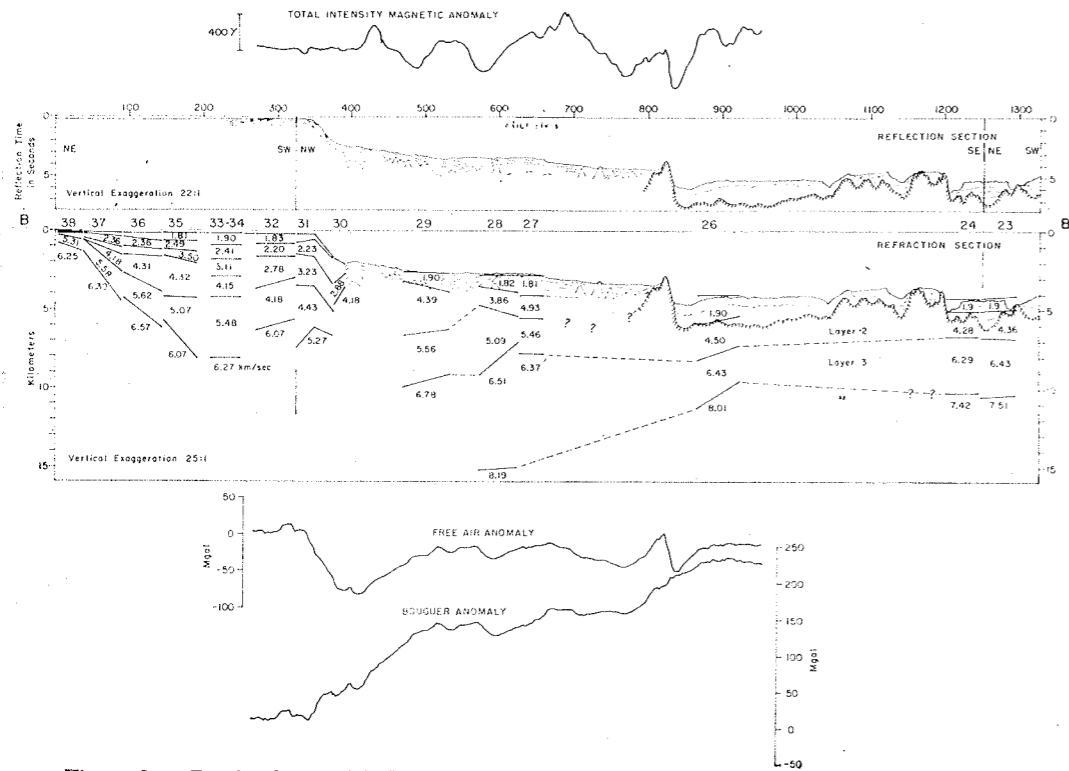


Figure 3 — Previously published refraction results (Leyden *et al.*, 1971) along A'B of Figure 2. Note that the magnetic anomalies across the plateau appear similar in frequency and amplitude to those seaward of the plateau. Note also that these anomalies do not appear to be related to the rough subbottom reflector with a seismic velocity of 3.86 to 4.93 km/sec. on the plateau.

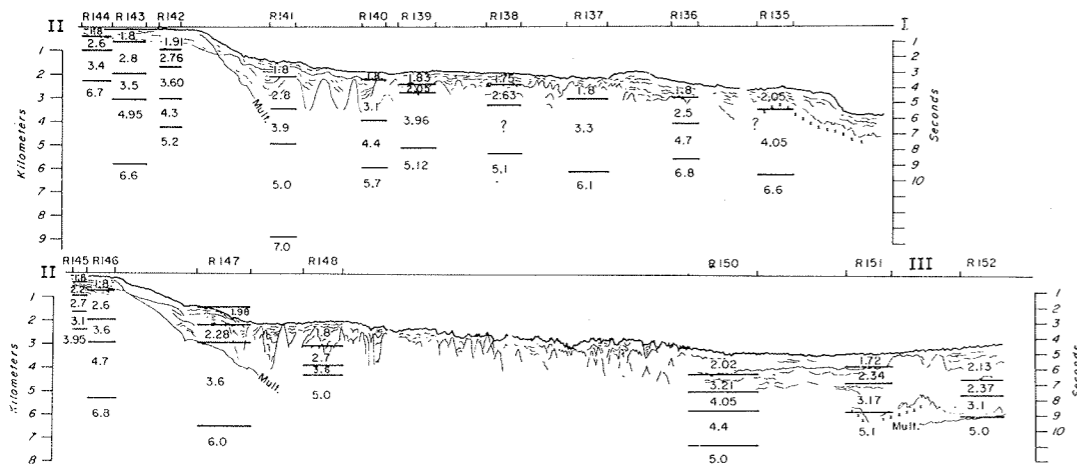


Figure 4 — Seismic compressional wave velocities in km/sec from the CONRAD-15 sonobuoys numbered 135 through 152. Oceanic layer 2 or basement is seen near I and III only. Buoys 150 and 152 mark the seaward edge of the diapiric zone (see Fig. 2 and 6). More normally stratified sediments observed seaward of the diapir zone are illustrated between buoy 150 and 151. The sonobuoy velocities and thicknesses are here superimposed on tracings of the reflection records. Vertical exaggeration in these reflection records is approximately 25:1.

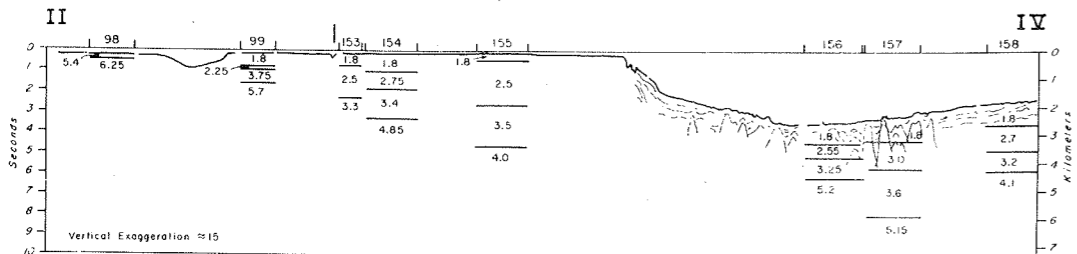


Figure 5 — For the location of sonobuoys 153-158 from the recent CONRAD work (see Fig. 2. For locations of 98 and 99 see Ewing *et al.*, 1969. Seismic velocities are again superimposed

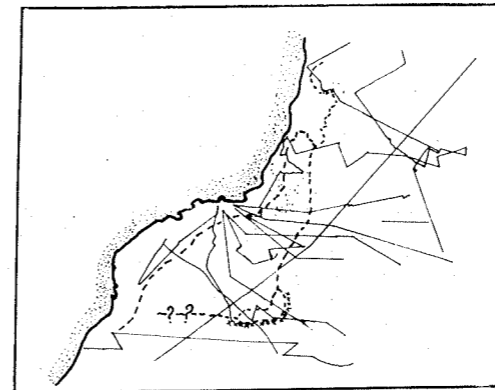


Figure 6 — The area of the diapir zone discussed in the texts is outlined as the seaward dashed line. The 100 fm isobath is also dashed. The diapiric zone meets the 100 fm isobath at the Espirito Santos shelf. We lack control at the zones southern margin. Oceanic basement outcrops at the southeast edge of the zone and is shown here with a series of x's. The true distance between the diapirs and the basement outcrop is debatable.

deep ocean to where it outcrops at the edge of the plateau. The diapiric features do not appear until several miles shoreward of the basement high. This indicates that the basement high may be part of an ancient barrier behind which evaporites were deposited but not a later intrusion which caused folding in the sediments. The diapir zone becomes difficult to follow as it narrows to the Espirito Santos shelf. On the Espirito Santos shelf several drill sites have encountered salt including massive salt in domes. The age of the salt has been determined to be Early Cretaceous (PETROBRAS). Basic intrusions of diabase have also been drilled on the Espirito Santos shelf and these intrusions have been dated as 53-83 m.y. (PETROBRAS).

DISCUSSION

The diapiric features defined here are significant as they may have evolved during the early opening of the South Atlantic. In the reconstruction proposed by Francheteau and Le Pichon, 1972, the Rio Grande Rise is placed against the Brazilian margin just south of the São Paulo plateau. More dredging attempts must be made on the Rio Grande Rise, now located east of the São Paulo plateau, to determine if there are basalts present similar to the Serra Geral lavas of Brazil. Those Serra Geral lavas are exposed along the Brazil coast where the Rio Grande Rise may have been connected. These lavas are 120-130 m.y.

(Amaral, 1966) and are, therefore, assumed to be associated with the early rifting of Gondwana. If the Rio Grande Rise, connected to the ancient West African Walvis Ridge, was the barrier behind which evaporites formed perhaps the seaward limits of diapirs on both margins mark a zone of secondary rifting. The diabase intrusions on the Espirito Santos shelf, which are aligned with the diapir limit, may have resulted from the secondary rifting. Figure 7 summarizes these thoughts as it shows the zone of diapirs from both margins with the reconstruction of the Walvis Ridge and Rio Grande Rise as one continuous feature.

Offshore geophysical work in the near future will be directed toward defining the southern limit of the São Paulo plateau and towards better understanding of the relationship of the Rio Grande Rise with the Brazilian margin. Also in the future more long range reversed refraction profiles are needed both to compensate for dips in structure and to help establish if the early opening occurred over oceanic or continental crust.

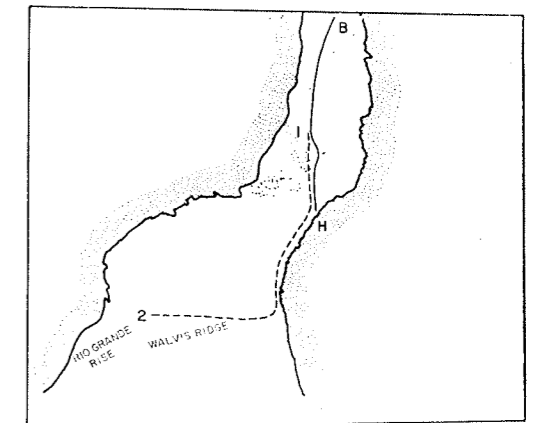


Figure 7 — Line B-H from Leyden *et al.*, 1972 marks the seaward extent of diapiric features observed on the West African margin. 1-2 from Figure 6 illustrates the zone described here. For reconstruction of the South Atlantic Walvis Ridge and Rio Grande Rise see Francheteau and Le Pichon, 1972. Diabase intrusions, perhaps associated with rifting have been drilled on the Espirito Santos shelf near 1 where the diapir zone meets that shelf.

ACKNOWLEDGEMENTS

As is typical of Joint Cooperative ventures many people have contributed time and effort both by making the work possible and by direct participation. We thank all of our fellow scientists, Brazilian and American, who helped gather and reduce this data.

## REFERENCES

- AMARAL, G., U. G. CORDANI, K. KAWASHITA, and J. H. REYNOLDS (1966) — Potassium-argon data of basaltic rocks from southern Brazil: *Geochem. et Cosmochem. Acta*, V. 31, No. 2, P. 117-142.
- BUTLER, L. W. (1970) — Shallow structure of the continental margin, southern Brazil and Uruguay: *Geol. Soc. America Bull.*, V. 81, P. 1079-1096.
- EWING, J., R. LEYDEN and M. EWING (1969) — Refraction shooting with expendable sonobuoys: *Am. Assoc. Petroleum Geologists Bull.*, V. 53, P. 174-181.
- FRANCHELEAU, J. and X. LE PICHON (1972) — Marginal fracture zones as structural framework of continental margins in South Atlantic Ocean: *Am. Assoc. Petroleum Geologists Bull.*, V. 56, P. 991-1007.
- LEYDEN, R., W. J. LUDWIG and M. EWING (1971) — Structure of the continental margin off Punta del Este, Uruguay and Rio de Janeiro, Brazil: *Am. Assoc. Petroleum Geologists Bull.*, V. 55, P. 2161-2173.
- LEYDEN, R. G. BRYAN and M. EWING (1972) — Geophysical reconnaissance on the African Shelf: 2. Margin sediments from Gulf of Guinea to the Walvis Ridge: *Am. Assoc. Petroleum Geologists Bull.*, V. 56, P. 682-693.

## NATUREZA DA SEDIMENTAÇÃO ATUAL DO RIO AMAZONAS — TESTEMUNHOS E GEOMORFOLOGIA SUBMARINA, «CANYON» AMAZONAS TESTEMUNHOS SUBMARINOS<sup>(1)</sup>

Por

ALBERTO GARCIA DE FIGUEIREDO JUNIOR, LUIZ ANTÔNIO PIERANTONI GAMBÔA, MARCUS GORINI e ELIANE DA COSTA ALVES

### ABSTRACT

The nature of the sediment contribution of the Amazon River to the northern continental shelf is discussed on basis of submarine cores and topographic profiles taken by the R/V "Almirante Saldanha" during the cruises "Geomar II" and "Geomar III".

Topset, foreset and bottomset are concerned as far as visible and the conclusion that the Amazon develops a submarine delta that spreads from the actual shore line to 140 kilometers seaward is reached.

Topset layers constitute a relatively flat bottom (0 — 30 m) with muddy sands and mud. The muddy sands are directly associated with the sedimentation along the main channel of the Amazon River on the continental shelf.

Bottom and subbottom reflections showed clearly the limits between the muddy sands and mud. Submarine cores taken in the topsets and foresets are similar in structure and constitution.

Muddy fine sands with few bioterritic material without primary structure showing thin horizons with quartz sandstone cemented by CaCO<sub>3</sub>, were revealed in cores taken from the bottomset (70 — 85 m). Mud in relict sands is due to the suspended silt and clay in the Amazon water.

Cores taken in the Amazon Canyon are constituted by dark homogeneous clays with H<sub>2</sub>S exhalation, and intercalated by silty clays and fine sands with planktonic foraminifera horizons. The latter ones are interpreted as local turbidites, i.e., they are probably related to the canyon by itself and its nearbies.

### INTRODUÇÃO

O presente trabalho foi elaborado com dados e amostras obtidas pelo Navio Oceanográfico «Almirante Saldanha», durante as Operações Geomar II e Geomar III na Plataforma Continental Norte Brasileira.

Os dados presentes e conclusões associadas são baseados na descrição de testemunhos submarinos obtidos por testemunhadores à pistão, em perfis ecobatimétricos realizados continuamente por intermédio de ecobatímetros Kelvin Hughes dos tipos MS-26F-MK-4 e MS-26K-MK-8 (hidrográfico e oceanográfico), nas descrições das amostras superficiais e observações feitas a bordo.

A geomorfologia da região foi primeiramente estudada por Zembruski, Gorini, Palma e Costa (1970), onde definiu-se que a plataforma continental a noroeste do Rio Pará, apresenta a partir da costa até aproximadamente a isóbata de 30 metros uma superfície regular e de pequeno gradiente. A partir da profundidade de 30 metros o gradiente acentua-se bruscamente até a profundidade de 70 metros. O fundo apresenta-se então com irregularidades da ordem de 10 a 15 metros e acha-se em uma faixa com profundidades de 70 a 85 metros.

Em trabalhos de Gorini, Figueiredo, Gambôa, Alves, Silva e Franke (1971) ficou definido que o Rio Amazonas constrói um delta submarino, evidenciado por estruturas de «topset», «foreset» e «bottomset».

Pela geomorfologia associada ao estudo de testemunhos submarinos, tentou-se caracterizar a sedimentação que se desenvolve na

(1) Pesquisa realizada no Laboratório de Geologia Marinha do Instituto de Geociências da Universidade Federal do Rio de Janeiro com auxílio financeiro do Conselho Nacional de Pesquisas.

LAGEMAR — Instituto de Geociências da Universidade Federal do Rio de Janeiro.

Plataforma Continental Norte Brasileira, principalmente na região adjacente a foz do Rio Amazonas e se pôde determinar alguns aspectos relativos ao «Canyon» Amazonas.

**Natureza da Sedimentação no Nível 0-30 metros** — Este nível está relacionado a uma superfície com características de «topset» submarinos em construção atual pelo Rio Amazonas e pode ser dividido em dois domínios: — o primeiro, **fundo arenoso-lamoso**, apresenta um fundo regular, com canais amplos e de pequena discrepância batimétrica (6 a 8 metros). Não foram evidenciados estratos pelo registro ecobatimétrico em função da sua maior resistência à penetração das ondas compressivas. Este fundo é constituído por areias lamosas.

— o segundo, **fundo lamoso**, é um fundo muito regular e apresenta camadas estratificadas paralelamente à sua superfície, com espessuras de 8 a 12 metros, considerando-se  $V_p = 1.86$  Km/seg. É constituído essencialmente por lamias.

O **fundo arenoso lamoso** pode ser caracterizado com os testemunhos das estações GM-81, GM-94 e GM-96 que mostraram areias muito finas lamosas, com concentrações irregulares de lama, apresentando níveis bem definidos de lama e níveis bem definidos de areia fina lavada.

A dominância de areias, associada as características morfológicas deste fundo, indicam movimentação por tração de fundo, saltação e rolamento (transporte de canal). Os níveis de lama representam ausência ou diminuição brusca no transporte de fundo que, em certos períodos adquire competência suficiente para depositar areia lavada sem a concomitância de lama.

A sedimentação que se processa no **fundo arenoso-lamoso** está associada diretamente ao canal principal das águas do Rio Amazonas na plataforma continental. Esta sedimentação é influenciada pelas variações no canal de transporte do Rio, pela ação da Corrente das Guianas que deflexiona as águas do Rio Amazonas para NW, e pelas correntes de maré.

O **fundo lamoso** pode ser caracterizado pelos testemunhos GM-86 e GM-88 que apresentaram-se homogêneos, constituídos por argilas e silte, tendo como estruturas sedimentares algumas laminações e lentes de silte restritas. E pelos perfis ecobatimétricos que apresentaram estratos evidenciando a transparência dos sedimentos no que concerne à

penetração de ondas compressivas de alta frequência.

No perfil ecobatimétrico GM-81-88 (fig. 1) é visível a passagem lateral do **fundo arenoso-lamoso** para o **fundo lamoso**. Os testemunhos obtidos nas estações deste perfil mostraram um aumento gradativo de argilas para NW.

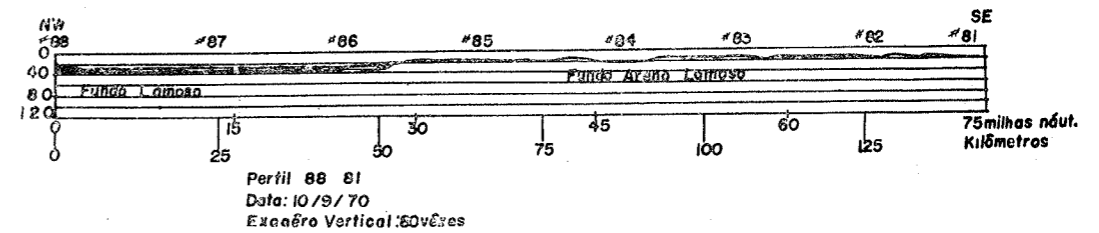
Contínuo a este perfil, o perfil GM-170-179 mostrou claramente os estratos do fundo lamoso que pelo menos são contínuos até a altura do Cabo Orange.

Em conclusão, a sedimentação de areias de canal por influência direta e atual do Rio Amazonas na plataforma continental, está associada ao regime do Rio, enquanto este tem influência na movimentação das águas da plataforma continental. As argilas e siltes trazidos pelo Rio Amazonas, são por sua vez levados mais para NW por ação da Corrente das Guianas e a partir do momento em que há o desvinculamento das águas do canal e o regime de correntes de marés e componentes da Corrente das Guianas predominam, a sedimentação argilosa é a dominante.

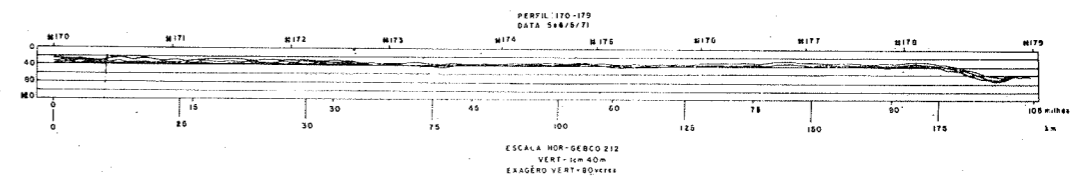
A passagem do nível 030 metros («topsets») para o nível 70-85 metros («bottomset») se faz por intermédio de um talude de transição («foreset») que pode ser visto nos perfis GM-88-89 (fig. 2) e GM 96-97 (fig. 3).

No perfil GM 96-97 é visto o talude de transição do **fundo arenoso-lamoso** que apresenta uma camada estratificada paralelamente à sua superfície, este talude tem seu gradiente mais acentuado do que o talude de transição do **fundo lamoso**, perfil GM 88-89, que apresenta várias camadas paralelas entre si e à superfície do talude. Testemunhos do **fundo lamoso** apresentaram-se de maneira idêntica aos de seu talude de transição evidenciando uma mesma natureza de sedimentação.

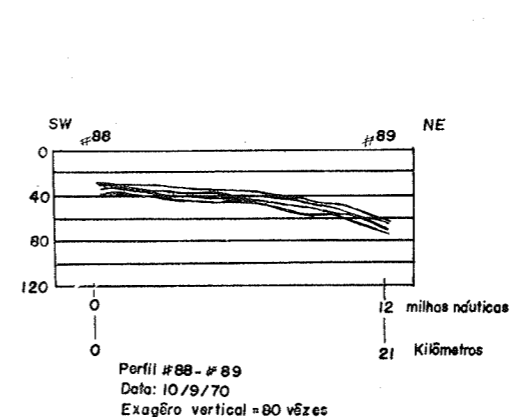
**Natureza da Sedimentação no Nível 70-85** — Este nível é constituído por areias finas, bem selecionadas, com biodetritos e minerais opacos em percentagens variadas. Junto ao talude de transição do nível de 0-30 metros, estes sedimentos arenosos apresentam-se mesclados com argilas e siltes atuais trazidos em suspensão pelas águas do Rio Amazonas. Por sua posição mais externa na plataforma continental em relação aos sedimentos terrígenos atuais e por sua litologia, estes sedimentos arenosos do nível 70-85 metros foram descritos por Zemruscki et alli (1970) como sedimentos relíquias, isto é, sedimentos



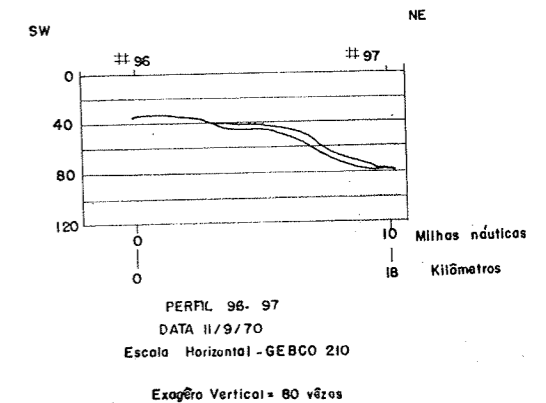
(Figura 1) — Perfil ecobatimétrico GM 81-88, passagem lateral do *fundo arenoso lamoso* para o *fundo lamoso*.



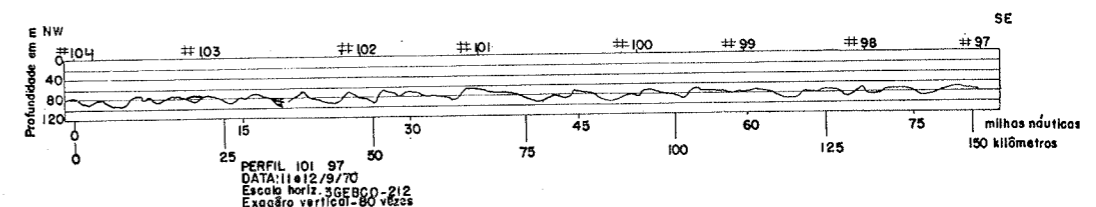
Perfil GM 170-179 mostra-nos que o fundo lamoso é contínuo pelo menos até a altura do Cabo Orange.



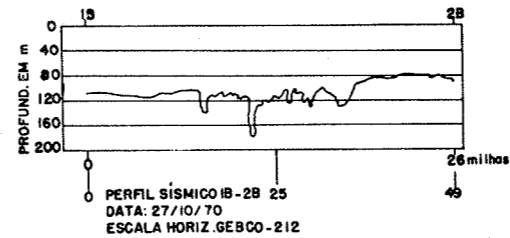
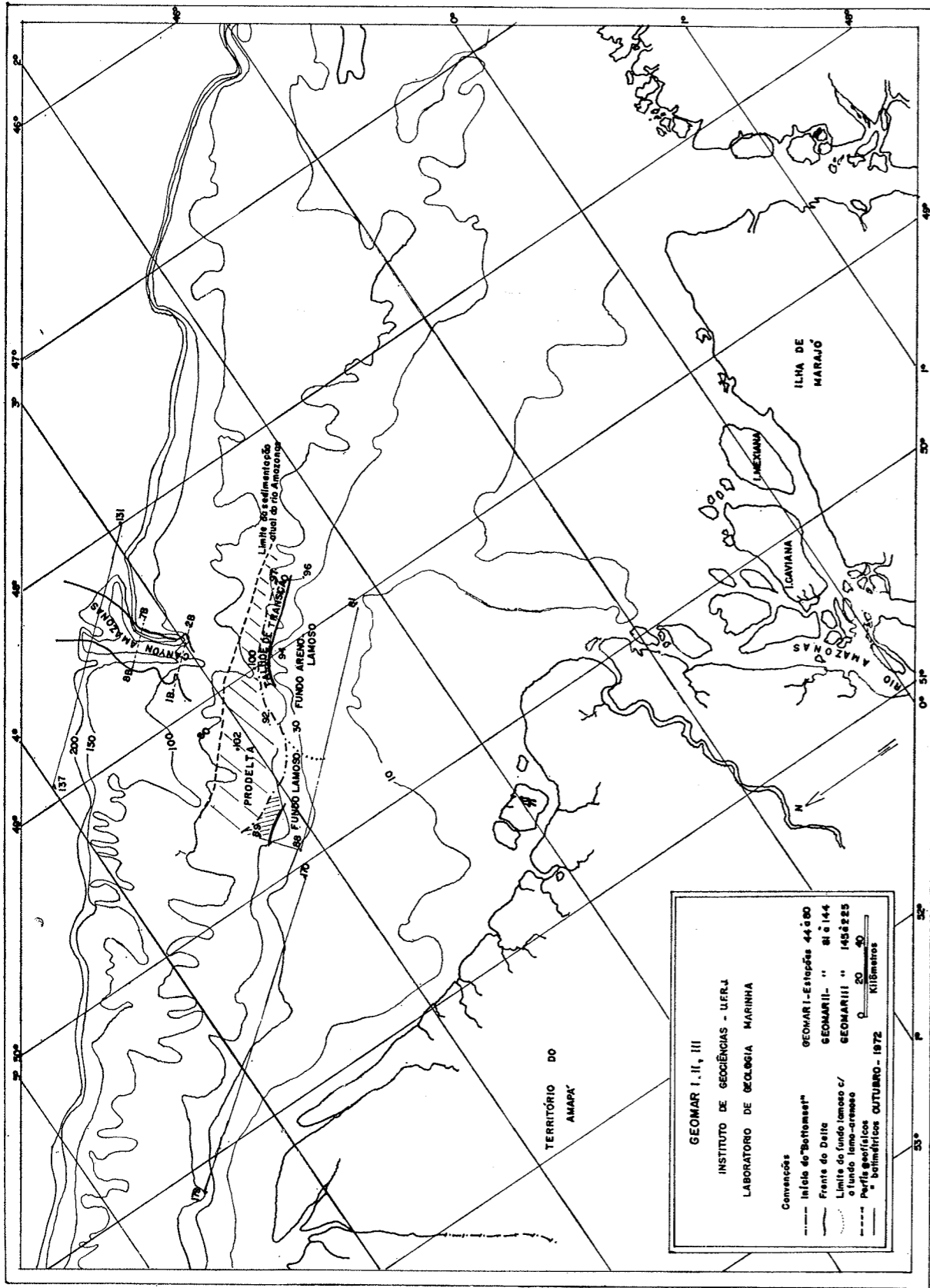
(Figura 2) — Perfil ecobatimétrico GM 88-89, talude de transição no *fundo lamoso*.



(Figura 3) — Perfil ecobatimétrico GM 96-97, talude de transição no *fundo arenoso lamoso*.



(Figura 4) — Perfil ecobatimétrico GM 104-97, argilas e siltes trazidos em suspensão pelas águas do Rio Amazonas, depositando-se sobre sedimentos arenosos de maneira desnivelada e concordante com a paleotopografia.



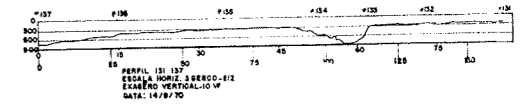
(Figura 5) — Perfil sísmico GM 1B-2B, cabeceiras do "Canyon" Amazonas com numerosos vales em "V".

que se depositaram em condições de nível de mar inferior ao atual.

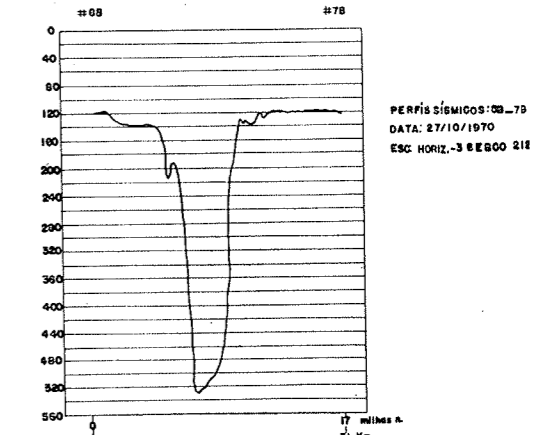
As argilas e siltes trazidos em suspensão pelas águas do Rio Amazonas atingem o nível de 70-85 metros, depositando-se sobre os sedimentos arenosos de maneira desnivelada, concordante com a paleotopografia, caracterizando uma sedimentação vertical do material em suspensão, como é visto no perfil GM 104-97. Junto ao talude de transição, estes sedimentos representam o «bottomset» do delta submarino em construção.

Os testemunhos GM-92, GM-97, GM-100 e GM-102 (vide mapa), caracterizam os sedimentos deste nível. Apresentam areias finas mescladas com lama, contendo também fragmentos de biodetritos. Não apresentam nenhuma estrutura sedimentar marcante, mostrando apenas níveis com fragmentos de arenito cimentado por  $\text{CaCO}_3$ . Níveis com maior concentração de lamas também ocorrem, mostrando que este fundo arenoso reliquia sofre movimentação. A ocorrência destes níveis com maior concentração de lama nas areias reliquias está relacionada às pulsações da sedimentação do Rio Amazonas que possibilitam maior ou menor alcance de seus sedimentos na plataforma continental, dependendo de seu regime. A Corrente das Guianas, que provavelmente funciona como corrente de contorno próximo ao talude de transição («foreset»), deve ser o principal dinamizador deste fundo arenoso.

Estas areias do nível de 70-85 metros estão sendo colocadas em equilíbrio com seu atual ambiente, recebendo sedimentos terrígenos trazidos em suspensão pelas águas do Rio Amazonas e sofrendo movimentação de fundo, seriam desta forma classificadas como «sedimentos palimpsests» (Swift D. J. et ali, 1971), que são sedimentos que exibem atributos petrográficos de um ambiente deposicional anterior em adição a atributos petrográficos de um ambiente posterior.



(Figura 6) — Perfil ecobatimétrico GM-131-137, características morfológicas do "Canyon" Amazonas.



(Figura 7) — Perfil sísmico GM 8B-7B, morfologia do "Canyon" Amazonas, presença de vales tributários.

«Canyon» Amazonas — Os perfis ecobatimétricos contínuos, feitos durante a fase de perfilagem sísmica (Boomer 1000 J) e com perfis ecobatimétricos interrompidos por estações de amostragem, todos realizados aproximadamente paralelos as curvas batimétricas, durante a Operação Geomar II, possibilitaram a caracterização do «Canyon» Amazonas desde suas cabeceiras.

Como mostra o perfil GM 1B-2B, o «Canyon» Amazonas é esboçado nas suas cabeceiras por numerosos vales em forma de «V», alguns com o fundo sugestivamente plano.

As características morfológicas do «Canyon» podem ser vistas nos perfis GM 8B-7B e GM 131-137. Este «Canyon» apresenta também vales tributários como pode ser visto no perfil GM 8B-7B.

Testemunhos obtidos no «Canyon» em profundidade de 800-900 metros apresentam argilas escuras homogêneas, com odor de  $\text{H}_2\text{S}$ . Mostram também estratos bem definidos de argila e silte com grande quantidade de foraminíferos planctônicos, em contato brusco com as argilas homogêneas. A estes estratos é atribuída origem por corrente de turbidez locais, relacionadas ao próprio «Canyon», estas correntes colocariam o material já depositado no «Canyon» e em suas proxi-

midades em movimento, explicando assim a grande quantidade de foraminíferos planctônicos existentes nestes estratos. Desta forma o «Canyon» estaria atualmente em processo de preenchimento de seus vales.

### CONCLUSÕES

1 — O nível de 0-30 metros tem suas feições morfológicas diretamente associadas à sedimentação do Rio Amazonas.

2 — O nível de 0-30 metros pode ser dividido em **fundo areno lamoso** e **fundo lamoso**, que são distintos por suas características morfológicas e estruturas sedimentares.

3 — Como os estratos horizontais e inclinados demonstram, o Rio Amazonas constrói efetivamente um delta submarino que se prolonga em direção ao mar aberto, sobre um fundo de 70-85 metros, por migração de «topset» (nível de 0-30 metros) sobre «foreset» (talude de transição) e «bottomset» (nível de 70-85 metros).

4 — Como o mapa anexo demonstra a frente mais ativa da sedimentação atual do Rio Amazonas é constituída por **fundo areno lamoso**, que para NW passa a **fundo lamoso**.

5 — A frente mais ativa da sedimentação atual do Rio Amazonas acha-se um pouco deslocada para NW da direção do canal do Rio propriamente dito. A gradação lateral sugere que a efetiva sedimentação para NW

seja devida principalmente à intensa floculação das argilas trazidas em suspensão pelas águas do Amazonas.

6 — A posição da frente do delta e a sedimentação das lamas indicam que as águas do Amazonas são desviadas para NW. Este desvio é responsável pelo gradativo desvinculamento das águas levadas à plataforma continental pelo Amazonas de seu canal de desague. Este desvinculamento é o responsável pela efetiva sedimentação de lamas.

7 — O fundo submarino de 70-85 metros recebe sedimentos terrígenos atuais trazidos em suspensão pelo Rio Amazonas. Esta sedimentação é desnivelada e concordante com a paleotopografia irregular, caracterizando uma sedimentação vertical do material em suspensão. O ambiente descrito caracteriza um «**Prodelta**».

8 — Relativamente, a razão de sedimentação no nível de 0-30 metros é muito superior em relação à que caracteriza os «bottomsets» no «**Prodelta**» pois a primeira é nivelada e a segunda é concordante e desnivelada.

9 — Os testemunhos do «Canyon» descritos até o presente momento mostraram evidências de correntes de turbidez de origem local; sugerindo a inexistência de processos, erosivos atuais neste «Canyon».

### BIBLIOGRAFIA

- EMERY, K. O. (1968) — Relict sediments on Continental Shelves of World Am. Ass. Petr. Geologist, Bull 52, nº 3, pg. 445-464.
- GORINI, M. A.; FIGUEIREDO JR., A. G.; GAMBÓIA, L. A. P.; ALVES, E. C.; SILVA, M. A. M. e FRANKKE, J. (1971) — Resultados Preliminares do Parcial Processamento de Ecogramas e Testemunhos obtidos durante a Operação Geomar III do Navio Oceanográfico "Almirante Saldanha" — Relatório da II Reunião do Grupo Executivo do Programa Plurianual de Geofísica e Geologia Marinha — Porto Alegre, RS.
- GORINI, M. A.; FIGUEIREDO JR., A. C.; GAMBÓIA, L. A. P.; ALVES, E. C.; SILVA, M. A. M. e FRANKKE, J. (1971) — Observações sobre a Sedimentação Atual do Rio Amazonas na Plataforma Continental Norte do Brasil; Operação Geomar II do Navio Oceanográfico "Almirante Saldanha". Academia Brasileira de Ciências, Rio de Janeiro, GB.
- MABESOONE, J. M. (1971) — Facies Sedimentares da Plataforma Continental Brasileira. Estudos Sedimentológicos, 1(1).

- MARTINS, L. R. (1971) — Resultados do Processamento das Amostras da Geomar II efetuados nos Laboratórios do Centro de Estudos Costeiros e Oceanográficos do Instituto de Geociências da UFRGS. Relatório da II Reunião do Grupo Executivo do Programa Plurianual de Geofísica e Geologia Marinha. Porto Alegre, RS.
- SANTOS, M. E. C. M. (1972) — Paleogeografia Holocênica na Plataforma Continental Norte Brasileira e Aspectos dos Recursos Minerais do Mar. Companhia de Pesquisas de Recursos Minerais, Rio de Janeiro, GB.
- SHEPARD, F. P. (1963) — Submarine Geology, Harper & Row, New York.
- SWIFT, D. J. P.; STANLEY, D. J. e CURRAY, J. R. (1971) — Relit Sediments on Continental Shelves: A Reconsideration. Journal of Geology, vol. 79.

## GEOLOGIA DA PLATAFORMA CONTINENTAL DO MARANHÃO, PIAUÍ, CEARÁ E RIO GRANDE DO NORTE

Por

KAZUMI MIURA e JOSÉ COUTINHO BARBOSA

### ABSTRACT

The Brazilian North-Northeast continental shelf, between 35° and 47° west is constituted by offshore Barreirinhas, Piauí, Ceará and Potiguar basins. The total area up to the 200 m bathymetric contour, excluding the shallow basement area, has approximately 51.000 km<sup>2</sup>.

The sedimentary sections of these basins can be subdivided in several genetic sequences of strata, which by comparison from older to younger, show the tectono-sedimentary and paleogeographic evolution of the area.

The Equatorial Atlantic rift (probably started in the Eo-Cretaceous time) had its great development in the Aptian time. From the beginning of the rift deposition to the end of the Albian time, all the coastal basins were of semi-graben type, tilted to the South.

From Cenomanian to Santonian, these basins gradually evolved into northward open marginal type basins. At the end of this period the final separation of South America and Africa took place, developing a north-south compressional action in the fracture zones. As a result, foldings, reverse faultings, transcurrent faultings and grabens developed in this area.

From Campanian to Holocene, these coastal basins maintained the northward open marginal basins characteristics.

### 1. INTRODUÇÃO

A área em estudo engloba as bacias sedimentares da plataforma continental do norte-nordeste do Brasil, desde a costa do Maranhão (meridiano 47° Oeste) até a costa do Rio Grande do Norte (35° Oeste). Corresponde às extensões submarinas das bacias de Barreirinhas e Potiguar e às bacias submersas do Piauí e Ceará (Fig. 1).

Apresenta uma superfície total de aproximadamente 51.000 km<sup>2</sup> na plataforma continental até a cota batimétrica de 200 m, excluindo as plataformas rasas. A área das bacias terrestres é da ordem de 41.000 km<sup>2</sup>, englobando as bacias de Bragança-Viseu, São Luiz, Barreirinhas e Potiguar.

Este trabalho resulta da integração de dados geológicos e geofísicos levantados nessa plataforma continental, complementado pelo conhecimento que se tem das bacias costeiras adjacentes e pelos dados publicados sobre a geologia da costa africana correspondente.

O estudo destinou-se a obter u'a melhor configuração geológica dessas bacias e as suas evoluções tectono-sedimentares.



Fig. 1 — Mapa de Localização da Área Estudada.







Persistiu o basculamento sul e o grande relevo favoreceu a erosão e o suprimento de sedimentos, propiciando a deposição de seqüência clástica progradacional (Fig. 10-B).

Apresenta-se na Fig. 11 a paleogeografia geral e as relações entre tectonismo e sedimentação. Na Bacia de Barreirinhas a fonte geral de sedimento esteve a oeste e sul e a fácies passou de fluvial a transicional e marinha a leste (PAMPLONA & al., 1971, e PORTO, 1971). Na Bacia Potiguar a sedimentação progrediu de sudoeste, passando da fácies fluvial à prodeltaica. Na Bacia do Piauí a sedimentação principal veio de sul para norte, com forte influência da grande falha limite da Plataforma de Parnaíba, passando de fanglomerado a folhelho. Na Bacia do Ceará, deve ocorrer o mesmo tipo de sedimentação.

As bacias desta Seqüência seriam do Tipo III (Semi-graben). Na Bacia do Maranhão, a deposição da Formação Itapecuru dar-se-ia ainda em bacia do Tipo I (bacia interior).

#### 5.7 — Seqüência Bonfim — Preguiças

Admite-se a cobertura de toda a área fonte durante a grande transgressão neo-albiana-eocenomaniana. Dessa situação resultou pequeno suprimento de clásticos e deposição de calcarenitos em plataforma rasa, gradando a micríticos em águas mais profundas (Fig. 12).

Pouco provável é o desenvolvimento de organismos recifais num ambiente deposicional deste tipo. Na Bacia de Barreirinhas a faixa geral de calcarenitos porosos se situa na plataforma rasa ao sul.

Comparando-se as Figs. 9, 11 e 12, vê-se nitidamente a evolução do rift do Atlântico Equatorial, bem caracterizado na extremidade leste no Vale do Benue na Nigéria. As fácies continentais são progressivamente cobertas pelas fácies marinhas mais novas.

A tectônica de falhamento normal predominou, com grande subsidência nos blocos baixos. A bacia de deposição em estágio evolutivo avançado, passou de tipo semi-graben, com basculamento sul, para marginal aberto para o norte (Fig. 10-C).

#### 5.8 — Seqüência Humberto de Campos

A sedimentação da seqüência constituiu-se de carbonatos nas plataformas rasas e de arenitos, passando a argilas, nas partes mais profundas (Fig. 13). A bacia de deposição

já seria, nessa ocasião, definitivamente marginal aberta para o norte.

Do ponto de vista tectônico, este período foi muito perturbado, pois registra a passagem do estágio de «rift» para migração efetiva entre América do Sul e África. O último elo de ligação se localizou na região entre Recife e Rio Açu, no Rio Grande do Norte e sua correspondente em Camarões e sul da Nigéria (BEURLIN, 1962).

Entre o Lineamento de Sobral e a Sinclinal Maior desenvolveram-se dobramentos e falhas reversas de direção geral leste-oeste e de idade coniaciana-santoniana. Seções geológicas mostram sedimentos pré-campanianos dobrados e erodidos (Figs. 4-CC', DD' e EE' e Fig. 10-D). A seção albiana e cenomaniana atravessada pelo poço 1-PIS-1, no flanco sul do Alto Atlântico, constitui-se de sedimentos prodeltaicos dobrados, sem indicação de posição elevada da área à época da deposição (Fig. 4-EE'). Após o período de dobramento, toda a área emersa sofreu intensa erosão, expondo-se no Alto de Queimadas — Arpoador, a Formação Barro Duro (Fig. 4-CC' e DD').

Genética, morfológica e cronologicamente, os dobramentos da costa do Maranhão ao Ceará devem corresponder aos dobramentos na Bacia de Ghana. Os dobramentos do Vale do Benue na Nigéria teriam origem um pouco diferente.

Formularam-se várias hipóteses para explicar as causas dos dobramentos:

a) CRATCHLEY & JONES (1965) estudando o Anticlinório de Abakaliki na Nigéria atribui o dobramento a esforços compressoriais de idade coniaciana-santoniana (sem definir a causa), seguido de mineralização de chumbo e zinco em fraturas, ocasionadas pelas intrusivas ígneas básicas e intermediárias. A gravimetria mostra uma anomalia positiva ao longo do Anticlinório.

b) GRANT (1968) admite a possibilidade de liberação de tensão ao término do movimento de rifteamento no Cretáceo Superior, provocando esforços compressoriais e dobramento na Nigéria.

c) Geólogos trabalhando na costa de Ghana admitem a possibilidade de os dobramentos daquela área se originarem de falhas de empurrão do Cretáceo Superior, na extensão da Zona de Fratura Romanche. O deslizamento da costa brasileira e africana, ambas recortadas em zig-zag, provocaria compressão onde houvesse oposição de faces (Alto Atlântico e Alto do Ceará) e tensão em faces

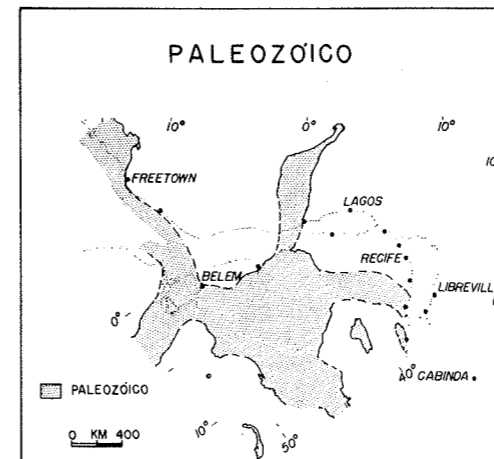


Fig. 7 — Distribuição Geral de Rochas do Paleozóico.

não opostas, causando subsidência (Sinclinal Maior e Bacia Potiguar).

d) Seguindo a reconstituição de LE PICHON & HAYES (1971) para o final do Santoniano (80 m.a.), há um claro alinhamento ao longo da Cadeia da Costa do Marfim, Zona de Fratura Romanche e ramificação sul da Cadeia Norte Brasileira (LE PICHON & HAYES, 1971). A extensão hipotética da Zona de Fratura Romanche para

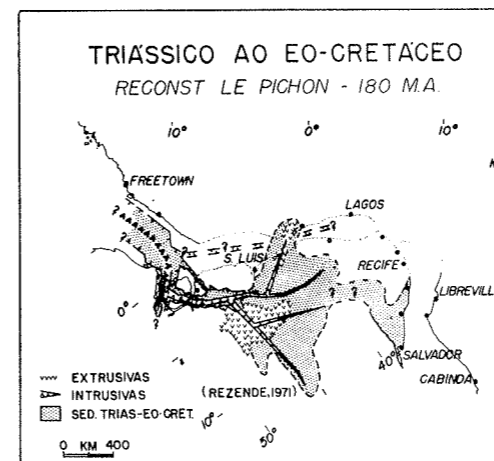


Fig. 8 — Distribuição Geral de Rochas do Triássico ao Eo-Cretáceo.

sudoeste coincide com a zona de dobramentos do Alto de Queimadas-Arpoador, Alto Atlântico e Alto do Ceará (Fig. 13).

A Zona de Fratura Chain teria sua extensão no alinhamento Fernando de Noronha, Atol das Rocas, várias intrusivas na plata-

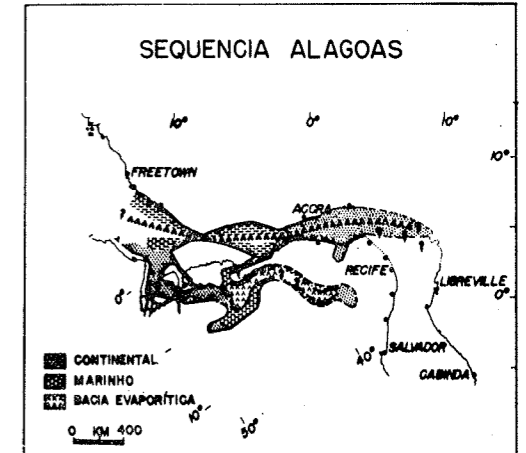


Fig. 9 — Paleogeografia da Bacia de Deposição da Seqüência Alagoas.

forma continental da Bacia Potiguar e no Alto de Fortaleza. Este alinhamento penetraria no continente nas proximidades da intrusiva alcalina de Messejana, Ceará (ALMEIDA, 1955). A Ilha de Fernando de Noronha surgiu, possivelmente, entre o Cretáceo Superior e o Neogeno (ALMEIDA, 1955).

Os dobramentos da costa do Maranhão — Ceará estariam relacionados à extensão su-

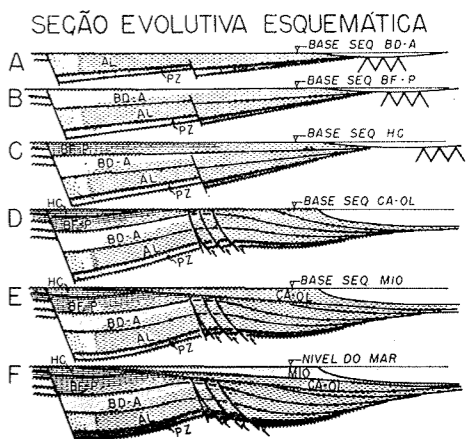


Fig. 10 — Seção Evolutiva Esquemática.

doeste da Zona de Fratura Romanche e a esforços compressoriais resultantes do deslocamento ao longo dessas fraturas quando da separação final dos continentes. A Cadeia Norte Brasileira possivelmente representaria a zona de contato entre a crosta continental e oceânica.

Pelo esquema de composição de forças (Fig. 13), a um esforço de compressão de di-

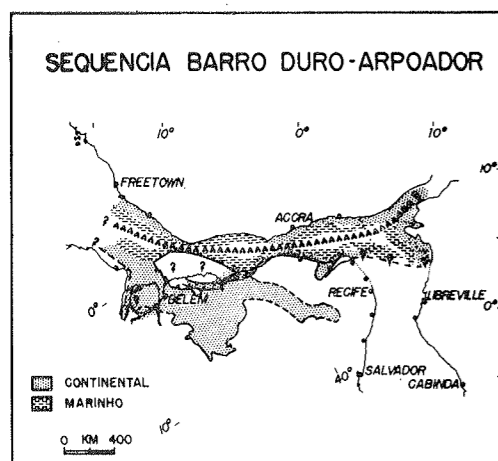


Fig. 11 — Paleogeografia da Bacia de Deposição da Sequência Barro Duro-Arpoador.

reção geral norte-sul se relacionariam os dobramentos e falhas reversas de direção geral leste-oeste (Altos Atlântico, Queimadas-Arpoador e Ceará) e as falhas transcorrentes de direção nordeste-sudoeste (Farol do Arpoador e Lienamento de Sobral). Esse mesmo sistema de forças propiciou o desenvolvimento de falhas normais de direção geral norte-sul (Sinclinal Maior).

#### 5.9 — Sequência Campaniano — Oligoceno

Após o período de erosão no final do Santoniano, ocorreu a grande transgressão campaniana, correlacionável à base do Campaniano de Sergipe (Formação Piaçabuçu, Membro Calumbi) e do Espírito Santo (Formação Urutuca). Esta sequência apresenta topo dis-

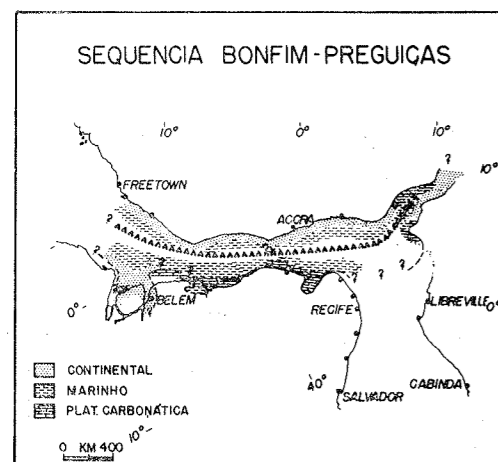


Fig. 12 — Paleogeografia da Bacia de Deposição da Sequência Bonfim — Preguiças.

cordante em terra, tornando-se completa em direção ao mar onde se atinge o Oligoceno. Deverá ocorrer em toda a plataforma continental brasileira e africana.

A bacia de sedimentação é de Tipo V, ou Marginal aberta, com o depocentro dos sedimentos deslocando-se progressivamente em direção ao mar (Fig. 10-E).

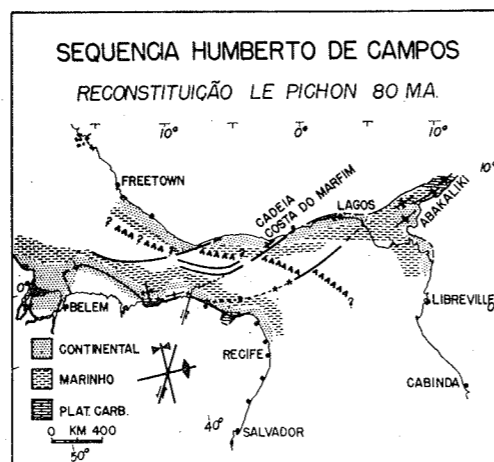


Fig. 13 — Paleogeografia da Bacia de Deposição da Sequência Humberto de Campos.

#### 5.10 — Sequência Mioceno

As bacias de deposição são francamente marginais abertas, desenvolvendo-se considerável seção na plataforma continental (Fig. 10-F). A subsidência e o basculamento observados continuariam até o Holoceno, este indicado pela presença de montanhas submarinas com topo plano à profundidade de 200 m na costa do Rio Grande do Norte, sugerindo forte abrasão marinha e posterior subsidência até aquela profundidade (EALEY, 1969).

### 6. CONCLUSÕES

a) Na plataforma continental a coluna estratigráfica das bacias costeiras tornam-se progressivamente mais argilosas e micríticas. Há um grande desenvolvimento da seção campaniana-oligocena na plataforma continental.

b) O empilhamento das seqüências sedimentares mostra a evolução da paleogeografia da área em estudo, desde o Pré-Cambriano. O rifteamento do Atlântico Norte ter-se-ia iniciado no Triássico. O «rift» do Atlântico Equatorial teve o seu grande desenvolvimento a partir do Aptiano, ocorrendo a separação

final dos continentes no Coniaciano-Santoniano.

c) Na evolução do rift do Atlântico Equatorial, as bacias aptianas e albianas seriam, provavelmente, do tipo semi-grabens basculados para o sul. Do Cenomaniano em diante, as bacias seriam marginais abertas para o norte.

d) Tectonicamente um dos eventos mais importantes foi a efetiva migração dos continentes no final do Santoniano, responsável por amplos dobramentos, falhas reversas e falhas transcorrentes de dimensões regionais e concomitantes ao desenvolvimento de fossas com grande subsidência.

### 7. LISTA DE REFERÊNCIAS

- AGUIAR, G. A. (1969) — Bacia do Maranhão — Geologia e Possibilidades de Petróleo. Petrobrás/RENOR, Rel. Interno — 55 pg.
- ALMEIDA, F. F. M. (1955) — Geologia e Petrologia do Arquipélago de Fernando de Noronha. D.N.P.M.-D.G.M., Monog. XIII, 181 pg.
- (1969) — Diferenciação Tectônica da Plataforma Brasileira. S.B.G. — Anais do XXIII Congresso Brasileiro de Geologia: 29-46.
- & al. (1968) — Radiometric age determinations from Northern Brazil. Bol. S.B.G. 17 (1) : 3-14.
- BADER, R. G. & al. (1971) — Leg 4 of the Deep Sea Drilling Project. Science 172 (3989) : 1197-1205.
- BEURLIN, K. (1962) — O desenvolvimento paleogeográfico do Oceano Atlântico Sul. Universidade de Recife, Arq. Geol. n.º 2 : 21-36.
- (1967a) — Estrutura Geológica do Nordeste do Brasil. S.B.G. — Anais do XXI Congresso Brasileiro de Geologia: 151-158.
- (1967b) — Geologia da Região de Mossoró. Col. Mossoroense, Serie C, Vol. XVIII, 173 pg.
- & MABESSONE, J. M. (1969) — Bacias Cretáceas Intracontinentais do Nordeste do Brasil. Not. Geomorf., Campinas, 9 (18) : 19-34.
- BRITO, C. (1971) — Plataforma Continental: Relatório de Interpretação sísmica das bacias de Barreirinhas, Ceará e Potiguar. Petrobrás/DEXPRO-DIVEX, Rel. Interno, 14 pg.
- CAROZZI, A. V. & al (1970) — Estudo das Microfácies da Formação Bonfim (Cenomaniano) da Bacia de Barreirinhas, Brasil. Universidade Illinois, 60 pg.
- C.G.C. (1968) — Rapport d'interpretation de l'étude aéromagnétique du Bassin de Barreirinhas et de ses environs. Comp. Générales de Géophysique, Paris, Rel. Interno da Petrobrás, 33 pg.
- CHUBERT, G. (coord.) — (1968) — Carte tectonique internationale de l'Afrique. A.S.G.A. — UNESCO 1: 5.000.000.
- CRATCHLEY, C. R. & JONES, G. P. (1965) — An interpretation of the Geology and gravity anomalies of the Benue Valley, Nigeria. Overseas Geol. Surv., Geophys. Div., London, N.º 1.
- CUNHA, F. M. B. (1968) — Fotointerpretação da Bacia de São Luiz, Maranhão. Petrobrás/RENOR, Rel. Interno, 22 pg.
- CYPRIANO, J. I. & NUNES, A. B. (1968) — Geologia da Bacia Potiguar. Petrobrás/RPNE, Rel. Interno, 74 pg.
- EALEY, P. J. (1969) — Marine Geology of North Brazil: a reconnaissance survey. Univ. Illinois, tese para Ph. D., 65 pg.
- FERREIRA, E. O. (1970) — Carta Tectônica do Brasil — notícia explicativa. D.N.P.M. — Publ. prel., 37 pg.
- GHIGNOME, J. I. & NORTHFLEET, A. (1971) — Sequências sedimentares brasileiras. Petrobrás/ RPBA, Rel. Interno, 7 pg.
- GRANT, N. K. (1968) — The Late Precambrian to Early Paleozoic Pan-African Orogeny in Ghana, Togo, Dahomey, and Nigéria. G.S.A. bull. 80 (1): 45-56.
- (1971) — South Atlantic, Benue through, and Gulf of Guinea Cretaceous Triple Junction. G.S.A. bull. 82 (3): 2295-2298.
- HALBOUTY, M. T. & al (1970) — Factors affecting formation of Giant Oil and Gas Fields, and Basin classification, in: Halbouty, M. T. (ed.) — Geology of Giant Petroleum Fields. A.A.P.G. Mem. 14: 528-555.
- HAYES, D. E. & EDWING, M. (1970) — North Brazilian Ridge and adjacent continental margin. A.A.P.G. Bull. 54 (11): 2120-2150.
- KEGEL, W. (1957) — Contribuição ao Estudo da Bacia Costeira do Rio Grande do Norte. D.N.P.M.-D.G.M., Bol. 70, 52 pg.
- (1965) — A estrutura geológica no nordeste do Brasil. D.N.P.M.-D.G.M., Bol. Bol. 227, 47 pg.
- KENNEDY, W. Q. (1965) — The influence of basement structure on the evolution of the Coastal (Mesozoic and Tertiary) Basins of Africa, in: Salt Basins around Africa. The Institute of Petroleum, London: 7-16.
- LE PICHON, X & FOX, P. J. (1971) — Marginal offsets, Fracture Zones, and the early opening of the North Atlantic. Jour. Geophys. Res. 76 (26): 6294-6308.
- & HAYES, D. E. (1971) — Marginal offsets, Fracture Zones, and the Early opening of the South Atlantic. Jour. Geophys. Res. 76 (26): 6283-6293.
- LIMA, E. C. (1971) — Bioestratigrafia da Bacia de Barreirinhas. Petrobrás/RENOR, Rel. Interno, 43 pg.
- MIRANDA, L. O. S. (1969) — Relatório sísmico preliminar da Plataforma Continental da Bacia de Barreirinhas. Petrobrás/DEXPRO/DIVEX, Rel. Interno, 13 pg.

- MOORE, Jr., T. C. & al (1970) — Large submarine slide off Northeastern Continental margin of Brazil. A.A.P.G. bull. 54 (1): 125-128.
- NOGUTI, I. (1964) — Estudo das fácies carbonáticas da Bacia de Barreirinhas. Petrobrás/RENOR, Rel. Interno, 14 pg.
- (1967) — Possibilidade de ocorrência de recifes na Formação Barreirinhas — Relatório preliminar. Petrobrás/RENOR, Rel. Interno, 22 pg.
- (1971) — Notas preliminares sobre a origem das bacias costeiras do Albo-Aptiano do Brasil. Petrobrás/REPBA, Rel. Interno, 19 pg.
- PAMPLONA, H. R. P. (1969) — Litoestratigrafia da Bacia Cretácea de Barreirinhas. Bol. Tec. Petrobrás, 12 (3): 261-290.
- & al. (1971) — Petróleo e evolução geológica do Grupo Canárias da Bacia de Barreirinhas. Petrobrás/RENOR, Rel. Interno, 38 pg.
- PORTO, R. (1971) — Avaliação dos reservatórios e prospecção de gás na área oeste de Canoas — Grupo Canárias — Barreirinhas. Petrobrás/RENOR, Rel. Interno.
- PRAKLA — GMBH (1970) — Aeromagnetic Survey — Plataforma Continental Nordeste, PRAKLA, Rel. Interno Petrobrás.
- REZENDE, W. M. (1971) — O mecanismo de intrusões de diabásio nas Bacias Paleozóicas do Amazonas e do Maranhão. Petrobrás/DEXPRO/DIVEX, Rel. Interno, 34 pg.
- & ARAUJO, E. (1970) — Integração geológica regional das áreas continental e oceânica da Bacia de Barreirinhas. Petrobrás/DEXPRO/DIVEX, Rel. Interno, 36 pg.
- & PAMPLONA, H. R. P. (1967a) — Síntese atualizada dos estudos geológicos da Bacia Cretácea de Barreirinhas, litoral norte do Brasil. Petrobrás/RENOR, Rel. Interno, 32 pg.
- & (1967b) — Estudos de geologia de petróleo da Bacia Cretácea de Barreirinhas, litoral norte do Brasil. Petrobrás/RENOR, Rel. Interno, 166 pg.
- & (1970) — Estudo do desenvolvimento do Arco Ferrer-Urbano Santos. Bol. Tec. Petrobrás 13 (1/2): 5-14.
- RODRIGUES, R. & al (1969) — Estudo sedimentológico das Formações Albianas e Cenomanienses da Bacia de Barreirinhas. Petrobrás/RENOR, Rel. Interno, 54 pg.
- SAMPAIO, A. V. & SCHALLER, H. (1968) — Introdução à estratigrafia cretácea da Bacia Potiguar. Bol. Tec. Petrobrás 11 (1): 19-44.
- SLOSS, L. I. (1964) — Tectonic cycles of the North American Craton, in: Merriam, D. F. (ed.): Symposium of cyclic Sedimentation. Kansas Geol. Surv. Bull. 169, Vol. II: 449-460.
- SPENGLER, A. & DELTEIL, J. R. (1966) — Le bassin Seconlaire — Tertiaire de Cote D'Ivoire, in: Reyre, D. (ed.), Bassins sédimentaires du littoral Africain: 99-113.
- TIBANA, P. & TONIATTI, G. (1968) — Estudo petrogenético dos calcários da Formação Barreirinhas. Petrobrás/SETUP, Rel. Interno, 40 pg.
- TIGRE, C. A. (1970) — Um estudo da área oeste da Bacia de Barreirinhas com a caracterização do diápiro de folhelho de São João/Caeté. Petrobrás/DEXPRO/DIVEX, Rel. Interno, 24 pg.

## CLASSIFICAÇÃO DAS BACIAS SEDIMENTARES BRASILEIRAS SEGUNDO A TECTÔNICA DE PLACAS

Por

H. E. ASMUS<sup>(1)</sup> e R. PORTO<sup>(1)</sup>

### ABSTRACT

The genetic-descriptive characterization of a sedimentary basin and its inclusion in a convenient classification is a basic element of paramount importance for a preliminary evaluation of its petroleum possibilities.

The former classification of the Brazilian sedimentary basins, Paleozoic basins and Mesozoic-Cenozoic Basins, based only on the age of the predominant sediments was abandoned as inadequate.

The origin and evolution of the Acre basin and of the marginal basins can be perfectly adjusted to the unifying concept of plate tectonics.

The marginal basins lie on a passive Atlantic type continental margin. They were formed initially as rift-valleys or taphrogeosynclines by the non-contemporaneous rupture of the Western Gondwanaland along two segments: (1) from Rio Grande do Sul to Alagoas, in the Wealdian, and (2) from Maranhão to Rio Grande do Norte, in the Aptian. The fracturing in the Recife-João Pessoa region could have occurred in the Turonian.

In a subsequent stage the rifted continental crust was bisected by intrusion of simatic material according to the sea floor spreading process. The continental margins which were formed moved gradually away from the Mid-Atlantic Ridge. As a result, at the same time, marginal basins evolved to miogeosyncline, miogeocline, and to paraliogeosyncline in the particular case of the Amazon Mouth basin.

In the northern coast of Brazil, between Barreirinhas and Potiguar basins, a Sub-type of coastal pull-apart basins can be considered. It is characterized by folds and reverse faults which have resulted from lateral dislocation of the South America and Africa plates along equatorial transform faults.

Many geologic events are closely related to the formation of the South Atlantic Ocean and to the evolution of the Brazilian marginal basins: Early Cretaceous basaltic volcanism; Late Cretaceous-Early Tertiary basaltic-alkaline igneous activity; Campanian-Maestrichtian sea transgression; formation of the Equatorial Saint Paul, Romanche and

Chain fracture zones; formation of the North Brazilian Ridge.

The Acre basin, at present time, is the stable foreland extension of an exogeosyncline. It was derived from a former miogeocline in an Atlantic type margin, due to the subduction of the Nazca plate under the South American plate. The resulting orthotectonic orogeny built up the Andes Mountains but affected only slightly the Acre basin.

The analysis of the Brazilian cratonic interior basins in terms of plate tectonics are not possible with the present knowledge. Only the Middle and Lower portions of the Amazon basin, which has been inferred as an incipient rift-valley could be connected to an Early-Paleozoic plate tectonics.

### 1. INTRODUÇÃO

A previsão das potencialidades de uma bacia sedimentar para hidrocarbonetos, pode ser basicamente adivinhada desde que se tenha um conhecimento satisfatório dos fatores que controlam a ocorrência de óleo.

Ponto fundamental nessas considerações é a classificação das bacias sob o ponto de vista genético de sua posição relativa ao arcabouço da crosta terrestre e de seu grau de mobilidade. Tais parâmetros evolutivos determinarão outros fatores — arquitetura da bacia, seu arcabouço tectônico, os ambientes e processos sedimentares — que, interrelacionados em situações favoráveis, permitirão a geração e acumulação de hidrocarbonetos.

Uma classificação acertada, que possibilite comparações com bacias do mesmo tipo, onde as relações necessárias à presença de hidrocarbonetos são bem conhecidas, pode mesmo constituir-se num importante passo na

(1) Setor de Integração de Dados Exploratórios, Divisão de Exploração. Departamento de Exploração e Produção — Petróleo Brasileiro S.A. — Petrobrás.

fase inicial da exploração, por permitir prognosticar as tendências preferenciais de acumulações.

Com trabalhos de exploração na plataforma continental, principalmente a partir de 1970, foi reconhecida pela PETROBRÁS a importância da caracterização das bacias sedimentares brasileiras num contexto genético-descritivo. A classificação até então usada para as 18 bacias operacionais (Fig. 1), considerava dois grupos, tendo por base a idade dos sedimentos presentes: bacias paleozóicas e bacias mesozóicas-cenozóicas. Mostrando-se demasiadamente simplista e inadequada a comparações e possíveis previsões, tal classificação foi abandonada. Como resultado tentou-se situar as bacias sedimentares brasileiras em classificações apropriadas que não só as relacionasse com eventos geológicos de escala global e unificada, mas também, e principalmente, que permitisse uma melhor compreensão dos processos envolvidos no «habitat» de óleo.

### 1.1 — Classificações de Bacias Sedimentares

O conhecimento da necessidade de ordenar as bacias sedimentares, principalmente como instrumento da exploração petrolífera, fez com que, desde há muito, surgisse um sem número de diferentes tentativas classificatórias. Entretanto, dessas todas, subsistiu, como marco importante, a classificação de Weeks (1952) que analisou as bacias sedimentares num aspecto global, segundo sua posição relativa às duas feições estruturais mais destacadas da superfície da Terra: as áreas estáveis e os cinturões móveis (Fig. 2).

Com o progresso experimentado pelas geociências principalmente a partir de 1968, tornou-se possível esclarecer a distribuição dos principais cinturões móveis e explicar todos os eventos geológicos que ali ocorrem — estruturais, orogênicos, vulcânicos e sísmicos —, pelo conceito unificador da tectônica de placas.

As bacias sedimentares, situadas nas áreas estáveis ou nos cinturões móveis que

## BACIAS SEDIMENTARES BRASILEIRAS

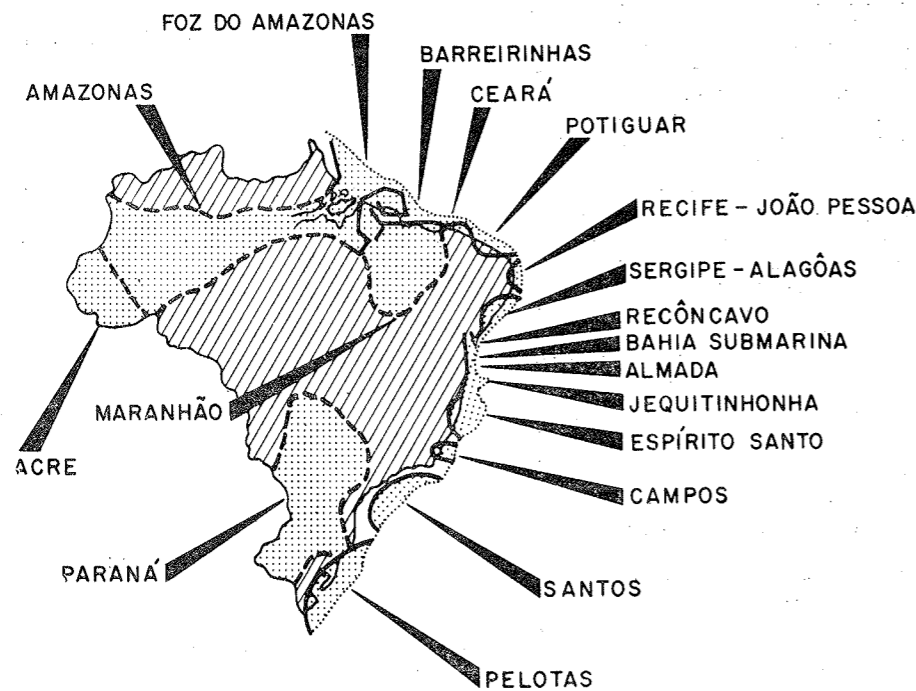


Figura 1

## CLASSIFICAÇÃO DE BACIAS

( WEEKS 1952 )

GRUPO	CLASSE	
CINTURÃO MÓVEL	MARGINAL	
	INTRACONTINENTAL	
	INTERMONTANA	
REGIÕES ESTÁVEIS	PLATAFORMA DO ANTEPAIS	
	INTERIOR PRÓXIMO*	
	INTERIOR REMOTO**	
	GRABEN OU MEIO GRABEN	
	COSTEIRA ESTÁVEL	

Figura 2

as separam, puderam igualmente ter sua origem e principais fases evolutivas interpretadas por essa nova teoria. Como resultado, a classificação original de Weeks (1952) foi adaptada por Klemme, em 1971, à teoria da tectônica de placas.

Mitchel e Reading (1969) consideram o desenvolvimento dos tipos de margem continental e modernos geossinclíneos associados em termos de crescimento do assoalho oceânico e subdução litosférica.

Dewey e Bird (1970), por outro lado, relacionaram o arcabouço dos oceanos em expansão e contração com a classificação e análise de geossinclíneos de Kay (1951). Todos estes autores associaram assim um conceito geológico consagrado — o de geossinclíneos — com modelos baseados na configuração atual das placas litosféricas.

Os termos usados para caracterizar os geossinclíneos, baseados em prefixos gregos, aplicados em sua maioria desde longa data, embora muitas vezes rejeitados como excêntricos ou pretenciosos, tem realmente a utilidade de serem descritivos e oferecerem implicações genéticas.

TABELA I

	WEEKS (1952)	KLEMMÉ (1971)	DEWEY & BIRD (1970)
CINTURÕES MÓVEIS	MARGINAL EXTRA CONTINENTAL	TIPO IV - Crosta intermediária; extra continental.	PEQUENA BACIA OCEÂNICA
	INTRA CONTINENTAL	TIPO II - Crosta cratônica; intracontinental; composta ou multiciclo	EXOGEOSINCLÍNEO
	INTERMONTANA	TIPO VI - Crosta intermediária, intermontana; transversal de segundo estágio	ZEUGOGEOSINCLÍNEO
MASSA MÉDIA	TIPO VII - Crosta intermediária, intermontana; longitudinal de segundo estágio		
REGIÕES ESTÁVEIS	PLATAFORMA DO ANTE PAIS	TIPO II - Crosta cratônica; intracontinental; composta ou multiciclo (plataforma)	EXOGEOSINCLÍNEO (PLATAFORMA)
	INTERIOR PRÓXIMO	TIPO I - Crosta cratônica; interior, simples; platiforme	AUTOGEOSINCLÍNEO
	INTERIOR REMOTO		
	GRABEN OU MEIO GRABEN	TIPO III - Crosta cratônica; graben ou rift.	TAFROGEOSINCLÍNEO
	COSTEIRA ESTÁVEL	TIPO V - Crosta intermediária; costeira	MIOGEOSINCLÍNEO MIOGEOCLÍNEO
	TIPO VIII - Crosta intermediária; deltas terciários	PARALIOGEOSINCLÍNEO	

Tabela I — Comparação entre as classificações de Weeks, Klemme e Dewey & Bird.

TABELA II

BACIAS	WEEKS (1952)	KLEMMÉ (1971)	DEWEY & BIRD (1970)
PALEOZOICAS AMAZONAS MARANHÃO PARANÁ	INTERIORES REGIÃO ESTÁVEL	TIPO I CRATÔNICAS INTERIORES SIMPLES PLATIFORMES	AUTOGEOSSINCLÍNEOS
MESO/CENOZOICAS RECÔNCAVO	GRABEN EM PLATAFORMA ESTÁVEL	TIPO III CRATÔNICA GRABEN OU RIFT	TAFROGEOSSINCLÍNEO
FOZ DO AMAZONAS BARREIRINHAS CEARÁ POTIGUAR RECIFE/JOÃO PESSOA SERGIPE/ALAGOAS BAHIA SUBMARINA ALMADA JEQUITINHONHA ESPÍRITO SANTO CAMPOS SANTOS PELOTAS ACRE	a- GRABENS EM PLATAFORMA ESTÁVEL c- COSTEIRAS ESTÁVEIS	a- TIPO III, CRATÔNICAS, GRABENS OU RIFTS. b- TIPO V, INTERMEDIARIAS, COSTEIRAS ESTÁVEIS OU DE ROMPIMENTO	a- TAFROGEOSSINCLÍNEO b- MIOGEOCLÍNEO c- PARALIOGEOSSINCLÍNEO  a- TAFROGEOSSINCLÍNEO b- MIOGEOCLÍNEO  a- TAFROGEOSSINCLÍNEO b- MIOGEOSSINCLÍNEO (?) c- MIOGEOCLÍNEO  a- TAFROGEOSSINCLÍNEO b- MIOGEOSSINCLÍNEO c- MIOGEOCLÍNEO  a- TAFROGEOSSINCLÍNEO b- MIOGEOSSINCLÍNEO (?) c- MIOGEOCLÍNEO  a- TAFROGEOSSINCLÍNEO b- MIOGEOCLÍNEO
	a- COSTEIRA ESTÁVEL b- PLATAFORMA DO ANTEPAIS	a- TIPO V, INTERMEDIARIA, COSTEIRA ESTÁVEL b- TIPO II, CRATÔNICA INTRACONTINENTAL COMPOSTA	a- MIOGEOCLÍNEO b- PLATAFORMA DE EXOGEOSSINCLÍNEO

Tabela II — Situação das bacias sedimentares brasileiras nas classificações de Weeks, Klemme e Dewey &amp; Bird.

A Tabela I correlaciona as três classificações supracitadas e permite também a caracterização dos tipos de bacias de Klemme (1971) e Dewey e Bird (1970) por comparação com os tipos de bacias de Weeks (1952) apresentados na Fig. 2.

As bacias brasileiras em todos os seus estágios evolutivos ajustam-se satisfatoriamente a estas classificações. Em termos mais gerais adaptam-se aos grupos de bacias, de fácil caracterização de Weeks (1952)/Klemme (1971). Diferenciação mais acurada dentro de alguns desses grupos amplos é conseguida pela utilização da classificação de Dewey e Bird (1970).

Entretanto, o estudo mais pommerizado de nossas bacias, tanto as marginais como as intracratônicas tem mostrado em algumas delas (Amazonas, Barreirinhas Ceará) a existência de características peculiares e dis-

tintivas, capazes de refletir importantes estágios de sua origem e evolução. Então, para serem individualizadas apropriadamente, essas bacias exigem a proposição de outras subdivisões nem sempre consideradas adequadamente nas classificações existentes.

## 2. TECTÔNICA DE PLACAS

O conceito de tectônica de placas ou tectônica global, ao qual a classificação das bacias sedimentares brasileiras é referida, constitui-se num avanço considerável das geociências. É consequência de importantes resultados conseguidos principalmente na última década em trabalhos oceanográficos e geofísicos que, introduzindo uma idéia unificadora, permitiram, pela primeira vez, a compreensão global de uma larga variedade de fenômenos relativos a estruturas da crosta da

## ESTRUTURA DA CROSTA E MANTO SUPERIOR

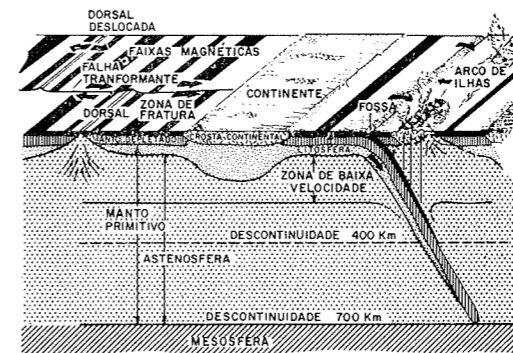
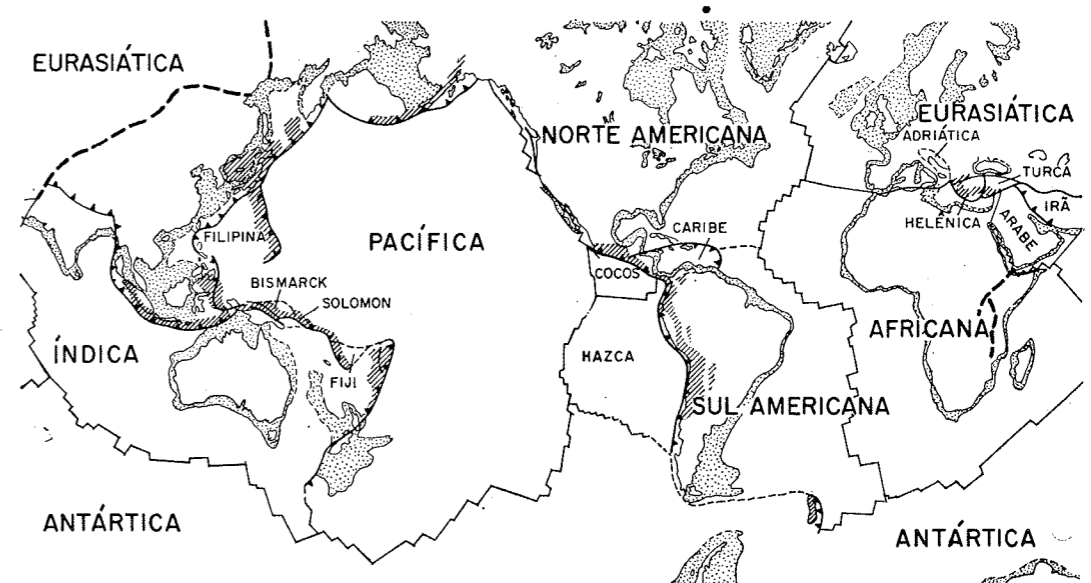


Figura 3

Terra e de padrões de atividade sísmica e vulcânica.

Sob o ponto de vista geométrico é admitida, como idéia básica, a divisão da superfície da Terra em blocos semi-rígidos ou placas litosféricas cujos limites são coincidentes com faixas localizadas de atividade atual marcadas por terremotos, vulcanismos e rápidos movimentos crustais. Sob o aspecto cinético, as placas litosféricas, com 75-125 quilômetros de espessura, movem-se umas em relação às outras fluando sobre uma camada menos rígida, chamada astenosfera, cuja porção superior é comprovadamente o canal de baixa velocidade para ondas sísmicas no manto superior (Fig. 3). O movimento relativo entre as placas pode ser: (1) nas margens construtivas, movimento divergente, em lados opostos da dorsal oceânica, onde novo material crustal é formado; (2) nas margens destrutivas, movimento convergente, em fossas onde o material crustal é consumido pelo encontro de duas placas que se deslocam em sentidos contrários, provocando o afundamento de uma placa sob a margem



- EIXO DE DORSAIS
- ZONA DE DISTENSÃO NOS CONTINENTES
- LIMITES DE PLACAS INCERTOS
- ▨ ÁREAS COM FOCOS DE TERREMOTOS INTERMEDIÁRIOS E PROFUNDOS
- ▲ ZONA DE CONSUMO
- FALHAS TRANSFORMANTES
- ▨ CROSTA CONTINENTAL

Figura 4 — Mosaico de Placas Litosféricas (Segundo Dewey, 1972).

da outra; (3) nas margens conservativas, há deslizamento de uma placa contra a outra, por falhas transformantes, sem que ocorram modificações por acreção ou consumo.

A evidência de que as placas litosféricas estão em movimento é convincente, mas a fonte de energia e o mecanismo responsável pelo movimento permanecem incertos. O arraste das placas litosféricas por corrente de convecção parece razoável em seção, mas é difícil considerar um padrão de células de convecção que explique a distribuição do sistema oceânico de rifts (Fig. 4), pois falhas transversais transformantes deslocam as cristas das dorsais em segmentos relativamente curtos. Embora diversas possibilidades tenham sido aventadas para explicar a movimentação, a interpretação atual mais satisfatória deve-se a Morgan (1971). Ele propôs que a força causadora da migração continental é fornecida por correntes de convecção do manto inferior que ascendem à astenosfera, trazendo calor e material original, sob a forma de feixes colunares ou plumas, cuja expressão na superfície é dada por «hot spots».

O afastamento relativo de duas placas faz-se por rotação rígida na superfície esférica da Terra, através de um eixo de rotação. A interseção do eixo com a superfície da Terra é o polo de rotação, onde o deslocamento é zero. A partir desse ponto, há uma série de círculos latitudinais de rotação ao longo dos quais se dá a movimentação relativa das duas placas, com valores crescentes, cujo máximo se encontra no equador de rotação (Le Pichon, 1968; Dewey, 1972).

A suposição básica de que as placas são semi-rígidas é essencial para a tectônica global e justifica-se pelos excelentes ajustamentos que podem ser feitos entre margens continentais de diferentes continentes (América do Sul e África, por exemplo) e pelas evidências, através de levantamentos sísmicos, de camadas não perturbadas nos fundos oceânicos. Dentro de cada uma dessas placas, não há alterações consideráveis por expansão, dobramentos ou distorções, e suas áreas, como consequência, são constantes. Para compensar o crescimento das porções divergentes nas dorsais médio-oceânicas, as placas são consumidas nas margens destrutivas, ao longo dos sistemas arco-fossa-montanha. No caso de uma placa oceânica, mais pesada, colidir com outra placa carregando crosta continental mais leve, aquela, por efeito da isostasia, mergulha sob a crosta continental que, sendo

comprimada, sofre dobramentos, vulcanismo e metamorfismo que caracterizam o processo orogênico dito ortotectônico — (Dewey, 1969; Dewey e Bird, 1970), do qual a costa pacífica da América do Sul é um exemplo. Nos estágios mais avançados do consumo, quando a crosta oceânica é constantemente diminuída, culminando com o choque de duas massas continentais, a orogenia resultante, na denominação de Dewey (1969), é do tipo paratectônica e tem no sistema Himalaio o seu melhor exemplo.

O atual número de placas maiores, de acordo com estudos mais recentes (Dewey, 1972), é de 7: Eurasiática, Índica, Antártica, Pacífica, Norte-Americana, Sul-Americana e Africana. Entretanto, análises mais detalhadas tem permitido estabelecer várias outras placas ou blocos menores: Pacífica Oriental ou Nazca, do Caribe, Cocos, Filipina, etc. (Fig. 4).

A América do Sul, exclusão feita a uma pequena porção ao norte, que participa da placa do Caribe, está contida na placa Sul-Americana (Figura 5). Sua margem construtiva acha-se localizada na dorsal ou cadeia médio-Atlântica que a separa da placa Africana. A margem destrutiva situa-se na fossa andina que bordeja a costa pacífica do continente. Do encontro da placa Sul-Americana com a placa de Nazca, ocorre um movimento diferencial entre o continente e o assoalho oceânico, desenvolvendo-se como resultado um cinturão orogênico, sísmico e vulcânico ao longo da fossa. A margem dessa placa litosférica, denominada do tipo Andino, é pois ativa. Na margem continental Atlântica, que serve como característica do tipo Atlântico, falta a fossa e, por isto, não há movimento descendente do assoalho oceânico em relação ao continente. Conseqüentemente, acham-se ausentes as atividades sísmicas, vulcânicas e orogênicas, razão porque a margem do tipo Atlântico é chamada de passiva.

Dentro do conceito de tectônica de placas, as atuais margens continentais, sítios de espessos pacotes sedimentares, podem ser considerados como modernos geossinclíneos. Seus diferentes tipos, onde se incluem os geossinclíneos do tipo Atlântico e do tipo Andino, podem ser caracterizados pelas feições morfológicas e seqüências estratigráficas peculiares que apresentam (Mitchell e Reading, 1969).

Os geossinclíneos do tipo Atlântico situam-se sobre e ao lado das margens do mesmo nome. Incluem dorsal oceânica, planície

## ESQUEMA DA PLACA SUL AMERICANA

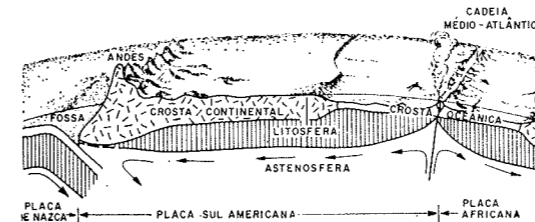


Figura 5

abissal, sopé continental, plataforma continental e planície costeira (Figura 6). Os depósitos apresentam uma larga seqüência que se compõe de baixo para cima, de ultrabásicas, vulcânicas toleíticas e sedimentos pelágicos, turbiditos composicionalmente maduros e sedimentos pelágicos, depósitos de correntes geostroficas, sedimentos parálicos e de águas rasas.

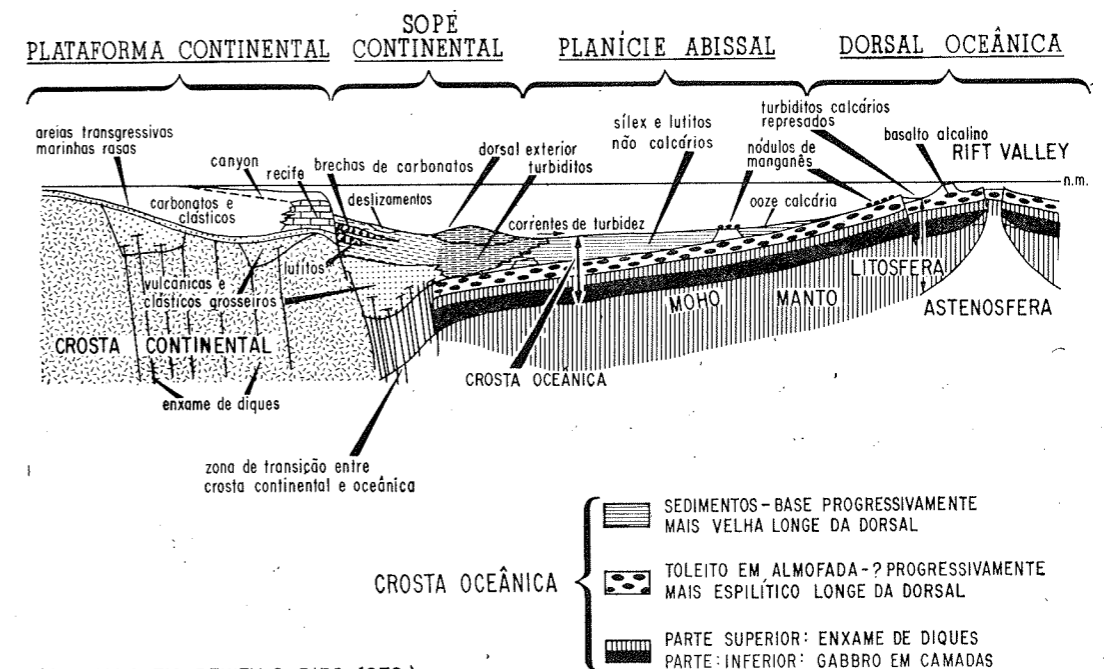
Os geossinclíneos do tipo Andino ocorrem sobre e ao lado das margens do mesmo nome, abaixo das quais desce litosfera acrecional. Incluem uma fossa submarina e arco de mon-

tanha. Os depósitos de fossa são pelágicos, turbiditos composicionalmente maduros e imaturos; nas montanhas em arco são molasses grosseiramente granuladas e vulcânicas calco-alcalinas.

### 2.1 — Evolução da margem continental tipo Atlântica

A margem passiva do Atlântico, onde se situam as bacias costeiras brasileiras, é resultante de processos de ruptura do craton e acreção de crosta oceânica. A seqüência da evolução de margens desse tipo pode ser satisfatoriamente inferida pelo relacionamento coordenado de vários modelos observáveis atualmente e considerados como representativos dos diferentes estágios desse desenvolvimento (Heezen, 1960; 1968; Dewey e Bird, 1970 a, 1970 b). O sistema Golfo de Suez/Mar Vermelho/Golfo de Aden, ilustra o padrão de estágios embrionário e juvenil da expansão oceânica. O rift do Lago Baikal, na Ásia, pode representar o início da ruptura tensional de uma massa siálica.

Na fase mais preliminar de formação de uma margem tipo Atlântica, há uma intumescência e distensões da crosta continental. Os esforços daí provenientes causam falhamen-



(BASEADO EM DEWEY & BIRD, 1970)

Figura 6 — Oceano e margem continental tipo Atlântico. Relações entre crosta continental, crosta oceânica e sedimentos.

tos normais que formam grabens sintectonicamente preenchidos por clásticos, por vezes grosseiros, provenientes do craton adjacente e dos horsts interpostos.

Inicialmente, o embasamento dos grabens é constituído por crosta continental que, muito adelgada e intensamente falhada, é invadida por enxame de diques alimentadores de vulcões na superfície e de sills que se introduzem na coluna sedimentar. Esses processos iniciais caracterizam o estágio de rift-valley ou tafrogeossinclineo (Fig. 7 I).

Com a continuidade da distensão a crosta continental é rasgada e, com a injeção de prismas simáticos, forma-se uma crosta oceânica introdutória. A acumulação de depósitos salíferos é uma importante feição nesse estágio inicial, quando o oceano recém formado apresenta uma circulação muito restrita.

Os estágios que se sucedem (Figs. 7-II e 7-III) resultam da introdução continuada de material simático com a consequente acreção crustal e expansão do assoalho oceânico.

Com o alargamento do oceano, as porções litosféricas oceânicas mais afastadas do eixo de dispersão, e por isto mais espessas e mais densas, tendem a subsidir. Nesta operação, levam consigo a margem continental adjacente onde se assentam os remanescentes dos grabens portadores de espessas seqüências clásticas e vulcânicas, formados nas fases iniciais da ruptura. Essa subsidência, controlada pela inércia térmica da litosfera, é diretamente proporcional à distância a dorsal correspondente da placa de acreção. Então, no caso de uma fratura, com deslocamento da dorsal médio oceânica por falha transformante, haverá um contraste térmico de cada lado da zona deslocada que, assim, atuará como região de desligamento para blocos que tem movimentos verticais diferenciais. Como resultado da subsidência diferencial de porções das margens continentais, formam-se bacias costeiras e de plataforma, abertas para o oceano, com limites situados aproximadamente nos prolongamentos das porções deslocadas das margens e zonas de fraturas correspondentes (Francheteau e Le Pichon, 1972).

No terraço continental assim formado a deposição essencialmente marinha pode ocorrer num geossinclineo subsidente (miogeossinclineo) ou numa simples cunha (miogeoclíneo).

Em condições normais o talude e o sopé continentais do tipo Atlântico são regiões de

passagem para sedimentos grosseiros derivados do continente. O sopé superior é caracterizado por instabilidade gravitacional que leva a deslizamentos (Fig. 6). A deposição dominante no sopé inferior é de lutitos. Entretanto, canyons submarinos podem prover terrígenos mais grosseiros que se distribuem no sopé inferior como cones e no assoalho oceânico profundo como tubiditos (Fig. 6). Ocasionalmente, nos casos de grande suprimento de material clástico e/ou de períodos de retração do nível do mar, os sedimentos podem ultrapassar os limites da plataforma original atulhando o sopé continental (Fig. 7-III), caracterizando assim um geossinclineo que na classificação de Kay/Dewey e Bird é denominado de paraliogeossinclineo.

As seqüências paraliogeossincliniais gradam para sedimentos oceânicos pelágicos de leptogeossinclineo — sílex e lutitos não calcários — que recobrem progressivamente novo assoalho oceânico, a medida que a acreção da placa avança.

A atividade ígnea declina rapidamente nas margens continentais após a fase de tafrogeossinclineo. O vulcanismo sob a forma de extrusão do toleitos em almofada, ocorre então na porção axial do rift valley. Como componente menor desse processo, ocasionalmente podem aparecer basaltos alcalinos provenientes de vulcanismo nos flancos da dorsal que vão formar as fundações das montanhas oceânicas (Fig. 6).

Uma variante deste modelo geral de evolução de margem continental Atlântica ocorre quando movimentos laterais, através de falhas transformantes, associam-se aos processos de ruptura da crosta continental e crescimento do assoalho oceânico.

## 2.2 — Evolução da margem continental tipo Andina

Numa margem continental do tipo Andina a litosfera oceânica mergulha sob a margem de uma placa que se desloca em sentido contrário e que, por sustentar uma massa cratônica, é isostaticamente mais leve que a placa descendente (Fig. 5).

Uma margem desse tipo origina-se pelo aparecimento de uma fossa oceânica numa primitiva margem continental tipo Atlântica. A espessa seqüência sedimentar acumulada no sopé de uma margem continental não vulcânica de um oceano em crescimento é convertida, por deformação, metamorfismo e

atividade ígnea, em cinturões orogênicos característicos de um oceano em contração (Fig. 8).

Interpretações sobre o modo de formação da fossa e o mecanismo dos processos envolvidos na conversão dos tipos de margens e na orogênese ortotectônica resultantes, foram sugeridas por Dewey (1969), Dewey e Ird (1970 a).

De acordo com Dewey (1969) a formação de uma fossa oceânica pode estar relacionada com o princípio básico da tectônica global quanto à compensação entre o crescimento crustal numa margem tensional e o seu consumo numa margem compressiva. Deste modo, após o choque de duas placas numa orogénia paratectônica — estágio terminal de um ciclo oceânico — torna-se necessário o aparecimento de um novo local de subdução a fim de compensar o processo de crescimento que continua a se operar em outros oceanos. É mantido assim o equilíbrio acreção/consumo de placas. Os locais mais apropriados para o desenvolvimento de novas fossas são as margens de oceanos mais velhos que, por terem atingido uma largura litosférica maior, tem a crosta mais fria, mais densa e, provavelmente, também enfraquecida pelo espesso prisma sedimentar acumulado sobre ela. Por outro lado, essa grande espessura sedimentar, por si só, pode provocar um estado de instabilidade na crosta oceânica subjacente que, como resultado, sofre um colapso e dá início a subdução litosférica (Dietz, 1963; Dewey, 1969). Neste caso, a perda de litosfera pode

ser alcançada sem que seja necessário o fechamento de um outro oceano.

A figura 8 mostra esquematicamente três estágios do processo de conversão.

Numa primeira fase, após o desenvolvimento da fossa e início da descida da placa, ocorre um intrincado acavalamento de cunhas de crosta oceânica (suite ofiolítica, com rochas ultrabásicas sobrepostas por rochas intrusivas e extrusivas) que, assim, constroem um alto externo (Fig. 8-III). As rochas ígneas e «mélange» de sedimentos arrastados da placa descendente, são deformados e metamorfisados num sistema de alta pressão e baixa temperatura, constituindo um regime de fácies «blueschist». Com a progressão da descida da placa, este padrão de deformação migra em direção ao continente, colocando sedimentos do antigo sopé continental sobre cunhas do embasamento (Fig. 8-III). Quando a placa descendente atinge uma profundidade de aproximadamente 100 quilômetros, dá-se uma fusão parcial com produção de magmas basálticos toleítico-alcalinos e andesíticos calco-alcalinos, que se introduzem ou extrudem na zona orogénica produzindo um sistema metamórfico de alta temperatura.

A cadeia orogénica de uma margem tipo Andina fica caracterizada assim pelo desenvolvimento de zonação metamórfica emparelhada, com um cinturão inicial de «blueschist» no lado oceânico e um cinturão metamórfico de alta temperatura, mais tardio, no lado continental.

## EVOLUÇÃO DE MARGEM CONTINENTAL TIPO ATLÂNTICA

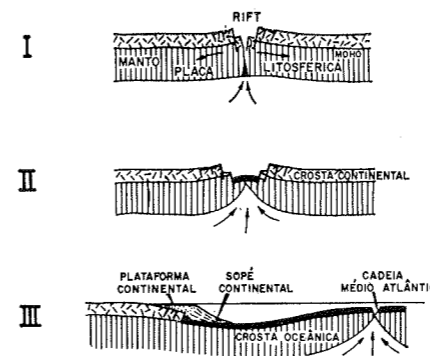


Figura 7

## EVOLUÇÃO DE MARGEM CONTINENTAL TIPO ANDINA

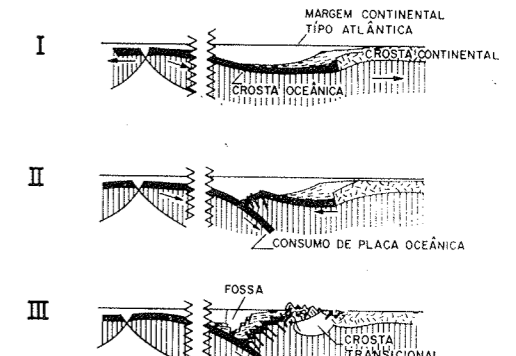


Figura 8

2.3 — Ciclo Oceânico

Os processos de evolução de margens continentais do tipo Atlântico e do tipo Andino, ambos realizando-se atualmente na placa Sul-Americana, fazem parte de uma estrutura maior que, ao longo prazo, é responsável por ciclos de formação e destruição de oceanos e, por isto, de ruptura e choque de massas continentais.

Tal periodicidade, como já observado por Dewey e Horsfield (1970) é inerente ao conceito de tectônica de placas, pois, se tal não ocorresse, dar-se-ia a formação, desde longa data, de um único e grande continente. Pela mesma razão, termos como Gondwana, Laurasia e Pangea, indicam apenas conjunções temporais de massas continentais.

O ciclo inicia-se com uma fase Atlântica de expansão do assoalho oceânico. Na fase subsequente, dita Pacífica, há desenvolvimento de uma fossa, localizada ou sob um primitivo sopé continental, no tipo Andino, ou no oceano, longe do continente, no tipo arco insular. O oceano então contrai-se por perda li-

tosférica. Numa fase posterior, chamada de Mediterrânea, tendo o eixo de expansão da dorsal oceânica sido consumido, forma-se um sistema de fossas e os dois fragmentos continentais envolvidos aproximam-se cada vez mais terminando por colidirem numa espetacular orogenia paratectônica.

Segundo Wilson (1968) todas as fossas ou estágios do ciclo vital oceânico — nascimento, crescimento, retração e fechamento —, podem ser relacionados com exemplos do presente como mostrado na Tabela III.

Como confirmação desses ciclos oceânicos é interessante destacar a presença de cinturões orogênicos prémesozóicos bordejando as atuais margens continentais Atlânticas (Sutton, 1968; Dewey, 1969). No caso particular das margens Atlânticas da América do Sul e Oeste da África, as bacias costeiras são ladeadas por cinturões orogênicos de 900-550 milhões de anos (Sutton, 1968), indicando que a atual fase de abertura foi precedida por choque de placas resultante de consumo oceânico.

TABELA III

ESTÁGIO	EXEMPLO	MOVIMENTOS	SEDIMENTOS	ROCHAS ÍGNEAS
1. Embrionário	Rifts valleys da África Oriental	Levantamento	Insignificantes	Derrames basálticos toleíticos, centros de basaltos alcalinos.
2. Jovem	Mar Vermelho e Golfo de Aden	Levantamento e expansão	Pequenas plataformas, evaporitos	Assoalho oceânico toleítico, ilhas basálticas.
3. Maduro	Oceano Atlântico	Expansão	Grandes plataformas (tipo miogeoclíneo)	Assoalho oceânico toleítico, ilhas alcali-basálticas
4. Senil	Oceano Pacífico Ocidental	Compressão	Arcos insulares	Vulcânicas andesíticas, plutônicas gneiss granodioríticas.
5. Terminal	Mar Mediterrâneo	Compressão e levantamento	Evaporitos, camadas vermelhas, cunhas clásticas	Vulcânicas andesíticas, plutônicas gneiss granodioríticas.
6. Cicatriz residual (Geossutura)	Linha do Indus, Himaláia	Compressão e levantamento	Camadas vermelhas	Insignificante.

SEGUNDO WILSON (1968)

Tabela III — Estágios no ciclo das bacias oceânicas e suas propriedades.

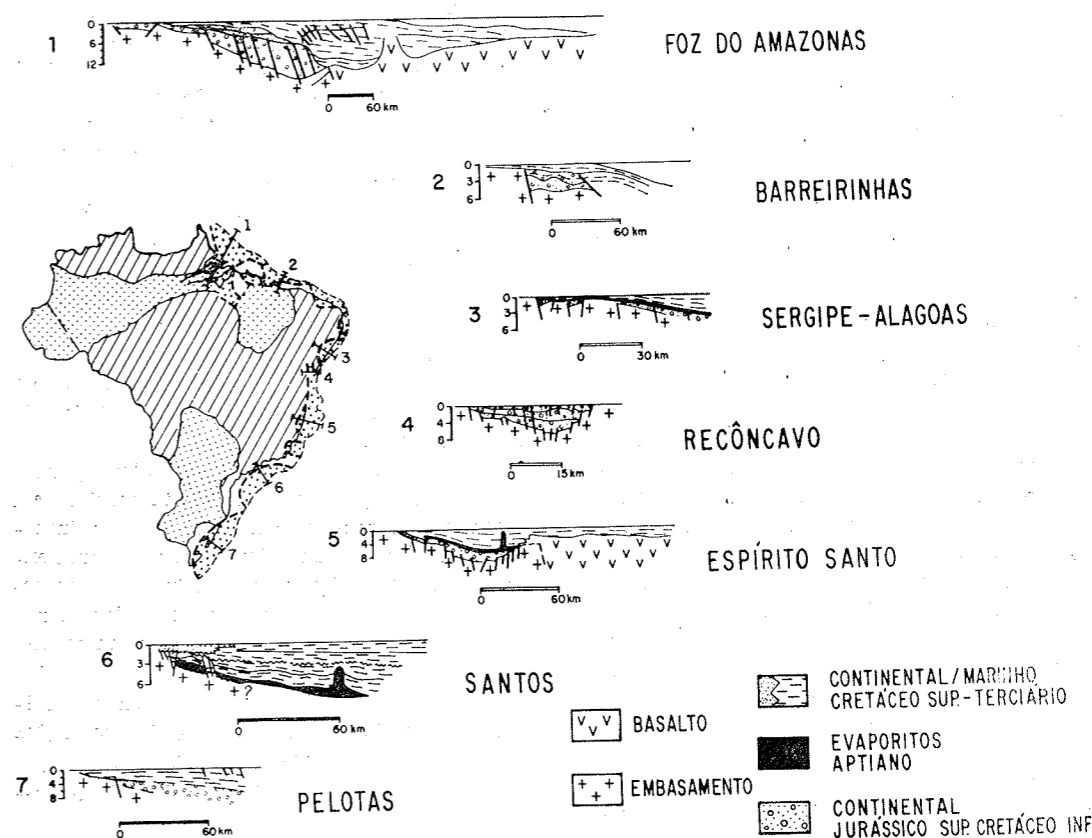


Figura 9 — Tipos representativos das bacias da margem continental brasileira.

BACIA COSTEIRA ESTÁVEL  
TIPO V (KLEMMÉ, 1971)  
GRABEN OU RIFT  
TIPO III (KLEMMÉ, 1971)  
MIOGEOCLÍNEO (DEWEY & BIRD, 1970)  
TAFROGEOSSINCLÍNEO (DEWEY & BIRD, 1970)



Figura 10

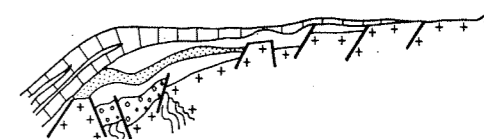


Figura 11



### 3. BACIAS COSTEIRAS OU MARGINAIS BRASILEIRAS

Os tipos representativos das bacias marginais brasileiras, mostrados nas seções esquemáticas da figura 9, revelam convenientemente sua origem por distensão e rompimento da crosta continental, do que resultaram dois grupos principais distintos mas relacionados:

a) grabens, rifts-valleys ou ainda tafrogeossinclíneos intracratônicos — dos quais a bacia do Recôncavo, que permaneceu dormente, é um exemplo atual —, que evoluíram para o estágio mais avançado de

b) geossinclíneos de margem continental, formados pelo efeito da introdução de material simático na fase de crescimento do assoalho oceânico, conferindo-lhes, quanto à constituição crustal, uma característica intermediária ou semi-cratônica. Inclui todas as bacias da margem continental.

Estes dois grupos de bacias adaptam-se aos modelos apresentados nas figs. 10 e 11, respectivamente o que permite situá-los como mostrado na Tabela II, nas classificações genético-descritivas de Weeks (1952)/Klemme (1971) e de Dewey e Bird (1970), como já apontado por Asmus (1972 c).

As feições estruturais e as seqüências estratigráficas presentes nessas bacias ajustam-se igualmente ao modelo evolutivo teórico da margem do tipo Atlântico (Fig. 7). Sob este aspecto deve-se exaltar a vantagem da aplicação da teoria da tectônica de placas, como um seguro instrumento de previsão para bacias ainda pouco conhecidas através de métodos diretos de exploração.

Estruturalmente, as bacias costeiras ou marginais compreendem falhamentos normais alongados, segundo direções de fraqueza do embasamento cristalino, ao longo dos quais se construíram grabens e horsts interpostos, no estágio inicial de tafrogeossinclíneo. Secundariamente, aparecem falhamentos transversais, também normais, provocados pela subsidência diferencial da crosta nas fases iniciais de implantação da bacia.

As fases evolutivas posteriores apresentam uma diminuição acentuada de tectonismo e a reativação das antigas falhas ou, mais raramente, a formação de novos falhamentos, é decorrência da progressiva subsidência da margem continental, ou, no caso, da bacia de Sergipe/Alagoas, da proximidade de zonas tafrogeossinclinais presumivelmente tardias.

Caso particular interessante aparece nas margens continentais norte-brasileira e oeste-africana, nas bacias de, respectivamente, Ceará e Barreirinhas (Fig. 9, seção 2) e Gana e Costa do Marfim, que apresentam o intervalo pré-Campaniano afetado por dobras e falhas reversas (Miura e Barbosa, 1972) indicativas de forças compressivas atuantes no estágio de miogeoclíneo. Tal estilo tectônico peculiar impõe a necessidade de uma subdivisão para essas bacias costeiras miogeoclinais, como já sugerido por Klemme (1972): um subtipo inclui bacias de rompimento paralelo; o outro subtipo foi formado pelos movimentos transformantes durante o crescimento do assoalho oceânico, entre norte do Brasil e a África na região que vai da Libéria a Dahomé.

A seqüência estratigráfica padrão para o primeiro subtipo apresenta três intervalos bem distintos (Asmus e Ponte, 1970): um intervalo inferior, clástico, depositado em ambiente continental subaquoso; um intervalo intermediário, evaporítico de ambiente lagunar e um intervalo superior, clástico e químico, depositado essencialmente em ambiente marinho.

Cada um desses intervalos sendo resultado do arcabouço estrutural e das condições ambientais dominantes à época de sua deposição, representa um estágio da evolução da bacia.

O intervalo inferior revela a deposição, em parte sintectônica, da fase inicial de tafrogeossinclíneo, em ambientes lacustrinos e fluviais. Sua ocorrência pode ser conjecturada para todas as bacias marginais brasileiras e, pela idade de seus sedimentos mais velhos, é um dos elementos utilizados para indicar o início da formação das bacias, pela ruptura do craton.

A deposição do intervalo médio evaporítico deu-se na transição tafrogeossinclíneo/miogeossinclíneo, logo após a primeira invasão marinha. Supostamente com características regionais, requereu a existência de elementos segregadores capazes de criarem condições restritivas no proto-oceano então formado. Para as bacias onde se ausenta o intervalo evaporítico, pode ser concluído que estas se encontravam na porção exterior das barreiras de restrição na época da deposição de evaporitos.

O intervalo superior corresponde aos estágios miogeossinclíneo, miogeoclíneo e paraliogeossinclíneo. Atualmente, o estágio miogeossinclíneo nem sempre pode ser reconhecido com facilidade. Entretanto, pode ser previs-

to para grande parte das bacias (Tabela II) desde que os altos externos, elementos fundamentais para a sua formação, são componentes normais na evolução das bacias costeiras de rompimento paralelo.

O estágio paraliogeossinclíneo foi reconhecido apenas na bacia da Foz do Amazonas.

As bacias do outro subtipo que experimentaram movimentação lateral durante sua evolução, apresentam uma seqüência estratigráfica mais simples, desde que se ausenta o intervalo evaporítico intermediário.

#### 3.1 — Formação do Oceano Atlântico Sul e efeitos associados

A formação das bacias marginais brasileiras, amoldando-se no modelo de evolução da margem continental tipo Atlântica, (Fig. 7), envolve, como corolário, a formação concomitante do Oceano Atlântico Sul.

As evidências que suportam a existência de uma ligação pretérita entre a América do Sul e África, como parte do supercontinente de Gondwana, são encontrados, no Brasil e na África, em inúmeras feições geológicas que não só apresentam surpreendentes analogias como também revelam uma notável continuidade no preciso arranjo de Bullard et al (1965) para os dois continentes. Referem-se principalmente a identidades litológicas, paleontológicas, estruturais e radiométricas, já assinaladas em diversos trabalhos anteriores (Asmus e Ponte, 1970; Asmus, Gomes e Pereira, 1971; Asmus, 1972a e 1972c).

O rápido avanço dos estudos geológicos nas áreas da plataforma continental brasileira tem fornecido um considerável volume de dados que, interpretados segundo os novos conceitos de tectônica de placas, permitem esboçar os estágios evolutivos da formação do Atlântico Sul (Fig. 12).

No Neo-jurássico, num estágio pré-migração, o Continente de Gondwana era emergente e as bacias então existentes em seu interior, livres de qualquer influência marinha. Os sedimentos ali depositados, encontrados atualmente nas bacias do Recôncavo (Grupo Brotas) e Sergipe/Alagoas (formações Bananeiras e Serraria) no Brasil, e nas bacias do Gabon (formações M'Vone e N'Dombo) e do Congo (formação Grés Rouge de Base e Lucula) na África.

Dois origens distintas têm sido atribuídas para essas bacias jurássicas, embora ambas aceitem como causa fundamental o extenso

levantamento crustal pré-rift. Uma interpretação (CPEG-IV, 1971), propõe que essas bacias resultaram de uma depressão (Depressão Afro-Brasileira) formada por adelgaçamento crustal e/ou falhamentos incipientes que, por sua vez, foram provocados por deformações tensionais na crista da intumescência. A segunda hipótese (Estrella, 1972), contrariamente, afirma que as bacias jurássicas foram sinclinais periféricos formados em volta da intumescência. Aceitando que o centro da intumescência situava-se na região atualmente ocupada pelas bacias do Espírito Santo e Campos, Estrella (1972), não só explica a atual distribuição dos sedimentos jurássicos conhecidos, como também supõe sua presença na bacia de Santos. Pelo mesmo raciocínio pode-se admitir a ausência de tais sedimentos na parte sul da bacia de Santos e na bacia de Pelotas, pelo menos na sua porção norte, onde, como indicado pelo intenso vulcanismo eocretácico, encontrava-se um outro centro de intumescência.

A grande área de distribuição e a uniformidade dos sedimentos jurássicos sugerem uma relativa calma tectônica.

Mas uma atividade tectônica inicial já se verificava em áreas vizinhas. O Atlântico Norte, no Eo-Jurássico, já se esboçava como um proto-oceano que separava a Laurásia (América do Norte + Europa) da Gondwana Ocidental (América do Sul + África) (Dietz e Holden, 1970). A ruptura da porção norte, enquanto a América do Sul e África estavam ainda ligadas, produziu rifts secundários, como o de Takutu e da bacia do médio e baixo Amazonas (Burke et al., 1971).

A formação do Vale do Takutu neste tempo é indicada por idades radiométricas (150-146 m.a.\*) de rochas básicas encontradas na porção mais ocidental do rift, no Brasil (Carneiro et al., 1968).

A bacia paleozóica do Amazonas, em suas porções média e baixa, segundo Porto (1972) é um rift-valley incipiente construído no Cambro-Ordoviciano por intrusões intracrustais de material derivado do manto. Estas intrusões são reveladas atualmente através de um alinhamento de altos gravimétricos que ocorrem no eixo da bacia. Um poço,

(\*) As determinações de idades por métodos radiométricos quando não houver citação do Autor, devem ser creditadas ao Prof. Dr. U. G. Cordani, do Laboratório de Geocronologia da Universidade de São Paulo.

CM-1-PA (Cumina Mirim n.º 1) locado sobre uma das anomalias positivas, encontrou piroxenitos que, de acordo com determinações radiométricas, datam de 450 m.a. atrás. Diques e sills introduzidos nas rochas paleozóicas têm idades entre 220-150 m.a. (Neo-Triássico/Jurássico), permitindo inferir que essa atividade ígnea é uma reativação do rift embrionário do eo-paleozóico.

Da mesma forma, o fendilhamento da porção mais sul do Gondwana Ocidental talvez tenha se iniciado nesse tempo. Como resultado, o extermo sul da América do Sul, abaixo do rio da Prata, sofreu uma rotação para oeste (horária). Os esforços tensionais resultantes provocaram a ruptura da margem continental (Meservey, 1971), formando bacias cuneiformes, separadas entre si por altos do embasamento e limitadas por falhas através das quais o magma ascendeu (Zambrano e Urien, 1970).

O segundo estágio correspondente à fragmentação do Continente de Gondwana Ocidental pode ser analisado separadamente segundo três regiões: uma situada na atual margem continental leste brasileira, entre o Rio Grande do Sul e Alagoas; a outra na margem norte, estendendo-se desde o Rio Grande do Sul e Alagoas; a outra na margem norte, estendendo-se desde o Rio Grande do Norte até Barrerinhas; e a terceira, compreendendo a faixa de Pernambuco-Paraíba.

### 3.1.1 — Evolução das bacias da margem leste

Para a primeira dessas regiões, investigações paleomagnéticas em amostras de rochas da América do Sul e África, evidenciaram que a migração relativa dessas massas gondwânicas e a formação do Atlântico Sul, começou no Mesozóico, após o Neo-triássico, mas antes do Cretáceo Médio (Vilas e Valêncio, 1970).

Evidências geológicas permitem estabelecer mais precisamente no Cretáceo Inferior (Wealdiano) o tempo de tafogenia de maior extensão e intensidade. Assim, em grabens e bacias marginais de um lado e doutro do atual Atlântico Sul, o intervalo basal de suas colunas sedimentares consiste de sedimentos wealdianos não marinhos, com notáveis similaridades litológicas e paleontológicas, localmente sintectônicos, e cobertos por sedimentos aptianos marinhos, com uma porção basal transicional de evaporitos lacustres.

Uma idade wealdiana para o tectonismo principal é suportada pela presença de rochas basálticas intrusivas e extrusivas, a maioria com cerca de 130-120 m.a. (Amaral et al., 1966), que ocorrem nas bacias e áreas circunvizinhas. A maior expressão da atividade ígnea encontra-se na bacia do Paraná, onde a cobertura da lava, com mais de um milhão de quilômetros quadrados, atinge uma espessura máxima da ordem de 1.500 metros. Os derrames de lava da África do Sudoeste têm a mesma idade (Siedner e Miller, 1968) mas são consideravelmente menores. Na bacia de Campos a existência de uma espessa seção de lava (625 metros), datada de 121 m. a. por método K/Ar, foi revelada pelo primeiro poço ali furado. Intrusões basálticas (130-120 m.a.) encontram-se expostas no embasamento cristalino que margeia a bacia de Santos (Damasceno, 1966; Marini et al., 1967) e interpostos em sedimentos wealdianos da bacia do Espírito Santo.

Outras manifestações extrusivas e intrusivas de rochas basálticas na mesma faixa de idades, são encontradas nas bacias do Maranhão e Amazonas.

Baseados em todas essas ocorrências, Minioli et al. (1971), admitiram uma extensão continental para o vulcanismo do Cretáceo Inferior, concluindo que a atividade da bacia do Paraná ligou-se àquelas das bacias do Maranhão e Amazonas, pelos diques presentes no Planalto Central Brasileiro. Entretanto, embora reconhecendo-se a grande extensão dessa atividade ígnea, deve ser destacada sua maior importância na bacia do Paraná onde, de acordo com Morgan (1971) ela é a expressão continental da atividade de um «hot-spot» conhecido atualmente como «hot-spot» de Tristão da Cunha (Wilson, 1965, 1971). Deformações sob a forma de fraturas próximas ao «hot-spot» teriam facilitado a extrusão de grandes volumes de magma. Tais fraturas, de que os lineamentos de Torres-Possadas e da África do Sudoeste são exemplos (Fig. 12), teriam sido produzidas pelos esforços impostos à placa, pela ruptura e migração das porções mais meridionais da América do Sul e África, enquanto as partes ao norte permaneciam ainda ligadas.

Também na área das bacias do Espírito Santo e Campos, pode ser admitida a existência de um outro «hot-spot» embora de proporções bem menores. A possibilidade dessa ocorrência resulta da ausência de sedimentos jurássicos, indicativos de uma intumescên-

cia pré-rift e de uma significativa atividade ígnea eo-cretácica.

Os rift-valleys ou tafrogeossinclíneos resultantes do tectonismo wealdiano abriram-se de sul para norte ao longo de antigas linhas de fraqueza do embasamento precambriano até uma zona entre o nordeste do Brasil (Pernambuco) e o oeste da África (Nigéria-Camerum).

Os sedimentos desse estágio compreendem uma seqüência continental, caracterizada por intercalações de folhelhos e areias, possivelmente de origem deltáica, depositada num ambiente lacustre e conglomerados polimíticos síncronos com a intensa atividade tectônica.

Num estágio subsequente, os relevos anticlinalizados do tectonismo precedente já estavam nivelados, permitindo no Aptiano, a primeira incursão marinha no embrião do Oceano Atlântico Sul, que se estendeu, como um longo e estreito golfo, por toda a costa oriental brasileira e ocidental africana, até as ba-

cias de Sergipe/Alagoas e Gabon, respectivamente. A bacia do Recôncavo, formada como um ramo do rift principal, foi soerguida durante o Aptiano e assim não inundada por essa incursão marinha.

O início da migração dos continentes fixou o arcabouço das bacias na margem continental pelo aparecimento de falhas transformantes. Estas, localizadas em antigas linhas de fraqueza, determinaram deslocamentos no contorno da margem continental e o correspondente deslocamento dos rift-valleys da dorsal médio-atlântica. A maior ou menor distância da margem ao centro de divergência da dorsal provocou subsidências diferenciais que por sua vez, criaram arcos divisores de bacias.

Nas bacias assim formadas, a deposição clástico-terrigena inicial foi seguida por condições restritivas favoráveis à deposição de evaporitos, no Aptiano Superior. A presença de evaporitos já foi registrada nas bacias de Sergipe/Alagoas, Jequitinhonha, Espírito San-

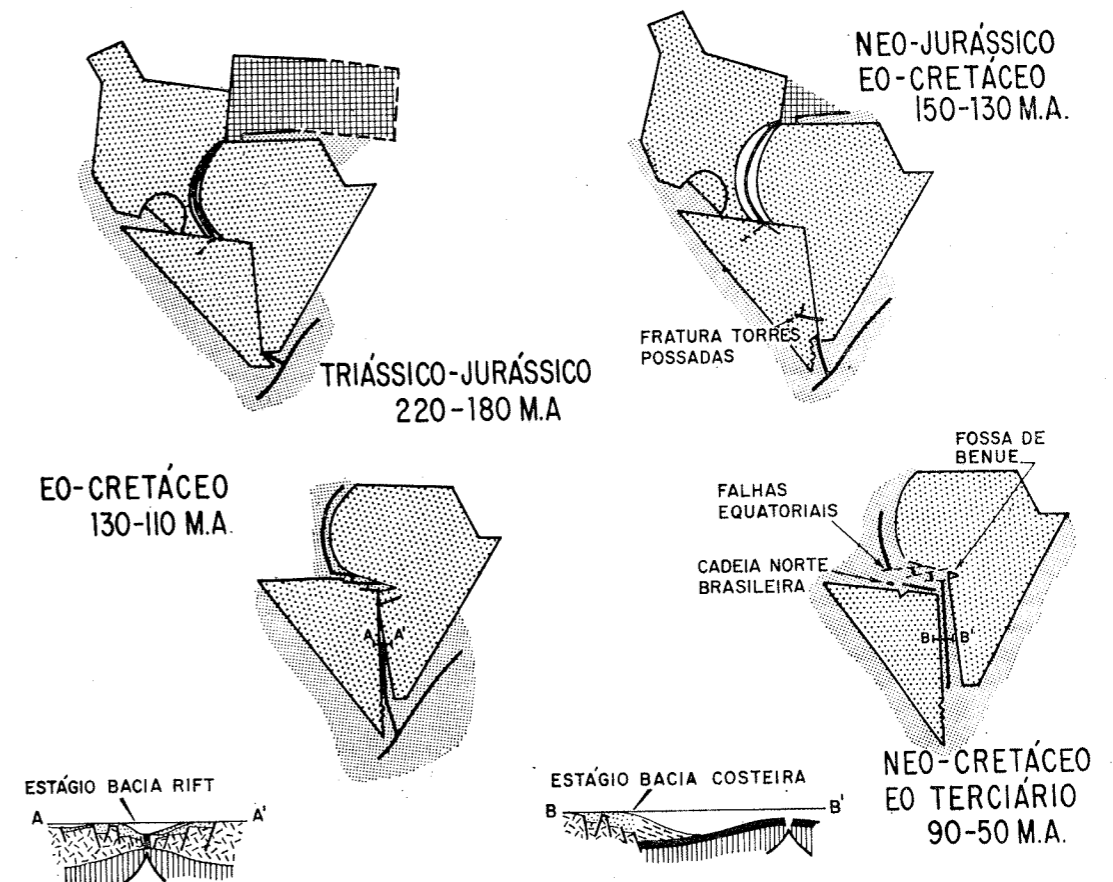


Figura 12 — Formação do Oceano Atlântico e efeitos associados.

to. Campos e Santos, no Brasil, e Gabon, Congo e Cuanza, na África Ocidental. A ausência de sal nas bacias brasileiras ao sul da dorsal do Rio Grande e nas bacias africanas abaixo da dorsal de Walvis, fizeram supor (Asmus e Ponte, 1970; Le Pichon e Hayes, 1971) que a restrição regional seria dada pelo alto relacionado com a posição das primitivas feições vulcânicas que desenvolveram aquelas cadeias oceânicas (Wilson, 1965; Dietz e Holden, 1970), cuja existência como «hot-spot» desde o neo-jurássico é sugerida por Morgan (1971). Como consequência, a bacia de Pelotas, abaixo da dorsal do Rio Grande, fora assim das condições restritivas no Aptiano, já estaria recebendo sedimentação marinha franca.

É possível que a deposição evaporítica regional tenha ultrapassado as barreiras locais de cada bacia, depositando-se sobre a crosta oceânica recém-criada, como é suposto ter ocorrido no Oceano Atlântico Norte (Pautot et al., 1970). O achado de estruturas diapíricas, provavelmente domos salinos, na margem continental além da plataforma e mesmo nas bacias oceânicas, costa afora da África Ocidental, desde o Gabon até Cuanza (Baumgartner e Van Andel, 1971; Von Harzen et al., 1972; Leyden et al., 1972) sugerem condições similares no Atlântico Sul. As barreiras locais serviriam ou para oferecer restrições a salmouras mais concentradas (sais solúveis de potássio nas bacias de Sergipe, Santos e Congo) ou para estender verticalmente no tempo a fase evaporítica, como na bacia de Cuanza, onde são encontrados evaporitos até o Albiano, ou ainda para impedir a deposição total ou de fácies mais solúveis de evaporitos, como nas bacias de Almada no Brasil e, segundo Leyden et al., (1972), Moçamedes, na África.

No Albiano, foram desfeitas as condições de restrição do proto-oceano Atlântico Sul, cujas bacias como consequência passaram a ser dominadas por um ambiente marinho franco, propício à deposição de carbonatos, sedimentos predominantes desde o Albiano até o Turoniano. Duas causas, que atuaram isoladamente ou combinadas, podem ser postuladas para explicar essa alteração ambiental:

1 — relaciona-se com o progressivo crescimento do assoalho oceânico que, como consequência, afastou as margens continentais para longe do eixo de dispersão da dorsal, permitindo que, por compensação isostática,

elas ficassem sujeitas a uma continuada subsidência.

2 — acha-se ligada a uma redução do fluxo litosférico, responsável por um possível período de quiescência gradual que, iniciado no Albiano, estendeu-se até o Cretáceo Superior (Turoniano-Coniaciano). Como resultado as dorsais oceânicas e as dorsais assísmicas (no caso as dorsais do Rio Grande e Walvis) abateram-se, permitindo assim uma comunicação franca, por sobre aquela primitiva barreira, do mar aberto com o até então restrito oceano Atlântico Sul.

A reativação dos processos de crescimento do assoalho oceânico, numa segunda fase de abertura de acordo com Le Pichon e Hayes (1971) ocorreu no Cretáceo Superior (80 m.a.) e correspondeu a uma mudança do polo de rotação para as placas Sul-Americana e Africana, de sua posição original (35°N, 21°W) para uma posição mais ao norte (58°N, 37°W).

Essa reativação neo-cretácica acha-se igualmente ligada com mudanças nos processos sedimentares e na configuração estrutural não só da área analisada — faixa da margem continental entre Rio Grande do Sul e Alagoas — mas também em áreas terrestres do interior do Brasil.

Assim, data do Cretáceo Superior (Campaniano-Maestrichtiano) o início de uma transgressão marinha de âmbito mundial que, segundo Hallam (1971), foi originada pelo movimento eustático do nível do mar devido a uma diminuição de capacidade cúbica das bacias oceânicas imposta pelo levantamento das dorsais médio oceânicas. Os sedimentos então depositados, sobre uma grande área das bacias marginais leste, foram predominantemente folhelhos que recobriram uma topografia irregular, derivada de um período erosional precedente.

A reativação do Cretáceo Superior pode ser responsabilizada também pela intensa atividade ígnea toleítica-alcalina, tanto intrusiva como extrusiva que ocorreu entre 83-50 m.a., na margem continental do Espírito Santo e na porção centro-leste do Brasil. Essa atividade, por ter ocorrido no interior da placa, longo do seu eixo de acreção, é bastante peculiar e ainda não suficientemente compreendida.

Embora a distância da área de atividade e composição alcalina do magma conduza a inferir uma origem magmática mais profunda que a dos magmas toleíticos (Kuno, 1966), a causa da localização e o relacionamento

estrutural dessa atividade são ainda muito especulativos.

O vulcanismo do Espírito Santo é provavelmente relacionado a uma zona de fratura, associada a um «hot-spot», ao longo da qual ocorreram várias montanhas submersas, guyots e ilhas oceânicas (Almeida, 1960; 1965). Determinou também, segundo Asmus (1970), a construção do Banco de Abrolhos, uma acreção vulcânica de olivina basalto, responsável pelo alargamento da plataforma continental original em cerca de 100 quilômetros.

A atividade alcalina no continente, como apontado por Almeida (1972), localizou-se em áreas falhadas e intensamente flexurizadas como a borda nordeste da bacia do Paraná e a região das Serras do Mar e da Mantiqueira.

Essas regiões foram sujeitas a grandes movimentos verticais opostos que, de acordo com Martin (1968), são provocados por processos no manto profundo e podem desencadear bolsões localizados de fusão parcial e diferenciação.

O Cenozóico iniciou-se com um período regressivo cujo ponto máximo foi atingido no Oligoceno. Foi seguido por uma transgressão cujos depósitos subhorizontais são indicativos de apreciável decréscimo na subsidência da margem continental.

### 3.1.2 — Evolução das bacias da margem norte e nordeste

Como margem continental norte e nordeste considera-se para efeito desta análise, a porção entre Barreirinhas e Pernambuco, no Brasil, e a sua faixa correspondente africana que, no arranjo pré-migração, situa-se entre o Camerum e a Costa do Marfim. As peculiaridades apresentadas por essa margem continental impõem diversos problemas ao estudo de sua origem e evolução, fazendo-se então por vezes, bastante conjecturável.

Assim, a presença de sedimentos basais continentais aptianos nas bacias de Barreirinhas e Potiguar, indica que somente por esse tempo iniciou-se a ruptura da faixa norte.

Já para a região correspondente ao atual segmento Pernambuco-João Pessoa, foi sugerida uma ruptura mais nova ainda. Isto porque, conglomerados sintectônicos, associados ao que se supõe com falhas tafrogênicas, acham-se introduzidos e recobertos por rochas ígneas com idades K/Ar de 90 milhões de anos (Mabesoone, 1971). Cabe observar, entretanto, que todo conhecimento geológico

dessa região, principalmente estratigráfico, limita-se apenas à sua porção emersa. É então plausível admitir também, como hipótese de trabalho, a possibilidade desses falhamentos mais antigos, provocados talvez pela já referida reativação do Senoniano.

Essas diferentes idades de ruptura das faixas leste, do Rio Grande do Sul a Alagoas (Wealdiano), norte, de Barreirinhas a Potiguar (Aptiano) e nordeste, de Pernambuco a João Pessoa (Turoniano) conduzem a uma configuração estrutural interessante que teria perdurado até o Cretáceo Superior: dois proto-oceanos (Atlântico Norte e Sul) separados um do outro por uma conexão terrestre entre Pernambuco-João Pessoa/Camerum-Nigéria. Tal modelo foi sugerido pela primeira vez por Beurlen (1961, 1962) ao constatar que as formas fósseis do Oceano Atlântico ao sul e ao norte da região de Pernambuco-João Pessoa, até o Turoniano pertencem a províncias zoogeográficas diferentes. Somente a partir do Senoniano, a fauna fóssil apresenta elementos misturados, permitindo supor que data deste tempo a ruptura final da postulada barreira e, como consequência, a livre circulação entre o Atlântico Norte e Sul.

Tal configuração, se apreciada em relação ao conceito de tectônica de placas determina um problema cuja solução não foi ainda completamente alcançada.

Assim a existência de dois eixos de acreção praticamente ortogonais e bastante próximos, exige a presença de dois polos de rotação, situados nos vértices das cunhas tafrogênicas. Com a formação de nova crosta e conseqüente crescimento do assoalho oceânico, há necessidade de haver uma compensação por consumo numa área limitada por uma paralela de rotação de alta latitude (W. R. Dickinson, 1972, informação verbal).

Uma possível área de consumo de placa foi sugerida por Burke et al., (1971) na depressão de Benué (Fig. 12) com base na presença ali de feições estruturais e petrográficas. A fossa ou depressão de Benué tem seu nome associado ao rio principal cujo curso ela controla. É formada por um sistema de fraturas tensionais preenchidos com mais de 5.500 metros de sedimentos cretácicos dobrados e rochas vulcânicas. Ela tem sido interpretada como um riftvalley situado sobre uma linha transitória de separação de placas litosféricas no Cretáceo, cujo início do Albiano é atestado pela presença ali de sedimentos marinhos desta idade. Dobras compressivas, do

Santoniano, com eixos na direção predominante nordeste-sudoeste, apresentam-se associados com atividade vulcânica alcalina e calco-alcalina e com mineralização de chumbo e zinco, e servem de marco para o término da atividade de acreção crustal na fossa de Benué.

Burke et al. (1971) considerando a associação atual de vulcanismo calco-alcalino com zonas de subdução, supõe que os dobramentos santonianos relacionam-se com consumo de placas que pode assim ter existido na área.

Grant (1971) oferece uma concepção distinta, relacionando os proto-oceanos Atlântico Norte e Atlântico Sul e a área de efêmera dispersão crustal da fossa de Benué, através de uma junção tríplice de placas do tipo DDF (dorsal, dorsal, falha transformante). A falha, no caso, compreende o sistema de falhas equatoriais (Fig. 12) ao longo das quais se deu a movimentação lateral de separação entre o norte-nordeste do Brasil e o Golfo de Guiné, na placa africana. Ainda segundo Grant (1971) ao se completar esta separação no Santoniano, deu-se o alívio dos esforços que eram impostos à placa africana, trazendo como consequência os dobramentos da depressão de Benué. Numa tentativa de adaptação da configuração pré-Santoniana da costa norte-nordeste brasileira no modelo de Grant (1971), a barreira responsável pela separação dos tipos fossilíferos poderia ter sido dada por um possível alto topográfico associado com o sistema de falhas transformantes.

Os dados atuais, entretanto, não permitem apreciar a validade destas hipóteses de trabalho com relação ao segmento da costa brasileira entre Pernambuco-João Pessoa. Ali, o conhecimento estratigráfico está limitado à porção emersa, onde os sedimentos mais velhos datam do Maestrichtiano (Beurlen, 1967), dado este que corrobora com a existência de uma conexão terrestre remanescente entre o Brasil e a África. Sua comprovação contudo só será conseguida quando se dispuser de dados estratigráficos da porção submersa dessa região.

Feições estruturais interessantes cujo relacionamento com a margem continental brasileira não está também satisfatoriamente conhecido são as falhas do sistema equatorial de Saint Paul, Romanche e Chain (Fig. 12). Recentemente, Francheteau e Le Pichon (1972) associaram essas zonas de fraturas com pequenos círculos de rotação num arranjo neo-cretácico da América do Sul e África, próximo ao fim da primeira fase de abertura. Verificaram que o prolongamento da zona de

fratura de Saint Paul atinge a bacia da Foz do Amazonas, determinando talvez o seu limite norte no Eo-Cretáceo. É possível sua associação com uma estrutura observada sob o cone sedimentar do Amazonas (Fig. 9) (Rezende e Ferradaes, 1971). A zona de fratura Romanche seria o limite norte da Bacia de Barreirinhas e a zona de Chain, por sua vez, seguindo o lineamento vulcânico onde se situam o Atol das Rocas e o Arquipélago de Fernando de Noronha, marcaria o limite norte da Bacia Potiguar.

Miura e Barbosa (1972) consideram que os dobramentos e falhas reversas pré-campanianas das bacias de Barreirinhas e Ceará ligam-se à atividade dessas zonas de fratura.

Dó mesmo modo a Cadeia Norte Brasileira, lineamento vulcânico com importante expressão topográfica, que corre paralela à costa norte brasileira a uma distância aproximada de 200 quilômetros do talude (Hayes e Ewing, 1970) foi relacionada por Le Pichon e Hayes (1971), às fraturas equatoriais.

Novos dados de trabalhos que serão executados ou já estão em fase de interpretação, certamente oferecerão elementos para a melhor compreensão dessa porção da margem continental brasileira e da formação da conexão entre o Atlântico Norte e Sul no estágio proto-oceânico.

#### 4. BACIAS INTRACRATÔNICAS BRASILEIRAS

As bacias intracratônicas brasileiras mostradas esquematicamente nas seções das figuras 13 e 15, situam-se no interior da placa litosférica Sul-Americana.

As características estruturais destacadas de uma delas, e a idade predominante dos sedimentos que as preenchem nas outras, autorizam, de início, a consideração de dois grandes grupos:

- 1 — Bacia do Acre
- 2 — Bacias Paleozóicas

As seções apresentadas nas figuras 13 e 15 se comparadas com os modelos de Weeks (1952)/Klemme (1971) e de Dewey e Bird (1970) (Figs. 14 e 16), permitem situar as bacias intracratônicas nas classificações destes autores (Tabela II).

A Bacia do Acre ajusta-se perfeitamente no modelo de tectônica de placas pois, nas características estruturais e sedimentares do conjunto de que ela é um elemento, acham-se registrados os ciclos de transformação de

## BACIA DO ACRE

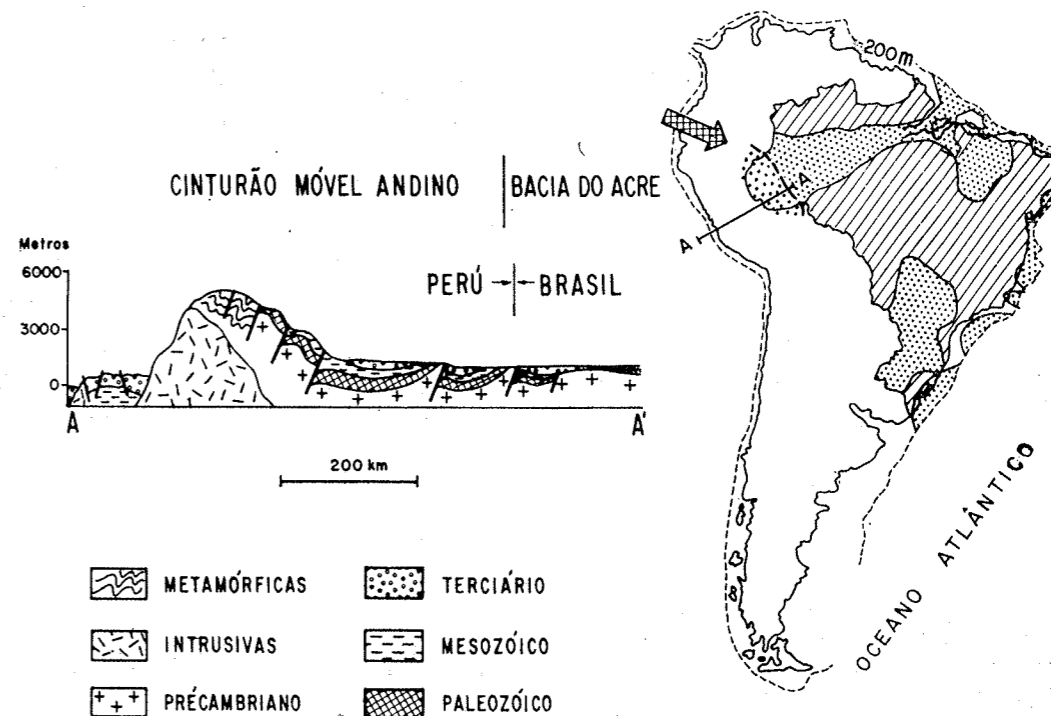


Figura 13

## BACIAS PALEOZÓICAS

### BACIA INTRACONTINENTAL, CRATÔNICA TIPO II (KLEMMÉ, 1971)

### EXOGEOSINCLÍNEO (DEWEY & BIRD, 1970)

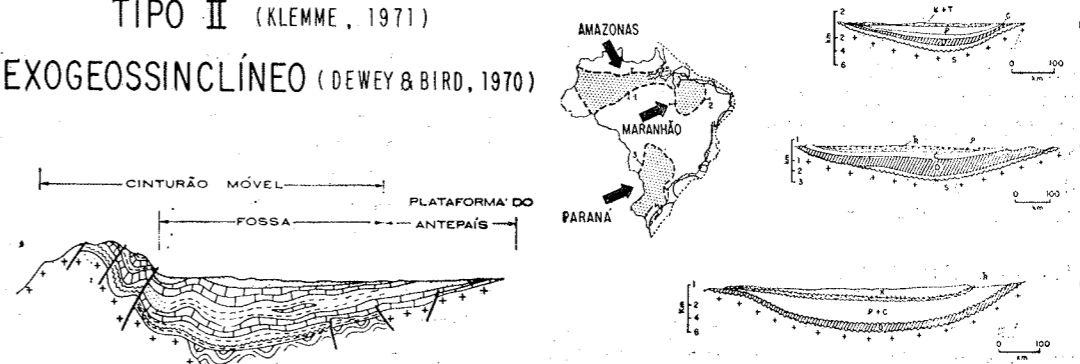


Figura 14

Figura 15

uma margem continental do tipo Atlântico para uma margem continental do tipo Andino.

As bacias paleozóicas cratônicas, de regiões estáveis, por outro lado, como se situam no interior de placas constituídas no Pré-cambriano, em geral não permitem que sua origem e evolução seja associada com modelos conhecidos de tectônica global.

#### 4.1 — Bacia do Acre

Situa-se no extremo oeste do Brasil (Fig. 13), onde ocupa uma área de 230.000 quilômetros quadrados, como um prolongamento das de Pastaza (Peru) e Oriente (Equador). Está separada da bacia do Alto Amazonas pelo Arco de Iquitos.

Sua coluna estratigráfica com 5.000 metros na porção mais espessa compreende um intervalo paleozóico basal sobreposto por uma seção mesozóico-cenozóica (Miura, 1972).

O intervalo paleozóico, com extensão do Siluriano ao Permiano, é idêntico ao da bacia do Alto Amazonas.

O intervalo mesozóico-terciário, pelas características das seqüências que contém, denuncias as várias fases do processo evolutivo da bacia. A seqüência consiste de evaporitos e sedimentos continentais vermelhos que passam, em direção ao oeste para sedimentos transicionais e marinhos. Corresponde ao estágio final de uma bacia costeira estável ou miogeoclíneo numa margem continental tipo Atlântica que então constituía a margem continental do oeste da América do Sul (Fig. 8-I).

A seqüência do Cretáceo Superior e Terciário, compõe-se de sedimentos continentais, molássicos na porção mais superior, e revela um estágio intracontinental ou exogeossinclíneo (Fig. 14), do qual a porção situada no Brasil — a bacia do Acre —, representa a plataforma.

A movimentação ligada a essa alteração originou a Cordilheira dos Andes, através de uma orogenia ortotectônica, com início no Cretáceo Superior e máxima atividade no Mioceno. Seus efeitos na bacia do Acre traduziram-se pela formação de dobras, falhas reversas e sub-bacias.

#### 4.2 — Bacias Paleozóicas

As bacias paleozóicas brasileiras situam-se na plataforma cratônica ocupando extensas áreas como depressões de forma ar-

redondada (bacia do Maranhão ou do Parnaíba) elíptica (bacia do Paraná) ou alongada (bacia do Amazonas).

Os sedimentos que as preenchem, com 3.000 a 5.000 metros de espessura máxima, são essencialmente paleozóicos e estendem-se do Siluriano ao Permiano. Compõem um intervalo inferior marinho de plataforma rasa e transicional, com fácies glacial na bacia do Paraná, e um intervalo superior continental subaquoso. Sedimentos mesozóicos e cenozóicos, principalmente continentais sub-aéreos, formam uma pequena cobertura nessas bacias. Aham-se interpostos por derrames basálticos da atividade ígnea do Neo-Jurássico/Eo-Cretáceo, responsável também por intrusões no intervalo paleozóico.

Esses sedimentos podem ser divididos em seqüências estratigráficas (Gomes, 1968; Almeida, 1969; Ghignone e Northfleet, 1971) muito uniformes, não perturbadas e de distribuição regional, indicando assim a estabilidade tectônica das bacias durante seu desenvolvimento.

As únicas deformações experimentadas são de caráter epeirogenético e se manifestam através de grandes arcos regionais que separam sub-bacias. Tais feições são particularmente importantes na bacia do Paraná (Ramos, 1970), cuja configuração atual resulta da composição de várias bacias atuantes em determinados períodos de sua história evolutiva.

Em nenhuma das bacias paleozóicas brasileiras há qualquer evidência conhecida de movimentação orogenética. As seções transversais mostradas na figura 15 assemelham-se em sua configuração geral ao modelo das classificações de Weeks (1952)/Klemme (1971) e Dewey e Bird (1970) (Fig. 16), podendo as bacias paleozóicas serem ali colocadas (Tabela II).

A aparente simplicidade desse tipo de bacia nas classificações utilizadas advém da dificuldade de caracterizá-las geneticamente. Situadas no interior do craton, em áreas estáveis e afastadas dos cinturões móveis, essas bacias não têm a causa ou causas de sua origem satisfatoriamente conhecidas. Sua colocação no quadro da tectônica de placas é obstada tanto pela falta de registros seguros dos limites de placas pré-mesozóicos como pela dificuldade de relacionar diretamente sua origem com o mecanismo da tectônica global.

Diversas tentativas deste relacionamento já têm sido feitas, mas apenas a bacia do

## BACIA INTERIOR, CRATÔNICA TIPO I (KLEMMÉ, 1971) AUTOGEOSSINCLÍNEO (DEWEY & BIRD, 1970)

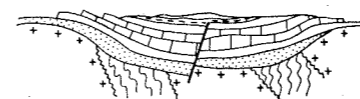


Figura 16

Amazonas, em suas porções média e baixa, permite uma associação mais aceitável.

É baseada numa interpretação de Mc Ginnis (1970) para explicar a formação das bacias de Illinois e Michigan, nos Estados Unidos. Essas bacias apresentam, na sua parte central, altos gravimétricos, resultantes, segundo aquele autor, da introdução intracrustal de rochas ultrabásicas pesadas (Fig. 17.1).

Como resultado, formaram-se arqueamentos regionais com bacias periféricas associadas. Numa fase posterior, em resposta às forças tensionais produzidas pelos arqueamentos, desenvolveram-se sobre estas depressões iniciais que passaram a receber sedimentos das áreas altas próximas (Fig. 17.2). Num estágio subsequente, com o resfriamento das ultrabásicas introduzidas, estas, mais densas, tendem a subsidir isostaticamente provocando assim uma inversão da configuração estrutural anterior (Fig. 17.3).

Feições presentes nas sub-bacias do Médio e Baixo Amazonas permitem que se conjecture um processo semelhante para explicar sua origem (Porto, 1972). Essas porções da bacia do Amazonas, alongadas e estreitas, têm seus eixos coincidentes com um alinhamento de altos gravimétricos, interpretados por Linsser, em 1958, como devidos à presença de rochas ultrabásicas introduzidas na crosta continental. Um piroxenito atingido pelo poço 1-CM-1-PA, provavelmente relacionado com os altos gravimétricos da porção central, foi situado no Ordoviciano Médio por datação radiométrica (450 m.a.).

A criação da sub-bacia do Alto Amazonas tem sido datada no Cambro-Ordoviciano (Rodrigues et al., 1971). Constituía uma bacia periférica, situada nas bordas de uma intumescência resultante da introdução do ma-

terial ultrabásico, onde se depositaram sedimentos das formações Prosperança e Acari.

Os estágios subsequentes promoveram a construção da calha alongada (Médio e Baixo Amazonas) com inversão das feições estruturais antigas e, como conseqüência, o desenvolvimento do arqueamento de Purus, divisor entre a antiga bacia periférica e o rift incipiente.

#### 5. CONCLUSÕES

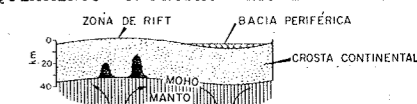
1 — A classificação das bacias sedimentares é um estágio essencial da exploração petrolífera. Indica os principais eventos estruturais e estratigráficos ocorridos durante a evolução das bacias, inclusive aqueles relacionados com a origem e acumulação de hidrocarbonetos. Permite também a comparação com outras bacias da mesma classe para as quais já são bem conhecidas as relações de existência de óleo e condições que o determinaram. Torna possível assim, nas fases iniciais da exploração, a seleção das áreas mais favoráveis.

2 — As bacias sedimentares brasileiras, de um modo geral, ajustam-se satisfatoriamente às classificações genético-descritivas de Weeks (1952), Klemme (1971) e Dewey e Bird (1970).

3 — A origem e evolução da bacia do Acre e das bacias da margem continental brasileira adaptam-se perfeitamente aos conceitos da tectônica de placas.

## MODELO PARA A FORMAÇÃO DE BACIAS INTRACRATÔNICAS (MCGINNIS, 1970)

### 1. ARQUEAMENTO - INTRUSÃO - "RIFTEAMENTO"



### 2. CESSAÇÃO DO RIFTEAMENTO - COLAPSO - DEPRESSÃO



### 3. SEDIMENTAÇÃO E SUBSIDÊNCIA

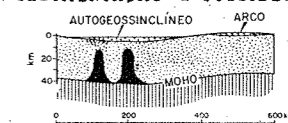


Figura 17

4 — As bacias da margem continental brasileira situadas na margem continental passiva do tipo Atlântico, originaram-se e evoluíram paralelamente ao Oceano Atlântico Sul.

5 — Desenvolveram-se diferentes tipos de bacias nos diversos estágios da evolução. O estágio de rift-valley ou tafrogeossinclineo correspondeu a ruptura da crosta sílica do Continente de Gondwana Ocidental, que ocorreu não simultaneamente em dois ou três segmentos: no leste (do Rio Grande do Sul a Alagoas) no Wealdiano; no norte (do Maranhão ao Rio Grande do Norte), no Aptiano e, possivelmente no nordeste (região de Recife/João Pessoa), no Turoniano.

Os estágios de miogeossinclineo e/ou mio-geoclineo foram formados com a introdução do material simático e consequente expansão do assoalho oceânico. A bacia da Foz do Amazonas, tendo construído uma extensão da plataforma continental original, atingiu o estágio de paraliogeossinclineo.

6 — As bacias marginais brasileiras podem ser divididas em dois subtipos. Um, dito paralelo, corresponde aos processos normais com formação de rift-valleys, seu posterior seccionamento longitudinal pela introdução de material simático e progressivo afastamento paralelo com a expansão oceânica. Compreende o conjunto de bacias que se estende de Pelotas a Recife-João Pessoa. O outro subtipo foi formado por processos de tafrogênese/expansão do assoalho oceânico, associados porém, com movimentação lateral ao longo de falhas transformantes. Compreende o conjunto de bacias que se estende do Rio Grande do Norte a Barreirinhas. A movimentação compressiva a que se estiveram sujeitas determinou dobras e falhamentos reversos. A bacia do Amazonas pode ser incluída neste segundo subtipo caso seja confirmada a associação de uma importante feição estrutural, coberta por sedimentos do Cone Amazônico, com a zona de fratura de Saint Paul. Caso contrário, a bacia da Foz do Amazonas incluí-se no conjunto de bacias costeiras de rompimento paralelo relacionadas com a formação do Oceano Atlântico Norte.

7 — Uma série de eventos, ocorridos nas bacias oceânicas, margens continentais e in-

terior do continente, podem ser associadas aos processos de formação do Atlântico Sul:

a) atividade ígnea basáltica no Eo-Cretáceo, com máxima atividade na bacia paleozóica do Paraná. Parece estar relacionada à presença de um «hot-spot» e formação de fraturas transversais como resultado da tafrogenia não contemporânea.

b) formação da depressão de Benué, no Albiano, como um efêmero centro de expansão oceânica seguido por um possível período também curto, no Senoniano, de consumo de placas.

c) reativação da dorsal médio-atlântica, no Cretáceo Superior (Senoniano), com uma série de efeitos colaterais:

1 — desligamento final da América do Sul e África na região nordeste do Brasil e Golfo de Guiné, com a migração mais para o norte do polo de rotação dessas duas placas.

2 — transgressão marinha provocada provavelmente pela diminuição da capacidade cúbica das bacias oceânicas.

3 — esforços compressivos nas bacias do Ceará e Barreirinhas e possível atividade ígnea nas zonas de fraturas equatoriais (Saint Paul e Romanche) determinando a formação da Cadeia Norte Brasileira.

4 — intensa atividade ígnea alcalina na bacia do Espírito Santo com a formação do Banco de Abrolhos, e no continente, na região centro-leste do Brasil.

d) atividade ígnea ao longo da zona de fratura Chain com formação de ilhas vulcânicas (Atol das Rocas, Fernando de Noronha).

8 — A bacia do Acre corresponde à plataforma de exogeossinclineo, resultante da transformação de uma margem do tipo Atlântico para uma margem do tipo Andino.

9 — As bacias paleozóicas brasileiras situadas no interior do craton não podem ser relacionadas diretamente com a tectônica de placas. Apenas a bacia do Amazonas, nas suas porções Alta e Média, pode ser interpretada como um rift incipiente, possivelmente relacionado com ciclo oceânico Eo-Paleozóico.

## REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, F. F. M. — 1960 — Quelques aspects sous-marins au large de la côte brésilienne: XXI Int. Geol. Congr., Part 10, p. 23-28.
- 1965 — As ilhas vulcânicas brasileiras e uma hipótese sobre a origem do Atlântico: An. Acad. Bras. Cien., v. 37 (Suplemento), p. 141-145.
- 1969 — Diferenciação tectônica da Plataforma Brasileira: An. XXIII Congr. Soc. Bras. Geol., p. 31-46, Salvador.
- 1972 — Tectono-magmatic activation of the South American platform and associated mineralization. 24th Intern. Geol. Congr., Section 3, p. 339-346, Montreal.
- AMARAL, G. et al. — 1966 — Potassium argon dates of basaltic rocks from Southern Brazil: Geochim. et Cosmochim., Acta, v. 30, p. 159-189.
- ASMUS, H. E. — 1970 — O Banco de Abrolhos. Tentativa de interpretação genética: Rel. Interno, Dipro-Petrobrás (não publicado).
- 1972 a — Espírito Santo basin — Pattern of Brazilian marginal basins: 57th Amer. Assoc. Petrol. Geol., An. Conven., Denver, Colorado (não publicado).
- 1972 b — Revolução nas geociências e o Projeto de Geodinâmica. Palestras da Comissão Brasileira de Geodinâmica. (não publicado).
- 1972 c — Classificação das bacias marginais brasileiras de acordo com a tectônica de placas. XIII Reunião Especialistas da ARPEL, Maracaibo, Venezuela. Petrobrás, Dipro/Divex — Publicação Interna, 26 p.
- ASMUS, H. E. e PONTE, F. C. — 1970 (1972) — The Brazilian Marginal Basins, in The Ocean Basins and Margins, 1. The South Atlantic. A. E. Nairn, F. G. Stehli (Editors). Plenum Publishing Corporation, New York (no prelo).
- ASMUS, H. E., GOMES, J. B. e PEREIRA, A. C. B. — 1971 — Integração Geológica Regional da bacia do Espírito Santo: An. XXV Congr. Bras. Geologia, São Paulo (no prelo).
- BAUMGARTNER, T. R. e VAN ANDEL, T. H. — 1971 — Diapirs of the continental margin off Angola: Geol. Soc. Amer. Bull., v. 82, p. 793-803.
- BEURLIN, K. — 1961 — O Turoniano marinho do Nordeste do Brasil: Bol. Soc. Bras. Geol., v. 10, n.º 2, p. 39-52.
- 1962 — O desenvolvimento paleogeográfico do Oceano Atlântico Sul: Gabinete de Estratigrafia Arq. Geol., Univ. Recife, n.º 2, p. 21-36, Recife.
- 1967 — Estratigrafia da faixa sedimentar costeira Recife-João Pessoa: Bol. Soc. Bras. Geol., v. 16, n.º 1, p. 43-53.
- BULLARD, E. et al. — 1965 — The fit of the continents around the Atlantic: Phyl. Trans. Roy. Soc. London, Serie A, v. 258, p. 41-51.
- BURKE, R. et al. — 1971 — Opening of the Gulf of Guinea and geological history of the Benue depression and Niger delta: Nature, Phys. Sci., v. 233, p. 51-55.
- CARNEIRO, R. G. et al. — 1968 — Reconhecimento geológico no território federal de Roraima (Graben do Takutu). Rel. Interno, Petrobrás (não publicado).
- CPEG-IV — 1971 — Evolução paleogeológica do Brasil Oriental e África Ocidental. Coordenado por F. C. Ponte. Petrobrás, publicação interna, 71 p.
- DAMASCENO, E. G. — 1966 — Estudo preliminar das rochas básicas e ultrabásicas da Região de Ubatuba, Estado de São Paulo: An. Acad. Bras. Cienc., v. 38, n.º 2, p. 293-304, Rio de Janeiro.
- DEWEY, J. F. — 1969 a — Continental margins: a model for conversion of Atlantic type to Andian type: Earth Planetary Sci. Letters, v. 6, p. 189-197.
- 1972 — Plate Tectonics: Sci. Amer., v. 226, n.º 5, p. 56-65 e 68.
- DEWEY, J. F. e BIRD, J. M. — 1970 a — Mountain belt and the new global tectonics: Jour. Geophys. Res., v. 75, p. 2625-2647.
- 1970 b — Plate tectonics and geosynclines: Tectonophysics, v. 10, p. 625-638.
- DEWEY, J. F. e HORSFIELD, B. — 1970 — Plate tectonics, orogeny and continental growth: Nature, v. 225, p. 521-525.
- DIETZ, R. S. — 1963 — Collapsing continental rises: an actualistic concept of geosynclines and mountain building: Jour. Geol., v. 71, p. 314-333.
- DIETZ, R. S. e HOLDEN, J. C. — 1970 — Reconstruction of Pangea: Break up and dispersion of continents, Permian to Present: Jour. Geophys. Res., v. 75, p. 4939-4956.
- ESTRELLA, G. O. — 1972 — O estágio "rift" nas bacias marginais do leste brasileiro: XXVI Congr. Bras. Geol. — Belém, (neste volume).
- FRANCHETEAU, J. e LE PICHON, X. — 1972 — Marginal fracture zones as structural framework of margins in South Atlantic Ocean: Amer. Assoc. Petrol. Geol., Bull., v. 56, p. 991-1007.
- GHIGNONE, J. I. e NORTHFLEET, A. A. — 1971 — Sequências sedimentares brasileiras. Rel. Petrobrás (não publicado).
- GOMES, F. A. — 1968 — Fossas tectônicas do Brasil: Anais Acad. Brasil. Ciências, v. 40 (suplemento), p. 225-271.
- GRANT, N. K. — 1971 — South Atlantic, Benue trough, and Gulf of Guinea Cretaceous triple junction: Geol. Soc. Amer. Bull., v. 82, p. 2295-2298.
- HALLAM, A. — 1971 — Mesozoic geology and the opening of the North Atlantic: Jour. Geol., v. 79, p. 129-157.
- HAYES, D. E. e EWING, M. — 1970 — North Brazilian Ridge and adjacent continental margin: Amer. Assoc. Petrol. Geol. Bull., v. 54, p. 2120-2150.
- HEEZEN, B. C. — 1960 — The rift in the ocean-floor: Sci. Amer., v. 203, n.º 4, p. 98-110.
- 1968 — The Atlantic continental margin: Univers. Missou. Rolla Jour., n.º 1.
- KAY, M. — 1951 — North American geosynclines: Geol. Soc. Amer., Memoir 48, 143 p.
- KLEMMME, H. D. — 1971 — The giants and the super giants. Part. 2, to find a giant find the right basin: Oil and Gas Jour., p. 103-110, March 8.
- 1972 — Characteristics of basins with giant fields: 57th Amer. Assoc. Petrol. Geol., An. Conven. Denver, Colorado (não publicado).

- KUNO, H. — 1966 — Lateral variation of basalt magma type across continental margins and island arcs: *Bull. Volcanol.* v. 29, p. 195-222.
- LE PICHON, X. — 1968 — Sea-floor spreading and continental drift: *Jour. Geophys. Res.*, v. 73, p. 3661-3691.
- LE PICHON, X. e HAYES, D. E. — 1971 — Marginal offsets, fracture zones, and the early opening of the South Atlantic: *Jour. Geophys. Res.*, v. 76, p. 6283-6293.
- LEYDEN, R. et al. — 1972 — Geophysical reconnaissance on Africa Shelf: 2, Margin sediments from Gulf of Guinea to Walvis Ridge: *Amer. Assoc. Petrol. Geol., Bull.*, v. 56, p. 682-693.
- LINSSEER, H. — 1958 — Interpretation of regional gravity anomalies in the Amazonas Area. *Rel. Interno, Petrobrás* (não publicado).
- MABESONE, J. M. — 1971 — O conglomerado da Formação Cavo: Origem múltipla? *Assoc. Geol. Pern.* v. 1, n.º 3, p. 25-32.
- MARINI, O. J. et al. — 1967 — Intrusivas básicas jurássico-cretáceas do Paraná: XXI Congr. Bras. Geol. (Abstract), *Bol. Paranaense Geog.*, n.º 26, p. 73-74.
- MARTIN, H. — 1968 — Upper mantle properties and the evolution of the Paraná and the Karroo basins: *An. Acad. Bras. Cienc.*, v. 40 (Suplemento), p. 149-157.
- MCGINNIS — 1970 — Tectonics and the gravity field in the continental interior: *Jour. Geophys. Res.* v. 75, p. 317-331.
- MESERVEY, R. — 1971 — The coastline fit of Africa and South America: *Palaeogeogr. Palaeoclim.*, v. 9, p. 233-243.
- MINIOLI, B. et al. — 1971 — Extensão geográfica do vulcanismo basáltico do Brasil Meridional: *An. Acad. Bras. Cienc.*, v. 43, n.º 2, p. 433-437.
- MITCHELL, A. H. e READING, H. G. — 1969 — Continental Margins, geosynclines, and ocean floor spreading: *Jour. Geol.*, v. 77, p. 629-646.
- MIURA, K. — 1972 — Possibilidades petrolíferas da bacia do Acre: XXVI Congr. Bras. Geol., Belém.
- MIURA, K. e BARBOSA, J. C. — 1972 — Geologia da plataforma continental do Maranhão, Piauí, Ceará e Rio Grande do Norte: XXVI Congr. Bras. Geol., Belém. (neste volume).
- MORGAN, W. J. — 1971 — Convection plumes in the lower mantle: *Nature*, v. 230, p. 42-43.
- NOGUTI, I. e SANTOS, J. F. — 1971 — Zonamento preliminar por foraminíferos platônicos do Aptiano ao Mioceno na plataforma continental. *Rel. Petrobrás* (não publicado).
- PAUTOT, G. et al. — 1970 — Continuous deep salt layer along North Atlantic Margins related to early phase of rifting: *Nature*, v. 227, p. 351-354.
- PORTO, R. — 1972 — Um modelo para a origem da bacia do médio e baixo Amazonas. *Rel. Petrobrás* (não publicado).
- RAMOS, A. N. — 1970 — Aspectos paleo-estruturais da bacia do Paraná e sua influência na sedimentação: *Bol. Tec. Petrobrás*, v. 13, p. 85-93.
- REZENDE, W. M. e FERRADAES, J. O. — 1971 — Integração geológica regional da bacia sedimentar da foz do Amazonas: *An. XXV Congr. Bras. Geol.*, São Paulo (no prelo).
- RODRIGUES, R. et al. — 1971 — Sedimentologia das formações Pré-Pensilvanianas da Bacia do Amazonas. *Relatório Petrobrás* (não publicado).
- SIEDNER, G. e MILLER, J. A. — 1968 — K/Ar age determinations on basaltic rocks from South-West Africa and their bearing on continental drift: *Earth and Planetary Scienc. Letters.*, v. 4, p. 451-458.
- SUTTON, J. — 1968 — Development of the continental framework of the Atlantic: *Proc. Geol. Ass.*, v. 79, part 3, p. 257-303.
- VILAS, J. F. e VALENCIO, D. A. — 1970 — The recurrent Mesozoic drift of South America and Africa: *Earth and Planetary Scienc. Letters*, v. 7, p. 441-444.
- WEEKS, L. G. — 1952 — Factors of sedimentary basin development that control oil occurrence: *Amer. Assoc. Petrol. Geol. Bull.*, v. 36, p. 2071-2124.
- WILSON, J. T. — 1965 — Submarine fracture zones, aseismic ridges and the ICSU line: proposed western margin of the East Pacific ridge: *Nature*, v. 207, p. 907-911.
- 1968 — Static or mobile Earth: The current scientific revolution: *Proc. Amer. Philos. Soc.*, v. 112, p. 309-320.
- 1971 — Continental drift, transcurrent, and transform faulting, *in The Sea*, v. 4, new concepts of sea floor evolution, pts. 2 e 3; p. 623-644, John Wiley & Sons, Inc. New York.
- WRIGHT, J. B. — 1968 — South Atlantic continental drift and the Benue trough: *Tectonophysics*, v. 6, p. 301-310.
- ZAMBRANO, J. V. e URIEN, C. M. — 1970 — Geological outline of the basins in Southern Argentina and their continuation off Atlantic Shore: *Jour. Geophys. Res.*, v. 75, p. 1363-1396.

## «GÊNESE, EVOLUÇÃO E CLASSIFICAÇÃO DE ESTRUTURAS SEDIMENTARES PRIMÁRIAS NO CANAL DA BARRA DA TIJUCA, GB»

Por

PAULO ROBERTO CORDEIRO DE FARIAS<sup>(1)</sup> e RAIMUNDO EURICO DE BRITO DANTAS<sup>(1)</sup>

### I — ABSTRACT

This paper reports methods and field observations made by a team of diving geologists from "Laboratório de Geologia Marinha (LAGEMAR) — Instituto de Geociências — U.F.R.J.", from 1969 to 1972 on a channel connecting Jacarepaguá lagoon to the Atlantic Ocean, southeast of Guanabara State, Brasil.

Bathymetry currents formation and evolution of primary sedimentary structures and heavy mineral concentrations were the main subjects of this study "in loco".

The main structures observed were ripple marks and sand waves; the linguoid type was found to be very common; it was found also symmetrical, assymetrical and interference patterns. The sand waves may be described by their sizes and forms; small sand waves may reach 0,50 m in wavelength; the larger ones may be up to 2,00 m. Their crestline may be straight or arcuate, being the later associated to higher speed currents. The diving geologists studied assymetric ripple marks with crest aligned perpendicular to the sandwave crestline. This can be explained as a branch of the main current channeled between sandwaves that is deviated to a "low pressure zone" formed ahead of the leeward side of the sandwave, decreasing the speed and forming ripple marks. This happens when the main current slows and the turbulence formed ahead of the sandwave disappears. Other conclusion drawn was that the more significant parameter concerning ripple marks and sand wave evolution was current speed, because the same type of structure was found at different depths, but under a typical corrente regimen.

### II — A: RESUMO

Apresentam-se aqui os métodos de trabalho e observações de campo efetuados pelos autores e uma das equipes do Laboratório de Geologia da Marinha (Lagemar) do Instituto de Geociências da Universidade Federal do Rio de Janeiro no canal da Barra da Tijuca. Este situa-se no litoral SSE do Estado da

Guanabara, fazendo a ligação da Lagoa de Jacarepaguá ao Oceano Atlântico.

Foram estudadas a Batimetria e a Correntometria numa secção escolhida do canal, assim como a gênese, evolução e classificação de estruturas sedimentares primárias nela presentes. Foram escolhidas amostras de concentrações de minerais pesados, sendo estudada sua composição mineralógica, granulometria e morfoscopia.

Executaram-se também reconhecimentos em áreas contíguas à secção padrão cujos resultados estão relatados adiante.

Os mergulhos para observações geológicas mostraram que a variável mais importante para a evolução das «ripple marks» era a velocidade da corrente, pois um mesmo tipo destas estruturas era achado a diferentes profundidades, porém sob um regime característico de corrente. Foram vistas as «ripple marks» do tipo assimétrico reto passar ao tipo linguóide com o aumento na velocidade da corrente. As «ripple marks» assimétricas podem assumir durante certo tempo um padrão simétrico, caso haja reversão no sentido da corrente (quando muda a maré), passando novamente ao padrão assimétrico, quando predominar novamente um sentido de corrente. Foi estudado também um tipo particular de estruturas, sendo as explicações para este e outros casos observados fornecidos na parte de Conclusões deste trabalho

### II — B: OBJETIVOS

a) Estudar a gênese, evolução e classificação de estruturas sedimentares primárias

(1) Bolsistas do Conselho Nacional de Pesquisas — LAGEMAR — I. Geociências da U.F.R.J.

no fundo do canal por ocasião de diferentes condições de maré;

b) Estudar as variações da Topografia do fundo durante estas condições;

c) Estudar e catalogar as concentrações de minerais pesados, as condições sob as quais formam-se e suas associações com outras estruturas sedimentares primárias;

d) Fazer um entrosamento dos pesquisadores com o meio onde pretendem exercer suas atividades profissionais, por meio de métodos de mergulho associados aos de observação científica;

e) Utilizar estas observações para seleção de áreas potencialmente favoráveis às concentrações econômicas de bens minerais em áreas submersas.

## II — C: AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem penhorados ao Conselho Nacional de Pesquisas pelas Bolsas de Iniciação Científica concedidas e pelas passagens aéreas para a apresentação deste Trabalho no XXVI Congresso Brasileiro de Geologia, realizado em Belém, em novembro de 1972.

Também aos orientadores Marcus Aguiar Gorini e Dieter Muehe, nossos sinceros agradecimentos pelas valiosas sugestões e críticas no campo e na elaboração deste Trabalho, assim como à equipe do LAGEMAR que colaborou muitíssimo, frequentemente, sob condições de Trabalho adversas, para a realização desta pequena contribuição à Geologia Marinha no país.

## III — ÁREA ESTUDADA — GENERALIDADES

A área pesquisada situa-se no litoral SSE do Estado da Guanabara (vide mapa de localização — Anexo I). Trata-se de um canal que faz a ligação da Lagoa de Jacarepaguá com o Oceano Atlântico, sendo atualmente atravessado pela Ponte de Joatinga, a qual faz parte da BR-101 (Rio-Santos), conforme mostra o Anexo II. Este canal corta uma baixada constituída de uma série de cordões litorâneos paralelos entre si e com a atual linha da costa.

Acham-se presentes (Ver Anexo II) alguns bancos de areia em sua parte Norte, expostos durante a maré baixa, cortados por vários pequenos canais rasos. Uma praia arenosa compõe a margem Oeste, sendo outro lado constituído em parte de paredões e «boul-

ders» de migmatito e no restante, de atêrro. O fundo do canal é arenoso, localmente com cascalho. Na praia, nos bancos de areia e no fundo do canal desenvolvem-se estruturas sedimentares primárias, que serão descritas adiante, na parte V, além de concentrações de minerais pesados, constituídas essencialmente de ilmenita e magnetita.

Durante a maré cheia, há renovação das águas da lagoa pelas águas oceânicas, claras e frias, que revolvem o fundo por meio de fortes correntes de sentidos e intensidades variáveis. A maré vazante é constituída de uma água turva, de cor castanho-avermelhado, que impossibilita a visão a menos de 10 cm dos objetos no fundo. É interessante notar que, às vezes não há uma correspondência entre os horários das marés do oceano e da lagoa.

As correntes, tanto a vazante (principalmente esta pela turbidez) como a enchente, perturbavam bastante os trabalhos de mergulho e batimetria da equipe, pelo deslocamento do pessoal e do material e pelos frequentes sentidos contrários por elas assumidos, mesmo num único ciclo da maré. Estes remoinhos ocorrem tanto no plano horizontal como no vertical, como observado durante os mergulhos da equipe.

## IV — MÉTODOS DE TRABALHO

Após várias tentativas, chegou-se à seguinte rotina de operações:

I) Perfilagem da «backshore» e de «foreshore» da margem W do canal;

II) Medição do nível do mar;

III) Batimetria e Correntometria simultaneamente.

Em resumo, esta rotina consistia em:

I) Perfilagem da «backshore» e da «foreshore»:

A equipe estendia um cabo de nylon de 6 mm através do canal, fixando suas extremidades num poste de iluminação (ponto A, Anexo II), e num grampo de aço cravado na margem oposta (ponto G, Anexo II). Este cabo possuía divisões de 5, 1 e 0,50 m; nele penduravam-se placas de papelão revestidas de plástico com marcações de 5 em 5 m.

A perfilagem propriamente dita era feita medindo-se numa estaca de madeira a altura do solo à corda de perfilagem, até chegar à zona de lavagem. Como inconvenientes, apontam-se a catenária e as trações no cabo.

Como a precisão requerida não era grande e o declive de praia era muito suave, não foram considerados estes inconvenientes.

## II) Medição do nível do mar:

O nível do mar era estimado pela posição da quebra das ondas na praia, via-se na linha de perfilagem a distância ao ponto A e marcava-se a hora da observação e a altura da água ao cabo. Os inconvenientes eram a irregularidade na posição das quebras das ondas e as oscilações verticais da água.

Posteriormente, foi instalada uma régua de marés pela DHN, facilitando assim o Trabalho. Foram também resolvidos os problemas de diferença de posição dos níveis de referência para maré, pois utilizavam-se as tábuas de Marés da DHN, referidas ao marégrafo na Ilha Fiscal. Como as condições de movimentação de água nos dois locais são desiguais, havia diferenças nos horários das marés.

## III) Batimetria e Correntometria Simultâneas:

Anteriormente, o deslocamento da embarcação para a perfilagem era feito usando-se a própria linha de perfilagem, fazendo com que esta, por efeito da resistência do barco à corrente, assumisse a forma de uma catenária, tornando curvo um perfil que deveria ser reto.

Foram então cravados dois grampos de ferro na margem E do canal, ladeando o ponto G (Ver Anexo II). O cabo de suporte ao barco era passado num dos grampos, conforme o sentido da corrente. Manobrando-se o cabo de suporte da embarcação, o tripulante mantém-na em posição, enquanto outro executa a Batimetria e a Correntometria. A linha de perfilagem permanece então reta, pois toda a movimentação é feita no outro cabo.

A batimetria era executada a intervalos de 1 m entre cada estação, por intermédio de um fio de prumo com carga de 6 kg de chumbo para diminuir o desvio causado pela correnteza. Este fio tinha 10 m de comprimento e marcações de 1 e 0,10 m.

A correntometria era feita na superfície ao lançar-se uma garrafa plástica pintada de tinta acrílica vermelha a intervalos de 5 m sob a linha de perfilagem. Ao passar pela 2.ª linha de perfilagem, o tempo era medido com um cronômetro. A distância para a 2.ª linha foi, por condições locais (grande variação no des-

locamento das correntes), fixada em 10 m. Inicialmente, o mergulhador lançava e recolhia a garrafa, nadando contra a correnteza na volta para fazer a estação seguinte. Isto acarretava-lhe grande desgaste físico. Resolveu-se então amarrar um cabo fino de nylon a garrafa para recolhê-la após a passagem pela 2.ª linha. Usou-se inicialmente cabo trançado, que fazia a garrafa rodopiar. Substituindo-o por linha lisa de pescar este efeito desapareceu.

Os dados de batimetria eram anotados a bordo numa placa revestida de tinta acrílica prateada; depois de feitos os perfis, realizados na ida e na vinda do barco, estes dados eram lançados na ficha de perfilagem e plotados numa folha de papel milimetrado, no local.

Como nos perfis anteriores levava-se muito tempo para executá-los, em virtude do grande número de estações (de metro em metro), prejudicando assim a representatividade do perfil pelas rápidas variações na topografia do fundo, as sondagens passaram a ser feitas a intervalo de 2 m. A correntometria continuou a ser feita a intervalos de 5 m.

## ESTUDO DAS ESTRUTURAS SEDIMENTARES PRIMÁRIAS

Descreve-se agora, à parte, embora dentro da parte de Métodos de Trabalhos, os estudos realizados pelos mergulhadores do Lagemar no setor das estruturas sedimentares primárias.

Foram feitos diversos mergulhos preliminares para reconhecimento da área e contatos com as dificuldades inerentes a este tipo de trabalho. Após isto, passou-se a tentar correlacionar as estruturas vistas com as descritas na bibliografia consultada. Seguiu-se então a fase dos estudos da gênese, evolução e classificação destas estruturas. Além destes dados qualitativos, tentou-se obter dados sobre as dimensões e inclinações das estruturas, porém todas as tentativas resultaram infrutíferas, pois a correnteza arrastava os mergulhadores, impedindo-os de fazer as medições necessárias. Aliado a isto, havia o fato de não se dispor de «aqualung» ao iniciar-se os trabalhos. Após a chegada destes, por meio de verba destinada ao Lagemar pelo CNPq., este problema foi resolvido.

Durante esta fase, além dos equipamentos individuais de mergulho (roupa isotérmica, máscara, etc.), foram utilizados um medidor de «ripple-marks», um clinômetro submarino, uma bússola submarina, placas plásticas para escrever sob a água, profundímetro e o bote de borracha como apoio aos mergulhadores e base



para as estações de batimetria e correntometria. Utilizam-se também uma máquina fotográfica submarina Nikonos-II, com o respectivo fotômetro e «flash» submarinos. Seus resultados, entretanto, não foram satisfatórios, possivelmente devido à inexperiência com o equipamento e à quantidade de matéria em suspensão presente nas águas do canal.

Estes estudos foram feitos sistematicamente na primeira fase dos mergulhos; ao se fazer uma estação de batimetria, um dos membros da equipe mergulhava ao ser lançado o prumo e descrevia as estruturas presentes no local. Este procedimento entretanto, atrasava sensivelmente a perfilagem, fazendo-a perder a representatividade pelas rápidas mudanças na topografia do fundo. Como por intermédio destes, embora com todos os inconvenientes já se conhecesse, grosseiramente, o mecanismo da evolução das estruturas sedimentares primárias, foram feitos apenas mergulhos para esclarecimento de pontos obscuros que levavam, entretanto, ao aparecimento de novas dúvidas, como é normal.

#### ANÁLISE DE LABORATÓRIO

As amostras coletadas nos locais de concentração de minerais pesados na margem W do canal foram submetidos a exames de granulometria, morfoscopia e mineralogia no Laboratório de Geologia Marinha da U.F.R.J. (Lagemar).

Foram feitas cerca de quatro amostragens, assim distribuídas (Vide Anexo II): AM-1 foi retirada de uma concentração junto a cascalhos próximo à Ponte de Joatinga; AM-2, de «ripple marks» simétricas retas ao N. da linha de perfilagem AG, dela distando mais ou menos 3 m. AM-3 foi extraída de um banco de areia com «ripple marks» de interferência e linguoides formado junto aos pilares da ponte; a AM-4, de uma camada com 2 cm de espessura de minerais pesados soterrada por areias quartzosas na «foreshore», em atitude concordante com estas. Todas as amostras, exceto a última, foram superficiais.

As amostras foram quarteadas até atingirem todas o mesmo peso, lavadas e postas em estufa para secagem. Foram então peneiradas e agitadas durante 10 minutos. Cada fração de cada amostra era retirada da peneira e imediatamente pesada. Os dados foram lançados num papel de probabilidades.

Foram separadas as frações de 0,25 a 0,125 mm e 0,125 a 0,074 mm para estudar a mineralogia da fração pesada das amostras, pois

nelas situavam-se, sistematicamente, as maiores concentrações de minerais pesados, especialmente na última. Estas duas frações foram então passadas no bromofórmio, sendo as demais examinadas morfoscopicamente.

#### V — RESULTADOS DAS PESQUISAS

##### V-1 — «Ripple Marks» — Observações Gerais

Comparam-se algumas observações de autores diversos pela bibliografia consultada, com outras realizadas pela equipe da Lagemar sempre que possível.

As «ripple marks» normalmente desenvolvem-se sob condições de transporte laminar de sedimentos e fluxos de água tranquilos, em oposição ao transporte de camadas e fluxos torrenciais (Menard, 1950, p. 157).

O termo «regime baixo» («lower regime») tem sido usado para ambiente de transporte laminar e fluxo tranquilo; neste a carga move-se próximo à parte de barlavento das «ripple marks», com algum sedimento deslizando sobre suas faces, parte dele carregado para a frente ou para a superfície em áreas de turbilhonamento. Há erosão a barlavento e deposição a sotavento no desenvolvimento da laminação ondulada (McKee, 1965) e formação de um remoinho acima do lado de sotavento que controla a deposição (Reineck, 1961; Allen, 1963); estes autores afirmam que a deposição resulta parcialmente da queda dos grãos em suspensão no remoinho, parcialmente do deslizamento por avalanches ou por gravidade dos grãos e parcialmente de grãos que se movem a partir da calha para o lado de sotavento. Este mecanismo de erosão/deposição foi realmente visto em ação no canal, verificando a equipe que, com o aumento da velocidade da corrente, há uma gradação das «ripple marks», passando do tipo assimétrico reto para o linguóide e, em condições extremas de velocidade da corrente, a ausência de estruturas, notando-se apenas o transporte «em lençóis» da areia por sobre o fundo, como observado sobre as «sand waves».

As «ripple marks» na areia podem ser registradas e comparadas objetivamente em termos de tamanho e forma. O tamanho é descrito pela altura (definida como a distância vertical do topo da crista ao fundo da calha adjacente) e pelo comprimento (a distância horizontal entre duas cristas sucessivas). A forma das «ripple marks» é determinada em termos de simetria e assimetria e da razão altura/comprimento. O grau de simetria é dado

pela comparação dos ângulos de mergulhos de lados opostos da crista das «ripple marks», podendo também ser expresso como «Índice de forma horizontal», no qual o comprimento horizontal de sotavento é comparado ao de barlavento (Bucher, 1919, p. 154). A razão altura/comprimento, pelo contrário, é o índice de forma vertical de Bucher ou índice de «Ripple marks» («Ripple marks index»), segundo vários autores.

O tamanho e a forma das «ripple marks» são significativos na determinação da forma das laminações onduladas por elas formadas. Com a transformação do tipo de «ripple mark» durante a deposição, as laminações onduladas sofrem uma evolução progressiva lateral e verticalmente. Tais transformações nas «ripple marks» podem ser introduzidas por quaisquer entre muitas variáveis; as principais, segundo McKee (1965), são:

- diferenças em granulometria;
- mudança na frequência das ondas;
- mudanças na amplitude das ondas;
- efeitos relacionados à passagem do tempo;
- variação na profundidade da água;
- diferenças na impetuosidade das ondas refratadas.

Segundo o autor acima citado, que as experimentou num tanque de ondas de 45 ft no Laboratório de Estruturas Sedimentares do U. S. Geological Survey, Denver, Colorado — U.S.A. — foram obtidos os seguintes resultados:

a) As diferenças em granulometria afetam o tamanho das «ripple marks», mas não sua forma. O comprimento e a altura das «ripple marks» aumenta proporcionalmente com a granulometria (Bucher, 1919; Inman, 1958; em McKee, 1965). Como no canal (exceto em áreas restritas) a granulometria é uniforme, não se pôde fazer uma comparação mais adequada;

b) A intensidade das ondas e a velocidade da corrente também afetam grandemente o tamanho das «ripple marks». A medida que as ondas aumentam numa dada profundidade, as «ripple marks» aumentam proporcionalmente;

c) Nestes estudos de Laboratório, a frequência e a amplitude das ondas ou seu tamanho foram aumentando independentemente. Resultou em cada caso um aumento na altura e no comprimento das «ripple marks», porém em proporção estas permanecem praticamente

inalteradas. Entretanto, a inclinação de sotavento aumentou com as ondas maiores, resultando numa mudança geral de uma forma quase simétrica a fortemente assimétrica.

d) Menard (1950) afirmou que «se a velocidade da água for constante, a forma das «ripple marks» varia com o tempo até uma forma estável. A forma varia também em resposta a uma alteração na velocidade de corrente. Uma velocidade decrescente altera a forma das «ripple marks» já desenvolvidas».

Uma vez desenvolvidas, as «ripple marks» tem uma estabilidade relativa e resistência às transformações; entretanto Evans (1943) demonstrou que esta resistência pode ser vencida com pequenas «ripple marks», tornando-se maiores e formas assimétricas passando a simétricas com o tempo.

No caso do canal, há apenas um período de simetria nas «ripple marks» formadas pelas correntes, excetuando o caso das formadas pelo vaivém das ondas. Explicando: considere-se, por exemplo a corrente dirigindo-se para a lagoa; os lados de sotavento das «ripple marks» estarão voltados segundo este sentido. Haverá uma fase de equilíbrio na intermediação, quando estas estruturas continuarão orientadas para a lagoa. Com a mudança da maré, a corrente aos poucos irá invertendo o sentido, começando a suavizar pela erosão os lados íngremes de sotavento, dando aos poucos uma forma simétrica à estrutura, até esta orientar-se segundo o novo sentido da corrente, repetindo-se o ciclo.

Isto foi presenciado, acontecendo na margem do canal sob a linha de perfilagem e no banco de areia ao Norte dela.

Estes sentidos de corrente alternados esculpindo as «ripple marks» devem ocasionar a formação de estratificações cruzadas.

Quanto à profundidade, Evans considerava que as «ripple marks» seriam cada vez menores com a profundidade (no caso das «ripple marks» formadas por ondas), pois o movimento oscilatório provocado no fundo pela passagem das ondas decresce rapidamente com a profundidade. McKee chegou à conclusão de que a profundidade, isoladamente, é um fator que influencia o tamanho das «ripple marks», porém a quantidade de influência tanto pode ser intensificada como anulada por outros fatores que acompanham a mudança de profundidade.

Tanner (1959), Vause (1959) e Van Straaten (1951) indicaram uma proporção entre o comprimento de onda das «ripple marks» e a profundidade.

Trefethen & Dow (1960) concluíram que as bifurcações das «ripple marks» são menos frequentes com o aumento da profundidade.

Na área do canal, a profundidade parece não ter grande importância na correlação com tipos determinados de «ripple marks», pois o tipo linguóide foi encontrado tanto nas águas rasas sobre banco de areia ao Norte da Linha de Perfil como no fundo do canal, a 3 m de profundidade. Foi encontrado também sobre as «sand waves» (Fig. 4).

A profundidade parece influir na quantidade de bifurcações sofridas pelas «ripple marks» simétricas e assimétricas retas. Foi observado que a quantidade de bifurcações diminuía com a profundidade.

#### V — 2 — Estruturas Sedimentares Primárias

Apresenta-se agora uma tabela (Tab. I), mostrando uma classificação das estruturas sedimentares primárias, segundo Pettijohn, F. J. (1957, p. 158), modificado para uso no canal.

Como as «ripple marks» e as «sand waves» foram as estruturas mais importantes observadas, serão expostas primeiro. Martins (1966, modif.) apresenta dentro da parte de estrutura inorgânicas mecânicas, o quadro a seguir (Tabela II).

Foram identificadas no canal as seguintes variedades, como se pode ser no Anexo II.

#### A — PADRÃO TRANVERSAL AO DESLOCAMENTO DA CORRENTE

##### 1) «Ripple marks» assimétricas retas: (Fig. 4, 5)

Foram descritas por Martins (1966), como se segue: «Cristas retas ou ligeiramente curvas, desenvolvidas numa mesma direção geral e lateralmente sobre grandes distâncias, sendo as cristas geralmente paparelas». Possui ainda as seguintes denominações: «marcas normais de corrente», «marcas paralelas de corrente», «marcas ordinárias de corrente». São característicos os lados de barlavento e sotavento com inclinações diferentes e suas linhas de crista retas pouco encurvadas, por vezes entrecruzadas. Segundo Martins, seus limites são: **índice de forma horizontal** — 5 a 10; **índice de forma vertical** — varia com o comprimento; **índice de assimetria** entre 1 a 9 e 8 a 0.

**Ocorrência** — Segundo Martins, ocorrem em planícies arenosas e em lagoas entre campos de dunas e as praias. No canal, foram encontradas na Margem Oeste em áreas de maior

gradiente submersas, entre 0,50 e 2,00 m na maioria dos casos (ao menos na linha de perfil), apresentando bifurcações em pequenos canais cortando o Grande Banco de Areia ao Norte da linha de perfil — foram também encontradas à frente das «sand waves» (Ver esquema da Fig. 4), com suas linhas de crista dispostas perpendicularmente à da «sand waves». Estão sempre associadas a movimentação suave de correntes.

##### 2) «Sand Waves» (Ver fig. 4)

Lane (1947, p. 38; cit. em Pettijohn & Potter 1964) define uma «Sand wave» como sendo «uma elevação numa camada sobre a qual desloca-se uma corrente, sendo esta elevação formada pelo movimento do material no fundo e normalmente disposta perpendicularmente à direção do fluxo, apresentando um aspecto algo semelhante a uma onda». Estas formas são geralmente periódicas e comuns em outros sistemas fluidos. Estas estruturas no Canal apresentam-se sob a forma de «terraços escalonados», associadas a um regime de transporte rapidíssimo de areia, formando-se um torvelinho à frente das «sand waves», com movimentação circular no sentido dos ponteiros do relógio, evidenciada pelos sedimentos movimentados. Na base das faces de sotavento, deposita-se fragmentos grosseiros de quartzo, conchas, palhetas de mica, etc. Sobre seus topos, desenvolvem-se pequenas concentrações de minerais pesados, associando-se «ripple marks» do tipo linguóide (vide descrição mais adiante) e de interferência, ocorrem também estrias e «rill marks». Tentativamente, pode-se classificá-los quanto ao tamanho e à forma.

Quanto ao tamanho, consideram-se «grandes» as que possuem o lado de barlavento maior que 2 m; o de sotavento pode atingir até 0,30 m de altura; as «pequenas», tem o lado de barlavento com mais ou menos 0,50 m possuindo suas faces e alturas entre 5 a 10 cm.

Quanto à forma, as linhas de crista das «sand waves» podem ser retas ou curvas, possuindo estas últimas como denominação de campo e termo «parabólicas» pela sua semelhança às dunas deste tipo.

Estas estruturas estão em contínua movimentação, conforme observações durante os mergulhos. Seu avanço é feito pelo contínuo escorregamento dos grãos de areia pelas faces da «sand wave», havendo desmoronamentos ocasionais quando a carga acumulada sobre a crista tomba pela ruptura de seu perfil de

equilíbrio. A movimentação do remoinho à frente da face de sotavento tem padrão circular, evidenciada pela areia em suspensão. Quando aplica-se uma carga maior sobre estas estruturas, desmoronam com ruídos surdo.

Observou-se durante os mergulhos que as «sand waves» apresentavam um arqueamento das linhas de crista nas zonas de maior velocidade de corrente.

Observou-se que o tamanho das «sand waves» parece proporcional a este parâmetro.

**Ocorrência:** No canal foram encontradas bem individualizadas e em grande número da parte central do Canal em direção à margem E. (Vide Anexo II), com a corrente dirigindo-se do mar para a lagoa. Como com o sentido oposto viessem as águas turvas da lagoa, impedindo assim a observação durante os mergulhos, devido a visibilidade quase nula, evita-se afirmar que ocorram na margem W (na secção estudada), embora tenham sido vistas formando-se, nestas condições de corrente, a uns 20 ms ao Sul desta secção, naquela margem. Foram encontradas já formadas e estabilizadas a 15 m ao norte da linha de perfil AG e nos bancos de areia. Nesta última locação, seus lados de sotavento estavam orientados para a lagoa, embora a corrente estivesse dirigindo-se no momento no sentido oposto (desenvolvendo-se sobre elas «ripple marks» linguóides e assimétricas retas, voltadas para o mar.

##### 3) «Ripple marks» simétricas de ondas:

Caracterizam-se pelas cristas retilíneas e pouco encurvadas e pelos lados simétricos em corte transversal. São formadas pelo movimento de vai-e-vem das ondas na zona de rebentação, podendo passar de um estágio assimétrico (quando o avanço da onda é maior que o recuo) para um simétrico, quando os movimentos igualam-se. São preservadas enquanto a maré sobe sendo destruídas quando esta desce. Geralmente, ocorrem numa profundidade média de até 0,50 m, caso não haja correntes agindo, que podem destruí-las ou formar um padrão de interferência. Nos cavados, localizam-se pequenas concentrações de minerais pesados e matéria orgânica.

**Ocorrência:** No canal, foram achadas principalmente na margem W, sendo encontradas na margem oposta em local abrigado e raso. No banco de areia foram também vistas em formação, provocadas pela reflexão das ondas nas construções vizinhas (Ver anexo II).

#### B — PADRÃO DIAGONAL

##### 1) «Ripple Marks» Linguóides

Este é o tipo mais frequente em área de ocorrência e constância nos perfis. É caracterizado por Martins (1966) como tendo formato de língua; largura semelhante ao comprimento; apresenta linha de crista curva; limites: de comprimento — para «ripple marks» de pequena escala; 10 a 35 cm; índice de forma horizontal: 0 a 4 e 2 a 8; índice de forma vertical de 2 a 10; ângulo de fechamento 55 a 100°.

**Ocorrência:** Foi relatado por Martins (1966) como ocorrendo restrita a canais de movimentação concentrada de água em planícies tidais, como no caso do canal estudado por este trabalho. Neste local, acha-se presente em suas partes mais profundas associado ou não às «sand waves». Localizam-se também nas partes rasas dos bancos de areia, em locais de correntes rápidas mesmo em pequenas profundidades.

#### C — PADRÃO COMPLEXO

##### 1) «Ripple Marks» de interferência de ondas (Fig. 1)

São formadas pelo entrecchoque de trens de onda; podem assumir um padrão poligonal ou momentaneamente simétrico reto. Este tipo acha-se presente na praia ao sul da linha AG, que é uma zona mais exposta as ondas.

##### 2) «Ripple Marks» complexas de ondas e correntes.

Foram encontradas na área da linha de perfilagem AG «ripple marks» simétricas retas, formadas por ondas, e, entre elas, formavam-se pequenas «ripple marks» assimétricas retas, conforme mostra a foto da Fig. 3. Estavam sendo construídas por uma fraca correnteza, que no momento dirigia-se para a lagoa.

#### ESTRIAS (Ver Fig. 5)

Foram observadas, preservadas ou em formação, nos seguintes locais: na «foreshore» da margem W do canal — sobre as «sand waves»; sobre concentrações de minerais pesados e nos bancos de areia sob a Ponte de Joatinga. Neste local, era bem nítido o fenômeno do «By-passing» entre as partículas leves e pesadas formando-se marcas de escorrimto atrás das partículas pesadas, corrente abaixo. Foram vistas também «ripple marks» entre «sand waves».

### V — 2-2 Estruturas de acamamento planar

#### 2-a) Laminações:

Foram encontradas laminações (no sentido de McKee & Weir\* que considerou lâmina um depósito sedimentar com espessura entre 1 cm-2 mm), nos testemunhos obtidos num banco de lama na margem W do canal, sob a Ponte de Joatinga. Foram também encontradas nas amostras de argila Turfosa extraídas pelos mergulhadores da equipe ao sul da linha AG (Ver anexo II). Também as concentrações de minerais pesados podem ser enquadrados nesta classificação, pois apresentam espessuras mais frequentes nesta faixa. Excepcionalmente atingem mais que 2 cm; sendo então considerados como «acamamento muito delgado» na classificação dos autores citados.

#### 2-b) Estratificações cruzadas:

Foram feitas algumas trincheiras na área da linha de perfilagem, não sendo entretanto reconhecidas estas estruturas. Supõe-se que sejam formadas nas «sand waves» por ocasião de reversão do sentido da corrente.

### V — 3 — Estruturas Orgânicas

#### Buracos de Vermes:

Na margem E. e no Banco de Areia a N. da linha AG foram encontrados orifícios de vermes. Havia (assim como no Banco de Areia) diversas manchas de H<sub>2</sub>S confirmadas pela cor negra e o odor fétido exalado quando a amostra foi trazida à superfície pelo mergulhador. Estas manchas dispunham-se em torno dos orifícios, sendo visíveis, em alguns casos, os montículos de areia escavados pelos vermes.

### V — 4 — Correntometria

Na parte de correntometria, foram feitas as seguintes observações:

a) As velocidades médias foram consideradas em cada sentido da corrente, indicando os seguintes valores: em direção ao mar — 0,47 m/s e no sentido oposto — 0,63 m/s. Os valores correntométricos extremos são 0,00 m/s e 2,22 m/s, conforme mostra o gráfico II. Mesmo durante um único perfil, geralmente feito em 15 minutos (no final dos trabalhos estavam sendo feitos em 8'), estas correntes

(\*) McKee & Weir (Terminology for stratification and cross stratification in sedimentary rocks).

oscilam bastante em velocidade e às vezes, localmente, em sentido, formando remoinhos provocados por irregularidades nas margens (vide esquema da fig. 8). Esta disposição foi confirmada pelo acompanhamento da movimentação de sedimentos em suspensão local.

b) A velocidade de corrente é muito alta no setor do canal ocupado pelas «sand waves» (Vide Anexo II), pelas «ripple marks» assimétricas retas é bem menor.

c) Segundo foi visto em trabalhos de campo e confirmado pelos resultados das medições, pode-se notar que, com a corrente dirigindo-se para o mar, as maiores velocidades localizavam-se junto à margem W, erodindo-a intensamente. No sentido oposto, deslocavam-se as zonas de maior erosão e velocidade de corrente para a margem oposta.

d) A movimentação de correntes no fundo não é uniforme e sim feita aos jatos, com fluxos turbulentos, variáveis em período, intensidade e direção. As partículas são movidas por tração de fundo e também por saltação; parte é levada em suspensão pela corrente. É notável o «by passing» entre os grãos de quartzo e os dos minerais pesados, ficando os últimos assim concentrados.

e) Quanto à parte de movimentação das correntes, houve um fato interessante no Banco de Areia ao norte da linha AG. Para a construção da Ponte de Joatinga, foi feito um aterro que semi-estrangulou o canal, deixando quase sem movimentação as águas sobre o banco de areia. Com isto, começou a haver deposição de material argiloso e orgânico trazido pelas águas da lagoa. Formaram-se então manchas de H<sub>2</sub>S e lentes de argila. A Ponte foi concluída e o aterro retirado; começou a haver então maior movimentação das correntes de maré sobre o banco de areia e foram vistas «sand waves» pequenas migrando por cima das camadas de argila e das manchas de H<sub>2</sub>S.

f) A disposição assumida pelas «ripple marks» sugere a existência de duas camadas de água superpostas com sentidos opostos após a intermediação.

g) Na perfilagem durante maré de sizígia, os valores correntométricos situaram-se dentro da faixa normal. Como fez-se somente um perfil, não é consistente esta afirmação.

### V — 5 — Batimetria

Por meio de perfis batimétricos plotados, pode-se observar que em menos de 10 minutos há substanciais variações no fundo. Notou-se também haver carreamento de material num

sentido de corrente e seu retorno após a inversão da corrente. De acordo com seu sentido, a erosão é maior num lado que no outro, isto é, as maiores profundidades registram-se mais para a margem W quando a corrente tem sentido lagoa-mar e vice-versa.

A maior profundidade atingida na secção estudada foi de 2,90 m. Sob a ponte, está a parte mais profunda, com 5 m. Neste local, foi feito um perfil por mergulho, descrito adiante, na parte de observações fora da linha AG.

Num dia de maré de sizígia, fez-se a perfilagem do canal, constatando-se haver um grande recuo na margem W, causando diversos desabamentos nas construções vizinhas.

### V — 6 — Concentrações de minerais pesados

São mais frequentes e importantes na margem W. do Canal, especialmente sob a ponte de Joatinga, onde ocorrem bancos de areia com cascalho deixado pelo aterro. Há outras concentrações nesta margem, no Banco de Areia ao N. da linha AG e no fundo do Canal, mas não na mesma grandeza que neste local, onde há conjugação de efeitos de velozes correntes e de ondas atuando numa pequena profundidade, auxiliados pela presença do cascalho (Vide Anexo II).

As concentrações no fundo do Canal formam «manchas» isoladas; estas desenvolvem-se em zonas de fluxo rápido, como na zona das «sand waves» e «ripple marks» linguóides. Localizam-se não só nos topos, conforme mostra a fotografia submarina da Fig. 6; note-se a zona sem deposição de pesados próximos à borda.

Coletaram-se amostras para estudar a proporção fração leve/fração pesada destas concentrações, sua mineralogia e a morfoscopia. A posição das amostras está mostrada no Anexo II.

Pode-se observar que em todas as amostras, as maiores participações da fração pesada ocorriam nas frações de 0,250 a 0,125 mm e na de 0,125 a 0,074 mm, especialmente nesta última, conforme mostra a Tabela III.

A mineralogia (em ordem decrescente) é: ilmenita, maznetita, zircão (incolor bi-terminado), rutilo, turmalina verde e preta, espinélios, monazita e granada.

As lâminas de minerais pesados estavam alternados com outras de areia quartzosa na «foreshore».

Observou-se também que após as ressacas, as concentrações de minerais pesados recobriam toda a margem W.

### V — 7 — Observações morfoscópicas e granulométricas

Predominam os grãos sub-angulares a sub-arredondados (Escola Powers), com alta esfericidade, transparentes e translúcidos. Ocorrem também grãos arredondados, com baixa esfericidade, com superfície pontuada, mais opacos.

Os grãos de quartzo apresentam numerosas inclusões de mica e magnetita.

A granulometria predominante no Canal é a fina, sendo restritos os locais onde torna-se mais grosseira (Ver parte V — 8).

### V — 8 — Outras observações

Quando começaram os Trabalhos do Canal, as condições de maré eram dadas, pelo sentido da corrente, isto é: se do mar para a lagoa, seria maré enchente e vice-versa. Porém, quando consultou-se a Tábua de Maré da DHN, constatou-se num perfil que embora a maré (pela Tabela) fosse enchente, a corrente dirigia-se para o mar.

Na margem E. foram feitas algumas testemunhagens com tubos plásticos de PVC (Anexo II). Tendo na parte inferior um bordo cortante e na superior, uma tampa rosqueada. Os tubos foram introduzidos por percussão, sem a tampa. Após penetrar o máximo possível, rosqueou-se a tampa para produzir sucção no interior do tubo durante sua retirada, para prender o testemunho. Como o sedimento era polimítico, a testemunhagem foi fácil, porém os resultados foram nulos em fundos arenosos pela resistência à penetração e pela lavagem dos sedimentos no tubo. No Lagamar, os testemunhos foram radiografados e cortados segundo seu comprimento, revelando leitos alternados de areia fina a média e argila orgânica arenosa.

Num ponto situado aproximadamente 10 m ao sul da linha AG (Vide Anexo II), os mergulhadores localizaram uma camada argilosa com 2 cm. de espessura mergulhando para W, exposta pela correnteza no fundo arenoso. Esta camada nunca havia aflorado antes e mergulhos posteriores não a localizaram mais. Foram extraídas amostras, que revelaram lâminas de argila turfosa envolvendo outras de areia fina.

Por meio de mergulhos junto à foz, a equipe notou no fundo cristas retilíneas, simétricas, alongadas, cruzadas por outras do mesmo tipo, semelhantes às «windrow ridges» de Tanner. Em local próximo, foram achadas depressões

semi-circulares («pits») cuja origem a equipe não conseguiu descobrir, apesar da permanência no local ser mais demorada.

Outra observação no mesmo local é que na maré enchente a profundidade registrada pelo profundímetro de pulso era de 5 m. Quando mergulhou-se depois, na maré vazante, a profundidade havia passado a 1,50 m.

Ao largo da foz do canal, Trabalhos de levantamento ecobatimétrico efetuados pelo Instituto de Geociências e pela Petrobrás, com o auxílio da Marinha do Brasil, revelaram a existência de canais submersos.

Sob a ponte de Joatinga acha-se a maior profundidade do canal ( $\pm 5$  m). Neste local, um geólogo-mergulhador equipado com «agualong» executou um perfil transversal, de E. para W partindo da profundidade de 4,70 m (marcada pelo profundímetro de pulso), notando a gradação de matações e cascalho nesta profundidade para areia fina em direção à praia. Observou também a presença de cascalhos nas cristas das «sand waves», fazendo algumas medições nestas, que por terem sido feitas assistematicamente, não foram consideradas na parte referente àquelas estruturas, neste relatório.

Mencionam-se entretanto com estas restrições as dimensões medidas, juntamente com as observações feitas. Aos 4,50 m de profundidade, as «sand waves» possuíam 0,70 m a 1,00 m de comprimento de onda, com 0,10 a 0,20 m de altura. Era notável o «by passing» de areias grossas e cascalhos que rolavam e caíam à frente das «sand waves», enquanto os finos eram levados em suspensão. Aos 4,00 m desenvolviam-se numerosas «sand waves», sendo o fundo arenoso inconsistente havendo grande turbulência concentrando cascalhos.

Aos 3,00 m de profundidade, apareciam «ripple marks» transversais e pequenas «sand waves», com 0,10 m de comprimento de onda por 0,02 m de altura.

## VI — Conclusões

### VI — 1 — Estruturas sedimentares primárias

a) A variável mais importante na formação e evolução das «ripple marks» é a velocidade da corrente, sendo a profundidade uma variável secundária, pois um mesmo tipo de estrutura ocorrendo em diferentes faixas de profundidade foi visto evoluindo sob um regime típico de corrente.

b) A velocidade de corrente também é decisiva na formação e evolução das «sand wa-

ves», que com o aumento da velocidade, passam do padrão de crista reta para o de crista arqueada «sand waves» parabólicas).

c) A evolução dos tipos de «ripple marks» com o aumento da velocidade de corrente começa com o tipo assimétrico reto, típico de movimentação suave, passando ao linguóide em zonas de maior velocidade. Esta aumentando e tendo abundante fornecimento de areia, desenvolvem-se «sand waves». O estágio final é de um fundo plano, sem estrutura alguma.

As «ripple marks» simétricas retas ocorrem em zonas de ação efetiva de ondas, sendo formadas pelo vaivém destas.

As «ripple marks» com padrão de interferência formam-se (no canal) em águas rasas, onde há interação de ondas e correntes ou nas zonas mais profundas onde há superposição de correntes com sentidos diferentes.

d) As ripple marks assimétricas retas com suas cristas dispostas perpendicularmente às das «sand waves» são geradas quando parte da corrente principal escoar-se entre «sand waves» vizinhas e, encontrando uma zona de baixa pressão formada pelo desvio para cima da corrente principal pela crista de «sand wave» dirige-se para lá, formando-as assim. Isto só acontece quando a velocidade da corrente decresce e cessa o turbilhonamento à frente da «sand wave».

e) O deslocamento das «sand waves» faz-se pelo desmoronamento das faces de sotavento, provocado pelo empilhamento dos sedimentos sobre a crista até romper seu perfil de equilíbrio.

f) As manchas de  $H_2S$  e as camadas de argila orgânica no Banco de Areia, formaram-se a partir da matéria orgânica trazida em suspensão da Lagoa, que encontrando ambientes de pouca movimentação de água (causados pelo semi-estrangulamento do canal pelo aterro), depositaram-se em condições redutoras; estas também são válidas para o remanso.

g) A reversão do sentido da corrente ao agir sobre estruturas já formadas possivelmente acarreta a estratificação cruzada nestas.

### VI — 2 — Correntometria

a) As variações de sentido sofridas pela correnteza (na mesma condição de maré) devem-se ao desvio desta nas irregularidades da margem.

b) A maior velocidade média durante a maré enchente deve-se à maior energia do mar (caso não haja ventos de NE ou NW para barrar as águas).

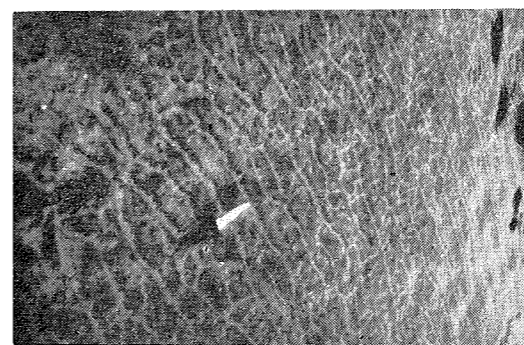


Fig. 1 — Foto mostrando padrão complexo de «ripple marks». Notar disposição das concentrações de minerais pesados nas calhas (linha AG.)

## VI — Batimetria

Ocorre o processo de corte-aterro («cut and fill») em cada sentido de corrente, de acordo com a localização do núcleo de maior velocidade. Em geral, o perfil transversal permanece constante, exceto quando ocorrem marés de sizigia, que acarretaram um grande recuo da margem W. Perfis executados algumas semanas após, mostraram o retorno às condições normais.

### VI — 4 — Concentração de minerais pesados

a) A concentração maior na margem W deve-se à ação mais intensa das correntes agindo sobre os sedimentos, auxiliados pela presença de cascalhos; as concentrações na «foreshore» são causadas pela jigagem das ondas que varrem-se durante a maré enchente.

b) A maior concentração após as resacas deve-se à ação mais energética das ondas.

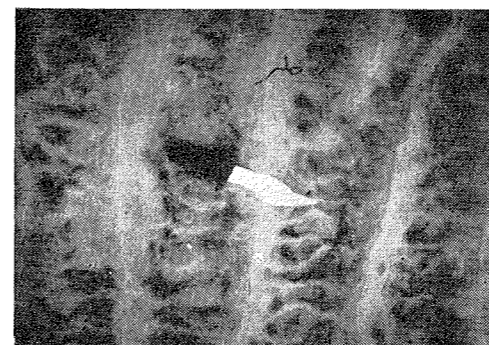


Fig. 3 — Foto mostrando padrão complexo, formado por ondas e correntes. Notar o desenvolvimento de «ripple marks» assimétricas retas (de corrente) entre as «ripple marks» simétricas retas (de onda). Notar as concentrações.

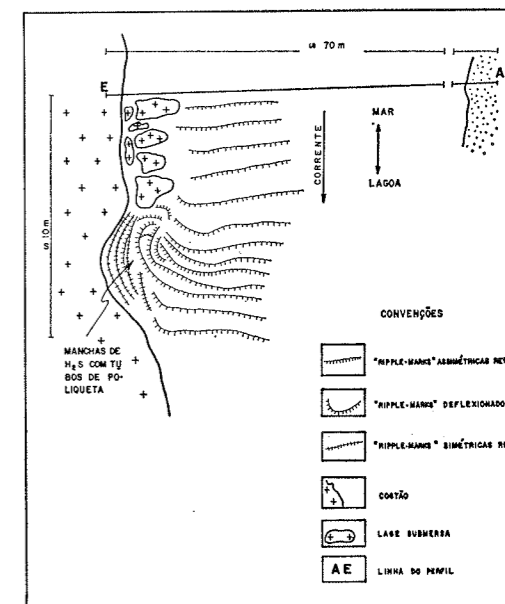


FIG. 2

Fig. 2 — Esquema mostrando a disposição das «ripple marks» no remanso.

c) Pode-se apontar (com reservas) a proveniência dos minerais pesados como: de gnaisses e xistos (rutilo granada) zircão biotita; pegmatitos (turmalina, magnetita, biotita); granitos (monazita); rochas básicas e ultrabásicas (ilmenita). As áreas-fontes seriam os Maciços da Tijuca e da Pedra Branca.

d) Como áreas prováveis de concentração de minerais pesados, citam-se os canais submersos em «offshore».

### VI — 5 — Morfoscopia

Pode-se atribuir uma dupla origem aos sedimentos quartzosos, seriam provenientes do retrabalhamento pelo vento de areias de praia (ambiente de cordão litorâneo).

### VI — 6 — Outras Observações

a) A diferença entre os horários da maré do Atlântico e da Lagoa pode ser explicada com base na demora para o preenchimento da Lagoa pela preamar (e vice-versa), causada pela estreita passagem. Os ventos e correntes podem também barrar as águas do mar e da Lagoa.

b) Os testemunhos executados próximos à Ponte e as amostras de argila turfosa ao sul da linha AG permitem supor condições alternadas de abertura e fechamento da entrada do canal, provocando períodos de intensa mo-

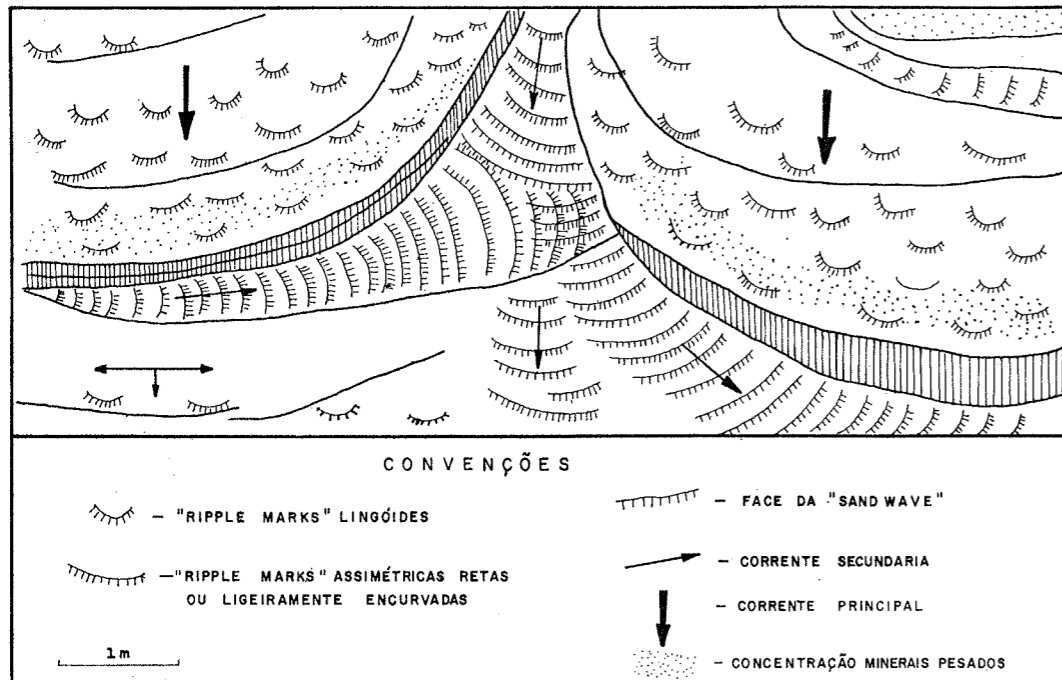


FIG. 4

Fig. 4 — Esquema mostrando a disposição das "ripple marks" assimétricas retas a frente da "sand wave". Notar o sentido da corrente principal.

vimentação e de deposição de colóides orgânicos e de argila trazidos da Lagoa.

c) A grande diferença de profundidade registrada na foz do Canal parece dever-se à descarga dos sedimentos trazidos pela maré vazante.

TABELA I

A) ESTRUTURAS INORGÂNICAS

Mecânicas (primárias):

I) ESTRUTURAS DE ACAMAMENTO

- 1 — Laminações
- 2 — Acamamento cruzado

II) ESTRUTURAS DE ACAMAMENTO

- 1 — Estrias
- 2 — «Ripple marks»

B) ESTRUTURAS ORGÂNICAS

Mistas:

- Perfurações
- Manchas de H<sub>2</sub>S

TABELA II

ESTRUTURAS INORGÂNICAS MECÂNICAS

V — 2-1: ESTRUTURAS DE ACAMAMENTO LINEAR

A) Padrão Transversal ao Deslocamento da Corrente

- 1 — «Ripple Marks» assimétricas retas
- 2 — «Sand Waves»
- 3 — «Ripple Marks» simétricas de onda.

B) Padrão Diagonal

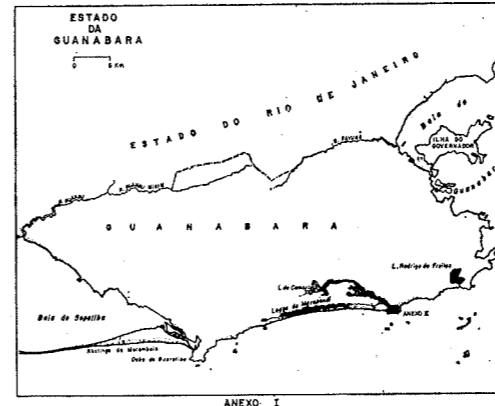
- 1 — «Ripple Marks» linguóides



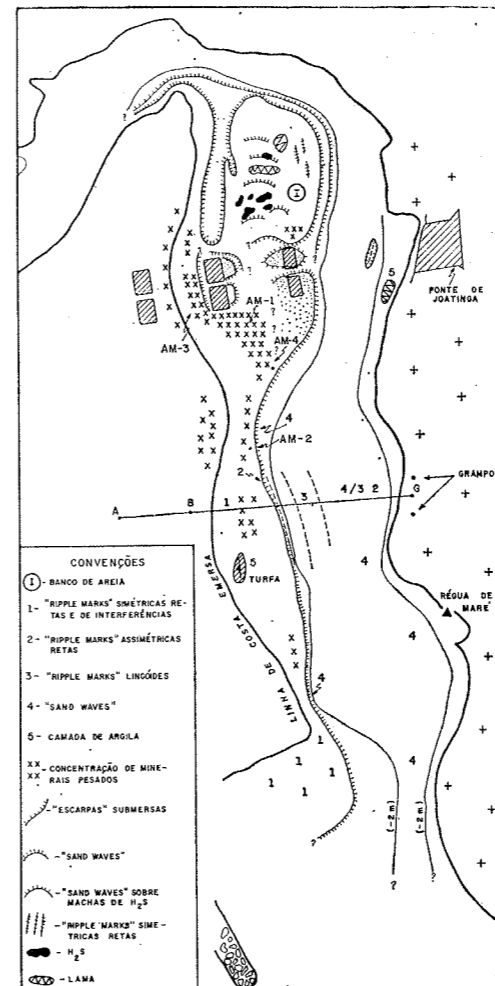
Fig. 5 — Foto mostrando "ripple marks" assimétricas retas no banco de areia ao N da linha de perfilagem AG. Notar fragmentos grosseiros e concentrações de minerais pesados nas calhas e estrias

C) Padrão Complexo

- 1 — «Ripple Marks» de interferência de ondas
- 2 — «Ripple Marks» complexas de onda e corrente.



ANEXO I



ANEXO II - ESQUEMA DA ÁREA

TABELA III

Fração	Amostra — 1		Amostra — 2		Amostra — 3		Amostra — 4	
	A	B	A	B	A	B	A	B
Fração leve . . . .	51,06%	86,48%	92,24%	20,00%	70,08%	12,61%	88,34%	03,81%
Fração pesada . .	48,94%	63,52%	07,76%	80,00%	29,92%	87,39%	11,66%	96,19%

A — FRAÇÃO 0,250 a 0,125 mm

B — FRAÇÃO 0,125 a 0,074 mm

## VII — BIBLIOGRAFIA

- CARROL, D. (1938) — "Recording the results of heavy mineral analyses". *Journal of Sedimentary Petrology* V. 8 nº 1, pp. 3 a 9.
- EMERY, K. O. (1938) — "Rapid method of mechanical analyses". *Journal of Sedimentary Petrology* V. 8 nº 3 pp. 105 a 111.
- MC KEE, E. D. & WEIR, G. W. (1953) — "Terminology for stratification, cross-stratification in sedimentary rocks". *Bull. Geol. Soc. Am.* V. 64, pp. 381 a 390.
- MENARD, DILL "et alter" (1954) — "Underwater mapping by diving geologists" *A.A.P.G. Bull.* V. 38 p. 148 a 157.
- SHUMWAY, G. A. JR. (1955) — "Compass inclinometer for underwater outcrop mapping". *A.A.P.G. Bull.* V. 39 nº 7 pp. 1.403 a 1.404.
- MC KEE, E. D. (1957) — "Primary Structures in some recent sediments". *Bull. A.A.P.G.* V. 41 nº 8 pp. 1.704 a 1.747.
- RAO, C. B. (1957) — "Beach erosion and concentration of heavy mineral sands". *Journal of Sedimentary Petrology* V. 27 nº 2.
- MC KEE, E. D. (1957) — "Experiments on ripple lamination" — reimpressão de "Primary Sedimentary Structures And Their Hydrodynamic Interpretation" — *Soc. Econ. Pal. & Min. A.A.P.G. Spec. P.* nº 12.
- DILL, R. F. (1958) — "Investigating the sea floor with diving geologists". *Geotimes*, V. 2 nº 8 pp. 6, 7, 15.
- VAN ANDEL, T. J. H. (1959) — "Reflections on the interpretation of heavy mineral analyses" — *Journal of Sed. Petr.* V. 29, nº 2, pp. 153-163.
- VAUSE, J. E. (1969) — "Underwater geology and analysis of recent sediments off the north-west Florida coast" — *Journal of Sedimentary* V. 29, nº 4, pp. 555 a 563.
- TANNER, W. F. (1959) — "Near-shore studies in sedimentology and morphology along the Florida panhandle coast" — *Journal of Sedimentary Petrology* V. 29, nº 4, pp. 564 a 574.
- FESSENDEN, F. W. (1959) — "Removal of heavy liquids separates from glass centrifuge tubes" — *Journal of Sedimentary Petrology* V. 29, nº 4, pp. 621.
- VAN ANDEL, T. J. H. (1960) — "Sources and dispersion of Holocene sediments, Northern Gulf of Mexico". Repr. de "Recent Sediments Northwest Gulf of Mexico", (1951-1958); pp. 34, 55 e 368-381.
- SCULL, B. J. (1960) — "Removal of heavy liquids separates from glass centrifuge tubes — An alternate method" — *Journal of Sedimentary Petrology*, V. 30, n. 4, pp. 626.
- TANNER, W. F. (1960) — "Shallow water ripple marks varieties" — *Journal of Sedimentary Petrology* V. 30 nº 3, p. 481.
- TREFETHEN, J. M. & DOW, R. L. (1960) — "Some features of modern beach sediments" — *Journal of Sedimentary Petrology* V. 30 nº 4, pp. 589 a 602.
- SHEPARD, F. P. (1960) — "The Earth beneath the sea" — p. 23 a 26.
- PETTJOHN, F. J. & POTTER, P. E. (1964) — "Atlas and Glossary of primary sedimentary structures".
- MC KEE, E. D. (1965) — "Experiments on ripple lamination" — *A.A.P.G. special publ.* nº 12.
- SHEPARD, F. P. & DILL, R. F. (1965) — "Submarine canyons and other sea valleys" — parte II, p. 21 a 24.
- MARTINS, L. R. (1966) — "Variedades praias de marcas de ondulação" — Separata de "Notas e Estudos" V. 1 nº 2, p. 63 a 78 — U.F.R.G.S.
- PIERCE, J. W. (1970) — "Tidal inlets and washoverfans" — *The Journal of Geology* V. 78 nº 2.
- DIRETORIA DE HIDROGRAFIA E NAVEGAÇÃO — M. MARINHA DO BRASIL (1970) — "Tábua de Marés para 1970".
- DIRETORIA DE HIDROGRAFIA E NAVEGAÇÃO — M. MARINHA DO BRASIL (1971) — "Tábua de Marés para 1971".
- TAGG, A. R. & GRENE, H. G. (1971) — "Seismic survey locates potential gold deposits in the Bering Sea" — *Ocean Industry* Aug. 1971, pp. 40-43.
- DIRETORIA DE HIDROGRAFIA E NAVEGAÇÃO — M. MARINHA DO BRASIL (1971) — "Tábua de Marés para 1971".

## PROVINCIAS FISIOGRAFICAS E SEDIMENTOS DA MARGEM CONTINENTAL ATLANTICA DA AMÉRICA DO SUL

L. R. MARTINS <sup>(1)</sup>, C. M. URIEN <sup>(2)</sup> e L. W. BUTLER <sup>(3)</sup>

### ABSTRACT

The South Atlantic America continental margin can be divided on three main provinces and several subprovinces and others small forms. Terraces, marginal plateaus, seamounts, canyons bounded with the principal fluvial systems are the more prominent features.

The continental margin physiography is strictly related with the large continent morpho-structural units and their major tectonical elements. Four main zones of a maximum fracturing were identified represented by scarps and seamounts lineations.

The bottom sediments distribution shows along the continental shelf four prime types:

- areas with actual accumulations of muddy or sandy sediments;
- areas with relict or palimpsest sediments;
- areas with organic activity or its derivatives biotrital sediments; and
- areas with sediments from glacial origin.

Others sediment types, like autigenic or residual can be found in some areas.

The continental shelf sediments and morphology were widely affected by sea level fluctuations during the Quaternary. The fluctuations sculptured the more important features of the continental shelf with a series of constructive or erosive shapes.

The largest development of the sedimentary progradation are along the marginal basins, that are been submitted to subsidence since Cretaceous

### 1. INTRODUÇÃO

O estudo do relevo submarino sempre despertou acentuado interesse de parte dos oceanógrafos. Recentes trabalhos efetuados, dirigidos especialmente no sentido de esquematizar por ordem de grandeza as principais feições de fundo dos oceanos, tem proporcionado o surgimento de proveitosos esquemas de classificação.

Três divisões principais compõem a morfologia de fundo oceânico: margem continental, soalho de bacia oceânica e cadeia meso-oceânica.

Tais feições são perfeitamente identificáveis em qualquer perfil transversal que se efetuar nos oceanos. Assim, uma linha cruzando o Oceano Atlântico, do Brasil à África mostrará de maneira distinta as três maiores regiões topográficas dos oceanos.

O desenvolvimento de modernas técnicas de ecobatimetria tem propiciado um detalhado aumento aprofundado destas três regiões permitindo o reconhecimento de inúmeras feições associadas. O advento do sistema PDR (Precision Depth Recorder) representou fator decisivo no conhecimento do fundo oceânico, pois favoreceu em muito o estudo das feições menores e de pequenos detalhes da geomorfologia submarina.

Vários trabalhos específicos têm surgido nestes últimos anos representando contribuições de grande valor para o conhecimento do relevo de fundo dos oceanos. Destacam-se neste particular Heezen e Tharp (1961) e Shepard (1966). O esquema de Heezen e Menard (1966) foi o utilizado no presente trabalho para classificar a morfologia da margem continental atlântica da América do Sul.

Paralelamente, os estudos no campo da geofísica até aqui realizados têm tornado possível uma melhor interpretação de muitas feições quanto ao aspecto evolutivo.

Os estudos sobre o recobrimento sedimentar de fundo têm igualmente merecido, principalmente nos últimos anos, idêntica atenção

(1) Centro de Estudos Costeiros e Oceanográficos, Instituto de Geociências, UFRGS, Porto Alegre.

(2) Cabot Petroleum (Argentina) Inc., av. Pte. Roque, S. Peña 852, Buenos Aires, Argentina.

(3) National Oceanic and Atmospheric Administration, Atlantic Oceanographic and Meteorological Laboratory, Miami, Florida, USA.

por parte dos geólogos marinhos. Inúmeros mapas de fácies sedimentares do fundo oceânico têm sido publicados, como elementos fundamentais na elucidação do complexo sedimentar marinho.

Por mais de uma década, várias Instituições Brasileiras e Argentinas têm realizado estudos na margem continental Atlântica da América do Sul. As informações obtidas encontram-se sintetizadas no presente trabalho.

Os autores agradecem ao Conselho Nacional de Pesquisas, Fundo de Desenvolvimento Técnico-Científico — FUNTEC do Banco Nacional do Desenvolvimento Econômico, Campanha de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior — CAPES e Diretoria de Hidrografia e Navegação do Ministério da Marinha, que tornaram possível a realização da maior parte das pesquisas cujos resultados são apresentados.

## 2. A MARGEM CONTINENTAL

A margem continental, representa a zona de nítida transição entre os dois domínios do globo terrestre: continentes e oceanos. Segundo Heezen e Menard (op. cit.) a superprovincia margem continental pode ser dividida em três categorias de províncias.

A primeira inclui a plataforma continental, platô marginal e mar epicontinental raso, constituindo desta forma, porções levemente submersas do bloco continental.

A segunda, formada pelo declive ou talude continental e pelo declive do lado continental de fossa, reúne expressões da borda externa do bloco continental.

A terceira inclui a elevação continental, o complexo bacia-colina marginal e o complexo fossa-colina marginal.

A plataforma continental é formada por uma superfície mais ou menos plana, ornamentada por suaves irregularidades e apresentando um gradiente médio de 1:1.000. Estende-se desde a zona praial até a porção de rompimento brusco deste gradiente, conhecida normalmente como borda, zona de quebra ou ruptura da plataforma.

O talude é representado por uma superfície cuja declividade apresenta um gradiente de 1:40 a 1:60 estendendo-se desde a zona de quebra da plataforma e desaparecendo junto a uma zona de gradientes menos abruptos, que constitui a elevação continental.

As inclinações nesta província giram em torno de 1:300, podendo apresentar segmentos

individuais baixos com 1:700 ou acentuados como 1:50 (Heesen e Menard, 1966).

As principais feições fisiográficas da margem continental atlântica da América do Sul acham-se catalogadas por ordem de grandeza no presente mapa, mostrando como províncias principais mais salientes a plataforma (1), talude (4) e elevação (7) continental.

Como províncias complementares, platôs marginais (2) mares epicontinentais (3) e escarpas marginais (5). Encontram-se igualmente assinaladas as províncias de montes submarinos (10) que embora pertencente à categoria de província soalho de bacia oceânica encontram-se aqui representados, pois estão muito associados à morfologia da margem continental.

Reentrâncias (11) terraços (12) e escarpas (13) encontram-se entre as subprovíncias identificadas, enquanto bancos (14) cones (15) trincheiras (16) e umbrais (17) constituem as feições menores apresentadas.

### 2.1 Fisiografia Geral

A fisiografia da margem continental leste da América do Sul é controlada por províncias morfoestruturais do continente e por seus elementos tectônicos maiores.

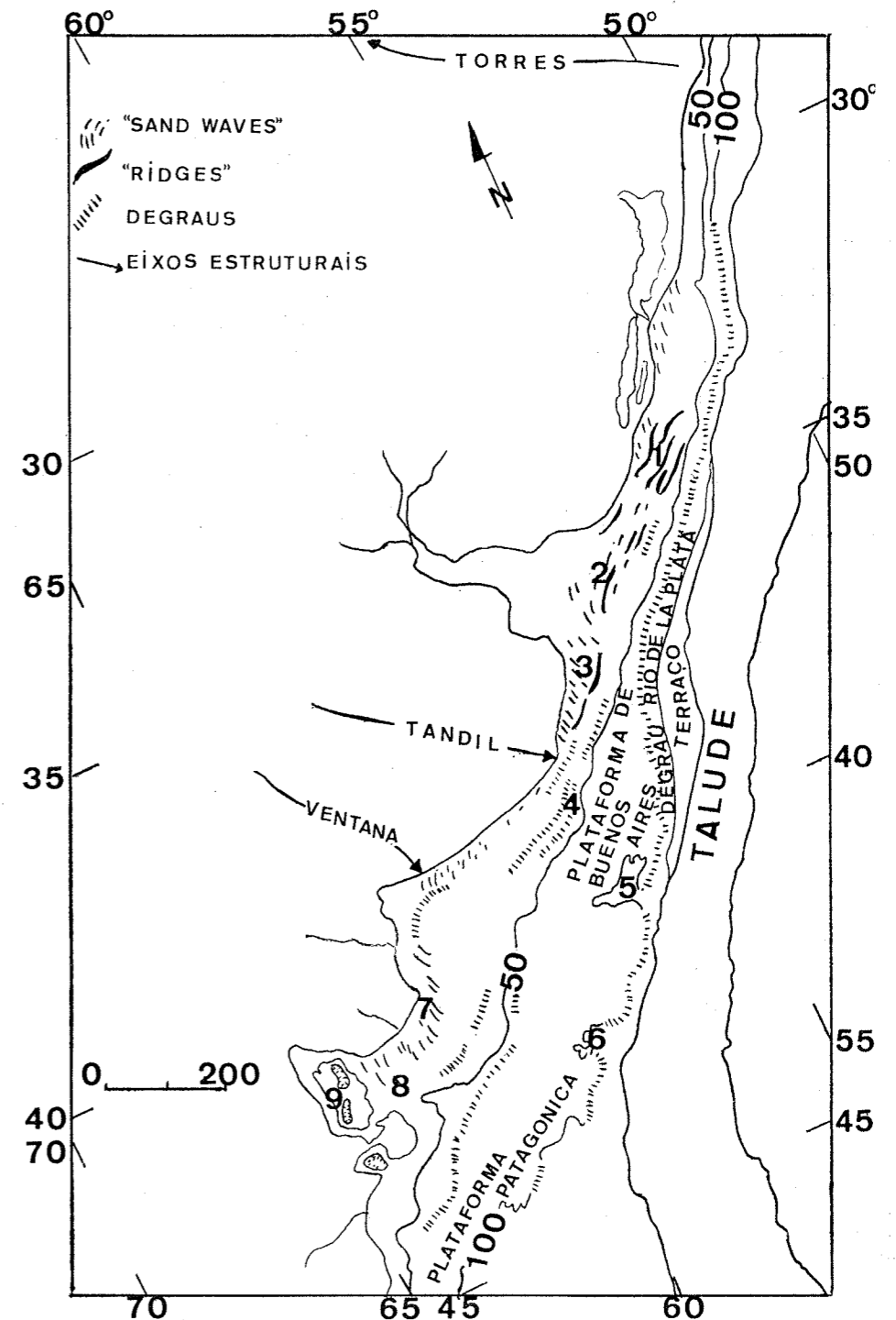
A atividade tectônica é julgada como sendo o resultado de movimentos relativos de placas da crosta Atlântica.

A expansão do soalho oceânico e das massas continentais deslocadas por movimentos diferenciais em direção oeste criaram uma ação de falhas gravitacionais (tipo «rift») com direção N-S limitada por falhas transcurrentes associadas diretamente com as zonas de grandes falhamentos do fundo oceânico.

A evolução tectônica desta parte do continente ainda não é bem conhecida como um todo, mas é possível verificar sua complexidade, o que proporciona uma morfologia variada à margem continental.

A largura da plataforma ao sul do Uruguai e ao largo da Patagônia é bastante impressionante, contrastando com a presença de platôs marginais e montes submarinos da estreita plataforma do Nordeste do Brasil. Na Patagônia foi observada uma extensão dos Maciços Patagônicos formando o núcleo da plataforma.

Também parece que alguns escarpamentos (como por exemplo o das Malvinas) estão relacionados com zonas de falhamentos que igualmente afetam o continente, como é observado ao sul do Uruguai até Terra do Fogo ou norte do Ceará, Abrolhos e Rio Grande.



- |                            |                     |
|----------------------------|---------------------|
| 1 POÇOS DE LAMA            | 8 BANCOS SAN MATÍAS |
| 2 BAIXIO LA PLATA          | 9 BACIA SAN MATÍAS  |
| 3 BANCOS SAN ANTONIO       |                     |
| 4 DEGRAUS CORRIENTES       |                     |
| 5 REENTRANCIA BAHIA BLANCA |                     |
| 6 REENTRANCIA RIO NEGRO    |                     |
| 7 BANCOS RIO NEGRO         |                     |

Estas feições são em parte responsáveis pela formação das bacias ao longo da margem continental leste da América do Sul. Assim, uma série de bacias sedimentares foram geradas desde os tempos Maestrichtian — Neomian que foram preenchidas com sedimentos Cretácico-Cenozóicos, muitas das quais entalhadas no Escudo, ou como no sul do Uruguai, perpendicular. Podem assim serem classificadas como intercratônicas e pericratônicas no Brasil e interneocratônicas e peri-neocratônicas ao sul do Uruguai.

Estas distribuições morfoestruturais criaram uma variada série de províncias fisiográficas que são agrupadas em várias zonas a seguir descritas:

- 1 — Amazonas — Maranhão — Relacionada com um sistema fluvial importante que forma uma série de deltas submarinos em uma ampla plataforma que termina em degraus e cabeceiras de «canyons».
- 2 — Ceará — Rio Grande do Norte — Caracterizada por um estreitamento progressivo da plataforma, apresentando uma série de pequenos platôs, dentre os quais salienta-se o do Ceará. Um conjunto de montanhas submarinas e outras feições menores caracterizam esta região.
- 3 — Pernambuco ou Nordeste (Natal-Aracaju). Constitui a plataforma mais estreita e onde o platô marginal é separado da plataforma. Ao sul do Rio São Francisco, um delta e «canyons» submarinos são encontrados em mar profundo.
- 4 — Leste (Aracaju-Cabo Frio). Uma série de «bancos» coalescentes formam a plataforma Vitória-Espirito Santo com cerca de 240 Km de largura.
- 5 — Santos-Paraná. Apresentando uma plataforma arqueada formando uma grande reentrância (embayment), apresenta degraus em direção ao mar aberto e abruptamente cortada dando lugar ao platô de São Paulo.
- 6 — Rio Grande do Sul-Uruguai. Apresenta uma morfologia bastante regular e homogênea, mostrando-se sulcada apenas em sua parte sul por canais conhecidos como poços de lama. «Sand waves» acham-se presentes na plataforma interna.
- 7 — Buenos Aires-Patagonia. É a área de maior largura da plataforma da América

do Sul. A topografia da borda da plataforma e talude superior é bastante acidentada apresentando canais, colinas (ridges), degraus, terraços e reentrâncias, particularmente nas profundidades de 100 a 450 metros.

São feições erosionais e deposicionais, sendo o mais impressionante o «Plata Shoals» formado por «ridges» próximas às desembocaduras do Rio de La Plata. «Sand waves» ou dunas submarinas acham-se presentes na plataforma interna. Sedimentação nerítica está bem desenvolvida especialmente em razão de importantes complexos fluviais como o Rio de La Plata e o Colorado-Negro.

- 8 — Patagônia. Apresenta plataforma ampla, acima de 400 quilômetros com um mergulho considerável em direção ao mar aberto ( $0^{\circ}50'$ ). Possui topografia irregular apresentando feições descritas para a região anterior.

- 9 — Terra do Fogo. De modo similar à parte mais meridional da Patagônia; esta província foi influenciada pela glaciação continental que atingiu a presente linha de praia.

Uma série de formas periglaciais proporcionam uma topografia variada à plataforma, onde canais e leques são estendidos a partir da praia.

## 2.2 Morfologia da Plataforma

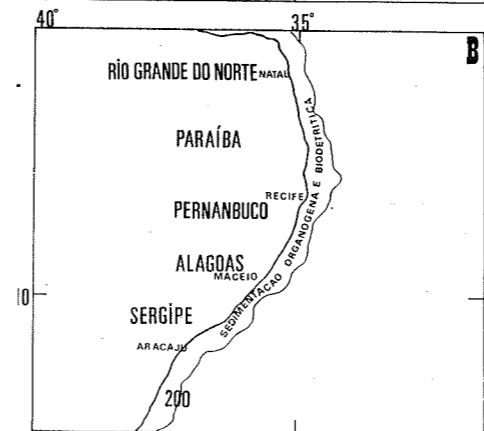
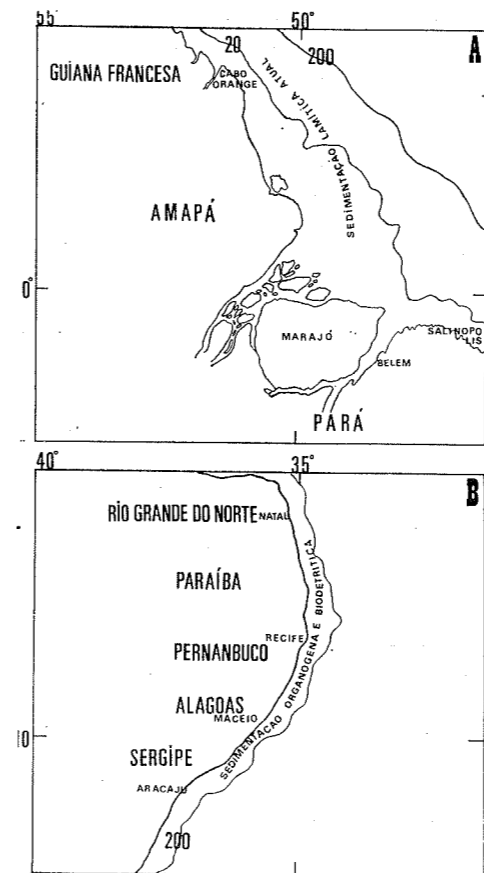
A morfologia da plataforma é em geral suave e coberta por sedimentos onde as flutuações do nível do mar formavam algumas feições construtivas ou erosivas.

Em áreas arenosas como a plataforma externa do Amazonas, Rio Grande, Buenos Aires ou Patagônia, «sand waves» tem sido observadas. São encontrados alguns canais relacionados com sistemas fluviais antigos na plataforma, sendo alguns deles conectados a cabeceiras de canyons.

Certas feições de estruturas deltaicas são igualmente presentes na região Amazônica e rio de La Plata.

Em áreas com pobre suprimento sólido em suspensão crescimento de corais ou feixes de restingas são comuns; similares a arenitos praias (beach rock) observados na costa de Pernambuco e Bahia.

A plataforma amazônica se caracteriza por apresentar um gradiente pouco acentuado e re-



gular até a profundidade de 30 metros, quando acentua-se até a profundidade de 70 metros (Zembruski, Gorini, Palma, Costa, 1970).

Há irregularidades de fundo na ordem de 10 a 15 m situadas com maior expressividade a partir dos 75 metros.

A feição mais saliente da borda da plataforma é o canyon Amazonas, apresentando em suas cabeceiras numerosos vales em forma de V (Gorini, Figueiredo, Gamboa, Alves, Silva e Franke).

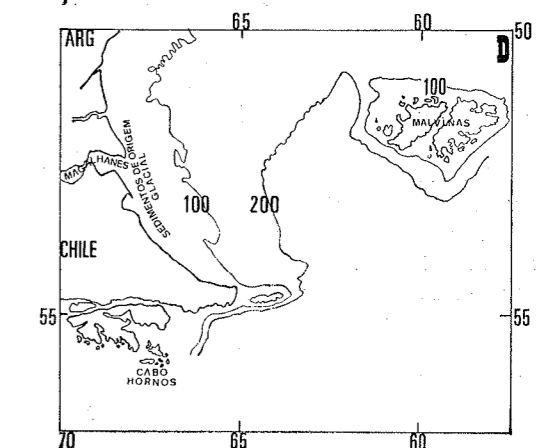
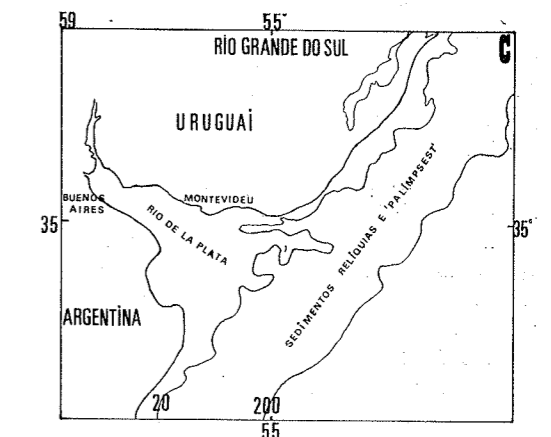
Ao sul da plataforma do Espírito Santo foi registrado um espinhaço de fundo endurecido acompanhando a topografia. Ele é coberto por material biogênico mas identificados como espinhaços de rochas cristalinas controlados estruturalmente. Esta feição é muito comum na plataforma Rio-Santos-Paraná.

Nas plataformas do Rio Grande do Sul até Rio Negro, vários bancos e canais foram identificados com complexos de ilhas de barreira e paleocanais dos rios mais importantes desta área, relacionados a cabeceiras de canyons.

Na Patagônia a superfície da plataforma permanece irregular e relacionada com degraus erosionais e canais.

Em Terra do Fogo e Malvinas, a topografia é muito irregular, estando canais, espinhaços e leques bem desenvolvidos e identificados com um poderoso sistema fluvial na plataforma, relacionado com a influência glacial na área litorânea. Algumas coberturas glaciais na plataforma durante o Pleistoceno é também possível, mas estas evidências não foram confirmadas.

Na área do Rio Grande do Sul, Uruguai e Argentina um conjunto de feições quer de caráter construtivo quer erosivo modelam de maneira saliente a topografia da plataforma continental. As feições deposicionais mais evidentes se encontram nas vizinhanças do Rio de La Plata onde se acham presentes um conjunto de feições muito provavelmente relacionadas com um antigo sistema deltaico. Tais formas estão representadas por uma série de degraus situados entre as curvas isobáticas de 80 a 120 metros, sugerindo «overlaps» sucessivos ge-





rados durante o Quaternário e talvez Terciário Superior.

De um modo geral, a região sul-brasileira e uruguaia se caracteriza por apresentar uma plataforma continental muito regular, com uma largura oscilando entre 130-160 km e a zona de quebra situada a 160 metros de profundidade. Na área de Buenos Aires a largura aumenta progressivamente para até 300 km, observando-se a presença de numerosos canais, colinas (ridges), baixios (shoals), degraus e «sand waves».

Mais para o sul, a plataforma atinge o máximo de sua largura, chegando a 400 Km, sendo que ao sul da latitude de 45°S ocorre um aumento brusco do declive.

A plataforma externa e o talude superior tornam-se igualmente muito acidentados, com a presença de feições quer de caráter deposicional, como erosional.

As feições construcionais são constituídas por colinas (ridges) paralelas à direção da plataforma, formadas durante estágios de nível de mar mais baixos, sendo que o conjunto mais saliente encontra-se próximo à desembocadura do rio de La Plata. Ao sul desta zona a plataforma interna apresenta uma série de «sand waves» ou dunas submarinas. Algumas destas feições são oblíquas, outras normais à linha de praia. São comuns na entrada de Bahia Blanca, San Blás e San Matias.

Os dados relativos à determinação de serem estas feições ativas ou não ainda são insuficientes. Se conhece apenas dados relativos a águas rasas com correntes de marés extremamente vigorosas, capazes de movimentar fundos arenosos.

As feições erosionais são constituídas por degraus não muito amplos, a maioria dos quais se encontram cobertos por sedimentos. Na área do rio de La Plata ocorre a feição mais importante na altura da isóbata de 80 metros, consistindo de um degrau modelado, talvez, durante o desenvolvimento de um estágio deltaico em nível de mar mais baixo.

Na área norte da Patagônia uma série de reenclanças, degraus e pequenos terraços foi igualmente identificada e relacionada a um conjunto deltaico desenvolvido durante o abaixamento do nível do mar. Canais preenchidos por sedimentos, pertencentes muito provavelmente aos rios Colorado e Negro durante os estágios de regressão máxima, foram igualmente identificados.

Considerações sobre o comportamento morfológico da plataforma continental brasileira

foram efetuadas anteriormente por Barreto e Milliman (1967) que a dividiram em três zonas: Amazonas-Maranhão, Norte-Nordeste e Leste-Sudeste.

### 3. SEDIMENTOS DA PLATAFORMA CONTINENTAL

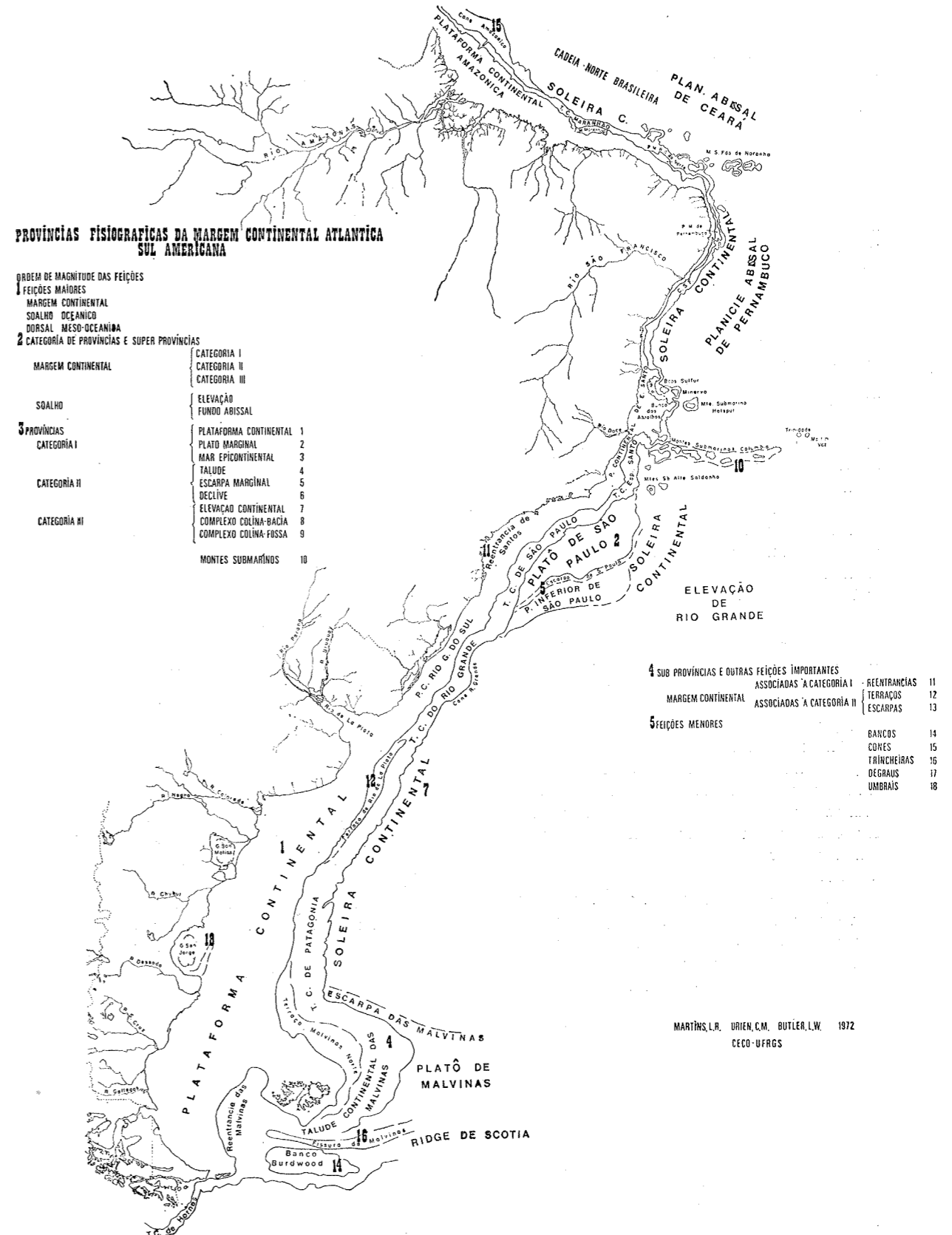
São bastante variados os regimes sedimentares na plataforma continental Atlântica da América do Sul, variando de tipos tropicais a peri-glaciais, sendo produtos das mudanças Holo-Pleistocênicas e de flutuações climáticas na zona leste do continente sul-americano.

Os resultados até agora obtidos com os estudos sobre a sedimentologia da Plataforma Continental Atlântica da América do Sul tem revelado pelo menos quatro regimes de sedimentação distintos, e outros subordinados mais restritos. Assim, podemos distinguir:

- plataformas com intenso aporte de sedimentos terrígenos provenientes de grandes bacias de drenagem como a plataforma Amazônica, Rio de La Plata, São Francisco e outras. Existe, desta forma, sedimentação ativa atual sobre a plataforma, formando normalmente feições de progradação.
- plataformas com diminuto aporte de sedimentos terrígenos e intensa atividade organógena atual, produzindo fundos biogênicos e biodetríticos que dominam inteiramente na sedimentação. É típica de águas tropicais, e seu exemplo marcante está representado pela plataforma Norte-Nordeste.
- plataformas recebendo pequena contribuição atual e recobertas por sedimentos reliquias ou sofrendo pequena influência da sedimentação atual ou ainda retrabalhamento e constituindo sedimentos tipo «palimpsest». A plataforma do Rio Grande do Sul, externa de Buenos Aires pode ser citada como exemplo desta situação.
- plataformas recebendo contribuições de material de origem glacial, como acontece com a plataforma de Terra do Fogo.

#### 3.1 Fácies Sedimentares

Os sedimentos e a morfologia das plataformas continentais foram grandemente afetadas pelas flutuações de nível do mar durante o



Quaternário. Shepard (1960) e Emery (1968) tem enfatizado a existência e importância de sedimentos reliquias oriundos da sedimentação presente durante os períodos de nível do mar mais baixos.

De um modo geral os sedimentos presentes podem ser agrupados em: autógenos, orgânicos, residuais, reliquias e detritais. Faremos referência neste trabalho somente àqueles até aqui mais estudados, reliquia, detrital e orgânico, pois os trabalhos executados visando o conhecimento dos dois outros tipos ainda são esparsos.

Os sedimentos reliquias podem ser tanto terrígenos como biogênicos, e atualmente encontram-se em desequilíbrio com o ambiente atual presente. Em dimensões granulométricas eles variam de argila siltica à areia passando por areia biodetrítica (conchifera) ou de silte a seixos de origem flúvio-glacial. Estes sedimentos estão relacionados com a sedimentação durante os estágios de abaixamento do nível do mar.

Os sedimentos detriticos são atualmente supridos ao oceano por rios ou vento e acumulados nas proximidades da linha de praia. Geralmente, dois tipos de sedimentos são observados: areia e lama.

No caso da lama, ela é normalmente transportada e distribuída em suspensão pelas correntes litorâneas, estando presente principalmente na plataforma Amazônica, São Francisco, Doce, Rio de La Plata, entre outras situações.

Entre Rio Grande do Norte até Belmonte, a plataforma estreita está sob um regime de clima árido a semi-árido. Desta forma o suprimento de sedimentos detritais com excesso dos rios das grandes bacias está restrito somente à uma estreita faixa junto à linha de praia.

Uma fácies muito importante aparece também nesta zona. É formada por areia com conchas e detritos calcários. A fauna nela contida é geralmente típica de águas rasas.

Na Patagônia a areia é misturada com seixos de tamanhos regulares, similares àqueles encontrados nas zonas praias. Eles foram identificados como sendo material erodido dos terraços patagônicos ou carregados pelos rios.

Ao sul de Terra do Fogo, os seixos são maiores, atingindo, às vezes, até dimensões de matacões, misturados com silte. Estes sedimentos estão relacionados com formas periglaciais ou erodidos a partir das mesmas e limpos (por ação de «winnowing») ao longo da praia.

Os sedimentos calcários organógenos são aqueles formados por conchas de foraminíferos, algas, oólitos, pisólitos e areia. São típicos de áreas tropicais e águas claras e quentes (livres de sólidos em suspensão).

Cobrem uma grande parte da plataforma Ceará-Rio Grande do Norte, Pernambuco, Bahia e bancos de Abrolhos bem como toda a franja de montes submarinos.

Estes sedimentos biogênicos podem se apresentar em várias fácies, dependendo do tipo de organismo produtor e da quantidade de areia ou outro material terrígeno. De qualquer maneira, eles estão especialmente relacionados com o desenvolvimento de algas e detritos calcários que proporcionam um caráter resistente ao fundo.

### 3.2. Regiões Sedimentares

Considerando a classificação dos sedimentos da plataforma continental atlântica da América do Sul, podemos dividi-la em várias regiões de acordo com as fácies sedimentares típicas.

Estas regiões podem ser assim apresentadas:

A) Amazonas-Maranhão — apresentando uma ampla língua de lama em direção oeste, proveniente dos rios Amazonas e Pará. Entre a profundidade de 50 metros e a borda da plataforma desenvolve-se um extenso campo de areia até a altura da costa do Ceará, onde se torna bem mais estreita.

Na borda da plataforma uma fácies biodetrítica se desenvolve em direção do Cabo São Roque, cobrindo quase toda a plataforma do Ceará e Rio Grande do Norte.

B) Pernambuco — Do Rio Grande do Norte até Belmonte a areia está restrita à zona litorânea, o restante da plataforma é coberta pela fácies biodetrítica e orgânica calcárias. Somente nas proximidades da desembocadura do Rio São Francisco tem lugar a ocorrência de uma fácies lamítica que se desenvolve até próximo a borda da plataforma.

C) Espírito Santo — As fácies organógenas são predominantes do banco de Abrolhos até a latitude de Cabo Frio. Para o sul do Espírito Santo a fácies arenosa e biodetrítica tornam-se mais amplas, desenvolvendo-se quase até a borda da plataforma.

- D) Sudeste — Para sudeste de Cabo Frio a fácies detrítica torna-se mais abundante, havendo igualmente um aumento na ocorrência da lama de plataforma em direção sul.
- E) Rio Grande do Sul — Nesta situação além de uma faixa arenosa mais interna, desenvolve-se bastante a lama de plataforma em razão do suprimento fluvial havido durante o abaixamento Wisconsiniano do do nível do mar.
- F) Rio de La Plata — Uruguai — Buenos Aires — Representa uma área que é grandemente influenciada por rios cujos sedimentos são trapeados em seus estuários. O restante da plataforma é rica em areia que se estende até a Patagônia.
- G) Patagônia — Como na plataforma anterior, a areia é predominante e cobre a plataforma como uma expressão de cobertura transgressiva. A lama é normalmente trapeada nas baías ou bacias profundas, bem como em áreas litorâneas mas separadas da praia por um cinturão arenoso. Esta lama é recente e recobre as areias transgressivas Holocênicas.
- A ocorrência de lama reliquia aparece na situação de borda da plataforma.
- Na plataforma ao sul de Santa Cruz e Terra do Fogo, uma fácies conchifera apresenta-se misturada ou alternada com cascalho conchífero. O cascalho é rico em seixos glaciais, que são provavelmente mais transportados por rios do que por gelo.

Na reentrância das Malvinas e Banco Burdwood, areias silticas com conchas estão presentes, provavelmente devido à atividade de águas rasas biogênicas durante os tempos Wisconsinianos.

### 4. CONCLUSÕES

Os elementos referentes à fisiografia e cobertura sedimentar aqui apresentados constituem uma síntese do conhecimento atual, nestes dois aspectos referentes à margem continental Atlântica da América do Sul.

Os estudos de detalhe ora desenvolvidos no Brasil através do Programa Plurianual de Geologia e Geofísica Marinha da Diretoria de Hidrografia e Navegação do Ministério da Marinha e do Programa de Reconhecimento Global da Margem Continental REMAC, coordenado pela Petrobrás, a par de empreendimentos menores realizados pelas Instituições de pesquisa do mar, por certo fornecerão, a curto prazo, novos e importantes dados sobre a geologia desta área.

Na Argentina as pesquisas são realizadas em especial pelo Serviço de Hidrografia Naval da Armada e pelo Instituto Argentino de Oceanografia.

O progressivo desenvolvimento da Geologia Marinha nestes dois países poderá a curto prazo promover um conhecimento científico dos mais profundos da margem continental leste da América do Sul.

### BIBLIOGRAFIA

- ALLERSMA, E. (1968) — Mud on the oceanic shelf off Guiana. Symposium on Investigations and Resources of the Caribbean Sea and adjacent regions Curacao.
- BARRETO, H. T. e MILLIMAN, J. D. (1968) — Esboço fisiográfico da margem continental brasileira. Petrobrás, Relatório Interno, 30 pgs.
- CURRY, J. (1964) — Transgressions and regression in: Papers in marine geology. New York. Macmillan, pgs. 175-203.
- FRAY, J. & EWING, M. (1963) — Wisconsin sea level as indicated in Argentine continental shelf sediments. Proceedings of the Academy of Natural Science, Philadelphia, 115 (6) pgs. 113-152.
- GORINI, M. et alii (1971) — Resultados preliminares do parcial processamento de ecogramas e testemunhos obtidos durante a Operação Geomar II do NO, "Almirante Saldanha" (inédito).
- EMERY, K. O. (1968) — Relict sediments on continental shelves of world. AAPG Bulletin, Vol. 52, nº 3, pgs. 445-464.
- HEEZEN, B. C. e MENARD, H. W. (1966) — Topography of the deep sea floor. In the Sea, Vol. III, pgs. 233-280. Interscience Publishers.
- HEEZEN, B. C. e THARP, M. (1961) — Physiographic diagram of the South Atlantic Ocean, the Caribbean Sea, the Scotia Sea and Eastern margin of the South Pacific Ocean. Geological Society of America.
- HEEZEN, B. C.; THARP, M. e EWING, M. (1959) — The floors of the oceans, I. North Atlantic. Geological Society of America, Special Paper 65, 122 pgs.
- KEMPF, M.; COUTINHO, J. N. e MORAIS, S. O. (1968) — Plataforma continental do norte e nordeste do Brasil. Diretoria de Hidrografia e Navegação (Operação Norte-Nordeste I) pgs. 579-600.
- MABESOONE, J. M. e TINOCO, I. M. (1965) — Shelf off Alagoas and Sergipe (Northeastern Brazil). 2 Geologia. Boletim do Instituto Oceanográfico, Recife, 7/8 pgs. 151-186.

- MABESOONE, J. M. e COUTINHO, P. N. (1970) — Littoral and shallow marine geology of Northern and Northeastern Brazil. *Trabalhos Oceanográficos*, Vol. 12, pgs. 1-214.
- MABESOONE, J. M. (1971) — Facies sedimentares da Plataforma continental brasileira. *Estudos Sedimentológicos*, Vol. 1, nº 1, pgs. 55-71.
- MARTINS, L. R.; URIEN, C. M. e EICHLER, B. B. (1967) — Distribuição dos sedimentos modernos da plataforma continental sul-brasileira e uruguaia. *Anais do Congresso Brasileiro de Geologia*, Curitiba, pgs. 29-43.
- MARTINS, L. R. e URIEN, C. M. (1969) — Fisiografia y sedimentos del Rio Grande Plateau, Brasil, CECO, Notas Técnicas nº 1.
- MARTINS, L. R. e VILLWOCK, J. A. (1970) — Reconhecimento preliminar da plataforma submarina brasileira entre Cabo Frio e Aracaju. CECO, Notas Técnicas nº 2.
- MARTINS, L. R.; GORINI, M. A.; CUNHA, R. e MARTINS, I. R. (1971) — Observações geológicas na margem continental norte do Brasil. XXV Congresso Brasileiro de Geologia, São Paulo. *Boletim Especial nº 1*, pgs. 29-30 (Resumo).
- MARTINS, L. R. e MARTINS, I. R. (1972) — Sedimentologia da margem continental do Rio Grande do Sul, entre Rio Grande e Chui (inédito).
- NOTA, D. J. G. (1969) — Geomorphology and sediments of western Surinam Shelf; a preliminary note. *Geologie en Mijnbouw*, pgs. 185-188.
- OTTMAN, F. e URIEN, C. M. (1965) — Observaciones preliminares sobre la distribución de los sedimentos en la zona externa del río de La Plata. *Trabalhos do Instituto Oceanográfico, Recife*, 1 pgs. 77-106.
- REYNE, A. (1961) — On the contribution of the Amazon River to Accretion of the Guianas. *Geologie en Mijnbouw*, Vol. 40, pgs. 219-226.
- SHEPARD, F. (1960) — Rise of the sea level along northwest Gulf of Mexico. In *Recent Sediments Gulf of Mexico*, AAPG, pgs. 336-344.
- URIEN, C. M. (1967) — Los sedimentos modernos del río de La Plata. *Boletim Servicio de Hidrografia Naval*, 4 (2).
- ZEMBRUSCKI, S. (1967) — Sedimentos da plataforma continental do Brasil. *Diretoria de Hidrografia e Navegação*, XXXIII Comissão Oceanográfica, Apêndice B, pgs. 369-409.
- ZEMBRUSCKI, S. (1968) — Geologia e magnetometria submarina na plataforma continental de Alagoas. *Diretoria de Hidrografia e Navegação*, XXXV Comissão Oceanográfica, Operação Nordeste I, Apêndice B, pgs. 531-78.
- ZEMBRUSCKI, et alii (1970) — Fisiografia e distribuição dos sedimentos superficiais da plataforma continental norte brasileira. *DHN. relatório*, 1 mapa, 27 pgs.
- ZEMBRUSCKI, et alii (1971) — Fisiografia e Distribuição dos sedimentos superficiais da plataforma continental norte-brasileira. *Boletim Técnico da Petrobrás*, v. 14, n.º 3/4.

## DISTRIBUIÇÃO FACIOLÓGICA DA MARGEM CONTINENTAL SUL RIOGRANDENSE

Por

L. R. MARTINS, U. MELO, A. M. C. FRANÇA, I. SANTANA e I. R. MARTINS<sup>(1)</sup>

### 1 — INTRODUÇÃO

Constando do «Programa Plurianual de Geologia e Geofísica Marinha», foi executada no mês de março de 1972, a Operação Geomar IV na Margem Continental do Rio Grande do Sul.

A Operação faz parte do Projeto Rio Grande e cobriu a área situada entre o porto de Rio Grande e o arroio Chui, propiciando o surgimento de novos elementos sobre as diferentes zonas de recobrimento sedimentar ocorrentes.

A pesquisa foi realizada com o apoio do Navio Oceanográfico «Almirante Saldanha» da Diretoria de Hidrografia e Navegação do Ministério da Marinha, sendo dados e amostras obtidos, processados nos laboratórios das Instituições participantes da Operação, definidas segundo as Instruções Especiais da DHN.

Os resultados ora apresentados constituem a contribuição da equipe da Divisão de Geologia Marinha do Centro de Estudos Costeiros e Oceanográficos da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, abrangendo a análise textural dos sedimentos de fundo coletados, tratamento estatístico, interpretação e classificação, fornecendo como documento final básico, o mapa sedimentar de fundo do trecho pesquisado. O Mapa construído representa um dos primeiros a incluir o comportamento do recobrimento de fundo da margem continental e não somente da plataforma.

Os aspectos referentes às Entidades participantes, pesquisadores embarcados, principais finalidades da Operação, trabalhos executados nas duas fases da mesma, encontram-se inseridos no Relatório de Bordo apresentado pelo

autor «senior», como Chefe Científico da Geomar IV e em poder da Diretoria de Hidrografia e Navegação.

### 2 — LOCALIZAÇÃO DA ÁREA ESTUDADA

O Projeto Rio Grande, dentro do Programa Plurianual de Geologia e Geofísica Marinha tem por finalidade o estudo da margem continental, abrangendo uma área que vai desde o Cabo Santa Marta, no Estado de Santa Catarina, até o arroio Chui, no extremo sul do Brasil.

A operação Geomar IV, a primeira a ser realizada dentro do Projeto, cobriu a zona correspondente ao porto de Rio Grande até o Arroio Chui, incluída nas coordenadas 32 a 34°30' de latitude sul e 49°20' a 53°10' de longitude oeste. Vide figura 9 e tabela 9 de Amaral et al, neste volume.

### 3 — ESTUDOS ANTERIORES

As primeiras referências sobre a natureza do fundo da área pesquisada, resultante de pesquisas realizadas com cunho de reconhecimento científico preliminar, foram realizadas por Zembruscki (1967) e Martins, Urien e Eichler (1967). O primeiro autor efetuou o delineamento da morfologia e do recobrimento de fundo do longo de oito perfis perpendiculares à linha de costa desde Cabo São Tomé até Rio Grande, no domínio da plataforma continental. O perfil Rio Grande apresenta-se com uma seqüência predominantemente arenosa

(1) Trabalho realizado com auxílio do Conselho Nacional de Pesquisas, BNDE-FUNTEC, CAPES e Câmara Especial de Pós-Graduação e Pesquisa da UFRGS.

nas profundidades menos expressivas até 60 metros, mudando gradativamente para fundos lamíticos siltico-argilosos e argilo-arenosos das isóbatas de 60 até 325 metros.

Martins, Urien e Eichler (1967) e mais tarde Martins e Urien (1969) efetuaram estudos na plataforma continental sul-brasileira e uruguaia especificamente. O primeiro trabalho delimitou as principais províncias faciológicas da plataforma, subdividindo o fundo sedimentar na direção de mar aberto em:

- seqüência arenosa interna estendendo-se às profundidades de 30-60 metros.
- seqüência transicional mista, consistindo de misturas em proporções variáveis de lama e areia.
- seqüência lamítica de plataforma externa e quebra de plataforma.

Os mesmos autores situaram as respectivas ocorrências faciológicas num esquema da seqüência evolutiva da linha de costa Sul Rio-Grandense para o período que se seguiu ao degelo da glaciação Wisconsin, propiciando variações glácio-eustáticas transgressivas ocorridas de 11.000 — 16.000 anos passados (AP).

Martins e Urien (1969) anexando aos estudos, os resultados de pesquisas realizadas no Rio de La Plata e plataforma adjacente revelam que os sedimentos que cobrem a margem continental sul-brasileira se apresentam constituídos de:

- sedimentos transportados pelo Rio de La Plata com características predominantemente lamíticas.
- lamas de borda da plataforma desvinculadas das primeiras (a)
- areias da plataforma de Buenos Aires
- areias costeiras do Rio Grande do Sul, sendo perfeitamente diferenciadas das anteriores (c) por seus parâmetros estatísticos e mineralogia.

Os autores postulam a hipótese que as lamas da plataforma externa são na sua maior parte constituídas por materiais antigos, transportados pelo sistema de drenagem fluvial proveniente das terras altas (high land) Rio Grandense previamente à formação de uma costa de barreira que constitui o atual sistema de grandes lagoas, e que captou o atual sistema de drenagem, desconectando-o do mar.

Os autores igualmente afirmam não ser expressivo o aporte de sedimentos atualmente nesta região.

Recentemente, Urien e Ewing (1972) dividem a geologia marinha do Sul do Brasil, Uruguai e Argentina, segundo os sedimentos de fundo, em:

- área do Rio Grande do Sul, com sedimentos lamíticos na plataforma externa e arenosos na plataforma interna e zonas litorâneas.
- área do Rio de La Plata e sul do Uruguai, com uma importante área lamítica formada pelos poços de lama próximo à costa Uruguaia e lama arenosa e areia lamítica no estuário do Rio de la Plata

c) área Bahia Blanca — San Blás com sedimentos de lama arenosa próximo à costa e com baías com dominância lamítica. A plataforma interna e externa são predominantemente arenosas

d) áreas São Matias com a plataforma recoberta por sedimentos arenosos, mas com golfo principal consistindo de sedimentos lamíticos.

Apresentando uma visão geral sobre a região estudada, os autores afirmam que a plataforma continental nesta situação é predominantemente de cobertura arenosa. As texturas finas estão relacionadas à descarga fluvial (Recente ou Antiga) na plataforma.

Butler (1970) efetuou o estudo da estrutura rasa das bacias costeiras ao longo da margem continental Sul-Brasileira através de métodos geofísicos. O trabalho apresenta o delineamento da bacia de Pelotas cuja borda contorna aproximadamente a margem oeste das lagoas costeiras do sul do Brasil e Uruguai e estendendo-se em sub-superfície por uma área correspondente à plataforma continental. O declive da Bacia consiste de um grande leque cônico de sedimentos do tipo progradação conformável com o mesmo.

Subdividindo a margem continental da América do Sul, Urien, Martins, Butler, Greenell e Young (1972) apresentam seis províncias de recobrimento sedimentar de fundo: Amazonas, São Francisco, Rio Grande, Rio de La Plata, Colorado-Negro e Patagônica.

Os sedimentos nessa extensa faixa variam entre tropicais a periglaciais, sendo produtos

de mudanças Holoceno-Pleistoceno e flutuações climáticas através da América do Sul.

A sedimentação da margem continental do Rio Grande, segundo os autores, é predominantemente terrígena do tipo seqüência areia-lama em direção de mar aberto.

Estudos sobre a distribuição de microorganismos em especial foraminíferos foram efetuados na área por Boltovskoy (1959), Roettger (1970) e Madeira (1971).

Trabalhos sobre a hidráulica de costa, incluindo sistema de correntes litorâneas e conseqüente deriva do material sólido ao longo do litoral do Rio Grande do Sul foram realizados por Motta (1967).

#### 4 — MATERIAL E MÉTODOS

Foram processadas 106 amostras de fundo, obtidas através de amostradores de tipo «busca-fundo». Shipeck e Van Veen, cuja rentabilidade foi apresentada e discutida no Relatório de Bordo da Operação.

Poucas amostras foram obtidas através de draga, cuja utilização durante a missão foi somente usada quando as condições de mar não permitiram o lançamento do instrumental clássico. Os testemunhos obtidos através de testemunhados a pistão ou tipo Phleger foram destinados a LAGEMAR, UFRJ para posterior estudo.

O processamento de laboratório para análise textural dos sedimentos foi executado segundo as normas e padrões adotados na Divisão de Geologia Marinha do Centro de Estudos Costeiros e Oceanográficos, e que podem ser acompanhados pelo fluxograma abaixo:

#### 5 — DISTRIBUIÇÃO E CARACTERÍSTICAS DOS SEDIMENTOS DE FUNDO

O processamento de laboratório quanto ao aspecto textural das amostras da Operação Geomar IV revelaram a presença de seis varie-

dades de recobrimento sedimentar cujas características podem ser resumidas na Tabela I.

Histogramas de freqüência simples, e curvas acumulativas representativas encontram-se inseridas nas Figs. 1 e 2.

O diagrama triangular de classificação acha-se representado na Fig. 3.

Os parâmetros estatísticos de tamanho encontram-se na Tabela 2, enquanto o mapa faciológico geral e o mapa de variação textural compõem as figuras 4 e 5.

#### 5.1 — FÁCIES ARENOSA

Representa o recobrimento mais interno da plataforma em toda sua extensão, sendo afetada apenas em duas situações, na altura da desembocadura do canal de Rio Grande, onde os sedimentos finos que compõem a carga de suspensão da Lagoa dos Patos floculam por ação do NaCl contido na água do mar formando um fundo de areias lamíticas e lamas arenosas de expressão local e; ao Sul, na altura da Lagoa Mangueira, por um recobrimento de areia argilosa acompanhando as isóbatas mais inferiores e que gradaciona para argila siltica em direção de mar aberto.

Esta ocorrência divide a faixa arenosa em duas porções distintas, a mais interna estendendo-se da linha de praia a 15 metros de profundidade e a segunda de 50 a 100 metros.

A variação do tamanho médio desta fácies pode ser acompanhada na Tabela 2

Uma característica bastante marcante com relação à faixa arenosa pode ser constatada nos valores encontrados para o desvio padrão ( ), apresentando a área mais interna e mais rasa, valores numa faixa de 0,4-0,90 (areias com índices de bem a moderadamente selecionadas) enquanto a mais externa e profunda limitada pela fácies platina e transicional mostra claramente valores superiores de 1,00 a 2,00 (areias pobremente selecionadas).

TABELA 2

	Máximo		Mínimo		Média	
	$\phi$	mm	$\phi$	mm	$\phi$	mm
Mediana	1,80	0,287	3,42	0,093	2,69	0,155
Média aritmética	1,28	0,411	3,78	0,072	2,75	0,148

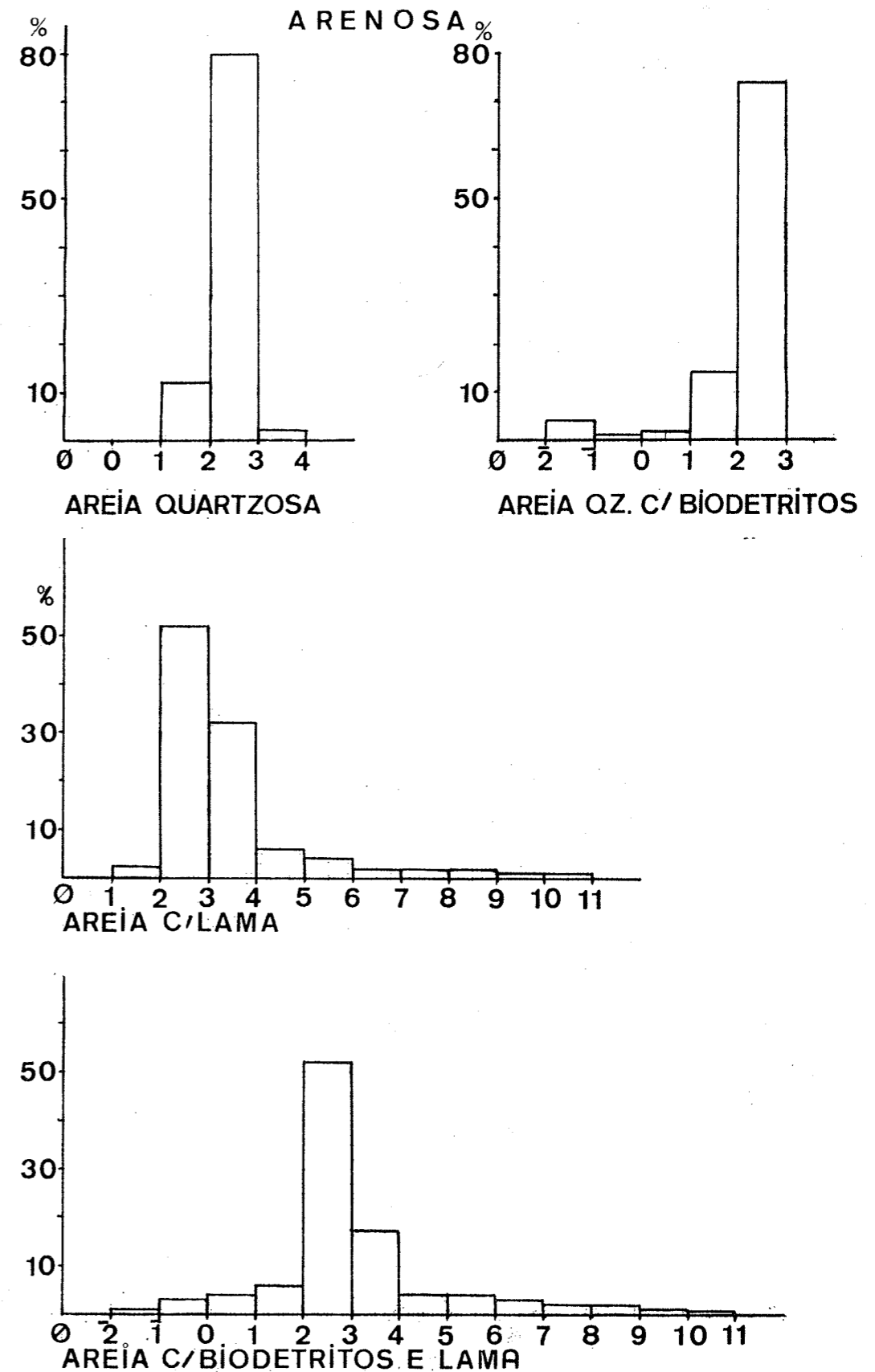
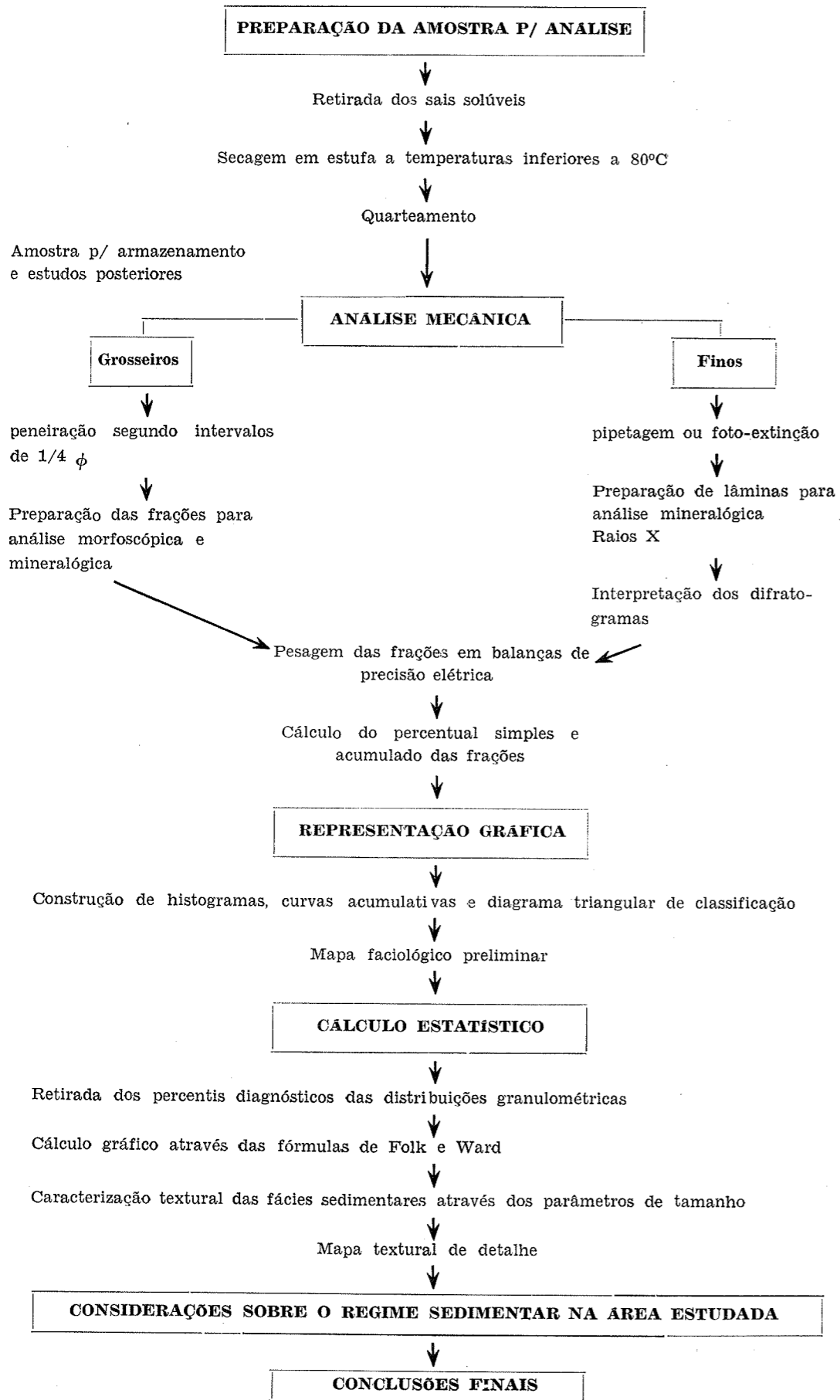


Figura 1A

BIODETRITICA

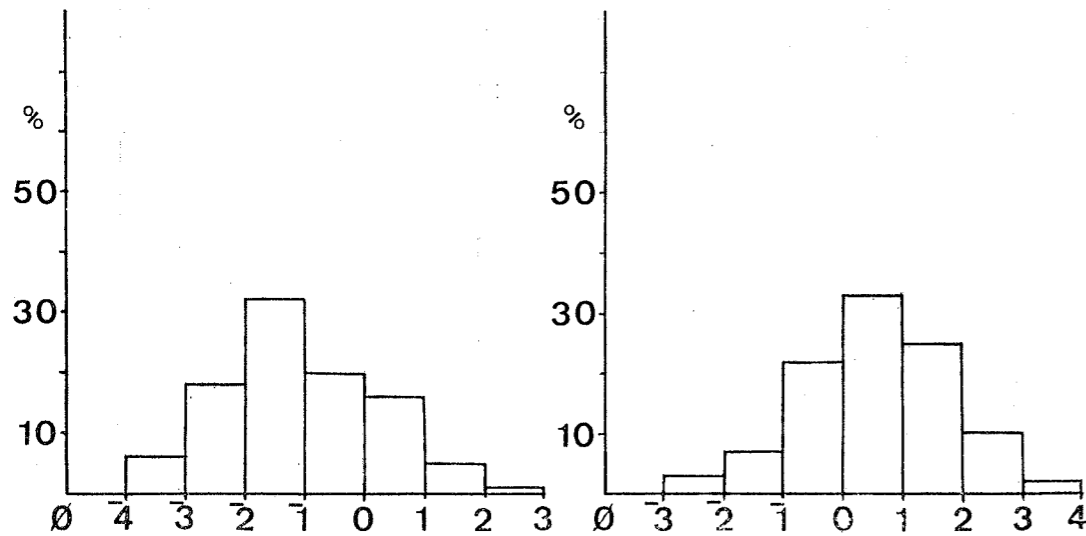


Figura 1B

Tal comportamento estranho para uma fácies que possui idêntica estrutura (areia quartzosa) pode ser perfeitamente explicável pelos fatores hidrodinâmicos que mais efetivos junto à costa, quer por ação das ondas, quer por ação de correntes litorâneas, mantém o grau de selecionamento herdado destas areias (muito similares aos índices das atuais areias praias da planície costeira do Rio Grande do Sul), enquanto nas áreas mais profundas hidrodinamicamente menos afetadas as areias parecem estar sujeitas a uma influência dos finos contidos nas fácies platina e/ou transicional e terem os espaços intergranulares parcialmente preenchidos não o suficiente para modificar a nomenclatura textural das fácies, mas suficiente para alterar o grau de seleção.

A observação dos histogramas das amostras G-310-1B, G-311-1B, G-318-1B, G-288-1B, G-288-3B, capacita a constatação do que afirmamos acima (areia com lama).

PLATINA

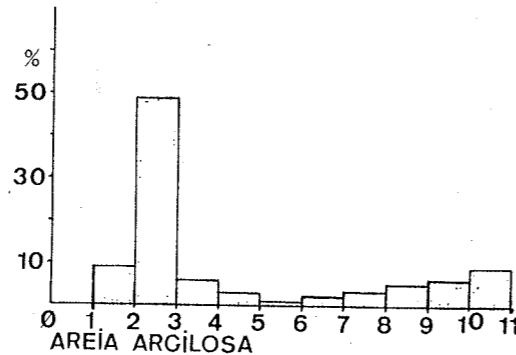
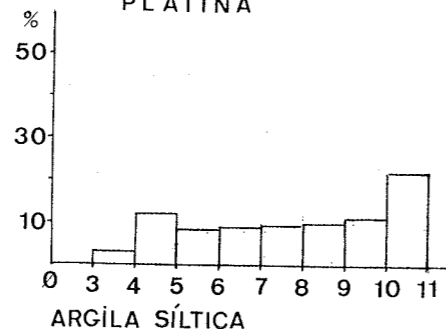


Figura 1D

PATOS

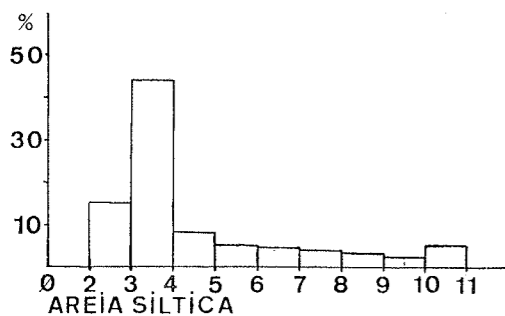


Figura 1C

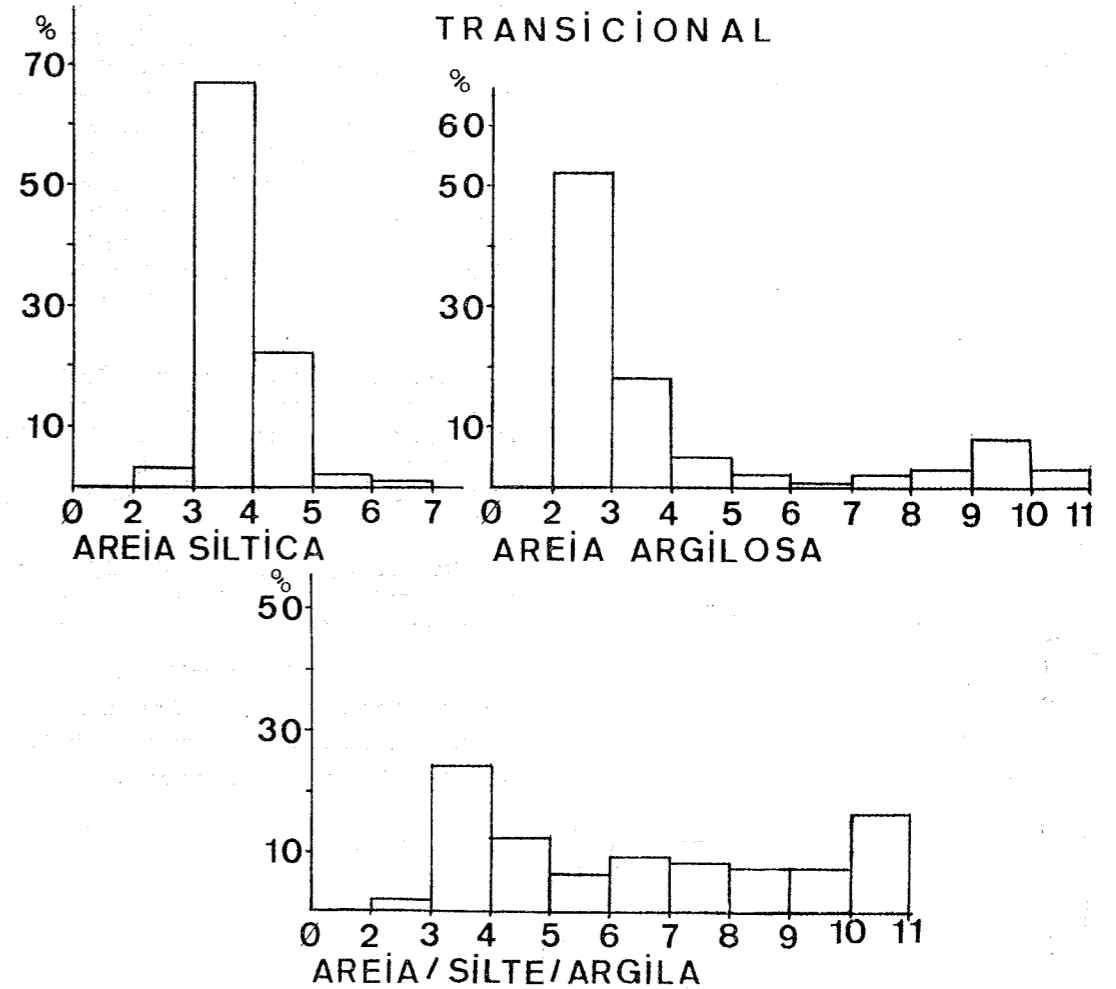


Figura 1E

Certas amostras da zona arenosa mais interna, possuem às vezes índices de seleção mais elevados, tal fato é devido à presença de material calcário biodetrítico que ingressando como uma terminal grosseira à população quartzosa afeta o índice de seleção, refletindo-se em valores acima de 1,0.

Tal comportamento é ilustrado pelos histogramas das amostras G-319-1B, G-284-1B, G-289-1B, G-247 (areia quartzosa com biodetríticos).

Além disto algumas amostras se caracterizam por apresentar além da população areno-quartzosa fundamental, duas terminais, uma correspondente aos finos (silte e argila) e outra correspondente aos biodetríticos calcários (terminal grosseira).

Igualmente neste caso o índice de selecionamento é elevado (acima de 1,00), o que pode ser constatado nos histogramas das amostras G-288-2B, G-320-1B, G-322-1B (areia com lama e biodetríticos).

Distingue-se, portanto, dentro da fácies arenosas reveladas pelo estudo de detalhe, quatro texturas cujas características podem ser acompanhadas na Tabela.

Verifica-se desta forma, que o segundo momento estatístico parece ser diagnóstico na diferenciação dos tipos de distribuição granulométrica encontrada para a fácies arenosa.

Igualmente a assimetria mostrou-se capaz de fornecer um caráter de distinção.

TALUDE

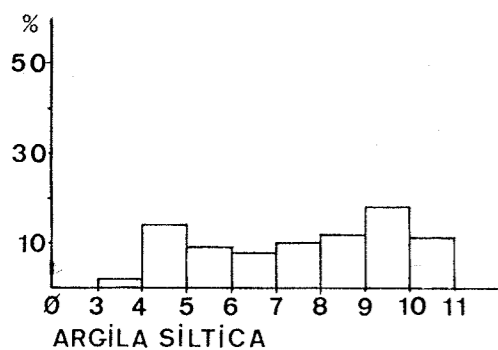
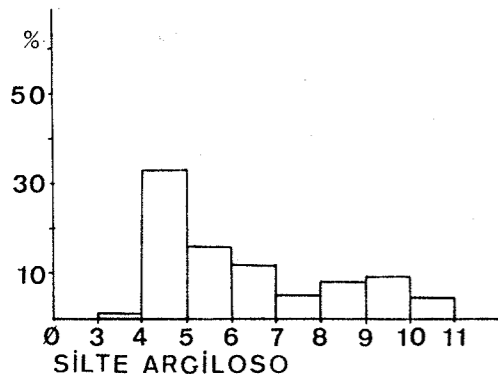


Figura 1F

Assim, as areias quartzosas livres da presença de finos ou biodetritos apresentam-se com sinal negativo para o terceiro momento estatístico. Isto pode resultar da ação hidrodinâmica de ondas e correntes que transportam para as zonas mais afastadas da costa e mais profundas, os sedimentos finos, proporcionando a manutenção de um caráter reliquia, uma vez que as praias oceânicas se caracterizam por possuir assimetria negativa. Para Martins, Urien e Eichler (1967) as areias da plataforma continental sul-brasileira são sedimentos reliquias.

Quanto a curtosis parece que a tendência de distribuição leptocúrtica observada para as areias quartzosas, se mantém com relação às variedades areia quartzosa c/ biodetritos, areia quartzosa c/ finos e areia quartzosa c/ finos e biodetritos.

Em outras palavras, as distribuições permanecem melhor classificadas na parte central do que em suas terminais.

O tamanho médio mantém-se predominantemente no intervalo areia-fina para a mediana, enquanto que para a média aritmética a distribuição quartzosa c/ finos apresenta-se

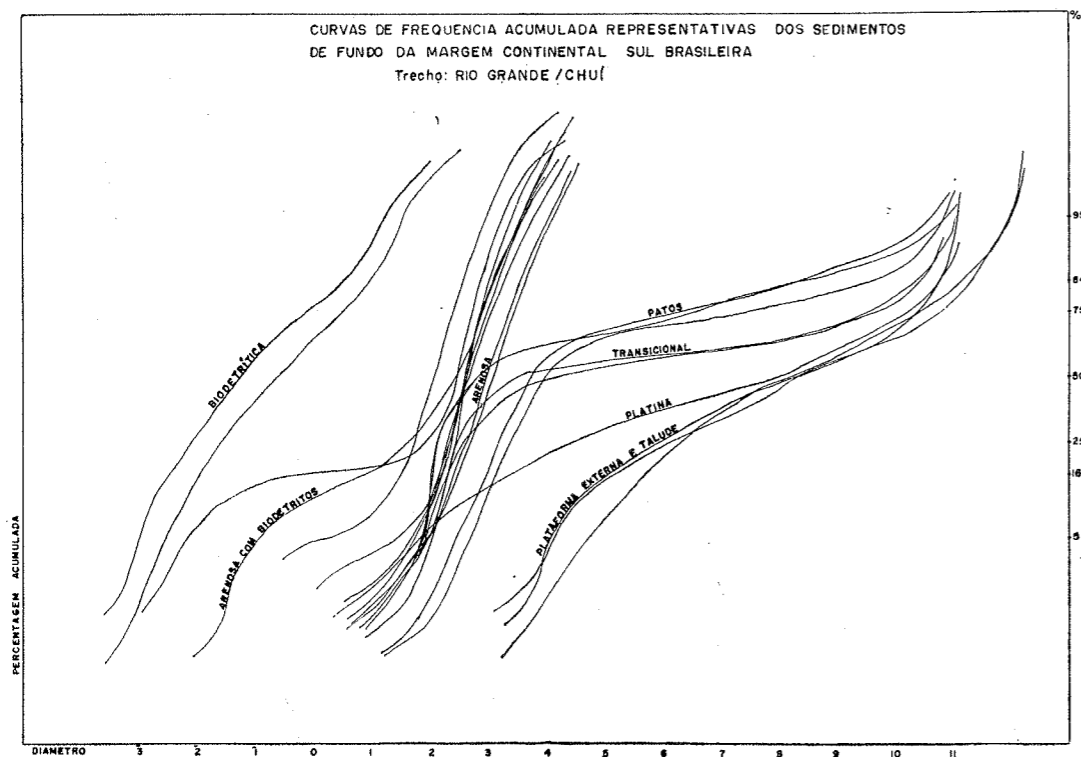


Figura 2

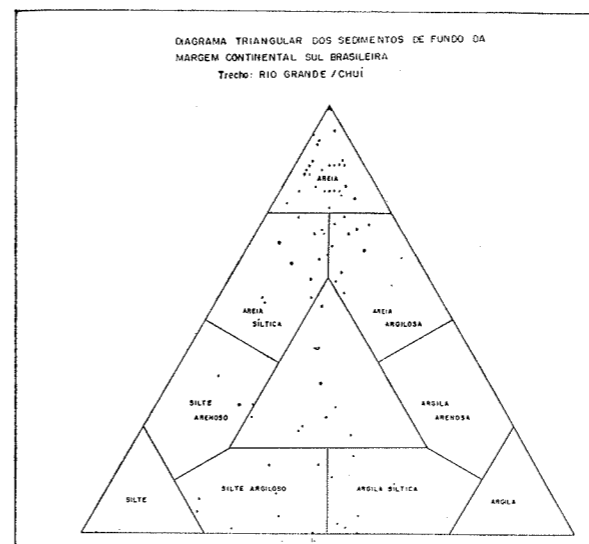


Figura 3

interna constituída por areia argilosa e outra mais externa formada por argila siltica.

As propriedades de tamanho destas duas distribuições podem ser acompanhadas na tabela 4.

Verifica-se na tabela acima uma marcante diferença nas propriedades de tamanho com relação à fácies anterior.

Mesmo a distribuição areia argilosa que poderia apresentar certas similaridades com as areias da fácies anterior, só as mantém em relação ao tamanho médio, pois apresentam índice de seleção com valores superior a 3,00, possuem distribuição fortemente positiva, e são platicúrticas, contrastando portanto de maneira decisiva.

A distribuição argila siltica é igualmente muito pobremente selecionada com assimetria positiva e platicúrtica o que parece ser o momento estatístico mais diagnóstico desta fácies.

no intervalo areia muito fina, utilizando-se para classificação a escala de Wentworth (1922).

5.2 — Fácies Platina

Localiza-se na zona sul da área estudada onde divide a faixa arenosa em duas porções. É constituída por sedimentos areno-lamíticos e de lamas com pequena incidência de areia.

Trata-se de material de proveniência do Rio de La Plata trazido por ação de deriva litorânea que se mistura em proporções variáveis com as areias da plataforma Sul Rio-grandense.

Sua presença está marcada texturalmente por duas distribuições principais: uma mais

5.3 — Fácies Patos

Constitui uma seqüência areno-siltica por vezes areno-argilosa de distribuição restrita à zona de influência do canal de Rio Grande desembocadura única da Lagoa dos Patos no Oceano Atlântico.

Representa uma mistura em proporções variáveis entre o material siltico-argilosa da carga de suspensão lagunar e as areias da plataforma interna. A distribuição granulométrica mais característica acha-se representada por areias silticas cujos principais parâmetros de tamanho podem ser resumidos na tabela 5.

TABELA 4

Textura	Tamanho Médio		Classif. desvio padrão	Assimetria	Curtosis
	Mediana Md $\phi$	Média aritmét.			
Areia argilosa	Areia fina	Areia muito fina ou silte mto. grosseiro	Muito pobremente classificada.	Positiva	Platicúrtica
Argila siltica	Silte médio	Argila	Pobremente classificada	Positiva	Platicúrtica

Amostras		Md $\phi$	Mz $\phi$	$\sigma_1$	SK <sub>1</sub>	K <sub>G</sub>
G-270-1B G-274-1D G-302-1D G-317-1B G-285-1B G-248-1B G-250-1B G-227 G-226 G-253 G-254	Q U A R T Z O	2,64 $\phi$ Areia fina	2,61 $\phi$ Areia fina	0,30 a 0,52	Simétrica e Negativa	Predomi- nam valo- res leptocúrticos.
G-319-1B G-284-1B G-289-1B G-247-1B G-252-2B G-301-1D G-226-1B G-229-1B G-229-2B G-306-1D	c/ E Q I U O A D R E T T Z R O I T O S	2,54 Areia fina	2,36 Areia fina	0,98 a 1,73	Negativa	Valores Leptocúr- ticos
G-282-1B G-288-2T G-288-3D G-321 G-275 G-310-1B G-311-1B G-318-1B	c/ Q F U I A N R O T S Z O	2,89 Areia fina	3,25 Areia muito fina	1,40 a 2,86	Positiva	Leptocúr- ticos
G-288-2B G-320-1B G-322-1B G-277-2B G-228-1B G-287-1B	Q c/ e U B F A I I R O N T D O Z E S O T R I T O S	2,81 Areia fina	2,92 Areia fina	1,40 a 1,59	Positiva	Leptocúr- ticos

Tabela 3

TABELA 5

Textura	Tamanho Médio		Desvio padrão	Assimetria SK <sub>1</sub>	Curtosis K' <sub>G</sub>
	Madiana Md $\phi$	Média aritmét. Mz $\phi$			
Areia siltica	Areia fina a muito fina	Areia muito fina a silte mto. grosseiro	2,00	Fortemente positiva	Platicúrtica

Verifica-se desta forma que os valores de tamanho médio situam-se numa variação entre areia fina e silte muito grosseiro.

Resultados de outras amostras coletadas por Martins (1972) na área de expressão desta fácies apresentaram-se igualmente com os valores de tendência central variando na mesma extensão, mostrando ora fundos areno-silticos ora siltico-arenosos.

O alto índice do desvio padrão encontrado, numa zona de profundidade pouco expressiva, e portanto de energia apreciável, parece estar ligado à flocculação de material fino por ação da NaCl.

A assimetria fortemente positiva apresentada deve-se à presença do tamanho argila que imprime à granulometria dominante na distribuição (areia fina, muito fina ou silte muito grosseiro) a presença de uma terminal mais acentuada para o lado dos grãos de menores dimensões.

O achatamento da curva de frequência, quantificado pelos valores preponderantemente platicúrticos evidencia a bimodalidade sugerida pela mistura da população arenosa (marinha, praiial) com a população lamítica (lagunar).

#### 5.4 — Fácies Biodetrítica

Representa uma acumulação de carbonato de cálcio organógeno, constituído por cascalhos e areias bioclásticas formados por conchas inteiras e/ou fragmentadas predominantemente de moluscos pelecípodos.

Os fragmentos se apresentam em sua grande maioria com cantos e bordos desgastados o que demonstra a «priori» um retrabalhamento do material após a fragmentação num ambiente de apreciável energia.

Como tal fácies encontra-se numa faixa estreita paralela à linha de costa acompanhando aproximadamente as isóbatas de 20-30 metros, sua deposição parece não ser atual, representando talvez um nível praiial pretérito, conforme será discutido mais adiante.

Texturalmente esta fácies se caracteriza pela apresentação de duas distribuições dominantes (Fig. 2B) uma representada por cascalhos arenosos (moda principal no intervalo 0 a 2 $\phi$  ou 2 a 4 mm e outra por areia grossa (moda principal do intervalo 0 — 1 $\phi$  ou 1 a 0,5 mm).

Os parâmetros estatísticos de tamanho desta fácies podem ser resumidos na tabela 6.

TABELA 6

Textura	Diâmetro Médio		Desvio padrão $\sigma_1$	Assimetria SK <sub>1</sub>	Curtosis K' <sub>G</sub>
	Madiana Md $\phi$	Média aritmét. Mz $\phi$			
Cascalho arenoso	Grânulo	Grânulo	1,00	Positiva	Mesocúrticos
Areia grosseira	Areia grossa	Areia grossa	1,00	Negativa	Mesocúrticos



Nota-se que o elevado número de classes texturais (7 em ambas as distribuições) imprimem aos sedimentos uma seleção de moderada a pobre, conforme pode ser constatado dos valores do desvio padrão.

O sinal positivo da assimetria não é devido à presença de finos (silte e argila), mas apenas mostra a presença no cascalho de areia quartzosa média a fina presente em caráter subordinado como um desenvolvimento de terminal fina.

No momento em que o valor de tendência central incide no tamanho areia (caso da areia grosseira) desaparece o sinal positivo, dando lugar ao sinal negativo que é impresso à distribuição pela presença de fragmentos grosseiros (grânulos) secundários numa distribuição predominantemente arenosa.

O quarto momento estatístico indica valores mesocúrticos para as duas distribuições granulométricas fundamentais das fácies, o que indica uniformidade no desenvolvimento do índice de seleção, ou seja, a classificação (moderada ou pobre) é igual tanto nas terminais como na parte central da curva.

#### 5.5 — Fácies Transicional

Representa um recobrimento misto de areia e finos com caráter de nítida transição entre

a fácies arenosa e fácies de talude que recobre a plataforma externa e o talude.

Acha-se representada por três texturas: areia siltica, areia argilosa e misturas proporcionais de areia, silte e argila como pode se verificar nos histogramas da figura 1E.

Os parâmetros estatísticos de tamanho das três distribuições podem ser acompanhados na tabela 7.

Verifica-se que os valores de tamanho médio, mediana e média aritmética diferem nas três texturas o que já indica uma má classificação do material.

Na argila siltica, a seleção é pobre como pode ser verificado graficamente pela figura 2E com o histograma representativo exibindo cinco classes texturais. Para a areia argilosa a classificação é muito pobre em razão do aumento do número de classes texturais que nesta distribuição é em torno de nove.

Nota-se na fig. 1E que a distribuição é unimodal na areia siltica e bimodal na areia argilosa. A incidência da classe modal no intervalo de classe (classificação de Wentworth) corresponde na areia siltica no intervalo areia muito fina (3-4 $\phi$ ) e para areia argilosa é no intervalo areia fina (2-3 $\phi$ ).

TABELA 7

Textura	Tamanho Médio		Desvio padrão $\sigma_I$	Assimetria $SK_I$	Curtosis $K'_G$
	Madiana $Md_\phi$	Média aritmét. $Mz_\phi$			
Areia siltica	Areia muito fina	Areia muito fina a silte muito grosseiro	1,00	Positiva	Meso Leptocúrtica
Areia argilosa	Areia fina e muito fina	Areia muito fina a silte muito grosseiro	2,00	Positiva	Platicúrtica
Areia silte e argila	silte grosseiro	Silte médio	2,5	Positiva	Indistinta Platicúrtica Leptocúrtica

Esta diferença aparentemente pouco aparente no mapa faciológico (Fig. 4) é bastante impressiva no mapa de textura (Fig. 5) desenvolvendo-se a areia argilosa na zona mais ao sul da área onde a influência platina se faz sentir em maior relação com a drenagem sul-riograndense.

Estas diferenças entre as distribuições deverão estar confrontadas pelo estudo da mineralogia de argilas.

A distribuição granulométrica com proporções aproximadas de areia, silte e argila é polimodal com a moda principal no intervalo areia muito fina (3-4 $\phi$ ) e a moda secundária no intervalo argila fina (10-11 $\phi$ ) e a terceira moda no intervalo silte médio (6-7 $\phi$ ) parecendo representar uma mistura das duas distribuições descritas acima.

Por isso, apresenta o índice de classificação mais elevado, representando desta forma distribuições «extremamente mal classificadas» (— 2,5).

As assimetrias das três distribuições são predominantemente positivas, pela presença mais desenvolvida da terminal fina, propiciada pela presença mais desenvolvida de partículas de pequenas dimensões (silte e argila) nesta região da distribuição granulométrica.

A curtosis para as areias silticas e areias argilosas apresenta-se com distribuições meso-leptocúrticas, enquanto a distribuição de pro-

porções aproximadamente de areia, silte e argila apresenta ora valores platicúrticos ora leptocúrticos.

#### 5.6 — Fácies Talude

Localiza-se na zona mais externa da área pesquisada. Esta fácies cobre a parte mais externa da plataforma a partir da isóbata de 100 metros estendendo-se pelo talude até a profundidade de 3.000 metros.

Trata-se de um fundo predominantemente lamítico constituído por duas texturas: uma de silte argiloso que desenvolve-se entre as profundidades de 100 a 1.600 metros e outra de argila siltica situando-se entre 1.600 e 3.000 metros.

Ambas as distribuições são bimodais conforme pode ser aferido dos histogramas representativos na figura 1F.

No caso do silte argiloso a moda principal localiza-se no intervalo de classe silte muito grosseiro (— 5 $\phi$ ) e a secundária no intervalo argila média (9-10 $\phi$ ), enquanto na argila siltica a moda principal está colocada no intervalo argila média (9-10 $\phi$ ) e a secundária no intervalo silte muito grosseiro (4—5 $\phi$ ) invertendo, portanto, a posição das modas principal e secundária.

As principais características quanto aos atributos de tamanho podem ser resumidas na tabela 8.

TABELA 8

Textura	Tamanho Médio		Desvio padrão $\sigma_I$	Assimetria $SK_I$	Curtosis $K'_G$
	Madiana $Md_\phi$	Média aritmét. $Mz_\phi$			
Silte argiloso	Silte grosseiro	Silte grosseiro	2,00	Positiva	Platicúrtica
Argila siltica	Silte médio	Silte fino a argila grosseira	2,00	Positiva	Platicúrtica

Os atributos de tamanho médio, apresentado através das medidas de tendência central, se mostram bastante bem distintos quando as duas texturas da fácies, notando-se uma diminuição progressiva da plataforma para o talude.

Quanto à classificação, ambas as distribuições são mal classificadas e típicas de sedimentos acumulados à grandes profundidades.

A assimetria positiva muito característica para estas granulometrias é igualmente uniforme tanto no silte argiloso como na argila siltica.

Em razão da bimodalidade presente em ambas as distribuições, a curtosis mostrou-se predominantemente platicúrtica, ou seja, com curvas de frequência mais achatada que a curva normal, sedimentologicamente significan-

do uma melhor classificação nas terminais do que na parte central da distribuição.

5.7 — Amostras Especiais

Durante a realização da pesquisa, algumas amostras tomadas com busca-fundo ou draga exibiram além do sedimento dominante certas amostras constituídas por fragmentos de rocha.

Estas amostras foram consideradas especiais e estudadas separadamente do conjunto sedimentar amostrado.

De uma maneira geral dois grupos de amostras deste tipo foram estudados. O primeiro deles é constituído por seixos e blocos cinza claros a escuros perfurados por atividade organógena e com ornamentações de vermetes calcários.

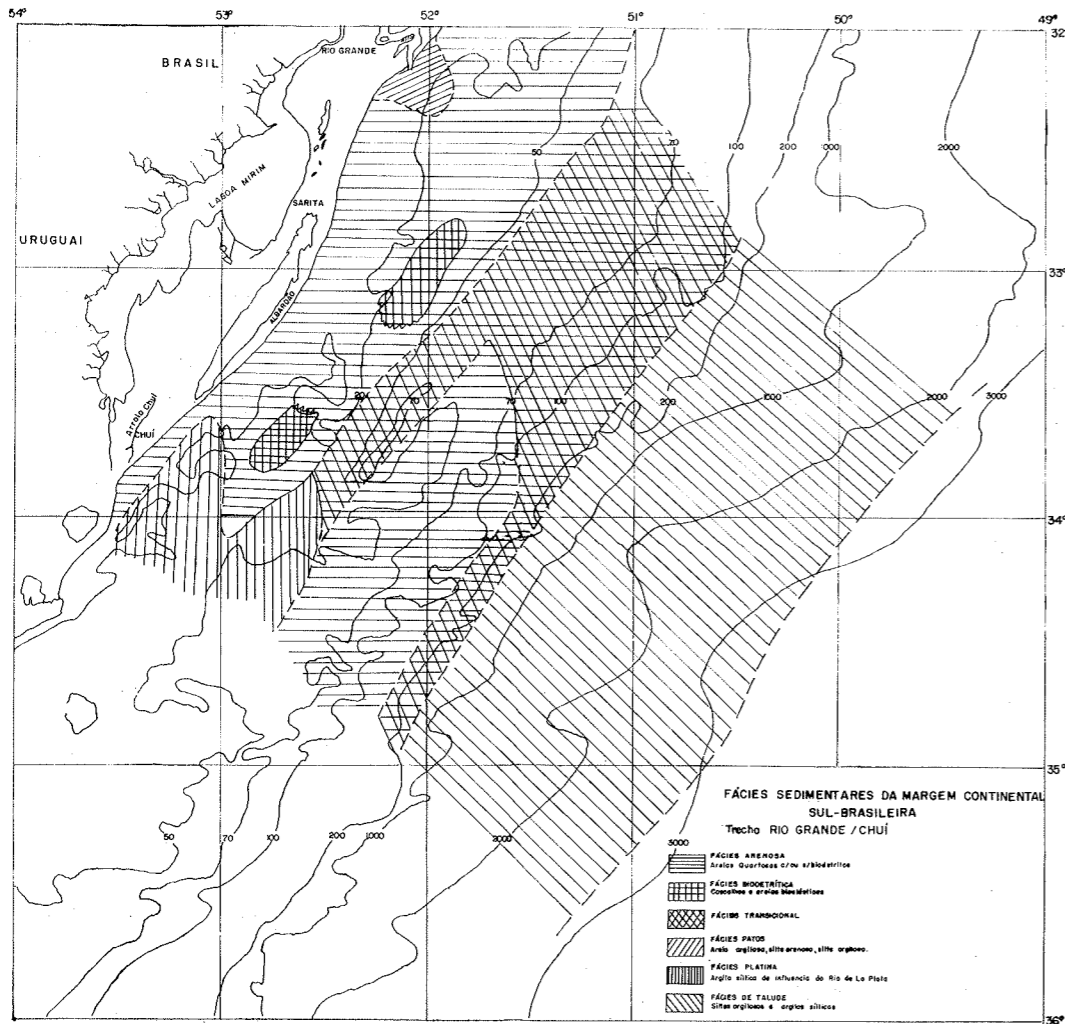


Figura 4

São constituídos normalmente por um arenito calcífero, com arcabouço quartzoso e cimento de carbonato de cálcio ou por fragmentos de conchas ligados pelo mesmo cimento.

Os seixos e blocos apresentam-se normalmente com cantos e bordos moderadamente desgastados.

O estudo do residuo revelou além da presença de quartzo a ocorrência de algum silte e argila e de minerais pesados, onde a turmalina sobressaia às demais espécies ocorrentes.

A ocorrência deste material deu-se na faixa arenosa da plataforma interna, sendo o seu significado discutido mais adiante.

As estações geológicas que apresentaram na recuperação do busca-fundo seixos e blocos de arenito calcífero e/ou coquina, foram: G-246, G-255, G-256, G-287 e G-305.

O segundo grupo de amostra especial está

representado pela ocorrência na estação G-296 a amostra G-296-1D ter apresentado três fragmentos de rocha de coloração preta com aproximadamente 3 centímetros de diâmetro, de forma irregular, diferindo bastante quanto ao aspecto morfoscópico do grupo anterior, pois se apresentaram muito angulares.

Em lâmina delgada (E. L. Loss) identificou uma textura microgranoblástica com ocorrência de quartzo, micas e calcita sendo a rocha classificada como um biotita-muscovita-calcita-quartzito.

A análise qualitativa da película envolvente do fragmento revelou ser de óxido de manganês, determinada por fusão e posterior oxidação com periodado de potássio, apresentando o resultado francamente positivo. (Análise de C. Burger — Laboratório de Análise Química de Minerais e Rochas).

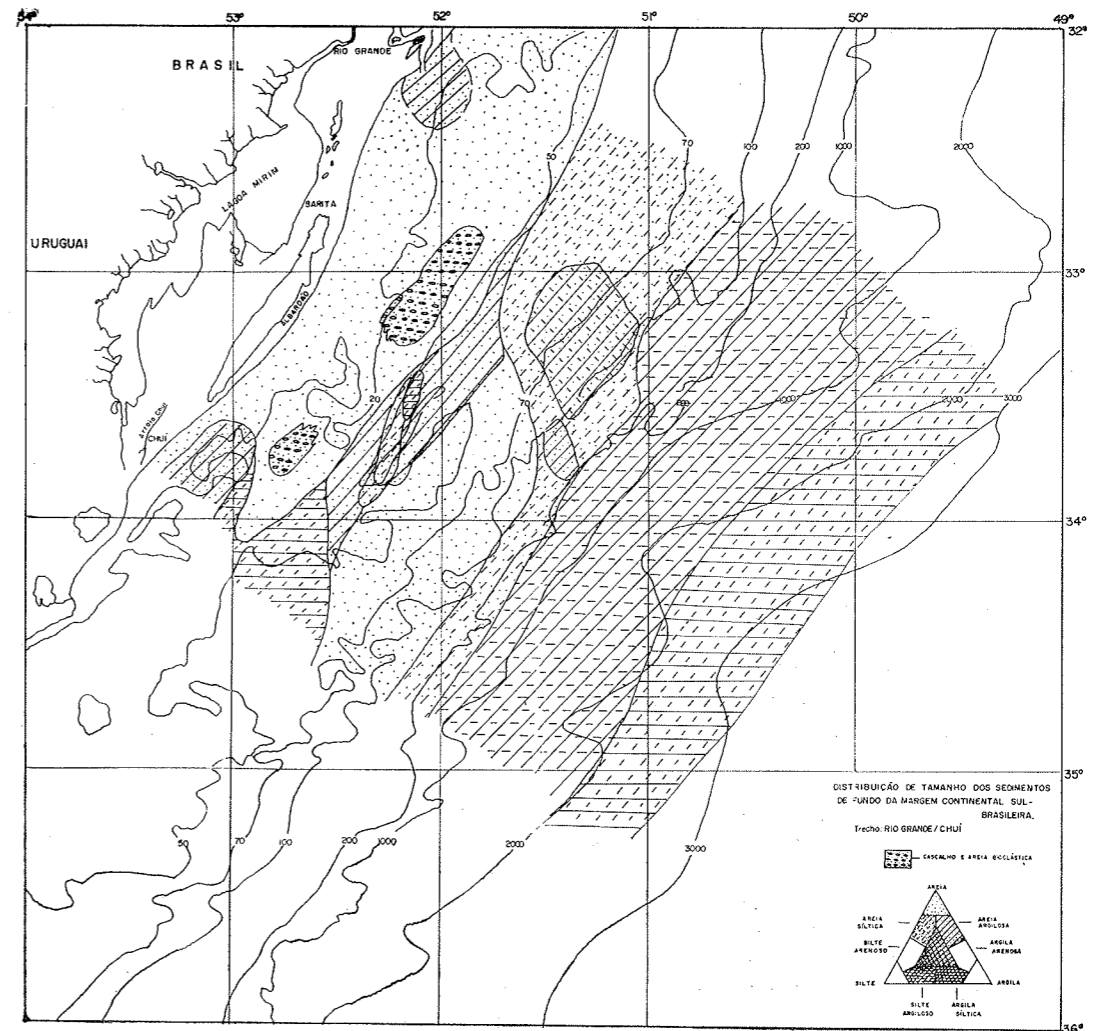


Figura 5

#### 6 — Aspectos conclusivos sobre a sedimentação presente e pretérita

Uma análise quanto aos aspectos de sedimentação da margem continental brasileira, ou pelo menos de sua parte melhor conhecida, a plataforma, permite a visualização de regimes deposicionais bastante distintos.

Desta maneira, podemos considerar, dentro da plataforma, as seguintes situações de dinâmica sedimentar:

a) áreas atualmente recebendo intensa sedimentação terrígena, atingindo, em situações bastante expressivas, feições de verdadeira progradação. Um exemplo típico deste modelo é a Plataforma Amazônica, onde a lama prograda em direção ao mar aberto, formando um verdadeiro delta submarino (Martins, Gorini, Cunha e Martins, 1972 — Zembruski, Gorini, Palma, 1972).

Outras situações similares tem sido descritas para o rio São Francisco (Mabesoone e Coutinho, 1971).

Normalmente localizam-se próximas à desembocadura de grandes rios.

b) áreas que presentemente encontram-se recebendo pequena contribuição terrígena ou fornecimento clástico praticamente nulo e com amplo desenvolvimento de atividade biogênica. É o caso típico representado pela plataforma média e externa do norte nordeste do Brasil.

O recobrimento nesta situação é representado não somente pela presença das assembleias predominantemente algálicas (Halimeda, Lithothanion) mas também do material que tem origem na fragmentação das mesmas dando como conseqüência a formação de biodetritos calcários nas classificações de calciruditos, calcarenitos e calcilitos.

c) áreas sem aporte atual de sedimentos terrígenos ou com contribuição pequena, insuficiente para recobrir as litologias resultantes de sedimentação pretérita. Estas zonas normalmente são caracterizadas pela presença de «sedimentos relíquias» que são sedimentos que mantêm as propriedades texturais que lhe foram impostas pelo regime deposicional da época em que se formaram, e que encontram-se atualmente num ambiente que promoveria, se houvesse material disponível para tanto, outro tipo de sedimento, com propriedades texturais diferentes do que é atualmente encontrado.

Nas plataformas continentais são normalmente representados por areias com características e fauna de regiões litorâneas, situadas em níveis batimétricos elevados (até 100 metros).

A plataforma continental Sul-Brasileira, em especial a do Rio Grande do Sul serve para bem exemplificar este modelo sedimentar.

Tais tipos de plataformas têm sido amplamente estudadas e divulgadas (Emery, 1968) que caracteriza os sedimentos que foram depositados nas plataformas continentais durante e imediatamente após o último estágio glacial do Pleistoceno e não estão relacionadas a seus atuais ambientes. O levantamento do nível do mar durante os últimos 19.000 anos proporcionou que sedimentos previamente acumulados em condições subaéreas, lacustres, lagunares, paludais e praias foram submersos por águas marinho-raso.

O autor relata que cerca de 70% da área das plataformas continentais podem ser identificadas como de sedimentação relíquia.

Mais recentemente, Swift, Stanley e Curray, (1971), trouxeram nova contribuição ao assunto. Consideravam os autores que sedimentos relíquia originalmente definidos como remanescentes de um ambiente diferente mais antigo e reconhecidos por critérios petrográficos como tamanho, recobrimento de óxido de ferro, e pela fauna, devem ser distintos dos sedimentos denominados «palimpsest».

Este tipo representa sedimentos originalmente relíquias mas cujas características estão sendo modificadas por um novo sistema dinâmico de baixa ou alta energia sofrendo influências das novas condições dinâmicas. Desta forma, «palimpsest» seria um sedimento que exhibe atributos de um ambiente mais antigo, e em adição exhibe também atributos de um ambiente posterior.

Os autores afirmam que, todos os estágios intermediários são possíveis, desde relíquia pura através de sedimentos «palimpsest» a sedimentos modernos autóctonos, nos quais todas as propriedades petrográficas e fisiográficas foram mudadas.

Estas duas conceituações, sedimentos relíquia e «palimpsest» parecem ser de grande valia quando se trata de caracterizar sob o ponto de vista sedimentológico a margem continental do Rio Grande do Sul, em especial sua plataforma.

Normalmente, um sedimento relíquia pode ser identificado diretamente levando em conta o critério petrográfico que indica a deposição em um outro ambiente do que ele é presentemente encontrado. Indiretamente, pode ser caracterizado por meio da flora e fauna relíquia ou por meio de associação com topografia relíquia.

Os sedimentos «palimpsest» são evidenciados por ajustamentos texturais dos sedimentos relíquias a um regime hidráulico moderno.

O presente trabalho revelou para os sedimentos da plataforma da margem continental do Rio Grande do Sul entre Rio Grande e Chuí uma situação, à luz das características petrográficas, sedimentos com nítidas características de «relíquia» como igualmente do tipo «palimpsest».

Esta situação é perfeitamente comprovada quando tomando os mapas de distribuição faciológica e de texturas e os histogramas correspondentes à Fig. 1A, verificamos para a faixa arenosa descrita anteriormente como relíquia (Martins, Urien e Eichler, 1967) apresenta quatro tipos de distribuição granulométrica perfeitamente distintas:

a) uma representada com areia quartzosa sem misturas e de propriedades texturais muito similares a ambientes litorâneos (praias e eóleos).

b) uma com predominância de areia quartzosa e presença de uma terminal grosseira constituída por biodetritos (areia biodetrítica).

c) uma com dominância de areia quartzosa e incidência de uma terminal fina (silte e argila).

d) uma com dominância de areia quartzosa e presença de duas terminais, uma grosseira biodetrítica e outra fina.

Tal ocorrência parece não ser exclusiva desta plataforma, tendo Curray (1960, 61), descrito para a plataforma da costa do Texas que as distribuições de tamanho das amostras desta área demonstram uma mistura de diferentes massas de sedimentos, que a partir de areias limpas, unimodais bem classificadas em feixes de restinga relíquias na plataforma continental podem misturarem-se com a distância de transporte, com sedimentos derivados de outras fontes, produzindo sedimentos bimodais e polimodais, com decréscimo das proporções de cada componente.

O grau de retrabalhamento irá variar com o nível de energia local e nem sempre resultará numa unidade mapeável. No caso dos sedimentos da costa do Rio Grande do Sul, as areias parecem manter ainda o caráter relíquia como dominante, estando o ajuste às novas condições hidrodinâmicas representadas dentro da faixa arenosa pelo ingresso de terminais.

As areias quartzosas bem selecionadas com presença de três a quatro classes texturais e grãos apresentando recobrimento de óxido de

ferro constituem sedimentos relíquias. As areias com lama, que parece sofrer influência tanto da fácies Platina, como Patos e até da Transicional, constituem sedimentos «palimpsest». As areias com terminal biodetrítica e com terminais biodetrítica e de lama podem ser igualmente consideradas «palimpsest».

Contudo, as áreas de sedimentação atual mais ativa parecem estar representadas pelas fácies Platina e Patos. A primeira ingressando ao sul da área dividindo a fácies arenosa em duas partes, uma mais interna que mantém característica de relíquia e outra mais externa com características «palimpsest» devido à infiltração de finos provida por essa mesma fácies.

A fácies Patos constitui a mistura das areias da plataforma com os sedimentos finos lagunares, que são lançados pelo canal de Rio Grande, desembocadura única da Lagoa dos Patos com o Oceano Atlântico.

A fácies biodetrítica que acompanha as linhas isobáticas de 20-30 metros numa morfologia de faixa longitudinal paralela à linha de costa, é constituída por biodetritos oriundos da fragmentação de conchas de moluscos litorâneos. A aparência morfoscópica dos fragmentos indica não ser uma fácies de deposição atual, mas de acumulação pretérita de ambiente raso, representando talvez uma acumulação de conchas num nível de energia elevado, mais especificamente num ambiente praias.

A utilização dos parâmetros de tamanho de sedimentos calcários tem sido bastante discutida por alguns autores. Recentemente no Brasil, Mabesoone, Kempf e Coutinho, à luz de sua grande experiência sobre sedimentos biodetríticos da plataforma norte-nordeste, afirmam que devido à mistura de elementos de diferentes origens, distribuição de tamanho de grão não caracteriza tais depósitos.

Para os autores, a composição do sedimento deve ser o critério mais importante de distinção.

Fuller (1961) estudando sedimentos marinhos, próximos ao Cape Good Hope contendo cerca de 20 a 40% de detritos de conchas, concluiu que o comportamento dos grãos de quartzo e das partículas bioclásticas era idêntico. Van Andel (1964) levando em conta que os detritos de conchas nos sedimentos do Golfo da Califórnia é quase que inteiramente detrital, afirma que somente amostras totais devem ser levadas em consideração.

Koldijk (1970) afirma através de experimentações de laboratório que as diferenças entre o comportamento hidráulico da fração

não calcária e dos bioclásticos é negligível na extensão de tamanho menor do que 1  $\phi$  (dentro da extensão areia da classificação de Wentworth) sedimentos mais grosseiros do que 0  $\phi$  apresentam diferenças.

Se para a extensão areia a composição quartzosa ou carbonática não afeta o comportamento hidráulico e conseqüentemente são impressas as mesmas propriedades texturais existe neste tamanho de grão a utilização dos atributos de tamanho para sua caracterização.

Isto não significa que Mabesoone, Kempft e Coutinho (op. cit.) não deixem de ter razão em suas afirmações em se tratando de plataformas quase que exclusivamente recobertas por atividade organógena e biodetritos, onde as distribuições de tamanho de grão não refletem condições prevalentes com exatidão.

A fácies transicional constitui uma zona de sedimentos bastante heterogêneos quanto à composição granulométrica tudo levando a crer estarem presentes areias reliquias, lamas de aluências Platina, lamas lagunares de «by passing», devendo a mineralogia de argilas fornecer subsídios mais elucidativos sobre o assunto.

A fácies lamítica de plataforma externa e de talude não tem ainda sua origem inteira-

mente comprovada, pois nem a mineralogia de argilas ou estudos palinológicos foram ainda realizados para fornecer maiores subsídios aos aspectos de caráter textural.

Para Martins e Urien (1969) os sedimentos lutáceos de plataforma externa são reliquias de material transportado no passado, pelo sistema de drenagem captado de terras altas do Rio Grande do Sul, pré geração de uma costa de barreira que formou o atual conjunto de grandes lagoas que captou este sistema de drenagem, bloqueando seu acesso direto ao mar.

Concluindo resumidamente sobre o regime deposicional da área pesquisada, podemos dizer que a margem continental do Rio Grande do Sul, em suas posições correspondentes à plataforma e talude possui um regime sedimentar predominantemente terrígeno.

A presença de sedimentos reliquias e «paleolimpest» parecem ocupar a maior parte da área, enquanto as fontes de suprimento atual estão relacionadas com a afluência do Rio de La Plata e Lagoa dos Patos.

A presença de atividade autógena foi evidenciada por fina película de óxido de manganês recobrando fragmentos angulares encontrados na parte inferior do talude continental.

#### BIBLIOGRAFIA

- 1) BOLTOVSKOY, E. (1959) — Foraminíferos Recientes del Sur Brasil y sus relaciones con los de Argentina y India del Oeste. Serv. Hidrog. Naval, R. 1005, 120 pgs., 2 tbs., 1 mapa, s0 pl. Buenos Aires.
- 2) BUTLER, L. W. (1970) — Shallow structure of continental margin, South Brazil and Uruguay. — G. S. A. Bull. Vol. 81, pgs. 1079-1096.
- 3) CURRAY, J. R. (1960) — Sediments and history of Holocene transgression, continental shelf, northwest gulf of Mexico. In Recent sediments Northwest gulf of Mexico.
- 4) CURRAY, J. R. (1961) — Tracing sediment masses by grain size modes. Rept. 21st Sess. Int. Geol. Congo pt. 23. Int. Assoc. Sedimentologists, pg. 119-130.
- 5) EMERY, K. O. (1968) — Relict sediments on continental shelves of world. A. A. P. G. Bull. Vol. 52, nº 3, pgs. 445-464.
- 6) KOLDIJH, W. S. (1970) — Sedimentological and geomorphological investigation of the Ria de Arosa (Galicia, NW Spain). Leidse Geologische Mededelingen, Vol. 37, pg. 77-134.
- 7) MARTINS, L. R., URIEN, C. M. e EICHLER, B. B. (1967) — Distribuição dos sedimentos modernos da plataforma continental sul-brasileira e uruguaia. Anais do XXI — Congresso Brasileiro de Geologia, pgs. 29-43.
- 8) MARTINS, L. R. e URIEN, C. M. (1969) — Fisiografia y sedimentos del Rio Grande continental plateau, Brasil. INQUA Congress. Paris, U.F.R.G.S. — CECO, Notas Técnicas.
- 9) MOTTA, V. F. (1967) — Estudo em modelo reduzido da regulamentação da embocadura lagunar de Tramandai (Rio Grande do Sul). Instituto de Pesquisas Hidráulicas — UFRGS (inédito).
- 10) ROETTGER, E. U. (1970) — Recent foraminifera from the continental shelf of Rio Grande do Sul collected by Hydrographic vessel "Canopus". Iheungia, serie Zoologia, nº 38, pgs. 3-71, 2 pl., 3 figs.
- 11) SWIFT, D. J. P., STANLEY, D. J., CURRAY, J. R. (1971) — Relict sediments on continental shelves: a reconsideration.
- 12) URIEN, C. M., MARTINS, L. R., BUTLER, L. W., GREENELL, J. e JOUNG, A. (1972) — Topography and sediments of eastern South America Continental Margin. Congresso Internacional de Geologia — Montreal, Canadá. (Resumo das comunicações).
- 13) ZEMBRUSCKI, S. (1967) — Sedimentos da plataforma continental do Brasil. XXXIII — Comissão Oceanográfica, Apêndice B, pgs. 369-411. Diretoria de Hidrografia e Navegação.

## THE NORTH BRAZILIAN RIDGE AND THE EXTENSION OF EQUATORIAL FRACTURE ZONES INTO THE CONTINENT

Por

GEORGE M. BRYAN, NARESH KUMAR e PAULO JACKSON M. DE CASTRO

#### ABSTRACT

The relationship between the northeast continental margin of Brazil and the major equatorial fracture zones is complicated by the presence of the North Brazilian ridge, which lies 150-200 km seaward of the base of the continental slope. Recent geophysical data indicate that the ridge is not continuous but broken up into segments. The Romanche fracture zone appears to join an east-west segment of the ridge which continues westward into the continent. Seismic evidence suggests that layer 3 lies immediately beneath the sediment in the vicinity of the junction of the ridge with the fracture zone. Acoustic basement is 1 to 2 km deeper on the landward side of the ridge than on the seaward side. The relationship of the St. Paul's fracture zone to the North Brazilian ridge cannot be similarly resolved on the basis of available data.

#### INTRODUCTION

The largest offsets in the trends of the Atlantic continental margins of South America and Africa occur near the equator where the mid-Atlantic ridge is correspondingly offset by a series of major fracture zones. This correspondence implies that the ridge pattern has been essentially here throughout the opening of the South Atlantic, and is closely related to the initial break-up of the continents. Thus as suggested by Le Pichon and Hayes (1971), evidence of the major fracture zones should extend into the continents on both sides as fracture ridges associated with marginal offsets. Francheteau and Le Pichon (1972), in developing this picture further, have suggested that coastal basins would be formed on the continental margins between the marginal fracture ridges.

Attempts to trace the major fracture zones westward into the northeast Brazilian margin

are complicated by the presence of the North Brazilian ridge. Hayes and Ewing (1970) have described this ridge as an essentially continuous feature which lies 150 to 200 km seaward from the base of the continental slope off the northeast coast of Brazil and which extends for a length of 1300 km. These authors did not propose a definite hypothesis for the origin of the ridge but tentatively suggested a mechanism of oceanic volcanism following the separation of Africa and South America.

Le Pichon and Hayes (1971) pointed out that the ridge was made up of two east-west segments connected by a segment trending north-west-southeast, and that the east-west segments were located about where one would predict extensions of the Romanche and St. Paul's fracture zones on the basis of their model. However data available at that time did not show the fracture zones extending to the ridge. This fact, together with the apparent continuity of the ridge, presented difficulties for their interpretation.

Our chief objectives in the studies off the northeast continental margin of Brazil are as follows: (1) To determine the nature and origin of the North Brazilian ridge, (2) To delineate the boundary between the ocean and the continent in this part of Atlantic; and (3) to correlate the structure and geology of northeast Brazil as known from land to tectonic elements of the deep ocean.

#### PREVIOUS WORK

Investigations on the continental margin off the northeast coast of Brazil have been relatively few. Most of the published reports have appeared within the last five to seven

years. Ealey (1969) and Boyer (1969) have made reconnaissance studies of the northeastern Brazilian margin. Prominent fracture zones of the equatorial Atlantic have been described by Heezen and others (1964A, 1964B, 1969). Chiefly on the basis of gravity data, Cochran (in press) has interpreted the structure in the western equatorial Atlantic. Damuth (unpublished) has studied the sediments and topography in this region. Hayes and Ewing (1970) have summarized all the information available until 1970 concerning the North Brazilian ridge.

The geology of the onshore Barreirinhas and São Luis basins has been summarized by Mesner and Wooldridge (1964), Beurlen (1967) and Pamplona (1969). A recently published Tectonic Map of Brazil delineates the extent and thickness of sediments in the Barreirinhas and São Luis basins (Ferreira, 1972).

Miura (1973, this volume) has summarized the information available from unpublished reports of work done by Petrobras on the North Brazilian shelf.

#### SEISMIC PROFILER RESULTS

In June 1972, a survey of the continental margin of Northeast Brazil was made aboard R/V Conrad of the Lamont-Doherty Geological Observatory (Conrad Cruise 15, Leg 9). The track is shown in Fig. 1. The survey included continuous seismic profiling, seismic refraction measurements through sonobuoys, gravity and magnetic measurements, and coring.

Hayes and Ewing (1970) attempted to show essential continuity of the North Brazilian ridge on the basis of: (1) sediment ponding, (2) relative isolation of waters on the landward side of the ridge from the waters

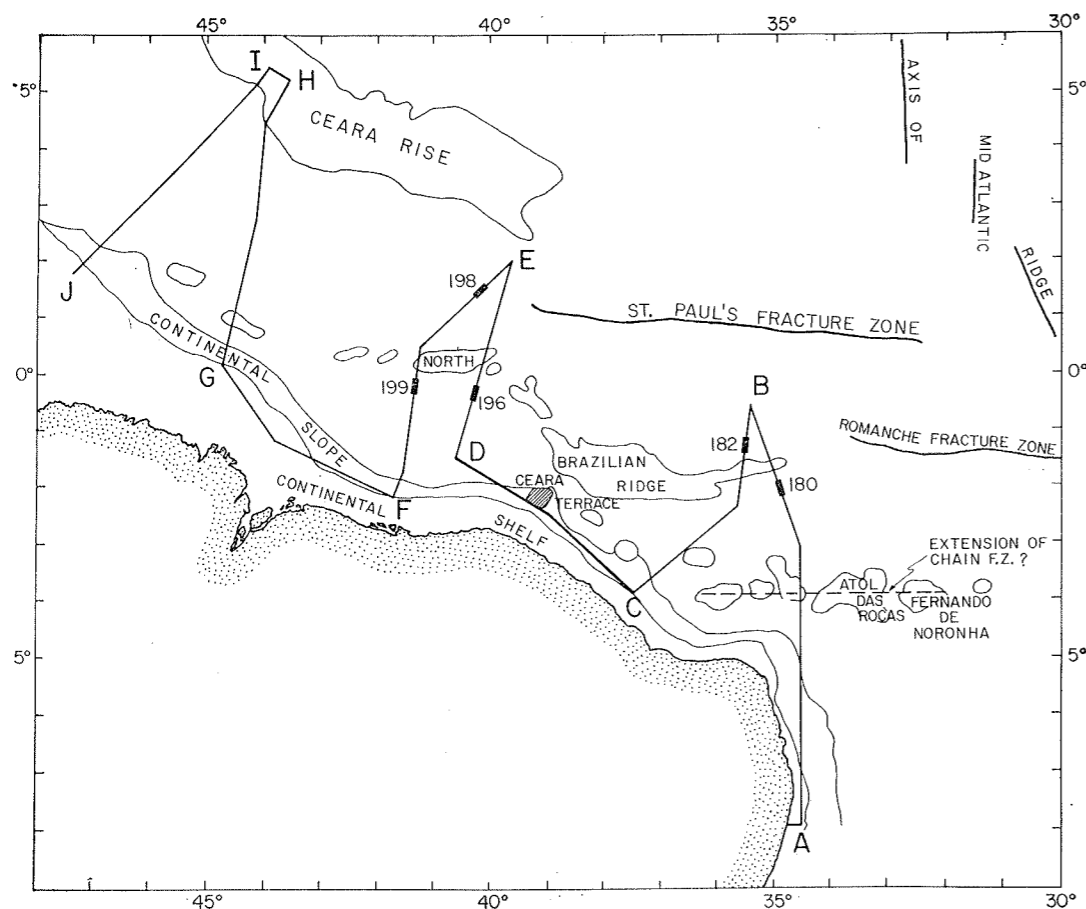


Fig. 1 — Map of the north Brazilian margin showing tracks of R/V Conrad Cruise 15 Leg 9. Black rectangles on track lines indicate locations of sonobuoy sections of Fig. 3. Heavy line between points C and D marks the location of structure section shown in Fig. 4. Outline of North Brazilian ridge based on PDR records only.

on the seaward of the ridge, and (3) the presence of a ridge-like feature on most profiler records from this area. However, Damuth (unpublished, 1973) has shown large gaps in the North Brazilian ridge based on Precision Depth Recorder data alone. According to Damuth, the North Brazilian ridge is a continuous feature between the longitudes of 35° and 39°W. Westward of 39°W the ridge has progressively wider gaps. Moreover, Damuth has shown that several channels on the continental rise cross the North Brazilian ridge. These channels have acted as distributaries for sediments in this region during periods of rapid deposition of terrigenous sediments. Sediments on the two sides of the ridge are exactly similar for at least the top 5 to 10 m; this indicates that the sediments on the landward side of the ridge are not isolated from the sediments on the seaward side of the ridge. Sediment ponding ranges in thickness from 0.25 to 0.4 seconds (two-way reflection time) on tracks AB, BC, DE, EF but hardly any ponding is seen on track GH (Figs. 1 and 2). Using sediment accumulation rates in the range of 5 to 10 cm/1000 yrs calculated by Damuth from his studies of cores, and a velocity of 2 km/sec for the uppermost layer of sediments, the ponding represents a period of anywhere from 1.6 to 8 million yrs. The ridge has almost certainly existed for a period longer than that and hence we suggest that the ridge is not as continuous a feature as has been suggested in the past. It is important to note that sediment ponding is very little on profile EF (Fig. 2) which represents a region of the ridge where the topography is extremely high.

On the gravity map of Cochran (in press) the North Brazilian ridge does not appear as one continuous feature. It is a continuous east west feature between 34° and 38°W at 1.8°S. Between 38° and 41.5°W it is broken up into numerous seamounts trending northwest-southeast. West of 41.5°W, the ridge becomes a very subdued east-west feature. The last known indication of the North Brazilian ridge is seen at 45.5°W. No buried ridge is seen on our profile IJ (Fig. 2), only 120 km to the west of this point. At least 2.0 sec. of penetration was achieved on profile IJ. Hence if the ridge continues as a feature paralleling the coast, it will have to be buried under several kilometers of sediment within a distance of 120 km. We think this is unlikely and conclude that somewhere between 45.5°W and our

profile IJ the ridge either ends or enters the shelf.

A very prominent reflector has been traced between the North Brazilian ridge and the Ceará rise (Hayes and Ewing, 1970, Fig. 4). However, at that time nothing was known about the age of this reflector and it was suggested by Hayes and Ewing that this reflector might correlate with Horizon A of the North Atlantic (Ewing et al, 1966). Horizon A has been found to be middle-early Eocene (about 50 m.y.), or older in age (Peterson et al., 1970). However, site 142 of the JOIDES drilling penetrated this prominent reflector of equatorial Atlantic on the southern flanks of the Ceará rise. Embley and Hayes (1972) report the age of the prominent reflector at this site to be close to Pliocene/Miocene boundary (11-12 m.y.). The reflector consists of moderately indurated and interbedded marl muds, Nannoplankton marl and chalk ooze, forams sands, and clay. If the reflector is as continuous as it appears to be, it marks a phase of deposition which is only 11-12 m.y. old and is therefore probably not Horizon A.

Another notable feature is the presence of a prominent reflector on the landward side of the ridge on profiles AB, BC, DE and EF (Fig. 2) at approximately the same depths as the prominent reflector seen on the seaward side. It appears that the Miocene/Pliocene boundary was marked by an abrupt change in sedimentary environment throughout the equatorial Atlantic, depositing different materials in different areas which now appear to be one continuous prominent reflector throughout the equatorial Atlantic. It is interesting to note that the lithologic sequence in coastal basins of northeast Brazil contains a marked unconformity between Miocene and Pliocene (Miura, this volume). It is premature in this paper to try to correlate a Miocene/Pliocene unconformity in the coastal basins with the widespread prominent reflector seen on both sides of the ridge and which is perhaps of Miocene/Pliocene age.

Because this prominent reflector is close to Miocene/Pliocene boundary in age throughout this area, and because it is seen on both sides of the ridge, we consider that as another evidence that the ridge has not been a continuous feature at least since 12 m.y. yrs. ago. Also because the prominent reflector is not synchronous to Horizon A, the presence of this reflector in areas around the North Brazilian

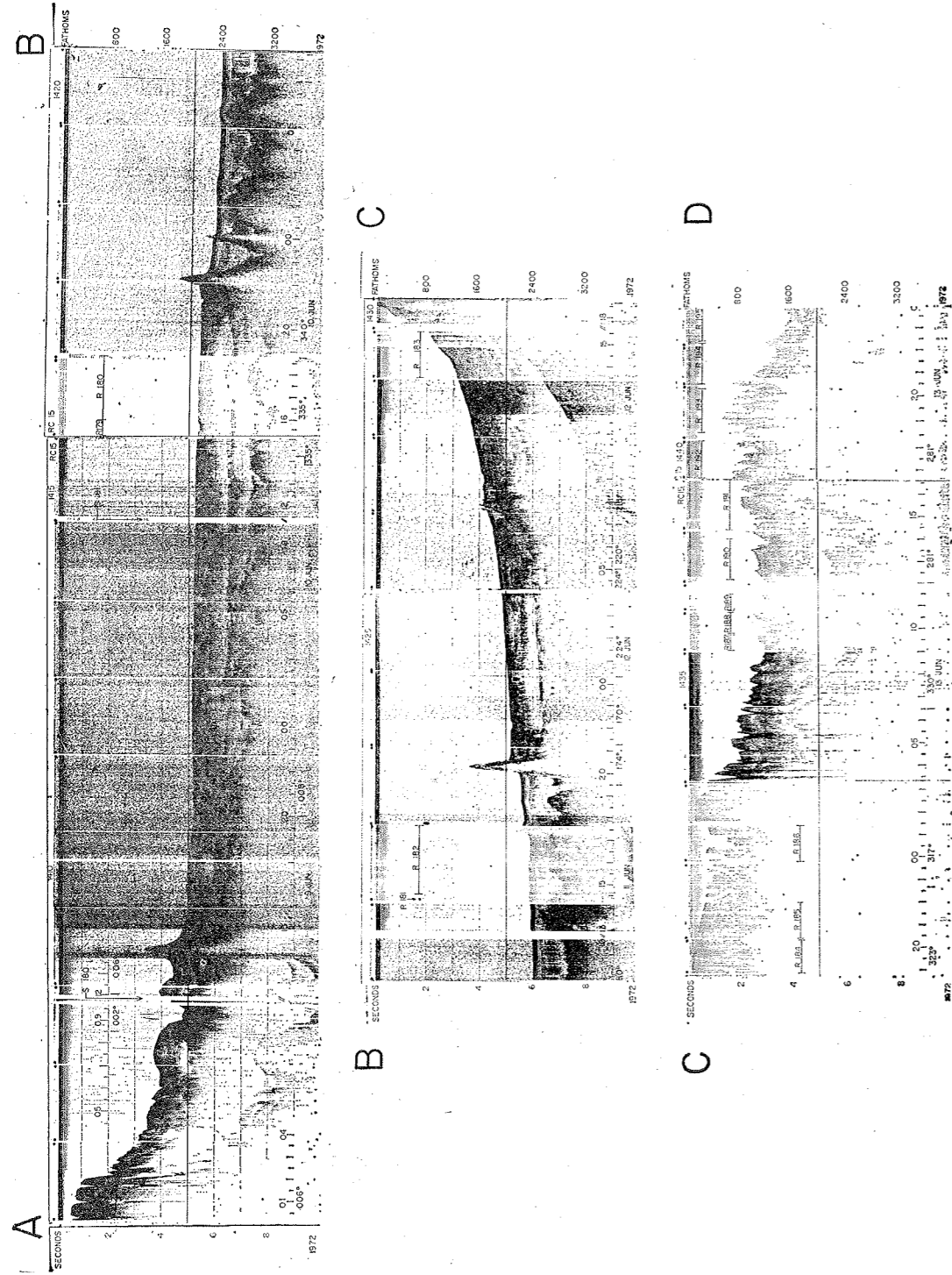


Figura 2

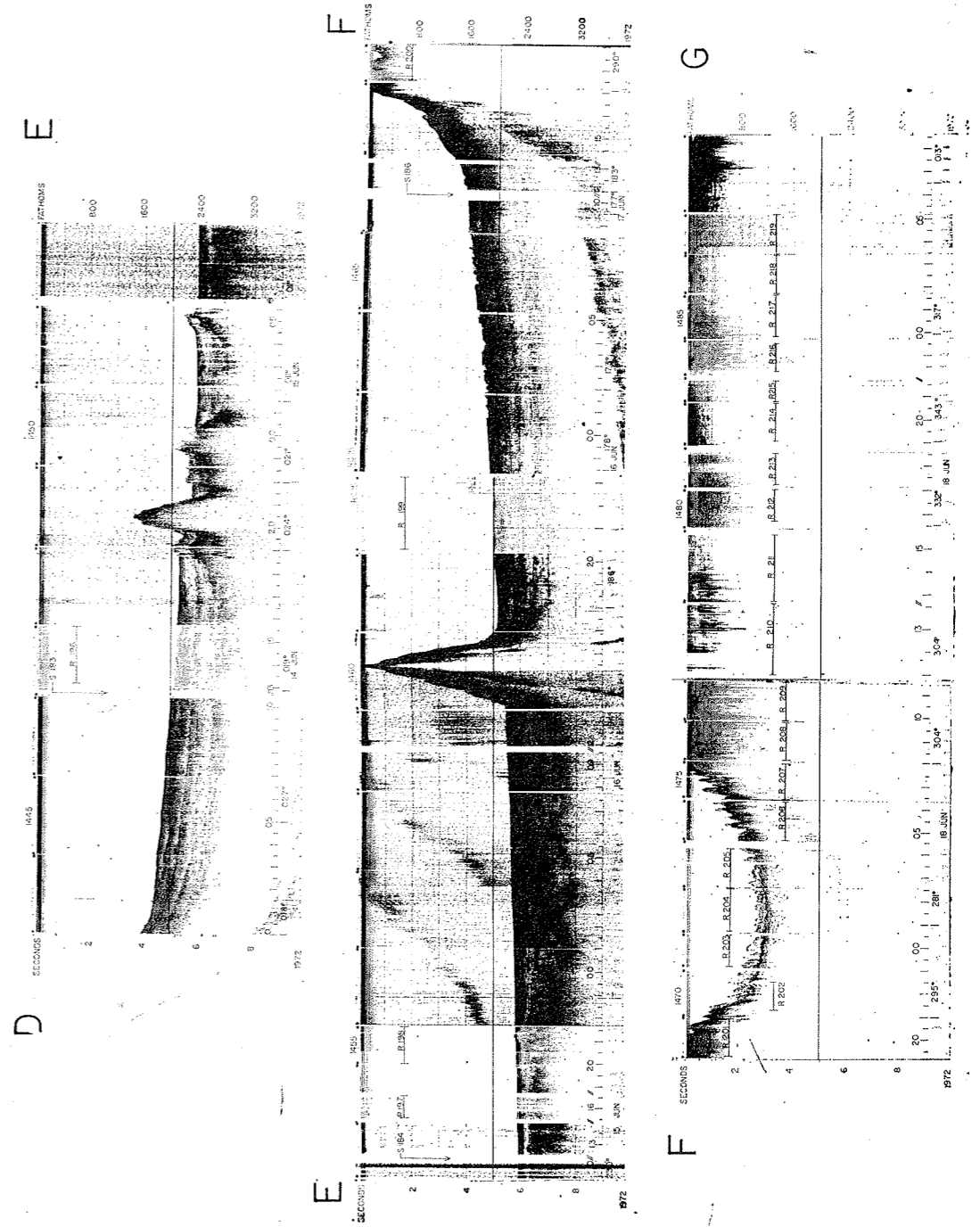


Figura 2

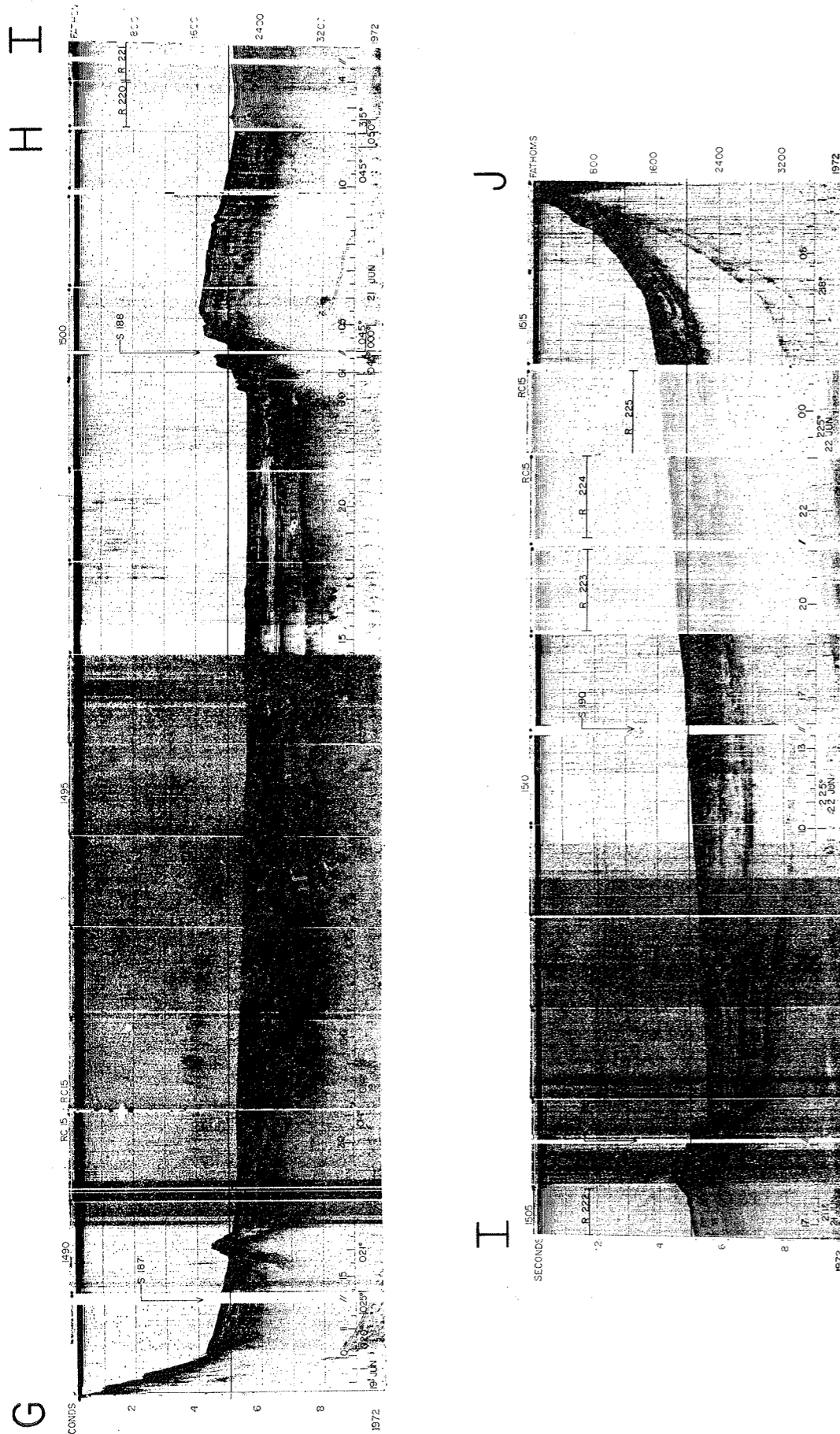


Fig. 1 — Seismic reflection profiles along tracks shown in Fig. 4 is located on track CD. Date and time of profile and the course of the ships shown at the bottom of the profiles. Vertical exaggeration ranges from 25:1 (when shipp speed is 10 knots) to 12:1 at half speed. Further details in the text.

ridge does not provide additional support for the antiquity (50 m.y. or older) of this ridge.

On our profile AB and DE (Fig. 2) there is a suggestion of acoustic basement on both sides of the ridge. If we are seeing the acoustic basement on both sides of the ridge, there is a difference of at least 1.0 second two-way reflection time on the two sides of the ridge. We think a difference of 1.0 sec. reflection time cannot be accounted for by sediment ponding and hence conclude that the basement is consistently deeper on the landward side of the ridge than on the seaward side of the ridge.

The new profiler data point to several facts about the ridge. Any hypothesis concerning the origin of the ridge must take these facts into account:

- (1) The north Brazilian ridge does not follow the continental margin of South America west of 45.5°W. On its western end the ridge appears either to end rather abruptly, or as is more likely, to run into the shelf.
- (2) The ridge is not as continuous a feature as has been supposed. There is great variation in its topography and sedimentary transport takes place across it.
- (3) Presence of a prominent reflector only on the seaward side of the ridge does not provide additional evidence for the antiquity of this ridge. The prominent reflector is seen on both sides of the ridge and is only 11-12 m.y. old.
- (4) Acoustic basement is consistently deeper on the landward side of the ridge than on the seaward side of the ridge by at least 1.0 sec. of two-way reflection time.

**SONOBUOY RESULTS**

Aproximately fifty sonobuoy wide-angle reflection-refraction profiles (unreversed) were shot during this survey. The techniques for interpretation of sonobuoy data have been described by Clay and Roma (1965), Le Pichon et al. (1968), and Houtz et al. (1968). Most of the sonobuoy profiles were made on the north Brazilian shelf and slope between longitudes 37.75°W and 44.75°W. Others were shot on the seaward and landward sides of the North Brazilian ridge.

**Sonobuoy Profiles on Seaward and Landward Sides of the North Brazilian Ridge**

Previous sonobuoy data from the North Brazilian ridge did not indicate any significant

difference in crustal structure between its seaward and landward sides (Hayes and Ewing, 1970, Fig. 8). None of the older sonobuoy profiles penetrated deep enough to give depths to and compressional-wave velocities of «basement» or layer 2 on the two sides of the ridge. Typically, layer 2 has compressional-wave velocities ( $V_p$ ) in the range of 4.5 and 5.5 km/sec. and it underlies the sediments (layer 1,  $V_p = 1.5$  to 3.0 km/sec) (Ewing, 1969).

Fig. 3 shows thicknesses and velocities of different layer as interpreted from sonobuoys C15 — 180, 182, 196, 198, and 199. Sonobuoys 180, 196, and 199 are located landward of the ridge whereas sonobuoys 182 and 198 are located seaward of the ridge.

Depth (km)	SHOREWARD OF RIDGE			SEAWARD OF RIDGE	
	Buoy No.199	196	180	198	182
0					
2					
4	2.1	1.8	—	1.6	—
4	2.7	2.1		2.5	(2.2)
6	3.0	3.2	2.6	5.4	7.4 ( $V_s = 4.4$ )
6	?	?			
8			6.9 ( $V_s = 4.0$ )		
10					

Fig. 3 — Comparison of sonobuoy profiles from the shoreward and landward sides of the North Brazilian ridge. Spacing between sonobuoy sections does not represent distance. Velocities are P-wave velocities measured in km/sec.  $V_s$  refers to shear-wave velocity. Further details in the text.

Sonobuoys located on the landward side of the ridge contain sediments (layers with compressional — wave velocities of aproximately 3.0 km/sec. or less) ranging from 2.5 km to 3.3 km in thickness. No measurements are available for velocities in deeper layers in sonobuoys 196, and 199. However, the section for sonobuoy 180 contains a layer with compressional wave velocity of 6.9 km/sec and shear-wave velocity ( $V_s$ ) of 4.0 km/sec underlying sediments with an average velocity of 2.6 km/sec.

Sonobuoys 198 and 182 show sediment layers which are 1.0 and 1.6 km thick respectively. The latter figure is based on an assumed average sediment velocity of 2.2 km/sec. Beneath the sediment layer sonobuoy 172 indicates a layer with  $V_p = 7.4$  and  $V_s = 4.4$  km/sec.

From the sonobuoy results (Fig. 3) it is clear that the sediment layer on the landward side of the ridge is at least 1.0 to 2.0 km thicker than that on the seaward side. This inference supports the evidence from the profiler data (profiles AB and DE in Fig. 2) indicating a difference in depth to «basement» of the same order of magnitude. However, the acoustic basement does not appear to be the basement or layer 2 in the sense of Ewing (1969) at the locations of sonobuoys 180 and 182.

The high compressional velocities underlying the sediment at these sites are in good agreement with the accepted range 6.5 to 7.1 km/sec for layer 3 (Ewing, 1969). The associated shear velocities lead to Poisson's ratios of .25 to .23 for sonobuoys 180 and 182 respectively. This is near the theoretical limit at zero porosity for an isotropic elastic medium. Gravity and magnetic data, as interpreted by Cochran (in press), indicate that fracture zones might be sites of intrusion of material which is at least 0.3 gm/c.c. denser than the material of layer 2. Hence, according to this view fracture zones are not sites of basaltic intrusion but sites for intrusion of material corresponding to serpentinized ultra-basic rocks (layer 3). Sonobuoy 182 is located 10 to 30 km north of the North Brazilian ridge. In Cochran's interpretation of the westward extension of the Romanche fracture zone the North Brazilian ridge lies parallel to — and 30 km south of the Romanche fracture zone between the longitudes of 35° and 37.5°W. Also Cochran considers that the intrusion of layer 3 at the sites of fracture zones is up to 75 km wide. If Cochran's model is correct, sonobuoys 180 and 182 would both be located within the zone of intrusion of layer 3 associated with the Romanche fracture zone. Depth of «Layer 3» in sonobuoy 180 is 1.6 km more than the depth to «layer 3» in sonobuoy 182. The results from sonobuoy 180 and 182 imply the following: (1) velocity measurements support the interpretation of intrusion of layer 3 material at fracture zones, (2) the eastern end of the North Brazilian ridge lies within zone of intrusion of layer 3 associated with the Romanche fracture zone, (3) an apparent difference of 1.6 km (through sonobuoy measurements) and 1.0 to 2.0 km (through profiler records) in depth to «basement» on the two sides of North Brazilian ridge on profile AB is due to difference in depth to layer 3 on the northern and southern borders of the zone of

intrusion associated with the Romanche fracture zone.

Profile 198 contains a layer 1.0 km below the ocean bottom with a  $V_p$  of 5.4 km/sec. This velocity falls within the range of velocities for layer 2. From Fig. 1 it would appear that sonobuoy 198 is located in the path of westward extension of St. Paul's fracture zone. Absence of velocities in the range of layer 3 from sonobuoy 198 could mean either of the following: (1) our explanation for high velocities at sonobuoy 180 and 182 needs correction, (2) St. Paul's fracture zone extends westward by passing far to the south or north of the location of sonobuoy 198, or (3) Cochran's model of intrusion of layer 3 at fracture zones does not apply to St. Paul's fracture zone. It is important to mention that Cochran (in press) did not see any excess mass (corresponding to layer 3) at one crossing of St. Paul's fracture zone at 37°W. Sonobuoys 196 and 199 are located on the landward side of the ridge near sonobuoy 198. Both of the landward sonobuoys show at least 1.5 km thicker sediments than sonobuoy 198.

Hence from the new sonobuoy data from the landward and seaward sides of the North Brazilian ridge, we can conclude the following: (1) Basement is consistently deeper on the landward side of the North Brazilian ridge than on its seaward side by at least 1.0 to 2.0 km. (2) Acoustic basement on the two sides of the ridge may represent layer 2 in some cases and layer 3 in others. (3) The east-west segment of the North Brazilian ridge lying between longitudes 35° and 39°W can be considered as lying within the general «zone» of Romanche fracture zone. (4) Knowledge regarding the westward extension of St. Paul's fracture zone is still very inadequate.

#### Results of Sonobuoy Profiles on the Shelf off Northern Brazil

Section CD (Fig. 4, location on Fig. 1) has been drawn from results of sonobuoy profiles made on the shelf during this survey.

This section shows the results from 10 sonobuoys shot in approximately a straight line between 37.5°W and 40.5°W. As is clear from the profiler record CD (Fig. 1), the topography in the area of the section is very rough and is marked by numerous submarine canyons. These canyons have been described by

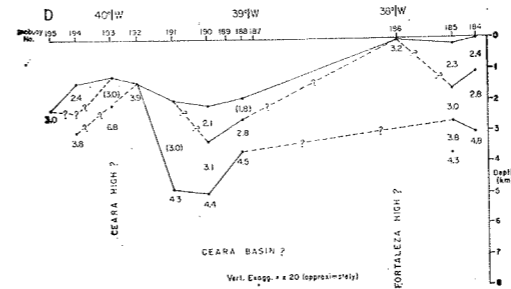


Fig. 4 — Structure section between points C and D, based on sonobuoy profiles. Location of section is shown in Fig. 1. Corresponding reflection profiles are between C and D in Fig. 2. Velocities are shown in km/sec. Values in parenthesis indicate assumed velocities.

Ealey (1969). Such rough topography as is present on the slope in the area of the section makes the interpretation of sonobuoy results very difficult. However, we have included only those velocity measurements in our section which were considered reliable. The velocities have been corrected for average slope of the sea floor and for dips in beds underneath. In drawing the section we have divided velocities into the following groups: (1) 1.8 to 2.4 km/sec, (2) 2.8 to 3.2 km/sec, (3) 3.8 to 4.8 km/sec, and (4) a single velocity measurement of 6.8 km/sec. The number of velocity measurements involved in section CD (Fig. 4) is too little to make this grouping statistically significant (see for example, Bryan and Simpson, 1971; Talwani and Eldholm, 1972). However, the groupings of velocities are supported to some extent by measurements on other parts of the shelf.

The most important feature of section CD (Fig. 4) is the presence of 6.8 km/sec material fairly close to the surface under sonobuoy 186 (38°W) by the exposure of 3.2 km/sec material at the surface. A sonobuoy profile (not on section CD) at 43.3°W also indicated a shallow occurrence of material with a velocity of 6.2 km/sec. Miura (this volume) shows a continuous series of «highs» on his Figure 3 which have been termed Fortaleza high near 38°W, Ceara high between 39° and 41°W, Atlantic high between 41° and 42°W, and Arpoador high between 42° and 43°W. Thus the location of sonobuoy 193 corresponds with the location of Ceara high, the location of sonobuoy 186 with the location of Forta-

leza high and the location of the sonobuoy at 43.3°W with the location of the Major syncline and Queimados-Arpoador high. According to Miura (this volume), these highs originated during Coniacian-Santonian (upper Cretaceous) folding and thrust faulting.

In Miura's Figure 4 ((E-E')), the Atlantic high is shown to contain Precambrian crystalline rocks. Velocity measurement of 6.2 to 6.8 km/sec supports the notion that these highs consist of Precambrian crystalline material. In a study of continental margin off Sierra Leone, Sheridan et al. (1969) also correlated velocities between 6.1 to 6.5 km/sec with crystalline continental crust. Velocities for granitic material range between 5.6 to 6.7 km/sec (Drake and Nafe, 1968). Drake and Nafe (1969) also found that most of the shallow (less than 10 km) velocities in Precambrian basement concentrated between 5.5 and 6.5 km/sec.

According to Miura the projection of the Chain fracture zone could be placed in the Fernando de Noronha, Atol das Rocas, and several intrusives in the continental shelf of the Potiguar basin and Fortaleza high lineation. Our section CD (Fig. 4) has an indication of a «high» under sonobuoy 186. Furthermore, in Miura's reconstruction, the foldings of the Maranhão-Ceara coast can be correlated with the southwest projection of the Romanche fracture zone. In Miura's view, this folding could have originated due to compressional forces generated by motion along this fracture when the continents finally separated. According to Miura, the east-west folds, reverse faults, Queimados-Arpoador, Atlantic and Ceara highs, and some transcurrent faults were developed when the continents finally separated.

Francheteau and Le Pichon (1972) suggested that equatorial fracture zones formed northern boundaries for coastal basins: The St. Paul's fracture zone formed the northern boundary of the Marajo basin (just east of the mouth of the Amazon river), the Romanche fracture zone formed the northern limit for the São Luis and Barreirinhas basins, and the Chain fracture zone formed the northern boundary for the Potiguar basin. However, the actual nature of these northern boundaries was not clear to Francheteau and Le Pichon (1972). Based on our sonobuoy data and Miura's interpretations, we can assume that the Romanche fracture zone has some



relationship with the highs formed by Precambrian rocks. These Precambrian highs formed the northern boundaries for the offshore Barreirinhas, Piauí, and Ceará basins. Similarly we can also accept the landward extension of the Chain fracture zone in the Fortaleza high area. However, the landward extension of St. Paul's fracture zone still remains an open question. Cochran's interpretation also supports the extension of the Romanche fracture zone through the Ceará terrace at 40°W. Ealey (1969) reports that the steepest sustained gradients on the continental slope are between 40° and 41°W.

Thus our sonobuoy data from the shelf support the following:

- (1) The Romanche fracture zone enters the continent near 40°W and has a close relationship with the highs of Precambrian rocks at the edge of the shelf between 40° and 43°W.
- (2) The Chain fracture zone enters the continent between 37° and 38°W and has a close relationship with the Fortaleza high.
- (3) The westward extension of St. Paul's fracture zone is still not clear.

#### DISCUSSION

Our data lend support to the hypothesis that the North Brazilian ridge is made up, at least in part, of extensions of the major equatorial fracture zones, which ultimately connect with the continent. The Chain fracture zone appears to extend into the continent near the Fortaleza high and the Romanche fracture zone appears to extend into the Ceará, Atlantic and Queimados-Arpoador highs. We suggest that these highs were formed along lines of weakness in the Precambrian basement. As the African and South American continents split away from each other, these lines of weakness determined the locations of the fracture zones. Hence today these fracture zones appear to extend into the continent along these Precambrian highs.

Within the framework of this model there remains the problem of delineating the boundary between the ocean and the continent. Miura (1973, this volume) has suggested that the North Brazilian ridge may be related to the ocean-continent boundary. Arens et al. (1971) suggest that a «major continental rise fault» connects the St. Paul's and Romanche fracture zones off the African margin. Talwani and Eldholm (1973) suggested

that this fault may be the boundary between ocean and continent. Features which they note as characteristic of such a boundary include contrasts in depth and age of basement and in the pattern of magnetic anomalies on either side, as well as the presence of negative isostatic anomalies on the landward side.

On the other hand Le Pichon and Hayes (1971) show that this hypothetical continental rise fault can be brought into close coincidence with the corresponding segment of the North Brazilian ridge by an early stage of opening from the Bullard fit, about a pole defined by the Romanche and St. Paul's fracture ridges. This implies that neither the North Brazilian ridge nor the continental rise fault is an ocean-continent boundary; the area landward of each feature would have been generated by sea-floor spreading.

Features which may be characteristic of an ocean-continent boundary are associated to some extent with both the North Brazilian ridge and the continental rise fault. In both cases basement is deeper on the landward side than on the seaward side. A magnetic quiet zone lies landward of the continental rise fault, and there is a slight indication of a change in magnetic activity across the North Brazilian ridge (Cochran, in press). These aspects, while suggestive, do not yield an unambiguous answer at the present time. Further seismic studies of the deep structure, down to the mantle, on both sides of the North Brazilian ridge are needed before the ocean-continent boundary can be delineated and its relationship to the North Brazilian ridge established.

#### CONCLUSIONS

- (1) The North Brazilian ridge is not a continuous feature extending from 34°W to 45.5°W. It is essentially continuous only between 34° and 38°W longitudes. West of 38°W the ridge contains gaps which become progressively wider to the west.
- (2) The acoustic basement is consistently 1.0 to 2.0 km deeper on the landward side of the ridge compared to the seaward side of the ridge. However, the basement may be composed of layer 2 in some cases and layer 3 in the others.
- (3) The Romanche fracture zone can be traced extending into the North Brazilian ridge near 1.8°S and the Chain fracture zone

extends into the Fernando de Noronha and Atol das Rocas chain of seamounts. These fracture zones can be further connected with the Precambrian highs on the shelf, which may have influenced the location of the fracture zones during initial rifting.

(4) The landward extension of St. Paul's fracture zone is still unknown. At the present time we cannot connect the east-west segment of the North Brazilian ridge between 41.5° and 45.5°W at the Equator with the St. Paul's fracture zone.

#### REFERENCES

- ARENS, G., DELTEIL, J. R., VALERY, P., DAMOTTE, B., MONTADERT, L., and PATRIAT, P. (1971) — The continental margin off the Ivory Coast and Ghana, in *The geology of the East Atlantic continental margin: Pt. 4, Africa: Great Britain Inst. Geol. Science Rept.*, nº 70/16, p. 61-78.
- BEURLEN, K. (1967) — *Estrutura Geologica do Nordeste do Brasil*, XXI Brazilian Geol. Congress Trans., p. 151-158.
- BOYER, P. R. (1969) — *Structure of the Continental Margin of Brazil, Natal to Rio de Janeiro*, unpublished Ph. D. Thesis, University of Illinois, Urbana, Illinois, 93 pp.
- BRYAN, G. M. and SIMPSON, E. S. W. (1971) — Seismic refraction measurements on the continental shelf between the Orange River and Cape Town, in *The Geology of the East Atlantic continental margin* (F. M. Delaney, Editor): Cambridge, ICSU/SCOR Working party 31. Symposium Institute of Geological Sciences Report Nº 70/16, p. 187-198.
- CLAY, C. S. and RONA, P. A. (1965) — Studies of seismic reflections from thin layers on the ocean bottom in the western North Atlantic, *J. Geophys. Res.*, v. 70, p. 855-870.
- COCHRAN, J. R. (in press) — Gravity and magnetic investigations in the Guiana Basin, western Equatorial Atlantic, manuscript submitted to *J. Geophys. Res.*, 24 pp.
- DAMUTH, J. E. (1973) — Western equatorial Atlantic: Morphology, Quaternary sediments and climatic cycles, unpublished Ph. D. Thesis, Columbia University, New York, 550 pp.
- DRAKE, C. L. and NAFE, J. E. (1968) — The transition from ocean to continent from seismic refraction data, in *The crust and upper mantle of the Pacific area* (L. Knopoff, C. L. Drake, and P. J. Hart, editors): Washington, D. C., American Geophys. Union, Geophys. Monograph nº 12, p. 174-186.
- EALEY, P. J. (1969) — Marine geology of North Brazil: A reconnaissance survey, unpublished Ph. D. Thesis, University of Illinois, Urbana, Illinois, 70 p.
- EMBLEY, R. and HAYES, D. E. (1972) — Site survey report for site 142, Initial reports of the deep sea drilling project, v. XIV, p. 377-388.
- EWING, J. (1969) — Seismic model of the Ocean, in *The earth's crust and upper mantle* (P. J. Hart, editor): Washington, D. C. American Geophys. Union, Geophys. Monograph nº 13, p. 220-225.
- WORZEL, J. L., EWING, M. and WINDISCH, C. (1966) — Ages of Horizon A and the oldest Atlantic sediments: *Science*, v. 154, p. 1.125-1.132.
- FERREIRA, E. O. (1972) — Explanatory note for the tectonic Map of Brazil: Rio de Janeiro, Departamento Nacional da Produção Mineral, 14 pp.
- FRANCHETEAU, J. and Le PICHON, X. (1972) — Marginal fracture zones as structural framework of continental margins in south Atlantic Ocean, *Am. Assoc. Petroleum Geologists Bull.*, v. 56, p. 991-1.007.
- HAYES, D. E. and EWING, M. (1969) — The structure of the north Brazilian continental margins (Abstract), *Geol. Soc. American Sp. Paper*, 121, p. 130-131.
- and EWING, M. (1970) — North Brazilian Ridge and adjacent continental margins, *Am. Assoc. Petroleum Geologists Bull.*, v. 54, p. 2.120-2.150.
- HEEZEN, B. C., BUNCE, E. T., HERSEY, J. B. and THARP, M. (1964a) — Chain and Romanche fracture zones, *Deep Sea Research*, v. 11, p. 11-33.
- GERARD, R. B., and THARP, M. (1964b) — The Vema Fracture Zone in the equatorial Atlantic, *J. Geophys. Res.*, v. 69, p. 733-739.
- FOX, P. J., JOHNSON, G. L., THARP, M. and BALLARD, A. (1969) — A fracture zone at 8°N (Abstract), *American Geophysical Union Trans.*, v. 50, p. 211.

#### ACKNOWLEDGEMENTS

This work was performed in cooperation with Petroleo Brasileiro S/A and the Brazilian Government. Primary financial support was provided by the National Science Foundation through the Office for the International Decade of Ocean Exploration under Grant GX-34410. R. Houtz helped in the reduction and interpretation of sonobuoy profiles. J. E. Damuth and J. Cochran gave us access to their unpublished data.

- HOUTZ, R., EWING, J., and LE PICHON (1968) — Velocity of deep-sea sediments from sonobuoy data, *J. Geophys. Res.*, v. 73, p. 2.615-2.641.
- LE PICHON, X., EWING, J., and HOUTZ, R. E. (1968) — Deep-sea sediment velocity determination made while reflection profiling, *J. Geophys. Res.*, v. 73, p. 2.597-2.613.
- and FOX, P. J. (1971) — Marginal offsets, fracture zones, and the early opening of the North Atlantic, *J. Geophys. Res.*, v. 76, p. 6.294-6.308.
- and HAYES, D. E. (1971) — Marginal offsets, fracture zones, and the early opening of the South Atlantic, *J. Geophys. Res.*, v. 76, p. 6.283-6.293.
- MESNER, J. C. and WOOLDRIDGE, L. C. P. (1964) — Maranhão Paleozoic basin and Cretaceous coastal basins, North Brazil, *Amer. Assoc. Petroleum Geologists Bull.*, v. 48, p. 1.475-1.512.
- MIURA, K. and BARBOSA, J. C. (1973) — Geologia da plataforma continental do Maranhão, Piauí, Ceará e Rio Grande do Norte, XXVI Brazilian Geol. Congress Trans., (in press).
- PAMPLONA, H. R. P. (1969) — Litoestratigrafia da bacia Cretácea de Barreirinhas, *Bol. Tec. Petrobrás*, v. 12, p. 261-290.
- PETERSON, M. N. A., EDGAR, N. T., VON DER BORSCH, C. C., GARTNER, S., GOLL, R. M., NIGRINI, C., CITA, M. and JOSEPHSON, P. (1970) — Initial reports of the deep-sea drilling projects, v. II: U. S. Govt. Printing Office, 501 pp.
- SHERIDAN, R. E., HOUTZ, R. E., DRAKE, C. L., and EWING, M. (1969) — Structure of continental margin off Sierra Leone, West Africa, *J. Geophys. Res.*, v. 74, p. 2.512-2.530.
- TALWANI, M. and ELDHOLM, O. (1972) — Continental margin off Norway: A geophysical study, *Geol. Soc. America Bull.*, v. 83, p. 3.575-3.606.
- and ELDHOLM, O. (1973) — The boundary between continents and oceanic crust at the margin of rifted continents, *Nature*, v. 141, p. 325-330.

## DELTA MORPHOLOGY IN RELATION TO THE DESCHARGE/WAVE-POWER CLIMATE

By

J. M. COLEMAN<sup>(1)</sup> and L. D. WRIGHT<sup>(1)</sup>

Coastal Studies Institute, Center for Wetland Resources Louisiana State University

### ABSTRACT

Procedures were developed to permit evaluation of the relative contribution of riverine versus marine forces to the construction of river deltas. Seven deltas, the Mississippi (USA), Danube (Romania), Ebro (Spain), Niger (Nigeria), Nile (Egypt), São Francisco (Brazil), and Senegal (Senegal), were found to represent a spectrum of delta types reflecting process regimes ranging from fluvial-dominated, low-wave-energy (Mississippi) to wave-dominated, low-fluvial-influence (Senegal). Deltas at the river-dominated end of the spectrum are characterized by highly irregular and protruding shorelines, a sparsity of wave-built features, and low lateral continuity of sands. Wave-dominated deltas exhibit straight shorelines characterized by well-developed barriers and beach ridges with high lateral continuity of sands.

The configuration and landform suite characteristic of any given delta depend to a considerable degree upon the wave power adjacent to the shore and upon river discharge relative to wave forces. Nearshore wave power is not correlative with deep-water wave power but, owing to frictional attenuation, is also a function of the subaqueous slope. River-dominated shoreline configurations result only when the river is able to build flat offshore profiles; where the subaqueous slope is steep, wave-built shoreline landforms dominate the delta.

### INTRODUCTION

Deltas are consequences of fluvial-marine interaction. Depending on the relative contribution of fluvial versus marine forces, deltas may assume a spectrum of configurations ranging from those resulting solely from the debouchment of the river to those which reflect little more than the energy regime of the receiving basin.

Shoreline geometries and dominant wave regimes strive to attain mutual adjustment. Lewis (1938) observed that embayed beaches orient so as to be parallel to the crests of the dominant waves. Later it was noted that the alignment of arcuate beaches is a response to

the wave refraction patterns, which in turn are dependent upon the subaqueous topography (Davies, 1958; Jennings, 1955). Recent approaches attempt to explain accumulation forms which are in approximate dynamic equilibrium along depositional coasts with a littoral drift (Zenkovich 1967; Larras, 1957). Generally, these studies have been based on the premise that alongshore gradients in sediment transport are proportional to longshore variations in the incident angle of the waves resulting from corresponding variations in the degree of wave refractions. Shoreline geometries are assumed to develop in such a way as to minimize or eliminate these gradients by creating a more uniform spatial distribution of forces.

To be thoroughly realistic, explanations must also take into account longshore variations in shoreline energy arising from differing degrees of frictional attenuation of wave energy over varying subaqueous slopes. Depending upon bottom roughness and wave characteristics, wave energy may be substantially dissipated over broad, gently sloping offshore profiles (Bretschneider, 1954; Bretschneider and Reid, 1954). Most wave-regime analyses ignore this effect, even though in many instances it may dominate energy distribution patterns. The amount of frictional attenuation may determine whether waves which reach the shore cause net seaward transport of material or lead to subaerial accretion. The subaqueous profile must therefore be considered (Zenkovich, 1967, chapters 2 and 4; Johnson

(1) This paper is based on results previously published in three preceding papers (Wright and Coleman, 1971; 1972; in press). Permission has been granted by The American Association of Petroleum Geologists for the use of copyrighted material.



TABLE 1

## CHARACTERISTIC DELTA MORPHOLOGIES

Coastline and River Mouth Configuration	Delta Shoreline Landforms	Delta Plain Landforms
<b>Mississippi</b>		
Highly indented coastline, multiple extended digitate distributaries — «bird foot»	Indented marsh coastline, sand beaches scarce and poorly developed	Marsh, open and closed bays
<b>Danube</b>		
Slightly indented with protruding river mouths	Marsh coastline with sand beaches adjacent to river mouth	Marsh, lakes, and abandoned beach ridges
<b>Ebro</b>		
Smooth shoreline with single protruding river channel	Low sand beaches and extensive spits with some eolian dunes	Salt marsh with a few beach ridges
<b>Niger</b>		
Smooth, arcuate shoreline, multiple river mouths slightly protruding	Sand beaches nearly continuous along shoreline	Marsh, mangrove swamp, and beach ridges
<b>Nile</b>		
Gently arcuate, smooth shoreline with two slightly protruding distributary mouths	Broad, high sand beaches and barrier formation with eolian dunes, beach ridges at distributary mouths	Floodplain with abandoned channels and a few beach ridges, hypersaline flats and barrier lagoons near present shoreline
<b>São Francisco</b>		
Straight, sandy shoreline with single slightly constricted river mouth	High, broad sand beaches with large eolian dunes	Stranded beach ridges and dunes
<b>Senegal</b>		
Straight coastline with extensive barrier deflecting river mouth, no protrusion	High broad sand beaches with large eolian dunes	Large linear beach ridges and swales, eolian dunes

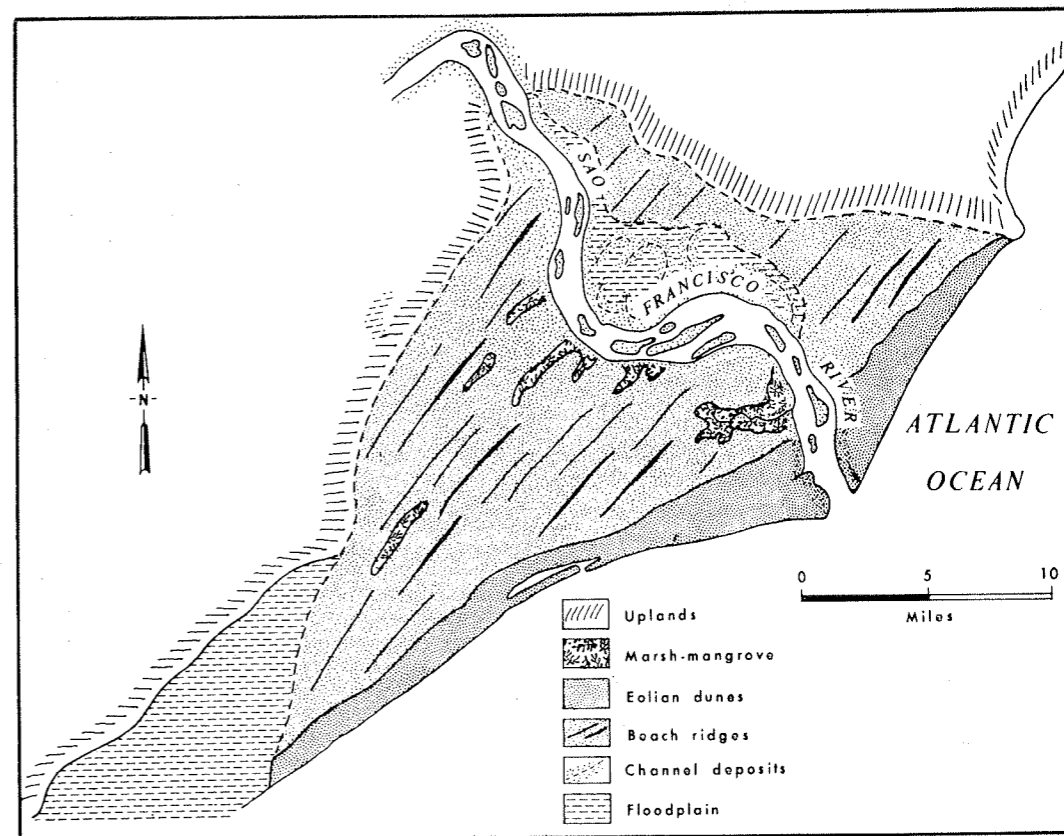


Figure 3. Salient geomorphic features in the São Francisco River delta.

in configuration from types that are almost totally river produced, through those reflecting approximately equal contributions from riverine and wave forces, to types that are completely wave dominated. Distinguishing morphological characteristics of each delta are listed in Table 1. The morphologies of four of these systems, the Mississippi, Niger, São Francisco, and Senegal, are illustrated in Figures 1-4.

At the river-dominated end of the sequence, the Mississippi delta (Fig. 1) is characterized by a highly indented marsh coastline of low relief with protruding digitate distributaries. Bays, marshes, swamps, and lakes are the most abundant features; wave-deposited sand features such as beaches and beach ridges are relatively rare and, when present, are subdued. Channel deposits oriented approximately normal to the general shoreline trend constitute the most significant sand bodies.

The Niger delta (Fig. 2) appears to be a product of approximately equal contributions from riverine and wave forces. Although this

delta possesses a significant river-produced bulge, the shoreline has been smoothed into a regular, rounded form by wave activity. Continuous beach and beach ridge formations fringe the coastline. Sand features are backed by mangrove swamp. Hence, sand bodies comprising the present and former shorelines of this delta should exhibit high lateral continuity; however, the wave-built sand bodies can be expected to be manifest as intermittent bands separated by extensive swamp deposits.

Wave dominance is evident in the landscapes of the São Francisco (Fig. 3) and Senegal (Fig. 4) deltas. The São Francisco River has succeeded in building only a slight protrusion in the immediate vicinity of the river mouth; the delta coastline has, on the whole, been straightened and made regular by wave activity. The coastline and deltaic plain consist almost entirely of beach ridges and dunes composed of clean, well-sorted sands. In the case of the Senegal delta, wave forces have totally overcome riverine forces to deflect the river mouth and build a straight barrier

coastline. Sand barriers, beaches, and dunes are the most common features of the deltaic plain. Extensive wave-built beach ridge plains and sand sheets are by far the most significant sand bodies in the São Francisco and Senegal deltas.

The deltaic configurations and morphologies just described are explicable to a considerable extent in terms of discharge and wave regimes and their mutual interactions. Figures 5-8 illustrate the spatial and temporal distribution of wave power at the 30-foot-depth contour and adjacent to the shoreline around the Mississippi, Niger, São Francisco, and Senegal deltas, together with annual discharge curves, dimensionless curves showing comparative temporal distribution of discharge and wave power, and annual discharge effectiveness index curves. These diagrams indicate that variability in the discharge/wave-power climate parallels the variability of delta landscapes.

Figure 5 shows weighted mean wave power for each month at several points along the coast of the Mississippi delta at the 30-foot contour and in the nearshore zone. Note that the wave power histogram for the 30-foot contour (histogram A) is graduated in intervals of 100-ft-lbs/sec, whereas that for the nearshore zone (histogram B) is graduated in intervals of 0.1 ft-lbs/sec. Wave power is reduced more than 1,000 times between the 30-foot-depth contour and the shoreline through the mechanism of frictional attenuation over a gentle offshore slope. Thus waves are reduced to impotence before reaching shore. Only near distributary mouths where offshore slopes are comparatively steep and where refraction causes concentration of power do nearshore waves possess significant power. It is in zones adjacent to distributary mouths that sand beaches are best developed. Embayments with irregular marsh shorelines are fronted by the most widely spaced depth contours; wave power is almost totally dissipated, allowing riverine and biologic agencies to mold the landscape.

River discharge (Fig. 5, curve A) is high throughout the year, but pronounced maxima and minima occur in May and October, respectively. The discharge effectiveness index (curve C) ranges from a minimum value of 491 in October to a maximum of 39,500 in June; the mean is 5,477 and the coefficient of variability is 1.98. The extreme range is due to the fact that high spring discharges are accompanied by low wave power (curve B),

whereas minimum discharge coincides with maximum wave power. Temporal correspondence between discharge and wave power would necessarily have resulted in more moderate discharge effectiveness indices. During the period of maximum discharge effectiveness the river is able to debouch large volumes of sediment with a minimum of interference from waves. Channel sands are thus able to accumulate seaward of the mouths without significant lateral dissemination. This favors the seaward progradation of long, narrow distributaries and must undoubtedly play a role in the occurrence of shoestring sands. Finer suspended material is spread over the bottom in large volume, further reducing the subaqueous slope and thereby maintaining the low nearshore power levels.

The Niger delta wave power diagram (Fig. 6) shows a substantial increase in nearshore wave power as compared with that of the Mississippi, Danube, and Ebro. Note that one division on histogram B now represents 1.0 ft-lbs/sec rather than 0.1 ft-lbs/sec. Wave power at the 30-foot contour, however, is lower than that of the Mississippi. Discharge exhibits high seasonality, and a broad flood peak occurs from August through November. The maximum discharge of  $932.6 \times 10^3$  cusecs is not appreciably lower than the maximum for the Mississippi; however, the Niger's discharge is disseminated by numerous radiating distributaries. Consequently, the discharge effectiveness index is low: a maximum of 16.1, a mean of 4.4, and a coefficient of variability of 1.10. Although the total discharge has enabled the river to build a broad arcuate protrusion by means of its multiple radiating outlets, the coastline lacks local protrusions and irregularities owing to the greater relative ability of the waves to rework and mold the sediments.

The São Francisco delta exhibits definite effects of wave supremacy. Accordingly, Figure 7 reveals that nearshore wave power is much higher than that of the Nile (mean of 22.4 ft-lbs/sec). Wave power at the 30-foot-depth contour is higher than that prevailing along any of the delta coasts considered in this report. Note that one division on histogram B represents 10.0 ft-lbs/sec. The coast is aligned so that after refraction the orthogonal of the southeasterly waves are everywhere normal to shore; however, the easterly waves impinge at an angle acute enough to generate appreciable longshore drift to the

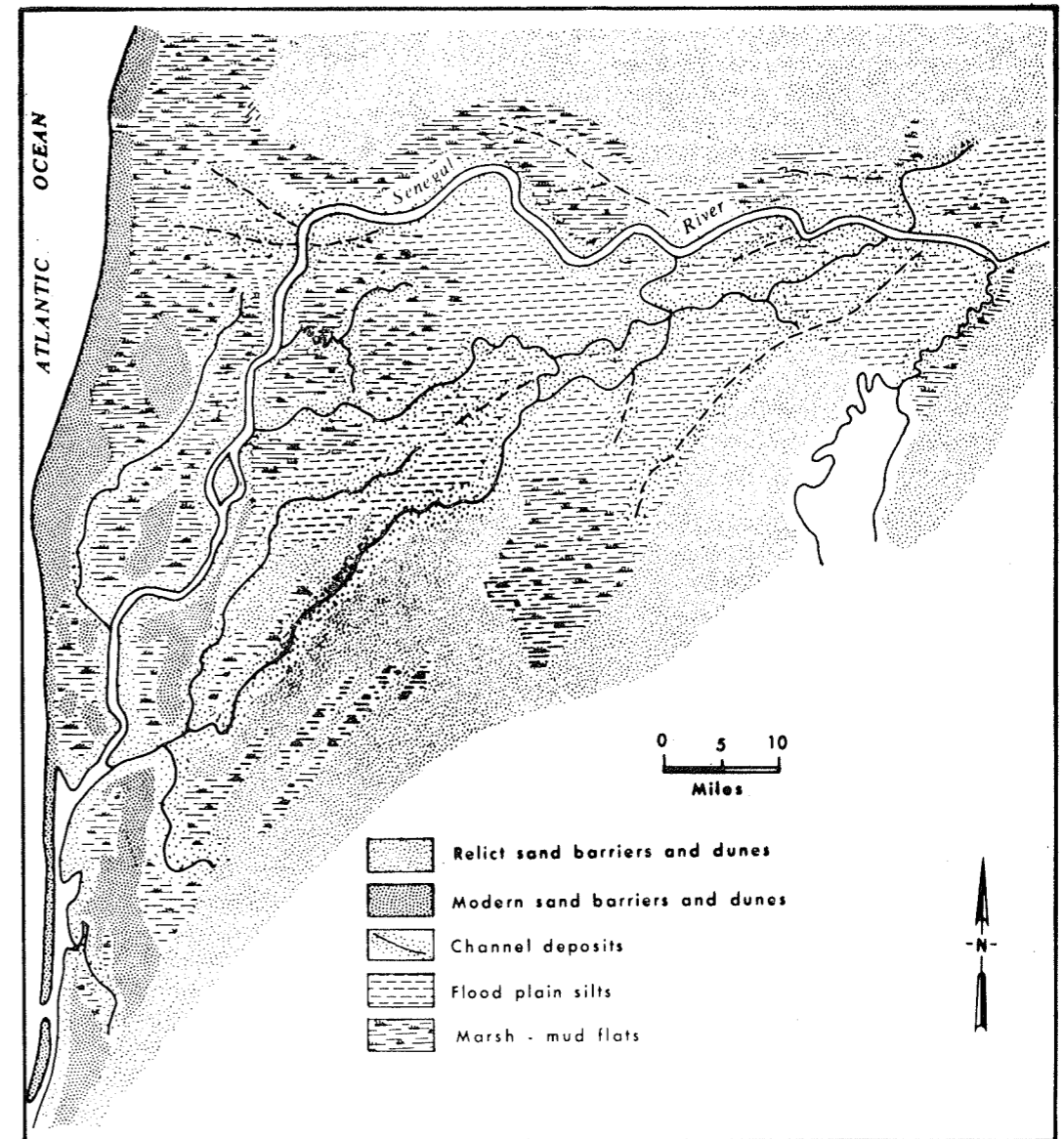


Figure 4. Salient geomorphic features in the Senegal River delta.

southwest. Hence the greatest accumulation of sands lies to the southwest of the river mouth.

The river has a mean annual discharge of 20,700 cusecs, and a significant discharge peak is recorded in March. Although discharge and wave power maxima occur in opposite seasons, wave power is sufficiently high the year around to result in low discharge effectiveness: the mean is 1.3 and the maximum is only 3.2. Consequently, the coast is comprised of straight, regular beaches; only in the immediate vicinity of the river mouth has the river been able to build a slight protrusion.

Wave power at the 30-foot contour seaward of the Senegal delta (Fig. 8) is somewhat lower than that of the São Francisco; however, owing to the steep offshore slope, nearshore power is several times higher than in the case of the São Francisco; the mean is 84.6 ft-lbs/sec, the maximum is 186.3 ft-lbs/sec, and the minimum is 28.0 ft-lbs/sec. Dominant waves arrive from the northwest and, even after refraction orthogonal, are oblique to the coast, resulting in a strong longshore component directed toward the south. This accounts for the pronounced southerly

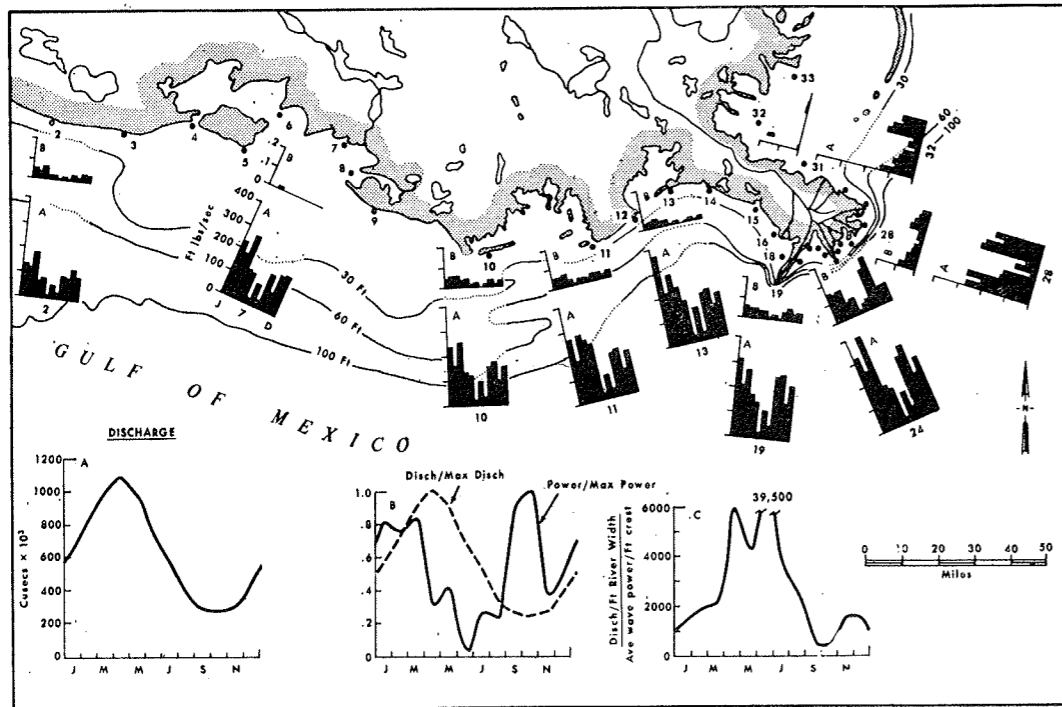


Figure 5. Discharge/wave-power climate of the Mississippi River Delta. Histogram A: wave power in ft-lbs/sec at the 30-foot contour. Histogram B: wave power near the shoreline. Curve A: discharge in cubic feet second. Curve B: dimensionless discharge and nearshore wave power (normalized to maximum). Curve C: discharge effectiveness index.

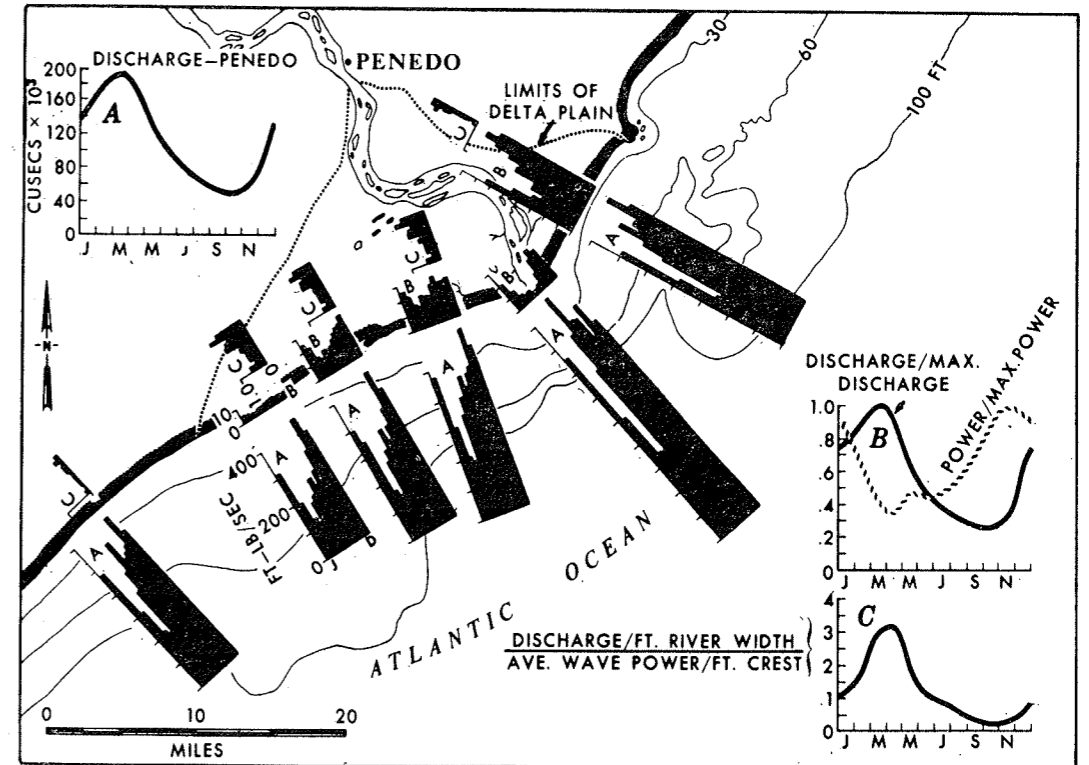


Figure 7. Discharge/wave-power climate of the São Francisco River delta.

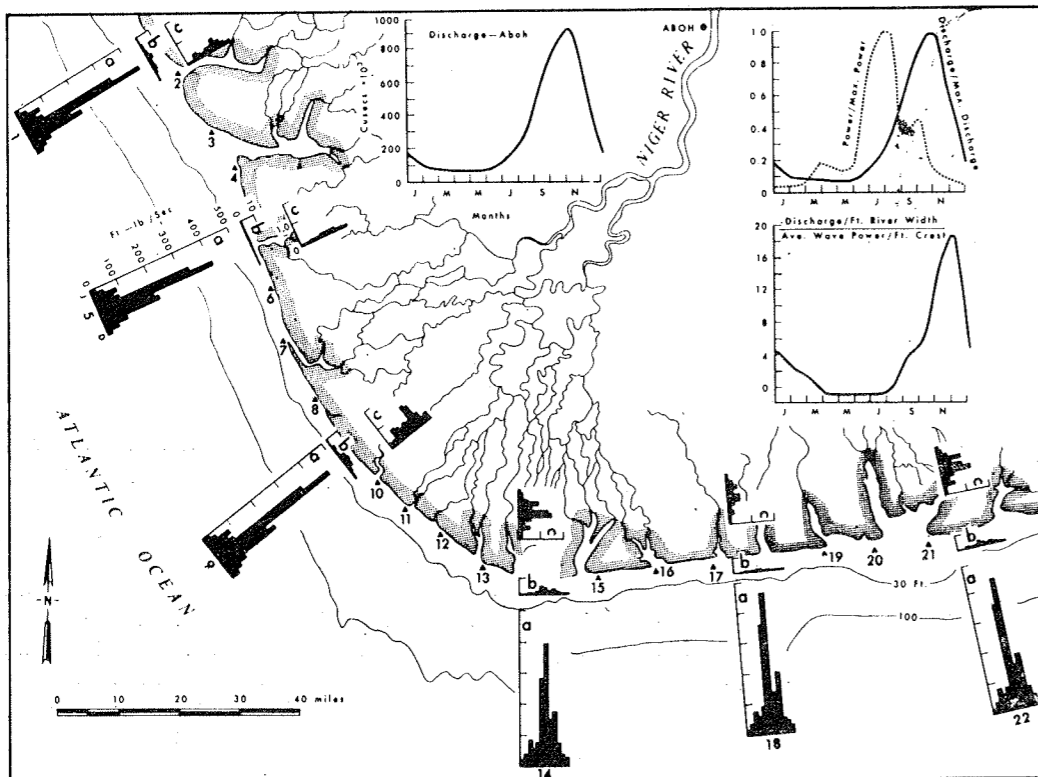


Figure 6. Discharge/wave-power climate of the Niger River delta.

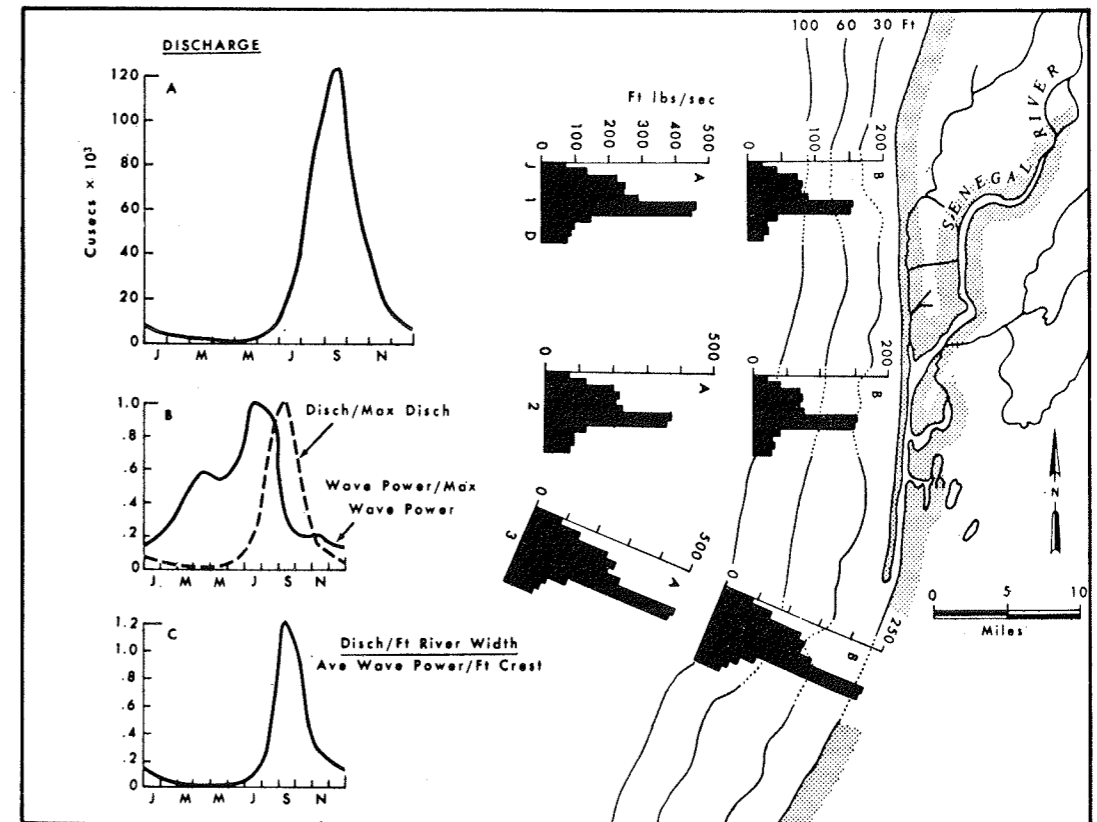


Figure 8. Discharge/wave-power climate of the Senegal River delta.

deflection of the river mouth. The Senegal exhibits greater annual discharge variability than any of the other deltas: discharge ranges from a minimum of 300 cusecs in May to a maximum of 122,100 cusecs in September; the mean is 27.2 cusecs and the coefficient of variability is 1.46. Even during river flood, wave power is high relative to discharge. Discharge effectiveness index values range from a minimum of 0.01 to a maximum of 1.21 (mean of 0.26). Consequently, the coastline of the Senegal delta is totally wave dominated; the extensive sand barriers which characterize the delta landscape show little riverine-produced irregularity.

### DISCUSSION

Mean annual values for deepwater and nearshore wave power, mean annual discharges, discharge effectiveness indexes, and attenuation ratios are presented in Table 2. Table 1 indicates a progressive decrease in river-built features — such as digital distributaries, open bays, broad marshes, and crevasses — and an ascendancy of features — such as beach ridges, dunes, spits, and barrier formations — which are responses to high wave energy. These geomorphic tendencies are not explicable in terms of either deepwater wave power or river discharge (Table 2); however, there is a close correlation with the discharge effectiveness index and, to a slightly lesser extent, with the nearshore wave power.

The Mississippi has higher deepwater wave power than the Danube, Ebro, and Niger, and the values for the São Francisco is more than

twice that of the wave-dominated Senegal. The fact that morphology and nearshore wave power in no way parallel deepwater wave power is of primary significance. This reflects the fundamentally important role of frictional attenuation and the consequently varying degrees of power loss owing to different subaqueous slopes. Attenuation increase with decreasing offshore slope. Figure 9 shows the average offshore slope configuration for each of the seven deltas. Slopes are flat and convex seaward of the low-energy deltas; they increase in steepness and concavity toward the high-energy end of the delta spectrum. Similarly, between sectors of individual deltas steep, concave slopes are contingent with zones of high nearshore wave power. This is consistent with the general tendency for wave-built profiles of equilibrium to be concave (Zenkovich, 1967).

The subaqueous profile fronting a delta can therefore be regarded as a control that determines the power of waves that reach the shore. For any particular regional continental shelf slope, the subaqueous slope will depend on the ability of the river to discharge sediments faster than they can be removed by waves.

It is concluded from the analyses so far completed that the morphologies of river deltas are, to a considerable degree, functions of river discharge and the strength of wave forces near the delta shoreline. The latter cannot be assumed to be proportional to the wave power in deep water but depends primarily on the subaqueous profile. Hence, before a river can effectively oppose the sea to develop a river-

TABLE 2

MEAN ANNUAL SUMMARIES OF DISCHARGE/WAVE-POWER CLIMATES AND ATTENUATION RATIOS OF SEVEN DELTAS

Delta	Mean Annual Deepwater Wave Power ft-lbs/sec	Mean Annual Nearshore Wave Power ft-lbs/sec	Mean Discharge cusecs x 10 <sup>3</sup>	Mean Annual Discharge Effectiveness Index	Mean Annual Attenuation Ratio
Mississippi ...	237.4	0.03	624.6	5477.0	7913.3
Danube .....	51.7	0.03	222.0	1171.0	2585.0
Ebro .....	168.8	0.11	19.5	267.8	1299.5
Niger .....	152.1	1.43	384.8	4.4	102.8
Nile .....	306.2	7.49	52.2	3.2	42.5
São Francisco .	834.6	22.40	110.2	1.3	37.2
Senegal .....	351.9	84.60	27.2	0.3	4.2

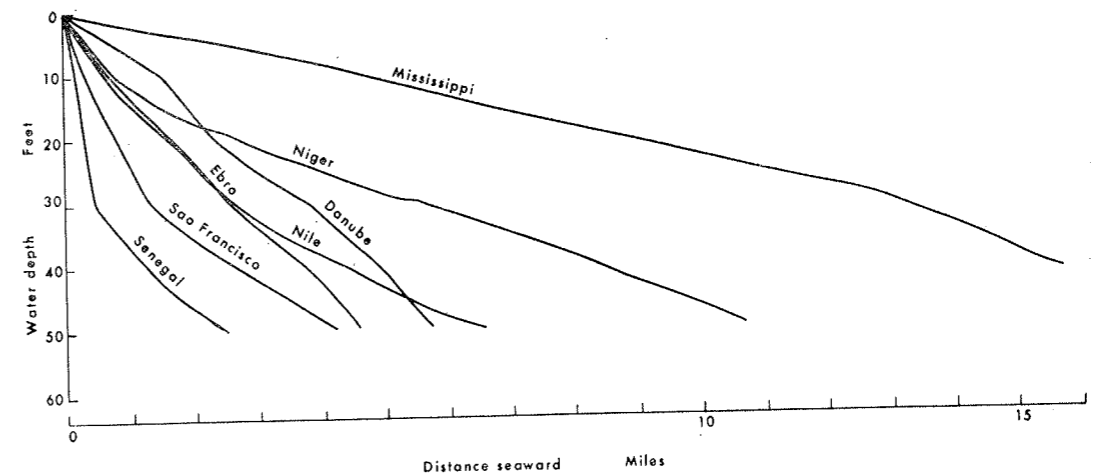


Figure 9. Average subaqueous profiles of seven deltas discussed in text.

dominated deltaic configuration it must first build a flat shallow offshore profile to attenuate incoming waves. The actual subaqueous profile which accumulates in front of a particular delta depends partially on the regional slope of the continental shelf but primarily on the rate at which the river can supply sediments to the nearshore zone. River-dominated configurations result only when the river is able to build flat

offshore profiles which reduce nearshore wave power.

### ACKNOWLEDGMENTS

This research was supported by the Geography Programs, Office of Naval Research, under Contract N00014-69-A-0211-0003, Project NR 388 002, with the Coastal Studies Institute, Louisiana State University.

### REFERENCES CITED

- BRETSCHNEIDER, C. L. (1954) — Field investigation of wave energy loss in shallow water ocean waves. U.S. Army Corps of Engineers Beach Erosion Board Tech. Memo, n.º 46, p. 1-21.
- (1966) — Wave generation by wind, deep and shallow water, in (A. T. Ippen, ed.) Estuary and Coastline Hydrodynamics. New York, McGraw-Hill Book Co., p. 133-196.
- , and R. O. REID (1954) — Modification of wave height due to bottom friction, percolation and refraction. U.S. Army Corps of Engineers Beach Erosion Board Tech. Memo, n.º 45, 36 pp.
- COLEMAN, J. M. and L. D. WRIGHT (1971) — Analysis of major river systems and their deltas: procedures and rationale, with two examples. Louisiana State Univ., Coastal Studies Inst. Tech. Rept. 95, 125 pp.
- DAVIES, J. L. (1958) — Wave refraction and the evolution of shoreline curves. Geographical Studies, v. 5, n.º 2, p. 51-52.
- JENNINGS, J. N. (1955) — The influence of wave action on coastal outline in plan. Australian Geographer, v. 6, p. 36-44.
- JOHNSON, J. W. and P. S. EAGLESON (1966) — Coastal processes, in (A. T. Ippen, ed.) Estuary and Coastline Hydrodynamics. New York, McGraw-Hill Book Co., p. 404-492.
- KEULEGAN, G. H., and W. C. KRUMBEIN (1949) — Stable configuration of bottom slope in a shallow sea and its bearing on geological processes. Trans. Amer. Geophys. Union, v. 30, p. 855-861.
- LARRAS, J. (1957) — Plages et cotes de Sable. Paris, Eyrolles, 117 pp.
- LEWIS, M. V. (1938) — The evolution of shoreline curves. Proc. Geological Assoc., v. 59, p. 107-127.
- WRIGHT, L. D., and J. M. COLEMAN (1971) — The discharge/wave-power climate and the morphology of delta coasts. Proc. Assoc. Amer. Geographers, v. 3, p. 186-189.
- (1972) — River delta morphology: wave climate and the role of the subaqueous profile. Science, v. 176, p. 282-284.
- in press — Variations in the morphology of major river deltas as functions of the ocean wave and river discharge regimes, with seven examples. Bull. Amer. Assoc. Petroleum Geologists.
- ZENKOVICH, V. P. (1967) — Processes of coastal development. New York, John Wiley & Sons, 739 pp.

# SEDIMENTOLOGIA DA PLATAFORMA CONTINENTAL NORTE BRASILEIRA

Por

MALVINA POMERANCBUM<sup>(1)</sup> e MARCIO PAULO DE ATAIDE COSTA<sup>(2)</sup>

## ABSTRACT

The following results on the study of sediments off the Northern Brazilian Continental Shelf, between 44 to 51°W longitude and 3°N to 3° S latitude are presented:

- lateral granulometric variation
- histograms and cumulative curves
- lateral and areal variation of the studied statistical parameters
- lateral variation of the heavy minerals
- sedimentary petrologic provinces map
- sedimentary facies map

An analysis of the granulometric distribution pattern, textural and mineralogical maturity, provenance, sedimentary petrologic provinces, sedimentary facies and general stratigraphic conditions, is presented.

## INTRODUÇÃO

A região estudada compreende a plataforma continental norte do Brasil ao longo dos Estados do Maranhão, Pará e Território do Amapá.

É nesta plataforma que desemboca o mais volumoso rio do mundo, o Amazonas, cujo débito fluvial é de 175.000 m<sup>3</sup>/seg (Gibbs, 1967), cinco vezes maior que o Congo e onze vezes maior que o Mississipi (Oltman, 1966), drenando uma área de 10<sup>6</sup> km<sup>2</sup> (Keller, 1962), contribuindo com 18% da descarga fluvial mundial (Davis, 1964).

O presente estudo foi feito com amostras coletadas a bordo do N<sup>o</sup>c «Almirante Saldanha» durante a operação Geomar I realizada em junho de 1969 pela DHN do Ministério da Marinha em cooperação com o DNPM do Ministério das Minas e Energia, Petrobrás, e Instituto de Geociências da UFRJ, com o intuito específico de fazer o levantamento geológico e

geofísico da Plataforma Continental Norte do Brasil.

O estudo dos sedimentos da plataforma continental norte brasileira é uma tentativa de contribuição para um melhor conhecimento de sua proveniência, transporte, dispersão e ambiente de sedimentação. Ele foi baseado em análise mineralógica quantitativa de minerais pesados transparentes — que embora representem pequeníssima parcela podem apresentar variações mineralógicas qualitativa e quantitativamente — e granulometria da fração arenácea, sendo estudadas 100 amostras de sedimentos de fundo coletadas por busca-fundo tipo Dietz-Lafond, dragas retangulares e amostrador tipo Emery-bottom-samples.

## AREA ESTUDADA

A área em estudo compreende parte da plataforma continental brasileira que se estende da foz do Parnaíba, entre os Estados do Maranhão e Piauí, até a ilha de Maracá, no litoral do Território do Amapá (Fig. 1).

A coleta de amostras obedeceu a um percurso em zigue-zague, de modo a preencher os trechos não cobertos em comissões anteriores. Os pontos de coleta de amostras podem ser visualizados na Fig. 2.

## MÉTODOS DE ANALISE

Os sedimentos foram separados por peneiração a úmido em peneira de 62  $\mu$  de aber-

(1) Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais — LAMIN — RJ.

(2) Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais — REMAC — RJ.

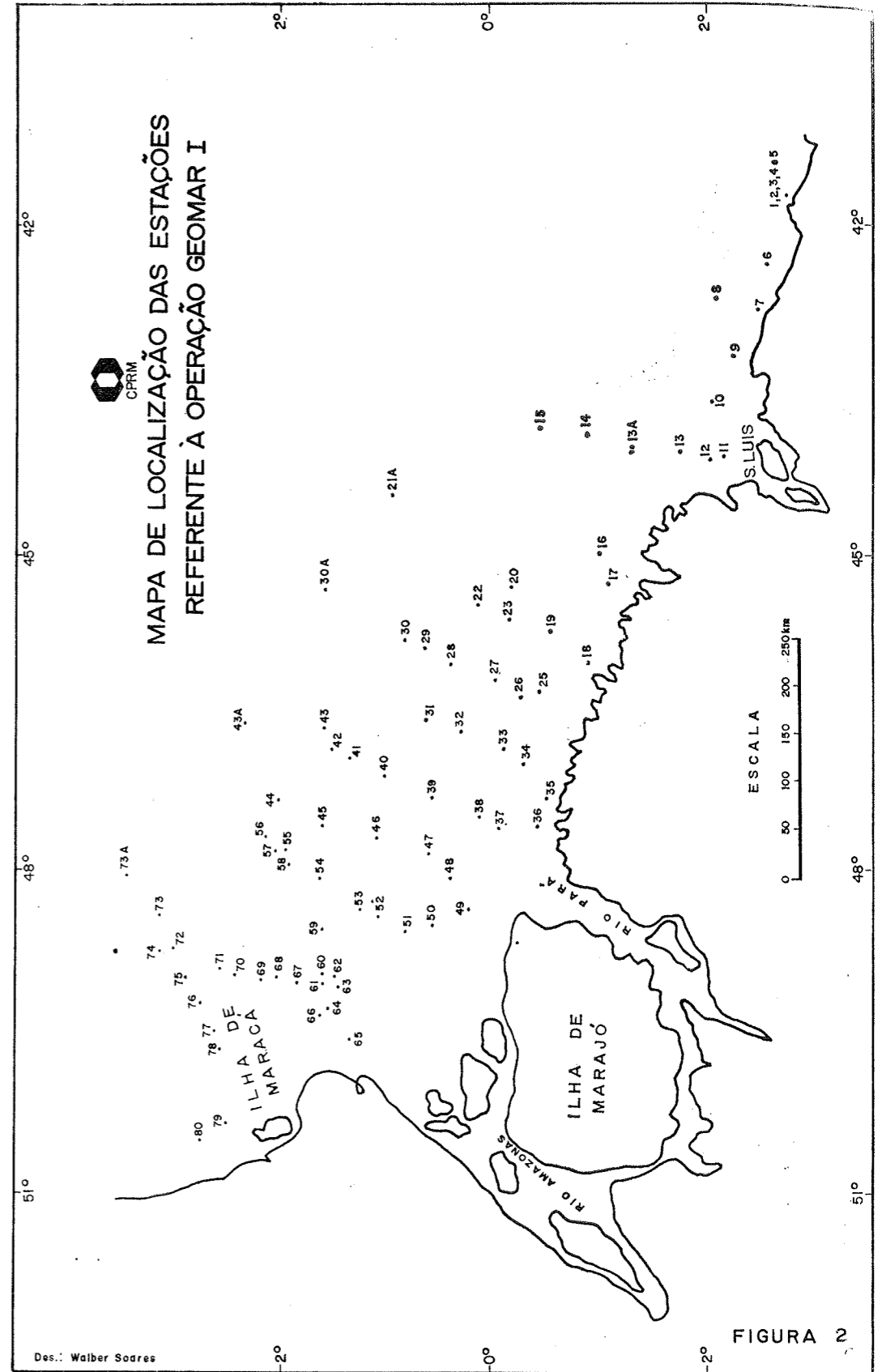
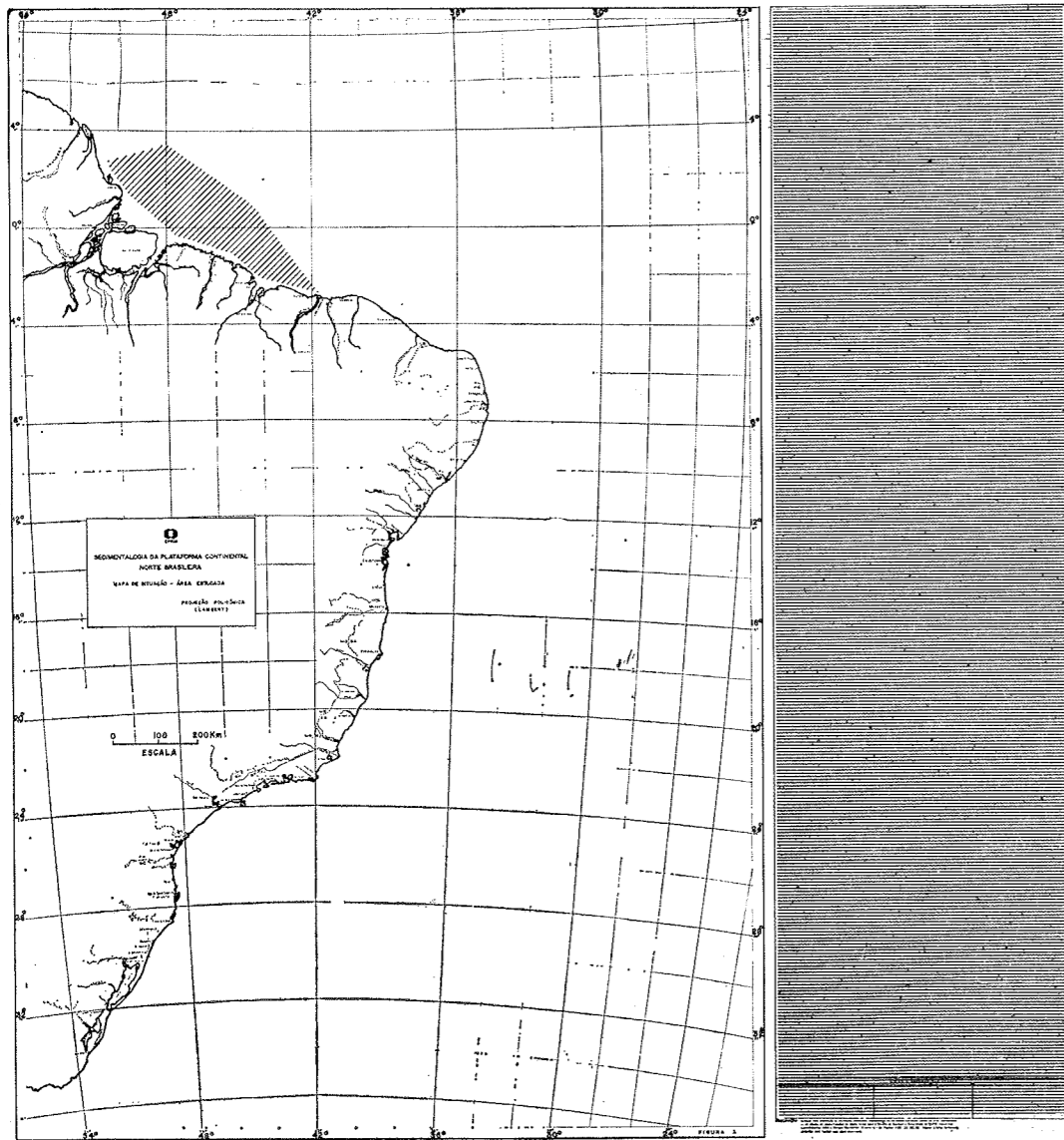


tura, pesados após secos e calculadas as devidas porcentagens de areia e silte + argila. Os resultados foram plotados na Tabela 1.

A granulometria foi feita por peneiração no Ro-Tap durante 10 minutos, sendo usada a escala de Wentworth para areia muito fina, fina, média, grosseira, muito grosseira e grânulo (Wentworth, 1922), sendo suas porcentagens absolutas calculadas. Os resultados constam na Tabela 1 e foram plotados em perfis de variação lateral da porcentagem cumulativa (Fig. 3), em histogramas e curvas cumulativas de cada amostra em separado (Fig. 4), tendo também sido obtidos a partir destas curvas cumulativas o valor da mediana,

assim como calculados os parâmetros estatísticos de classificação e assimetria (Krumbein e Pettijohn, 1938), valores plotados na Fig. 5. Foram feitos mapas de distribuição do modo, a partir dos histogramas (Fig. 6), mediana (Fig. 7) e assimetria (Fig. 8).

A concentração de minerais pesados foi feita por meio de bromofórmio (densidade 2.89-2.90) variando a quantidade de material usado, segundo seu teor em minerais pesados, sendo calculadas suas porcentagens relativas; levando em conta nossa experiência anterior de que entre 100 e 200 determinações e diferença percentual seria da ordem de 4% apenas, foram determinados 100 minerais pe-



ESTACÃO	AMOSTRA	RELAÇÃO AREIA: FINOS PESO %		GRANULOMETRIA						MEDIDAS ESTADÍSTICAS			
		AREIA	FINOS	PESO %						Ma	So	As	
				MICRAS									
GMI	A			2.000	1.000	500	250	125	62				
40	49-D	99.88	0.12	0.41	0.98	11.30	75.33	11.59	0.19	1.3	408	1.2	- 0.16
41	50	100.00		5.38	4.78	15.50	60.05	14.00	0.07	1.5	354	1.3	0.16
42	51-D	99.97	0.03	13.40	12.89	46.29	24.78	2.47		0.6	660	1.45	0.16
44	53-D	98.95	1.05	1.83	1.14	1.62	16.78	76.99	0.32	2.5	176	1.2	0.16
45	54-D	98.2	3.35	8.33	3.27	8.61	18.95	35.99	21.41	2.3	204	1.95	0.42
46	55-D	91.94	8.06	0.33	0.31	0.48	4.32	58.75	27.64	2.7	158	1.45	- 0.4
47	57-D	61.53	38.47	0.08	0.25	1.02	17.29	37.57	5.30	2.7	158		
48	59-D	12.1	87.8										
49	61-D	1.4	98.6										
50	64-BF	4.5	95.5										
52	67-BF	0.6	99.4										
53	69-BF	1.2	98.8										
54	71-BF	97.21	2.79		0.19	0.92	39.21	54.04	2.89	1.2	437	1.35	- 0.1
	72-D	94.96	5.04		0.05	0.70	33.15	59.08	1.88	2.0	250	1.2	- 0.24
55	73-BF	95.56	4.44	4.10	3.40	5.62	15.02	54.27	13.25	2.5	176	1.4	0.32
56	74-BF	99.46	0.54	0.54	1.67	3.42	25.27	68.19	0.18	2.4	188	1.25	0.1
57	75-BF	93.65	6.35	2.21	1.58	3.47	9.48	44.09	32.75	2.8	144	1.4	0.16
	76-D	92.31	7.69	1.10	1.53	4.56	9.86	38.81	35.66	3.0	125	1.5	0.32
58	77-BF	98.85	1.15	0.05	0.36	1.55	52.39	43.51	0.96	2.0	250	1.3	0
59	78-BF	0	100.00										
60	80-BF	1.8	98.2										
	82-D	1.8	98.2										
61	83-BF	4.5	95.4										
62	85-BF	1.5	98.5										
63	87-BF	3.3	96.7										
64	89-BF	4.4	95.6										
65	91-BF	67.8	32.2		0.01	0.05	3.63		63.97				
66	92-BF	3.4	96.6										
67	95-BF	11.8	88.2										
68	97-BF	14.1	85.9										
69	100-BF	36.54	63.46		0.24	0.45	0.90	12.91	22.08				
70	101-BF	61.8	38.2		0.02	0.04	0.22	9.63	51.64	3.7	77		
71	103-BF	43.2	56.88	0.11	0.04	0.04	0.04	1.07	41.81				
72	104-BF	98.67	1.33	2.26	7.50	16.97	25.41	44.57	1.86	2.0	250	1.5	0.5
	105-D	99.80	0.20	0.65	4.00	13.66	41.70	39.53	0.20	1.8	288	1.5	0.10
73	106-BF	56.5	43.5	15.00	9.16	7.89	14.31	8.37	1.34	2.6	165		
74	107-BF	98.97	1.03	1.02	1.08	9.68	71.36	14.72	0.41	1.4	369	1.45	- 0.06
	108-BF	86.4	13.6	8.73	7.93	7.00	22.31	32.86	11.40				
	109-D	95.1	4.9		0.84	1.80	16.56	63.48	12.51				
75	110-BF	84.41	15.59	0.62	3.50	6.68	28.92	32.01	11.70	2.2	218	1.75	- 0.03
76	111-BF	48.1	51.9		0.28	1.49	1.52	6.99	37.71				
	112-D	49.91	50.09		0.04	0.43	0.60	15.90	32.87				
77	113-BF	36.94	63.06				0.05	5.30	31.39				
78	114-BF	9.7	90.2	0.11	0.04	0.06	0.15	1.52	9.57				
79	116-BF	0.8	99.2										
80	118-BF	0.4	99.6										

ESTACÃO	AMOSTRA	RELAÇÃO AREIA: FINOS PESO %		GRANULOMETRIA						MEDIDAS ESTADÍSTICAS			
		AREIA	FINOS	PESO %						Ma	So	As	
				MICRAS									
GMI	A			2.000	1.000	500	250	125	62				
1	1-BF	99.79	0.21	1.98	3.24	25.03	56.05	10.40	2.97	1.3	408	1.2	0.03
2	2-BF	99.76	0.24	0.74	6.04	29.70	43.94	13.10	6.17	1.3	408	1.4	0.03
3	3-BF	91.38	8.49	10.00	5.97	22.15	36.02	16.22	1.12	1.3	408	1.6	0.03
4	4-BF	77.47	22.53	0.23	0.85	6.12	15.15	6.95	47.33	3.8	72		
5	5-BF	87.85	12.15	13.92	3.73	12.96	29.23	7.08	20.37	1.6	329	2.6	- 0.66
6	6-BF	93.35	6.63	0.02	0.14	2.48	22.11	67.46	1.14	2.2	218	1.2	- 0.15
7	7-BF	95.65	4.35		0.05	3.05	51.56	40.13	0.88	2.0	250	1.3	0
8	8-BF	85.86	14.14	0.36	1.98	7.03	15.47	25.42	35.60	3.0	125	1.6	0.42
	9-D	82.13	17.87	0.32	1.32	5.52	14.98	20.63	40.18	3.4	94	1.7	- 0.66
10	11-BF	99.68	0.32	14.75	6.39	6.62	48.00	23.61	0.36	1.6	329	1.55	- 0.13
11	12-BF	99.39	0.61	0.37	0.59	10.00	48.37	35.94	3.07	1.8	288	1.4	- 0.16
12	13-BF	99.77	0.23	0.34	0.76	4.88	37.96	53.95	1.93	2.0	250	1.36	0.1
13	14-BF	99.95	0.05	7.67	0.33	0.41	19.01	71.43	1.02	2.4	188	1.2	0.16
13E	15	100.00			0.01	0.26	67.19	32.36	0.08	1.8	288	1.3	0.5
14	16	100.00			0.09	0.77	82.92	16.10	0.27	1.5	354	1.15	- 0.15
	17	100.00			0.06	0.29	76.34	23.08	0.05	0.8	575	1.2	0.16
16	20-BF	99.89	0.11	0.85	1.80	4.14	22.14	69.81	0.87	2.2	218	1.2	0
17	21-BF	99.67	0.33	0.14	0.13	1.46	23.56	69.86	4.41	2.4	188	1.17	0.24
18	22-BF	99.70	0.30			0.01	1.20	82.23	16.18	2.5	176	1.15	- 0.16
19	23-BF	99.19	3.81	0.16	0.38	1.29	13.75	80.46	0.15	2.5	176	1.17	0.1
	24-D	100.00		0.36	0.45	40.58	31.36	26.74	0.51	1.2	437	1.7	- 0.32
20	25-BF	98.27	1.73	0.78	1.72	4.43	10.13	63.68	17.49	2.7	158	1.25	0.1
21	27-D	90.62	9.38	9.93	12.70	23.27	22.90	14.55	7.33	1.4	369	2.25	0
22	28-BF	98.36	1.64	3.31	2.47	7.12	8.6	66.12	10.65	2.5	176	1.2	0
	29-D	99.58	0.42	0.79	2.73	19.83	26.44	44.71	4.90	2.1	234	0.7	- 0.3
23	30-BF	99.28	0.72	0.10	0.60	14.55	34.99	48.82	0.15	2.0	250	1.4	0.16
24	31-BF	100.00		0.16	4.95	46.65	43.94	3.85	0.08	1.0	500	1.3	0
25	32-BF	99.81	0.19	0.45	0.97	20.44	30.61	43.01	3.97	2.0	250	1.6	0.32
26	33-BF	99.40	0.60	6.44	2.09	11.19	27.82	50.87	1.34	2.1	234	1.65	0.75
27	35-D	99.34	0.66	14.01	14.36	23.22	16.97	24.73	6.12	1.0	500	2.27	0.32
28	36-D	99.96	0.04	0.10	3.48	35.14	48.89	12.16	0.05	1.2	437	1.4	0
29	37-D	98.61	1.39	3.47	6.00	17.67	37.02	28.09	6.07	1.7	308	1.55	0.16
30	38-BF	99.22	1.78	9.48	6.24	13.70	26.86	30.20	11.80	1.8	288	1.95	0.12
31	39-BF	99.70	0.30	1.52	1.70	10.56	61.42	23.70	0.29	1.6	329	1.3	0
32	40-BF	100.00		0.85	0.76	4.31	72.04	21.93	0.17	2.0	250	1.05	0.32
	41-D	99.99	0.01	0.12	0.33	2.00	52.72	44.28	0.46	1.8	288	1.3	0
33	42-D	99.20	0.80	6.61	5.10	9.37	21.42	49.93	5.90	2.1	234	1.55	0.4
34	43-D	99.09	0.91	16.27	10.48	13.90	17.53	28.53	12.18	1.5	354	2.5	0.32
35	44-D	97.45	2.55	0.14	5.45	31.44	55.94	4.23	2.0	250	1.2	- 0.32	
36	45-D	99.79	0.21	7.41	3.29	15.68	49.81	21.28	2.08	1.5	354	1.4	0
39	48-D	99.08	0.02	0.08	0.98	26.51	65.74	6.39	0.14	1.2	437	1.2	- 0.16

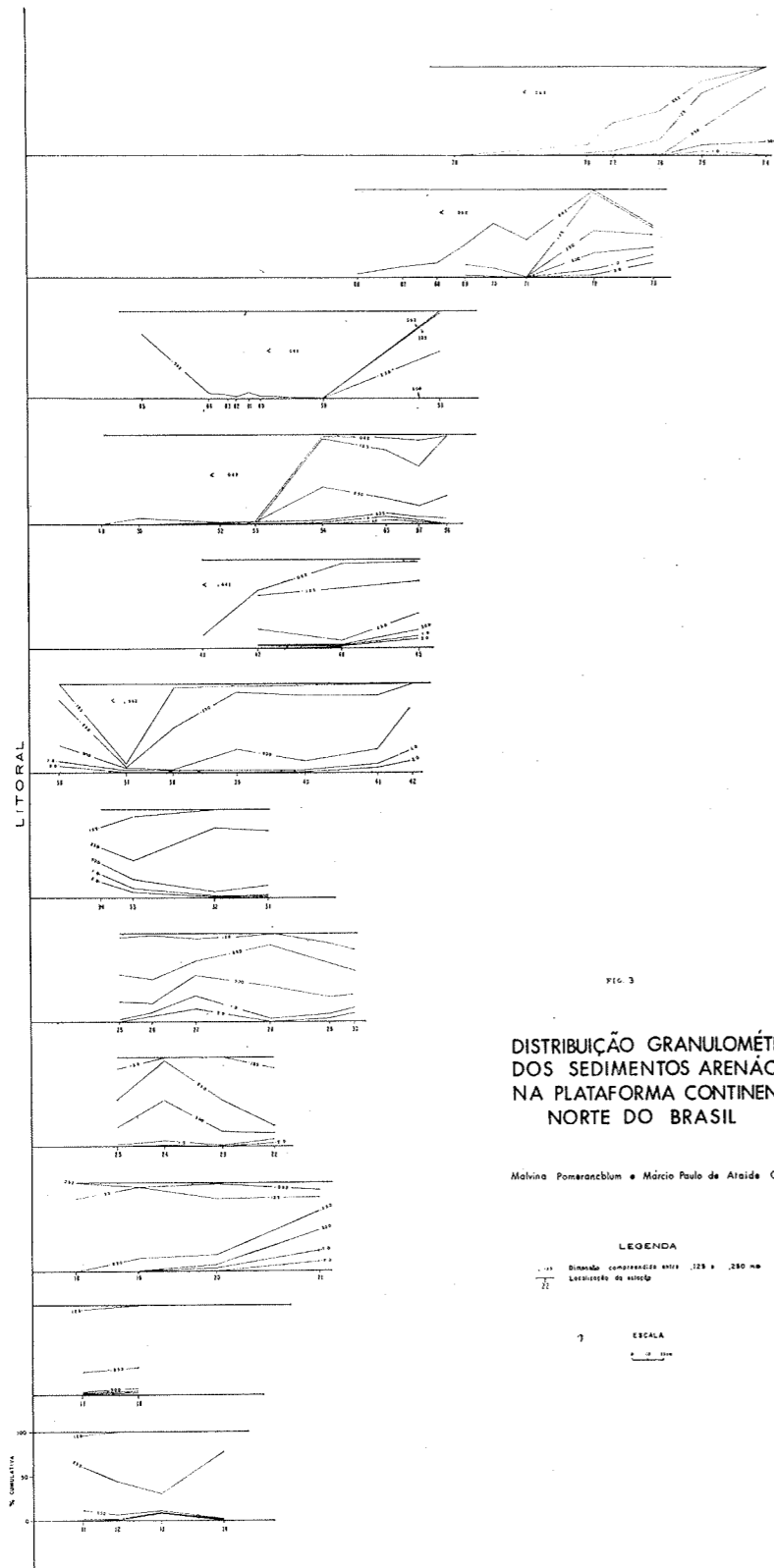


FIG. 3  
DISTRIBUIÇÃO GRANULOMÉTRICA  
DOS SEDIMENTOS ARENÁCEOS  
NA PLATAFORMA CONTINENTAL  
NORTE DO BRASIL

Malvina Pomerancblum e Márcio Paulo de Almeida Costa

LEGENDA  
— Curva cumulativa entre 0,125 e 0,250 mm  
--- Histograma de amostra

ESCALA  
0 10 20 30 40 50 60 70 80 90 100

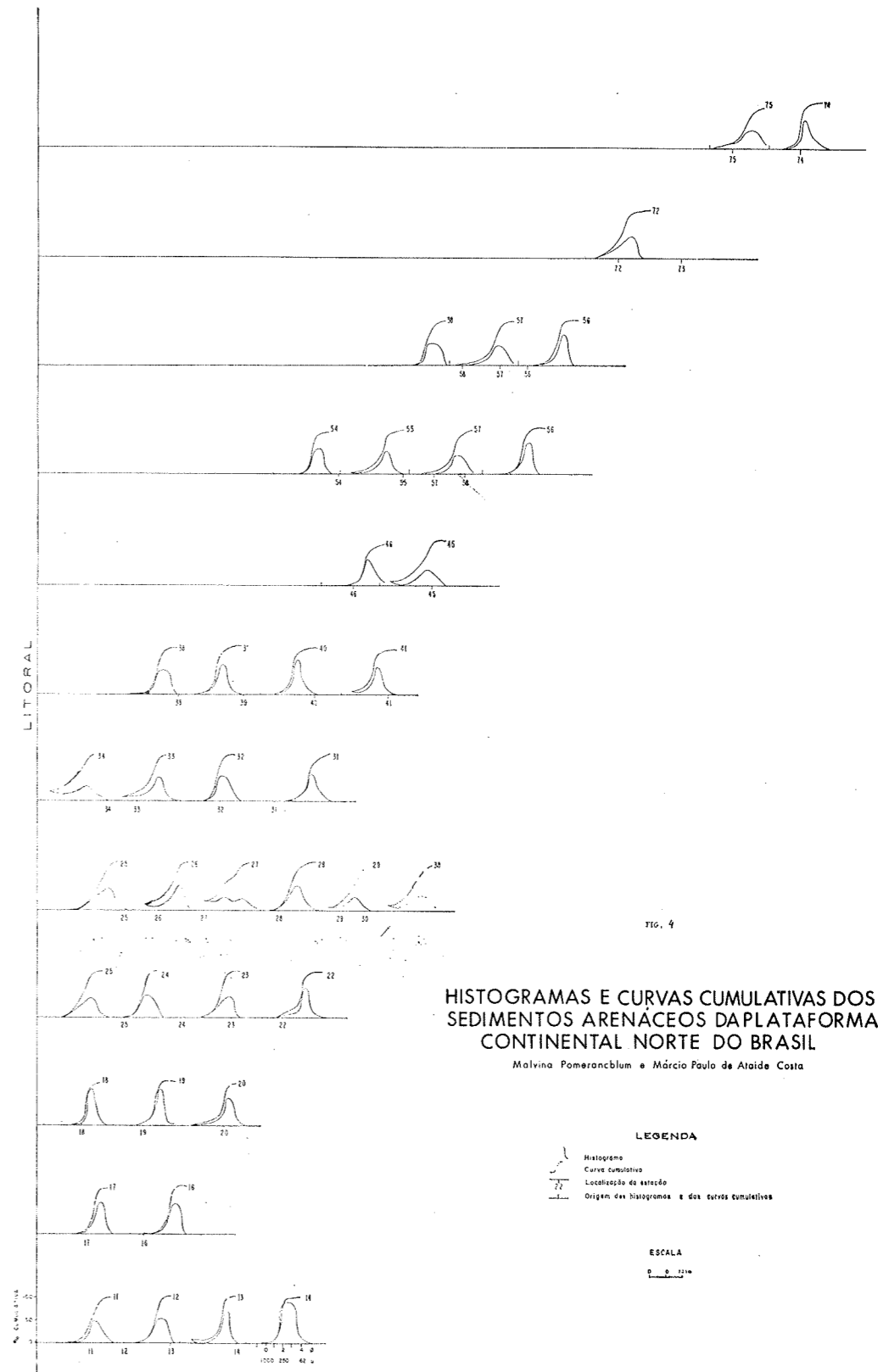
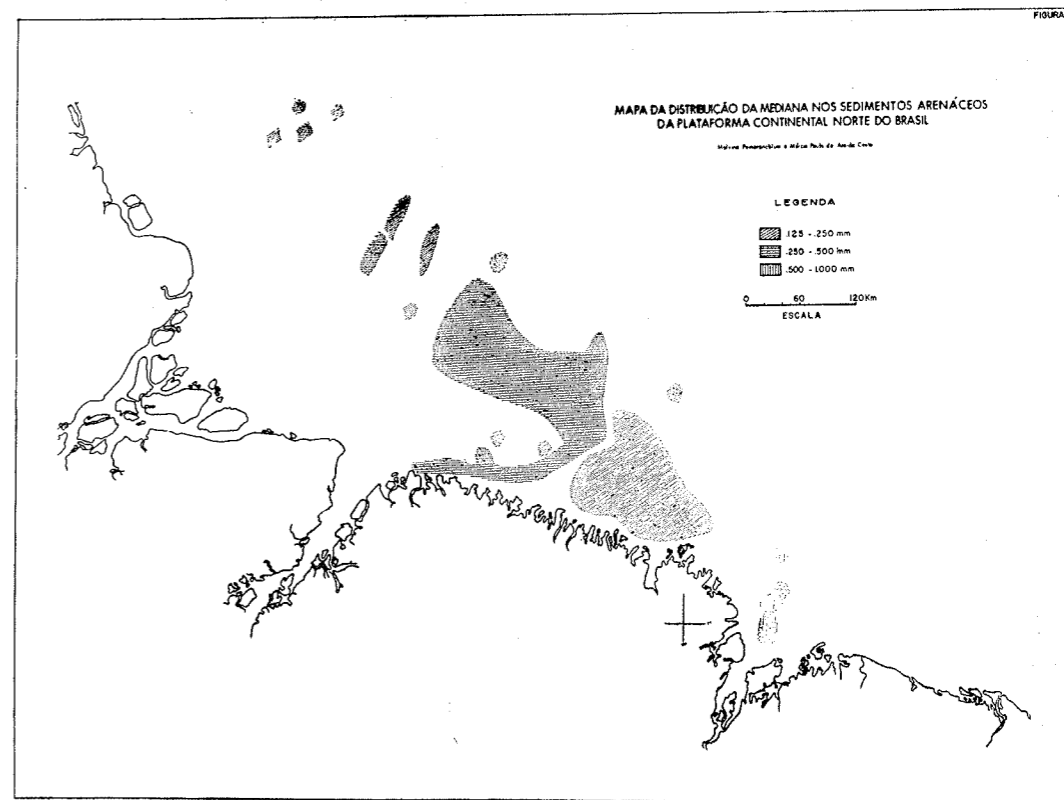
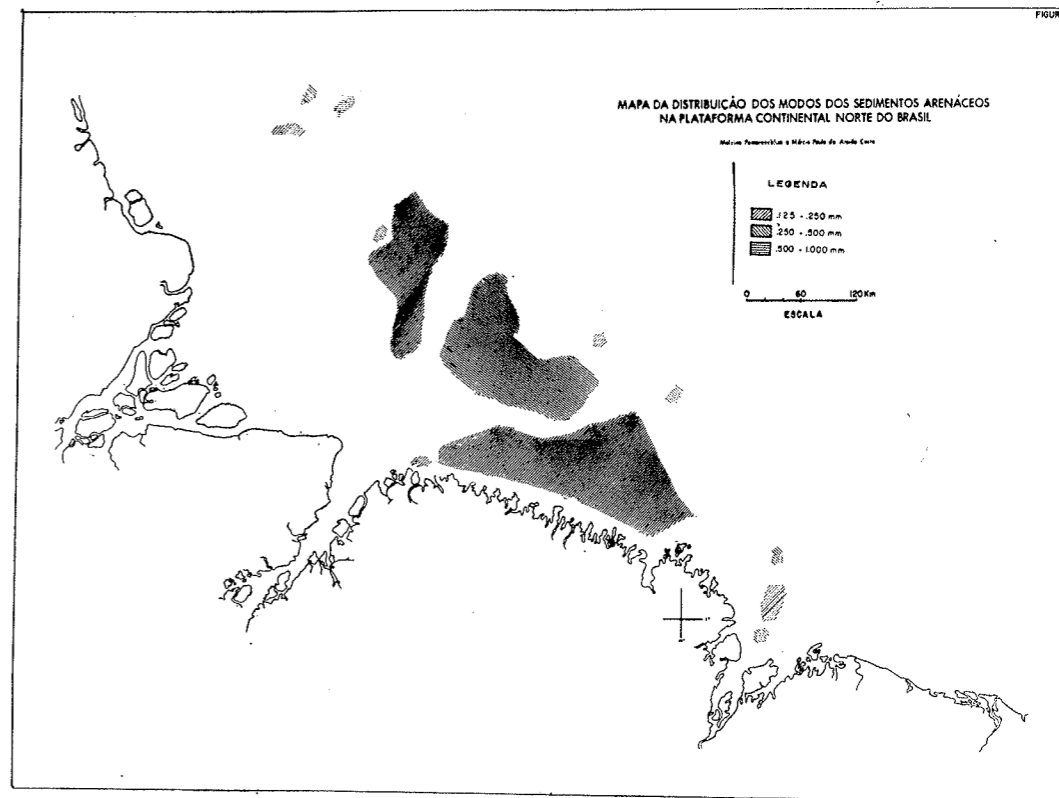
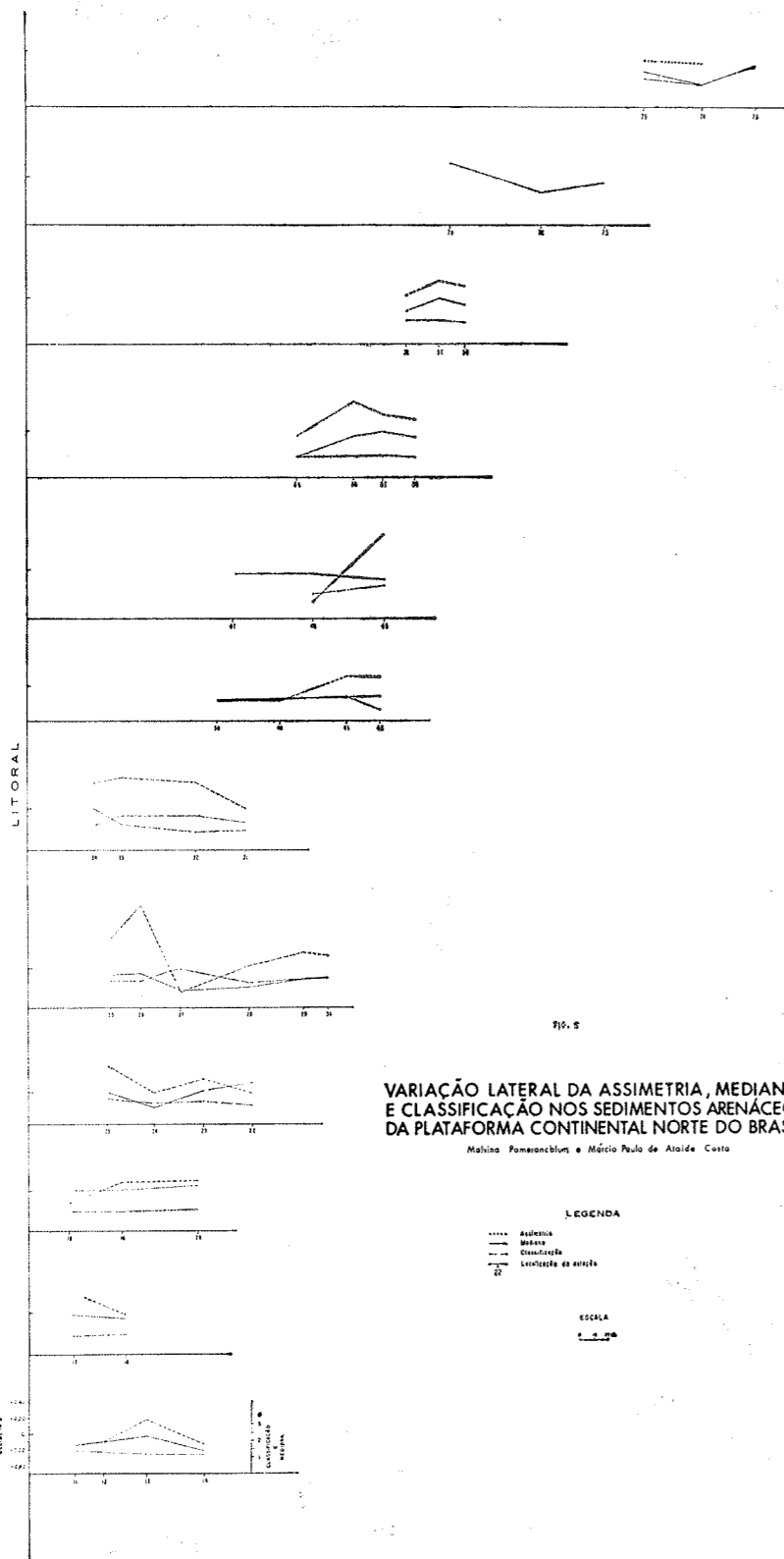


FIG. 4  
HISTOGRAMAS E CURVAS CUMULATIVAS DOS  
SEDIMENTOS ARENÁCEOS DA PLATAFORMA  
CONTINENTAL NORTE DO BRASIL

Malvina Pomerancblum e Márcio Paulo de Almeida Costa

LEGENDA  
--- Histograma  
— Curva cumulativa  
L Localização de estação  
— Origem dos histogramas e das curvas cumulativas

ESCALA  
0 10 20 30 40 50 60 70 80 90 100



sados transparentes por meio do microscópio de polarização pelo método descrito por Doe-glas (Vatan, 1954). Os resultados foram apresentados na Tabela 2 e plotados em perfis de variação lateral da porcentagem cumulativa (Fig. 9).

Em cada um dos perfis mencionados, de cada estação mais próxima ao litoral foi traçada uma linha aproximadamente perpendicular a este, sendo para esta rebatidas as outras estações.

#### GRANULOMETRIA E PARAMETROS ESTATÍSTICOS

De um modo geral a área estudada compreende duas regiões distintas, uma arenácea constituindo cerca de 2/3 e outra silto-argilosa.

A região arenácea divide-se em sub-regiões:

**Areno-quartzosa** se estendendo por toda a plataforma continental ao longo da costa do Maranhão e parte do Pará — foz do Parnaíba à foz do Pará — então estreitando-se e afastando-se do litoral em direção NNW. Este trecho apresenta uma **distribuição de classes unimodal** (Figs. 3, 4 e 6). Dois modos apresentaram-se como característicos, um de granulação de areia média, compreendido entre 250 e 500  $\mu$ ; outro mais fino, de granulação de areia fina, compreendido entre 125 e 250  $\mu$ . Interessante notar a localização anômala destes sedimentos, especialmente dos mais grosseiros, em relação à distribuição normal de sedimentos em plataformas continentais.

**Areno-biogênica-algal e Arenó-quartzosa-bioclástica** que, embora com número muito reduzido de amostras, apresentaram idênticas características de areia fina (modo entre 125 e 250  $\mu$ ). Esses sedimentos distribuem-se numa faixa que acompanha, localmente, os sedimentos arenó-quartzosos no limite externo da plataforma continental.

**Areias de composição mista** (areno-biogênica-algal e arenó-quartzosa-bioclástica) que não apresentaram padrão uniforme em sua granulometria. Sua distribuição é representada por uma mancha arredondada situada ao norte de Salinópolis, já mapeada por expedições anteriores (Expedição Toko Maru, 1948, e Kempf, Coutinho e Moraes, 1968).

Uma das amostras dessa mancha foi a única a apresentar **distribuição bimodal**, entre os sedimentos arenáceos estudados.

**Coefficiente de Seleção (So)** — Em toda a região arenó-quartzosa, independente da variação dos dois modos predominantes, o coeficiente de seleção alcançou um mínimo de 1.05 e um máximo de 1.65, mostrando uma certa uniformidade e toda região e representando, de modo geral, uma boa seleção (Figs. 4 e 5). Os sedimentos cujo modo predominante estão entre 250 e 500  $\mu$ , apresentaram como extremos inferior e superior coeficientes de seleção 1.05 e 1.40, respectivamente, enquanto que os de modo predominante entre 125 e 250  $\mu$  apresentaram como extremos inferior e superior os coeficientes 1.15 e 1.65, respectivamente.

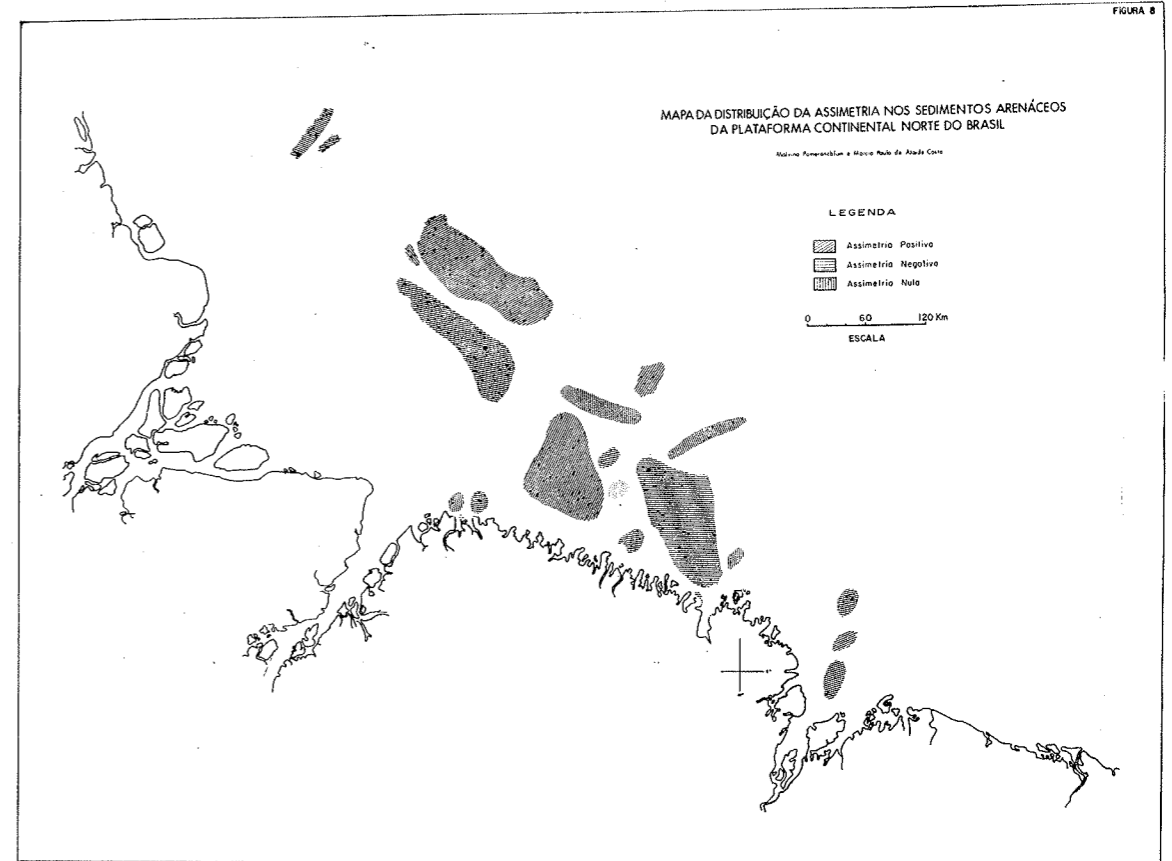
Assim como em relação à distribuição modal, as areias biogênicas — algais e quartzosas — bioclásticas têm boa classificação apresentando certa uniformidade de coeficiente de seleção (geralmente de 1.20 e 1.45). Nas areias da mancha ao norte de Salinópolis, algumas amostras apresentam classificação um tanto inferior (1.55 à 2.50), o que era de se esperar pela sua distribuição modal (Figs. 4 e 5).

**Distribuição da Mediana (Md)** — Existem áreas predominantes de variação das medianas na região de areia, uma de 125 a 250  $\mu$ , correspondendo a uma granulação de areia fina, e outra de 250 a 500  $\mu$ , correspondendo a uma granulação de areia média (Fig. 7).

Deve-se acrescentar que, comparando a distribuição dos valores dos modos e das medianas, vê-se que são concordantes, de modo geral. Nas areias quartzosas-bioclásticas a mediana apresentou uma variação de 125 a 250  $\mu$ , que vem a coincidir com a distribuição modal, enquanto que nas areias biogênicas-algais, em discordância com a distribuição modal, a mediana variou entre 250 e 500  $\mu$ .

Nas areias de composição mista não há uniformidade nos valores da mediana, como não houve nos valores do modo impossibilitando uma comparação.

**Distribuição de Assimetria (As)** — Como já foi mencionado, modo e mediana dos sedimentos arenáceos mais finos variam entre 125 e 250  $\mu$ . Dentro desses limites de variação, a curva granulométrica acusa desequilíbrio entre transporte e deposição, caracterizado pelo valor positivo da assimetria, isto é, tendência para as classes mais finas (Figs. 4, 5 e 8). Isto aconteceu quando a competência do meio de deposição superou a do agente de transporte; o meio ambiente forçosamente teve que ser calmo o suficiente para permitir a preponderância de deposição do material mais fino.



Tanto na região da mancha calcárea ao norte de Salinópolis, como em sua proximidade, modo e mediana variam entre 250 e 500  $\mu$ . Dentro desses limites de variação a curva granulométrica novamente acusa desequilíbrio entre transporte e deposição, caracterizado também pelo valor positivo da assimetria, isto é, tendência para as classes mais finas.

As amostras localizadas a NW desta mancha de calcáreo tem, de modo geral, valores de modo e mediana variando entre 125 e 500  $\mu$ , e dentro destes limites de variação a curva granulométrica, uma vez mais, acusa desequilíbrio entre transporte e deposição.

A área próxima à região silto-argilosa apresenta tendência da curva granulométrica para as classes mais grosseiras, caracterizada pelo valor negativo da assimetria. Isto acontece quando a competência do agente de transporte predomina, mostrando necessariamente ter havido fornecimento de material grosseiro; se houve, concomitantemente, transporte de material mais fino, as condições de turbulência no ambiente de deposição não lhes permitiu sedimentar. Já na área adjacente, mais próxi-

ma ao talude, há tendência da curva granulométrica para as classes mais finas — assimetria positiva como acima mencionado.

Existem pequenas regiões onde, embora modo e mediana estejam entre os mesmos limites de variação, houve equilíbrio entre competência do agente de transporte e deposição, isto é, equivalência entre quantidade e textura do material transportado e depositado, pois a distribuição dos sedimentos é simétrica.

O fato do padrão de distribuição textural dos sedimentos arenáceos ao longo da plataforma continental ser anômalo — sedimentos mais finos próximos à costa e sedimentos grosseiros mais distanciados nos leva a crer ter havido, no mínimo, duas diferentes etapas de deposição. Essas foram produto, primeiro, de deposição mais grosseira no então litoral e, à medida que uma transgressão marinha se fez sentir, houve no meio ambiente, mais profundo então, condições propícias à deposição de material mais fino. Este fenômeno é conhecido também em outras plataformas continentais, caracterizando, como no nosso caso, áreas de sedimentos relictos.

LISTA DE AMOSTRAS

FREQUENCIA DOS MINERAIS PESADOS

HI	A	Diopside	Clori- tideo	Hiper- tênio	Silima- nita	Augi- ta	Andala- sita	Horn- blenda	Hornblenda Resflicta	Epi- doto	Cianita	Estau- rolita	Bio- tita	Granada	Turna- lina	Rutilo	Siroi- nita	Masco- vita	Cutros
1-HP				15						4	49	19			7		10		
2-HP				3				16		3	22	13			7		33		
3-HP			5	4				8		3	37	15			11		16		
4-HP								47		6	25	1			1		14		
5-HP				1				9		1	55	8			2		13		1
6-HP				6				7		2	19	13			6		29		
7-HP								14		3	32	11			18		40		
8-HP								1		3	5	3			11		52		
11-HP										1	23	19			17		36		
12-HP							2			2	15	19			13		45		
13-HP										5	5	13			31		45		
14-HP										17	21	21			26		35		
15										18	18	24			7		20		
17										4	4	27			42		21		
20-HP										1	7	34			20		34		
22-HP										11	3	13			31		29		
23-HP										1	9	47			15		23		
24-D										2	4	47			17		27		
25-HP										1	6	26			30		27		
28-HP										6	6	56			4		34		
29-D											61	61			12		16		
29-D							2			4	9	49			8		26		
F25-E.R.S.										7	7	75			16		16		
30-HP										2	2	61			19		3		
F26-E.R.S.										1	1	85			11		3		
32-F										5	5	72			14		8		
33-HP										1	8	60			11		19		
F29-E.R.S.						1				2	15	19			13		45		
35-D										6	45	45			13		35		
F30-E.R.S.										7	7	62			20		10		
F31-E.R.S.										24	24	51			16		9		
36-D										11	11	55			26		6		
F32-E.R.S.										4	13	26			8		23		
37-D										4	7	30			9		36		
38-HP										4	7	46			13		29		
F34-E.R.S.										2	9	63			2		3		
39-HP										2	9	63			13		3		
40-S.P.										2	9	63			13		3		
41-D			2							3	11	60			9		11		
F35-E.R.S.										1	3	67			20		9		
2-FF										1	8	66			10		22		
F36-E.R.S.										1	11	48			20		14		
42-D										2	11	48			1		14		

LISTA DE AMOSTRAS

FREQUENCIA DOS MINERAIS PESADOS

HI	A	Diopside	Clori- tideo	Hiper- tênio	Silima- nita	Augi- ta	Andala- sita	Horn- blenda	Hornblenda Resflicta	Epi- doto	Cianita	Estau- rolita	Bio- tita	Granada	Turna- lina	Rutilo	Siroi- nita	Masco- vita	Cutros
43-D				1						2	7	39			10		1		39
44-D											5	80			9				6
45-D											7	59			10				20
F39-E.R.S.											5	53			3		2		15
F40-E.R.S.											6	52			34				3
F41-E.R.S.											1	18			15				6
47-D											1	3			9		5		41
F43-E.R.S.											13	56			2		2		7
F44-E.R.S.											18	31			22		3		17
F45-E.R.S.											2	7			2		2		13
49-D											13	74			8				4
F49-E.R.S.											2	4			21		1		8
50											13	66			17				4
54-D											10	5			3		3		42
55-D											15	2			1		8		34
57-D											8	14			6		8		40
59-D											3	2			4		5		1
61-D											5	5			1		4		60
64-FF											3	2			3		3		4
65											10	2			9		22		2
67-FF											7	4			7		4		19
69-FF											13	4			14		5		3
71-FF											17	2			8		3		9
72-D											16	14			7		10		26
73-FF											22	11			19				3
74-FF											22	11			19				3

FREQUÊNCIA DOS MINERAIS PESADOS

	Diopside	Clorite	Hiperstênio	Sillimanita	Augita	Andaluzita	Hornblenda	Hornblenda	Epidoto	Cianita	Estaurolita	Biotita	Granada	Turmalina	Rutilo	Outros
75-B	8			4	2	38		20	1	3	4	8	4	11	1	zoizita
76-D	9			5	5	26		19		7	4	5	4	19		
77-BP	5			7	19	29		15		11	3	7	3	4		
81-D	2			2		10	3				46	1				36
85-BP	1			2		12	1				28					56
97-BP	1	9		7		32		3			25	2	9	5		7 tremolita
99-BP	3			15		48	3				22	3	5	1		5
91-BP	1	17		10		55	5	4			10	5	6	4		4
92-BP	1	8		2	1	44		1			6	2	2	26		1 anastasio
95-BP	1	17		15		48	1	4			6	2	2	1		1 apatita
97-BP	5			6		23		2	1		28	1	1	1		34
102-BP	23			9		42		3	1		7	6	2	6		6
101-BP	1	24		7		38	1	9			4	1	1	14		14
102-B	17			5		54	2	4			3	4	4	11		11
103-BP	2	12		13		52	2	2			12	1	2	2		2
104-BP	13			1	9	29		24	1	8	1	8	4	2		2
105-B	21			1	18	27		20		6	2	4	4	1		1
106-BP	37			4		14	8	7			3	7	3	11		11
107-BP	1	37		7		12	3	13		6	11	4	4	6		6
108-BP	1	19		1		11	1	8			9	3	1	40		40
109-B	2	24		4	3	44	2	11		1	4	4	4	5		5
110-BP	17			4	7	44	2	9			6	2	6	9		9
112-B	2	7		10		56		1			16	1	1	13		4

ESTADO AMOSTRAS

FREQUÊNCIA DOS MINERAIS PESADOS

ESTADO	A	Diopside	Clorite	Hiperstênio	Sillimanita	Augita	Andaluzita	Hornblenda	Hornblenda	Epidoto	Cianita	Estaurolita	Biotita	Granada	Turmalina	Rutilo	Outros
77	113-BP			12		17		33		12		4	2	13			
73	114-BP	1		5		9		36	1	4	1	11	3	1	1	25	
79	115-BP															5	

NOTAS:

B.P. - amostra coletada com busca-fundo (amostrador Dietz-Lafond)

D - amostra coletada com fraga (draga retangular) - "

Z.B.S. - amostra coletada com busca-fundo, especial (amostrador "Emery Botto Sampler")

E - estação extra (fora da programação oficial)

F - primeira estação intermediária entre duas estações quaisquer (estação feita com amostrador B.R.S.)

Segundo Emery (1968) sedimentos depositados na plataforma continental durante e imediatamente após o último estágio glacial do Pleistoceno não são relacionados com seus ambientes presentes. A elevação do nível do mar durante os últimos 19.000 anos causou a submersão de sedimentos previamente depositados em águas marinhas rasas que, mais tarde, ficaram profundamente submersos. Novos sedimentos detriticos depositados nessas plataformas poderiam vir a cobrir os sedimentos relictos, o que provavelmente não seria conseguido nem com a decorrência de alguns milhares de anos.

Embora o trecho da plataforma continental hoje formado pela região de sedimentos arenáceos grosseiros relictos, entre a Ilha do Maranhão e a foz do Pará, não tenha sido recoberto após essa transgressão marinha do fim do Pleistoceno, o trecho ocidental, de sedimentos silto-argilosos é constituído por um capeamento atual de sedimentos anteriores.

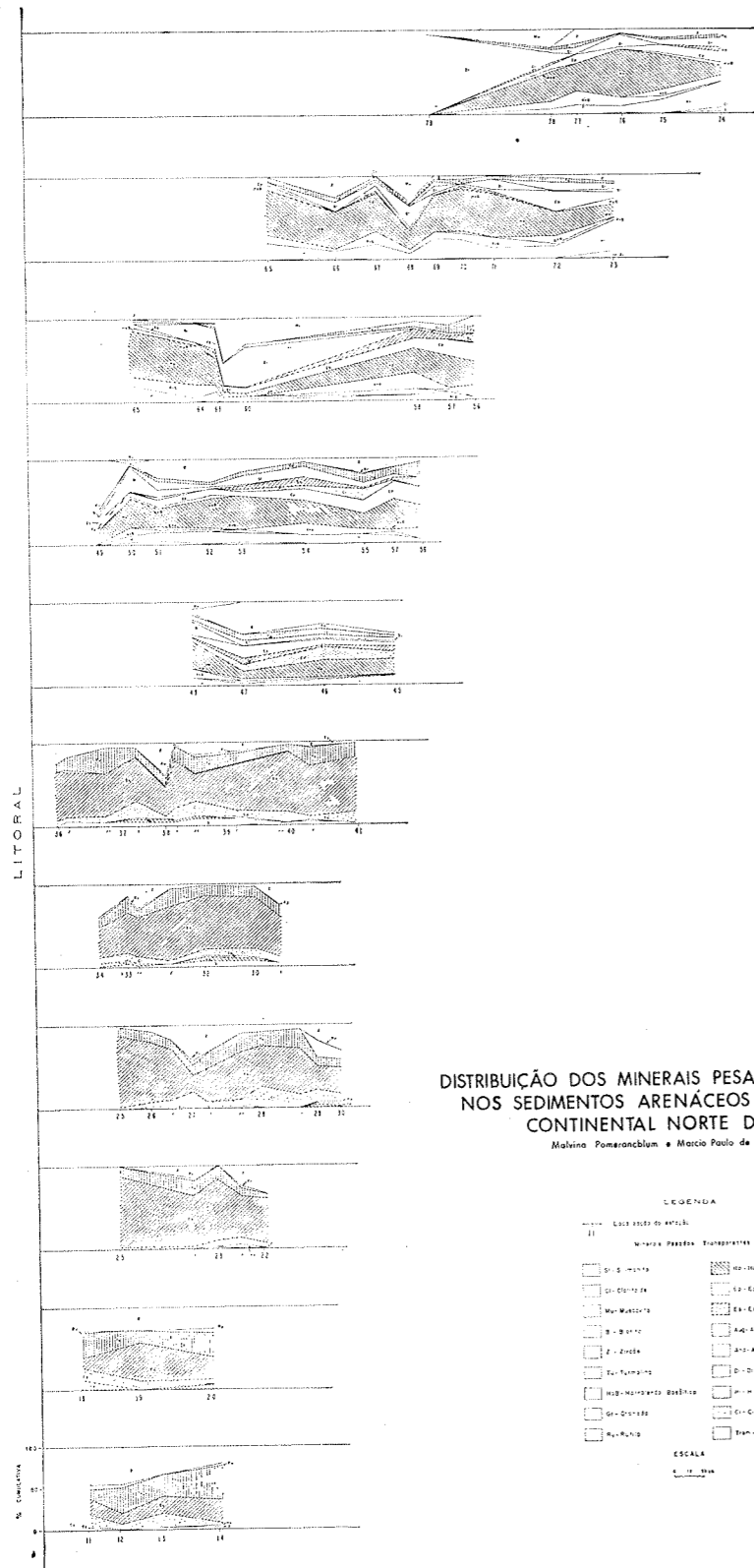
MINERAIS PESADOS TRANSPARENTES

Foram determinadas 21 variedades mineralógicas (Tabela 2) que são, segundo a ordem crescente de estabilidade de Pettijohn (1941) por nós modificada: cloritoide\* (Cl), tremolita\* (Tr), diopsídio (Di), hiperstênio (Hi), sillimanita (S), Augita (Au), zoizita\* (Z), andalusita (An), hornblenda (Ho), hornblenda basáltica (HoB), epidoto (Ep), cianita (C), estaurolita (Es), apatita\* (Ap), biotita (B), granada (Gr), turmalina (T), rutilo (R), zircão (Z), muscovita (Mu) e anatásio\* (A). Dentre eles, os assinalados com asterisco têm ocorrência muito rara com concentração de até 2%, à exceção de tremolita que chega a 7%.

VARIAÇÃO LATERAL

De um modo geral a associação mineralógica da plataforma continental desde a Ilha do Maranhão à foz do Pará é representada por um restrito número de espécies (Quadro 1), dominada por Es, secundada por Z, T e C (Fig. 9). Como minerais esporádicos aparecem Ep e S em quantidade muito pouco representativa e Gr, raramente.

O trecho compreendido entre a foz do Parnaíba e as proximidades da Ilha do Maranhão, apresenta uma predominância de Es e C sobre Z e T.



DISTRIBUIÇÃO DOS MINERAIS PESADOS TRANSPARENTES NOS SEDIMENTOS ARENÁCEOS DA PLATAFORMA CONTINENTAL NORTE DO BRASIL

Malvina Pomerancblum e Marcio Paulo da Almeida Costa

LEGENDA

--- LÍNEA DE ESTUDO

MINERAIS PESADOS TRANSPARENTES

Es - Estaurolita	Z - Zircão	T - Turmalina	C - Cianita
------------------	------------	---------------	-------------

ESCALA

1:1000

Quadro 1

Nº DE ESTAÇÕES	Nº DE ESPÉCIES	% DE ESTAÇÕES	ESTAÇÕES Nº
8	4	19	22-23-25-28-33-35-36-41
11	5	26	13-13F-19-23F-26-27F-27FF-28F-32F-36FF-40
4	6	10	12-14-27-30F
13	7	30	16-20-22F-26F-29-30-31-32FF-34-36F-37F-38FF-40F
4	8	10	18-33-38F-39F
2	9	5	11-38

Convenções: F - Amostra coletada com buaco-fundo tipo "Emery bottom sampler"

O trecho compreendido entre a Ilha do Maranhão e a foz do Gurupi, apresenta distribuição relativamente equitativa de Es, Z e T (Quadro 2).

Quadro 2

MINERAIS PREDOMINANTES	% MÁXIMA	% MÍNIMA	% MÉDIA	Nº DE ESTAÇÕES
Z	45	20	28.4	10
Es	37	19	22.4	10
T	42	13	21.5	10
C	17	5	8.4	10

Convenções: Z - Zircão T - Turmalina  
Es - Estaurolita C - Cianita

O trecho compreendido entre a foz do Gurupi e a do Pará, apresenta predominância marcante na concentração de Es nos sedimentos areno quartzosos, independente de distância da costa, enquanto que os da mancha calcárea parecem apresentar um relativo enriquecimento de Z em detrimento da Es (Amostras 27, 32FF e 34) (Quadro 3).

Quadro 3

PREDOMINÂNCIA	% MÁXIMA	% MÍNIMA	% MÉDIA	Nº DE ESTAÇÕES
Es	85	31	52.9	34
Z	20	3	27.1	34
C	24	10	8.4	34
T	25	8	14.0	34

Convenções: Es - Estaurolita C - Cianita  
Z - Zircão T - Turmalina

Na plataforma continental desde a foz do Pará à Ilha de Maracá notou-se uma associação mineralógica bastante diferente da encontrada nos trechos anteriores, com número de espécies relativamente grande (Quadro 4). Há uma diminuição progressiva até o quase desaparecimento de Es, T e C aparecendo somente como minerais subordinados, enquanto o Z ainda apresenta concentrações representativas. Nessa área as variações percentuais máxima

Quadro 4

ESTAÇÕES	Nº DE ESPÉCIES	Nº DE ESTAÇÕES	% DE ESTAÇÕES
62	6	1	3
60	7	1	3
49-64-65-77	8	4	13
47-58-68-75-76	9	5	16
45-54-55-63-66-69-70-71-73-74	10	10	31
52-53-57-72	11	4	13
46-48-50-51-67-78	12	6	20

Quadro 5

MINERAL	% MÁXIMA	ESTAÇÃO DE % MÁXIMA	% MÍNIMA	ESTAÇÃO DE % MÍNIMA
Es	14	47	1	várias
Z	60	49	1	várias
T	19	56	1	várias
C	14	55	1	várias

Convenções: Es - Estaurolita T - Turmalina  
Z - Zircão C - Cianita

e mínima de Es, T, Z e C são dadas no Quadro 5.

Os minerais de concentração representativa foram Ho, Hi, B, Mu e Z. Ocorrem também Au, Di, An, Tr, HoB, Ap, Zo e Cl. Entre os que foram encontrados anteriormente, esporadicamente e em pequena concentração, e nesta área tomam um caráter de maior abundância, encontram-se Ep e Gr. Deve-se ressaltar que enquanto a Ho apresentou-se com percentagem representativa através quase toda a área, Hi, Z, B e Mu tiveram apenas representações quantitativas locais.

O Quadro 6 apresenta o tipo de concentração e percentagens máxima, mínima e média, dos minerais freqüentes nesse trecho.

Quadro 6

MINERAL	OCORRÊNCIA		% MÁXIMA	ESTAÇÃO	% MÍNIMA	ESTAÇÃO	% MÉDIA
	LOCAL	REGIONAL					
Ho		X	56	76	7	47	31.3
Hi	X	X	37	73	1	62	11.6
B	X		29	50	2	46	11.9
Mu	X		56	62	2	52	16.0
Z		X	60	49	1	vários	

Convenções: Ho - Hornblenda Mu - Muscovita  
Hi - Hiperstenio Z - Zircão  
B - Biotita X - Tipo de ocorrência

Esta parte da plataforma continental apresentou as seguintes diversificações em suas associações mineralógicas:



Na área de recobrimento silto-argiloso (situado de modo geral à W do meridiano de 48°), os minerais de maior concentração são **Ho, Bi, Mu, Hi**, e ocasionalmente **Z** e **T**, secundados de modo geral, por **Au, Gr** e **Ep**. Suas ocorrências predominantes são dadas no Quadro 7.

Quadro 7

ESTAÇÕES	MINERAIS PREDOMINANTES	Nº DE ESTAÇÕES	Nº DE MINERAIS
48-49-50-51-52-53-59-69-70-71-76-77	Ho, B, Hi, Au, Z	12	6
60-61-62-63-64-68-78-79	Ho, Bi, Mu	8	3
65-66-67-73-74	Hi, Au, Ho	5	3

Convenções: Ho - Hornblenda      Z - Zircão  
 B - Biotita                      Mu - Muscovita  
 Hi - Hiperstenio              Au - Augito

Na estreita faixa areno-quartzosa, contígua à região silto-argilosa, a característica principal é a mistura da mineralogia destes sedimentos, com a mineralogia dos areno-quartzosos, situados à leste da foz do Pará (estações 45 — 46 — 54 — 55 — 56 — 57 — 58 — 72 e 75).

Tanto da região do **canyon Amazonas** (estações 73 e 74), como num pequeno trecho da sedimentação silto-argilosa, próximo ao litoral do Amapá (estações 65 — 66 — 67), a concentração de **Hi** (e secundariamente **Au**) é relativamente grande.

#### MATURIDADE TEXTURAL E MINERALÓGICA

Como mencionado no item referente à granulometria, os sedimentos detríticos da plataforma continental estudada são, principalmente, areno-quartzosos e silto-argilosos. Os resultados dos estudos textural e mineralógico indicam que:

- a baixa percentagem de argila, a boa selação e o relativamente bom arredondamento dos grãos, caracterizam a região areno-quartzosa como **matura, texturalmente**.
- o contrário se dá com a região silto-argilosa podendo ser caracterizada, **texturalmente**, como **imatura**.
- a estabilidade dos minerais pesados e o alto conteúdo de quartzo, entre os leves, caracterizam a região areno-quartzosa como **matura, também mineralogicamente**.
- a instabilidade dos minerais pesados e a relativamente baixa concentração de quart-

zo, entre os não pesados, caracterizam a região silto-argilosa como **imatura, também mineralogicamente**.

os sedimentos areno-quartzosos, devido à maturidade tanto textural como mineralógica, indicam um intenso e prolongado fluxo de energia modificadora dos processos operantes da área de deposição.

os sedimentos silto-argilosos, devido à imaturidade, tanto textural como mineralógica, indicam fraca intensidade e breve fluxo de energia modificadora dos processos operantes na área de deposição.

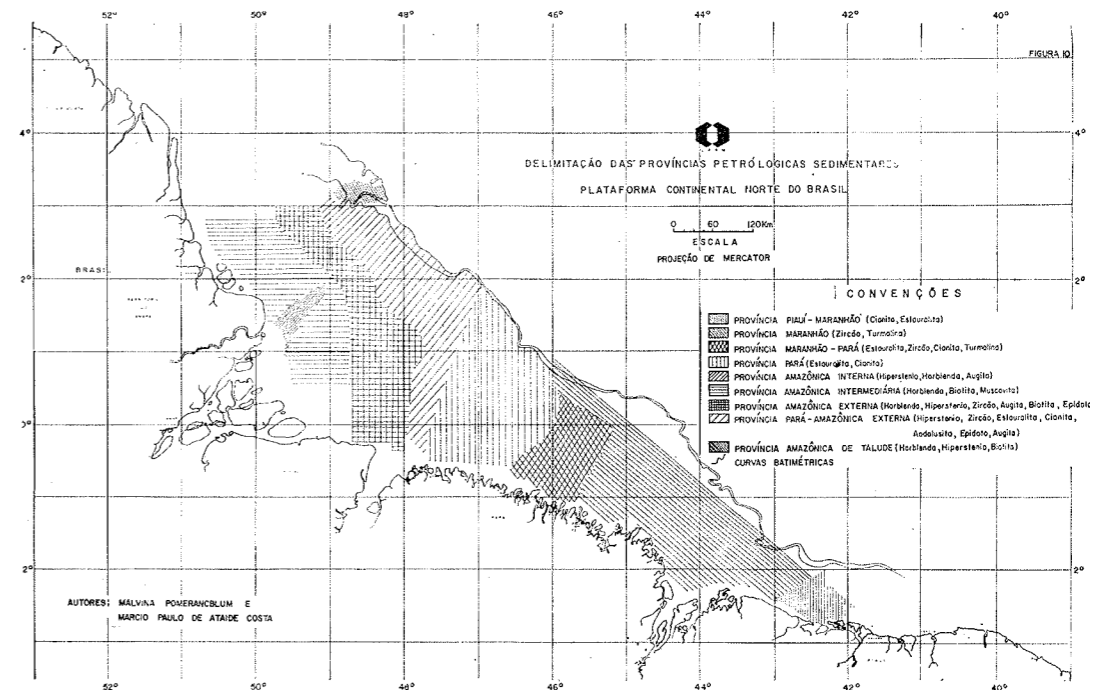
#### PROVÍNCIAS PETROLÓGICAS SEDIMENTARES

Podemos dividir a área da plataforma continental estudada, nas seguintes províncias petrológicas sedimentares (Fig. 10):

**Província Piauí-Maranhão**, que se estende aproximadamente, da foz do Parnaíba ao meridiano de 43°W. A associação mineralógica característica é **C-Es** em predominância, aparecendo subordinadamente **Z, T, Ho, S**. Os minerais pesados são de alta estabilidade mineralógica e de acordo com a carta de persistência (Pettijohn, 1941), tomando-se por base a espécie menos estável da associação, podemos concluir que o limite de persistência da província seria do Terciário ao Recente.

**Província Maranhão**, que se estende aproximadamente do meridiano 43°W até a foz do Gurupi. A associação mineralógica característica é **Z-T**, em predominância, aparecendo subordinadamente **Es, C, R**. Os minerais pesados possuem a mais alta estabilidade mineralógica de toda a área estudada e o limite de persistência da província seria também do Terciário ao Recente. Deve-se salientar que a ocorrência das espécies mineralógicas predominantes é caracterizada, de modo geral, por altos índices de arredondamento e esfericidade dos grãos.

**Província Maranhão-Pará**, compreendendo a plataforma continental próxima à foz do Gurupi. A associação mineralógica desta província é caracterizada por uma mistura das associações das Províncias Maranhão e Pará, apresentando uma distribuição relativamente equitativa de **Es — Z — C — T** como minerais predominantes, aparecendo subordinadamente **S, Ep, Ho, R**. Os minerais pesados são de alta estabilidade mineralógica sendo o limite de persistência da província também do Terciário ao Recente.



**Província Pará**, que se estende aproximadamente da foz Gurupi à do Pará. A associação mineralógica característica é **Es-C** como minerais predominantes, aparecendo subordinadamente **Z, T, Z, Ho, Ep, R**. Os minerais pesados são de alta estabilidade mineralógica e o limite de persistência da província seria ainda do Terciário ao Recente.

**Província Amazônica Interna**, compreendendo um pequeno trecho que se estende ao longo da plataforma continental, ao largo da foz do Araguari, no Amapá. A associação mineralógica característica é **Hi, Ho, Au** como minerais predominantes, aparecendo subordinadamente **Z, HoB, B, Ep, Gr, An e T**. Os minerais pesados são de baixa estabilidade mineralógica e o limite de persistência da província seria do Pleistoceno ao Recente.

**Província Amazônica Intermediária**, que se estende ao longo do Amapá, desde a foz do Amazonas até a ilha de Maracá. A associação mineralógica característica é **Ho — B — M**, como minerais predominantes, aparecendo subordinadamente **T, Au, Z, Hi, Ep, Gr**. Os minerais pesados são de baixa estabilidade mineralógica e o limite de persistência da província seria também Pleistoceno ao Recente.

**Província Amazônica Externa**, que se estende da ilha de Marajó à ilha de Maracá. A associação mineralógica característica é **Ho —**

**Hi — Z — Au — B — Ep** como minerais predominantes, aparecendo subordinadamente **Gr, An, C, T, R**. Os minerais pesados são de baixa estabilidade mineralógica, sendo o limite de persistência da província ainda do Pleistoceno ao Recente.

**Província Pará — Amazônica Externa**, que se estende da foz do Pará à ilha de Maracá, na plataforma continental média a externa. A associação mineralógica é caracterizada por uma mistura das associações das Províncias Pará e Amazônica Externa, apresentando uma distribuição relativamente equitativa dos minerais predominantes **Hi — Z — Es — C — An — Ep — Au**, liderados por **Ho**, aparecendo subordinadamente **T, S, B, Gr, R, HoB**. Os minerais pesados são de baixa estabilidade mineralógica em seu conjunto, e o limite de persistência da província seria do Pleistoceno ao Recente.

**Província Amazônica de Talude**, localizada na região do Talude Continental representada pelo **canyon Amazonas**. A associação mineralógica característica é semelhante à da Província Amazônica Interna, onde os minerais predominantes são **Hi — Ho**, aparecendo como subordinados **Au, Ep, Z, HoB, Gr, An, T**. Os minerais são de baixa estabilidade mineralógica e o limite de persistência da província continuaria sendo do Pleistoceno ao Recente.

Algumas províncias da área estudada apresentaram superposições de associações mineralógicas, provavelmente ocasionadas por oscilações nos limites de influência versus tempo. Estas **alternâncias provinciais** foram constatadas nas Províncias Amazônicas Externa/Pará — Amazônica Externa, Maranhão Pará/Maranhão. Eventos tectônicos e/ou processos de denudação nas áreas de suprimento, poderiam ser responsáveis por estas **sucessões provinciais**.

Dentro da sedimentação lamosa atual, a composição da Província Amazônica Externa é a que apresenta influência mais regional. Sua mineralogia diversificada evidencia uma grande variedade de rochas-fonte dentro do padrão de drenagem atual das áreas de suprimento. Já as Províncias Amazônica Média e Amazônica Interna, apresentam sintomas de influências mais locais das áreas de suprimento.

#### PROVENIÊNCIA

Chegou às seguintes conclusões gerais, quando de análise da proveniência dos sedimentos:

- a grande extensão ocupada pelos sedimentos areno-quartzosos das Províncias Petro-lógicas Pará, Maranhão-Pará, Maranhão e Piauí-Maranhão, relativamente constantes textural e mineralogicamente, indica áreas de fornecimento extensas e homogêneas.
- a grande extensão ocupada pelos sedimentos silto-argilosos das províncias Amazônica Interna, Intermediária e Externa, inconstantes em textura e mineralogia, indica áreas de fornecimento extensas porém heterogêneas.
- os sedimentos areno-quartzosos das Províncias Pará, Maranhão-Pará, Maranhão e Piauí-Maranhão, devido à sua maturidade tanto textural como mineralógica, evidenciam um certo retardamento dos processos erosivos na área de fornecimento e como conseqüência uma ativação dos processos intempéricos. Estes indícios nos levam a crer ter sido a área de suprimento de baixo relevo, com clima predominantemente quente e úmido, tectonicamente estável.
- os sedimentos silto-argilosos das Províncias Amazônicas Interna, Intermediária e Externa, devido à sua maturidade textural e mineralógica, evidenciam uma aceleração dos processos erosivos na área de fornecimento e como conseqüência um retar-

damento dos processos intempéricos. Esses indícios nos levam a crer ter sido a área de suprimento de médio a alto relevo, clima quente e úmido e com certa instabilidade tectônica.

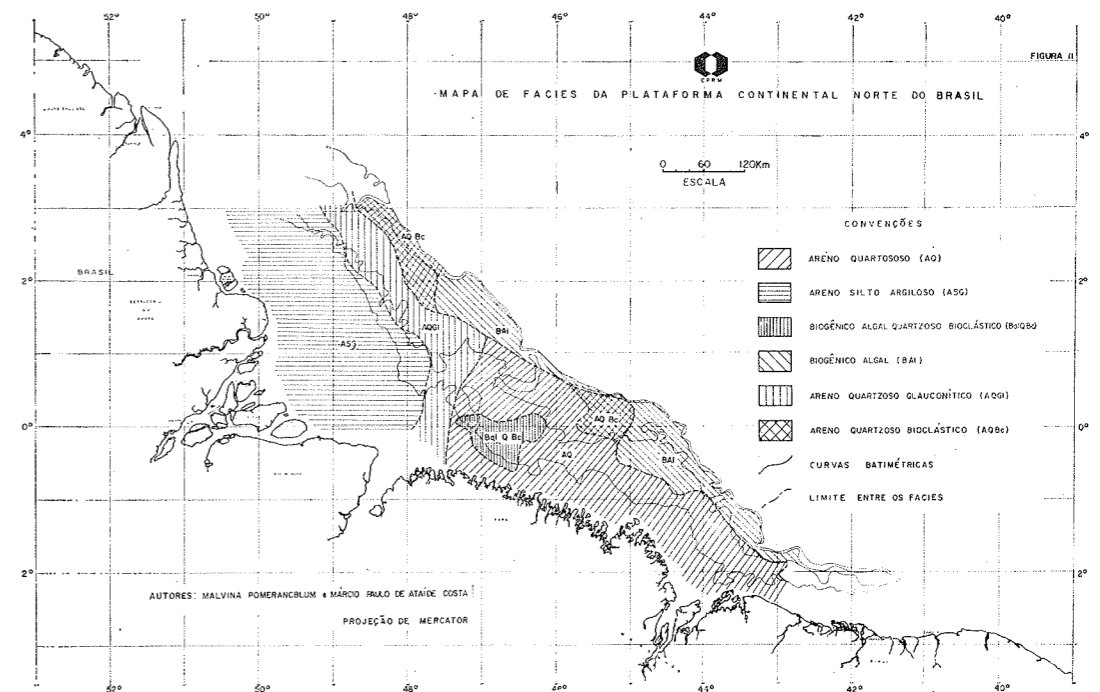
- as associações mineralógicas das Províncias Pará e Piauí-Maranhão nos sugerem áreas de suprimento ricas em rochas de metamorfismo regional de mesozona, principalmente em facies anfibolítico, como fonte primária do fornecimento detrítico.
- a associação mineralógica da Província Maranhão nos sugere um suprimento de sedimentos retrabalhados, provavelmente envolvidos em mais de um ciclo de sedimentação.
- a associação mineralógica da Província Maranhão-Pará nos sugere a superposição dos fornecimentos das províncias Pará e Maranhão.
- a associação mineralógica da Província Amazônica Externa evidencia áreas de suprimento ricas em rochas ígneas ácidas e básicas, bem como rochas metamorfismo regional de mesozona. A Província Amazônica Intermediária apresenta maiores contribuições de rochas ígneas ácidas e rochas de metamorfismo regional de mesozona e epizona. As Províncias Amazônica Interna e Amazônica de Talude apresentam maiores contribuições de rochas ígneas básicas e rochas de metamorfismo regional de mesozona.
- a associação mineralógica da Província Pará-Amazônica Externa nos sugere a superposição dos tipos de suprimentos fornecidos às Províncias Pará e Amazônica Externa.

#### FACIES SEDIMENTARES

As principais unidades faciológicas individualizadas na plataforma continental Norte do Brasil foram (Fig. 11):

#### FACIES CLÁSTICOS

- **Facies areno quartzoso**, que se estende ao longo da costa do Pará e Maranhão, desde a foz do Parnaíba à foz do Pará. Como já mencionado no item referente à granulometria e parâmetros estatísticos, a distribuição anômala dos sedimentos deste facies deve-se ao fato de serem relictos de um período de nível de mar mais baixo,



sendo sua idade provavelmente Pleistocênica.

- **Facies areno silto argiloso**, estendendo-se desde a foz do Pará à Ilha de Maracá, cobrindo a plataforma continental interna e média desta região. Segundo Zemruscki, Gorini, Palma e Costa (1971), uma transgressão do facies lamoso sobre o arenoso é sugerida pela topografia típica de **topsets**, **foresets** e **bottomsets** evidenciando condições de deposição atual e progradação.

A ocorrência de tremolita, bem como a de outros minerais instáveis (diopsídio, augita e hiperstênio), sugere ser sua idade Holocênica (Pettijohn, 1941).

- **Facies areno quartzoso bioclástico**, ocorrendo em certos trechos da Plataforma Externa acompanhando o facies areno-quartzoso e apresentando, com este, contatos transicionais. Conforme mencionado no item relativo à granulometria, as areias deste facies apresentam, de modo geral, as mesmas características granulométricas do facies areno quartzoso, principalmente onde este tem uma granulação mais grosseira.

Sendo a associação mineralógica das areias terrígenas deste facies coincidente com a mineralogia do facies areno-quartzoso, pôde-se concluir ser aquele facies também relictos de um período de nível de

mar mais baixo (Pomerancblum e Costa, 1970 a, b), (Zemruscki, Gorini, Palma e Costa, 1971). Sugerimos, assim como para o facies areno quartzoso, uma idade provavelmente Pleistocênica.

#### FACIES AUTIGÊNICOS

- **Facies biogênico algal**, estendendo-se por quase toda a parte externa da plataforma, principalmente da foz do Parnaíba à do Pará. É grande a predominância de algas entre os organismos encontrados sendo **Lithothamnion** o gênero mais freqüente, ocorrendo em grande variedade de tamanhos.

Foi também notada a ocorrência de Halimeda, em formas bem suaves, embora sua presença, característica de águas calmas e até 50 m de profundidade (Mabe-soone e Coutinho, 1970), possa indicar encontrar-se já morta, ocorrendo como fragmentos detríticos.

Sugerimos uma idade Recente para este facies.

#### FACIES MISTOS

##### Clásticos + Autigênicos

- **Facies areno quartzoso glauconítico**, que se estende da foz do Pará à Ilha de Maracá,

sendo componente da plataforma média a externa, numa estreita faixa fronteira ao facies areno silto argiloso. Essa unidade faciológica foi individualizada do facies areno quartzoso levando-se em consideração duas evidências: a diferenciação na associação dos minerais pesados; e a presença de glauconita, mineral autigênico marinho, evidenciando influência dos processos de sedimentação química. Esta ocorrência de glauconita é produto de alteração de biotita em condições marinhas.

(Pomerancblum e Costa, 1970 b). Sugerimos uma idade Eocênica para este facies.

— **Facies biogênico algal quartzoso bioclástico**, compreendendo uma pequena área situada no facies areno quartzoso, a NE da foz do Pará. Este facies caracteriza-se, litologi-

camente, como uma mistura dos facies biogênico algal e areno quartzoso bioclástico.

Geologicamente, a área representada agora pela Bacia Amazônica existiu através a maior parte do Mesozóico, Paleozóico e, possivelmente, Pré-Cambriano. No começo do Terciário tornou-se uma extensa planície drenada para o Oceano Pacífico pelo Golfo de Guaiáquil. O levantamento dos Andes, no Mioceno, fechou esta saída para o Pacífico formando um imenso lago e, subsequentemente, estabelecendo o presente modelo de drenagem do Amazonas (Katzner, 1909, Jenks, 1956), cuja atual concentração de sólidos em suspensão é de cerca de 80 a 600 mg/l na região dos Andes e de 30 a 120 mg/l em sua foz, nas estações secas e chuvosas, respectivamente (Gibbs, 1967).

#### BIBLIOGRAFIA

- AMARAL, S. E. (1956) — Sedimentologia e Geologia das camadas perfuradas na região da foz do Rio Amazonas, Univ. S. Paulo, 192 93 pp.
- DAVIS, L. C. (1964) — The Amazon's rate of flow, *Natural History*, 73, (6): 15-19.
- EMERY, K. O. (1960) — The Sea off Southern California, New York, John Wiley and Sons, Inc., 366 pp.
- (1963) — Relict Sediments on Continental Shelves of the World, Amer. Assoc. Petroleum Geologists, 52, (3): 445-464.
- FOLK, R. L. (1951) — Stages of textural maturity in sedimentary rocks, *Journal of Sedimentary Petrology*, 21, (3): 127-130.
- GIBBS, R. J. (1967) — The geochemistry of the Amazon River System, *Geol. Soc. America Bull.*, 78: 1.203-1.232.
- JENKS, W. J. Editor (1956) — Handbook of South American Geology, Geol. Soc. America, Mem. 65, 378 pp.
- KATZNER, F. (1903) — Grundzüge der Geologie des unteren Amazonas Gebietes, Trad. port. de Hugo Mense, Bol. Museu Paranaense, IX, 1933.
- KEMPF, M.; COUTINHO, P. N. e MORAIS, J. O. (1968) — Plataforma Continental Norte e Nordeste do Brasil, XXXV Comissão Oceanográfica, "Operação Norte/Nordeste.
- KRUMBEIN, W. C. e PETTIJOHN, F. J. (1938) — Manual of sedimentary petrography, Appleton Cent. Co. Inc., New York, 549 pp.
- KLOOSTERMAN, J. B. (1969) — Characterization of the Tin Tantalum Veins of Amapá Territory, VIIIª Conferência Geológica, Georgetown, Guiana Inglesa.
- LOCHMAN, C. (1957) — Paleocology of the Cambrian in Montana and Wyoming, *Geol. Soc. America, Mem.* 67, (2): 117-162.
- MABESONE, J. M. e COUTINHO, P. N. (1970) — Littoral and Shallow marine geology of northern and northeastern Brazil, *Trab. Oceanogr. Univ. Fed. Pe., Recife*, 12: 1-214.
- NAGELL, R. H. (1962) — Geology of Serra do Navio Manganese District, Brazil, *Economic Geology*, 57, (4): 481-498.
- OLTMAN, R. E. (1966) — Reconnaissance investigations of the discharge and water quality of the Amazon, Associação de Biologia Tropical, Simpósio sobre Biota Amazônica, Belém.
- OTTMAN, F. (1959) — Estudo das amostras de fundo recolhidas pelo N. Oc. "Almirante Saldanha" na região da embocadura do Rio Amazonas, Instituto de Biologia Marinha e Oceanografia da Universidade de Recife 1, (1): 77-106.
- PETTIJOHN, F. J. (1941) — Persistence of heavy minerals and geologic age, *Journal of Geology*, 49: 610-625.
- (1949) — Sedimentary Rocks N. York, Harper and Brothers, 526 pp.
- (1972) — Sand and Sandstones, N. York, Springer Verlag, 618 pp.
- POMERANCBLUM, M. e COSTA, M. P. A. — (1970a) — Algumas características dos Sedimentos da Plataforma Continental Norte do Brasil, Academia Brasileira de Ciências.
- (1970b) — Estudo Sedimentológico da Plataforma Continental Norte do Brasil, Relatório inédito para Diretoria de Hidrografia e Navegação do Ministério da Marinha.
- TOKO MARU EXPEDITION (1958) — Survey report on the Brazilian Fishing Grounds, Japanese Fisheries Agency, Min. Agriculture and Forestry, 297 pp.
- NENTWORTH, C. K. (1922) — Scale of grade class Terms for clastic sediments, *Journal of Geology*, 30: 377-392.
- ZEMBRUSCKI, S. G.; GORINI, M. A.; PALMA, J. J. C. e COSTA M. P. A. (1971) — Fisiografia e Distribuição dos Sedimentos Superficiais da Plataforma Continental Norte Brasileira, *Bol. Tec. Petrobrás*, 14, (314): 127-155.

## INTEGRAÇÃO DE INFORMAÇÕES SOBRE OS MINERAIS PESADOS NA PLATAFORMA CONTINENTAL BRASILEIRA

Por

MALVINA POMERANCBLUM<sup>(1)</sup> e MARCIO PAULO DE ATAIDE COSTA<sup>(2)</sup>

#### ABSTRACT

As a tentative of integrating heavy minerals information of the Brazilian Continental Shelf, the following maps are presented:

Locality map of the studied areas

Sedimentary petrologic provinces map

Map of influence of possible surficial detrital minerals source rocks

Mineralogical maturity map

An analysis of the mentioned maps as well as a tentative of sedimentary tectonics appreciation are done.

#### INTRODUÇÃO

A integração de informações sobre minerais pesados na Plataforma Continental Brasileira visou a análise de todos os dados referentes às Operações GEOMAR I a IV, as primeiras na Plataforma Continental Norte e a última na Plataforma Continental Sul, todas realizadas sob os auspícios da DHN do Ministério da Marinha que, como entidade nacional designada para coordenação das pesquisas, as vem realizando desde 1969 em cooperação com vários órgãos do Ministério das Minas e Energia da Universidade do Brasil, entre outros.

Tem-se mantido como investigações constantes para todas as Comissões, as análises granulométricas e mineralógicas dos sedimentos coletados.

Como o Programa de Reconhecimento prevê, em sua fase preliminar, a integração de todos os estudos já realizados no Brasil relacionados à Geologia Marinha, o presente trabalho é apresentado como uma parte desta integração referente a minerais pesados, podendo ser de utilidade no planejamento de áreas passíveis de futuro estudo.

#### ÁREAS ESTUDADAS

Podemos dividir a Margem Continental Brasileira nos seguintes tipos de áreas, de acordo com a frequência de estudos de minerais pesados já realizados (Fig. 1).

**Área com estudos frequentes** — região que se estende desde o Cabo Orange, no Território Federal do Amapá, até a foz do Rio Pará, no Estado do Pará. Essa região fica compreendida entre os meridianos de 47-51°W e os paralelos de 0-5°N.

**Áreas com estudos infrequentes** — 1. região que se estende da foz do Pará à do Paranaíba, na fronteira dos Estados Maranhão-Piauí, compreendida entre os meridianos 41-47°W e os paralelos de 0-3°S; 2. região compreendida entre os meridianos 50-53°W e os paralelos 32-35°S entre a foz do Rio Grande e o Arroio Chui, Rio Grande do Sul.

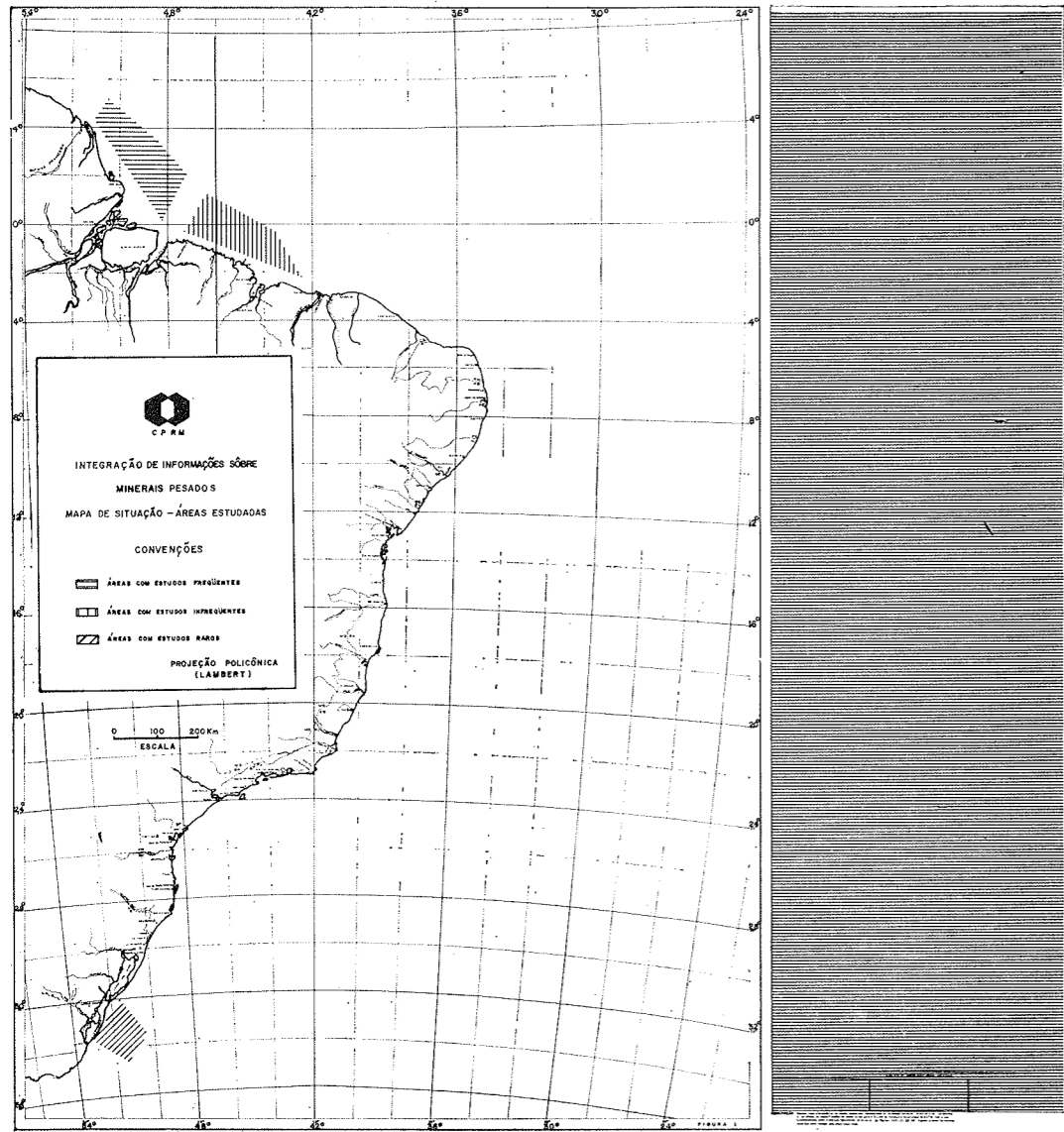
**Áreas com estudos raros** — região que se estende por todo o resto da plataforma continental.

#### TIPOS DE ESTUDOS REALIZADOS

Os sedimentos coletados a bordo das Comissões GEOMAR têm sido submetidos a processamentos analíticos para minerais pesados, resultando diversos tipos de estudos interpretativos. Estudos incluindo estabilidade e maturidade mineralógica, proveniência e províncias petrológicas sedimentares têm sido realizados de maneira constante para todas as áreas já cobertas, visando um melhor conhecimento da fonte e dispersão dos sedimentos.

(1) Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais — LAMIN — RJ.

(2) Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais — REMAN — RJ.



Os resultados têm sido plotados em mapas de distribuição das províncias petrológicas sedimentares e mapas de influência na plataforma continental das possíveis rochas-fonte dos minerais detríticos superficiais (Pomerancblum e Costa, 1970 a, b e 1972; Pomerancblum 1971, 1972; Pomerancblum e Coutinho, 1972, a b).

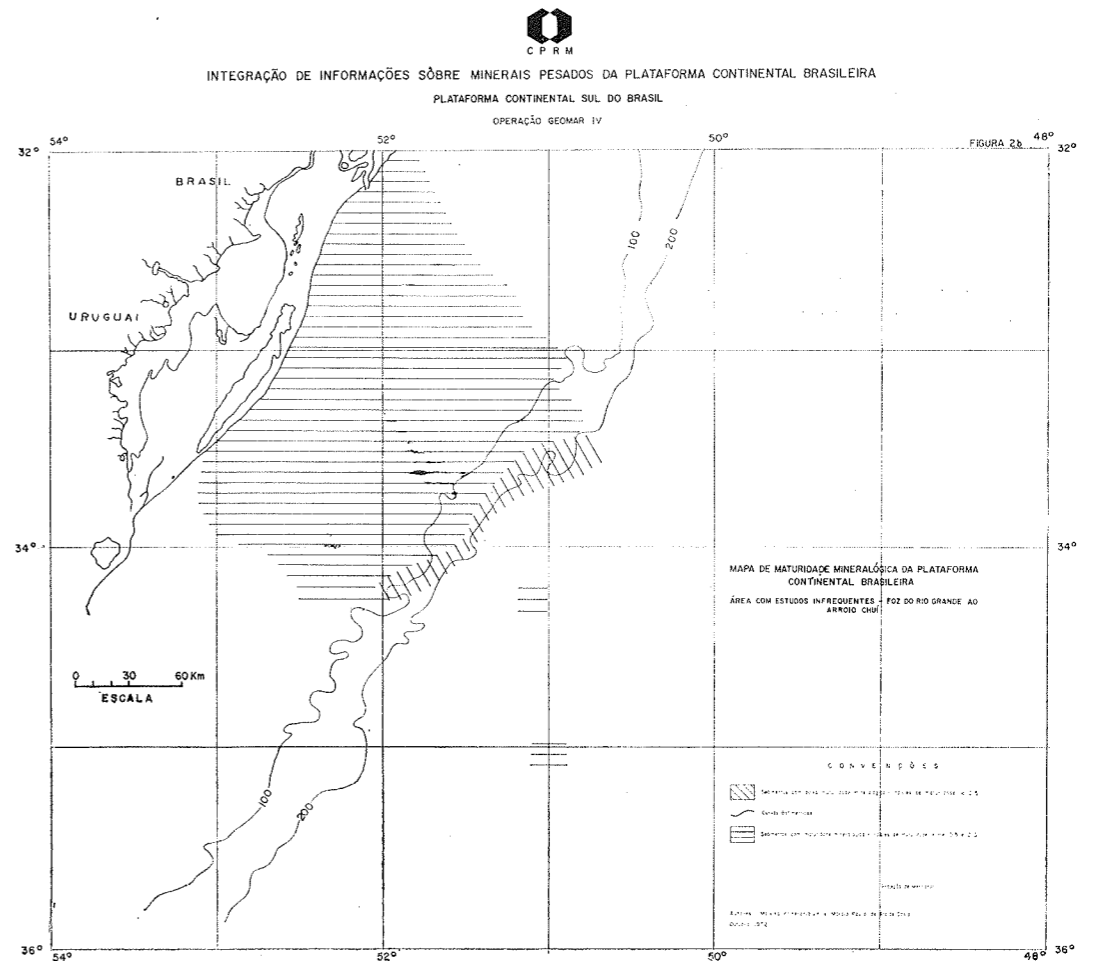
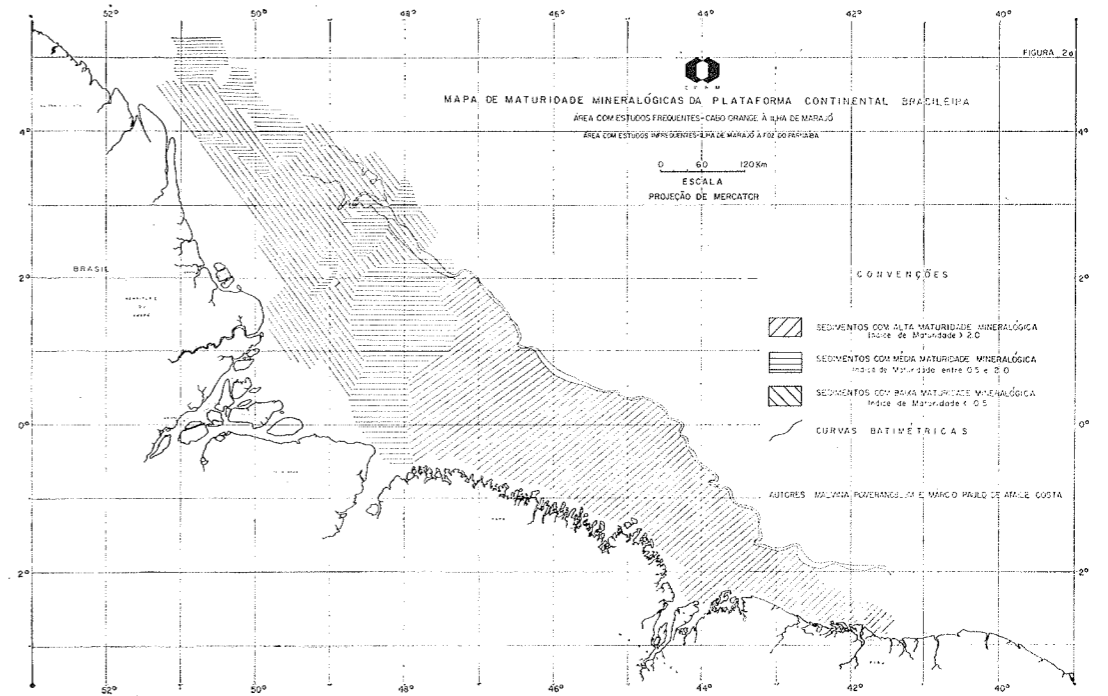
A catalogação destas informações em mapas, é necessária como um dos subsídios ao completo entendimento da história sedimentar da Margem Continental Brasileira.

**MINERAIS PESADOS**

Os minerais pesados encontrados são cloritóide (Cl), tremolita (Tr), diopsídio (Di),

hiperstenio (Hi), silimanita (S), augita (Au), titano-augita (TiAu), zoizita (Zo), andalusita (An), hornblenda (Ho), hornblenda basáltica (HoB), epidoto (Ep), cianita (C), estauroilita (Es), apatita (Ap), biotita (B), granada (Gr), turmalina (T), rutilo (R), zircão (Z), muscovita (Mu), anatásio (Ana), titanita (Ti) entre os transparentes e magnetita (M), ilmenita (I), óxido de ferro (O), pirita (P) e glauconita (G) entre os opacos, na Plataforma Continental Norte.

Na Plataforma Continental Sul foram encontrados os minerais transparentes acima mencionados com exceção de Cl, Di, Ana e Ti, sendo ainda determinados brookita (Br), co-



rindon (Co) e actinolita (Ac). Entre os opacos, apenas glauconita não foi encontrada.

### MATURIDADE MINERALÓGICA

De um modo geral a área da plataforma continental norte brasileira apresenta uma gradação SE-NW em seus índices de maturidade mineralógica (Fig. 2a). Sedimentos com alta maturidade (índices superiores a 2.0) ao longo da plataforma continental do Piauí, Maranhão e Pará (até a Ilha de Marajó), passam a sedimentos com maturidade média (índices compreendidos entre 0.5-2.0) na plataforma ao longo da Ilha de Marajó e progressivamente a sedimentos com baixa maturidade (índices inferiores a 0.5), na plataforma continental ao longo do Amapá. Nesta última região, existem pequenas variações no grau de maturidade, passando a médio, principalmente nas seguintes regiões: quebra da plataforma e talude continental ao longo do Amapá; plataforma externa e talude continental próximo ao canyon Amazonas.

A plataforma continental Sul (fig. 2b) no único trecho estudado (foz do Rio Grande ao Arroio Chui), apresenta sedimentos com maturidade média desde o litoral até a isóbata de 100 metros, passando gradativamente a sedimentos com baixa maturidade entre os isóbatas de 100 a 200 metros.

Existem duas pequenas regiões que nos evidenciam uma provável passagem a sedimentos com maturidade média além da isóbata de 200 metros.

### PROVÍNCIAS PETROLÓGICAS SEDIMENTARES

Foram destinadas até o presente estado de evolução dos estudos, as seguintes províncias petrológicas sedimentares nas áreas com estudos frequentes e infrequentes da Região Norte (Fig. 4a):

**Província Amazônica Interna**, ao largo da foz do Araguari no Amapá, com a associação mineralógica característica **Hi, Ho, Au**, apresentando baixa maturidade mineralógica.

**Província Amazônica Intermediária**, estendendo-se da foz do Amazonas à Ilha de Maracá, com **Ho, B, Mu**, como minerais característicos; a maturidade mineralógica é baixa.

**Província Amazônica Externa**, estendendo-se da Ilha de Marajó ao Cabo Orange com **Ho, Hi, Z, Au, B, Ep** como minerais caracte-

rísticos, na maioria de baixa maturidade mineralógica.

**Província Amazônica de Plataforma Externa**, compreendendo a área da plataforma externa que se estende da foz do Pará ao Cabo Orange. A associação mineralógica é caracterizada por **An, Ho, Hi, Gr, Z, Ep**, de modo geral com baixa maturidade mineralógica.

**Província Amazônica de Talude**, que se estende na região do talude continental de de o canyon Amazonas em direção NW. A associação mineralógica característica é **Hi, Ho, B**, apresentando baixa maturidade mineralógica.

**Província Pará-Amazônica Externa**, que se estende ao longo da foz do Pará na plataforma continental média a externa, apresentando uma mistura das associações mineralógicas das Províncias Pará e Amazônica Externa, apresentando baixa maturidade mineralógica.

Todas essas províncias apresentam limite de persistência Pleistoceno-Recente.

**Província Pará**, estendendo-se da foz do Pará à do Gurupi com **Es, C**, como minerais característicos e apresentando alta maturidade mineralógica.

**Província Maranhão-Pará**, compreendendo a plataforma continental próxima à foz do Gurupi, sendo a associação mineralógica característica **Es, Z, C, T** e os minerais pesados de alta estabilidade mineralógica.

**Província Maranhão**, aproximadamente do meridiano de 43°W à foz do Gurupi. A associação mineralógica característica é **Z, T**, apresentando a mais alta estabilidade mineralógica dentre as áreas estudadas.

**Província Piauí-Maranhão**, que se estende da foz do Parnaíba ao meridiano de 43°W, sendo a associação mineralógica característica **C, Es**, apresentando também alta estabilidade mineralógica.

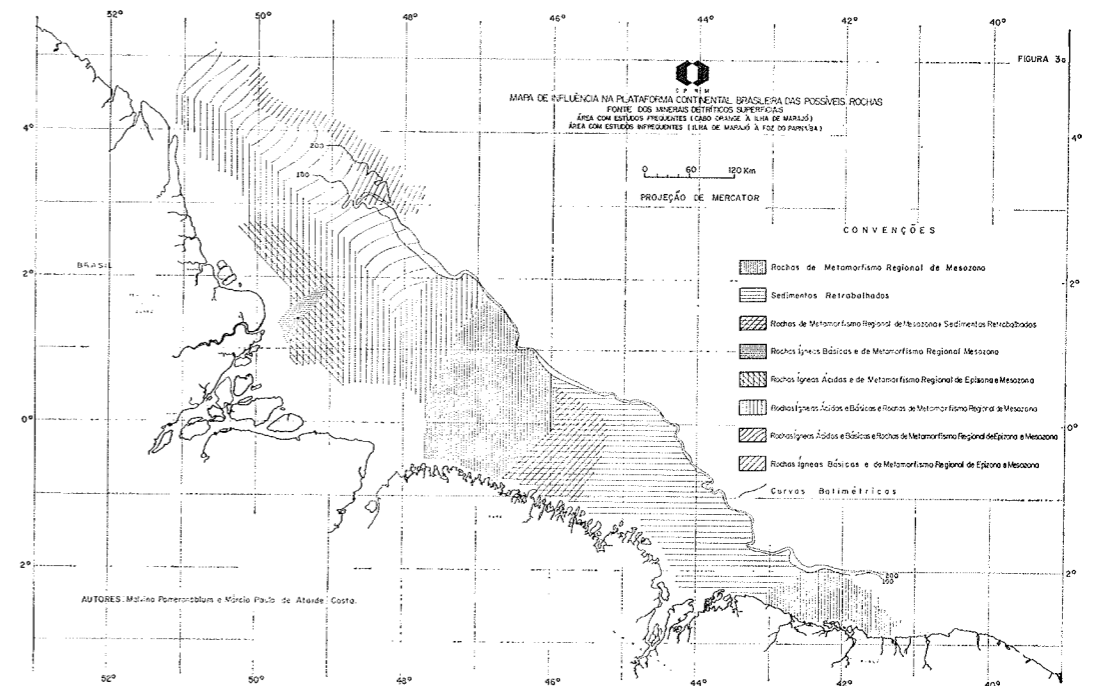
Todas essas províncias, apresentam limite de persistência Terciário-Recente.

As seguintes províncias petrológicas foram delimitadas na área de estudo infrequente da Região Sul (Fig. 4b):

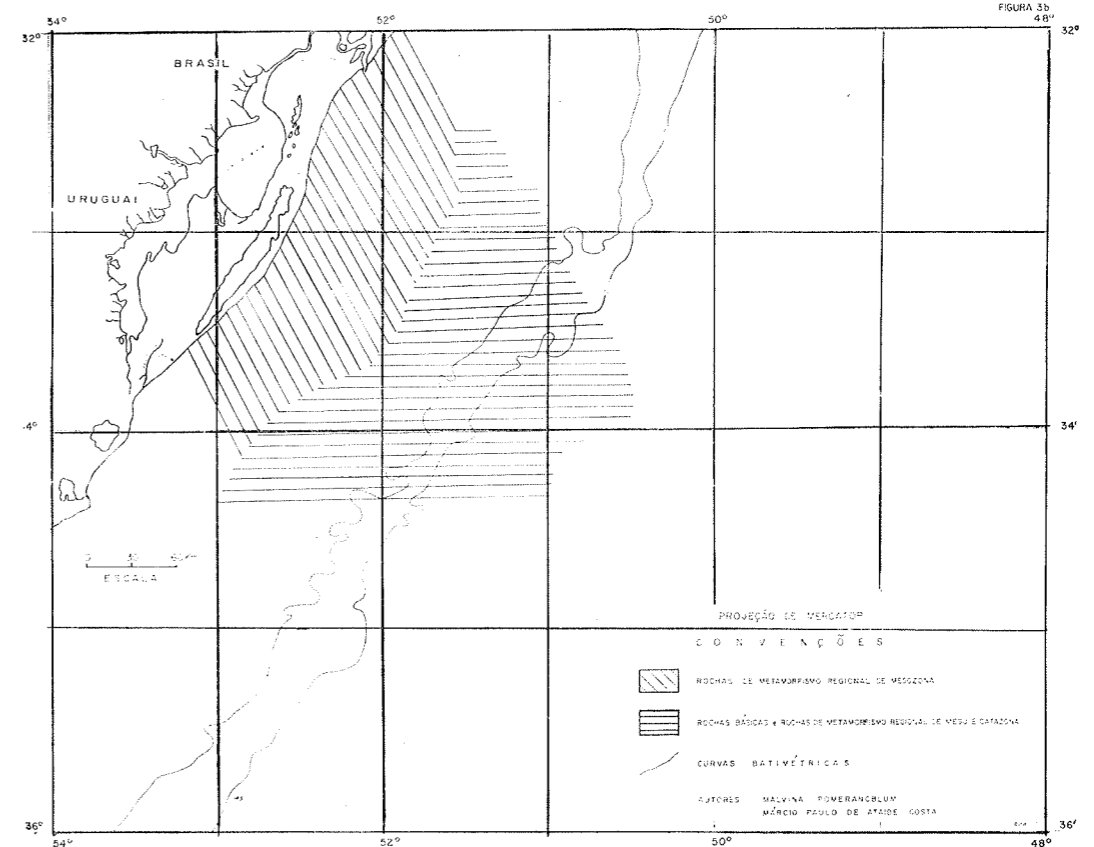
**Província Riograndense Interna**, que se estende ao longo do litoral do Rio Grande do Sul, da foz do Rio Grande ao Arroio Chui, caracterizada por **Ep, Es, Gr, Z, Ho**, apresentando alta estabilidade mineralógica.

**Província Riograndense Externa**, que acompanha, externamente, a província anterior. Os minerais característicos são **Hi, Ho, Au**, sendo de baixa estabilidade mineralógica.

Essas províncias apresentam limite de persistência Pleistoceno-Recente.



INTEGRAÇÃO DE INFORMAÇÕES SOBRE MINERAIS PESADOS NA PLATAFORMA CONTINENTAL BRASILEIRA  
MAPA DE INFLUÊNCIA NA PLATAFORMA DAS POSSÍVEIS ROCHAS-FONTE DOS SEDIMENTOS DETRÍTICOS  
ÁREA COM ESTUDOS INFREQUENTES (FOZ DO RIO GRANDE AO ARROIO CHUI)



### INFLUÊNCIA NA PLATAFORMA DAS POSSÍVEIS ROCHAS FONTE DO FORNECIMENTO DETRÍTICO

As áreas com estudos frequentes e infrequentes da região Norte, apresentam de SE para NW, os seguintes tipos de contribuições rochosas (Fig. 3a):

- da foz do Parnaíba ao meridiano de 43°W e aproximadamente da foz do Gurupi à do Pará, os sedimentos detríticos mostraram contribuições de rochas de **metamorfismo regional de mesozona**.
- do meridiano de 43°W até aproximadamente a foz do Gurupi, as contribuições foram de **sedimentos retrabalhados**.
- a região da plataforma continental situada ao longo da foz do Gurupi, mostrou contribuições de **rochas de metamorfismo regional de mesozona e sedimentos retrabalhados**.
- a região da plataforma continental interna situada ao longo da foz do rio Araguari, mostrou contribuições de **rochas ígneas básicas e de metamorfismo regional de mesozona**.
- a região da plataforma continental interna que se estende da foz do Amazonas à ilha de Maracá, mostrou contribuições de **rochas ígneas ácidas e de metamorfismo regional de epi e mesozona**.
- a região da plataforma continental média que se estende da foz do Pará ao cabo Orange, mostrou contribuições de **rochas ígneas ácidas e básicas e de metamorfismo regional de mesozona**.
- a região da plataforma continental externa que se estende da foz do Amazonas ao cabo Orange, mostrou contribuições de **rochas ígneas ácidas e básicas e de metamorfismo regional de epi e mesozona**.
- a região do talude continental que se estende do **canyon Amazonas** ao cabo Casiporé, mostrou contribuições de **rochas ígneas básicas e de metamorfismo regional de epi e mesozona**.

Deve-se ressaltar na área Norte que, enquanto no trecho da plataforma continental compreendido entre a foz do Parnaíba e a do Pará as maiores contribuições são de rochas metamórficas, a partir da foz do Pará em direção NW notou-se um maior suprimento de-

trítico derivado de rochas ígneas ácidas e básicas.

A área com estudos infrequentes da região sul, apresentou os seguintes tipos de contribuições rochosas (Fig. 3b):

- na região da plataforma interna a média, que se estende da foz do Rio Grande ao Arroio Chuí, as contribuições foram de **rochas de metamorfismo regional de mesozona**.
- na região da plataforma média a externa, que se estende da foz do Rio Grande ao Arroio Chuí, as contribuições foram principalmente de **rochas básicas**.

### ANÁLISE DOS RESULTADOS

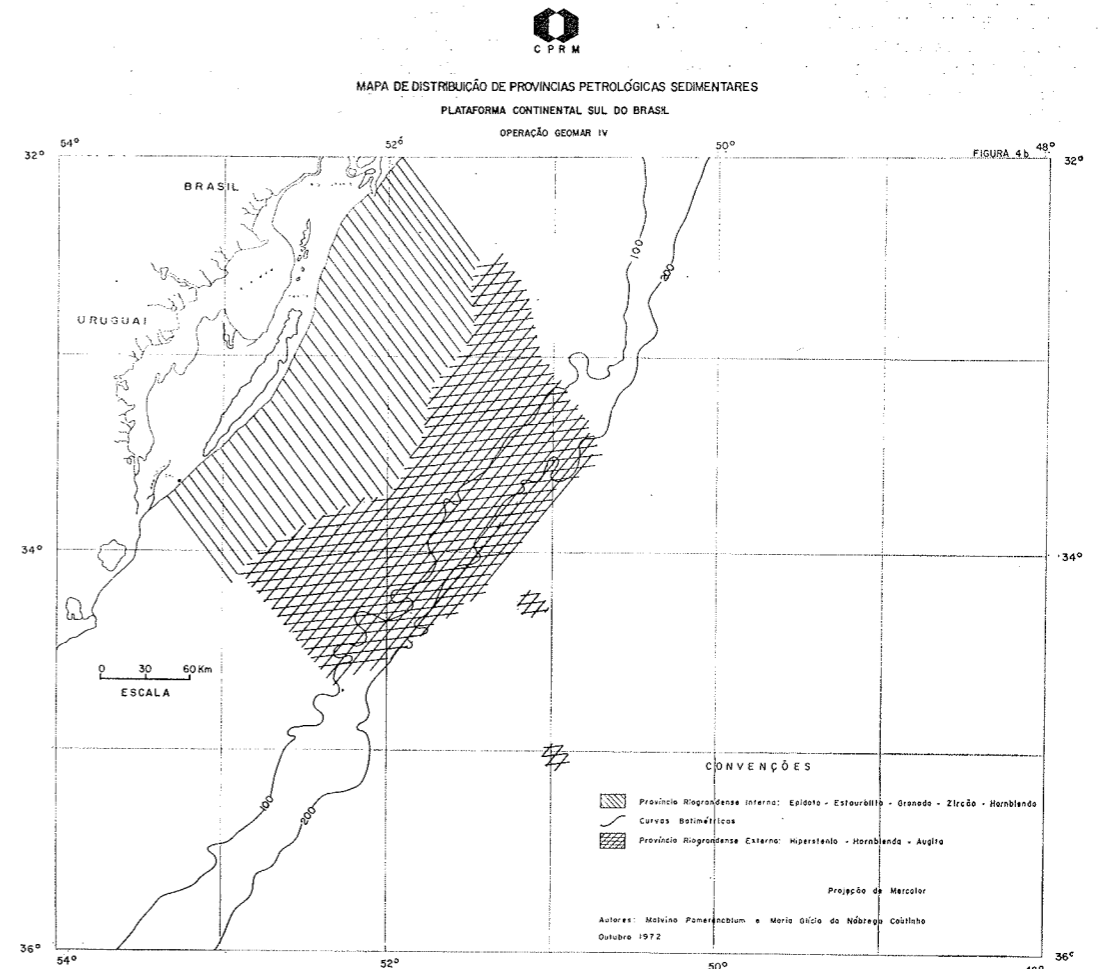
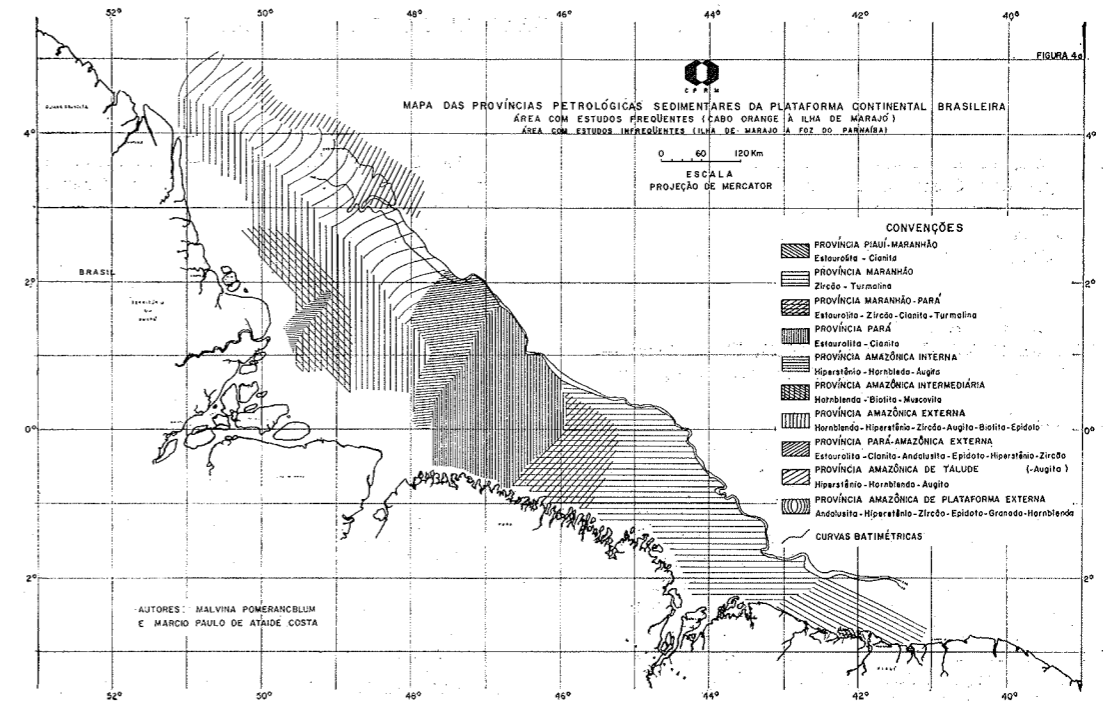
Os tipos de informação obtidos nesse estudo, quando realizados em toda a plataforma, poderiam ser úteis para um melhor conhecimento da evolução da margem continental através a dispersão de seus sedimentos e como base previsional para determinar a tendência de concentração de minerais de interesse econômico.

Até o presente momento, embora com dados de superfície apenas, foi possível a caracterização dos seguintes estágios da tectônica sedimentar atingidos na Área Norte:

- a leste do Rio Pará que, devido ao alto índice de maturidade textural e mineralógica dos litótopos, evidenciou uma fase de estabilidade tectônica da plataforma;
- a plataforma interna a média da região a oeste do Rio Pará que, em virtude do baixo índice de maturidade textural e mineralógica dos litótopos, evidenciou uma fase de instabilidade tectônica.

Na Área Sul, ainda com dados superficiais apenas, foi possível definir os dois seguintes estágios:

- a plataforma interna que devido a maturidade textural e mineralógica evidenciou uma fase de estabilidade tectônica da plataforma;
- a plataforma externa e talude que, por apresentar baixo índice de maturidade textural e mineralógica evidenciou uma fase de instabilidade tectônica.



## BIBLIOGRAFIA

- AMARAL, S. E. (1956) — Sedimentologia e Geologia das Camadas Perfuradas na Região da Foz do Rio Amazonas — Univ. S. Paulo, 192: 93 pp.
- FREITAS, R. O. (1960) — Menirologia e Geologia das Areias da Praia de Caraguatatuba a Ubatuba, Escola Engenharia S. Carlos — USP, Publ. 30 (Geol. 11).
- KRUMBEIN, W. C. e PETTIJOHN, F. J. (1938) — Manual of Sedimentary Petrography, Appleton Cent. Co. Inc., New York, 549 pp.
- KRUMBEIN, W. C. e SLOSS, L. L. (1959) — Stratigraphy and Sedimentation W. H. Freeman and Co., San Francisco, 497 pp.
- MABESONE, J. M. e COUTINHO, P. N. (1970) — Littoral and Shallow Marine Geology of Northern and Northeastern Brazil, trab. Oceanogr. Univ. Fed. Pe., Recife, 12: 1-214.
- MARTINS, L. R. (1972) — Relatório de Bordo referente à Operação GEOMAR IV, inédito, feito para a DHN do Ministério da Marinha.
- MILNER, H. B. (1962) — Sedimentary Petrography, George Allen, & Unwin Ltd., London, 1: 643 pp.; 2: 715 pp.
- PETTIJOHN, F. J. (1957) — Sedimentary Rocks, N. York, Harper and Brothers, 718 pp.
- POMERANCBUM, M. (1971) — Minerais Pesados da Plataforma Continental Norte do Brasil referente à Operação GEOMAR II, relatório inédito feito para a DHN do Ministério da Marinha.
- POMERANCBUM, M. (1972) — Províncias Petrológicas Sedimentares no Canyon Amazonas e Áreas Adjacentes, XXVI Congresso Brasileiro de Geologia, Belém.
- POMERANCBUM, M. e COSTA, M. P. A. (1970a) — Algumas Características dos Sedimentos da Plataforma Continental Norte do Brasil, Academia Brasileira de Ciências.
- POMERANCBUM, M. e COSTA, M. P. A. (1970b) — Estudo Sedimentológico da Plataforma Continental Norte do Brasil, relatório inédito feito para a DHN do Ministério da Marinha.
- POMERANCBUM, M. e COSTA, M. P. A. (1972a) — Sedimentologia da Plataforma Continental Norte Brasileira, XXVI Congresso Brasileiro de Geologia, Belém.
- POMERANCBUM, M. e COSTA, M. P. A. (1972b) — Glauconita como Processo de Alteração de Biotita, XXVI Congresso Brasileiro de Geologia, Belém.
- POMERANCBUM, M. e COUTINHO, M. G. N. (1972a) — Sedimentologia da Plataforma Continental Sul do Brasil, XXVI Congresso Brasileiro de Geologia, Belém.
- POMERANCBUM, M. e COUTINHO, M. G. N. (1972b) — Províncias Petrológicas Sedimentares na Plataforma Continental Brasileira, XXVI Congresso Brasileiro de Geologia, Belém.

## ESTUDO PRELIMINAR DAS PROVÍNCIAS GEOMORFOLÓGICAS DA MARGEM CONTINENTAL BRASILEIRA

Por

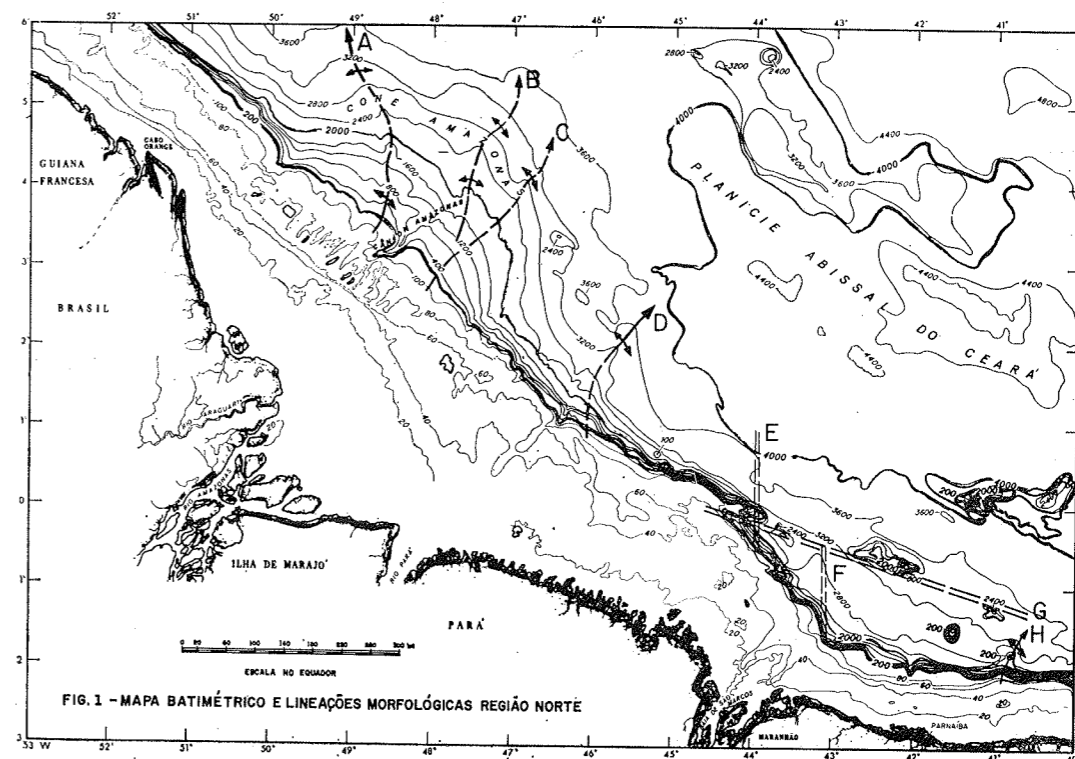
SYLVIO G. ZEMBRUSKI<sup>(1)</sup>, HENYO T. BARRETO<sup>(1)</sup>, JORGE C. PALMA<sup>(2)</sup> e JOHN D. MILLIMAN<sup>(3)</sup>

### ABSTRACT

It was possible to distinguish three main regions in the Brazilian Continental Margin using bathymetric contour maps: the Northern, Northeastern-Eastern and Southern Regions.

The Northern Region is composed of a wide continental shelf that extends 300 km off the mouth

of the Amazon river. On the continental shelf small topographic features such as tidal ridges and channels, gullies and small valleys are distributed perpendicularly to the shelf break and mainly on the outer shelf. A relatively deep (80 to 130-140 meters) shelf break is characteristic for this region. The continental slope dips seaward and only a few seamounts have been noted. The con-



- (1) Centro de Pesquisas e Desenvolvimento — Petrobrás — Rio de Janeiro.
- (2) Departamento Nacional da Produção Mineral — Divisão de Geologia e Mineralogia — Rio de Janeiro.
- (3) Woods Hole Oceanographic Institution. - U.S.A.

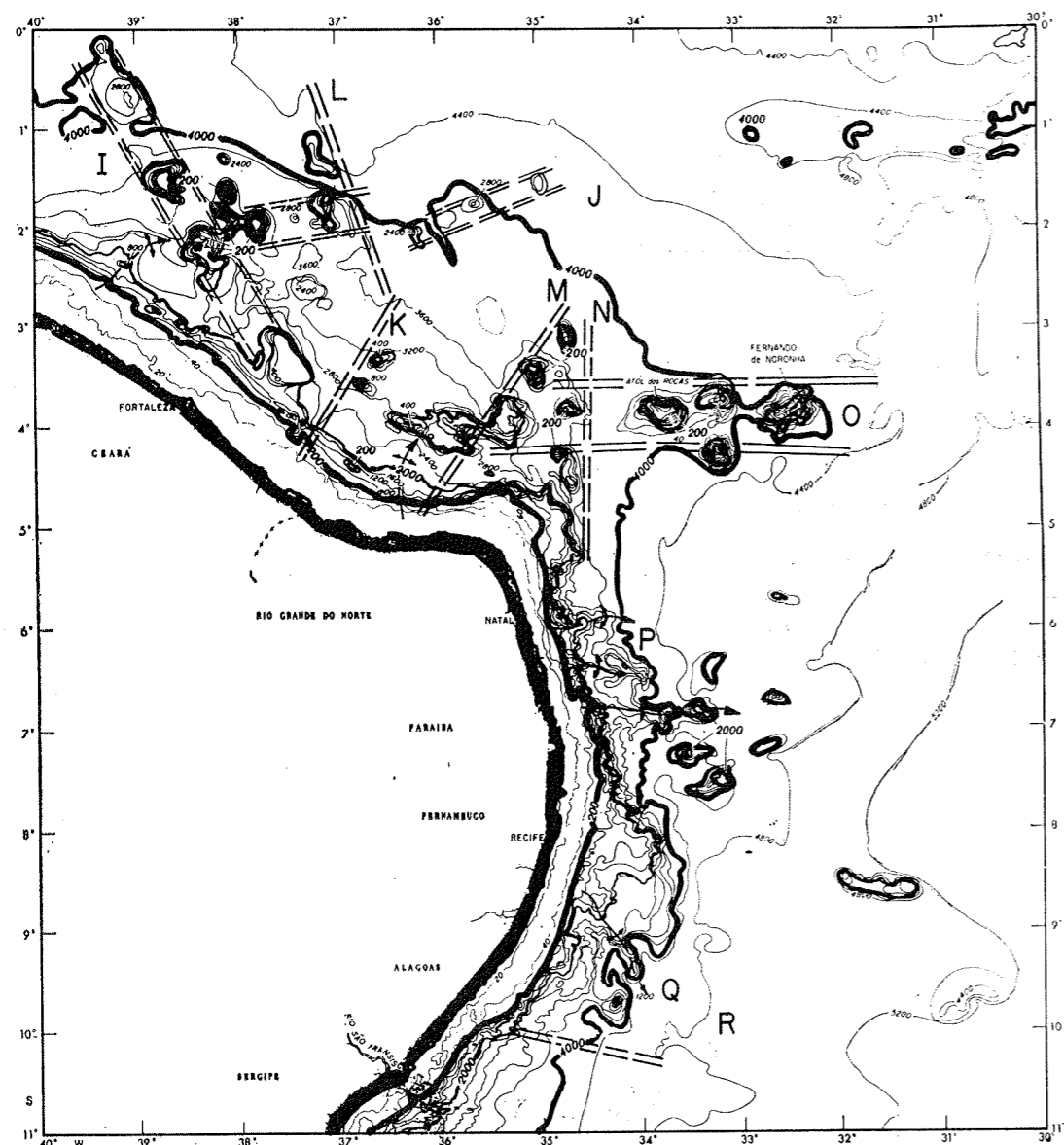


FIG. 2 - MAPA BATIMÉTRICO E LINHAÇÕES MORFOLÓGICAS DA REGIÃO NORDESTE - LESTE

tinental rise seems to terminate at the Northern Brazilian Ridge. The Amazon Cone, which is offset northwestward from the present mouth of the Amazon river, is superimposed on both the continental slope and rise, separating them into two portions. The Amazon Canyon transects the middle of the Amazon Cone.

The Northeastern — Eastern Region, the most complex of all, is characterized by a narrow shelf, a shallow (40-50 meters) shelf break, a steep slope (locally as great as 25°) and a poorly defined continental rise. The width of the shelf averages 20 km and its widest part occurs off the State of Espírito Santo. Volcanic and tectonic activities were responsible for the building up of the general morphological configuration of several regions developing special features such as the Rio Grande

do Norte, Ceará and Pernambuco Plateaus and a few chains of seamounts.

The shelf off southern Brazil is broad (averaging 150 km) and the shelf break is deeper than in either of the other regions. The shelf topography of the Baía de Pelotas sector resembles modern-day lagoons near the neighboring coastline, suggesting a relict Pleistocene landform. The continental slope and rise are broad, gently dipping and no abrupt changes in slope were observed. The Rio Grande rise occupies a major portion of the deep sea floor off the Southern Region.

Some known and/or offshore main structural trends were tentatively correlated to major topographic lineaments on the bathymetric contour maps.

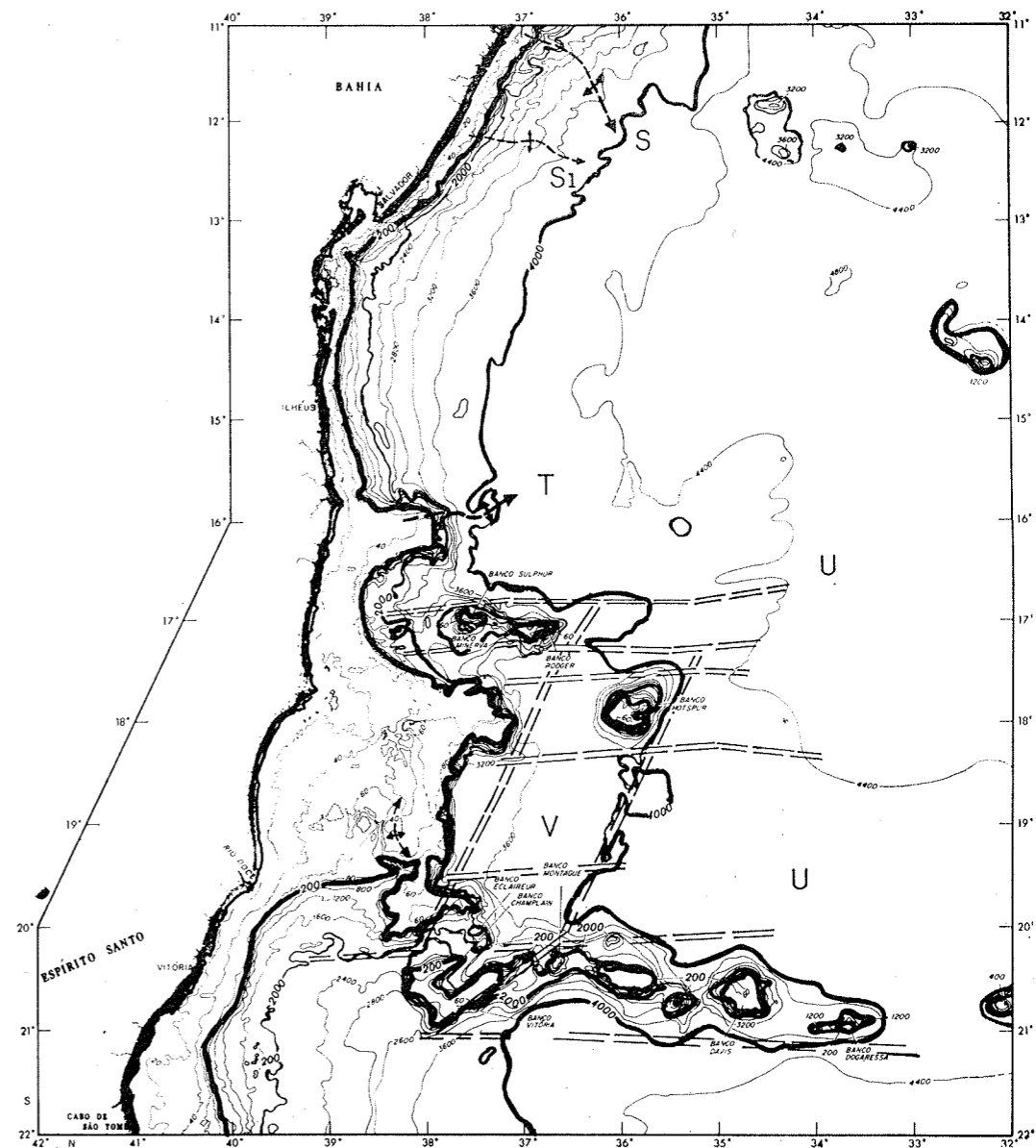


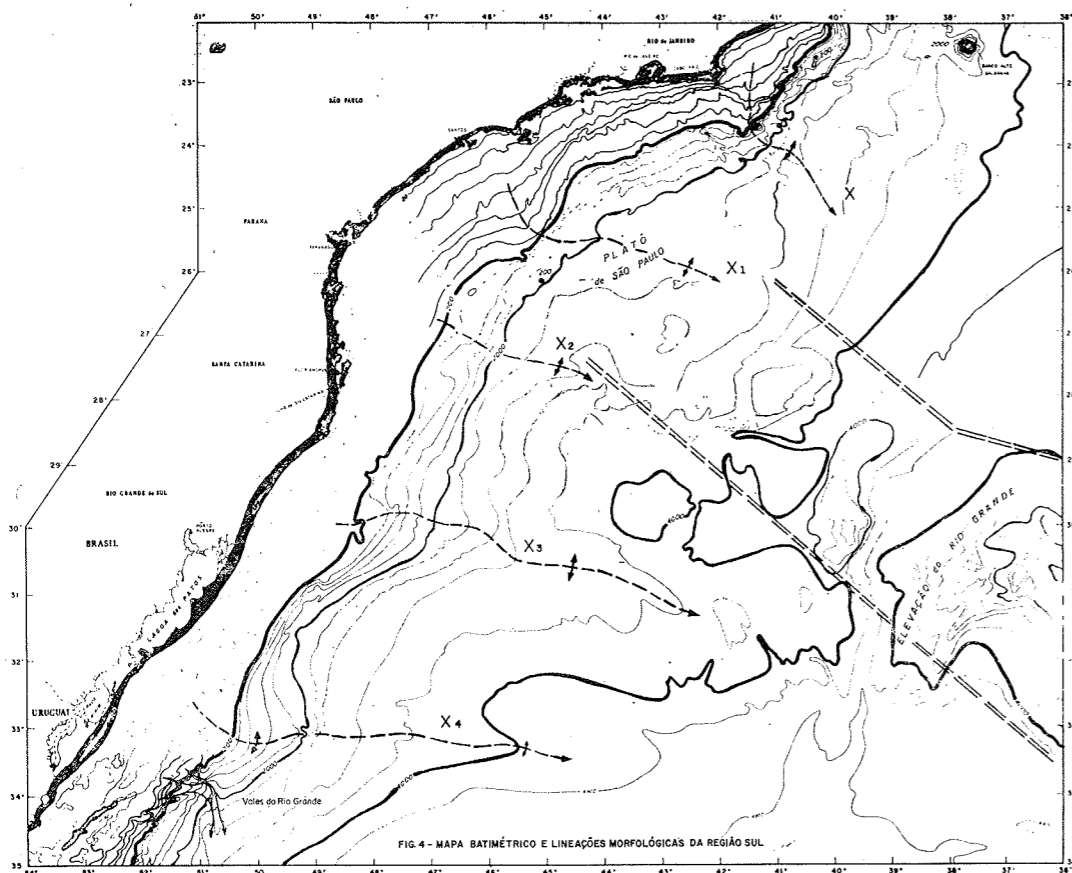
FIG. 3 - MAPA BATIMÉTRICO E LINHAÇÕES MORFOLÓGICAS DA REGIÃO NORDESTE - LESTE

## INTRODUÇÃO

Um dos objetivos da Fase Preliminar do Projeto REMAC — Reconhecimento Global da Margem Continental Brasileira consistiu na elaboração de um mapa batimétrico da área, através da integração dos dados de ecossonagem disponíveis. As informações são abundantes, mas não haviam ainda sido aproveitadas na confecção de um mapa batimétrico regional em escala adequada para servir de base ao desenvolvimento das demais etapas do levanta-

mento a que se propõe o Projeto. São raros os estudos de caráter regional desta parte da Margem Continental da América do Sul que se situa ao largo da costa brasileira — uma extensa área, cujo comprimento, medido ao longo da linha da costa, alcança 6.900 quilômetros, tem sido sempre citada na literatura geológica como mal conhecida. As teses de doutoramento de Butler (1969), Boyer (1969) e Ealey (1969) constituem, em conjunto, o mais completo trabalho de integração dos levantamentos até então realizados. A Margem Continental Brasileira foi dividida em três setores, para o de-





envolvimento das dissertações daqueles autores, que confeccionaram os respectivos mapas batimétricos com dados das folhas das «General Bathymetric Charts of the Oceans (GEBCO) coleção de folhas de contorno batimétrico do U.S. Naval Oceanographic Office, cartas das séries U.S. Navy H.O., das linhas de sondagem dos navios «Oceanographer» e «Discoverer» e das linhas dos navios do Lamont Dohert Geological Observatory, então disponíveis. A geomorfologia regional de cada um dos setores foi estudada a fundo nos referidos trabalhos. Barreto e Milliman (1969) descreveram a morfologia da área com base em dados do U.S. Hydrographic Office, em linhas dos navios da Woods Hole Oceanographic Institution (WHOI) e em alguns dados dos trabalhos exploratórios da Petrobrás.

Existe, ainda, grande número de estudos locais que, em sua maioria, tratam de assuntos específicos. Dentre estes cabe referir os de Almeida (1958 e 1961) sobre o Arquipélago de Fernando de Noronha e a Ilha de Trindade, respectivamente; de Hayes e Ewing (1970) sobre a Cadeia Norte Brasileira e margem con-

tinental adjacente; e de Leyden et alii (1971) sobre a margem continental sul-brasileira.

Na preparação do mapa batimétrico, foram tomadas como base as cartas GEBCO compiladas e periodicamente atualizadas pela Diretoria de Hidrografia e Navegação, e publicadas pela International Hydrographic Bureau. Nestas cartas foram lançadas as informações batimétricas fornecidas pelos levantamentos geofísicos executados pela Petrobrás em diversas áreas da plataforma continental, os quais, por empregarem posicionamento eletrônico e ecosondagem de precisão, permitiram um mapeamento suficientemente acurado da batimetria naquelas áreas.

Numa segunda fase, desenvolvida na sede da WHOI, a estes mapas foram acrescentados dados da «U.S. Collection Sheets» e de ecosondagens realizadas pelos navios da própria instituição. Introduziram-se modificações nos contornos anteriores, resultando um conjunto de mapas batimétricos em Projeção Mercator, na escala 1:1.000.000, no equador e na latitude 30°S. Os intervalos entre as isóbatas é variável: 20 metros na plataforma até a isó-

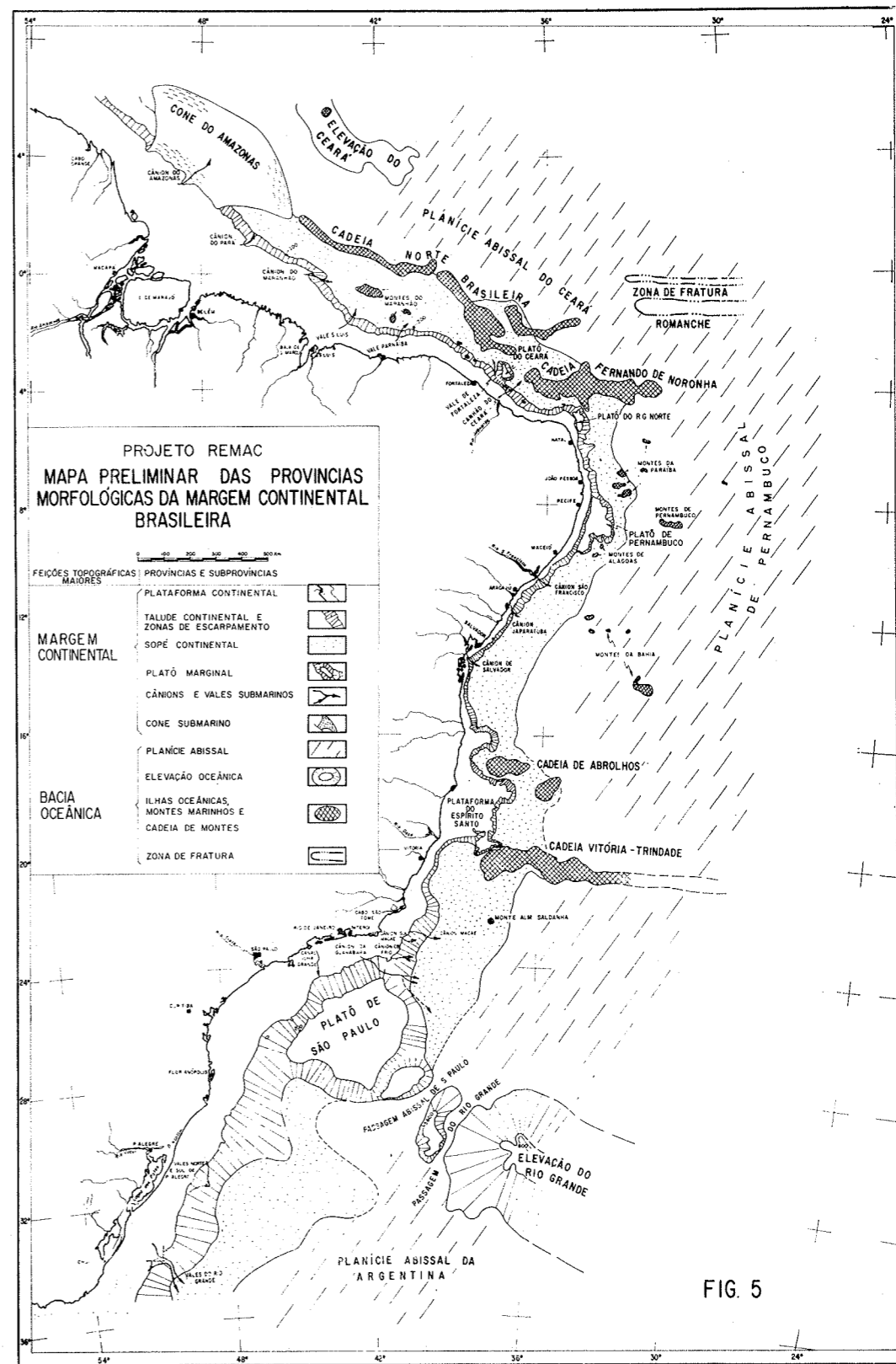


FIG. 5

bata de 100 metros; seguem-se as curvas de 200 e 400 metros; e daí é mantido o intervalo de 400 metros até as profundidades abissais. Na plataforma nordeste-leste, de largura reduzida e borda relativamente rasa, ficaram suprimidas as isóbatas de 100, de 80, e, em certos trechos, a de 60 metros. Finalmente, houve uma redução para a escala de 1:2.000.000, cujas reproduções fotográficas estão nas figuras 1 a 4.

Posteriormente, foram mapeadas as províncias fisiográficas que constituem a Margem Continental e as principais feições geomorfológicas associadas, resultando o mapa geomorfológico preliminar na escala 1:5.000.000, projeção policônica (figura 5). Este trabalho representa um estudo descritivo preliminar da morfologia da Margem Continental Brasileira e feições abissais adjacentes, bem como de alguns aspectos de possível significado morfotectônico.

**Províncias Fisiográficas da Margem Continental** — A classificação e a nomenclatura do relevo submarino foram pela primeira vez sistematizadas segundo critérios geomórficos ou texturais por Heezen et alii (1959), a partir do Diagrama Fisiográfico do Atlântico Norte, cuja discussão e descrição seguiram o esquema reproduzido, no original, no quadro I. Vários autores têm usado o mesmo esquema em estudos geomorfológicos regionais do fundo oceânico, e a nomenclatura proposta é largamente aceita.

Neste trabalho se acompanha tal classificação e as definições de Heezen e Menard (1966). No quadro I estão salientadas, em negrito, as feições topográficas até agora identificadas na Margem Continental Brasileira e bacia oceânica adjacente.

Como acontece nas margens continentais do Atlântico, a Margem Continental Brasileira divide-se em três províncias fisiográficas, bem definidas: **Plataforma Continental** com pequeno declive, separada por uma borda ou quebra de gradiente de uma encosta mais abrupta — o **Talude Continental** em cuja base se situa o **Sopé Continental**, novamente de suave inclinação.

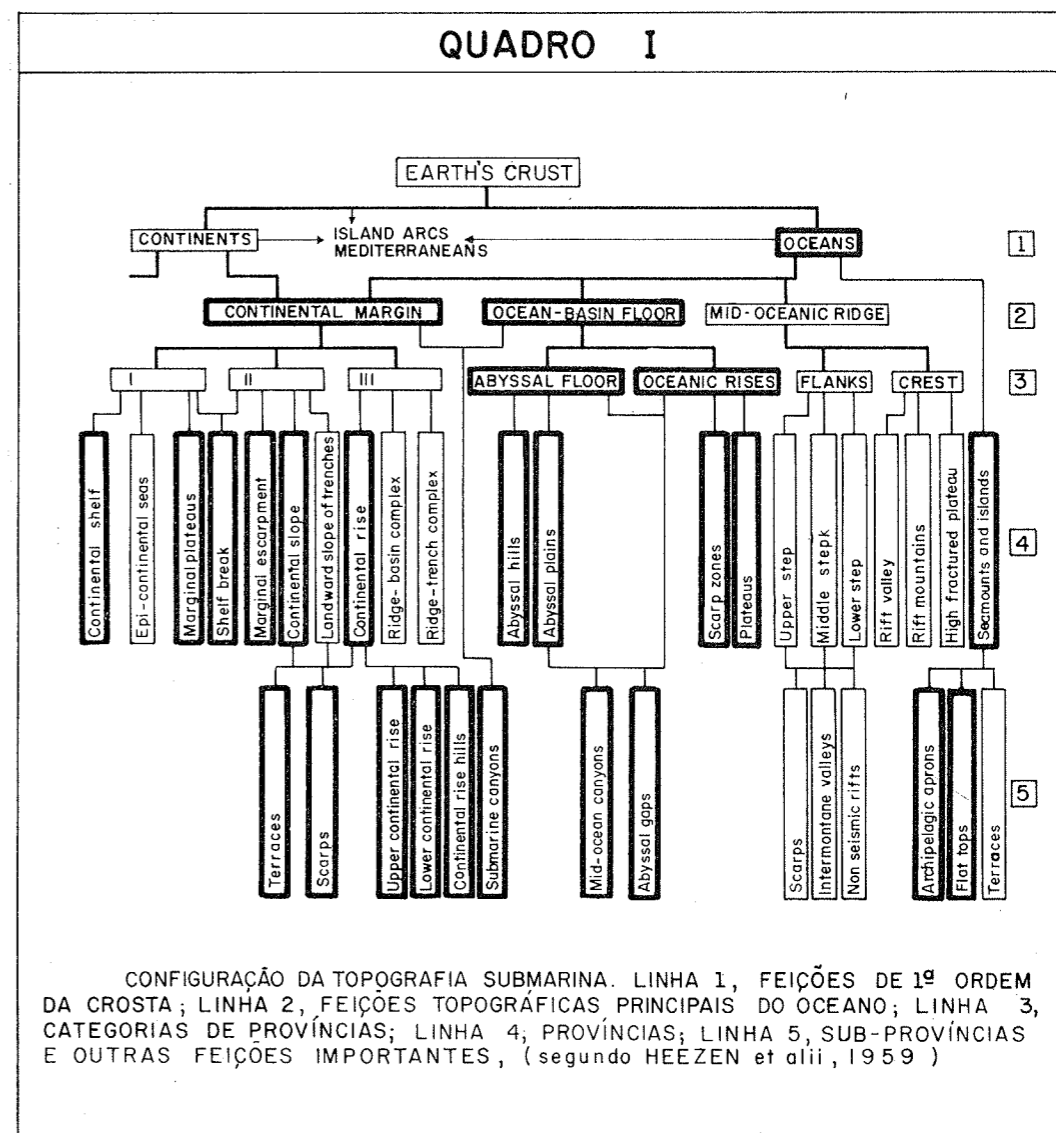
Na delimitação destas três unidades morfológicas na Margem Brasileira, o critério básico aplicado foi a variação de declividade observada pela análise dos mapas batimétricos em escala 1:2.000.000. As mudanças características que delineiam a borda da plataforma e a base do talude são notáveis nos referidos ma-

pas, mas não acontece o mesmo na transição do sopé para a planície abissal. Ainda de acordo com critério de Heezen et alii (1959), sempre que não havia uma mudança de gradiente suficientemente nítida, foram consideradas as inclinações maiores que 1:40 (25 m/km) como de talude, e as menores que 1:700 (1,5 m/km) como características de sopé. Algumas declividades, medidas nos taludes das regiões norte e nordeste-leste, atingem valores típicos de escarpamentos, sem entretanto, estarem associados a platôs ou fossas marginais, como ocorre comumente.

**Principais Feições Topográficas Locais** — O conhecimento das feições topográficas da margem continental brasileira encontra-se ainda bastante limitado pela escassez de levantamentos ecobatimétricos de detalhe. Somente poucas áreas consideradas perigosas à navegação, ou onde a Petrobrás concentrou sua exploração, foram levantadas a escalas de . . . 1:100.000 e 1:50.000. As feições topográficas conhecidas são, em decorrência, apenas aquelas de grande porte e algumas menores situadas em zonas de detalhe ou detectadas quando um perfil ecobatimétrico, por acaso, as cortou. Assim, aqui se acharão citadas e brevemente descritas as mais conhecidas destas feições menores. Em sua denominação, como se procedeu com todas as feições da Margem Continental, foram conservados, tanto quanto possível, os nomes conhecidos, enquanto as feições ainda não nomeadas recebem denominação de acidentes ou localidades vizinhas.

**Regiões da Margem Continental Brasileira e Feições Abissais Adjacentes** — Analisando-se as diferentes províncias sob o ponto de vista da distribuição de suas características morfológicas principais, podem ser individualizadas três grandes divisões ou regiões da Margem Continental Brasileira. Singolarmente, a mais complexa e heterogênea delas serve de ponto de partida para a divisão. A aqui denominada **Região Nordeste-Leste**, com formas de relevo de dominante influência de atividades tectônica e vulcânica, separa duas outras — a **Região Norte** e a **Região Sul** — onde às expressões topográficas das estruturas geológicas se sobrepõe marcante ação dos processos sedimentares, principalmente deposicionais, dando-lhes características de maior monotonia e homogeneidade.

O limite entre as Regiões Norte e Nordeste-Leste é marcado por uma zona de transição: a plataforma estreita-se gradativamente, o seu



relevo torna-se mais regular; os montes submarinos que caracterizam a Região Nordeste-Leste são mais abundantes no talude e no sopé a sudeste da baía de São Marcos, considerado então como limite entre as duas regiões. Outra transição, desde o sul de Vitória até as proximidades do cabo São Tomé, marca a passagem da Região Nordeste-Leste para a Região Sul. Na primeira, a plataforma e o talude são estreitos e o talude mais abrupto, tornando-se, em direção a sul mais amplos, com o talude apresentando declives menores.

Essas três grandes regiões contêm, ainda, setores ou zonas caracterizados por aspectos diferenciais de menor expressão, descritos no

capítulo seguinte. O quadro II mostra a distribuição, em área, das diversas regiões e setores da Margem Continental.

Com a marcha dos levantamentos, será possível individualizar domínios ou setores mais homogêneos das províncias fisiográficas de maior significado para o estudo de sua morfogênese. A presente tentativa de divisão visa principalmente a sistematizar a descrição segundo critérios genéricos de caracterização.

**Margem Continental Norte** — Estende-se do cabo Orange, no extremo norte do Brasil, até a baía de São Marcos (Maranhão), numa área de 517.000 km<sup>2</sup> (quadro II). Morfológica-

QUADRO II — REGIÕES MORFOLÓGICAS				
Região	Zonas	Limites	ÁREA (Em km <sup>2</sup> )	
			Plataforma	Talude + sopé
Norte	Do Cone Amazonas	Cabo Orange até Rio Pará	162.000	268.000
	Pará/Maranhão	Até São Luiz	87.000	
Nordeste/Leste	Norte/Nordeste	Até Sul de Ilhéus	99.000	664.000
	Leste	Até Cabo S. Tomé	82.000	
Sul	Embaçamento de S. Paulo	Até Cabo S. Marta	152.000	787.000
	Bacia de Pelotas	Até Arroio Chuí	118.000	

mente, tem continuidade para noroeste, ao largo do litoral das Guianas. É constituída de plataforma, talude e sopé continentais bem desenvolvidos, e pelo Cone Amazonas (figura 5). Caracteriza-se pela predominante influência dos processos de deposição e erosão na modelagem do relevo atual.

A **Plataforma Continental**, com 249.000 km<sup>2</sup>, tem largura que vai diminuindo gradativamente de 330 km, em frente do canal norte da foz do Amazonas, para 125 km, próximo ao cabo Orange, e para 160 km ao largo da baía de São Marcos. É sensivelmente mais larga que nas Regiões Nordeste-Leste e Sul da Margem Brasileira (figuras 6, 7 e 8).

Em geral, constitui-se de uma superfície plana, com pequenas variações de relevo e declividade (quadro III) que permitem distinguir duas porções, aparentemente limitadas pela isóbata de 40 metros (figuras 1 e 9, perfis 1 e 2).

Em sua parte interna — uma superfície nivelada de 0 a 30-40 metros — é construída pela sedimentação atual do rio Amazonas (figura 10), a noroeste do rio Pará, enquanto a sudeste se destacam as cristas de areia perpendiculares à costa, atribuídas à ação de correntes de maré (Zembruscki et alii, 1971). A plataforma externa apresenta denso ravinamento junto ao Cone Amazonas e as ondas de areia

assinaladas por Zembruscki et alii (op. cit.) ao largo do Pará e Maranhão.

A borda da plataforma é relativamente profunda, entre 130-140 metros junto ao Cone Amazonas; a sudeste torna-se mais rasa, em torno de 80 metros.

O **Cone Amazonas**, descrito por Heezen e Tharp (1961) e Ealey (1969), situa-se a noroeste da atual desembocadura do rio Amazonas, ocupando uma área total de 162.000 km<sup>2</sup>. Estende-se da borda da plataforma até a planície abissal, numa distância de 350 km medida sobre seu eixo, e tem os flancos limitados lateralmente pelos vales Orange e Saldanha (figuras 1 e 10). Com uma largura de 350 km em sua parte superior, alarga-se na base para 750 km.

No relevo do cone, são proeminentes o Cânion Amazonas, estudado por Ealey (inedito), outros vales e canais de menor expressão (figura 11) e três altos topográficos alongados, mostrados no mapa batimétrico da figura 1. O cone divide-se em três porções com declividades decrescentes (perfil 1 da figura 9): porção superior, porção inferior e um leque basal até a profundidade de 4.000 metros.

O **Talude Continental** constitui uma província fisiográfica estreita, com 45 km, no máximo, descontínua pela presença do Cone Amazônico, que o divide em um trecho de 100 km

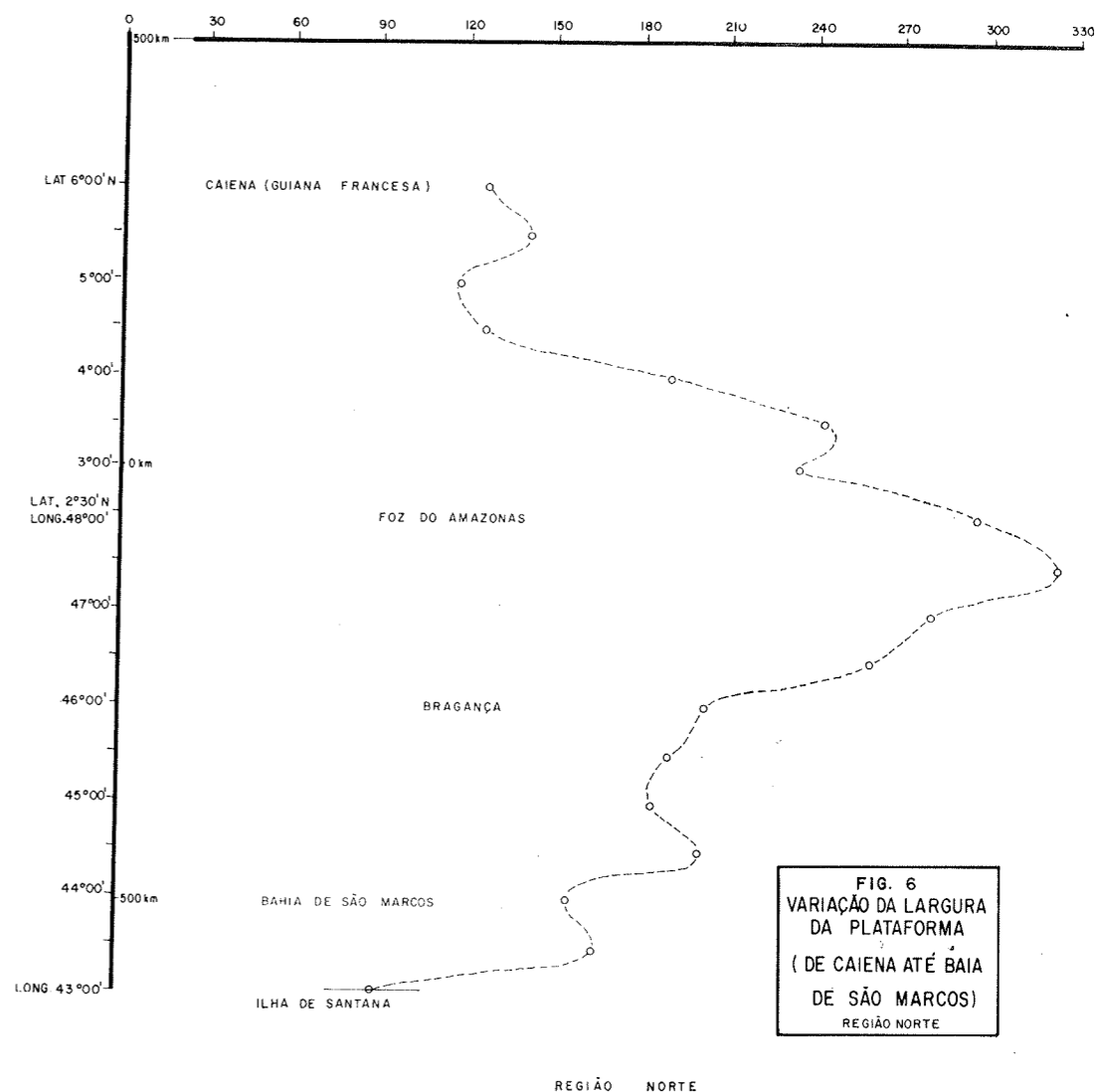


FIG. 6  
VARIACÃO DA LARGURA  
DA PLATAFORMA  
(DE CAIENA ATÉ BAIÁ  
DE SÃO MARCOS)  
REGIÃO NORTE

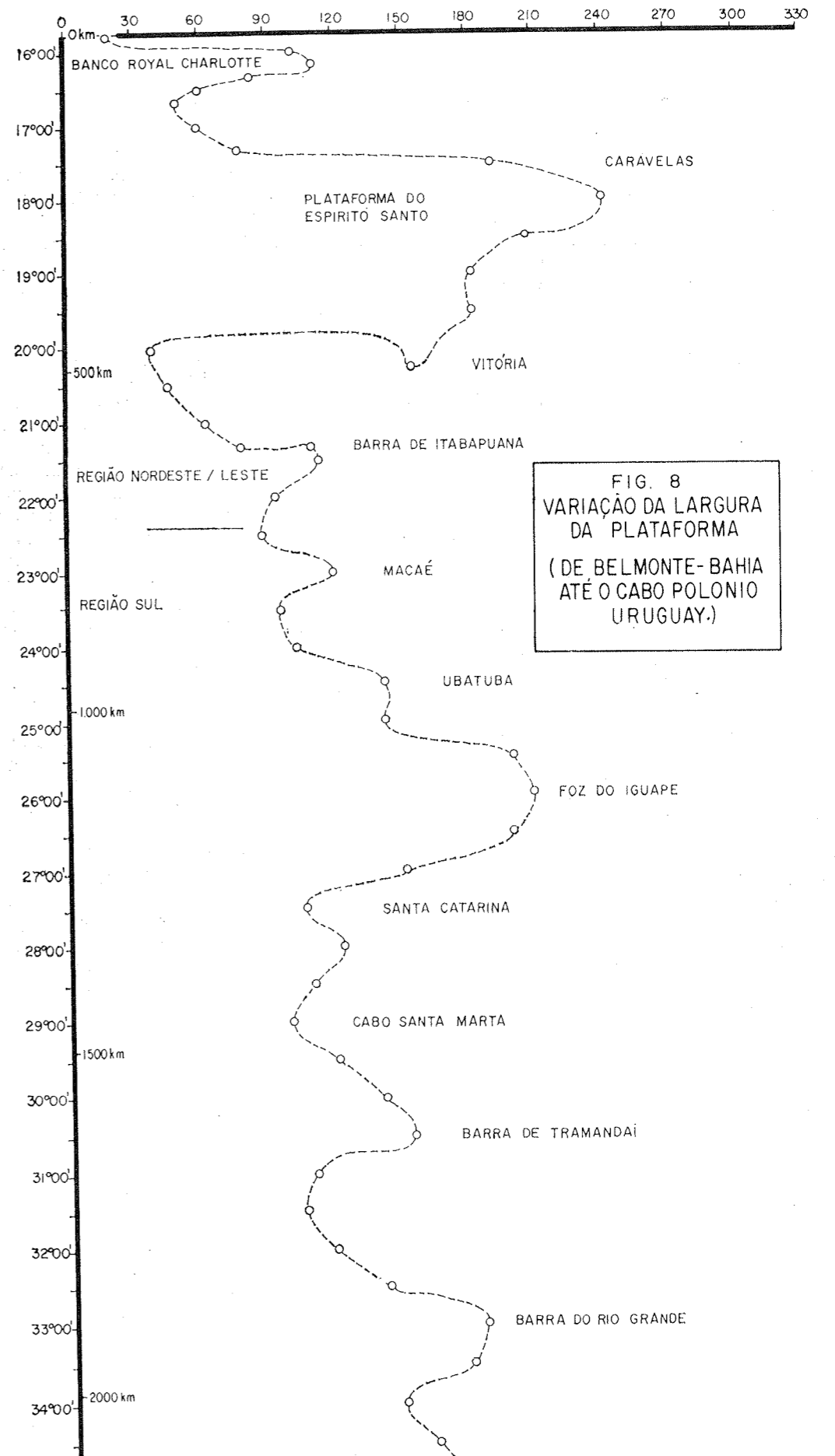
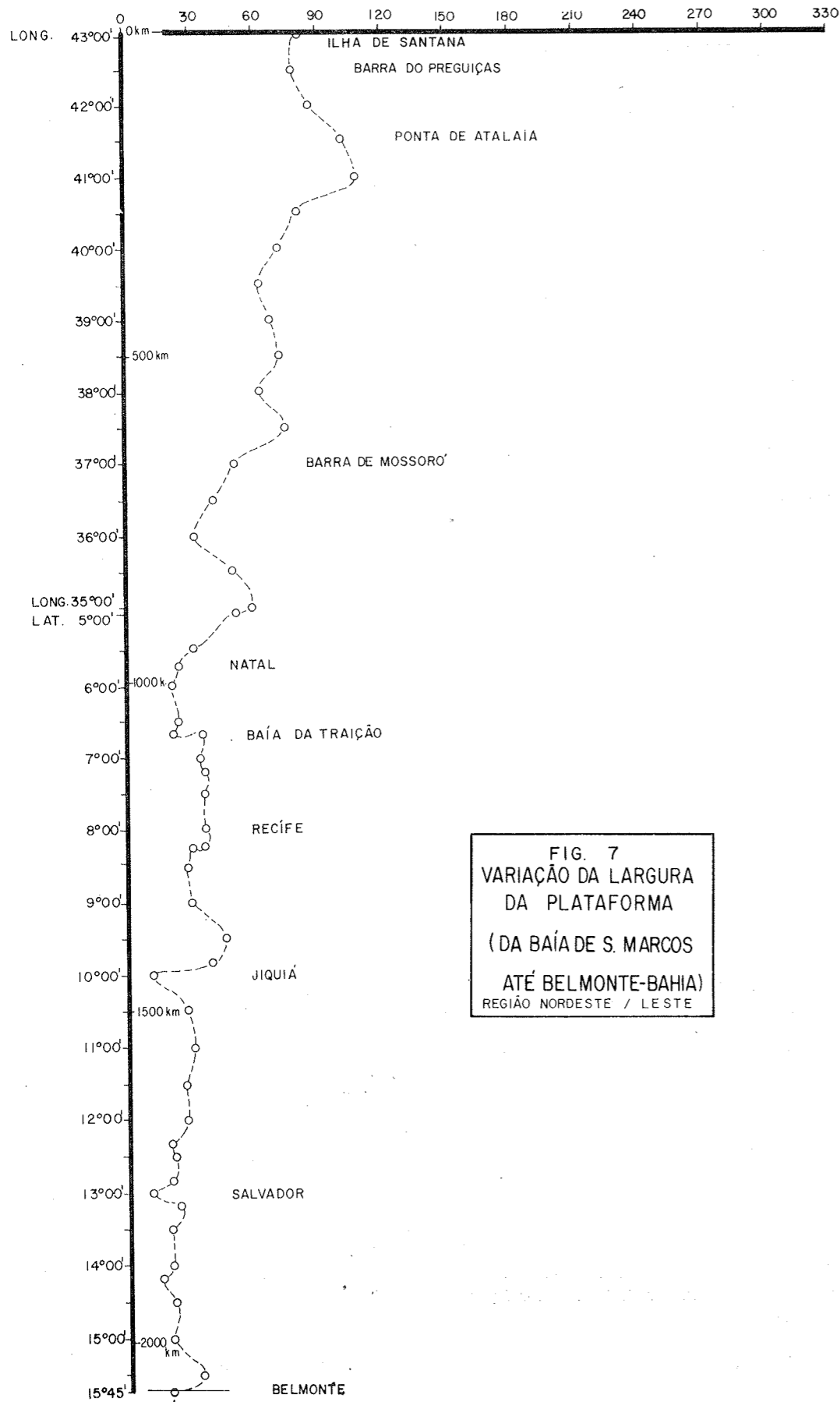
a noroeste e outro, a sudeste, com cerca de 600 km. É uma encosta com inclinações médias de 3° a 8° e com escarpas de até 15° em sua parte superior (quadro III e figura 9). No seu relevo, é marcante a quantidade de vales e cânions na área a sudeste do Cone Amazonas, tendo Ealey (1969) assinalado a existência de 49 destas feições entre as longitudes de 45° e 47°W.

O **Sopé Continental** também aparece bem definido a noroeste e sudeste do Cone Amazonas, estendendo-se da base do talude até profundidades de 3.600-4.000 metros, numa área de 104.000 km<sup>2</sup>. Seu limite exterior é possivelmente a Cadeia Norte Brasileira, que, segundo Hayes e Ewing (1970), alcança a longitude de 45°W. Com os dados batimétricos

disponíveis para este trabalho, não foram detectadas, a oeste de 42°W, as elevações correspondentes à cadeia, e sua representação no mapa geomorfológico (figura 5) baseia-se nas informações já citadas.

A superfície do sopé inclina-se suavemente em direção à Cadeia Norte Brasileira, contrastando com o abrupto declive do talude adjacente. As feições de relevo mais bem definidas são dois montes submarinos situados a 44° e 45°W, que se elevam a cotas batimétricas de 2.400 e 100 metros, respectivamente.

As mais destacadas feições abissais adjacentes à Margem Continental são a planície Abissal do Ceará e a Elevação do Ceará (figuras 1 e 5), cuja descrição se pode ter no trabalho de Heezen e Tharp (1961).



A Margem Continental Nordeste-Leste, compreendendo a região da baía de São Marcos ao cabo São Tomé, distingue-se pela complexidade do relevo, derivado de atividades vulcânicas e tectônicas intensas. Apresenta, desde a plataforma até o fundo abissal, uma topografia acidantada, com quebras bruscas de gradientes originando terraços, platôs e formas topográficas salientes de condicionamento nitidamente estrutural. São abundantes os montes submarinos, que, isolados, em grupos não alinhados, ou formando cadeias, ocupam, principalmente, o talude e o sopé continentais.

A Plataforma Continental estreita-se gradativamente de 160 km, ao largo da baía de São Marcos, até 30 km, próximo a Natal, mostrando uma transição de ampla plataforma norte para a estreita plataforma que se estende de Natal até Belmonte. Neste último trecho, tem largura média de 20 km e mínima de 8 km ao largo de Salvador (figura 7). O relevo é relativamente plano na zona de transição, enquanto, a partir de Natal para sul, recifes de coral, bancos de algas e recifes de arenitos («beach-rocks») compõem a topografia da plataforma.

A Plataforma do Espírito Santo (denominação dada por Barretto e Milliman, 1969) e o Banco Royal Charlotte alargam-se para 200 a 110 km, respectivamente, devido ao amplo desenvolvimento de formações biogênicas sobre um substrato vulcânico. Na Plataforma do Espírito Santo os recifes de coral são especialmente abundantes e atingem a superfície. No Banco Royal Charlotte a topografia é suave e os bancos não alcançam profundidades menores de 30 metros (Boyer, 1969).

A partir de Vitória, a plataforma volta a se estreitar até próximo ao cabo São Tomé, considerado o limite sul desta região da margem continental (figura 7).

A profundidade da borda da plataforma, identificada pela mudança de gradiente no mapa batimétrico, está em torno de 80 metros desde a baía de São Marcos até a longitude de 41°, para ficar mais rasa — 40-50 metros, em média — daí até ao norte do Banco Royal Charlotte. Na Plataforma do Espírito Santo, a borda situa-se a profundidade de 50-60 metros. Uma análise mais acurada da transição da plataforma para o talude, em uma série de perfis batimétricos de precisão, revela não uma linha de quebra de gradiente, «mas várias quebras na inclinação correspondendo a terraços de borda da plataforma» (Boyer, 1969, pág. 23).

O Talude Continental, na Região Nordeste-Leste, pode ser dividido em setores, de acordo com o relevo, declividade e largura. No trecho noroeste, até Natal, o relevo mantém-se regular e a largura relativamente constante, guardando, então, características do talude da Região Norte. Diferencia-se deste pelo aparecimento dos Platôs do Ceará e do Rio Grande do Norte e dos montes submarinos (figuras 2 e 3), que atingem altitudes de até 1.000 metros em relação ao fundo circunvizinho. A largura varia em torno de 30 km e podemos distinguir dois segmentos: um talude superior, mergulhando com uma inclinação de 10° a 20° (Ealey, 1969), e um talude inferior, menos abrupto. No perfil do delta do Parnaíba (figura 9), a declividade medida é 13° 54' (quadro III). O limite inferior do talude atinge profundidades de 2.400-2.500 metros; as es-

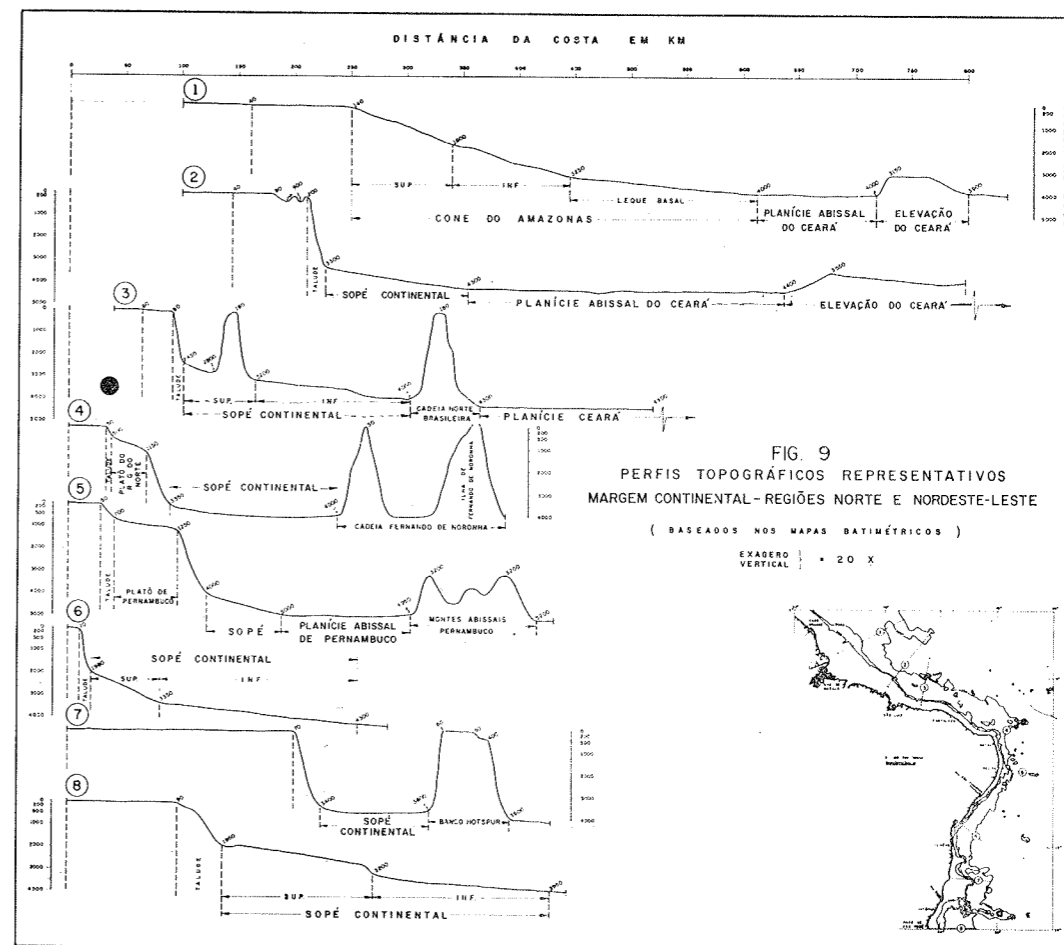


FIG. 9  
PERFIS TOPOGRÁFICOS REPRESENTATIVOS  
MARGEM CONTINENTAL - REGIÕES NORTE E NORDESTE-LESTE  
(BASEADOS NOS MAPAS BATIMÉTRICOS)

EXAGERO VERTICAL = 20 X

carpas dos Platôs do Ceará e do Rio Grande do Norte descem a profundidades maiores — 2.600 a 3.600, respectivamente.

O trecho compreendido entre os Platôs do Rio Grande do Norte e Pernambuco apresenta uma grande frequência de montes e colinas submarinas, que dão ao talude um relevo bastante irregular, com declividades e larguras também muito variáveis (figura 3). A profundidade do talude segue a irregularidade, variando de 2.000 a 3.600 metros.

Ao sul do Platô de Pernambuco, até Belmonte, e do sul da Plataforma do Espírito Santo até o cabo São Tomé, os montes marinhos são menos abundantes e no relevo destacam-se os Cânions São Francisco, Japarutuba e Salvador (figuras 3 e 5). É característica a abundância de terraços estruturais ligados a um sistema de falhas escalonadas, notável nesta parte da Margem Continental Brasileira. O talude mantém a largura média de 30 km, estreitando-se localmente, como ocorre entre os Cânions de Japarutuba e Salvador, e sua

base situa-se em torno de 2.000 metros de profundidade. A inclinação média varia entre 8° e 10°.

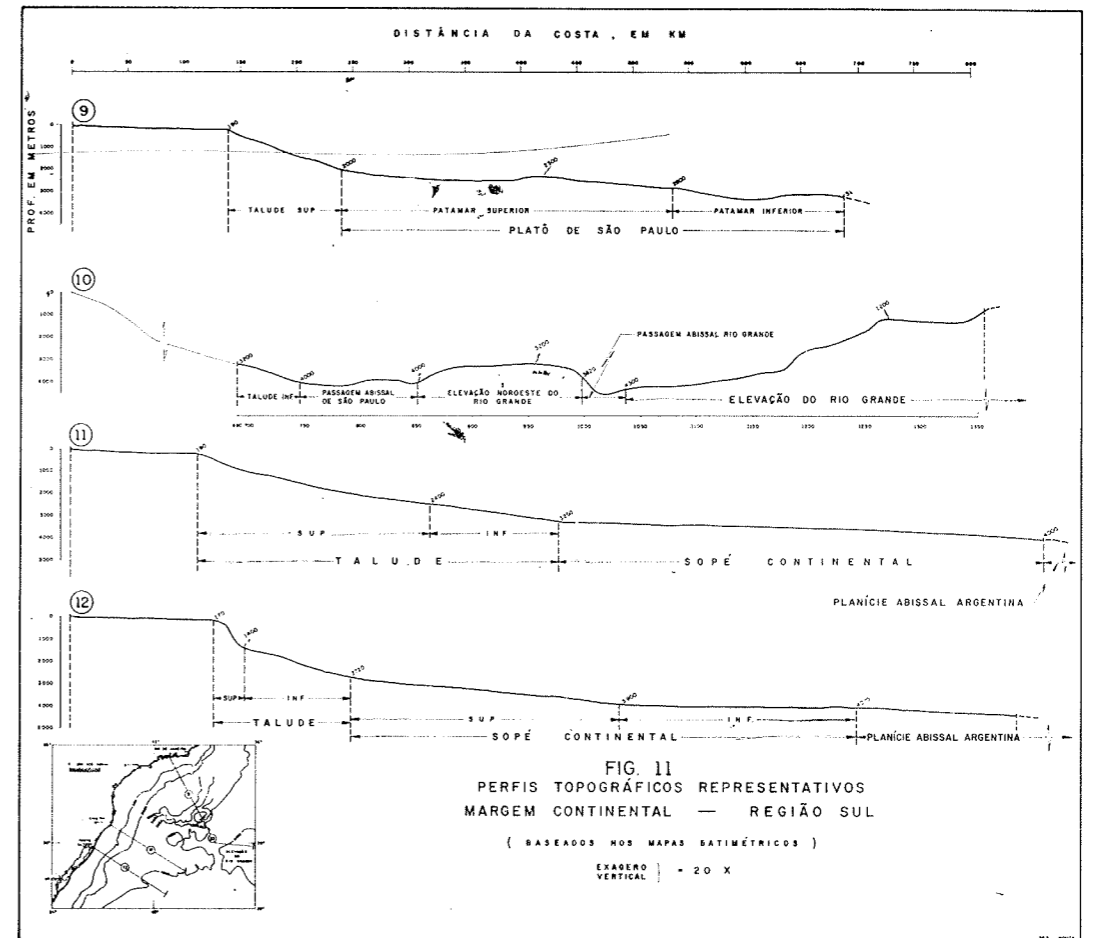
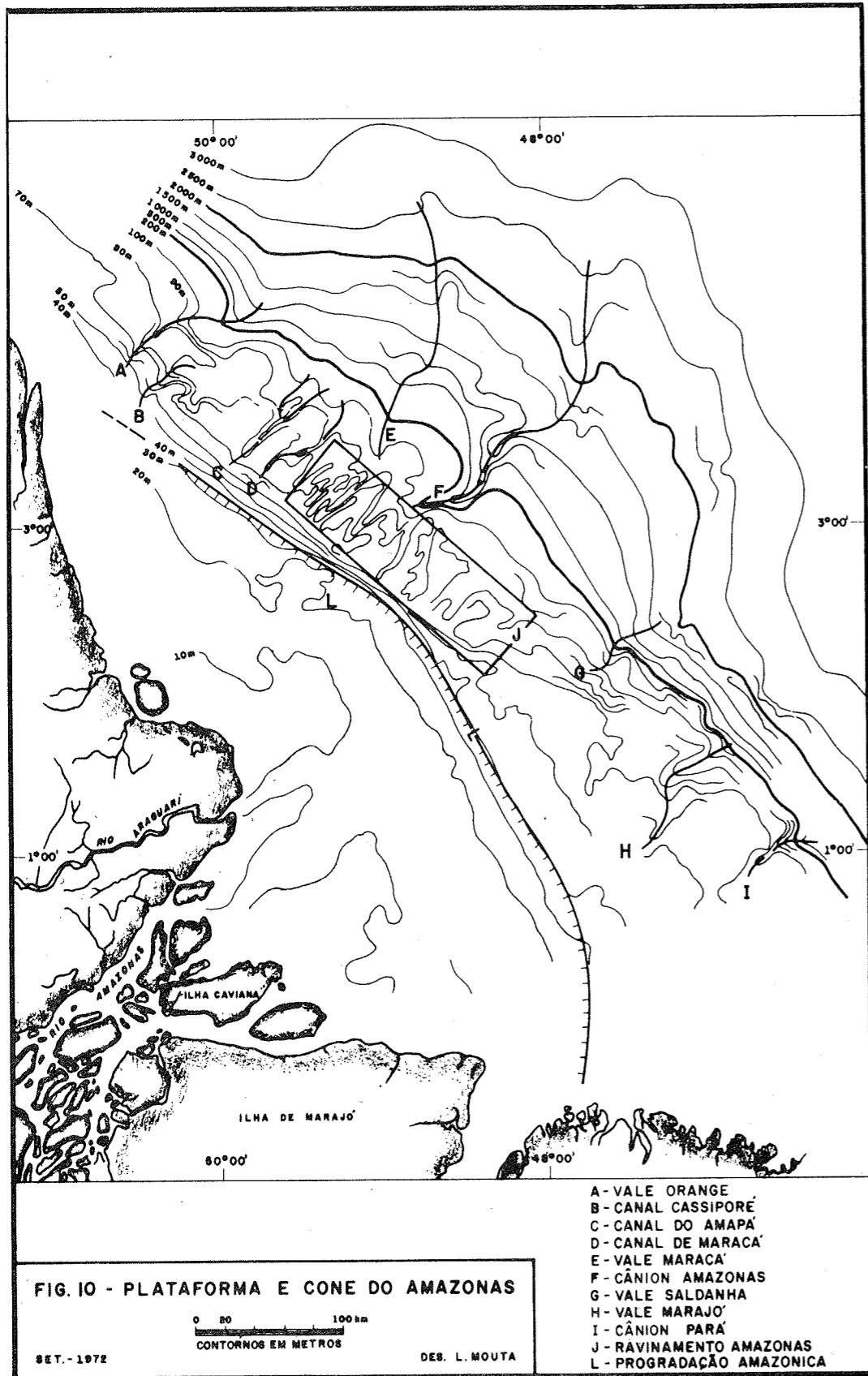
As encostas dos Bancos Royal Charlotte e da Plataforma do Espírito Santo são escarpamentos de 30° e até 45°, muito irregulares, recortadas por cânions e vales em forma de V (Boyer, 1969). No perfil 7 da figura 9 foi medida a inclinação de 8°.

Ao sul da foz do rio Doce, até o cabo São Tomé, o talude é gradativamente mais largo e menos abrupto (figura 9, perfil 8).

O Sopé Continental, na Região Nordeste-Leste, também possui setores com características peculiares. O primeiro, entre a baía de São Marcos e a longitude 39°W, com 200 km de largura, está bem representado no perfil 3 (figura 9), onde se observa um sopé bem desenvolvido, com um segmento superior de declividade suavizada para 5,8 m/km, até encontrar a Cadeia Norte Brasileira, que se eleva nesse ponto, de 4.000 a 180 metros de profundidade. Na parte superior do sopé, um dos

QUADRO III - DECLIVIDADES

PERFIL Nº	REGIÕES	PLATAFORMA		TALUDE		PLATÔ		ESCARPA	SOPE		
		sup.	inf.	sup.	inf.	sup.	inf.		sup.	inf.	
		m/km	°	m/km	°	m/km	°		m/km	°	m/km
1	CONE AMAZÔNICO-FLANCO SE	0,56	0° 02'	18,44	1° 31'	14,00	0° 48'	-	-	-	LEQUE BASAL 4,48 0° 15'
2	NW DE SÃO MARCOS	0,27	0° 01'	1,31	0° 04'	258	15° 00'	-	-	-	7,87 0° 27'
3	DELTA PARNAÍBA	1,30	0° 04'	233	13° 54'	-	-	-	-	-	12,71 0° 44'
4	RIO GRANDE DO NORTE FERNANDO DE NORONHA	14,70	0° 51'	90	5° 11'	-	-	21	1° 12'	144	6° 35'
5	RECIFE	1,72	0° 06'	54	3° 06'	-	-	9,77	0° 33'	110	6° 22'
6	SALVADOR	7,00	0° 24'	191	11° 10'	-	-	-	-	-	22,46 1° 17'
7	PLATAFORMA DO ESP. SANTO	0,35	0° 01'	138	8° 01'	-	-	-	-	-	15,15 0° 52'
8	CABO SÃO TOMÉ	0,92	0° 03'	46,50	2° 40'	-	-	-	-	-	9,32 0° 32'
9	RIO DE JANEIRO PLATÔ DE SÃO PAULO	1,44	0° 05'	17,80	1° 02'	-	-	2,71	0° 10'	2° 61'	0° 09'
10	ESCARPAMENTO SÃO PAULO À ELEV. DO RIO GRANDE	-	-	-	13,80	0° 45'	-	-	-	-	-
11	CABO SANTA MARTA À PLANÍCIE ABISSAL DA ARGENTINA	1,77	0° 06'	10,62	0° 36'	7,40	0° 25'	-	-	-	1,73 0° 06'
12	PÓRTO ALEGRE À PLANÍCIE ABISSAL DA ARGENTINA	1,40	0° 05'	45,1	2° 36'	13,89	0° 48'	-	-	-	4,92 0° 17'



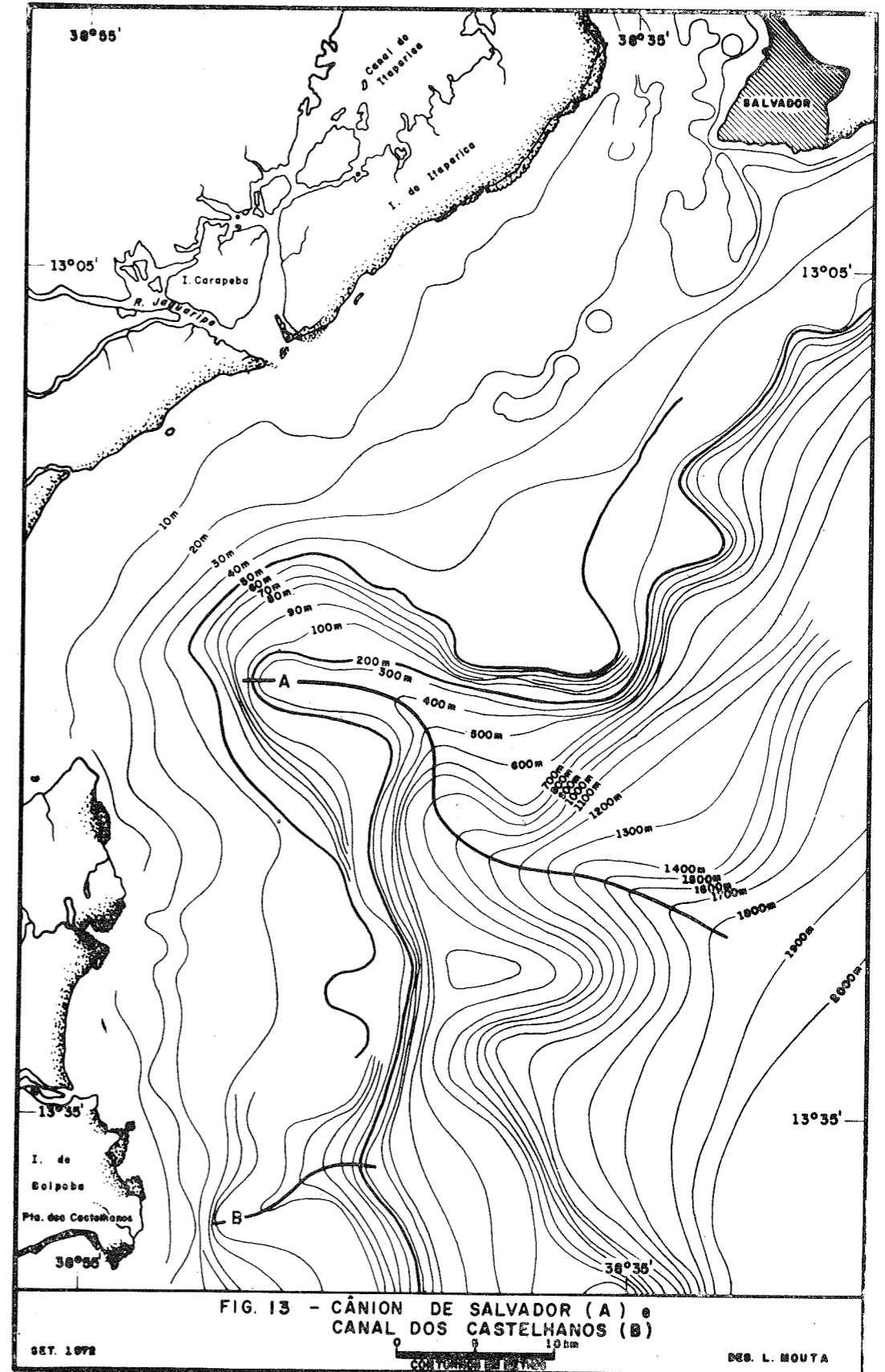
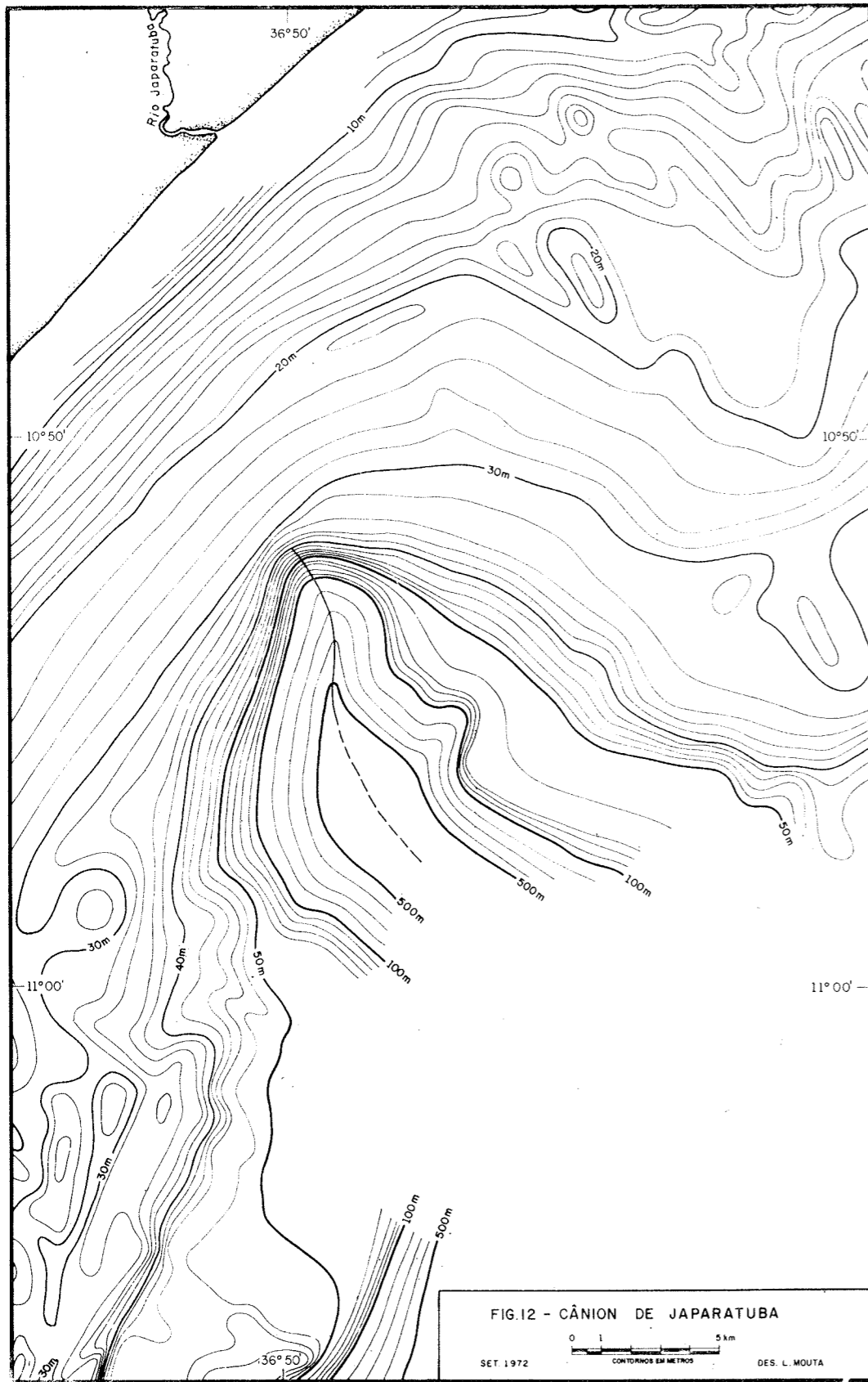
montes do Grupo de Montes Submarinos do Ceará eleva-se de 2.800 a 180 metros de profundidade.

O segundo setor, compreendido entre a longitude 39°W e o Platô de Pernambuco, apresenta numerosas elevações submarinas isoladas, em grupos alinhados ou não, e, segundo Boyer (1969), é duvidosa a existência de um sopé na sua conotação genética de acumulação sedimentar. Entretanto, a inflexão da inclinação, aliada ao desenvolvimento típico de sopé em trechos restritos, como no nordeste do Platô do Ceará e entre os platôs do Rio Grande do Norte e Pernambuco, levou-nos a considerar o conjunto todo um sopé pouco desenvolvido.

O terceiro setor, que se estende do sul do Platô de Pernambuco até a Cadeia de Abrilhos, mostra um sopé típico, bem representado no perfil n.º 6 (figura 9). A partir da base do talude, a 1.980 metros, um primeiro segmento inclina-se, com um gradiente de 22,4 m/km

(quadro III), até 3.350 metros, onde se inflexiona, passando a uma inclinação de 5,4 m/km, que permanece até a planície abissal, numa largura total de 230 km. São feições topográficas de maior expressão os Cânions de Japarutuba, São Francisco e Salvador e os cones de dejeção associados. Boyer (op. cit.) assinalou a ocorrência de 33 Cânions entre Natal e Recife.

Três **platôs marginais** são feições proeminentes nesta parte da margem continental. O Platô do Ceará desenvolve-se em uma superfície rasa, delimitada pela curva de 400 metros e separado da Plataforma pelo Vale de Fortaleza (figuras 2 e 5). O Platô do Rio Grande do Norte (figuras 5 e 9) situa-se a profundidades de 500 a 1.500 metros e é separado da plataforma por um talude incipiente. O Platô de Pernambuco apresenta uma superfície mais irregular, com um nível superior entre 700-1.250 metros e um terraço mais profundo, a 2.000-2.400 metros. O escarpamento



de Recife, que gradua para um declive mais suave em sua base, separa o Platô de Pernambuco da estreita plataforma adjacente.

As feições abissais adjacentes de maior importância estão constituídas pelas Cadeias de montanhas Norte-Brasileira, Fernando Noronha e Vitória-Trindade. As duas primeiras foram estudadas por Hayes e Ewing (1970) e Almeida (1958). As Cadeias de Abrolhos e Vitória Trindade foram estudadas por Almeida (1961) e Gorini e Esteves (1971) e são constituídas por grupos de montes submarinos em geral com topos aplainados («guyots») e se orientam em direção leste-oeste seguindo os paralelos  $17^{\circ}$  —  $18^{\circ}$  e  $20^{\circ}$  —  $21^{\circ}$ S, respectivamente. São marcantes nestes chamados bancos, os níveis erosionais de 55 a 75 metros com sedimentação biogênica associada. A zona de fratura Romanche foi descrita por Heezen e Tharp (1965) e por Hayes e Ewing (1970).

**Feições topográficas menores** — A Região Nordeste-Leste contém grande número de feições de origem erosiva, estrutural e de acreção biogênica. Enumeradas de norte para sul, eis as principais entre estas feições: os Vales Paranaíba e o Cânion do Ceará, representados na figura 5, formas erosivas que cortam o talude sendo pouco desenvolvidas na plataforma; o vale de Fortaleza, de origem francamente estrutural, encaixado entre o Platô do Ceará e o talude continental; os Cânions São Francisco, Japarutuba (figura 12) e Salvador (figura 13), que sugerem, pela semelhança de suas formas, uma gênese comum, provavelmente cortados por ação fluvial na charneira da plataforma, durante o último período de regressão marinha.

É notável, ainda, a relativa maturidade desses vales, longos e com as encostas bastante erodidas, formando verdadeiros patamares. Outras feições sem expressão nos mapas batimétricos gerais, mas de alguma importância, aparecem em mapas mais detalhados: os Vales Norte e Sul de Natal (figura 14), de pequena amplitude, restringem-se à plataforma externa e ao talude superior, o que se deve ao fraco processo de erosão ou a um substrato rígido, sugerido por quatro pequenos montes submarinos que se elevam do leito dos Vales; o Canal de Maceió (figura 15), bifurcado ortogonalmente e sugerindo continuidade com a desembocadura do rio São Miguel e com as barras das lagoas Manguaba e Mundaú, possivelmente associado a antigos rios hoje afogados pela elevação do nível do mar durante a última transgressão; os canais Rio Sergipe e Norte Vaza-

Barris (figura 16) feições erosivas jovens, ainda pouco profundas, e estreitas e extensas — sugerindo algum alinhamento estrutural; o Canal de Guarapari (figura 17), uma fissura de 30 km de comprimento por 1 km de largura, e 20 metros, em média, de desnível que parece evidenciar uma fratura estrutural.

Ainda na Região Nordeste-Leste, outras feições semelhantes, de menor importância, foram detectadas: o Cânion Bacoporé (Rio Grande do Norte); canal de Cabedelo (Paraíba); canal Sul Vaza-Barris e Cânion Rio Real (Sergipe); Vale Inhaubepe, Cânion Pojuca e Cânion de Camamu (Norte da Bahia); Cânion e Vale Bel-Monte, Cânion leste e oeste Charlotte e Cânion Buranhém (Sul da Bahia); canais Norte e Sul de Vitória e Canal de Sergipe (Espírito Santo).

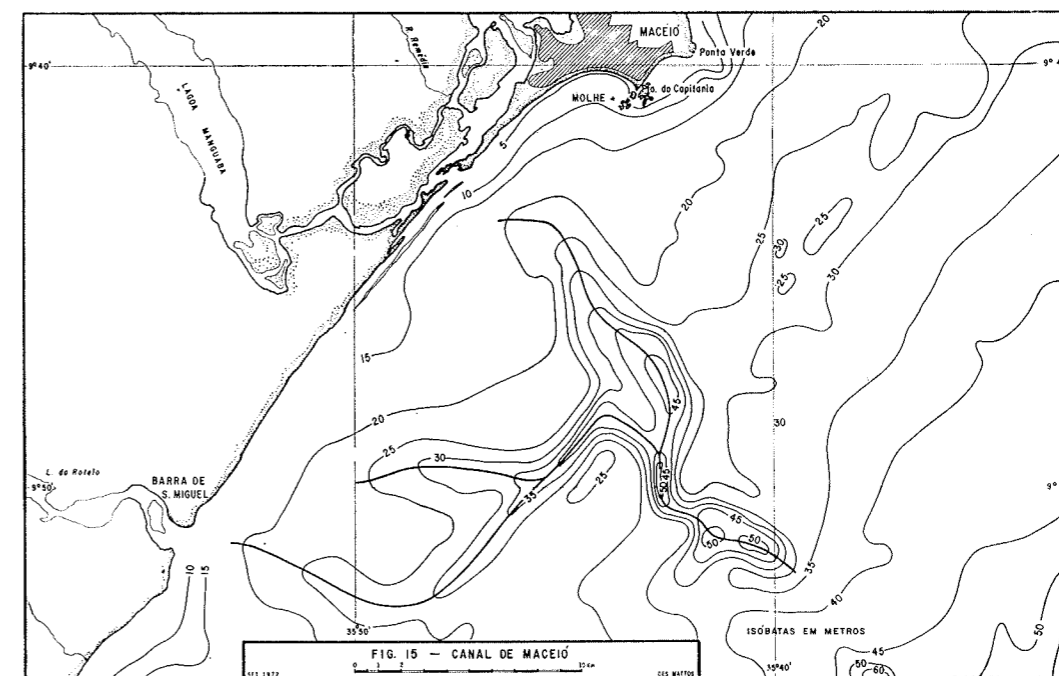
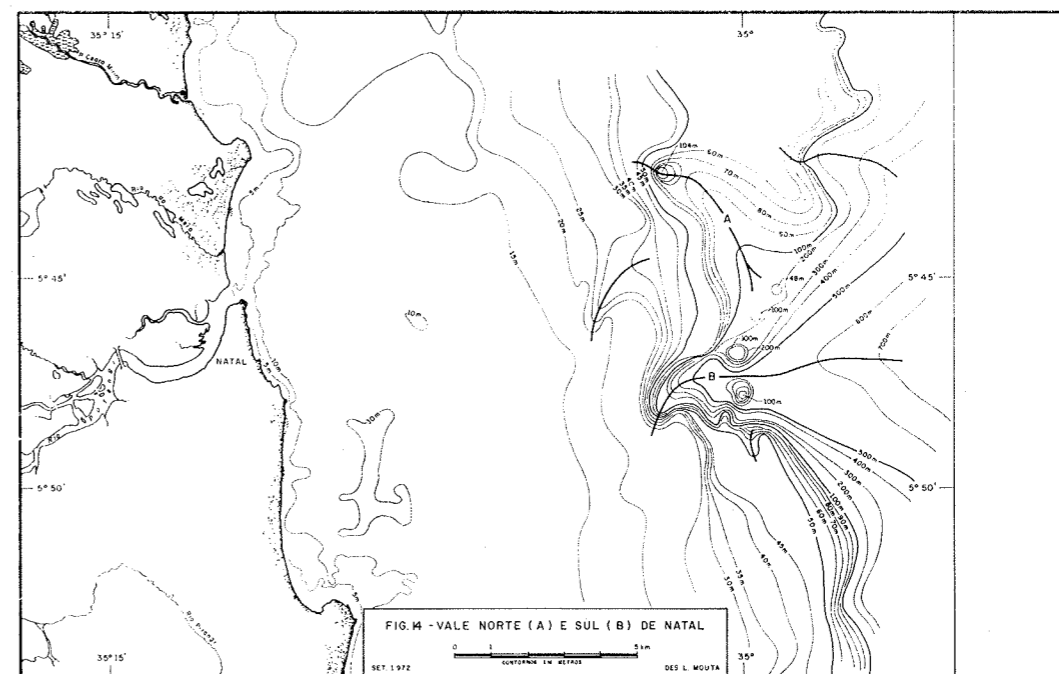
**A Margem Continental Sul** constitui a região mais ampla da Margem Brasileira, com uma área total de 1.155.000 km<sup>2</sup>. Caracteriza-se pela regularidade e monotonia do relevo na plataforma, talude e sopé, bem como no Platô Marginal de São Paulo. A sedimentação tem sido o principal fator condicionante do relevo, abrandando os contrastes de declividade entre as três províncias fisiográficas.

As formas de relevo derivadas da atividade vulcânica, típicas na Região Nordeste-Leste, balizam-se ao sul pela Cadeia Vitória-Trindade, não mais compondo a paisagem até o extremo meridional da Margem Brasileira.

A **Plataforma Continental** tem largura e relevo regulares e nela se podem distinguir duas zonas, que correspondem, aproximadamente, ao Embaiamento de São Paulo e à Baía de Pelotas. Na figura 8, a variação da largura mostra uma mediana de 150 km, tendo na foz do Iguape um máximo de 210 km, para estreitar-se bastante na altura do cabo de Santa Marta, com aproximadamente 90 km.

No Embaiamento de São Paulo, situado entre o cabo Frio e o cabo Santa Marta, a plataforma é plana, somente recortada por vales de pequena amplitude. A plataforma da Baía de Pelotas é ainda mais regular e tem como feições mais relevantes de sua superfície depressões alongadas e rasas, dispostas longitudinalmente, consideradas como lagunas em um período de regressão marinha (Martins et alii, 1967, Martins e Urien 1967).

A borda da plataforma, em geral profunda — varia de 160 a 190 metros — estabelece uma passagem suave de uma plataforma de declividade constante, sempre menor que 2





m/km ( $0^{\circ} 08'$ ), para um talude de gradiente pouco acentuado, em torno de 20 m/km ( $1^{\circ}$ ) em sua parte superior.

No talude Continental podemos distinguir dois setores, conforme já assinalou Buttler (1970), um mais largo, a norte de  $30, 5^{\circ}S$ , e outro pouco mais estreito, a sul. No seu todo, o talude é amplo, e seu relevo e pequena inclinação revelam a predominância dos processos deposicionais na sua configuração. No setor de Embaimento de São Paulo, a partir de um talude superior com declividade de  $1^{\circ}$  (quadro III), segue-se o Platô de São Paulo; no setor a sul, um amplo sopé continental está na base do talude, cuja inclinação atinge  $2^{\circ}$  (Butler, op. cit.).

Nos perfis 9, 10, 11 e 12 da figura 11 nota-se a existência no talude, de dois segmentos com inclinações diferentes, sendo que no perfil 12 o talude superior mostra-se com declive bem mais acentuado —  $2^{\circ} 36'$  (quadro III).

O talude projeta-se segundo um alto topográfico à altura do cabo Santa Marta, onde atinge a maior largura — cerca de 250 km. Esta feição tem continuidade, ainda, para o sopé continental. Na parte intermediária da Bacia de Pelotas, o talude toma a forma aproximada de um cone, limitado ao sul pelos vales do Rio Grande (figuras 4 e 5).

O Platô de São Paulo tem a borda delimitada, aproximadamente, pela isóbata de 2.800 metros e a sua superfície mede cerca de 114.000 km<sup>2</sup>. Os flancos têm declividades variáveis, mais suaves a norte e a sul. A sudeste, um pequeno patamar inferior segue uma encosta mais inclinada.

Outra feição de interesse, situada já na Bacia Oceânica, é uma pequena elevação oceânica denominada «Noroeste do Rio Grande», entre o patamar inferior do Platô de S. Paulo e a Elevação do Rio Grande. O Platô de São Paulo, a Elevação Noroeste do Rio Grande e a Elevação do Rio Grande dispõem-se segundo um alinhamento sudeste-noroeste, sendo separados por duas depressões denominadas passagens abissais de São Paulo e do Rio Grande (figura 5).

O Sopé Continental é melhor definido ao norte do Platô de São Paulo e na parte sul da Bacia de Pelotas, estendendo-se, desde a base do talude, de profundidades variáveis entre 2.700 e 3.250 metros, até próximo a 4.000 metros (figura 11). Da parte norte da Bacia de Pelotas até o Platô de São Paulo, a base

do sopé é mal delineada nos mapas batimétricos disponíveis; mantendo-se o critério de mudança de gradiente, foi suposto um limite acompanhando a curva de 3.600 metros.

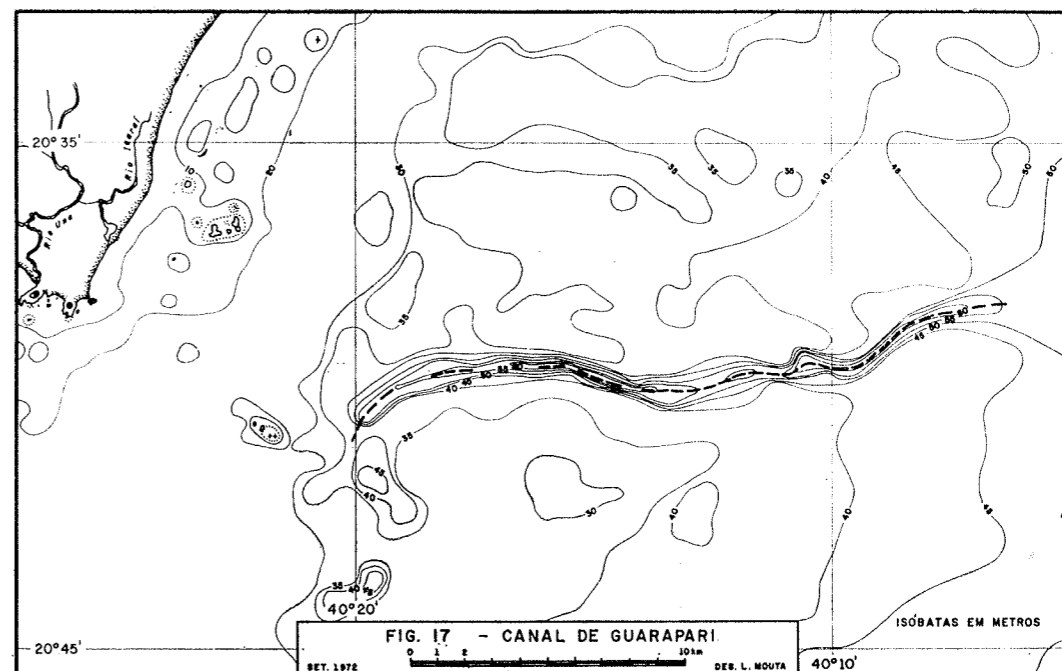
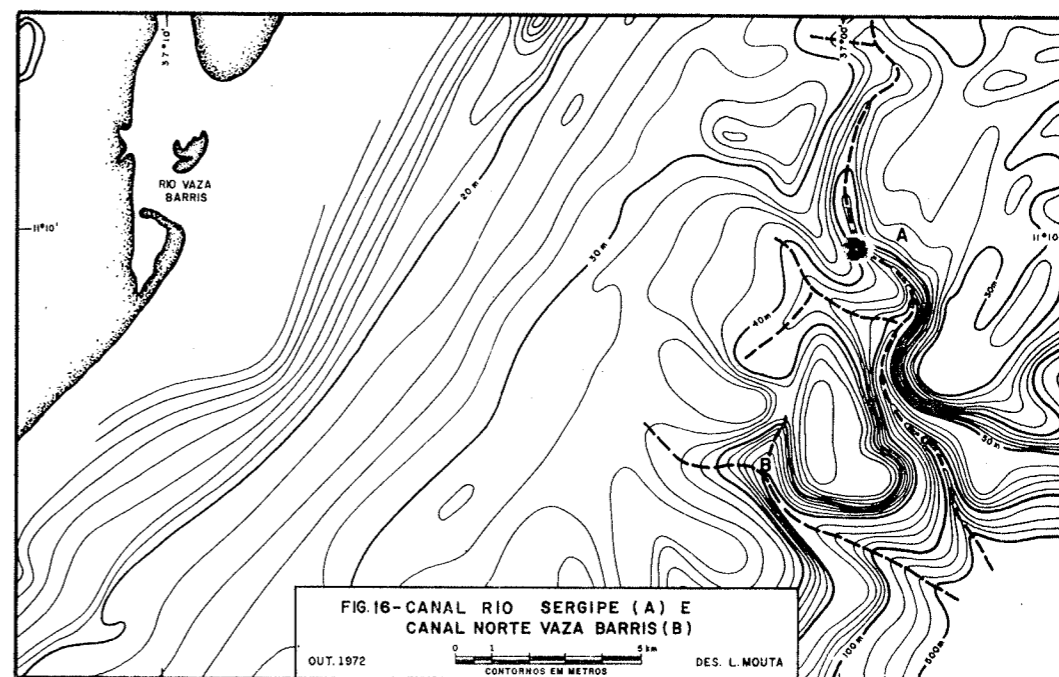
O sopé é amplo, atingindo 300 a 400 km de largura na altura do cabo Frio e de Porto Alegre, respectivamente, refletindo mais uma vez a influência de sedimentação na morfologia da Margem Continental Sul Brasileira.

**Feições Topográficas Menores** — A Região Sul é relativamente pobre em feições do tipo vales e canais. Nos mapas batimétricos (figura 4), foram identificadas: os cânions de Macaé, Cabo Frio e Guanabara, ao largo dos locais geográficos do mesmo nome, o canal da Ilha Grande (Estado do Rio de Janeiro), vales norte e sul de Porto Alegre e vales do Rio Grande (Rio Grande do Sul). Essas feições erosivas na região sul, são em geral de grande extensão, desenvolvem-se desde a plataforma e tem gradientes axiais suaves. Há escassos detalhes batimétricos referentes a elas.

**Lineações Morfo-Estruturais** — Neste capítulo se pretende esboçar, com base em trabalhos realizados pela Petrobrás e outras entidades, alguns alinhamentos topográficos e relacioná-los com feições estruturais já conhecidas. Muitas das interpretações aqui propostas são hipóteses para investigações futuras, visando somente a chamar a atenção para possíveis lineamentos de natureza morfoestrutural.

#### I — As lineações da Região Norte (figura 1)

- Os eixos A, B e C, altos topográficos que se dispõem concordantemente com o desenvolvimento do Cone Amazonas, correlacionáveis com os altos estruturais resultantes de compactação diferencial de corpos arenosos de preenchimento de canal, descritos por Resende e Ferradaes (1971);
- O alinhamento D, situado mais ao Sul, semelhante aos acima descritos, está no prolongamento de uma zona de falhas de direação norte-sul, mapeadas no continente;
- As lineações E e F parecem relacionáveis ao tectonismo da Bacia de Barreirinhas. Estão, respectivamente, no prolongamento da Falha de Bacaba, proposta por Miura (1972), e da falha que separa a Plataforma da Ilha de Santana na parte profunda da Bacia de Barreirinhas;
- A lineação G coincide com um possível e extenso falhamento paralelo à direção geral das bacias da costa norte Brasileira.



## II — As lineações da Região Nordeste-Leste (figuras 1, 2 e 3)

- a) O alinhamento **H** pode ser interpretado como o prolongamento do Alto Atlântico proposto por Miura (1972);
- b) As lineações **I** e **J** são parte da Cadeia Norte Brasileira estudada por Hayes e Erwing (1970);
- c) A lineação **K** é demarcada pelo alinhamento de montes submarinos, com uma quebra evidente nas curvas batimétricas. Parece corresponder à falha proposta por Miura (1972), situada na área fronteira do continente e plataforma continental. A correspondência é indicada também pela anomalias magnéticas de grande amplitude que terminam em Aracati, próximo à divisa entre o Rio Grande do Norte e Ceará;
- d) A lineação **L** tem as mesmas características da lineação **I** e é possivelmente relacionada àquela estrutura;
- e) A lineação **M**, como a anterior, é conhecida por alinhamentos de montes submarinos e quebras nas curvas batimétricas. Pode constituir a projeção, para águas profundas, da falha que limita a leste a Bacia de Potiguar, constatada pelos poços de Carnaubais e Macau, da Petrobrás.
- f) A lineação **N** é o limite leste do alto topográfico limitado a oeste pelo alinhamento anterior;
- g) A lineação **O** corresponde à Cadeia de Fernando de Noronha, estudada por Almeida (1958) e Hayes e Erwing (1970);
- h) Os eixos **P**, ao largo do Rio Grande do Norte e Paraíba, alinham proeminências topográficas que se estendem a partir do talude, ou mesmo da plataforma, até o sopé continental. O mais meridional deles parece relacionar-se estruturalmente aos montes submarinos da Paraíba.
- i) A lineação **Q** é um alto topográfico possivelmente relacionado a corpos rasos que ocorrem no seu prolongamento, ao sul de Recife;
- j) A lineação **R**, indicada por quebra das isóbatas, não encontra correlação com estruturas conhecidas.

- l) A lineação **S** está no prolongamento, para o mar, do Alto de Sergipe;
- m) A lineação **S<sub>1</sub>**, indicada pelas curvas batimétricas, não encontra correspondência com estruturas conhecidas no continente;
- n) A lineação **T** está no prolongamento da parte norte do Banco Royal Charlotte;
- o) As lineações **U** constituem uma série de alinhamentos paralelos de direção leste-oeste (dos quais sete estão assinalados), relacionados com cadeias de montes e com bancos de rochas iguais;
- p) A lineação **V**, com direção nordeste-sudoeste, define-se ao sul pelo deslocamento lateral da Cadeia Vitória-Trindade e ao norte pela quebra das linhas batimétricas.

## III — As lineações da Região Sul (figura 4)

- a) A lineação **X**, à altura do cabo Frio, parece corresponder ao arco estrutural que limita ao sul a Bacia de Campos;
- b) As lineações **X<sub>1</sub>** e **X<sub>2</sub>**, no Embaiamento de São Paulo, parecem relacionar-se com a própria estruturação do Platô de São Paulo e com a Elevação do Rio Grande. No seu prolongamento, em terra, situa-se o Arco de São Sebastião, mas a correlação não está evidenciada;
- c) As lineações **X<sub>3</sub>** e **X<sub>4</sub>**, de grande extensão, correspondem, em linhas gerais, aos limites norte e sul da Bacia de Pelotas;
- d) Finalmente, o conjunto de Vales do Rio Grande, que coincide com a Falha Polônio (Leyden et alii, 1970), no extremo meridional da Margem Continental Brasileira.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a Paulo J. M. de Castro e Ubirajara Mello pelas sugestões e discussões durante a realização do trabalho, a Sabino O. C. Loguercio e Dr. Ronaldo Ramalho pelas criteriosas sugestões e críticas ao manuscrito e ao Professor Felisberto Carneiro pela revisão final do texto. As ilustrações foram desenhadas por Antonio C. Matos e Luis Mouta.

## BIBLIOGRAFIA

- 1 — ALMEIDA, F. M. de — 1958 — Geologia e Petrologia do Arquipélago de Fernando de Noronha. (Brasil. Dep. Nac. Prod. Min. — Div. Geol. Mineral., Monografia n.º 13), 181 p.
- 2 — ALMEIDA, F. M. de — 1961 — Geologia e Petrologia da Ilha de Trindade. (Brasil. Dep. Nac. Prod. Min. — Div. Geol. Mineral., Monografia n.º 18), 197 p.
- 3 — BARRETTO, H. T. e MILLIMAN, J. J. — 1969 — "Esboço fisiográfico da Margem Continental Brasileira". In: Tolofy, Luiz Carlos: Margem Continental Brasileira. Coletânea de Rio de Janeiro.
- 4 — BOYER, P. R. — 1969 — *Structure of the Continental Margin of Brazil — Natal to Rio de Janeiro*. Tese (Ph D. Geol.) — Graduate College of the University of Illinois. Urbana, Ill./s. ed./93 p.
- 5 — BUTLER, L. W. — 1969 — Shallow Structure of the Continental Margin, Southern Brazil and Uruguay. *Geol. Soc. of America, B.*, v. 81: 1079-1096.
- 6 — DIETZ, R. S. e MENARD, H. W. — 1951 — Origin of abrupt change in slope at continental shelf margin. *A.A.P.G.*, 35 (9): 1994-2016.
- 7 — DIETZ, R. S. e MENARD, H. W. — 1951 — Shallow Structure of Continental shelves and slopes. *Southeastern Geology* v. 9, n.º 4.
- 8 — EALEY, P. J. — 1969 — *Marine Geology of North Brazil: a reconnaissance survey* Tese (Ph. D. Geol.) — Graduate College of the University of Illinois. Urbana, Ill./s. ed./93 p.
- 9 — GORINI, M. A. — 1971 — Observações geológicas na Comissão Leste I do NOc. "Almirante Saldanha". Inédito.
- 10 — HAYES, E. e ERWING — 1970 — North Brazilian Ridge and adjacent Continental Margin. *A.A.P.G.*, B., 54 (11): 2120-2150.
- 11 — HEEZEN, B. C. — 1968 — The Atlantic Continental Margin. *UMR Journal*, n.º 1: 5-25.
- 12 — HEEZEN, B. C. e THARP, M. — 1961 — Physiographic diagrama of the South Atlantic, the Caribbean, the Scotia Sea and the eastern margin of the South Pacific Ocean. *Geol. of America*, Special Paper.
- 13 — HEEZEN, B. C.; THARP, N.; ERWING, M. — 1959 — The Floor of Oceans. 1. The North Atlantic. *Geol. Sec. of America*, Special Paper 65, p. 1-122.
- 14 — HILL, M. N. — 1963 — *The Sea*. New York, Interscience Publ., v. 3, 963, p. il.
- 15 — LEYDEN, R. et alii — 1971 — Structure of the Continental Margin off Punta del Este, Uruguay and Rio de Janeiro, Brazil. *A.A.P.G.* v. 55: 2161-2173.
- 16 — MARTINS, I. R. et alii — 1967 — Distribuição dos Sedimentos Modernos da Plataforma Continental Sul Brasileira e Uruguia. Anais do 21.º Congresso Bras. de Geologia, Págs. 29-43.
- 17 — MARTINS, I. R. e URIEN, C. M. — 1969 — Fisiografia y Sedimentos del Rio Grande Continental Plateau, Brasil. INQUA Congress, Paris. UFRGS-CECO, Notas Técnicas.
- 18 — MILLIMAN, J. D. e EMERY, K. O. — 1968 — Sea levels during the past 35.000 years. *Science*, 162 (3858): 1121-1123.
- 19 — MIURA, K. — 1972 — "Geologia da Plataforma Continental do Maranhão, Piauí, Ceará e Rio Grande do Norte". In: Congresso Brasileiro de Geologia. 26. Belém, PA., (no prelo), (no prelo).
- 20 — MOORE, G. e CURRAY, J. R. — 1964 — Wave-base, marine profile of equilibrium, and wave built terraces: discussion. *Geol. Soc. of America, B.*, 75 (12): 1267-1274.
- 21 — REZENDE, W. M. e FERRADAES, J. O. — 1971 — "Integração geológica regional da Bacia Sedimentar da Foz do Amazonas". In: Congresso Brasileiro de Geologia. 25. São Paulo, SP. 1971 — *Soc. Bras. Geol.*, B. Espec. n.º 1, p. 220-221 (resumo).
- 22 — SHEPARD, F. P. e DILL, R. F. — 1966 — *Submarine Canyons and other valleys*. Chicago, Rand McNally & Co., 381, p. il.
- 23 — ZEMBRUSKI, S. et alii — 1971 — Fisiografia e distribuição dos sedimentos superficiais da plataforma continental norte brasileira. *B. Tec. Petrobrás*, Rio de Janeiro, 14 (3/4): 127-155.

A PLATAFORMA CONTINENTAL DA COSTA  
LESTE BRASILEIRA, ENTRE O RIO SÃO  
FRANCISCO E A ILHA DE SÃO SEBASTIÃO  
(10°30'-25° LAT. S):  
NOTAS SOBRE OS PRINCIPAIS TIPOS DE FUNDO<sup>(1)</sup>

Por

MARC KEMPF<sup>(2)</sup>

Laboratório de Ciências do Mar da Universidade Federal de Pernambuco

S U M M A R Y

Compilation of the results and field observations of several surveys conducted on the E-NE Brazilian continental shelf has led to the characterization of the main bottom types present in the area between the Rio São Francisco and the Ilha de São Sebastião.

Schematization of the different informations available allowed the specification of the following bottom types: S sand; MS muddy sand (S, M wherever the proportions of both elements where unknown); S&M sand and mud, SM sandy mud, M mud; Mpel pelagic mud; CA calcareous algae; O organogenic material. Several reasons justify the choice of these easily distinguishable categories: diversity of information and problems with their interpretation, extent of the area considered and irregularities in the sampling distribution design to relate the present work to former biologic studies effected of the N-NE Brazilian coast.

Calcareous algal bottoms (Melobesiae, free living or concreted) are by far the broadest in extent, with exception of the southern part of the studied area. They constitute the southern end of the vast NE Brazilian calcareous algal region. These bottoms correspond to a shelf, relatively narrow (apart of the Abrolhos), with a gentle profile and a well marked break beginning near 60 m depth and followed by a steep slope. The offshore banks aligned toward Trindade show the same conditions as the lower continental shelf. Emerging (or nearly emerging) coral reefs are present around Abrolhos, where the shelf is considerably enlarged. Off Cabo Frio, in a southward direction, the importance of calcareous algal bottoms decreases rapidly: these are present only in patches, limited to the outer part of the shelf and surrounded by sand or muddy sand. Those patches may be related to the southernmost influence of the Brazil Current over the continental margin, but the temperature decrease can not be

appointed as the principal responsible of their reduction.

The sand and mud bottoms, restricted near the litoral wherever the calcareous algae are dominant (apart of the São Francisco, Salvador and Paraíba do Sul local areas), cover a very broad extent southward and off Cabo Frio. In this sector the profile of the shelf changes, with a notable enlargement of the 100-200 m belt; its break is probably more gentle and located deeper. In a seaward direction, the CaCO<sub>3</sub> content of the sediment rises gradually, while the terrigenous influence decreases.

An analogy appears between this area and the northwestern and of the Brazilian calcareous algal region, near the Amazon: enlargement of the shelf and disappearance of its well marked break beginning near 60 m depth, great extent of sandy and muddy bottoms, restriction of the calcareous algal bottoms to the lower part of shelf and increasing of the muddy fraction in their sediment, impoverishment of the Melobesiae and their gradual replacement by animal populations, vanishing of the typical NE Brazilian sub-reefal coral fauna... A close analogy also exists between the flat-topped off shore banks located between Espírito Santo and Trindade, those located off Ceará and Rio Grande do Norte, and the lower shelf of the whole NE Brazilian region.

The present work is documented with:

— tables giving the origin of data and their interpretation,

(1) Trabalho escrito em 1969; no prelo em Anais Hidrográficos, Ministério da Marinha, Rio de Janeiro, Tomo 28, Ano 1970.

(2) Endereço atual: Instituto de Pesquisas da Marinha, Rua Ipiru, s/nº, Ilha do Governador, ZC-32, Rio de Janeiro.

- station list, with symbols of bottom characteristics,
- maps, arranged according to the subdivision for the coast used by the Brazilian Navy nautical charts, showing a) sampling stations and b) bottom characteristics.

ampla língua de lama em direção oeste,

### INTRODUÇÃO

O presente trabalho é continuação das pesquisas de bionomia bêntica da plataforma continental do N.E. brasileiro realizadas pelo Laboratório de Ciências do Mar do Recife, cujos resultados já estão parcialmente divulgados. Mostra-se a evolução, em direção ao Sul, dos tipos de fundo encontrados na região nordestina, tentando estabelecer seu limite meridional.

Trata-se principalmente de uma compilação de observações realizadas no setor considerado.

### AREA ESTUDADA

#### Delimitação

A área considerada é formada pela plataforma continental entre a embocadura do Rio São Francisco (10° 30' lat. S.) e a frente da Ilha de São Sebastião (25° lat. S. & 45° 15' long. W.) e pelos bancos oceânicos situados ao largo dos Estados da Bahia e Espírito Santo. Tal escolha responde tanto à considerações científicas (1) quanto à motivos ligados a disponibilidade de dados (2).

(1) Em primeiro lugar, torna-se necessário considerar toda a área, que apresenta uma continuidade climática e ambiental com a região nordestina do Brasil, e estabelecer seus limites na região de transição S.

(2) Duas zonas relativamente bem amostradas limitam a área estudada (Fig. 2a). A maioria das pesquisas do Laboratório do Recife, especialmente as que incluem biologia bêntica, abrangem o setor situado ao N. do Rio São Francisco ou próximo à sua embocadura, setor sobre o qual existem vários trabalhos científicos (Tabela I). Um número razoável de dados sobre fundos, provenientes em grande parte de viagens do navio oceanográfico «Almirante Saldanha» (D. H. N., Marinha do Brasil), e alguns trabalhos científicos (Tabela I) referem-se ao setor S., a partir do Espírito Santo.

A grande maioria das informações provém da plataforma continental, de uma profundidade geralmente inferior a 100 m. Estações profundas são pouco numerosas e sua utilização ultrapassa o objetivo do presente trabalho. Também o domínio litoral, imediatamente adjacente à praia, não é tratado.

### Generalidades

Características físicas terrestres — O litoral da área estudada pertence a três das subdivisões estabelecidas por Silveira (in Azevedo, 1964): litoral N.E. ou das Barreiras (parte S. do mesmo), litoral oriental (do Recôncavo Baiano até o S do Estado de Espírito Santo), litoral S. E. ou das escarpas cristalinas (parte N. do mesmo). O clima terrestre costeiro, tropical em toda a área, passa a mostrar tendências subtropicais em seu extremo S.: o manguezal ultrapassa o limite presentemente considerado (existe até Santa Catarina), mas a sua fauna característica progressivamente alterada. As precipitações, no conjunto, são variáveis, apresentando um mínimo anual de 500-1.500 mm ao S. do São Francisco e um máximo superior ou igual a 2.000 mm no litoral Centro-S. do Estado da Bahia. Um grande rio, o São Francisco, desemboca no limite N. da área, porém, seu volume de água não corresponde a extensão do seu curso (3.000 km) Rios secundários importantes estão localizados na parte S.E., o Doce e o Paraíba do Sul, principalmente.

Fisiografia da plataforma continental — Com respeito a seu perfil topográfico, a margem continental da área considerada apresenta dois tipos bem diferenciados, situados em cada lado da região de Cabo Frio. A plataforma, na parte N. e E., a maior em extensão latitudinal, é caracterizada por um perfil suave, quase plano, terminado por uma ruptura de declive, em ângulo bem acentuado, iniciada a partir de 60 m de profundidade, e por um talude abrupto. Na ausência de dados mais completos, a isóbata de 100 m, muito próxima à de 1000 m, poderia ser considerada como seu limite arbitrário. Sua largura varia: estreita ao N (5 milhas em frente a Salvador), cobrindo uma extensão considerável na região dos Abrolhos (185 milhas), com um alargamento secun-

dário na região de Belmonte, Bahia (60 milhas).

Os bancos oceânicos, situados em frente aos Abrolhos ou alinhados W.E. em direção à Ilha de Trindade, apresentam o mesmo tipo de perfil, com um topo aplanado, culminando entre 55 e 70 m (Gorini, no prelo), e mostram uma notável semelhança com a parte inferior da plataforma continental do mesmo setor.

A partir de Cabo Frio (parte S. da área estudada) a isóbata de 100 m se aproxima muito do litoral, para se afastar de novo progressivamente em direção ao S. Concomitantemente, a isóbata de 200 m se separa consideravelmente da precedente, o que confere uma grande extensão territorial à faixa de 100-200 m (especialmente à faixa de 100-150 m), confundida com a ruptura de declive da plataforma ao N. de Cabo Frio (em frente a Cabo Frio: no meridiano de 42 W., 0-100 m = 4 milhas, 100-150 = 28 milhas, e 150-200 = 5 milhas; enquanto que no paralelo de 23°S., 0-100 m = 63 milhas, 100-150 = 1 milha, e 150-200 = 1 milha). A localização das profundidades de 1000 m ou mais, em relação às de 200 m (DHN, mapas náuticos), sugere também uma borda de plataforma inferior ou vizinha a 200 m e um ângulo de ruptura mais suave.

Hidrologia sumária — A maior parte da área considerada está sob a influência da Corrente do Brasil, que proporciona salinidade e temperatura elevadas, e águas transparentes: as condições de crescimento para os corais hermatípicos tropicais se mantêm favoráveis numa superior a 100 m, até profundidade igual ou perto do Trópico de Capricórnio, inclusive nos bancos oceânicos (Laborel, 1967). Na mesma área, a descarga dos rios costeiros tem, geralmente, conseqüências apenas locais. Mesmo o São Francisco apresenta uma zona de influência reduzida, fato acentuado pela estreiteza da plataforma em frente à sua embocadura.

A partir da região de Cabo Frio, quando a costa segue uma direção E.-W., a Corrente se afasta da margem continental. O intervalo é preenchido pela «água litoral», de salinidade mais baixa, resultado da mistura de diversos componentes (Moreira da Silva, 1965).

Um «up-welling» afeta periodicamente a região de Cabo Frio.

### MATERIAL E MÉTODO

#### Origem dos dados (\*)

A Tabela I (que, para os trabalhos científicos citados, se refere a lista bibliográfica) resume a origem dos dados utilizados. Trata-se de compilação de publicações recentes, de diferentes autores. Sobre os fundos da área considerada e de relatórios de viagem de origens diversas, em particular da D.H.N. É empregado também um certo número de dados inéditos, provenientes de notas de bordo de vários cientistas, de pesquisas geológicas do Laboratório de Ciências do Mar do Recife, e de observações pessoais. As indicações sobre fundos, existentes nas cartas náuticas da D.H.N., completam este conjunto e se revelam, em certos trechos de amostragem insuficiente, a única fonte de referência.

### UTILIZAÇÃO DOS DADOS

Limitação do trabalho — Uma série de limitações, devida a múltiplas razões, é normalmente inerente a um trabalho desta natureza:

— Falta de homogeneidade nos dados. Esta é ligada à diversidade, tanto de origem (trabalhos científicos baseados em análises de laboratório, notas de bordo decorrentes de observação visual, cartas náuticas), como das técnicas de coleta (busca-fundo, testemunhador, draga, mergulho, rede de arrasto), e do método de apreciar o sedimento.

— Dimensão da área estudada. A área estudada cobre uma grande extensão territorial (entre 10° 30' e 25° lat. S.). Condições ambientais uniformes facilitam o estudo da parte N. e E. Em contraposição, a zona de transição constituída pela parte S. é de compreensão muito mais delicada, devido à multiplicidade dos fatores presentes.

— Irregularidade na distribuição de amostragem. A densidade das estações é muito variável (Fig. 2a) e, para as expedições brasileiras, depende essencialmente da proximidade

(\*) Agradecimentos. Agradeço a todos aqueles que contribuíram para a realização do presente trabalho, aumentando com sua colaboração o número de dados disponíveis (Tabela I): aos pesquisadores embarcados em Comissões Oceanográficas, por suas observações de bordo; ao Professor J. M. Pérès, Diretor da Station Marine d'Endoume de Marseille, França, pelo livro de bordo do «Calypso» (Exped. S.M.E.); e ao Dr. P. N. Coutinho pelas análises geológicas do Laboratório de Ciências do Mar do Recife.

Tabela I ORIGEM DOS DADOS			
Navio	Instituição	Est. utilizadas	Referência
GUANABARA (DG 06 I)	DHN	5	DHN (1956)
SALDANHA (DG 06 II)	DHN	4	DHN (1957a)
SALDANHA (DG 06 III)	DHN	8	DHN (1957b)
SALDANHA (DG 06 IV)	DHN	2	DHN (1957c)
SALDANHA (DG 06 V)	DHN	4	DHN (1957d)
SALDANHA (DG 06 X)	DHN	54 (53) (42)	DHN (1960) OTTMANN & OTT. (no prelo)
SALDANHA (DG 06 XII)	DHN	59 (59) (30)	DHN (1961a) COUTINHO (no prelo b)
SALDANHA (DG 06 XIII)	DHN	8	DHN (1961b)
SALDANHA (DG 06 XIV)	DHN	4 (4) 4 (1)	DHN (1962) COUTINHO (inédito)
SALDANHA (DG 06 XV)	DHN	5	DHN (1963)
SALDANHA (DG 26 I)	DHN	9 (9) 5 (5) 5 (5)	DHN (inédito) BRAGA (1967) COUTINHO (inédito)
SALDANHA (DG 26 II)	DHN	1	DHN (inédito) COUTINHO (inédito)
SALDANHA (DG 26 VI)	DHN	9	DHN (1967) BARTH et al. (1966)
SALDANHA (DG 26 VIII)	DHN	19	DHN (1968)
SALDANHA (DG 26 X)	DHN	10 (4) 9 (9)	DHN (1967) ZEMBRUSCKI (1967)
SALDANHA (XXXIV <sup>o</sup> Com.Oc)	DHN	4 (3) 4 (1)	DHN (inédito) BRAGA (1968)
SALDANHA (XXXV <sup>o</sup> Com.Oc.)	DHN	14	DHN (inédito)
SALDANHA (DG 26 XI)	DHN	14	ZEMBRUSCKI (1968)
SALDANHA (XXXVII <sup>o</sup> Com.Oc)	DHN	23	MERINFELD (notas bordo)
SALDANHA (XLII <sup>o</sup> Com.Oc.)	DHN	5	BOREJEVIC (notas bordo)
TOKO MARU	Jap. Fish. Agency	6	SURVEY REPORT (1958)
CALYPSO (Mus. Paris)	Mus.nat.Hist.nat.	63	FOREST (1966)
CALYPSO (SME. Marseille)	Stn.mar. Endoume	30	SME (notas bordo)
AKAROA	Sudene Lab.Ciênc.Mar	154 (82) (72)	{CAVALCANTI et al. (1967) CAVALCANTI et al. (1969) KEMPF (1970) MABESOONE & TINOCO (1967) BARROS & JONSSON (1967) COUTINHO (no prelo a)}
CANOPUS	Sudene Lab.Ciênc.Mar	2	KEMPF (notas bordo) MABESOONE (inédito)

dos centros de estudo (Rio de Janeiro, no caso). Grandes trechos insuficientemente amostrados subsistem.

— Finalidade do trabalho. Seu objetivo é o de relacionar os resultados obtidos com as pesquisas do Laboratório de Ciências do Mar sobre o Nordeste do Brasil.

Problemas de apreciação — A apreciação da natureza do fundo por diversos observadores apresenta duas dificuldades principais, comuns a todas as notas de bordo (Tabela III: exemplo de interpretação dos dados),

— Lama. Em geral, a importância da fração fina no sedimento é superestimada nas observações visuais, em relação à análise granulométrica. Um substrato denominado de «lama» pode conter, na realidade, mais areia do que lama. A criação de uma categoria especial de «Areia, Lama» (S, M), torna-se necessária para todos os casos onde a percentagem exata dos dois componentes não é conhecida.

— Fundos duros. Nas mesmas observações, a denominação «fundo duro» corresponde geralmente apenas à falta de amostra, i. e. à falta de funcionamento do aparelho coletor (draga ou busca fundo vazios, rede rasgada). Na ausência de dados complementares ou de estações próximas com informações mais precisas, sua interpretação fica sem garantia. Na área N. e E., os «fundos-duros» correspondem quase sempre a fundos de algas calcárias. No entanto, na área S., pode se tratar de areia. Os verdadeiros fundos rochosos, também não devem ser completamente ignorados, especialmente na zona costeira do litoral cristalino, mas faltam informações a esse respeito.

Interpretação dos dados — Tendo em vista aquelas dificuldades de interpretação, uma esquematização se faz necessária a fim de reu-

nir os diversos tipos de fundos encontrados em categorias gerais e de fácil distinção. A classificação adotada se baseia, tanto em experiência adquirida no N.E. do Brasil (Kempf, Coutinho & Moraes, 1968; Kempf, Mabesoone & Tinoco, no prelo; Kempf, 1970), como nos trabalhos publicados sobre a área em estudo (Tabela II).

Na região N.E. do Brasil, os tipos descritos são bem individualizados, suas características pouco variáveis e seus limites geralmente nítidos. O setor de Recife pode servir de exemplo (op. cit.). Os fundos presentes na plataforma continental, da costa para o largo são os seguintes: lama (ocasional), recife (ocasional), areia quartzosa, algas calcárias largamente dominantes em extensão, e material organogênico. Este esquema é válido em suas linhas gerais para a parte N. e E. da área presentemente estudada. Mas, na parte S., o problema se apresenta mais complexo: as categorias anteriores são alteradas ou eliminadas, enquanto surgem novos elementos.

#### Apresentação dos dados e dos resultados

O presente trabalho é documentado com:

— 3 (três) tabelas explicativas, dando a origem (Tab. I), a interpretação (Tab. II), e um exemplo de interpretação dos dados (Tab. III);

— 1 (uma) lista de estações, apresentadas por ordem de expedição, com os símbolos de natureza de fundo utilizados;

— 11 (onze) mapas indicando, em duas folhas distintas, a localização das estações (Fig. a) e o traçado dos tipos de fundo (Fig. b). Estes mapas seguem a ordem de divisão do litoral adotada pela D.H.N. em suas cartas náuticas (folha ...).

#### RESULTADOS

##### Fundos de areia e lama

(S) Areia:	fração grossa > 90%	fração fina < 10%
(MS) Areia lamacenta:	" " 60-90%	" " 10-40%
(S&M) Areia e lama:	" " 40-60%	" " 40-60%
(SM) Lama arenosa:	" " 10-40%	" " 60-90%
(M) Lama:	" " < 10%	" " > 90%
(S, M) Areia: lama:	granulometria desconhecida	

**INTERPRETAÇÃO DOS DADOS**

Tabela II	INTERPRETAÇÃO DOS DADOS				Organogênico (O)
	Areia (S)	Areia com Lama (MS) (S,M)(S&M)(SM)(M)	Lama (Mpel)	Algas calcárias (CA)	
DHN cartas naut.	A.-Con.	L.	L.-Ld.-Arg.	C.-cal.-Cor. Mad. -Con.	
DHN : DG	Areia (fina) (grossa)	Lama e Areia Lodo e Areia Lama-Lodo	Lama - Argila Lodo argiloso Lodo amarelo Lodo verde claro	Duro - Conglomerado Coral - Fragm. calc. Cascalho - Calcário	
COUTINHO (no prelo b)	Areia terrígena CaCO3 30% Areia biotérrica	Areia com Lama Granul. {gros: 30-50% fcn: 50-70% CaCO3 {gros: 20% fcn: 15-30%	Lama com Globigerinas	Algas Calcárias CaCO3: 30-80% Areia biotérrica areia terrígena: 20% mat. orgân: 70% Lama: 20%	
MABSOONE & TINDO (1967)	Terrígeno	Lama	Lama	Algas calcárias Material orgânico	
OTTOMAN & OTTMAN (no prelo)	Areias conchif. Areias gr. ferrug. Granul. {gros: 49-99,5% fcn: 0,5-51% CaCO3 {gros: variável fcn: 25%	Vasas litorâneas Granul. {gros: 27-88% fcn: 12-73% CaCO3 {gros: 20% fcn: 17-32%	Vasa Pelágica Granul. {gros: 17-24% fcn: 76-83% CaCO3 {gros: 27-35% fcn: 27-35%	Algas calcárias CaCO3 {gros: 93-100(42)% fcn: 0-7(58)% CaCO3 {gros: 60% fcn: 30-80% Vasa com Areia calc. Granul. {gros: 60-80% fcn: 20-40% CaCO3 {gros: 65-80% fcn: 20-37%	
ZEMBRUSKI (1967, 1968)	Areia	Areia argilosa	Argila Argila arenosa Silte argilosa	Algas calcárias Calcário orgânico Coralígeno Conglomerado	
FOREST (1966)	Areia	Areia vasosa Areia, Lama	Lama	Algas calcárias Coral - Rocha (Bryozoa - Esponjas) (Conchas)	
SME (Livro/bordo)	Areia vasosa Lama arenosa	Lama	Lama c/ Pterópodos Lama azul	Algas calcárias Concreções - Corais Areia calcária Areia coralínea	
SURVEY REPORT (1958)	Areia	Areia vasosa Lama arenosa	Lama		

**Tabela III- EXEMPLO DE INTERPRETAÇÃO DOS DADOS**

	Estações (SALDANHA)		DHN (1960)	OTTOMAN & OTTMAN (no prelo)	% Granul.		% CaCO3	
	nº	prof(m)			gros	fim	gros	fim
S	477	15	Duro	Areia ferruginosa (Areia conchifera terrígena)	99	1	21	-
S	454	43	Conchas, Coral	Areia ferruginosa (Areia conchifera)	97	3	4	-
S	428	49	Lama & Areia	Areia ferruginosa (Areia grossa)	92	8	6	-
S	452	47	Areia	Areia ferruginosa (Areia conchifera)	90	10	6	-
S	424	64	Lama	Areia conchifera (Areia terrígena)	92	8	15	22
MS	411	59	Lama	Vasa litorânea (Areia vasosa)	84	16	5	18
S&M	398	90	Lama	Vasa litorânea (Areia vasosa)	59	41	7	17
S&M	410	100	Lama	Vasa litorânea (Vasa arenosa)	43	57	10	17
SM	409	125	Lama	Vasa litorânea (Vasa arenosa compacta)	36	64	15	19
Mpel	460	330	Lama	Vasa Pelágica (c/ Globigerinas)	17	83	29	26
?CA	439	35	Duro	-	-	-	-	-
CA	466	63	Coral	Algas calcárias (livres)	100	0	76	-
CA	416	119	Coral	Algas calcárias (livres)	97	3	91	82
CA	399	116	Duro (?Coral)	Algas calcárias	83	17	60	30
CA/O	431	113	Lama & Coral	Algas calcárias (Vasa c/ Algas e elementos planctônicos)	60	40	80	-

Estas subdivisões são estabelecidas em função da porcentagem respectiva das frações grossa e fina no sedimento.

(S) A areia propriamente dita é confinada à zona litoral. Trata-se de quartzo com teor variável de  $\text{CaCO}_3$ , geralmente baixo, podendo se elevar nos casos de acumulação local de conchas e outros fragmentos de origem biotritica (Coutinho, no prelo b; Ottmann & Ottmann, no prelo).

(MS) Uma porcentagem baixa do elemento secundário (10% de fração fina) determina a areia lamacenta: o fato de uma quantidade pequena de lama ser suficiente para colmatar os interstícios dos grãos de areia, favorecendo a instalação de espécies vasicolas e modificando os povoamentos bênticos, justifica tal escolha do ponto de vista biológico. Esse fundo sucede ao precedente em direção ao largo. Ele é limitado à zona de influência dos rios na área N. e E., mas cobre a maior parte da plataforma no S. Neste caso, a porcentagem de  $\text{CaCO}_3$  no sedimento aumenta paralelamente com o afastamento da costa (graças a fragmentos biotriticos como restos de moluscos, briozoários, corais...), enquanto que a influência terrígena diminui («areia biotritica» de Coutinho, no prelo b). A categoria (S, M) utilizada cada vez que se constata a presença de lama sem análise granulométrica, está mapeada conjuntamente com a areia lamacenta.

(S&M), (SM) e (M) estão representados por um símbolo único. A maior incidência destes fundos de lama coincide também com a área S., em forma de largas manchas no meio da areia lamacenta. Na área N. e E., com exceção da embocadura do São Francisco, estão reduzidos a pequenas ocorrências ocasionais, dependentes dos rios costeiros.

#### Lama pelágica

As estações profundas estão apenas relacionadas, pois o pequeno número de dados disponíveis e o objeto do presente trabalho não justificam um estudo especial. Lama pelágica (Mpel) ocupa naturalmente a quase totalidade dos fundos situados ao sopé da margem continental.

#### Fundos de origem biológica

(CA) Os fundos de algas calcárias são elaborados por Rhodophyceae calcificadas (Coralinaceae, Melobesiae), livres e ramificadas

como os representantes do gênero *Lithothamnium*, incrustantes em forma de seixos e blocos (livres quando pequenos), ou às vezes formando lages de uma certa extensão. Junto às algas vivas (de coloração arroxeada quando frescas), existe uma fração arenosa de importância variável e uma fração de lama geralmente insignificante, ambas calcárias e resultando da desagregação das Melobesiae. Análises feitas em material proveniente do N.E. brasileiro (Mabesoone & Tinoco, 1967; Kempf, Coutinho & Morais, 1968); Kempf, Mabesoone & Tinoco, no prelo), mostram uma granulometria com fração grossa > 90% (geralmente vizinha ou igual a 100%) e um teor de  $\text{CaCO}_3$  > 90%. Corais, isolados ou em coloniais de porte reduzido (hermatípicos, sub-recifais, sem poder constructor verdadeiro), e Bryozoa completam a concreção orgânica. Tais fundos são típicos da região nordestina do Brasil, onde cobrem a maior parte da plataforma continental. Eles prosseguem, com as mesmas características gerais, até o setor Cabo de São Tomé-Cabo Frio e ocupam também o tópo dos bancos oceânicos.

(Rec CA). Na plataforma dos Abrolhos, estão presentes recifes de corais e algas calcárias. Podem emergir a B.M. ou aproximar-se da superfície numa grande extensão (10x20 km no Parcel das Paredes e 5x20 km no Parcel dos Abrolhos segundo Labrel, 1967). Ocorrem também trechos de areia e lama calcárias, resultado da destruição dos recifes, mas sua representação em separado não foi possível neste trabalho.

(CA/O). Na área S, os fundos de algas calcárias diminuem rapidamente de importância, ficando confinados à parte externa e mais profunda da plataforma e se apresentam em manchas ilhadas no meio dos fundos de areia e de areia lamacenta. Consequentemente, a porcentagem de lama no sedimento aumenta (M = 20-40% para as «vasas com areia calcária e algas» de Ottmann & Ottmann no prelo). As Melobesiae perdem sua capacidade de concreção e os corais hermatípicos sub-recifais desaparecem. O teor de  $\text{CaCO}_3$  torna-se mais baixo, especialmente na fração fina ( $\text{CaCO}_3$  = 65-80% para a fração grossa e 20-30% para a fração fina, segundo os autores anteriormente citados). Infelizmente, faltam dados para um estudo mais aprofundado e um mapeamento correto desses fundos. Em particular, o número das ocorrências e seu contorno exato estão sujeitos à verificação. A estação Saldanha 2188a constitui a única informação segura localizada mais ao S. (nesta Es-

tação, o substrato é principalmente de areia calcária lamacenta, com uma porcentagem muito reduzida de Melobesiae vivas).

(O). O sedimento do fundo de material organogênico se compõe de areia de origem biotritica, essencialmente animal (briozoários, moluscos, corais ahermatípicos...), sem algas calcárias ou, pelo menos, sem algas calcárias vivas, e de uma certa porcentagem de lama. O teor de  $\text{CaCO}_3$  é sempre alto. A influência terrígena é inexistente ou negligenciável. Esse substrato segue normalmente o fundo de algas calcárias no bordo da plataforma continental quando o aumento da profundidade impede a penetração da luz e, conseqüentemente, o crescimento das Melobesiae. O fundo de material organogênico foi assim definido para a região N.E. brasileira, mas na área presentemente considerada, as informações disponíveis a respeito são insuficientes para uma representação correta, exceto na zona do São Francisco. Na área S., é provável que uma parte dos fundos de areia lamacenta situados entre as manchas de algas calcárias (parte mais profunda da «areia biotritica» de Coutinho, no prelo b) possa ser considerada como pertencente àquele substrato. Haveria então uma passagem progressiva dos fundos de areia e lama para fundo de material organogênico, como é o caso ao largo do Amapá ou, em menor escala, como na embocadura do Rio São Francisco.

(Cor prof) Formações de «corais profundos» foram localizadas nas Estações Calypso 1776 (1000 m) e (535-575 m) (ver também Labrel, 1967).

#### CONCLUSÕES

##### Dominância dos fundos de algas calcárias na área N. e E.

A dominância dos fundos de algas calcárias, característica da região N.E. brasileira, prossegue em toda área N. e E. do presente estudo. Tais fundos, correspondem a uma plataforma de perfil plano e ruptura abrupta de declive a partir de 60 m de profundidade. Sua extensão é determinada pelas condições favoráveis ao crescimento da Melobesiae. O limite superior está ligado ao fim da influência terrígena e varia em conseqüência. Ele fica próximo ao litoral (isóbata de 20 m) na maior parte da plataforma estreita do N. e se afasta mais a partir dos Abrolhos. Uma interrupção completa pode ocorrer localmente: foz do Rio

São Francisco, frente à Baía de Todos os Santos, frente ao Cabo São Tomé em relação com a influência do Rio Paraíba do Sul (as informações ainda são insuficientes para confirmar os dois últimos casos com segurança). O limite inferior é função da penetração da luz e se situa no início do talude, em profundidades iguais ou pouco superiores a 100 m.

A topografia da vasta plataforma dos Abrolhos é complicada pela presença de recifes de corais e algas calcárias.

Os bancos oceânicos da costa oriental correspondem ao mesmo conjunto. Existe uma notável semelhança entre esses bancos, aqueles situados ao largo dos Estados do Ceará e Rio Grande do Norte (tôpo aplanado culminando geralmente entre 50 e 70 m de profundidade, ruptura de declive acentuada na orla, flancos abruptos, substrato de algas calcárias), e a parte externa da plataforma continental da mesma região.

A ocorrência de algas do gênero *Laminaria*. Phaeophyceae de zonas temperadas, no horizonte inferior (50-95 m) dos fundos de algas calcárias ao largo dos Estados do Rio de Janeiro e Espírito Santo (Estações Saldanha EFD.5, AF.4, D.5 e D.6; e Joly & Oliveira Filho, 1967), sugere a introdução de um novo fator nas condições ambientais, provavelmente a presença de água mais fria próxima ao fundo.

##### Diminuição dos fundos de algas calcárias e extensão dos fundos de areia e lama na área S.

A redução da importância dos fundos de algas calcárias e seu afastamento para profundidades maiores, acompanhada de uma extensão considerável de fundos de areia e lama a partir de Cabo Frio, é a característica principal da área S. O fenômeno corresponde a uma mudança no perfil topográfico da plataforma continental, com um alargamento sensível da faixa de 100-200 m e um abaixamento da ruptura do declive. Ele deve ser associado também a uma mudança nas condições hidrológicas: aumento da influência terrígena e afastamento da Corrente do Brasil na margem continental.

Os substratos com Melobesiae presentes nessas condições não são mais conformes às características típicas dos fundos de algas calcárias da área N. e E. e correspondem ao limite S. dos mesmos. Investigações mais detalhadas se fazem necessárias a fim de precisar não só sua localização exata como também sua alteração progressiva em direção ao S.

Na redução e no desaparecimento das algas calcárias, o abaixamento da temperatura não deve ser apontado como fator principal: o fato pode ser observado em outros locais da plataforma continental brasileira onde a temperatura é estável, e Melobesiae existem em todas as latitudes. O fenômeno parece mais ligado a condições desfavoráveis de substrato, decorrentes de um aumento da influência terrígena (lama) e, na parte mais baixa da plataforma, insuficiência de iluminação.

Existe uma relação de semelhança entre a redução e a alteração dos substratos de algas calcárias ao S. de Cabo Frio e na região Amazônica (descrita em Kempf, Coutinho & Moraes, 1968 — Kempf, 1970): aumento da largura da margem continental e abaixamento da ruptura do declive, aumento da influência terrígena, confinamento das algas calcárias na

parte baixa da plataforma onde são limitadas pela insuficiência de iluminação alteração progressiva do substrato (diminuição da capacidade de concreção das Melobesiae, desaparecimento dos corais hermatípicos sub-recifais, aumento da fração fina no sedimento e aparecimento de invertebrados vasícolas), e substituição das algas por elementos de origem animal (briozoários, moluscos, corais ahermatípicos...). O «Brasil tropical» dos biogeógrafos (para dados complementares consultar Laborel, 1967), correspondendo num sentido largo, a toda região N.E. do país, aparece então caracterizado pela importância dos fundos de algas calcárias e limitado em suas extremidades N. e S. pela extensão de substratos de areia e lama. Esses limites estão relacionados com modificações na hidrologia e na topografia da plataforma continental.

#### REFERÊNCIAS

- BARROS, A. de C. & JONSSON, S. (1967) — Prospecções de camarões na região estuarina do Rio São Francisco. Bol. Estud. Pesca, Sudene, Recife, 7 (2): 7-29.
- BARTH, R.; RIBAS, L. B. & BRAGA, Y. Y. (1966) — Resultados de dragagens na plataforma continental do Brasil. Inst. Pesq. Mar., Min. Mar., Rio de Janeiro, Nota técn. 33/1966: 23 p.
- BRAGA, L. M. (1967) — Notas sobre os briozoários marinhos brasileiros coletados pelo Navio Oceanográfico "Almirante Saldanha". Idem, Public. 002.
- BRAGA, L. M. (1968) — Notas sobre alguns briozoários incrustantes da região de Cabo Frio. Idem, Public. 025: 23 p.
- CAVALCANTI, L. B.; COELHO, P. A.; KEMPF, M. MABESOONE, J. M. & SILVA, O. C. da (1967) — Shelf off Alagoas and Sergipe (NE Brazil). 1. Introduction. Trabs. Inst. Oceanogr. Univ. fed. Pernambuco, Recife, 7/8: 137-150.
- CAVALCANTI, L. B.; COELHO, P. A.; KEMPF, M.; MABESOONE, J. M. & SILVA, O. C. da (1969) — Estudos oceanográficos (III): 24-32, in: Moura, S. J. C. de et al. Projeto "Akaroa". Doc. Pesca 19, Sudene; Recife: 50 p. (mimeogr.).
- COUTINHO, P. N. (no prelo a) — Sedimentation at the mouth of the São Francisco River (Brazil). Trabs. oceanogr. Univ. fed. Pernambuco, Recife, 9/11.
- COUTINHO, P. N. (no prelo, b) — Preliminary investigation of the sediments between Cabo Frio and São Sebastião Island (Brazil). Idem.
- DHN. (1956) — Ano geofísico internacional: 1.a viagem do NE "Guanabara" (26-30-11-1956). Diret. Hidrog. Naveg., Min. Mar., Rio de Janeiro, DG 06 I: 4 p (mimeogr.).
- DHN. (1957a) — Ano geofísico internacional: 1.a viagem do NOc "Almirante Saldanha" (16-27-02-1957). Idem, DG 06 II: 3 p. (mimeogr.).
- DHN. (1957b) — Ano geofísico internacional: 2.a viagem do NOc "Almirante Saldanha" (20-03-16-04-1957). Idem, DG 06 III: 6 p (mimeogr.).
- DHN. (1957c) — Ano geofísico internacional: 3.a viagem do NOc "Almirante Saldanha" (29-05-04-06-1957). Idem, DG 06 IV: 3 p (mimeogr.).
- DHN. (1957d) — Ano geofísico internacional: 4.a viagem do NOc "Almirante Saldanha" (05-17-10-1957). Idem, DG 06 V: 4 p. (mimeogr.).
- DHN. (1960) — Estudo das condições oceanográficas sobre a plataforma continental entre Cabo Frio e Vitória durante o outono (abril-maio). Idem, DG 06 X: 3 p (mimeogr.).
- DHN. (1961a) — Estudo das condições oceanográficas sobre a plataforma continental entre Cabo Frio e a Ponta do Boi durante o mês de setembro (transição inverno/primavera). Idem, DG 06 XII: 3 p (mimeogr.).
- DHN. (1961b) — Estudo das condições oceanográficas nas proximidades do Rio de Janeiro durante o mês de dezembro. Idem, DG 06 XIII: 2 p (mimeogr.).
- DHN. (1962) — Estudo das condições oceanográficas entre o Rio de Janeiro e o Rio da Prata durante o outono (maio 1962). Idem, DG 06 XIV: 3 p. (mimeogr.).
- DHN. (1963) — Estudo das condições oceanográficas entre o Rio de Janeiro e o Rio da Prata durante o inverno (agosto-setembro 1962). Idem, DG 06 XV: 4 p (mimeogr.).
- DHN. (1967a) — XXXIXª Comissão oceanográfica do NOc "Almirante Saldanha" (08-28-06-1966). Fundeio em Cabo Frio. Idem, DG 26 VI: 187 p.
- DHN. (1967b) — XXXIIIª Comissão oceanográfica do NOc "Almirante Saldanha" (14-03-03-05-1967): Idem, DG 26 X: 411 p.
- DHN. (1968) — XXXIª Comissão oceanográfica do NOc "Almirante Saldanha" (14-11-16-12-1966). Idem, DG 26 VIII: 249 p.

- FOREST, J. (1966) — Campagne de la "Calypso" au large des côtes atlantiques de l'Amérique du Sud (1961-1962). - Compte rendu et liste des stations. Ann. Inst. océanogr., Paris, 44: 329-350.
- GORINI, M. A. (no prelo) — Geologic observations in the "Comissão Oceanográfica Leste I aboard the R/V "Almirante Saldanha". An. Acad. brasil. Ciênc., Rio de Janeiro.
- JOLY, A. B. & OLIVEIRA FILHO, E. C. de (1967) — Two Brazilian Laminarias. Inst. Pesq. Mar., Min. Mar., Rio de Janeiro, Public. 004. 13 p.
- KEMPF, M. (1970) — Notes on the benthic bionomy of the N-NE Brazilian shelf. Marine Biology, 5 (3): 213-224.
- KEMPF, M. — COUTINHO, P. N. & MORAIS, J. O. de (1968) — Plataforma continental do Norte e Nordeste do Brasil: nota preliminar sobre a natureza do fundo (Apêndice C:579-600). In: XXXV Comissão Oceanográfica "Operação Norte-Nordeste I" do NOc "Almirante Saldanha" (14-09-16.12.1967). Diret. Hidrog. Naveg., Min. Mar., Rio de Janeiro, DG 26(11) : 600 p.
- KEMPF, M. — MABESOONE, J. M. & TINOCO, I. M. — no prelo — Estudo da plataforma continental na área do Recife. 1. Nota preliminar sobre a natureza do fundo. Trabs. oceanogr. Univ. fed. Pernambuco Recife, 49/11.
- LABOREL, J. (1967) — Les peuplements de madreporaires des côtes tropicales du Brésil, 313 p. Marseille: Thèse Ao. 1856, Fac. Sci.
- MABESOONE, J. M. & TINOCO I. M. (1967) — Shelf off Alagoas and Sergipe (Northeastern Brazil). 2. Geology. Trabs. Inst. Oceanogr. Univ. fed. Pernambuco, Recife, 7/8: 151-186.
- OTTMANN, F. & OTTMANN, J. M. — no prelo — Estudo das amostras recolhidas na região de Cabo Frio (Brasil) pelo NOc "Almirante Saldanha". Trabs. oceanogr., Univ. fed. Pernambuco, Recife, 9/11.
- MOREIRA DA SILVA, P. de C. (1965) — Problemas da circulação oceânica nas águas brasileiras. An. Acad. brasil. Ciênc. (Supl.), Rio de Janeiro: 157-159 (Resumo).
- SILVEIRA, J. D. de (1964) — Morfologia do litoral (cap. IV: 253-305). In: Azevedo, A. — O Brasil a terra e o homem. 1. As bases físicas, 607 p. São Paulo: Comp. Edit. Nacional.
- SURVEY REPORT. (1958) — Survey report on the Brazilian fishing grounds (Japan), 237 p. Tokyo: Jap. Fish. Agency, Min. Agricult. Forest.
- ZEMBRUSCKI, S. G. (1967) — Notas sobre a geologia submarina da costa sul do Brasil (Apêndice B: 369-409). In XXXIII Comissão oceanográfica do NOc "Almirante Saldanha" (14.03-03.05-1967). Diret. Hidrog. Naveg., Min. Mar. Rio de Janeiro, DG 26 X: 409 p.
- ZEMBRUSCKI, S. G. (1968) — Geologia e magnetometria submarina na plataforma continental de Alagoas, Sergipe, Bahia e Espírito Santo (apêndice B: 531-578). In: XXXV Comissão oceanográfica "Operação Norte-Nordeste I" do NOc "Almirante Saldanha" (14.09-16.12.1967) Idem, DG 26 XI: 600 p.



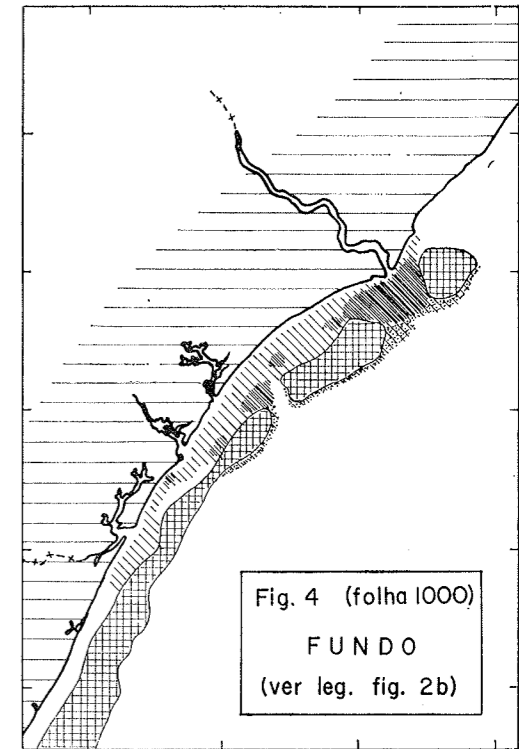
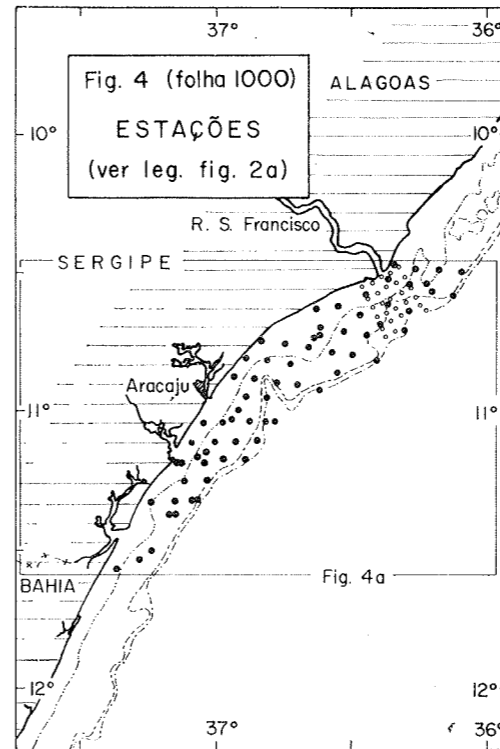
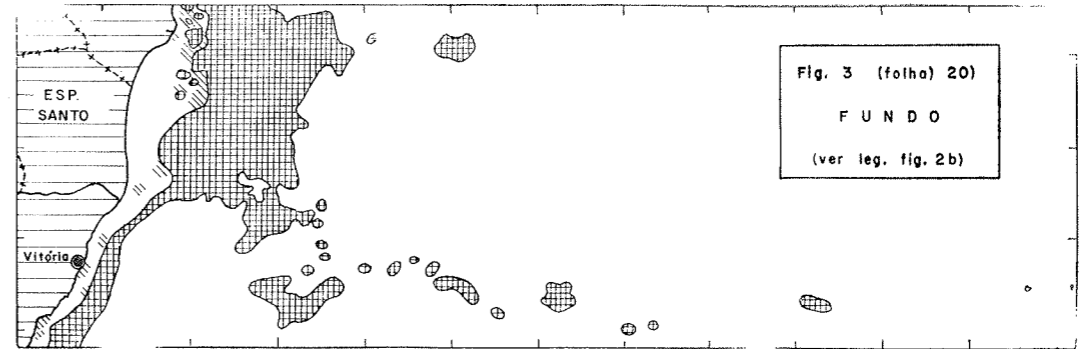
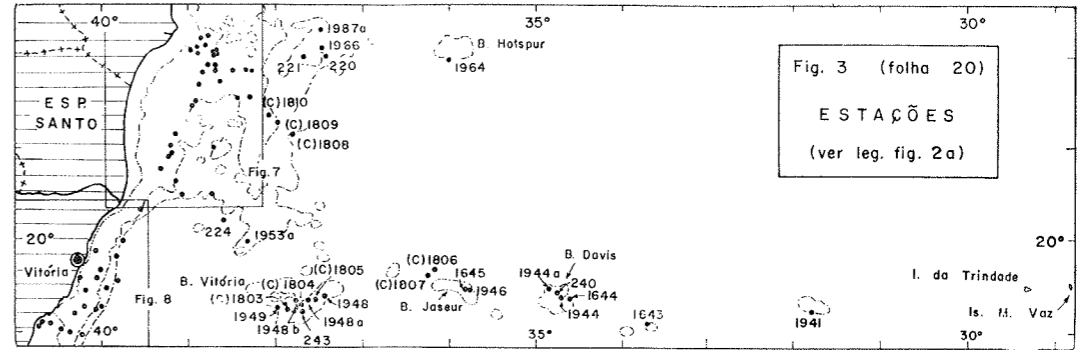
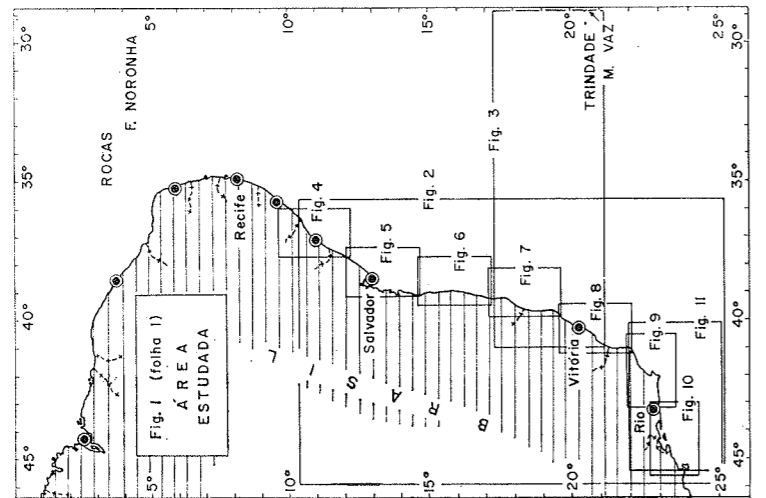
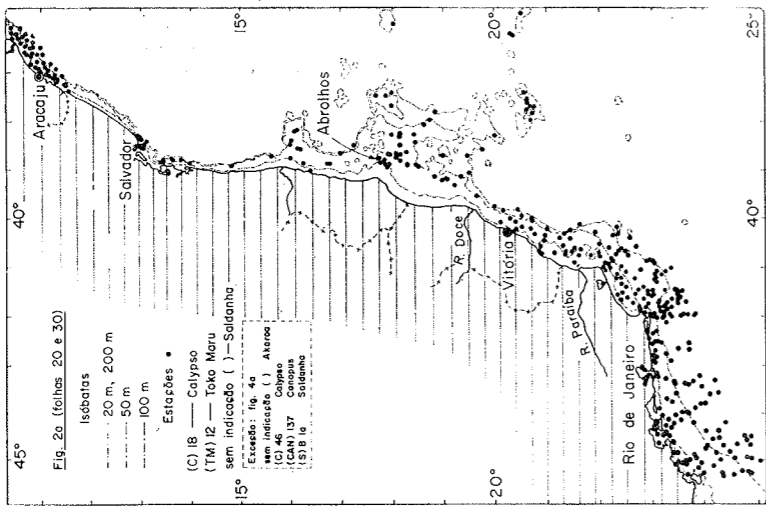
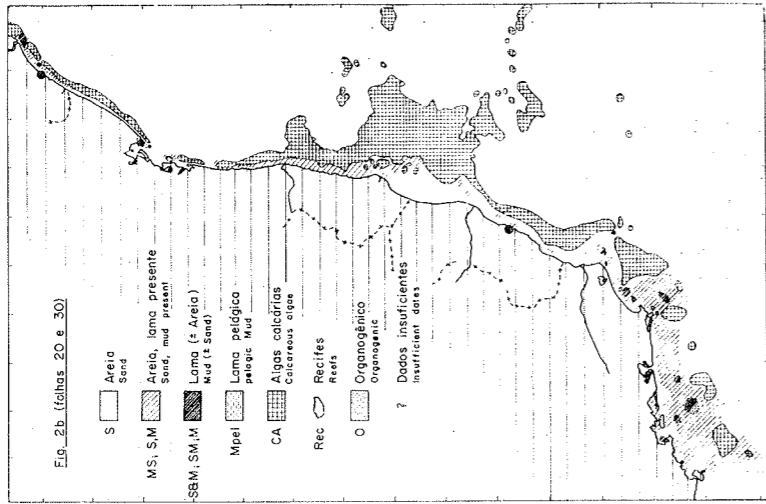
Na redução e no desaparecimento das algas calcárias, o abaixamento da temperatura não deve ser apontado como fator principal: o fato pode ser observado em outros locais da plataforma continental brasileira onde a temperatura é estável, e Melobesiae existem em todas as latitudes. O fenômeno parece mais ligado a condições desfavoráveis de substrato, decorrentes de um aumento da influência terrígena (lama) e, na parte mais baixa da plataforma, insuficiência de iluminação.

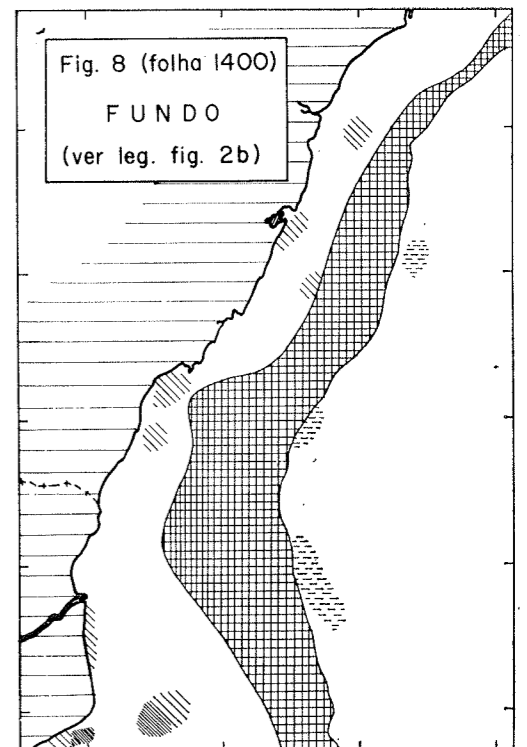
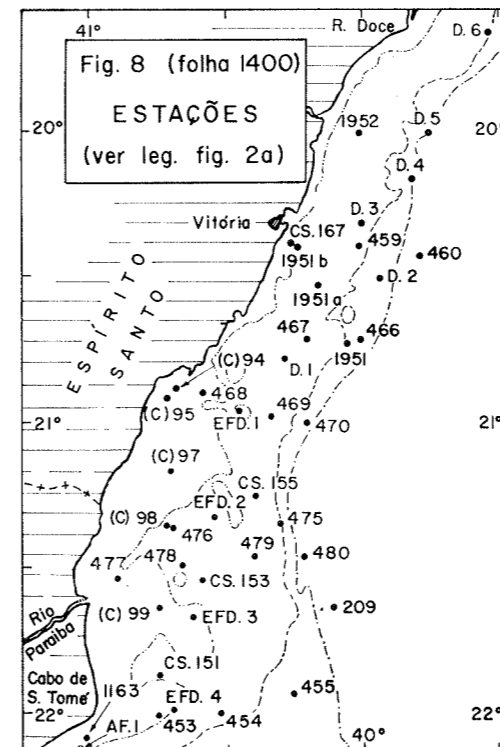
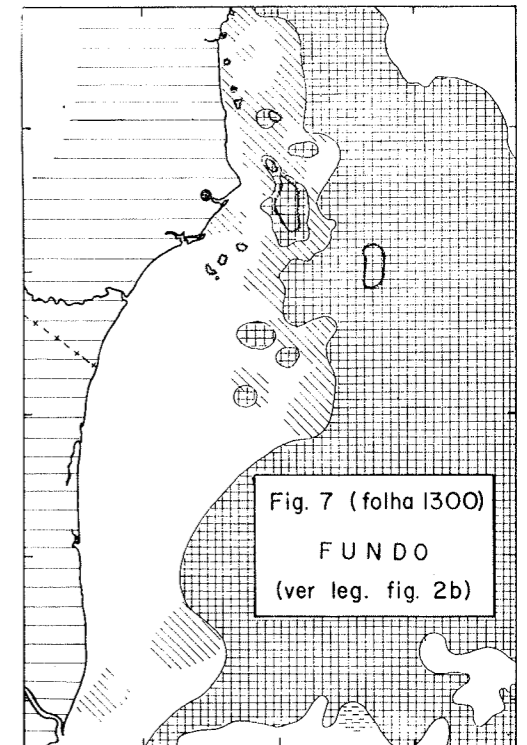
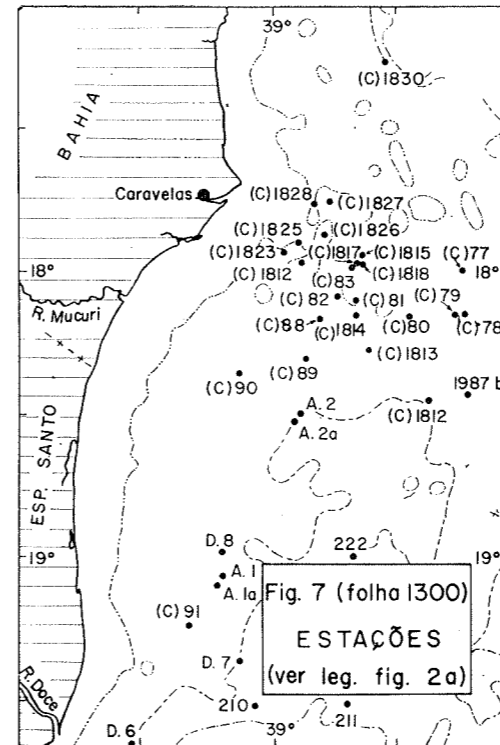
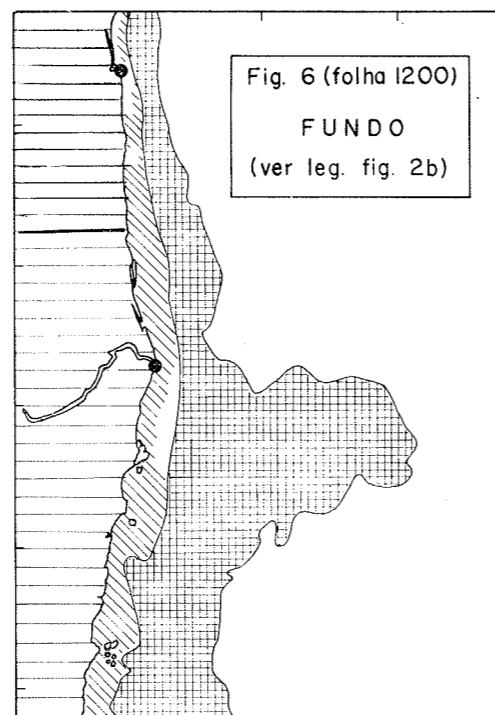
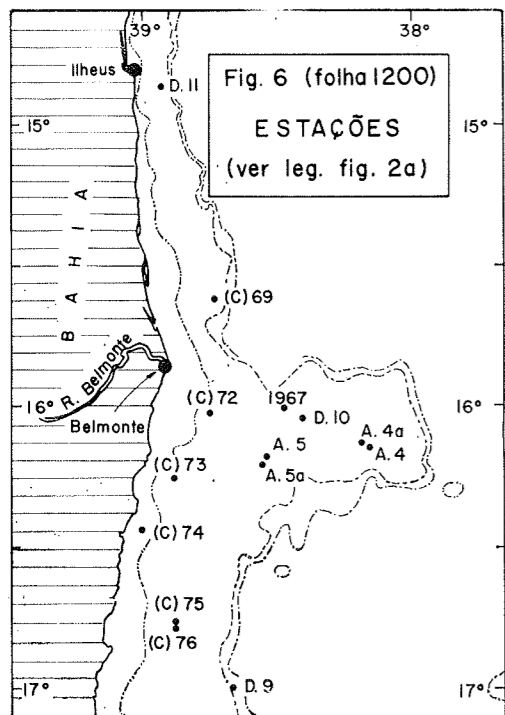
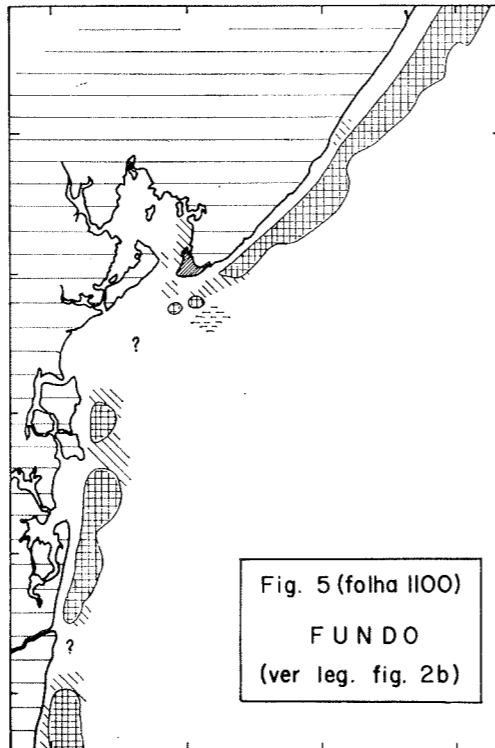
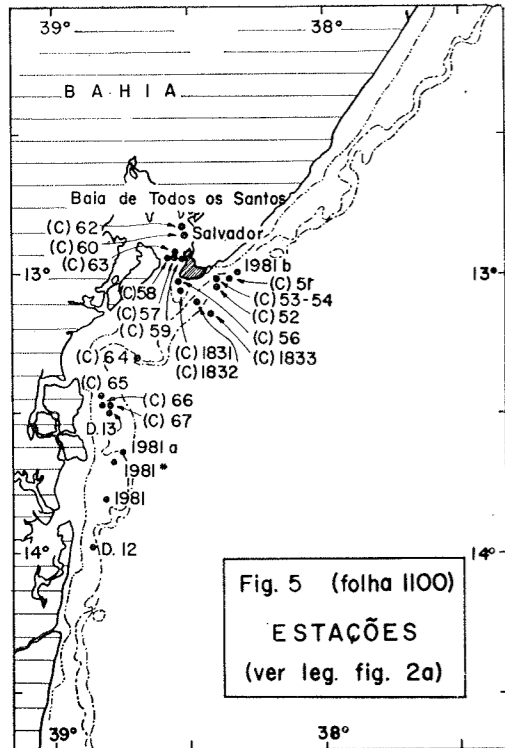
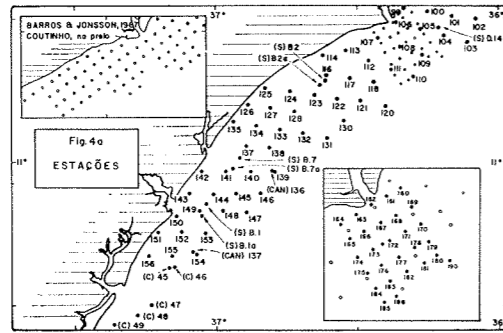
Existe uma relação de semelhança entre a redução e a alteração dos substratos de algas calcárias ao S. de Cabo Frio e na região Amazônica (descrita em Kempf, Coutinho & Moraes, 1968 — Kempf, 1970): aumento da largura da margem continental e abaixamento da ruptura do declive, aumento da influência terrígena, confinamento das algas calcárias na

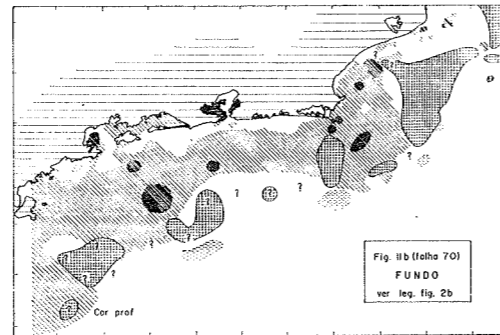
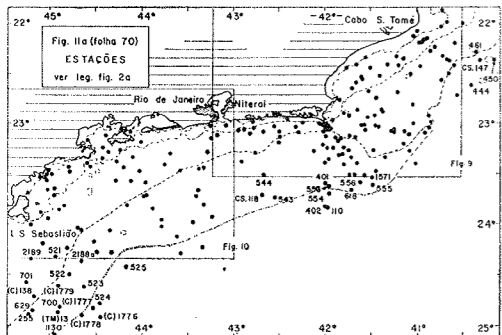
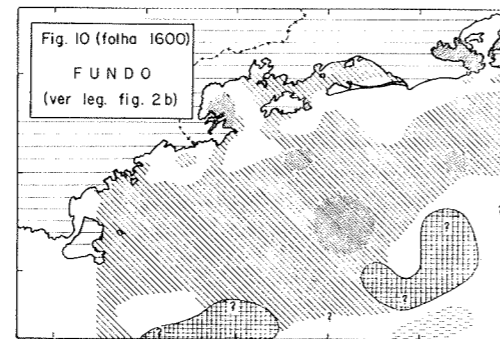
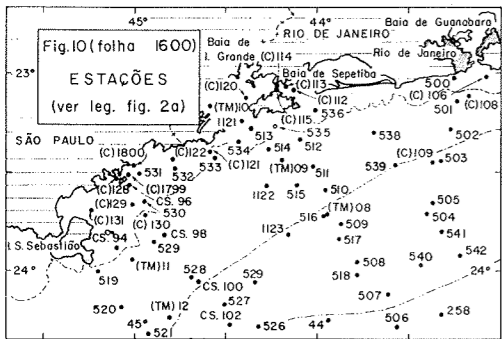
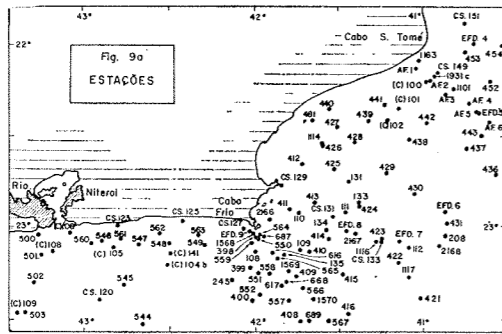
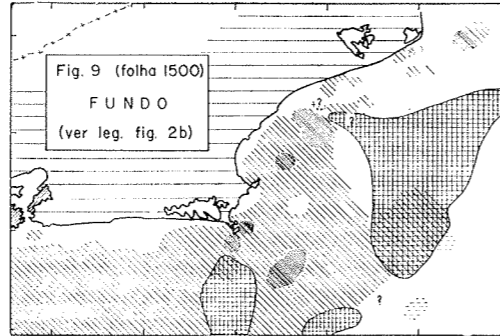
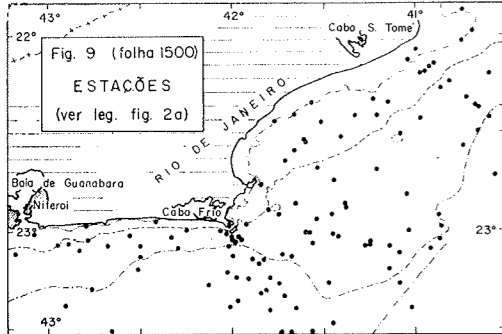
parte baixa da plataforma onde são limitadas pela insuficiência de iluminação alteração progressiva do substrato (diminuição da capacidade de concreção das Melobesiae, desaparecimento dos corais hermatípicos sub-recifais, aumento da fração fina no sedimento e aparecimento de invertebrados vasícolas), e substituição das algas por elementos de origem animal (briozoários, moluscos, corais ahermatípicos...). O «Brasil tropical» dos biogeógrafos (para dados complementares consultar Laborel, 1967), correspondendo num sentido largo, a toda região N.E. do país, aparece então caracterizado pela importância dos fundos de algas calcárias e limitado em suas extremidades N. e S. pela extensão de substratos de areia e lama. Esses limites estão relacionados com modificações na hidrologia e na topografia da plataforma continental.

#### REFERÊNCIAS

- BARROS, A. de C. & JONSSON, S. (1967) — Prospecções de camarões na região estuarina do Rio São Francisco. Bol. Estud. Pesca, Sudene, Recife, 7 (2): 7-29.
- BARTH, R.; RIBAS, L. B. & BRAGA, Y. Y. (1966) — Resultados de dragagens na plataforma continental do Brasil. Inst. Pesq. Mar., Min. Mar., Rio de Janeiro, Nota técn. 33/1966: 23 p.
- BRAGA, L. M. (1967) — Notas sobre os briozoários marinhos brasileiros coletados pelo Navio Oceanográfico "Almirante Saldanha". Idem, Public. 002.
- BRAGA, L. M. (1968) — Notas sobre alguns briozoários incrustantes da região de Cabo Frio. Idem, Public. 025: 23 p.
- CAVALCANTI, L. B.; COELHO, P. A.; KEMPF, M. MABESOONE, J. M. & SILVA, O. C. da (1967) — Shelf off Alagoas and Sergipe (NE Brazil). 1. Introduction, Trabs. Inst. Oceanogr. Univ. fed. Pernambuco, Recife, 7/8: 137-150.
- CAVALCANTI, L. B.; COELHO, P. A.; KEMPF, M.; MABESOONE, J. M. & SILVA, O. C. da (1969) — Estudos oceanográficos (III): 24-32, in: Moura, S. J. C. de et al. Projeto "Akaroa", Doc. Pesca 19, Sudene; Recife: 50 p. (mimeogr.).
- COUTINHO, P. N. (no prelo a) — Sedimentation at the mouth of the São Francisco River (Brazil). Trabs. oceanogr. Univ. fed. Pernambuco, Recife, 9/11.
- COUTINHO, P. N. (no prelo, b) — Preliminary investigation of the sediments between Cabo Frio and São Sebastião Island (Brazil). Idem.
- DHN. (1956) — Ano geofísico internacional: 1.ª viagem do NE "Guanabara" (26-30-11-1956). Diret. Hidrog. Naveg., Min. Mar., Rio de Janeiro, DG 06 I: 4 p (mimeogr.).
- DHN. (1957a) — Ano geofísico internacional: 1.ª viagem do NOc "Almirante Saldanha" (16-27-02-1957). Idem, DG 06 II: 3 p. (mimeogr.).
- DHN. (1957b) — Ano geofísico internacional: 2.ª viagem do NOc "Almirante Saldanha" (20-03-16-04-1957). Idem, DG 06 III: 6 p (mimeogr.).
- DHN. (1957c) — Ano geofísico internacional: 3.ª viagem do NOc. "Almirante Saldanha" (29-05-04-06-1957). Idem, DG 06 IV: 3 p (mimeogr.).
- DHN. (1957d) — Ano geofísico internacional: 4.ª viagem do NOc "Almirante Saldanha" (05-17-10-1957). Idem, DG 06 V: 4 p. (mimeogr.).
- DHN. (1960) — Estudo das condições oceanográficas sobre a plataforma continental entre Cabo Frio e Vitória durante o outono (abril-maio). Idem, DG 06 X: 3 p (mimeogr.).
- DHN. (1961a) — Estudo das condições oceanográficas sobre a plataforma continental entre Cabo Frio e a Ponta do Boi durante o mês de setembro (transição inverno/primavera). Idem, DG 06 XII: 3 p (mimeogr.).
- DHN. (1961b) — Estudo das condições oceanográficas nas proximidades do Rio de Janeiro durante o mês de dezembro. Idem, DG 06 XIII: 2 p (mimeogr.).
- DHN. (1962) — Estudo das condições oceanográficas entre o Rio de Janeiro e o Rio da Prata durante o outono (maio 1962). Idem, DG 06 XIV: 3 p. (mimeogr.).
- DHN. (1963) — Estudo das condições oceanográficas entre o Rio de Janeiro e o Rio da Prata durante o inverno (agosto-setembro 1962). Idem, DG 06 XV: 4 p (mimeogr.).
- DHN. (1967a) — XXXV Comissão oceanográfica do NOc "Almirante Saldanha" (08-28-06-1966). Fundeio em Cabo Frio. Idem, DG 26 VI: 187 p.
- DHN. (1967b) — XXXIIIª Comissão oceanográfica do NOc "Almirante Saldanha" (14-03-03-05-1967): Idem, DG 26 X: 411 p.
- DHN. (1968) — XXXIª Comissão oceanográfica do NOc "Almirante Saldanha" (14-11-16-12-1966). Idem, DG 26 VIII: 249 p.
- FOREST, J. (1966) — Campagne de la "Calypso" au large des côtes atlantiques de l'Amérique du Sud (1961-1962). - Compte rendu et liste des stations. Ann. Inst. océanogr., Paris, 44: 329-350.
- GORINI, M. A. (no prelo) — Geologic observations in the "Comissão Oceanográfica Leste I aboard the R/V "Almirante Saldanha". An. Acad. brasil. Ciênc., Rio de Janeiro.
- JOLY, A. B. & OLIVEIRA FILHO, E. C. de (1967) — Two Brazilian Laminarias. Inst. Pesq. Mar., Min. Mar., Rio de Janeiro, Public. 004, 13 p.
- KEMPF, M. (1970) — Notes on the benthic bionomy of the N-NE Brazilian shelf. Marine Biology, 5 (3): 213-224.
- KEMPF, M. — COUTINHO, P. N. & MORAIS, J. O. de (1968) — Plataforma continental do Norte e Nordeste do Brasil: nota preliminar sobre a natureza do fundo (Apêndice C:579-600). In: XXXV Comissão Oceanográfica "Operação Norte-Nordeste I" do NOc "Almirante Saldanha" (14-09-16.12.1967). Diret. Hidrog. Naveg., Min. Mar., Rio de Janeiro, DG 26(11) : 600 p.
- KEMPF, M. — MABESOONE, J. M. & TINOCO, I. M. — no prelo — Estudo da plataforma continental na área do Recife. 1. Nota preliminar sobre a natureza do fundo. Trabs. oceanogr. Univ. fed. Pernambuco Recife, 49/11.
- LABOREL, J. (1967) — Les peuplements de madreporaires des côtes tropicales du Brésil, 313 p. Marseille: Thèse Ao. 1856, Fac. Sci.
- MABESOONE, J. M. & TINOCO I. M. (1967) — Shelf off Alagoas and Sergipe (Northeastern Brazil). 2. Geology. Trabs. Inst. Oceanogr., Univ. fed. Pernambuco, Recife, 7/8: 151-186.
- OTTMANN, F. & OTTMANN, J. M. — no prelo — Estudo das amostras recolhidas na região de Cabo Frio (Brasil) pelo NOc "Almirante Saldanha". Trabs. oceanogr., Univ. fed. Pernambuco, Recife, 9/11.
- MOREIRA DA SILVA, P. de C. (1965) — Problemas da circulação oceânica nas águas brasileiras. An. Acad. brasil. Ciênc. (Supl.), Rio de Janeiro: 157-159 (Resumo).
- SILVEIRA, J. D. de (1964) — Morfologia do litoral (cap. IV: 253-305). In: Azevedo, A. — O Brasil a terra e o homem. 1. As bases físicas, 607 p. São Paulo: Comp. Edit. Nacional.
- SURVEY REPORT. (1958) — Survey report on the Brazilian fishing grounds (Japan), 237 p. Tokyo: Jap. Fish. Agency, Min. Agricult. Forest.
- ZEMBRUSCKI, S. G. (1967) — Notas sobre a geologia submarina da costa sul do Brasil (Apêndice B: 369-409). In XXXIII Comissão oceanográfica do NOc "Almirante Saldanha" (14.03-03.05-1967). Diret. Hidrogr. Naveg., Min. Mar. Rio de Janeiro, DG 26 X: 409 p.
- ZEMBRUSCKI, S. G. (1968) — Geologia e magnetometria submarina na plataforma continental de Alagoas, Sergipe, Bahia e Espírito Santo (apêndice B: 531-578). In: XXXV Comissão oceanográfica "Operação Norte-Nordeste I" do NOc "Almirante Saldanha" (14.09-16.12.1967) Idem, DG 26 XI: 600 p.







2 - Est.	Data	Lat. S	Long. W	Prof.(m)	Fundo
259	"	24903'5	044921'0	137	S, M
SALDANHA (DG. 06 X)					
398	27.04.60	23903'0	042900'0	90	S&M
399	"	23913'0	042902'0	116	CA
400	"	23924'0	042901'0	135	CA
401	"	23936'0	042900'0	173	CA/O
402	"	23950'0	042900'0	713	Mpe1
408	29.04.60	23931'0	041944'0	130	MS
409	"	23916'0	041945'0	125	SM
410	"	23908'0	041941'0	100	S&M
411	"	22954'0	041948'0	59	MS
412	"	22939'0	041943'0	57	SM
413	30.04.60	22952'0	041939'0	59	S
414	"	23904'0	041934'0	85	S&M
415	"	23916'0	041929'0	115	S&M
416	"	23929'0	041927'0	119	CA
421	01.05.60	23924'0	041901'0	?	?CA/O
422	"	23912'0	041909'0	106	S/CA
423	"	23904'0	041915'0	91	CA
424	"	22953'0	041923'0	64	S
425	02.05.60	22941'0	041932'0	53	MS
426	"	22933'0	041936'0	51	S&M
427	"	22927'0	041931'0	45	S&M
428	"	22932'0	041925'0	49	S
429	"	22942'0	041913'0	64	CA
430	"	22949'0	041903'0	77	CA/O
431	"	22959'0	040951'0	113	CA/O
436	03.05.60	22943'0	040933'0	130	S
437	"	22934'0	040944'0	71	CA
438	"	22931'0	041905'0	50	CA

LISTA DE ESTAÇÕES					
Estação	Data	Lat. S	Long. W	Prof.(m)	Fundo
GUANABARA (DG. 06 I)					
108	27.11.56	23908'0	042900'0	95	S, M
109	"	23907'5	041944'0	85	S, M
110	28.11.56	22955'3	041944'6	57	S, M
111	"	22955'6	041928'0	60	S, M
112	"	23907'3	041905'3	125	CA
SALDANHA (DG. 06 II)					
131	27.02.57	22945'0	041927'0	66	S, M
133	"	22952'0	041923'0	90	S, M
134	"	23901'0	041935'0	89	S, M
135	"	23909'0	041950'0	100	S, M
SALDANHA (DG. 06 III)					
208	21.03.57	23903'0	040952'0	270	Mpe1
209	22.03.57	21938'0	040906'5	480	Mpe1
210	23.03.57	19931'0	039904'5	79	CA
211	"	19930'5	038944'0	280	Mpe1
220	27.03.57	18900'0	037926'0	-	CA
221	"	18900'0	037942'0	65	CA
222	28.03.57	19900'0	038943'0	35	CA
224	02.04.57	19948'0	038936'5	955	Mpe1
SALDANHA (DG. 06 IV)					
240	02.06.57	20935'0	034945'0	67	CA
243	03.06.57	20946'0	037943'0	67	CA
SALDANHA (DG. 06 V)					
245	05.10.57	23917'1	042908'0	130	CA
255	14.10.57	24953'0	045913'0	102	S, M
258	16.10.57	24914'0	043920'0	625	Mpe1

4 - Est.	Data	Lat. S	Long. W	Prof.(m)	Fundo
503	16.09.61	23926'5	043920'0	100	SM
504	"	23943'0	043925'0	124	?CA
505	"	23939'5	043923'0	131	S
506	"	24917'0	043934'0	465	MpeI
507	"	24907'0	043937'0	164	?CA/0
508	"	23957'0	043947'0	145	?CA/0
509	"	23924'0	043946'0	138	SM
510	17.09.61	23935'0	043958'5	101	S,M
511	"	23928'5	044002'0	63	MS
512	"	23920'5	044006'0	52	MS
513	"	23917'0	044022'5	35	MS
514	18.09.61	23923'5	044016'5	50	?S
515	"	23934'0	044007'0	72	MS
516	"	23943'0	043958'5	95	S&M
517	19.09.61	23951'0	043953'0	112	SM
518	"	24901'0	043947'5	120	CA/0
519	"	24900'0	045913'0	76	MS
520	20.09.61	24911'0	045905'0	80	S
521	"	24919'0	044956'0	100	?CA
522	"	24930'0	044947'0	135	?CA/0
523	"	24937'0	044937'0	155	?CA/0
524	"	24947'0	044927'0	350	(duro)
525	"	24925'0	044910'0	505	(duro)
526	"	24917'0	044920'0	186	CA/0
527	"	24910'0	044931'0	135	?CA
528	21.09.61	24902'0	044942'0	91	S
529	"	23951'0	044954'0	64	MS
530	"	23939'0	044957'0	45	MS
531	"	23930'5	044959'0	29	S
532	"	23928'5	044947'0	37	S
533	"	23925'5	044933'5	42	S

3 - Est.	Data	Lat. S	Long. W	Prof.(m)	Fundo
439	"	22925'0	041920'0	35	?CA
440	"	22921'0	041934'0	22	?CA
441	"	22920'0	041914'0	22	S
442	04.05.60	22926'0	040959'0	51	?CA
443	"	22930'0	040939'0	89	CA
444	"	22937'0	040925'0	230	?0
450	05.05.60	22922'0	040910'0	166	?CA/0
451	"	22917'0	040922'0	75	S&M
452	"	22912'0	040936'0	47	S
453	"	22902'0	040945'0	30	SM
454	"	22900'0	040931'0	43	S
455	06.05.60	21956'0	040915'0	59	?CA
459	10.05.60	20924'0	040904'0	36	?CA
460	"	20926'0	039947'0	330	MpeI
466	11.05.60	20943'0	040900'0	63	CA
467	"	20943'0	040912'0	39	CA
468	"	20954'0	040935'0	22	CA
469	"	20959'0	040920'0	45	CA
470	"	21902'0	040912'0	550	MpeI
475	12.05.60	21921'0	040918'0	47	CA
476	"	21922'0	040942'0	20	CA
477	13.05.60	21932'0	040954'0	15	S
478	"	21930'0	040940'0	25	?CA
479	"	21928'0	040924'0	31	CA
480	"	21928'0	040913'0	220	MpeI
481	14.05.60	22925'0	041940'0	32	SM
SALDANHA (DG 06 XII)					
500	15.09.61	23901'4	043915'5	30	MS
501	"	23908'0	043914'5	54	S,M
502	"	23917'0	043917'0	75	MS

6 - Est.	Data	Lat. S	Long. W	Prof.(m)	Fundo
564	03.12.61	23902'2	041958'2	84	S,M
565	"	23910'0	041952'0	113	S,M
566	"	23920'4	041943'2	114	S,M
567	"	23931'0	041934'0	117	?CA
SALDANHA (DG 06 XIV)					
616	12.05.62	23909'0	041953'5	117	S,M
617	"	23919'0	041951'0	142	S,M
618	"	23940'0	041943'0	155	S,M
629	15.05.62	24951'0	045911'0	105	MS
SALDANHA (DG 06 XV)					
687	14.08.62	23903'0	041957'0	86	S,M
688	"	23918'0	041949'0	129	S,M
689	"	23931'0	041941'0	134	S,M
700	17.08.62	24949'0	044953'0	109	?CA
701	"	24934'5	045915'0	75	S,M
SALDANHA (DG 26 I)					
1101	12.04.65	22914'7	040949'7	55	S
1110	16.04.65	23950'0	041959'0	557	MpeI
1114	17.04.65	22932'5	041936'5	49	S,M
1116	18.04.65	23900'5	041916'5	82	S
1117	"	23912'8	041905'2	116	S
1121	19.04.65	23914'3	044925'1	35	S
1122	12.04.65	23934'0	044917'0	69	MS
1123	14.04.65	23948'0	044910'0	100	MS
1130	21.04.65	25905'0	044957'0	1465	MS
SALDANHA (DG 26 II)					
1163	14.05.65	22905'2	041900'8	13	SM
SALDANHA (DG 26 VI)					
EFD.1	13.06.66	20957'6	040927'2	22	CA

5 - Est.	Data	Lat. S	Long. W	Prof.(m)	Fundo
534	"	23921'0	044926'5	43	S
535	"	23916'0	044914'5	43	?S
536	"	23911'5	044901'0	39	S,M
538	22.09.61	23918'0	043942'0	67	?S
539	"	23927'5	043935'0	98	S,M
540	"	23958'5	043927'0	117	CA/0
541	"	23948'5	043920'0	129	?CA
542	"	23955'7	043914'0	140	CA/0
543	"	23944'5	042933'0	165	?S
544	"	23931'0	042940'0	115	S
545	23.09.61	23918'0	042946'5	103	MS
546	"	23904'0	042954'0	59	?S
547	"	23905'0	042941'0	72	?S
548	"	23905'0	042930'0	66	S
549	"	23905'5	042918'0	80	MS
550	"	23903'5	041959'0	95	S&M
551	"	23915'0	041959'0	126	?CA
552	"	23922'0	041958'5	138	?CA
553	"	23937'5	041958'0	164	?CA
554	"	23942'0	041958'0	354	MpeI
555	24.09.61	23937'0	041929'0	152	?S
556	"	23935'0	041937'5	140	?S
557	"	23924'4	041949'1	143	S,M
558	"	23915'0	041955'0	125	?CA
559	"	23905'0	042901'5	98	S&M
SALDANHA (DG 06 XIII)					
560	02.12.61	23904'3	042957'5	52	S,M
561	"	23903'2	042947'6	52	S,M
562	"	23901'8	042933'9	61	S
563	"	23902'2	042920'1	76	S,M

8 - Est.	Data	Lat. S	Long. W	Prof.(m)	Fundo
AF.2	"	22º11'6"	040º57'7"	41	S
AF.3	"	22º16'5"	040º52'3"	60	S
AF.4	"	22º19'5"	040º43'5"	77	CA
AF.5	"	22º22'3"	040º40'0"	100	CA
AF.6	"	22º25'7"	040º36'0"	125	CA
1568	"	23º01'8"	042º00'5"	93	SM
1569	"	23º14'5"	041º48'1"	129	SM
1570	"	23º24'0"	041º39'5"	131	MS
1571	"	23º32'5"	041º29'4"	137	MS
SALDANHA (XXXIVº Com. Oceanogr.)					
1643	16.05.67	20º54'0"	033º44'0"	103	CA
1644	17.05.67	20º38'0"	034º37'0"	71	CA
1645	"	20º33'0"	035º47'0"	68	CA
S/N	? .05.67	22º53'0"	041º04'5"	89	CA
SALDANHA (XXXVº Com. Oceanogr., Anexo)					
D.1	23.09.67	20º47'0"	040º17'0"	32	S/CA
D.2	24.09.67	20º30'0"	039º56'0"	67	CA
D.3	25.09.67	20º19'8"	040º01'0"	49	CA
D.4	"	20º10'0"	039º49'3"	100	CA
D.5	"	20º01'0"	039º45'5"	67	CA
D.6	26.09.67	19º39'2"	039º32'0"	49	S
D.7	"	19º22'0"	039º08'0"	57	CA
D.8	"	18º59'0"	039º12'0"	50	CA
D.9	"	17º00'0"	038º40'0"	47	CA
D.10	27.09.67	16º02'3"	038º24'5"	40	CA
D.11	"	14º51'6"	038º55'1"	43	CA
D.12	"	13º59'0"	038º52'0"	51	CA
D.13	"	13º29'0"	038º48'0"	51	CA
D.14	"	10º32'2"	036º13'5"	35-39	CA/O

7 - Est.	Data	Lat. S	Long. W	Prof.(m)	Fundo
EFD.2	"	21º19'8"	040º32'8"	29	CA
EFD.3	14.06.66	21º40'0"	040º37'5"	22	S
EFD.4	"	21º59'5"	040º42'0"	22	S,M
EFD.5	"	22º22'6"	040º39'8"	75	CA
EFD.6	"	22º55'5"	040º52'2"	119	CA/O
EFD.7	27.06.66	23º05'0"	041º08'6"	?200	CA/O
EFD.8	"	23º01'2"	041º27'4"	80	S,M
EFD.9	"	23º01'0"	042º02'0"	?100	S,M
SALDANHA (DG 26 VIII)					
CS.94	05.12.66	23º53'2"	045º06'4"	39	S,M
CS.96	"	23º34'0"	045º01'8"	42	S,M
CS.98	"	23º49'0"	044º50'4"	70	S,M
CS.100	06.12.66	24º03'1"	044º39'7"	118	S,M
CS.102	"	24º17'0"	044º29'3"	167	?CA/O
CS.118	"	23º43'0"	042º40'9"	126	?CA
CS.120	07.12.66	23º23'0"	042º54'8"	113	S,M
CS.123	09.12.66	22º58'5"	042º48'0"	27	S
CS.125	"	22º57'5"	042º25'5"	41	S
CS.127	"	23º00'0"	042º04'0"	64	S,M
CS.129	"	22º46'0"	041º51'0"	49	S,M
CS.131	10.12.66	22º54'5"	041º32'5"	67	S,M
CS.133	"	23º04'5"	041º15'0"	99	S,M/CA
CS.147	11.12.66	22º22'0"	040º20'0"	110	CA
CS.149	"	22º09'0"	040º54'7"	33	S
CS.151	"	21º52'3"	040º45'0"	21	S
CS.153	"	21º32'5"	040º35'5"	26	?CA
CS.155	"	21º15'5"	040º23'5"	36	CA
CS.167	15.12.66	20º23'5"	040º15'5"	31	S,M
SALDANHA (DG 26 X)					
AF.1	15.03.67	22º07'5"	041º02'8"	19	S

10 - Est.	Data	Lat. S	Long. W	Prof.(m)	Fundo
1953a	13.09.68	20º01'0"	038º20'0"	83	CA
1964	17.09.68	18º03'0"	036º00'5"	59	CA
1966	"	17º55'0"	037º30'0"	47	CA
1967	18.09.68	16º02'0"	038º28'5"	47	CA
1981	23.09.68	13º48'5"	038º48'5"	49	CA
1981*	"	13º40'5"	038º47'0"	55	S,M
1981a*	"	{ 13º40'0"	{ 038º45'0"	49	S,M
	"	{ 13º36'0"	{ 038º45'0"	49	S,M
1981b	27.09.68	12º59'7"	038º19'5"	59	CA
1987a	01.10.68	17º42'0"	037º30'0"	50	CA
1987b	02.10.68	18º26'0"	038º17'0"	47-51	CA
SALDANHA (XLIIº Com. Oceanogr.)					
2166	16.09.69	22º58'2"	041º56'0"	53	S,M
2167	"	23º01'8"	041º25'5"	75	S,M
2168	"	23º05'7"	040º55'5"	113	CA
2188a	24.09.69	24º21'7"	044º38'7"	150	CA/O
2189	"	24º20'5"	045º12'5"	79	S,M
TOKO MARU					
8	25.12.56	23º42'8"	043º58'0"	100	SM
9	26.12.56	23º26'3"	044º12'3"	60	M
10	"	23º10'5"	044º35'5"	20	M
11	27.12.56	23º56'3"	045º01'5"	64	MS
12	"	24º14'0"	044º48'8"	110	S
13	28.12.56	24º52º0"	044º54'0"	120	?CA
CALYPSO Forest 1966)					
45	23.11.61	11º22'0"	037º10'0"	31	CA
46*	"	11º22'0"	037º09'0"	32	CA
47	"	11º30'0"	037º14'0"	36-39	S,M/CA
48	"	11º32'0"	037º17'0"	40	S,M/CA
49	"	11º34'0"	037º22'0"	26	S,M

9 - Est.	Data	Lat. S	Long. W	Prof.(m)	Fundo
SALDANHA (DG 26 XI)					
A.1	14.12.67	19º04'1"	039º12'1"	50	CA Rec
A.1a	"	19º06'0"	039º13'3"	51	CA
A.2	"	18º29'9"	038º54'6"	55	MS
A.2a	"	18º31'7"	038º55'7"	46	MS
A.4	12.12.67	16º08'2"	038º09'5"	45	CA
A.4a	"	16º07'6"	038º11'0"	42	CA
A.5	13.12.67	16º10'7"	038º32'9"	35	CA
A.5a	"	16º12'5"	038º33'4"	32	CA
B.1	11.12.67	11º09'0"	037º02'5"	35	M
B.1a	"	11º11'2"	037º03'0"	36	S
B.2	10.12.67	10º43'5"	036º37'0"	19	MS
B.2a	"	10º44'5"	036º38'5"	20	MS
B.7	"	10º59'5"	036º55'0"	31	SM
B.7a	"	11º01'5"	036º56'5"	27	CA
SALDANHA (XXXVIIº Com. Oceanogr.)					
1931c	03.09.68	22º10'0"	040º56'0"	40	S,M
1941	07.09.68	20º47'0"	031º48'0"	75-80	CA
1944	"	20º37'0"	034º42'0"	80-131	CA
1944a*	08.09.68	{ 20º37'0"	{ 034º42'0"	122	CA
	"	{ 20º25' (?)	{ 035º00' (?)	65	CA
1946	"	20º32'0"	035º46'0"	70	CA
1948	09.09.68	20º38'5"	037º28'0"	70	CA
1948a	"	20º39'0"	037º39'0"	126	CA
1948b	"	30º40'0"	037º48'0"	65	CA
1949	"	20º43'5"	038º00'0"	61-70	CA
1951	10.09.68	20º44'0"	040º03'0"	56	CA
1951a*	"	20º32' (?)	040º10' (?)	36	S,M
1951b	"	20º24'0"	040º14'5"	35	S
1952	12.09.68	20º00'7"	040º00'4"	42	S,M

12 - Est.	Data	Lat. S	Long. W	Prof.(m)	Fundo
90	"	18951'0	039908'0	49	S,M
91	"	19014'0	039919'0	38	S,M
94	30.11.61	20953'0	040941'0	13	MS
95*	"	20955'0	040943'0	16	MS
97	01.12.61	21910'0	040942'0	12	S
98	"	21922'0	040943'0	25	S
99	"	21938'0	040945'0	20	S
100	"	22912'0	040959'0	39	S
101	"	22921'0	041909'0	39	S
102	"	22925'0	041913'0	47	S
104*	02.12.61	23908'0	042930'0	103	S,M
104b	"	23912'0	042931'0	102	S,M
105*	"	23906'0	042950'0	63	S,M
106*	"	23901'0	043905'0	31	S,M,R
108	07.12.61	23907'0	043911'0	54	S,M
109*	08.12.61	23927'0	043923'0	100	S,M
112	"	23905'0	044908'0	17	S,M
113	"	23904'0	044911'0	24	S,M
114	"	23904'0	044914'0	45	S,M
115*	"	23905'0	044917'0	23	S,M
120	09.12.61	23907'0	044924'0	25	S,M
121	"	23924'0	044936'0	40-42	S,M
122*	"	23926'0	044948'0	36	S,M
128	10.12.61	23932'0	045906'0	18	S,M
129*	"	23940'0	045901'0	37	S,M
130*	"	23943'0	044957'0	46-47	S,M
131	"	23942'0	045914'0	18-20	S,M
138*	11.12.61	24943'0	045910'0	97-100	S,M
CALYPSO (S.M.E)					Cor prof
1776	25.01.62	24954'4	044926'0	1000	ε

11 - Est.	Data	Lat. S	Long. W	Prof.(m)	Fundo
51	24.11.61	13901'0	038921'0	67	S,M
52	"	13903'0	038924'0	63	S,M
53	"	13901'0	038924'0	48	S,M
54*	"	13901'0	038924'0	49-51	S,M
56	"	13902'0	038932'5	31	S,M
57	"	12956'4	038933'5	18	S
58	"	12956'4	038934'3	44-60	S
59	"	12956'5	038931'5	20	S,M
60	26.11.61	12951'0	038931'2	24	S,M
62*	"	12949'7	038931'4	20-30	S,M
63	"	12956'0	038933'2	27	S,M
64	"	13918'0	038942'0	45-48	S
65	"	13926'0	038950'0	35	S,M
66*	"	13928'0	038950'0	37	?CA
67*	"	13928'0	038948'0	39	S,M
69	27.11.61	15937'0	038944'0	39	CA
72*	"	16901'0	038945'0	24-32	CA
73*	"	16915'0	038952'0	24	S,M
74	"	16926'0	039902'0	12	S,M
75	"	16946'0	038953'0	27	CA
76	"	16947'0	038953'0	27	CA
77	28.11.61	18900'0	038918'0	48	CA
78	"	18909'0	038918'0	35-40	CA
79	"	18909'0	038920'0	33	CA
80	"	18909'0	038930'0	50	CA
81	"	18906'0	038942'0	37	CA
82	"	18905'0	038946'0	27	CA
83	"	17959'0	038943'0	17	CA
88	29.11.61	18910'0	038950'0	39	MS
89*	"	18918'0	038953'0	38	S,M

14 - Est.	Data	Lat. S	Long. W	Prof.(m)	Fundo
AKAROA					
99	02.09.65	10928'2	036920'5	11	M
100	"	10928'9	036915'5	25	R
101	"	10929'7	036910'5	27	CA
102	"	10930'2	036905'5	90	CA/O
103	"	10935'0	036907'0	110	CA/O
104	"	10933'7	036912'0	27	CA
105	"	10932'5	036917'0	40	M
106	"	10931'2	036922'0	8	M
107	10.08.65	10934'3	036926'0	9	M
108	11.08.65	10936'2	036921'3	63	M
109	"	10938'0	036916'7	73	M
110	"	10942'7	036918'5	111	M
111	"	10940'8	036923'2	54	?M
112	"	10939'1	036928'0	24	M
113	10.08.65	10937'3	036932'7	15	?M
114	"	10938'2	036937'5	9	S&M
116	"	10942'1	036936'7	16	S
117	"	10942'7	036931'7	27	CA
118	"	10943'7	036926'7	56	CA/O
120	09.08.65	10948'5	036924'5	200	0
121	"	10947'7	036929'5	34	CA
122	"	10947'1	036934'5	24	CA
123	"	10946'2	036939'5	19	MS
124	"	10945'5	036944'5	18	MS
125	"	10944'7	036949'5	10	S,M
126	"	10948'2	036953'2	10	MS
127	"	10949'0	036948'2	20	SM
128	"	10949'7	036943'2	27	S&M
130	08.08.65	10951'3	036933'2	36	CA
131	"	10955'2	036936'5	86	CA/O

13 - Est.	Data	Lat. S	Long. W	Prof.(m)	Fundo
1777	"	24949'4	044931'6	535-575	Cor prof
1778	"	24953'5	044938'1	250	S,M
1779	"	24936'6	044954'2	120	S,M
1799	28.01.62	23931'0	045902'8	13	S,M
1800	"	23927'5	045901'0	18	S,M
1803	08.02.62	20944'6	037952'0	54	CA
1804	"	20942'4	037943'1	55	CA
1805	"	20938'8	037933'4	82	CA
1806	09.02.62	20919'4	036912'5	65	CA
1807	"	20922'1	036915'5	110	CA
1808	10.02.62	18950'7	037950'0	75	CA
1809	"	18944'0	037959'0	50	CA
1810	"	18939'0	038905'0	37	CA
1812	"	18927'0	038926'0	48	CA
1813	"	18916'5	038939'0	42	CA
1814	"	18909'3	038942'0	36	CA
1815	11.02.62	17956'9	038940'9	19	CA Rec
1817	"	17958'2	038941'9	13	CA
1818	"	17958'5	038941'0	21	CA Rec
1822	12.02.62	17958'5	038954'0	24	CA
1823	"	17956'0	038958'0	24	S,M
1825	"	17954'0	038955'0	22	S,M
1826	"	17952'5	038949'0	21	S,M
1827	"	17945'5	038948'0	24	CA
1828	"	17946'0	038951'5	16	S,M/CA
1830	"	17916'0	038930'5	100-130	CA
1831	15.02.62	13903'5	038932'0	20	S
1832	"	13906'0	038928'0	60	CA/O
1833	"	13908'5	038925'0	1000	Mpel

16-Est.	Data	Lat. S	Long. W	Prof.(m)	Fundo
167	"	10933'7	036921'9	11	M
168	"	10932'8	036919'8	18	M
169	"	10931'5	036917'8	24	M
170	"	10933'7	036916'5	50	M
171	"	10934'8	036918'5	44	M
172	"	10935'7	036920'7	33	M
173	"	10937'0	036922'7	80	M
174	"	10937'9	036924'7	28	M
175	"	10940'1	036923'6	50	M
176	"	10938'9	036921'7	360	M
177	04.12.65	10937'9	036919'5	108	M
178	"	10937'0	036917'2	76	M
179	"	10935'7	036915'2	64	M
180	"	10937'1	036914'0	75	S&M
181	"	10938'1	036916'0	130	SM
182	"	10940'0	036918'2	?	0
183	"	10941'0	036920'4	100	S&M
184	"	10942'0	036922'5	75	CA/O
185	"	10944'0	036921'3	540	0
186	"	10943'0	036919'7	135	0
190a	"	10938'1	036912'4	85-117	CA/O
CANOPUS					
136	19.03.66	11902'0	036948'0	60	CA/O
137	20.03.66	11919'0	037905'0	27	CA

15-Est.	Data	Lat. S	Long. W	Prof.(m)	Fundo
132	"	10954'2	036941'4	29	CA
133	"	10953'5	036946'5	36	CA
134	"	10952'7	036951'3	37	S,M
135	"	10952'0	036956'3	10	S&M
137	"	10956'8	036953'6	28	M
138	"	10957'2	036948'7	106	M
139	"	11902'3	036947'7	72	CA/O
140	07.08.65	11902'3	036952'7	36	CA
141	"	11902'3	036958'0	22	CA
142	"	11902'3	037903'0	11	MS
143	"	11906'7	037905'7	10	MS
144	"	11906'7	037900'7	18	SM
145	"	11906'7	036955'7	30	CA
146	"	11906'7	036950'7	50	CA
147	"	11910'8	036953'3	96	CA/O
148	"	11910'7	036958'3	29	CA
149	06.08.65	11910'3	037903'3	27	S,M
150	"	11911'7	037908'2	9	S,M
151	"	11915'0	037912'2	15	SM
152	"	11915'0	037907'2	27	S
153	"	11915'0	037902'2	37	CA
154	"	11919'7	037904'1	47	MS
155	"	11920'0	037909'2	18	CA
156	"	11920'0	037914'2	20	S,M
160	03.12.65	10929'3	036919'0	15	M
161	"	10930'4	036921'0	10	M
162	"	10931'5	036922'8	8	SM
163	"	10932'6	036924'9	7	M
164	"	10933'7	036927'0	8	M
165	"	10935'7	036925'7	13	M
166	"	10934'8	036923'8	9	M

## PLATAFORMA CONTINENTAL DO NORTE, NORDESTE E LESTE DO BRASIL: AMOSTRAS DE FUNDO COLETADAS PELO NOC ALTE SALDANHA EM 1968<sup>(1)</sup>

Por

PAULO NÓBREGA COUTINHO<sup>(2)</sup>  
Instituto de Ciências e Laboratório de Ciências do Mar da  
Universidade Federal de Pernambuco

MARC KEMPF<sup>(3)</sup>

Laboratório de Ciências do Mar da Universidade Federal de Pernambuco

### ABSTRACT

A list of bottom sample stations, with sedimentological and faciological data, is given for three oceanographical cruises of the Navy R/V Alte. Saldanha off northern, northeastern and eastern Brazilian coasts: N-NE II (47 stations), Pesca N (49 stations) and Leste I (24 stations). The analyses of these samples followed the scheme adopted for similar surveys previously conducted by the Laboratório de Ciências do Mar in the same area. Facies maps will be found in the literature referred to in the text.

Em 1968, o Laboratório de Ciências do Mar da Universidade Federal de Pernambuco, Recife, participou de três comissões do navio oceanográfico Almirante Saldanha, da Diretoria de Hidrografia e Navegação da Marinha, nas regiões Norte, Nordeste e Leste do Brasil; comissões (1) Norte-Nordeste II, (2) Pesca Norte e (3) Leste I.

O material de fundo, coletado na plataforma continental, está sendo estudado pelo Laboratório de Ciências do Mar, de acordo com os méritos empregados em levantamentos similares (Kempf, Coutinho & Moraes, 1970). Em virtude da área coberta pelas comissões N-NE II e Pesca N ter sido objeto de estudos

recentes (op. cit.; Coutinho & Macedo, no prelo; Coutinho & Moraes, 1970; Kempf, 1970) e devido ao pequeno número de amostras da comissão leste I, um estudo de detalhe não encontra justificativa no momento. A presente nota tem por finalidade fornecer a lista das estações com os dados sedimentológicos sumários e a indicação dos principais tipos de fácies.

Quase todo o sedimento foi obtido por draga retangular (volume 120 l) e, excepcionalmente, por busca-fundo do tipo Lietz-Lafond (estações 1941, 1981, 2000a\*). Pesca experimental (estações marcadas com\*) foi efetuada com redes de arrasto do tipo beam-trawl; apenas em uma estação (1944\*), houve emprego de espinhel. A amostragem de fundo não acompanhou sistematicamente os lançamentos de rede. Contudo, as estações desprovidas de

(1) Trabalho no prelo em: Trabalhos Oceanográficos nº 13, Universidade Federal de Pernambuco, Recife.

(2) Pesquisador Assistente do Conselho Nacional de Pesquisas.

(3) Endereço atual: Instituto de Pesquisas da Marinha, rua Ipirú s/nº, Ilha do Governador, SZ-32, Rio de Janeiro.

\* : Pesca

Símbolos : ver texto & Fig.2b



dados sedimentológicos estão mantidas na lista para servir de referência ulterior ao material biológico coletado. A mesma observação é válida para algumas estações sem posição certa do navio, devido a condições atmosféricas desfavoráveis (2011-2015, D. I.).

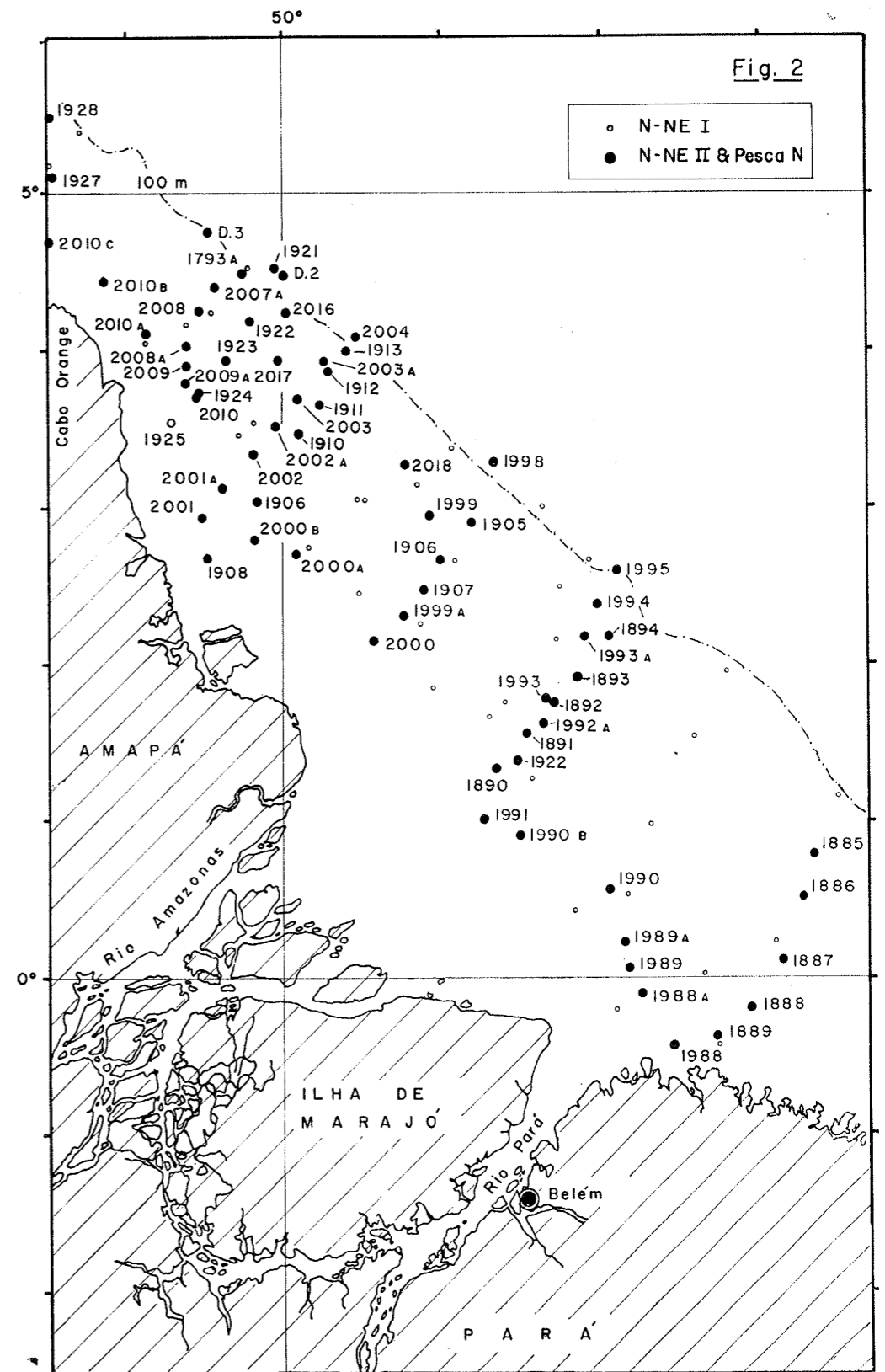
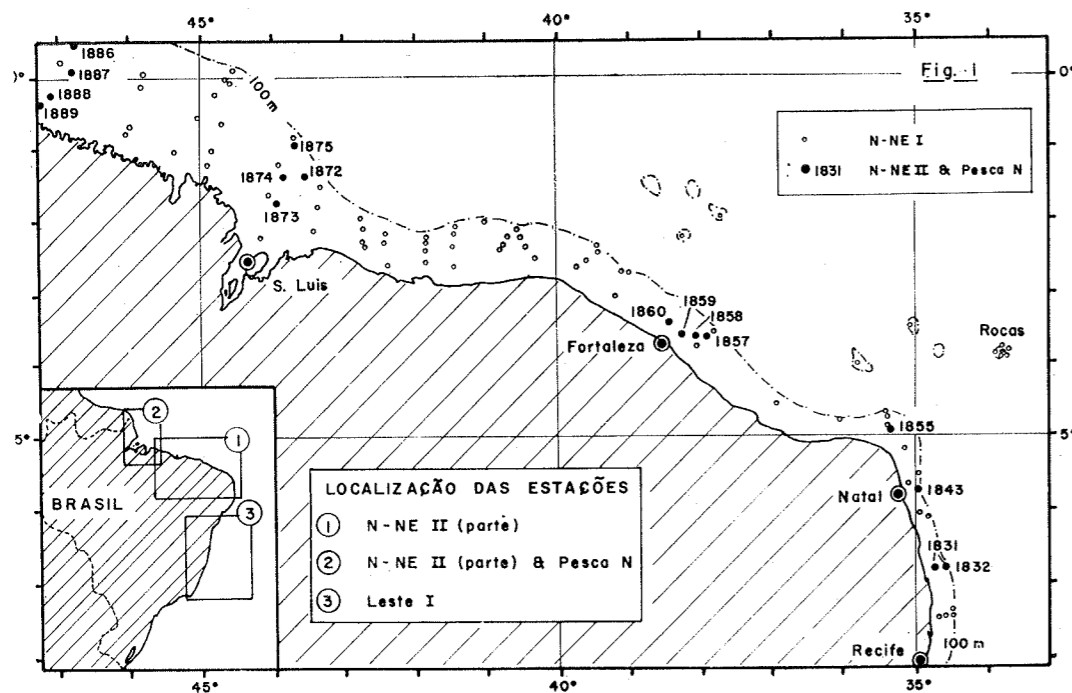
Os tipos de fundo encontrados são os mesmos que já foram mapeados anteriormente para a região Norte e Nordeste: a fácies Litorânea (L) com as sub-fácies arenosa (s) e de lama (m), a fácies de Algas Calcárias (CA), a fácies Organogênica (O), e as respectivas transições. A granulometria é dada apenas em termos de Cascalho (G), Areia (S) e Lama (M). Em trabalho recente (Mabesoone, Kempf & Coutinho, no prelo), mostramos que o estudo granulométrico em si não fornece elementos para a interpretação da origem dos depósitos da plataforma continental do Brasil tropical, dominada por calcário biogênico, exceto para a fácies Litorânea de areia quartzosa.

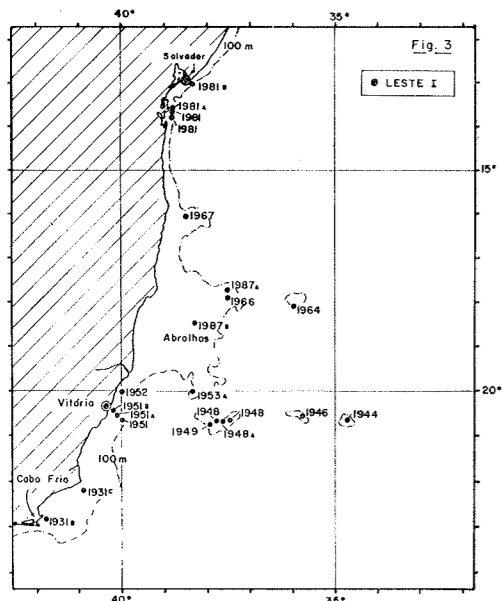
(1) **Comissão Norte-Nordeste II** — 47 estações de fundo (Figs. 1 e 2), com 39 dragagens e 8 arrastos, efetuadas entre o Rio Paraíba do Norte e o Cabo Orange, de 10-04 a

10-05-1968. Esta viagem constituiu uma repetição da comissão N-NE I em época diferente (out. dez. 1967/abr. — maio 1968). Seu relatório foi publicado pela Marinha (D.H.N., 1969).

(2) **Comissão Pesca Norte** — 49 estações de fundo (Fig. 2), com 30 dragagens, 1 coleta de busca-fundo e 41 arrastos, efetuadas na região amazônica (Pará-Amapá), de 21-11 a 07-12-1968. O objetivo principal da viagem foi a pesca experimental numa área previamente reconhecida pelas comissões N-NE I e N-NE II. De uma maneira geral, todas as amostras de sedimento dessas duas missões se enquadram no mapeamento de tipos de fundo já publicados por nós sobre a área e confirmam o esquema adotado.

(3) **Comissão Leste I** — 24 estações de fundo (Fig. 3), com 18 dragagens, 2 coletas de busca-fundo, 3 arrastos e uma experiência de espinhel, efetuadas na plataforma continental e nos bancos oceânicos, entre Cabo Frio e Salvador, de 02-09 a 02-10-1968. Uma nota sobre observações geológicas relacionadas a viagem foi publicada por Gorini (no prelo).





A maioria das amostras pertence as Algas Calcárias, mas devido ao grande afastamento

das estações, uma mapeamento por fácies não seria representativo. Recentemente, foram reunidos os dados disponíveis sobre a costa leste brasileira, interpretando-os em termos de composição de fundo (Kempf, no prelo).

**Agradecimentos** — Somos gratos a Diretoria de Hidrografia e Navegação da Marinha pelas facilidades de coleta oferecidas a bordo do N.Oc. Almirante Saldanha. Agradecemos aos auxiliares de pesquisa do Laboratório de Ciências do Mar embarcados nessas comissões, Aginaldo da Costa Silveira, Aristóteles Nascimento dos Santos, Fernando José Reis Tavares (N-NE II) e Jorge Pinheiro de Freitas (Pesca N e Leste I) por seus serviços prestados, como também ao biólogo do Instituto de Pesquisas da Marinha, Rio, Dr. Georges Merinfeld, por sua colaboração nas anotações de bordo.

#### REFERÊNCIAS

- COUTINHO, P. N. & MACEDO, S. J. (No prelo) — Distribuição do C, N e P na desembocadura do Rio Amazonas. *Trab. oceanogr., Univ. Fed. Pernambuco, Recife*, 13.
- COUTINHO, P. N. & MORAIS, J. O. de (1970) — Distribución de los sedimentos en la plataforma continental norte y norleste del Brasil. *Arq. Cid. Mar., Univ. Fed. Ceará, Fortaleza*, 10 (1): 79-90.
- D. H. N. (1969) — XXXVI Comissão oceanográfica "Operação Norte-Nordeste II", N. Oc. "Almirante Saldanha" (2-4 a 1-6-68). *Diret. Hidrogr. Naveg., Min. Mar., Rio de Janeiro, DG 26* — XII: 236 p.
- GORINI, M. A. (No prelo) — Geologic observations in the "Comissão oceanográfica Leste I" aboard of the research vessel "Almirante Saldanha". *An. Acad. brasil. Ci., Rio de Janeiro*.
- KEMPF, (1970) — Notes on the benthic bionomy of the N-NE Brazilian shelf. *Mar. Biol.*, 5 (3): 213-224.
- (No prelo) — A plataforma continental da costa Leste brasileira, entre o Rio São Francisco e a Ilha de São Sebastião (10°30' — 25° lat. S): Nota sobre os principais tipos de fundo. *An. hidrogr., Diret. Hidrogr. Naveg., Min. Mar., Rio de Janeiro*, 28, 1970.
- KEMPF, M.; COUTINHO, P. N. & MORAIS, J. O. de (1970) — A plataforma continental do N-NE do Brasil. Nota preliminar sobre a natureza do fundo. *Trab. oceanogr., Univ. Fed. Pernambuco, Recife*, 9-11: 9-26.
- MABESOONE, J. M.; KEMPF, M. & COUTINHO, P. N. (No prelo) — Characterization of surface sediments on the northern, northeastern and eastern Brazilian shelf. *Trab. oceanogr., Univ. Fed. Pernambuco, Recife*, 13.

TABELA I	Posição		Prof (m)	%Fr. gros.			% Fr. fina	%CO <sub>3</sub>		Nat. fundo		
	Estação	Data		Lat. N-S	Long. W	2mm		53μ	2μ	Areia	Lama	Gran.
SALDANHA N-NE II												
1831	10.04.68	06°50'0 S	034°04'0	22	15,9	83,6	0,5	100	-	GS	CA	
1832	"	06°47'0 S	034°03'6	72	24,3	53,5	22,2	100	90	MGS	CA/0	
1843	13.04.68	05°46'0 S	035°00'1	47	1,6	84,4	14,0	91	80	MS	CA	
1855	16.04.68	04°56'5 S	035°02'5	30	71,6	25,6	2,8	100	90	SG	CA	
1857	17.04.68	03°35'0 S	037°05'0	43	14,7	84,1	1,2	90	70	GS	CA	
1858	"	03°35'0 S	038°00'8	36	0,7	97,9	1,4	12	-	S	Ls	
1859	"	03°35'0 S	038°01'9	30	0,1	99,4	0,5	3	-	S	Ls	
1860	20.04.68	03°26'0 S	038°03'0	35	0,8	98,2	1,0	0	-	S	Ls	
1872	23.04.68	01°20'0 S	043°03'5	50	12,6	85,3	2,1	43	61	GS	L/0	
1873	"	01°42'0 S	043°05'0	51	0,7	97,9	1,4	0	-	S	Ls	
1874a	"	01°21'0 S	043°05'0	33	0,9	98,5	0,6	0	-	S	Ls	
1875	"	00°56'0 S	043°04'5	49	36,8	62,0	1,2	100	-	GS	CA	
1885	26.04.68	00°47'0 N	046°40'0	59	1,4	97,8	0,8	0	-	S	Ls	
1886	"	00°31'8 N	046°43'9	42	1,6	96,9	1,5	1	18	S	Ls	
1887	"	00°06'5 N	046°05'4	40	0,4	98,9	0,7	2	-	S	Ls	
1888	"	00°12'0 S	047°03'0	33	22,6	70,9	6,5	26	18	GS	Ls	
1889	"	00°23'0 S	047°01'6	31	4,0	93,6	2,4	21	10	S	Ls	
1890	01.05.68	01°20'0 N	048°03'8	16	0,0	0,2	56,7	-	1	M	Lm	
1891*	"	01°33'0 N	048°02'8	24	0,0	0,2	56,1	-	1	M	Lm	

Estação	Data	Posição		Prof. (m)	%Fr. gros.		%Fr. fina		%CO <sub>3</sub>		Nat. fundo	
		Lat. N-S	Long. W		2 mm	53µ	2µ	Areia	Lama	Gran.	Fácies	
1892*	01.05.68	01945'0 N	048918'0	56	0,0	73,3	19,2	7,5	2	7	MS	Ls
1893	02.05.68	01957'0 N	048908'0	67	0,0	97,9	2,1		9	60	S	Ls
1894	"	02911'0 N	047957'0	83	12,8	85,5	1,7		80	-	GS	CA/0
1905	04.05.68	02954'0 N	048948'5	95	0,1	96,5	3,4		15	50	S	Ls
1906*	"	02940'0 N	049900'0	78	1,7	69,9	15,6	12,8	9	15	MS	Ls
1907*	05.05.68	02928'0 N	049906'0	23	0,0	47,0	35,2	17,8	0	0	SM	Lm
1908	"	02941'0 N	050926'5	17	0,0	0,1	44,3	55,6	-	1	M	Lm
1909*	"	03901'0 N	050908'0	20	0,0	0,2	39,5	60,3	-	0	M	Lm
1910*	"	03928'5 N	049952'0	70	7,8	50,2	12,6	29,2	37	3	MS	Ls
1911	"	03939'0 N	049946'0	85	1,3	79,8	18,9		37	14	MS	Ls
1912	06.05.68	03949'0 N	049940'0	106	0,0	76,6	23,4		51	26	MS	L/0
1913	"	03959'0 N	049935'0	100	1,3	97,6	1,1		36	-	S	Ls
1921	08.05.68	04930'0 N	050903'0	146	13,5	51,6	34,9		44	2	GMS	Ls (oolit)
1922	"	04910'0 N	050910'4	88	0,8	85,2	14,0		28	20	MS	Ls (oolit)
1923	"	03955'5 N	050920'0	88	53,5	42,8	3,7		31	13	SG	Ls
1924*	"	03943'0 N	050930'0	45	5,8	2,9	57,4	39,7	-	1	M	Lm
1925*	"	03932'0 N	050940'0	25	0,0	0,3	47,9	51,8	-	0	M	Lm
1926	09.05.68	04944'0 N	051933'0	41	0,0	0,1	41,4	58,5	-	0	M	Lm
1927	"	05906'0 N	051926'0	68	0,6	94,0	5,4		2	3	S	Ls
1928	"	05928'0 N	051928'5	83	1,7	97,3	1,0		4	-	S	Ls (oolit)
SALDANHA PESCA N												
1988*	21.11.68	00926'0 S	047935'5	24-25	0,0	70,9	29,1		4	0	MS	Ls
1988a*	22.11.68	00905'0 S	047947'0	30	-	-	-		-	-	-	-
1989*	"	00904'0 N	047949'0	26-24	0,0	86,4	13,6		1	2	MS	Ls

Estação	Data	Posição		Prof. (m)	%Fr. gros.		%Fr. fina		%CO <sub>3</sub>		Nat. fundo	
		Lat. N-S	Long. W		2 mm	53µ	2µ	Areia	Lama	Gran.	Fácies	
1989a*	22.11.68	00913'5 N	047952'5	25	-	-	-	-	-	-	-	-
1990*	"	00933'0 N	047956'0	33-31	0,0	5,7	94,3		0	0	M	Lm
1990b*	"	00953'0 N	048932'5	16	-	-	-		-	-	-	-
1991	23.11.68	01900'0 N	048945'0	14-13	0,0	15,0	85,0		-	0	SM	Lm
1992*	"	01921'0 N	048932'5	19	0,0	1,0	99,0		-	0	M	Lm
1992a*	"	01937'5 N	048922'0	32	-	-	-		-	-	-	-
1993*	"	01946'5 N	048921'1	47-46	0,0	1,0	99,0		-	0	M	Lm
1993a*	"	02910'0 N	048907'0	49	-	-	-		-	-	-	-
1994*	"	02920'5 N	048901'5	78	2,3	87,3	10,4		40	81	MS	L/C
1995	24.11.68	02934'2 N	047954'5	95	13,7	83,1	3,2		100	-	GS	0
1998	"	03916'0 N	048941'0	118-110	26,6	71,9	2,5		89	-	GS	0
1999*	"	02957'0 N	049904'0	76	8,7	78,2	13,1		43	24	MS	L/0
1999a*	25.11.68	02918'0 N	049916'0	25	-	-	-		-	-	-	-
2000*	"	02908'0 N	049927'5	15-16	0,0	92,5	7,5		1	0	S	Ls
2000a*	"	02941'0 N	049955'5	18	0,0	2,0	98,0		-	0	M	Lm
2000b*	"	02947'5 N	050911'5	17	-	-	-		-	-	-	-
2001*	"	02955'5 N	050930'0	18	0,0	1,0	99,0		-	0	M	Lm
2001a*	"	03906'5 N	050922'0	21	-	-	-		-	-	-	-
2002*	"	03920'0 N	050911'0	28	0,0	1,0	99,0		-	0	M	Lm
2002a*	26.11.68	03930'0 N	050903'5	39	-	-	-		-	-	-	-

Estação	Data	Posição		Prof. (m)	%Fr. gros.			%Fr. fina		%CO <sub>3</sub>		Nat. fundo	
		Lat. N-S	Long. W		2 mm	53µ	2µ	Areia	Lama	Gran.	Fócies		
2003*	26.11.68	03940'0 N	049955'5	100	6,0	60,4	33,6	31	4	MS	Ls		
2003a*	"	03954'0 N	049945'0	92	-	-	-	-	-	-	-		
2004*	"	04903'7 N	049932'6	106	0,0	98,5	1,5	2	-	S	Ls		
2007*	27.11.68	04928'0 N	050916'5	100-99	7,6	87,3	5,1	38	17	S	Ls		
2007a*	"	04922'0 N	050927'0	85	-	-	-	-	-	-	-		
2008*	"	04913'0 N	050931'0	77-73	1,0	81,1	17,9	6	6	MS	Ls		
2008a*	"	04901'0 N	050937'0	51	-	-	-	-	-	-	-		
2009*	"	03953'0 N	050936'0	45-41	1,0	2,0	97,0	-	0	M	Lm		
2009a*	"	03947'0 N	050938'5	35	-	-	-	-	-	-	-		
2010*	"	03941'0 N	050931'0	32-30	1,0	1,0	98,0	-	1	M	Lm		
2010a*	"	04905'0 N	050951'0	27	-	-	-	-	-	-	-		
2010b*	28.11.68	04926'0 N	051908'0	28	-	-	-	-	-	-	-		
2010c*	"	04940'5 N	051929'0	46	-	-	-	-	-	-	-		
2011*	"	?	?	? 45	0,0	1,0	99,0	-	0	M	Lm		
2011a*	"	?	?	49	-	-	-	-	-	-	-		
2012*	"	?	?	64	4,4	76,8	19,8	16	5	MS	Ls		
2012a*	"	?	?	60	-	-	-	-	-	-	-		
2013	"	?	?	80-75	0,0	98,1	1,9	2	0	S	Ls		
2014	29.11.68	?	?	103	26,1	72,3	1,6	42	-	GS	L/O (oolit)		
2015*	"	?	?	80-79	1,3	91,0	7,7	33	9	S	Ls		
2016*	30.11.68	04913'0 N	049958'0	93	1,9	87,2	10,9	65	26	MS	0		
2017*	07.12.68	03956'0 N	050900'7	81	1,5	77,4	21,1	46	5	MS	Ls		
2018*	"	03916'0 N	049915'5	73	5,3	75,8	19,9	58	16	MS	L/O		
D.I	29.11.68	?	?	90	0,0	98,8	1,2	-	-	S	Ls		

Estação	Data	Posição		Prof. (m)	%Fr. gros.			%Fr. fina		%CO <sub>3</sub>		Nat. fundo	
		Lat. N-S	Long. W		2 mm	53µ	2µ	Areia	Lama	Gran.	Fócies		
D.II	30.11.68	04927'0 N	049959'0	?116	12,4	81,3	6,3	-	6	GS	L/O (oolit)		
D.III	"	04943'0 N	050928'0	88	1,0	96,1	2,9	31	9	S	Ls		
SALDANHA: LESTE I.													
1931b*	02.09.68	22950'7 S	041944'0	55	-	-	-	-	-	-	-		
1931c	03.09.68	22910'0 S	040956'0	40	1,2	94,3	4,5	5	-	S	Ls		
1941	07.09.68	20947'0 S	031948'0	75-80	-	-	-	-	-	-	CA		
1944	"	20937'0 S	034042'0	80-131	36,0	64,0	0,0	98	-	GS	CA		
1944a*	08.09.68	20937'0 S	034042'0	122	-	-	-	-	-	-	CA		
		20925'0 S	035900'0	65	-	-	-	-	-	-	CA		
1946	"	20932'0 S	035946'0	70	-	-	-	-	-	-	CA		
1948	09.09.68	20938'5 S	037928'0	70	67,8	29,6	2,6	100	-	SG	CA		
1948a	"	20939'0 S	037939'0	126	100	-	-	-	-	-	CA		
1948b	"	20940'0 S	037948'0	65	-	-	-	-	-	-	CA		
1949	"	20943'5 S	038900'0	61-70	86,2	8,5	5,3	100	-	G	CA		
1951	10.09.68	20944'0 S	040903'0	56	8,2	90,8	1,0	92	-	S	CA		
1951a*	"	20932'0 S	040910'0	36	8,5	7,7	83,8	-	31	M	Lm		
1951b	"	20924'0 S	040914'5	35	28,4	66,5	5,1	74	-	GS	CA/O		
1952	12.09.68	20900'7 S	040900'4	42	1,7	89,8	8,5	46	23	S	L/O		
1953a	13.09.68	20901'0 S	038920'0	83	64,2	34,3	1,5	100	-	SG	CA		
1964	17.09.68	18903'0 S	036900'5	59	40,0	58,5	1,5	100	-	GS	CA		

1966	17.09.68	17955'0 S	037930'0	47	-	-	-	-	-	-	-	CA
1967	18.09.68	16902'0 S	038928'5	47	33,6	64,2	2,2	100	GS	CA	CA	CA
1981	23.09.68	13948'5 S	038948'5	49	60,5	37,4	2,1	92	SG	CA	CA	CA
1981'	"	13940'5 S	038947'0	55	-	-	-	-	S,M	-	-	-
1981a*	"	13940'0 S	038945'0	49	-	-	-	-	S,M	-	-	-
		13936'0 S	038945'0	49	-	-	-	-	-	-	-	-
1981b	27.09.68	12959'7 S	038919'5	59	40,5	56,2	3,3	94	GS	CA	CA	CA
1987a	01.10.68	1794290 S	037930'0	50	-	-	-	-	-	-	-	-
1987b	02.10.68	18026'0 S	038917'0	47-51	92,0	7,0	1,0	91	G	CA	CA	CA

Facies L (Ls, Lm...). Litorânea.....(littoral)  
 CA..... de Algas Calcárias.....(Calcareous Algae)  
 O..... Organogênica.....(Organogenous)  
 L/CA, CA/O.... transições.....(transitions)  
 (oolit).....oolítico(sem indic.de freq)(oolitic,without frequency indic.)

Granulometria G.....Casalho..... (Gravel)  
 S.....Areia..... (Sand)  
 M.....Lama..... (Mud)  
 S,M.....proporções desconhecidas  
 (proportions unknown)

\* Estações de pesca ( fishing stations)

## PROSPECCÕES DE FUNDO REALIZADAS NA PLATAFORMA CONTINENTAL DO NORTE, NORDESTE E LESTE DO BRASIL PELO LABORATÓRIO DE CIÊNCIAS DO MAR, U.F.Pe., OU COM SUA PARTICIPAÇÃO

Por  
MARC KEMPF<sup>(1)</sup>

### ABSTRACT

Since 1965, the Laboratório de Ciências do Mar, Univ. Fed. Pernambuco, Recife, conducted some oceanographic cruises, or took part in a series of others organized by several Brazilian governmental agencies (CNPq, DHN of the Navy, SUDENE) off the Northern, Northeastern and Eastern Brazilian coast.

The present report is dedicated to the bottom survey of the shelf (superficial sedimentology and especially benthic biology). More particularly, the following items are exposed: purpose of the program, list of the cruises with a summary of their tasks and an indication of the investigated areas collecting gear and working methodology, bibliography of the survey reports and the scientific results already published (about 80 references).

### INTRODUÇÃO

A partir de 1965, o Laboratório de Ciências do Mar (então Instituto Oceanográfico) da Universidade Federal de Pernambuco participou de uma série de comissões oceanográficas ao largo da costa Norte, Nordeste e Leste do Brasil, organizadas pela Diretoria de Hidrografia e Navegação da Marinha e pelo Departamento de Recursos Pesqueiros da SUDENE. Outras operações, de caráter mais local, foram montadas com meios próprios ou recursos de organismos públicos brasileiros como o Conselho Nacional de Pesquisas e a SUDENE. No conjunto, tratou-se de cruzeiros oceanográficos gerais, de prospeccões pesqueiras e de levantamentos de natureza de fundo. O objetivo do Laboratório de Ciências do Mar, além da obtenção de dados oceanográficos clássicos, visava mais especificamente a pesquisa da natureza do substrato cobrindo a

plataforma continental, numa colaboração de estudos dos sedimentos superficiais e dos povoamentos bentônicos.

O propósito do presente trabalho é apresentar uma visão global dessas pesquisas realizadas pelo Laboratório de Ciências do Mar de Recife e facilitar ao leitor interessado o acesso aos dados obtidos e aos resultados publicados em diversas revistas. Quanto aos métodos e meios de trabalho empregados, será dada ênfase especial a parte de biologia benthica, já que a geologia foi objeto de trabalho anterior (Mabesoone & Coutinho, 1970).

É justo lembrar também que o Laboratório de Ciências do Mar (então Instituto de Biologia Marítima e Oceanográfica, e depois Instituto Oceanográfico) tomou parte, desde a sua criação, de cruzeiros oceanográficos do NOC Alte. Saldanha, da D.H.N. Os trabalhos relativos a estas viagens, de hidrologia e de sedimentologia, sem estudos biológicos (Coutinho; Okuda; Ottmann; Tinoco), encontram-se relacionados em Mabesoone & Coutinho (op. cit.).

### PROSPECCÕES EFETUADAS

O mapa da Fig. 1 localiza as diversas prospeccões efetuadas. As Tab. 1a. e 1b apresentam as mesmas por ordem de sucessão cronológica, com as seguintes informações:

— Nome da comissão: é o nome do barco utilizado, o nome da área investigada, ou ainda uma combinação dos dois nomes.

— Data.

(1) Laboratório de Ciências do Mar, Universidade Federal de Pernambuco.

— Instituição: responsável pela organização ou pelo financiamento da viagem, proprietária da embarcação.

— Natureza da comissão: finalidade principal da viagem.

— Atuação do Laboratório de Ciências do Mar: em pesquisa prosseguida e pessoal embarcado.

— Área investigada.

— Faixa batimétrica coberta: profundidades médias, onde se localizam a maioria das estações e profundidades extremas atingidas. O limite entre a plataforma externa e plataforma interna é uma noção puramente arbitrária, no presente caso, e refere-se a faixa de 30-40 m para fins práticos de apresentação de dados. Da mesma maneira, a borda da plataforma designa a zona da ruptura de declive ou próxima a ela.

— Número de estações efetuadas: apenas as estações para as quais existe material bentônico coletado pelo Laboratório de Ciências do Mar.

— Aparelhos usados na coleta de material de fundo.

— Referências: limitadas aos relatórios de viagem e aos trabalhos gerais dando, além dos primeiros resultados, informações sobre as operações, listas de estações e mapas.

A área investigada abrange toda costa brasileira situada entre o Cabo Orange e a região Rio-São Paulo com, naturalmente, uma densidade de estações muito variável de acordo com os trechos. O maior esforço encontra-se concentrado no Nordeste, especialmente no setor Pernambuco-Sergipe, graças a prospeções pesqueiras da SUDENE e ao levantamento da área de Recife financiado pelo C.N.Pq., e também no Norte, na região amazônica graças a viagens repetidas no NOc Alte. Saldanha da D.H.N. O Laboratório de Ciências do Mar dispõe de poucas coletas na costa Leste, ao Sul do Estado de Sergipe. Um trabalho anterior, baseado em compilações de dados de diversas fontes, constitui uma tentativa para compensar esta falta de material (Kempf, 1972).

A faixa batimétrica investigada cobre a plataforma continental, a superfície dos bancos oceânicos do NE e de alguns bancos da costa E, as margens das ilhas oceânicas de Fernando de Noronha e Rocas, e, muito mais raramente, a parte superior do talude continental. Algumas operações foram dedicadas mais particularmente a setores costeiros em águas rasas.

## METODOLOGIA

### Finalidade e justificativa

A finalidade dos levantamentos foi, em matéria de geologia, o estudo dos sedimentos superficiais e, em matéria de biologia benthica, a investigação da fauna e da flora, das relações dos povoamentos com o substrato e as condições ambientais, e da delimitação dos principais tipos de fundo do Norte e Nordeste do Brasil com suas espécies características. Esta colaboração indispensável de pesquisas entre sedimentologia e biologia encontra sua inteira justificativa principalmente na plataforma continental nordestina, onde a maioria dos substratos são de origem orgânica (Mabesoone, Kempf & Coutinho, 1972). Em todas as operações, as mesmas coletas serviram sempre para as duas finalidades.

Em virtude do fato que as missões eram planejadas por diversos organismos, obedecendo a motivos outros e mais complexos que o interesse imediato do Laboratório de Ciências do Mar, a seqüência cronológica não foi sempre a mais indicada para este trabalho. A área coberta é muito extensa. Na verdade, a relativa uniformidade de condições sobre uma grande superfície que existe tanto no Nordeste quando na região amazônica, facilitou de um certo modo, o trabalho. As embarcações disponíveis eram dos mais variados tipos, desde o simples bote de pesca motorizado até o NOc. Alte. Saldanha. Algumas eram bem adaptadas a coleta de material de fundo para fins biológicos (arrastão Akaroa por ex.), outras não, obrigando a soluções de improviso (como o uso de cabrestante) ou a dragagens manuais em botes ou barcos de pesca. Os aparelhos de coleta e artes de pesca eram diversos, sendo que as dragas foram usadas em todas as comissões (existem diversos modelos, construídos em função do equipamento das embarcações).

Em matéria de profundidade, as investigações localizaram-se principalmente na plataforma continental, por razões de interesse científico e econômico, de limitações técnicas no equipamento da maioria dos barcos disponíveis, e também de condições topográficas naturais, a margem continental brasileira oferecendo em todo o trecho compreendido entre o Rio Pará e o Cabo Frio uma unidade fisiográfica indiscutível, com plataforma bem delimitada e relativamente rasa.

Por todos esses motivos (extensão da área investigada, dificuldade na programação das

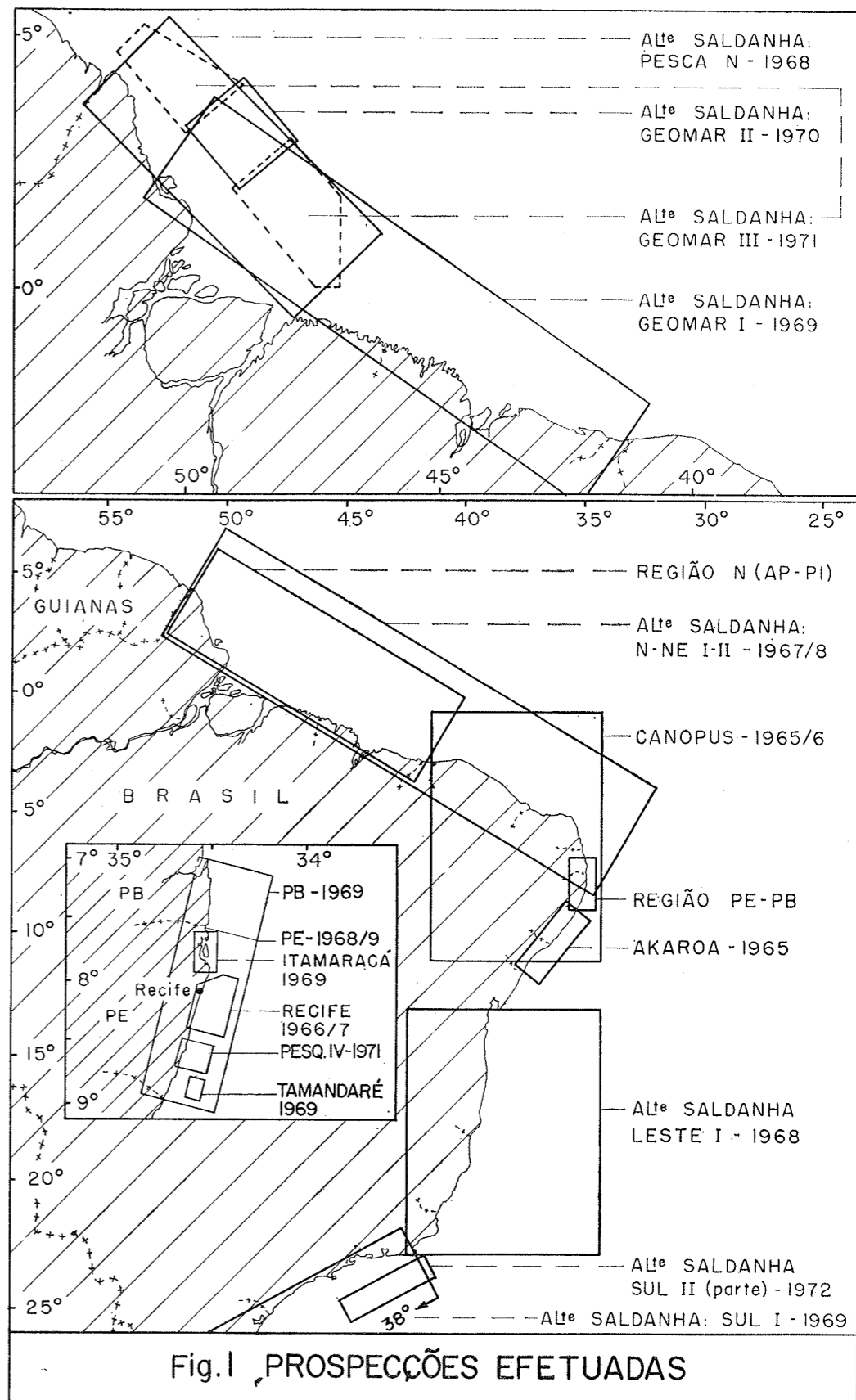


Fig. 1 PROSPECÇÕES EFETUADAS

Tab. Ia Comissão	Data	Insti- tuições	Embarcações	Natureza da Comissão	Atuação Lab. Ci. Mar	
					Pesquisa	Pessoal embarcado
CANOPUS	06.1965 -02.1966	SUDENE	Canopus bar.pesc.	Prospec. pesqueira	Fís.Quim.água :Plânct., Geol. Biol.bênt.	4 Pesq. 4 Técn.
AKAROA	08-12. 1965	SUDENE	Akaroa bar. pesc. (arrastão)	Prospec. pesqueira	Fís.Quim.água Plânct., Geol. Biol. bênt.	3 Pesq. 1 Técn.
RECIFE	02.1966 -05.1967	CNPq DHN SUDENE	Bote pesca Taurus nav.hidrogr. Serro Azul bar.pesc.	Levant. nat. fundo	Fís.Quim.água Plânct., Geol. Biol.bênt.	3 Pesq. 3 Técn.
SALDANHA N-NE I	10-12. 1967	DHN	Alte Saldanha nav.oceanogr.	Cruzeiro oceanogr.	Quím.(parte) Geol. Biol.bênt.	6 Pesq. 2 Técn.
SALDANHA N-NE II	04-05. 1968	DHN	Alte Saldanha nav.oceanogr.	Cruzeiro oceanogr.	Geol. Biol. bênt.	3 Técn.
SALDANHA E I	09-10. 1968	DHN	Alte Saldanha nav.oceanogr.	Cruzeiro oceanogr.	Geol. (parte) Biol. bênt.	1 Técn.
SALDANHA Pesca N	11-12. 1968	DHN	Alte Saldanha nav.oceanogr.	Cruz. oc. & Prospec. pesqueira	Geol. Biol. bênt.	1 Técn.
PERNAMBUCO	11.1968 -03.1969	SUDENE	I.de Itamaracá barco pesca	Prospec. pesqueira	Geol. Biol. bênt.	1 Técn.
ITAMARACÁ	01-02. 1969	SUDENE	Bote pesca	Levant. nat. fundo	Geol. Biol. bênt.	1 Pesq. 2 Técn.
SALDANHA Geomar I	06.1969	DHN	Alte Saldanha nav.oceanogr.	Cruz.oc.& Pesq.geol.	Biol. bênt.	1 Pesq.
PARAIBA	07-09 1969	SUDENE	I.de Itamaracá barco pesca	Prospec. pesqueira	Geol. Biol. bênt.	1 Técn.
SALDANHA S I	09-11. 1969	DHN	Alte Saldanha nav.oceanogr.	Cruzeiro oceanogr.	Biol. bênt. (parte)	1 Pesq.
TAMANDARÉ	12.1969	SUDENE	I.de Itamaracá barco pesca	Levant. nat. fundo	Geol. Biol. bênt.	2 Pesq. 1 Técn.
SALDANHA Geomar II	09-10. 1970	DHN	Alte Saldanha nav.oceanogr.	Cruz.oc.& Pesq.geol.	Biol. bênt. (parte)	1 Pesq. 1 Técn.
SALDANHA Geomar III	04-06. 1971	DHN	Alte Saldanha nav.oceanogr.	Cruz.oc.& Pesq.geol.	Biol. bênt.	2 Pesq. 2 Técn.
PESQUI- SADOR IV	06.1971	SUDENE	Pesquisador IV b.pesquis.pesc.	Teste & treinam.	Fís.Quím.água Plânct.,geol. Biol. bênt.	3 Pesq.
SALDANHA S II (part)	03.1972	DHN	Alte Saldanha nav.oceanogr.	Levant. nat. fundo	Biol. bênt.	1 Pesq.

I b	Área investigada & faixa batimétrica	Prof. m medias (extremas)	Est.	Aparelhos	Referências
NE: Alagoas-Sergipe toda plataforma (max.foz S.Francisco)	10-100 ( 7-560)	185 :	draga	CAVALCANTI et al., 1967 KEMPF, prelo SUDENE, 1969	
NE: frente Recife (trecho 25 mil.) toda plat.(max.int.)	8- 50 (2- 68)	157	draga beam-trawl mergulho	KEMPF, MABESOONE & TINOCO, 1970	
N-NE: Amapá-Pernambuco toda plat., banc.ocean., F. Noronha & Rocas	20-100 (19-140)	123	draga beam-trawl (otter-trawl)	DHN, 1968 KEMPF, COUTINHO & MORAIS, 1968	
N-NE: Amapá-Paraíba toda plataforma	20-100 (16-146)	47	draga beam-trawl (otter-trawl)	COUTINHO & KEMPF, 1972 DHN, 1969	
E: Bahia-Rio de Janeiro plataforma ext.& bancos oceânicos	40- 80 (35-131)	24	draga busca-fundo beam-trawl	COUTINHO & KEMPF, 1972	
N: Amapá-Pará toda plataforma	20-100 (16-118)	49	draga beam-trawl otter-trawl	COUTINHO & KEMPF, 1972 DHN, em preparo a	
NE: Pernambuco toda plataforma	10- 80 ( 9- 90)	39	draga (otter-trawl)	KEMPF., 1970b	
NE: reg.I.Itamaracá, PE (trecho 20 mil.) Z. costeira e estuarina	1- 10 ( 0- 14)	114	draga mergulho	KEMPF, 1970a	
N: Amapá-Piauí toda plataforma	12- 90 ( 9-223)	80	draga busca-fundo	ZEMBRUSCKI et al., 1971, 1972	
NE: Paraíba (reg.Sul) plataforma interna	10- 20	28	draga (otter-trawl)		
S: Rio Jan.-Mar Plata toda plataforma	25-150 (18-169)	45	draga	DHN, no prelo	
NE: frente Tamandaré, PE borda plataforma	90-180	9	draga		
N: Amapá frente Amazonas plataforma externa	50-110 (21-360)	33	draga busca-fundo	MARTINS et al., 1972	
N: Amapá-Pará toda plataforma	30-100 (13-680)	100	draga busca-fundo	DHN, em preparo b	
NE: Pernambuco toda plataforma	13-100 (13-297)	22	draga		
S: Rio Jan.-S.Paulo borda plataforma	124-171	16	draga	DHN, em preparo c	

seqüências, heterogeneidade de meios, limitações materiais), foi necessário adotar um método de trabalho simples fácil de adaptar a todas as circunstâncias e conveniente para uma prospecção extensiva: o método qualitativo de estudo de bentos por meio de drenagem. A título de informação complementar, apreciações quantitativas, por conceito, dos componentes faunísticos e florísticos puderam ser obtidas a partir do volume de amostra de fundo analisado.

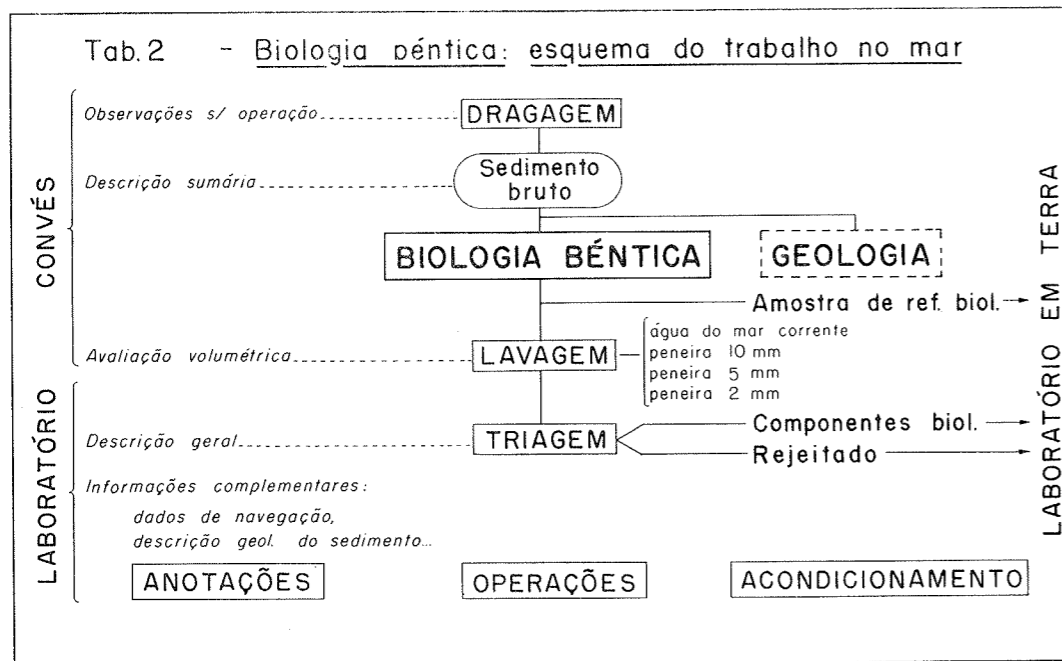
**Método de trabalho**

O posicionamento das estações foi obtido por diversos métodos: alinhamentos de pontos em terra e navegação estimada a partir dos mesmos, em áreas litorâneas ou de plataforma estreita que permitem perfis de pequena extensão, transversais a costa (Akaroa, Pernambuco, Paraíba, Pesquisador IV e certas estações do NOc. Alte. Saldanha); segmentos capazes em trechos costeiros (Recife, Itamaraca); navegação astronômica (Canopus, Saldanha); e navegação eletrônica pelo sistema Raydist, em um único caso (participação do NHI. Taurus na operação Recife).

Os aparelhos de coleta e as artes de pesca, com indicações de características e emprego, são objeto de um parágrafo especial. O esquema de trabalho no mar está resumido na Tab. 2.

A draga retangular, principal aparelho de coleta sempre deu resultados satisfatórios. O busca-fundo foi utilizado na obtenção de sedimento para estudo geológico nos cruzeiros do NOc. Alte. Saldanha, e seus resultados aproveitados também para fins de biologia. Arrastos de pesca completaram os estudos biológicos com a captura da fauna vágil. Em zonas costeiras de águas transparentes, observações diretas a partir da superfície, observações em avião leve e estudo de fotografias aéreas forneceram informações valiosas para o mapeamento de tipos de fundo; nas mesmas áreas, mergulho de observação, fotografia ou coleta completaram os estudos, especialmente em zonas de recifes (ambas técnicas já utilizadas por Laborel (1967) para o estudo dos recifes).

A operação de coleta da amostra de fundo foi sempre executada com dupla finalidade geológica e biológica, sendo os estudos de sedimentologia realizados a partir de uma parcela tirada antes da lavagem. A avaliação volumétrica do substrato a ser lavado foi feita mediante bacias plásticas previamente calibradas. Na série de peneiras, a última malha, de 2 mm, pode ser considerada suficiente para o estudo de macrobentos de acordo com as observações de Picard (1965). Uma primeira triagem dos componentes biológicos a partir das frações peneiradas se fez a bordo, cada vez que as condições permitiam. Mesmo assim, uma



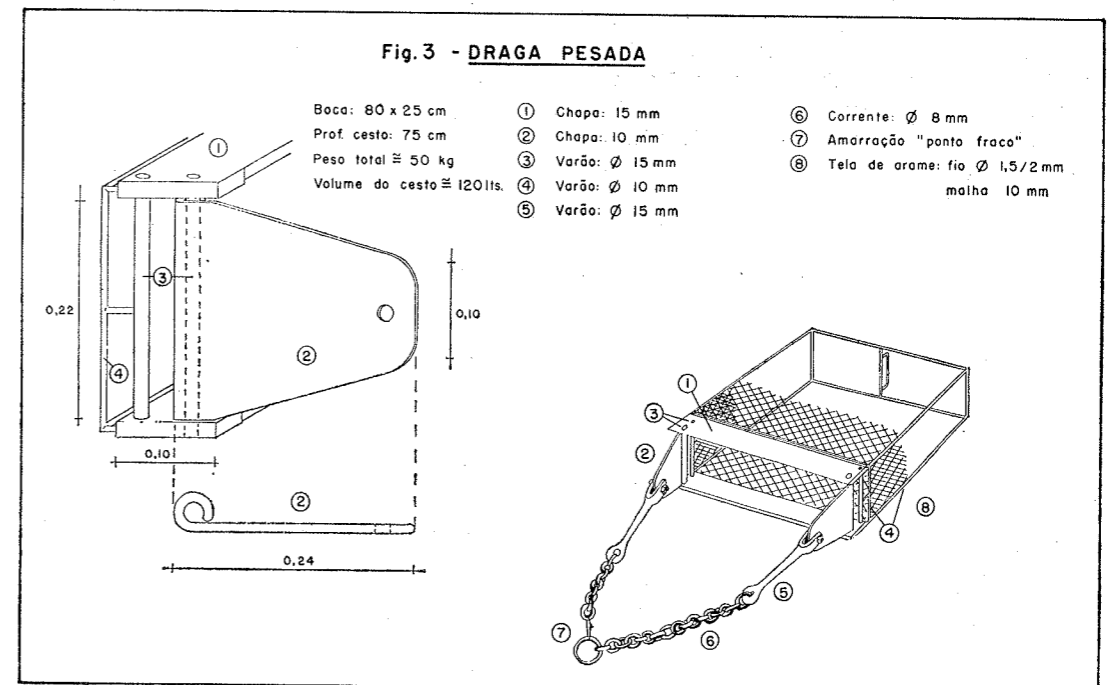
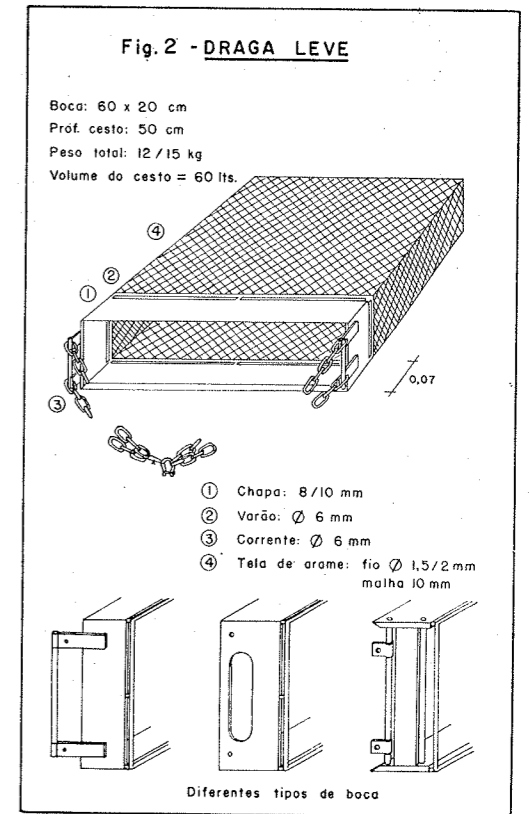
segunda triagem em terra, a partir do rejeitado conservado em depósitos plásticos com formol a 4% em água do mar, é recomendada. Para concreções, freqüentes na plataforma nordestina, é indispensável quebrar os blocos para confirmar sua natureza, e também obter a fauna que vive ou se abriga neles.

Após as primeiras observações sobre a composição global do povoamento e suas características dominantes, começadas a bordo e confirmadas no laboratório em terra, o material biológico foi separado em grandes unidades sistemáticas (algas e grupos zoológicos) e distribuído a diversos especialistas encarregados do seu estudo. Posteriormente, os resultados devem ser reunidos e confrontados com as primeiras observações e os dados geológicos. Uma coleção de referência deve ser montada com base em amostras classificadas.

**Aparelhos e técnicas**

Dragas retangulares — Todas as comissões.

— Draga pesada (Fig. 3) (peso 50 kg, capacidade 120 l). Modelo inspirado de Picard (op. cit.), usado no NOc Alte Saldanha.





— Draga leve (Fig. 2) (peso 12-15 kg, capacidade 60 l). Diversos modelos (em parte Kempf, 1970a), usados em todas as outras comissões, em arrastos manuais, ou com guincho ou cabrestante.

Uma tela de arame de 10 mm de abertura de malha substitue vantajosamente o clássico saco de rede, mostrando-se bem mais resistente em fundos de cascalho, dominantes no Nordeste. Um forro interno de pano evita a lavagem e permite a obtenção de sedimento bruto. Uma das correntes da draga é sempre amarrada à manilha de tração por intermédio de um «ponto fraco» de arame que, em caso de bloqueio, se rompe e permite a abertura do aparelho, aumentando suas possibilidades de retorno. Nas dragagens manuais recomenda-se o emprego de alguns metros de corrente antes do aparelho, a fim dar mais peso ao cabo de manilha e limitar seu desgaste pelo atrito no fundo. Em certas estações de substrato arenoso (Recife), foi utilizada, como complemento de estudo, uma draga especial para moluscos de interesse comercial, com lâmina dentada oblíqua e tela de malha larga.

Busca-fundos — Saldanha E I, GM I, GM II, GM III.

— Tipo Dietz-Lafond.

— Tipo Shipek.

Amostras coletadas por busca-fundo para fins geológicos durante os cruzeiros no NOc. Alte. Saldanha foram também aproveitadas em biologia. Na verdade, o emprego do busca-fundo em estudos de bentos necessitaria de vários lances em cada estação (Reys & Salvat, 1971), o que é difícil conciliar com uma prospeção de caráter extensivo. Além do mais, este tipo de instrumento se mostra deficiente em substratos de cascalho, tão comuns na área investigada.

Redes de arrasto — Akaroa, Recife, Saldanha N-NE I, N-NE II, e I e Pesca N.

— Beam-trawl menor (Fig. 6) 0,30 × 2 m de abertura de boca). Modelo usado em Recife, arrastado por um pequeno bote de pesca.

— Beam-trawl maior (0,80 × 3 m de abertura de boca). Modelo de patins quadrados, usados nas comissões do NOc Alte Saldanha.

A rede montada na armação é a de malha fina, de cerca de 10 mm de abertura. Estes aparelhos constituem um bom complemento das dragagens, proporcionando a captura de fauna vágil pequena e média ligada ao substrato, resultado especialmente interessante em zonas pesqueiras.

— Otter-trawl tipo comercial: Akaroa, um pouco Pernambuco, Paraíba, Saldanha N-NE I, N-NE II e Pesca N.

Rede muito utilizada pelo arrastão Akaroa nos fundos costeiros de areia e lama de Sergipe e Alagoas e na foz do São Francisco; pouco empregada pelo NOc. Alte Saldanha, a concepção do navio não sendo propícia a manobras com rede comercial.

Caçoeiras, espinhéis — Canopus, Akaroa, Pernambuco, Paraíba.

Todas as artes de pesca, com excessão das redes de arrasto do tipo beam-trawl, foram utilizadas para pesquisas de pesca, de interesse tecnológico e econômico, pela SUDENE (Canopus, Akaroa, Pernambuco, Paraíba) ou pela SUDEPE (Saldanha Pesca N, arrastos). Suas coletas foram aproveitadas, qualitativamente, nas investigações de bentos do Laboratório de Ciências do Mar.

Observações visuais — Recife, Itamaracá.

— Aéreas, ou por exame de fotografias.

— De superfície, em água transparente.

— De mergulho, com fotografias e coletas diretas.

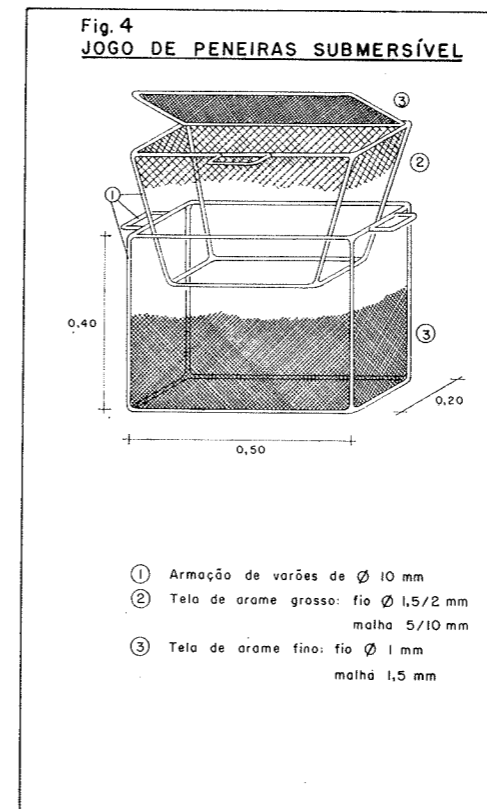
Peneiras para lavagem do sedimento.

— Peneiras em cestas encaixadas (Fig. 4): Recife, Itamaracá, Pernambuco, Paraíba, Tamandaré, Pesquisador IV.

Utilizadas em barcos pequenos ou sem instalação de água do mar corrente, sendo mergulhadas no mar a partir do bordo, permitem uma lavagem rápida e eficiente do sedimento (Kempf, 1970a).

— Mesa de peneiras (Fig. 5): todas as comissões Saldanha.

Uma primeira versão do aparelho, inspirada no modelo de Picard (op. cit.), construída no Laboratório de Ciências do Mar, foi poste-



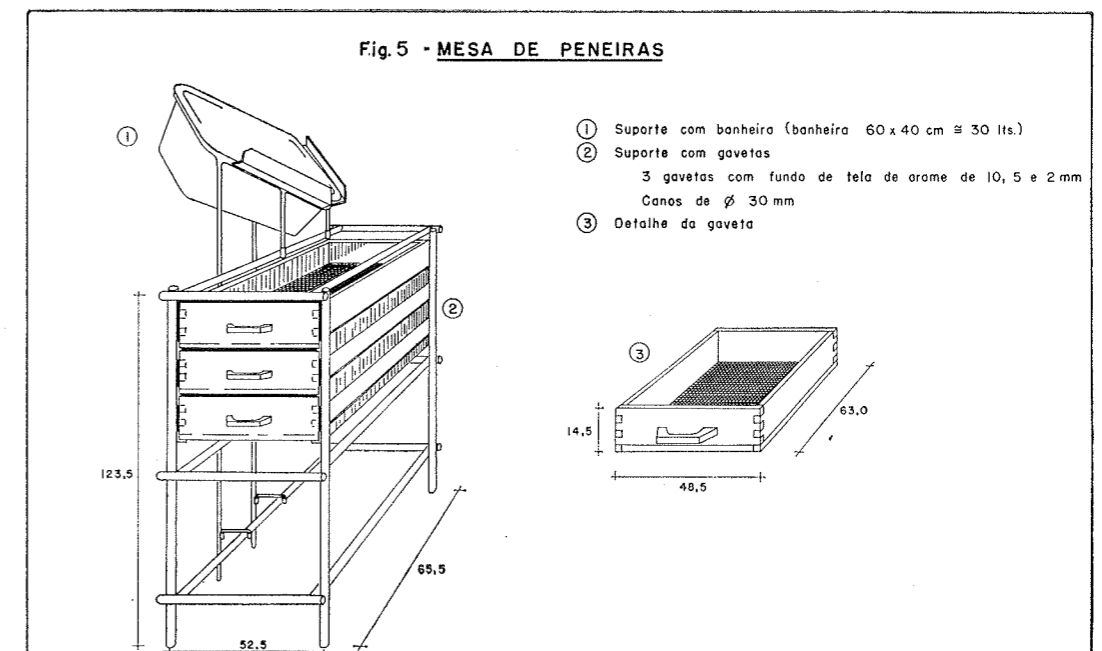
riormente aperfeiçoadas por L. Braga, do Instituto de Pesquisas da Marinha, Rio. As peneiras são gavetas de madeira equipadas com fundo de tela de arame de 10, 5 e 2 mm de abertura de malha. Para evitar o escapamento lateral de água, as guias da armação metálica tem forma de T. Em amostras de lama, aconselha-se o emprego de uma torneira tipo «spray» na mangueira (o jato de água finamente pulverizada fluidifica a lama sem afetar a fauna), técnica que, infelizmente, não foi possível utilizar.

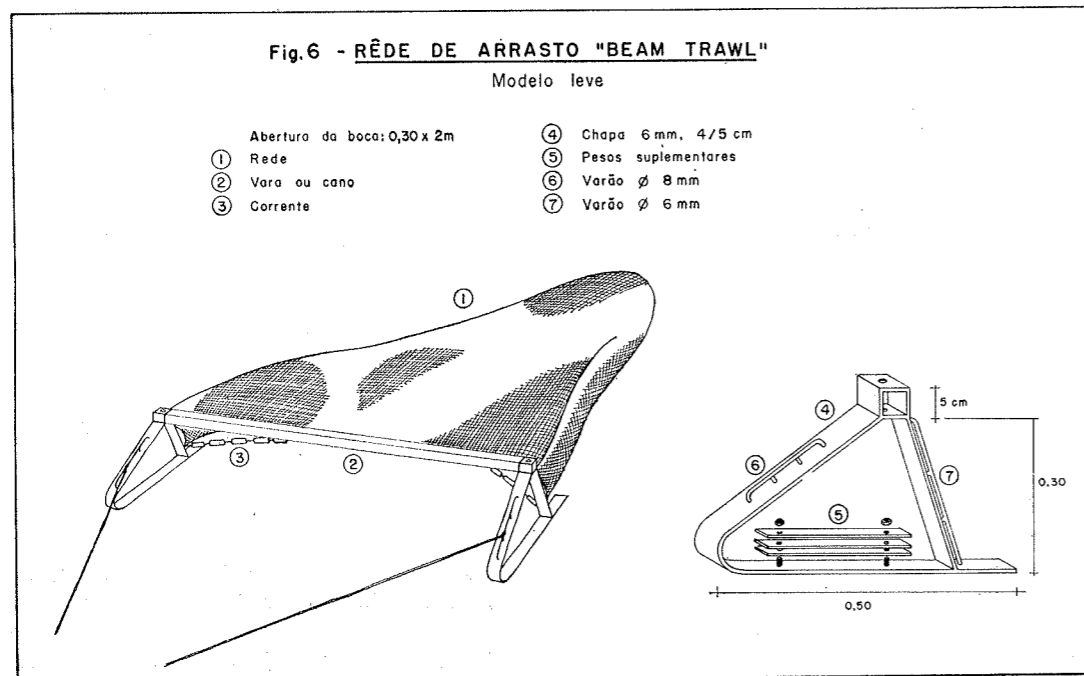
Nas primeiras viagens Canopus e Akaroa usou-se um sistema mais rudimentar de peneiras quadradas, superpostas graças a encaixes na madeira.

#### PUBLICAÇÕES: LISTA DOS TRABALHOS

As referências das publicações citadas no texto são dadas no fim do presente artigo.

A bibliografia fornecida em seguida reúne todos os trabalhos do Laboratório de Ciências do Mar com relação a prospeções da plataforma continental brasileira realizadas por ele ou com sua participação, desde 1965, como também os trabalhos de outras instituições baseados em dados ou material obtidos deste Laboratório. As referências, relacionadas em ordem alfabética, são precedidas por um índice dos





autores (ou primeiros autores em caso de trabalhos de colaboração) por matéria.

Com exceção dos relatórios de viagem, a maioria das comunicações reúne várias comissões por assunto tratado ou setor geográfico. Publicações em série existem, nos Trabalhos Oceanográficos do Laboratório de Ciências do Mar apenas para as operações Akaroa e Re-

cife, as duas primeiras missões com uma grande densidade de estações numa área bem delimitada.

Naturalmente, a presente lista não é definitiva e deverá receber acréscimos no futuro, especialmente no referente a coletas biológicas, cujo volumoso material está longe de ser completamente estudado.

**Trabalhos gerais, incluindo a geologia dos sedimentos superficiais:**

BARRETO, CAVALCANTI, COUTINHO, KEMPF, MABESOONE, TINOCO.

**Trabalhos sobre flora e fauna:**

— Plancton .....	ESKINAZI-LEÇA, PARANAGUÁ, PASSAVANTE
— Algas bentônicas .....	JOLY
— Foraminíferos .....	TINOCO
— esponjas .....	BOROJEVIC
— Corais .....	LABOREL
— Moluscos .....	CAUQUOIN, FISCHER-PIETTE, KEMPF, MATTHEWS MÉTIVIER, RIGHI, VAN MOL
— Poliquetas .....	LUNA, NONATO
— Crustáceos .....	COELHO, KOENING
— Peixes .....	ESKINAZI, GUEDES.

**Barreto, H. T., Marchesini-Santos, M. E., Kempf, M. & Carvalho, J. C. de** (1971) — Relatório de bordo, Comissão Geomar III. Diret. Hidrogr. Naveg., Min. Mar., Rio de Janeiro (Relat. int.).

**Borojevic, R. & Peixinho, S.** (No prelo) — Eponges calcaires du NE du Brésil. Bull. Mus. Nat. Hist. Nat., Paris.

**Cauquoin, M.** (1968) — Sur une nouvelle espèce de Mactridae du Brésil. Bull. Mus. Nat. Hist. Nat., Paris, 2<sup>e</sup> Sér., 40 (6): 1.175-1.178. (1968-1969).

— (1969-1970) — Mollusques Prosobranches: Hipponicacea, Calyptraeacea, Strombacea et Naticacea. Campagne de la Calypso au large des côtes atlantiques de l'Amérique du Sud, 1961-1962, Ann. Inst. Océanogr., Paris., 47: 137-143.

**Cavalcanti, L. B., Coelho, P. A., Kempf, M., Mabesoone, J. M. & Silva, O. C. de** (1967) — Shelf off Alagoas and Sergipe (Northeastern Brazil). 1. Introduction. Trab. Oceanogr., Univ. Fed. Pernambuco, Recife, 7/8: 137-150.

— (1969) — Estudos oceanográficos. Ch. 3: 24-32, in Moura, S. J. C. de et al. Projeto Akaroa. .oc. Pesca, Sudene, Recife, 19: 50 p.

**Cavalcanti, L. B. & Kempf, M.** (1970) — Estudo da plataforma continental na área do Recife. 2. Meteorologia e hidrologia. Trab. Oceanogr., Univ. Fed. Pernambuco, Recife, 9/11: 149-157.

**Coelho, P. A.** (1966) — Alguns Decápodos novos para Pernambuco e Estados vizinhos na coleção carcinológica do Instituto Oceanográfico da Universidade Federal de Pernambuco. Segunda lista. Ciênc. Cult. 18 (2): 139-140.

— (1966) — Nota sobre a abundância do Raninidae *Symethis variolosa* (Fabricius) no Nordeste do Brasil. Ciênc. Cult., 18 (2): 252-253.

— (1970) — A distribuição dos Crustáceos Decápodos Reptantes do Norte do Brasil. Trab. Oceanogr., Univ. Fed. Pernambuco, Recife, 9/11: 223-238.

— (1970) — Novas ocorrências de Crustáceos Decápodos em Pernambuco e Estados vizinhos. Trab. Oceanogr., Univ. Fed. Pernambuco, Recife, 9/11: 239-247.

— (1970) — Lista dos Stenopodidae (Crustaceos Decapoda Natantia) de Pernambuco e Estados vizinhos. Trab. Oceanogr. Univ. Fed. Pernambuco, Recife, 9/11: 249-254.

— (1971) — Nota prévia sobre os Majidae do Norte e Nordeste do Brasil. An. 3<sup>o</sup> Congr. Brasil. Zool., Arq. Mus. Nac., Rio de Janeiro, 54: 137-143.

— (No prelo) — Lista preliminar dos Crustáceos Decápodos Reptantes do Norte e Nordeste do Brasil. I. Trecho entre o Cabo Orange e a foz do Rio Tocantins. Bol. Est. Pesca, Sudene, Recife.

— (No prelo) — Descrição de três espécies novas de Majidae do Brasil (Decapoda Brachyura). Trab. Oceanogr., Univ. Fed. Pernambuco, Recife, 13.

**Coelho, P. A., & Koenig, M. L.** (No prelo) — A distribuição dos Crustáceos pertencentes as ordens Stomatopoda, Isopoda e Tanaidacea no Norte e Nordeste do Brasil. Trab. Oceanogr., Univ. Fed., Pernambuco, Recife, 13.

**Coelho, P. A., Koenig, M. L. & Ramos, M. A.** (1971) — Distribuição geográfica dos Crustáceos marinhos do litoral Leste da América do Sul, entre 5<sup>o</sup> N e 39<sup>o</sup> S. Ciênc., 23 Supl.: 394.

— (1972) — Distribuição dos Crustáceos nas proximidades de Itamaracá, Pernambuco. 5<sup>o</sup> Congr. Brasil. Zool.: 48. Idem Ciênc. Cult., 24 (6): 262.

— (No prelo) — Remarques sur la biogéographie des Crustacés marins du Brésil de l'Uruguay et de l'Argentine (au Nord de Mar del Plata). Bull. Mus. Nat. Hist. Nat., Paris.

**Coelho, P. A. & Ramos, M. A.** (No prelo) — A constituição e a distribuição da fauna de Decápodos do litoral Leste da América do Sul entre as latitudes de 5<sup>o</sup> N e 39<sup>o</sup> S. Trab. Oceanogr., Univ. Fed. Pernambuco Recife, 13.

— (No prelo) — Contribuição ao conhecimento dos camarões comerciais do Norte e Nordeste do Brasil. An. Hidrogr., Min. Mar., Rio de Janeiro.

**Coutinho, P. N.** (1970) — Sedimentation at the mouth of the São Francisco River (Brazil). Trab. Oceanogr., Univ. Fed. Pernambuco Recife, 9/11: 41-49.

**Coutinho, P. N. & Kempf, M.** (1972) — Plataforma continental do Norte, Nordeste e Leste do Brasil: amostras de fundo coletadas pelo NOC. Almté. Saldanha em 1968. 26<sup>o</sup> Congr. Brasil. Geol., Belém, Res. Comun., Simp., Bol. 2: 57; in toto Trab. Oceanogr., Univ. Fed. Pernambuco, Recife, 13 (no prelo).

- Coutinho, P. N. & Macedo, S. J.** (1972) — Estudo químico dos sedimentos na desembocadura do Rio Amazonas. 26º Congr. Brasil. Geol., Belém, 1972. Res. Comun., Simp., Bol. 2: 55; in toto Trab. Oceanogr., Univ. Fed. Pernambuco, Recife, 13 (no prelo).
- Coutinho, P. N. & Morais, J. O. de** (1968) — Distribución de los sedimentos en la plataforma continental Norte y Nordeste del Brasil. FAO, Col. Invest. Rec. Mar Caribe y Regiones adyacentes (Curaçao 1968). Idem Arq. Ci. Mar, Univ. Fed. Ceará, Fortaleza, 10 (1), 1970: 79-90.
- Eskinazi, A. M. & Lima, H. H.** (1968) — Peixes da plataforma continental do N-NE do Brasil. Arq. Est. Biol. Mar., Univ. Fed. Ceará, Fortaleza, 8 (2): 163-172.
- Eskinazi Leça, E.** (1970) — Estudo da plataforma continental na área do Recife (Brasil). IIIª. Diatomáceas do fitoplâncton. Trab. Oceanogr., Univ. Fed. Pernambuco, Recife, 9/11: 59-171.
- (1970) — Shelf off Alagoas and Sergipe (Northeastern Brazil). 3. Diatoms from the São Francisco River mouth. Trab. Oceanogr., Univ. Fed. Pernambuco, Recife, 9/11: 181-192.
- (1972) — Diatomáceas da plataforma continental de Pernambuco. 3º Reun. Brasil. Ficol., Garanhuns (PE), 1972: 2 p. In toto Trab. Oceanogr., Univ. Fed. Pernambuco, Recife, 14 (no prelo).
- Eskinazi-Leça, E. & Passavante, J. Z. de O.** (No prelo) — Estudo da plataforma continental na área de Recife. IV. Aspectos quantitativos do fitoplâncton. Trab. Oceanogr., Univ. Fed. Pernambuco, Recife, 13.
- Eskinazi-Leça, E., Passavante, J. Z. de O. & Nascimento, D. A. do** (1972) — Estudos da plataforma continental na área do Recife. V. Medidas volumétricas do plâncton. Ciênc., Cult. 24 (6) Supl.: 371. In toto Trab. Oceanogr., Univ. Fed. Pernambuco, Recife, 14 (no prelo).
- Fischer-Piette, E., M. Kempf, & A. M. Testud** (1969) — Nouvelles données sur les Veneridae (Moll. Lamellibranches) du Brésil. Bull. Mus. Nat. Hist. Nat., Paris, 2º Sér., 41 (6), (1969-1970): 1.543-1.553.
- Guedes, D. S. & Azevedo, S. B.** (1972) — Contribuição ao estudo da ictiologia com novas ocorrências para Pernambuco. 5º Congr. Brasil. Zool.: 48 & Ciênc. Cult., 24 (6): 362. In toto Trab. Oceanogr., Univ. Fed. Pernambuco, Recife, 13 (no prelo).
- Joly, A. B. & Pereira, S. M. B.** (No prelo) — A new Anadyomene from the tropical American South Atlantic. Rickia, São Paulo. Idem Bol. Inst. Biociênc., Univ. São Paulo.
- Joly, A. B. & Sazima, M.** (1971) — Brazilian deep-water marine algae. Additions to the Brazilian flora 2. Ciênc., 23 (3): 329-332.
- (1971) — Brazilian deep-water marine algae. Additions to the Brazilian flora 3. Ciênc. Cult., 23 (3): 333-336.
- Joly, A. B., Sazima, M. & Semir, J.** (1972) — Brazilian deep-water algae: additions to the Brazilian flora 4. 3º Reun. Brasil. Ficol., Garanhuns (PE), 1972: 1 p.
- Joly, A. B. & Semir, J.** (1972) — Notes on the Caulerpa. 3º Reun. Brasil. Ficol., Garanhuns (PE), 1972: 2 p.
- Kempf, M.** (1969) — Mollusques rares des côtes du Brésil. Bull. Mus. Nat. Hist., Paris, 2º Sér., 41 (2): 555-564.
- (1970) — Nota preliminar sobre os fundos costeiros da região de Itamaracá (N do Estado de Pernambuco, Brasil). Trab. Oceanogr., Univ. Fed. Pernambuco, Recife, 9/11: 95-110.
- (1970) — A plataforma continental de Pernambuco (Brasil): nota sobre a natureza do fundo. Trab. Oceanogr., Univ. Fed. Pernambuco, Recife, 9/11: 11-124.
- (1970) — Notes on the benthic bionomy of the N-NE Brazilian shelf. Mar. Biol., 5 (3): 213-224.
- (1972) — A plataforma continental da costa Leste brasileira, entre o Rio São Francisco e a Ilha de São Sebastião (10º30' 25º lat. S): nota sobre os principais tipos de fundo. 26º Congr. Brasil. Geol., Belém, Res. Comun., Simp., Bol. 2: 55; in toto An. Hidrogr., Min. Mar., Rio de Janeiro, 28 (1970) (no prelo).
- (No prelo) — Shelf off Alagoas and Sergipe (Northeastern Brazil). 5. Station list and notes on benthic bionomy. Trab. Oceanogr., Univ. Fed. Pernambuco, Recife, 13.
- (No prelo) — Perspectiva de aproveitamento industrial das algas calcárias do litoral nordestino. Publ. Inst. Pesq. Mar., Min. Mar., Rio de Janeiro.
- Kempf, M., Coutinho, P. N. & Morais, J. O. de** (1968) — A plataforma continental do N-NE do Brasil: nota preliminar sobre a natureza do fundo. Diret. Hidrogr. Naveg.

- Min. Mar., Rio de Janeiro, DG 26 (11): 579-600. Idem Trab. Oceanogr., Univ. Fed. Pernambuco, Recife, 9/11, 1970: 9-26.
- Kempf, M. Mabesoone, J. M. & Tinoco, I. de** (1970) — Estudo da plataforma continental na área do Recife (Brasil). 1. Generalidades sobre o fundo. Trab. Oceanogr., Univ. Fed. Pernambuco, Recife, 9/11: 125-148.
- Kempf, M. & Matthews, H.** (1968) — Marine Molluscs from N-NE Brazil. 1. Preliminary list. Arq. Est. Biol. Mar., Univ. Fed. Ceará, Fortaleza, 8 (1): 87-94. Idem Diret. Hidrogr. Naveg., Min. Mar., Rio de Janeiro, DG 26 (12): 221-236.
- (1969) — Occurrence of the genus *Malea* Val. 1823 in Atlantic waters, with description of a new species (Moll. Gastropoda). Arq. Ci. Mar. Univ. Fed. Ceará, Fortaleza, 9 (1): 57-62.
- Koening, M. L.** (1972) — Ocorrências de *Accalathura crenulata* (Richardson) no Brasil (Isopoda Paranthuridae). 5º Congr. Brasil. Zool.: 42. In toto in trab. Oceanogr., Univ. Fed. Pernambuco, Recife, 13.
- (1972) — Uma nova espécie do genero *Mesanthura* Barnard 1914 do Brasil (Isopoda Anthuridae). 5º Congr. Brasil. Zool.: 47-48. Idem Ciênc. Cult. 24 (6): 361-362. In toto Trab. oceanogr., Univ. Fed. Pernambuco, Recife, 13 (no prelo).
- (No prelo) — Nota sobre a ocorrência de alguns Isópodos no Norte e Nordeste do Brasil. Trab. Oceanogr., Univ. Fed. Pernambuco, Recife, 13.
- Laborel, J.** (1967) — Les peuplements de Madréporaires des côtes tropicales du Brésil. Thèse Fac. Sci. Marseille, Ao, 1856: 313 p.
- (1969-1970) — Madréporaires et Hydrocolliaires récifaux des côtes brésiliennes. Systématique, écologie, répartition verticale et géographique. Camp. Calypso côtes Atlp. Amériques S 1969-62. Ann. Inst. Oceanogr., Paris, 47: 171-229.
- Luna, J. A.** (1970) — Shelf off Alagoas and Sergipe (Northeastern Brazil). 4. Polychaetous Annelids (preliminary report). Trab. Oceanogr., Univ. Fed. Pernambuco, Recife, 9/11: 193-222.
- Mabesoone, J. M.** (1968) — Formigo de maraj kalkstonoj en tropikaj akvoj; ekzemploj de Nordorienta Brazilo. Geol. Internacia. Praha, 1: 19-35.
- (1970) — Estudo petrográfico comparativo dos calcários do Nordeste. 24º Congr. Brasil. Geol., Brasília, Res. Conf. Comun., Bol. esp. 1: 334-336.
- (1971) — Recent marine limestones from shelf off tropical Brasil. Geol. Mijnbouw, 50: 451-460.
- (1971) — Calcários recentes do litoral nordestino. Estudo Sedimentol., Natal, 1: 45-54.
- (1971) — Fácies sedimentares da plataforma continental brasileira. Estud. Sedimentol. Natal, 1: 55-71.
- Mabesoone, J. M. & Coutinho, J. P.** (1970) — Littoral and shallow marine geology of northern and northeastern Brazil. Trab. Oceanogr., Univ. Fed. Pernambuco, Recife, 12: 212 p.
- Mabesoone, J. M., Kempf, M. & Coutinho, P. N.** (1972) — Characterization of surface sediments on the northern and eastern Brazilian shelf. 26º Congr. Brasil., Geol. Belém, Res. Comun., Simp., Bol. 2: 57; in toto Trab. Oceanogr., Univ. Fed. Pernambuco, Recife, 13 (no prelo).
- Mabesoone, J. M. & Tinoco, I. de M.** (1967) — Shelf off Alagoas and Sergipe (Northeastern Brazil). 2. Geology. Trab. Inst. Oceanogr., Univ. Fed. Pernambuco, Recife, 7/8: 151-185.
- Marcus, E. d. B. — R.** (1970) — Opisthobranchs from Northern Brazil. Bull. Mar. Sci., Miami, 20 (4): 922-951.
- (No prelo) — Lista de Opisthobranchia (Moll. Gastropoda) coletados pelo Laboratório de Ciências do Mar, Recife, Brasil. Trab. Oceanogr., Univ. Fed. Pernambuco, Recife, 13.
- Marcus, E. & E.** (1969) — Euthyneure Meeresschmecken Brasiliens (2). Beitr. neotrop. Fauna, Stuttgart, 6 (1): 1-16.
- (1970) — Opisthobranchs from Curaçao and faunistically related regions. Stud. Fauna Curaçao, 33: 1-129.
- Matthews, H. R. & Coelho, A. d. S.** (No prelo) — Superfamília Tonnacea do Brasil. IV Família Cassidae (Mol. Gastrop.). Arq. Ci. Mar., Univ. Fed. Ceará, Fortaleza.
- Matthews, H. & Kempf, M.** (1970) — Moluscos marinhos do N-NE do Brasil. 2. Moluscos de Fernando de Noronha (com algumas referências ao Atol das Rocas). Arq. Ci. Mar, Univ. Fed. Ceará, Fortaleza, 10 (1): 1-53.

- Métivier, B.** (1972) — Sur quelques Fissurellidae (Mollusques Gastéropodes) du Nord et du Nord-Est du Brésil. *Bull. Mus. Nat. Hist. Nat., Paris*, 3<sup>o</sup> Sér., 38, Zool. 32: 405-415.
- (No prelo) — Sur quelques Fissurellidae (Mollusques Gastéropodes) du Nord et du Nord-Est du Brésil (suite). *Bull. Mus. Nat. Hist. Nat., Paris*, 3<sup>o</sup> Sér., 38, Zool. 32: 405-415.
- (No prelo) — Fissurellidae (Moll. Gastropoda) do Norte e Nordeste do Brasil, Lista preliminar. *Trab. Oceanogr., Univ. Fed. Pernambuco, Recife*, 13.
- Nonato, E. F. & Luna, J. A.** (1970) — Sobre alguns Poliquetas de escama do Nordeste do Brasil. *Bol. Inst. Oceanogr., São Paulo*, 18 (1): 63-91.
- (1970) — Anelideos Poliquetas do Nordeste do Brasil. I. Poliquetas bentônicas da costa de Alagoas e Sergipe. *Bol. Inst. Oceanogr., São Paulo*, 19: 57-130.
- Paranaguá, M. M.** (1970) — Estudo da plataforma continental na área do Recife. IIIb. Composição e variação do zooplâncton. *Trab. Oceanogr., Univ. Fed. Pernambuco, Recife*, 9/11: 173-180.
- Passavante, J. Z. de O.** (1972) — Estudo preliminar dos Dinoflagelados da plataforma continental de Pernambuco (Brasil). 3<sup>o</sup> Reun. Brasil. Ficol. Garanhuns (PE), 1972; 2 p. In toto *Trab. Oceanogr., Univ. Fed. Pernambuco, Recife*, 14 (no prelo).
- Righi, G.** (1969) — Notas zoogeográficas sobre os Polyplacophora brasileiros. *Ciê. Cult.* 21: (2): 461-462.
- (1971) — Moluscos polioplacóforos do Brasil. *Pap. av. Zool., São Paulo*, 24 (9): 123-146.
- (No prelo) — Adições aos Polyplacophora brasileiros. *Pap. av. Zool., São Paulo*.

- Tinoco, I. de Mã** (1970) — Foraminíferos dos bancos imersos ao largo da costa nordestina, Recife, Atol das Rocas e Arquipélago Fernando de Noronha, 1<sup>o</sup> Simp. Brasil. Paleontol., Rio de Janeiro, Res. Comun. Temas livres: 16.
- (1971) — Distribuição dos Foraminíferos na plataforma continental do Norte-Nordeste do Brasil. *An. 3<sup>o</sup> Congr. Brasil. Zool., Arq. Mus. Nac., Rio de Janeiro*, 54.
- (1972) — Sugestões para estudo dos componentes bióticos dos sedimentos marinhos recentes. 26<sup>o</sup> Congr. Brasil. Geol., Belém, Res. Comun., Simp., Bol. 2: 41.
- (1972) — Estabelecimento e desenvolvimento da Província biogeográfica das Índias Ocidentais. 26<sup>o</sup> Congr. Brasil. Geol., Belém, Res. Comun., Simp., Bol. 2: 41.
- Van Mol, J. J., Tursch, B. & Kempf, M.** (1967) — Les Conidae du Brésil. *Ann. Inst. Oceanogr., Paris*, 45 (2): 223-255.
- (1971) — Further notes on Brazilian Conidae. *Zool. Meded., Leiden*, 45 (15): 161-166.

#### AGRADECIMENTOS

Agradeço às entidades públicas (Conselho Nacional de Pesquisas, Diretoria de Hidrografia e Navegação da Marinha, Superintendência para o Desenvolvimento do Nordeste, Universidade Federal de Pernambuco, que organizaram ou permitiram as referidas prospecções, aos diretores do Laboratório de Ciências do Mar que sempre apoiaram esta pesquisa, aos responsáveis e tripulantes dos barcos que garantiram o trabalho no mar, aos pesquisadores e técnicos embarcados ou colaborando em terra no tratamento e no estudo do material coletado.

#### REFERÊNCIAS

- CAVALCANTI, L. B.; COELHO, P. A.; KEMPF, M. MABESOONE, J. M. & SILVA, O. C. da (1967) — Shelf off Alagoas and Sergipe (Northeastern Brazil). 1. Introduction. *Trab. Oceanogr., Univ. Fed. Pernambuco, Recife*, 7/8: 137-150.
- COUTINHO, P. N. & KEMPF, M. (1972) — Plataforma continental do Norte, Nordeste e Leste do Brasil: amostras de fundo coletadas pelo N. Oc. Alte, Saldanha em 1968. 26<sup>o</sup> Congr. Brasil. Geol., Res. Comun., Simp., 2, Belém: 57; in toto *Trab. Oceanogr., Univ. Fed. Pernambuco, Recife*, 13 (no prelo).
- D. H. N. (1968) — XXXV<sup>o</sup> comissão oceanográfica "Operação Norte-Nordeste I", NOc "Almirante Saldanha" (14-9 — 16-12-1967). *Diret. Hidrogr. Naveg., Min. Mar., Rio de Janeiro, DG 26 (11): 600 p.*
- (1969) — XXXV<sup>o</sup> comissão oceanográfica "Operação Norte-Nordeste II", NOc "Almirante Saldanha" (2-4 — 1-6-1968). *Diret. Hidrogr. Naveg., Min. Mar., Rio de Janeiro, DG 26 (12): 236 p.*
- (No prelo a) — XXXVIII<sup>o</sup> comissão oceanográfica "Operação Pesca Norte", NOc "Almirante Saldanha" (22-11 — 8-12-1968). *Diret. Hidrogr. Naveg., Min. Mar., Rio de Janeiro, DG 26 (14).*

- (Em preparo c) — XLIX comissão oceanográfica "Operação Sul I", NOc "Almirante Saldanha". *Diret. Hidrogr. Naveg., Min. Mar., Rio de Janeiro, DG 26 (17).*
- (Em preparo b) — XLVI<sup>o</sup> comissão oceanográfica "Operação Geomar III", NOc "Almirante Saldanha". *Diret. Hidrogr. Naveg., Min. Mar., Rio de Janeiro, DG 32 (3).*
- (Em preparo c) — XLIX<sup>o</sup> comissão oceanográfica "Operação Sul II", NOc "Almirante Saldanha". *Diret. Hidrogr. Naveg., Min. Mar., Rio de Janeiro, DG 26 (21).*
- KEMPF, M. (1970a) — Nota preliminar sobre os fundos costeiros da região de Itamaracá (N do Estado de Pernambuco, Brasil). *Trab. Oceanogr. Univ. Fed. Pernambuco, Recife*, 9-11: 95-110.
- (1970b) — A plataforma continental de Pernambuco (Brasil): nota preliminar sobre a natureza do fundo. *Trab. Oceanogr., Univ. Fed. Pernambuco, Recife*, 9-11: 111-123.
- (No prelo) — Shelf off Alagoas and Sergipe (Northeastern Brazil). 5. Station list and notes on benthic bionomy. *Trab. Oceanogr., Univ. Fed. Pernambuco, Recife*, 13.
- (1972) — A plataforma continental da costa Leste brasileira, entre o Rio São Francisco e a Ilha de São Sebastião (10<sup>o</sup> — 25<sup>o</sup> lat. S): nota sobre os principais tipos de fundo. 26<sup>o</sup> Congr. Brasil. Geol., Belém, Res. Comun., Simp., Bol. 2: 55. In toto *An. Hidrogr., Min. Mar., Rio de Janeiro*, 28, 1970 (no prelo).
- KEMPF, M.; COUTINHO, P. N. & MORAIS, J. O. de (1968) — Plataforma continental do N e NE do Brasil: nota preliminar sobre a natureza do fundo. *Diret. Hidrogr. Naveg., Min. Mar., Rio de Janeiro, DG 26 (11) — 579-600.* *Idem Trab. Oceanogr., Univ. Fed. Pernambuco, Recife*, 9-11, 1970: 9-26.
- KEMPF, M.; MABESOONE, J. M. & TINOCO, I. de M. (1970) — Estudo da plataforma continental na área do Recife (Brasil). 1. Generalidades sobre o fundo. *Trab. Oceanogr., Univ. Fed. Pernambuco, Recife*, 9-11: 125-148.
- LABOREL, J. (1967) — Les peuplements de Madréporaires des côtes tropicales du Brésil. Thèse Fac. Sci. Marseille, Ao. 1856: 313 p.
- MABESOONE, J. M. & COUTINHO, P. N. (1970) — Littoral and shallow marine geology of northern and northeastern Brazil. *Trab. Oceanogr., Univ. Fed. Pernambuco, Recife*, 12: 212 p.
- MABESOONE, J. M.; KEMPF, M. & COUTINHO, P. N. (1972) — Characterization of surface sediments on the northern and eastern Brazilian shelf. 26<sup>o</sup> Congr. Brasil. Geol., Belém, Res. Comun., Simp., Bol. 2: 57. In toto *Trab. Oceanogr., Univ. Fed. Pernambuco, Recife*, 13 (no prelo).
- MARTINS, L. R.; GORINI, M. A. POMERANCBLUM, M.; CARVALHO, J. C.; CUNHA, R. & MARTINS, I. R. (1972) — Operação Geomar II. Relatório. *Diret. Hidrogr. Naveg., Min. Mar., Rio de Janeiro, DG 32 (2): 80 p.*
- PICARD, J. (1965) — Recherches qualitatives sur les biocénoses marines des substrats meubles dragables de la région marseillaise. Thèse Fac. Sci. Marseille: 160 p.
- REYS, J. P. & SALVAT, B. (1971) — L'échantillonnage de la macrofaune des sédiments meubles marins. Ch. 5: 185-242 in Lamotte, M. & Bourlière, F. (Edit.). *Problèmes d'écologie: l'échantillonnage des peuplements animaux de milieux aquatiques.* Masson & Cie, Paris: 294 p.
- SUDENE (1969) — Projeto Akaroa. Superintend. Desenvol. Nordeste, Recife, Doc. Pesca 19: 55 p.
- ZEMBRUSCKI, S. G.; GORINI, M. A.; PALMA, J. J. C. & COSTA, M. O. A. (1971) — Fisiografia e distribuição dos sedimentos superficiais da plataforma continental Norte brasileira. *Bol. Técn. Petrobrás, Rio de Janeiro*, 14 (3/4): 127-155.
- (1972) — Operação Geomar I. Relatório. *Diret. Hidrogr. Naveg. Min. Mar., Rio de Janeiro, DG 32 (1): 70 p.*

# CHARACTERIZATION OF SURFACE SEDIMENTS ON THE NORTHERN AND EASTERN BRAZILIAN SHELF<sup>(1)</sup>

Por

JANNES M. MABESOONE<sup>(2)</sup>

Instituto de Geociências da Universidade Federal de Pernambuco

MARC KEMPF

Laboratório de Ciências do Mar da Universidade Federal de Pernambuco

PAULO NÓBREGA COUTINHO<sup>(4)</sup>

Instituto de Geociências e Laboratório de Ciências do Mar da  
Universidade Federal de Pernambuco

## ABSTRACT

Calcareous bottom deposits are the most abundant on the Brazilian tropical shelf. Due to mixing of element of different origin, grain-size distribution does not characterize such deposits. Therefore, composition of the sediment is the main criterion for distinction. Four facies have been recognized: quartz sand, mud, biotrital sand, and algal fragments.

## INTRODUCTION

Data published on the character of surface sediments, sampled from shelf bottoms around the world, utilize generally standard grain-size analyses to show distribution of gravels, sands, muds and their mixtures. Distribution of calcium carbonate content and fauna (foraminifera, mollusks, etc.) usually is given less significance, if reported at all.

The shelf area off northern and northeastern Brazil, between Cape Orange and the Tropic of Capricorn, recently investigated by the authors (summaries: Kempf, Coutinho & Moraes, 1970; Kempf, 1970b; Mabesoone & Coutinho, 1971; Mabesoone, 1971), is composed mainly of calcareous sediments, requiring an alteration of the classical analytical scheme. The terrigenous quartz sand zone, as well as the muddy bottoms, are important only at the extremes of the area: the Amazonian shelf and South of Cape Frio. For a better understanding of the sediment distribution, some ge-

neral oceanographical features of this portion of the Brazilian shelf must be considered.

**Acknowledgments.** — The authors wish to thank Dr. J. D. Milliman, Woods Hole Oceanographic Institution, for reading manuscript and providing useful suggestions.

## OCEANOGRAPHIC CONDITIONS

The physiography of the shelf shows two different types of cross-sections (1). The «tropical» area, between the Pará River mouth and Cape Frio (Fig. 1, for all topographical and other reference) shows an almost flat shelf bottom profile, finishing at a depth of 60-70 m, with an abrupt break to a fairly steep continental slope. The major extent of the bottom has a depth less than 50 m. The shelf width varies between 5 and 115 nautical miles, exception made of the broad Abrolhos area. The oceanic banks possess the same flat bottom with a 50-70 m depth and a steep slope. (2) Towards North, «equatorial» area, from the Pará River

(1) Trabalho no prelo em: Trabalhos Oceanográficos nº 13, Universidade Federal de Pernambuco, Recife.

(2) Professor Conferencista honorário do Conselho Nacional de Pesquisas.

(3) Endereço atual: Instituto de Pesquisas da Marinha, Rua Ipirú s/nº, Ilha do Governador ZC-32, Rio de Janeiro.

(4) Pesquisador Assistente do Conselho Nacional de Pesquisas.

to Cape Orange, as well as towards South, «sub-tropical» area, from Cape Frio southwards, the shelf is wider, chiefly the 50-200 m depth zone, occurring the break at this latter depth. In the northern area, the 50-100 m depth zone is more extensive; in the southern area, it is the 100-200 m zone.

Hydrologically, there exists a similar contrast between the tropical region, with high salinity and clear waters, and both other regions, North and South, with a lower salinity and more suspended matter. The greater part of the tropical area undergoes direct influence from the South-Equatorial Current which divides into two branches near the northeastern point of Brazil (North Brazilian Coastal Current and Brazil Current). The NE part of the continent has a semi-arid climate, resulting in reduced supply of terrigenous material to the shelf. This leads to stable conditions of salinity, temperature and water transparency, favorable for the growth of vegetal life (calcareous algae) and hermatypical corals, to depths of almost 100 m. In the North West, the continental influence increases considerably near the Amazon and is substituted by the so-called «littoral» and «shelf» waters, with marked terrigenous contribution.

The bottom deposits reflect thus the above mentioned factors. It has been suggested that these conditions, with respect to the oceanic circulation of the South-Atlantic Ocean, have remained the same since the Late Cretaceous (Fell, 1967).

#### GRAIN-SIZE DISTRIBUTION

For the first detailed survey realized on the northeastern Brazilian shelf, in the São Francisco River region (Mabesoone & Tinoco, 1967), grain-size analysis of the samples was made with disappointing results. On the shelf, seven groups of sediments with similar size characteristics have been recognized: gravels (20% of total samples), muddy sand-gravels (11%), gravelly sands (22%), muddy sands (11%), sandy muds (7%), pure muds (22%) and mixed fractions (7%).

However, the areal distribution of these size groups on the shelf is extremely irregular and without significance in itself (op. cit., p. 156, fig. 2). Along the sandy shores where beach rocks are abundant, sandy muds and sands can be found. On the rather flat shelf bottom, gently dipping from 20 to 70 m depth, all types occur. Near the shelf edge, the de-

posits are sandy gravels, gravelly sands, mixed types and even muds. Only at the São Francisco River mouth, where a canyon exists, are the muds dominant, thus being an exception to the general rule. Cumulative size frequency curves show plurimodal forms. This means that the sediment is composed of a mixture of material from various origins, transported or developed «in situ», although the curves permit by no means a separation of the material.

As general conclusion, it may be mentioned that grain-size analysis is of no help in the interpretation of the origin and provenance of the mainly calcareous shelf bottom deposits of tropical Brazil. One exception can be made: the terrigenous quartz sands of the littoral zone. Due to provenance, these sands might show different dominant size classes. In this way it was detected that the dunes of the coastal area West of Cape São Roque contributed a certain quantity of fine quartz to the shelf. Also in front of the Parnaíba River delta the river supply was thus discovered.

#### BOTTOM FACIES

Thus the composition of the sediment is the most important feature to be taken into consideration. The following bottom facies have therefore been distinguished, sometimes showing local subfacies types:

(1) **Littoral quartz sand facies** — A near-shore deposit composed of quartz grains with a certain admixture of organisms. Due to its position — the littoral area being highly complex — the bottom sediments vary from one place to another although quartz grains remain dominant. Therefore, a number of subfacies can be recognized, the most important of which are: (a) **sandy** — well-rounded, glossy, quartz with a small percentage of organisms such as calcareous algae, benthonic foraminifera, molluscs and broken fragments; (b) **muddy** — silty to clayey mud, found at quiet places, small in extent, characterized by a poor microfauna, generally impoverished, thin and transparent tests of the same species found in the sandy environment; (c) **reef** — detrital material broken from coral and algal reefs established on submerged beach rocks (incrusting *Melobesiae*, *Halimeda* present or not).

(2) **Mud facies** — This type is not the same as the muddy subfacies of the aforementioned littoral zone but it represents large areas covered with silty to clayey terrigenous depo-

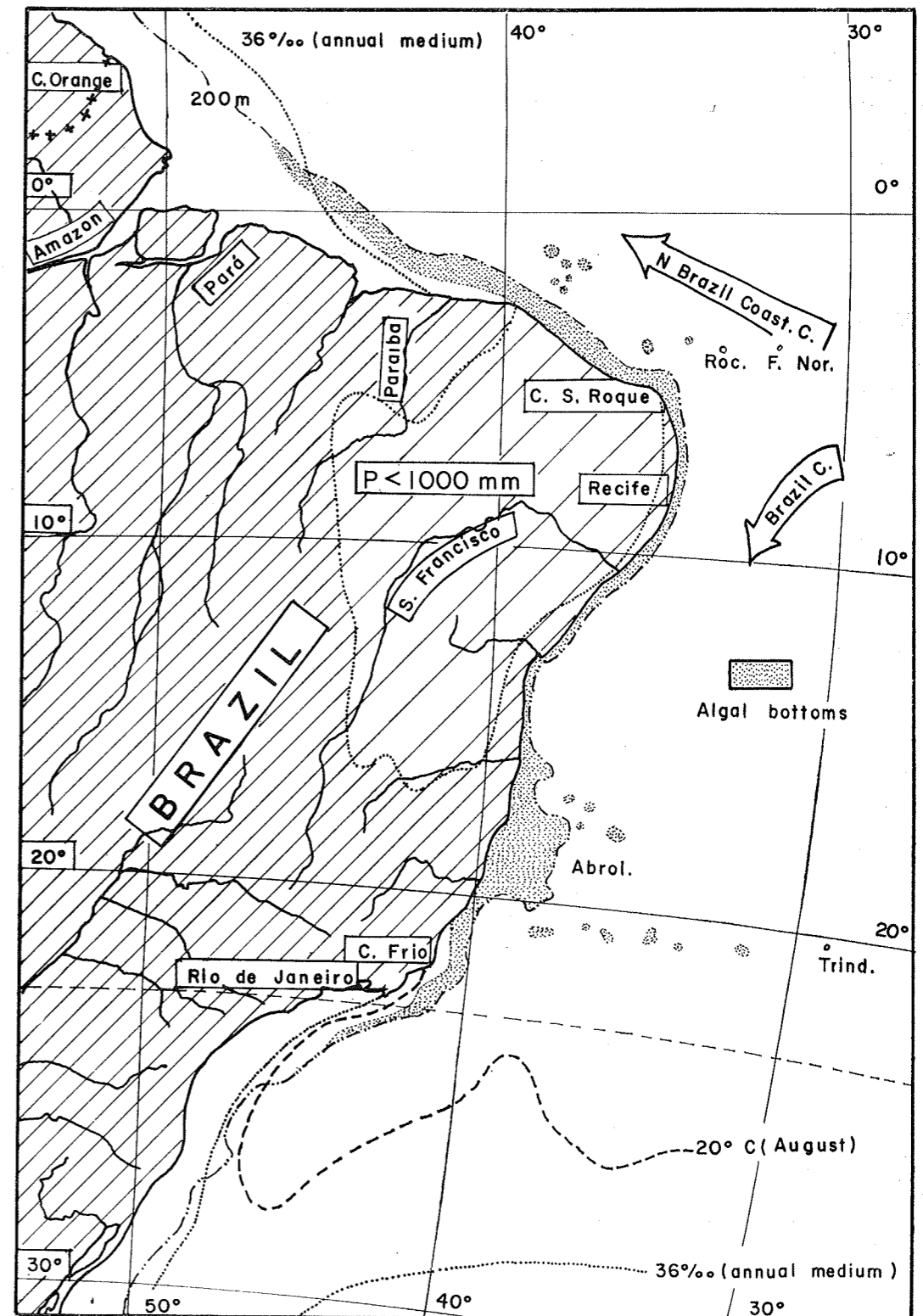


Fig. 1 — Northern and eastern Brazilian shelf: general environmental conditions. (P 1.000 mm/year = surface water data. 200 m line = shelf edge (arbitrary)).

sits. Microfaunal elements are almost absent, this being a factor of distinction from the littoral muddy zone. The most extensive occurrence is off the Amazon mouth in a north-westerly direction. South of Cape Frio, there occur some muddy patches on the shelf. At the São Francisco River mouth the mud is also locally important, but at the mouths of other rivers such occurrences are very small.

(3) **Biotrital facies** — Shows sediments composed dominantly of fragments with an almost total absence of quartz. The determinable organisms are calcareous algae, foraminifera, bryozoans, molluscs and some corals. The calcareous algae, when dominant and alive, constitute a separate facies mentioned below. The biotrital facies occurs chiefly near the shelf break, at depths below 60 m. It is also found where calcareous algae are rare and in unfavorable conditions. However, biotrital deposits at places where algae are also abundant, can be interpreted as relic; such occurrences have been considered as a subfacies.

(4) **Algal facies** — This facies shows a bottom composed of more than 90% of calcareous algae, living and constructive at the surface. Due to its extent on the tropical Brazilian shelf, being the dominant facies between Cape Frio and the Parnaíba River mouth and decreasing in importance towards the North-West up to about 2°N, the deposit was considered a separate facies. Where the friable *Halimeda* articles constitute more than 50% of the material, a *Halimeda* subfacies was mapped.

Between these facies, zones of mixtures occur. They are often too narrow for representation on a small scale map. Only three mixed facies types are of regional importance:

(1/2) **Mixed quartz and mud facies** — Especially frequent off the Amazon mouth, where the enormous supply of terrigenous mud is partly mixed with sandy material.

(1/3) **Mixed quartz sand and biotrital facies** — A bottom deposit showing a more or less equal distribution of quartz grains and fragments of organisms. It occurs as a wide zone where also the quartz sand facies has a considerable extent, that is on the eastern Amazonian shelf.

(3/4) **Biotrital facies with algal concretions** — A special facies in which the sand-size fraction is composed of fragments of various organisms on which cobble and boulder-

size concretions of different origin occur. The nuclei of the concretions may be sand, even sandstone, bryozoans or calcareous algae; they are partly covered by *Melobesia*. This mixed facies is found where calcareous algae cannot dominate anymore due to unfavorable conditions, that is on the lower and lateral margin of their living range.

For the area off Recife (Kempf, Mabesoone & Tinoco, 1970, Figs. 4 and 5), a general sediment distribution pattern was established, which may be valid for the rest of the Brazilian tropical shelf. Alongside the coast, the littoral facies dominates, with sandy, muddy and reef subfacies, respectively. The quartz sand deposit is also found at the seawards side of the reefs, down to a depth of about 15 m. Between 15 and 20 m, a zone of mixed material, quartz and biotrital sand, is found. Below 20 m, down to the shelf break at about 70 m, the algal facies dominates, with a patch of *Halimeda* concentration (subfacies). The biotrital facies is found near the shelf edge in a very narrow zone. On the calcareous bottoms a rich organic life exists; the benthic bionomy of the area is given in Kempf (1970a). The results of all the studies, considered together indicate why the grain-size distribution is so irregular.

#### CONCLUSION

Generally the grain-size distribution of a sediment should reflect local transportation and accumulation conditions of the place where the sample was taken. The irregular distribution found in the area is due to the authigenous calcareous bottom. Part of the fine material is probably trapped in the interspaces of the algal structures. Dead and fossil shells and tests, besides the growth forms of calcareous algae, all of different sizes, make the bottom deposit a mixture of material of various sizes. A separation based on size is therefore impossible. A separation based on the surface aspect of the proper material may give some results, the ancient material being more worn. In this case, the facies can only be determined and characterized by a study of its components.

At greater shelf depths, between 40 and 70 m, some organisms and their fragments, determined in the sediment, proved not to be representative for that depth. It was found that the actual contribution of living organisms to the sediment decrease with increasing depth. In this case, only the comparison with

the actual living benthic populations may lead to some decisive conclusions. Above 40 m, the greater part of the sediment is thus of more recent age; living *Lithothamnium* and *Halimeda* are found to contribute a lot of new material to the bottom deposit.

The facies characterization of the shelf bottom deposits presented here thus proves to be the most useful method for the sedimentological and biological study of the tropical Brazilian shelf.

#### REFERENCES

- BÖHNECKE, G. (1936) — Temperatur, Salzgehalt und Dichte an der Oberfläche des Atlantischen Ozeans. *Wiss. Ergeb. deutsch. atlant. Exped. "Meteor"*, 1925-27, 5, Atlas.
- FELL, H. B. (1967) — Cretaceous and Tertiary surface currents of the oceans. *Oceanogr. mar. Biol., ann. Rev.*, 5: 317-341.
- KEMPF, M. (1970) — Notes on the benthic bionomy of the N-NE Brazilian shelf. *Mar. Biol.*, 5: 213-224.
- (1970b) — A plataforma continental da costa Leste brasileira, entre o Rio São Francisco e a Ilha de São Sebastião (10°30' — 25° Lat. S). Nota sobre os principais tipos de fundo. *An. hidrogr., Diret. Hidrogr. Naveg., Min. Mar., Rio de Janeiro*, 28 (1970), in press.
- KEMPF, M.; COUTINHO, P. N. & MORAIS, J. C. de (1970) — Plataforma continental do Norte e Nordeste do Brasil. Nota preliminar sobre a natureza do fundo. *Trab. oceanogr., Univ. fed. Pernambuco, Recife*, 9-11 (1967-69): 125-148.
- KEMPF, M.; MABESOONE, J. M. & TINOCO, I. M. (1970) — Estudo da plataforma continental da área do Recife (Brasil). 1. Generalidades sobre o fundo. *Trab. oceanogr., Univ. fed. Pernambuco, Recife*, 9-11 (1967-69): 125-148.
- MABESOONE, J. M. (1971) — Fácies sedimentares da plataforma continental brasileira. *Estud. sedim., Natal*, 1: 55-71.
- MABESOONE, J. M. & COUTINHO, P. N. (1970) — Littoral and shallow marine geology of northern and northeastern Brazil. *Trab. oceanogr., Univ. fed. Pernambuco, Recife*, 12 (1970): 212 p.
- MABESOONE, J. M. & TINOCO, I. M. (1967) — Shelf off Alagoas and Sergipe (Northeastern Brazil). 2. Geology. *Trab. Inst. oceanogr., Univ. fed. Pernambuco, Recife*, 7-8 (1965-66): 151-186.

# PALEOGEOGRAFIA DO QUARTENÁRIO SUPERIOR NA PLATAFORMA CONTINENTAL NORTE BRASILEIRA

Por

MARIA EUGENIA C. MARCHESINI SANTOS<sup>(1)</sup>

## A B S T R A C T

During GEOMAR — II and III Cruises in 1970 and 1971, the Northern Brazilian Continental Shelf was surveyed during the Amazon Project established in the Multiannual Programme of Geophysics and Marine Geology. The research was carried out by the Oceanographic Ship "Almirante Saldanha" of the Brazilian Navy.

Studying the carbonate fraction and its relations with other parameters determining the sedimentary facies, several constituents were recognized to be a mixture of modern and relict ones. There is a large control by shelf morphology, showing a stratigraphic model interpreted in terms of environmental shifts against time.

The sequence has a masked vertical column: a lower regressive surface with erosional unconformity, a level of lower limit where the sea stood during the Late Wisconsin time and a holocene transgression.

## INTRODUÇÃO

O presente trabalho, executado dentro das metas fixadas pelo Programa Plurianual de Geofísica e Geologia Marinha, reúne as conclusões obtidas pelo estudo da fração carbonática nos sedimentos superficiais da Plataforma Continental Norte Brasileira. Estes resultados do denominado Projeto Amazonas incluem as áreas recobertas pelas operações GEOMAR — II e III.

De acordo com o planejamento prévio foi cumprido o estudo de «biodetritos», objetivando principalmente, o reconhecimento das condições ecológicas e paleoecológicas que fornecessem apoio à compreensão da geologia de superfície.

As tendências gerais dos foraminíferos são também analisadas, desde que são importantes componentes para a geologia de subsuperfície.

Para a interação com os processos controladores da seqüência sedimentar, os organismos são visualizados estritamente como parâmetros definidores de fácies. Segundo o esquema de Selley (1970) a interpretação é feita numa aproximação interdisciplinar.

Pela relação dos elementos determinados com a morfologia submarina, foi diferenciada a evolução paleogeográfica durante o intervalo Wisconsiniano Superior — Recente.

## TRABALHOS ANTERIORES

Na região amazônica, as operações de caráter geológico foram iniciadas pelo Navio Oceanográfico «Almirante Saldanha», em 1958. As amostras recolhidas foram estudadas por Ottman (1960) que delineou as fácies sedimentares e Tinoco (1959) que apresentou uma lista prévia dos foraminíferos.

Decorrentes das Operações Norte-Nordeste em 1967 e 1968, também efetuadas pelo Navio Oceanográfico «Almirante Saldanha», Kempf et Alii (1970) apresentaram um panorama geral da natureza do fundo; Coutinho & Mouraes (1970) deram a distribuição dos sedimentos; Kempf & Matthews (1968) listaram os moluscos ocorrentes na área, Coelho (1970) estudou os crustáceos e Kempf (1970) resumiu a bionômia bentônica.

Outros trabalhos que envolvem interesse na área são de Tinoco (1970) que procedeu a distribuição de foraminíferos em relação às fácies; Mabesoone (1971) que deu distribuição global de fácies na Plataforma Continental Brasileira. Em Oceanografia, Gibbs (1967,

(1) Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais — Projeto REMAC.



1970) vem estudando a circulação do Rio Amazonas e do oceano adjacente, assim como a Diretoria de Hidrografia e Navegação do Ministério da Marinha.

Das Comissões de Geologia Marinha (Geomar), iniciadas em 1969, resultaram trabalhos de: Zembruiski et Alii (1971), Pomerancblum & Costa (1972a, b), Bandeira (1970), Santos (1971) para a Geomar-I; Gorini et Alii (1971), Martins (1971), Formoso (1971), Martins (1971), Formoso (1971), Pomerancblum (1971), Santos & Carvalho (1971), Lima & Campanha (1971), Martins et Alii (1971), para a Geomar-II.

Quanto a origem da Plataforma Continental Norte Brasileira, Rezende & Ferradaes (1971) sintetizaram a sua evolução tectônica e Schaller & Vasconcellos (1971) analisaram a seqüência estratigráfica.

Russel (1967) discutindo a origem dos estuários discorre sobre a geomorfologia do vale do Amazonas e as relações concernentes às flutuações glácio-eustáticas.

#### AREA DE TRABALHO

As comissões Geomar-II e III tiveram por finalidade o detalhamento da região fronteira à embocadura do Rio Amazonas no Estado do Pará, até ao largo do cabo Orange no território do Amapá, delimitada entre as longitudes 47° W Gr e 51° W Gr.

Coube à Geomar-II varrer a sub-área compreendida pelas coordenadas: lat. 2°N e 4° 30' N e long. 47° 30' W Gr e 50° W Gr em setembro/novembro de 1971.

A Geomar-III completou a área estabelecida (sub-área entre as lat. 01° 02' 00" N e 02° 29' N e as long. 47° 24' 00" W Gr e 48° 48' 00" W Gr — sub-área entre as lat. 03° 10' 00" N e 05° 17' 00" N e as long. 49° 21' 00" W Gr e 51° 07' 00" W Gr).

Na fig. 1 são apresentadas as localizações das estações plotadas em cartas GEBCO na escala 1:1.000.000.

As amostras de sedimento foram processadas inicialmente como parte da rotina de bordo. Descritas preliminarmente com lupa binocular foram analisadas a composição do sedimento, granulometria, mineralogia e natureza da fração carbonática.

#### RESUMO GEOLOGICO

Esta região da Margem Continental Norte Brasileira resulta do preenchimento de uma

bacia relativamente antiga — Bacia da Foz do Amazonas que, sob controle tectônico, sofreu uma longa história da subsidência e deposição (Rezende & Ferradaes, 1971; Shaller & Vasconcellos, 1971). São conhecidos sedimentos do Cretáceo ao Recente que repousam discordantemente sobre o Precambriano ou sobre remanescentes da Bacia Paleozóica do Amazonas.

Seus últimos ciclos históricos foram acompanhados de regressão e transgressão, motivadas principalmente por flutuações do nível do mar, em fenômenos semelhantes aos ocorridos em outras plataformas mundiais (Emery, 1968).

Algumas feições superficiais são indicadoras desta origem, como a extensa ocorrência de areias relíquias entre a costa do Maranhão e Salinópolis no Pará (Zembruiski et Alii, 1971; Pomerancblum & Costa, 1972a) e os numerosos canais paralelos e transversais à Plataforma (na costa do Pará e Amapá) e que seriam superfícies erosionais de rios durante estágios de mar mais baixo.

Outra feição topográfica de bastante interesse, é um terraço amplo, acompanhando a linha de Quebra da Plataforma a partir de Salinópolis até o extremo noroeste da área pesquisada, no qual foram amostrados sedimentos relictos. Sua localização entre a cota batimétrica de 100 a 200 metros está próxima a figuração geral média de nível de mar mais baixo (130 metros) durante a última glaciação pleistocênica.

Os efeitos da transgressão pós-glacial foram melhor preservados nos depósitos da região noroeste ao largo da costa do Amapá. As condições marinhas são marcadas pela sucessão de organismos «indicadores de profundidade» que são correlacionados à elevação do nível do mar, em cronologia relativa paralela aos intervalos de tempo estabelecidos em padrões mundiais (Milliman & Emery, 1968).

O modelo sedimentar estudado contém uma mistura heterogênea, com diversos constituintes indicativos de superposições temporais. Como critério de reconhecimento foram avaliadas as relações — comunidades vivas — restos esqueléticos — tipo de sedimento — topografia, que permitissem identificação da natureza relíquia, para seleção e ulterior datação de radiocarbono estabelecendo assim os termos de mudanças ambientais versus o tempo absoluto.

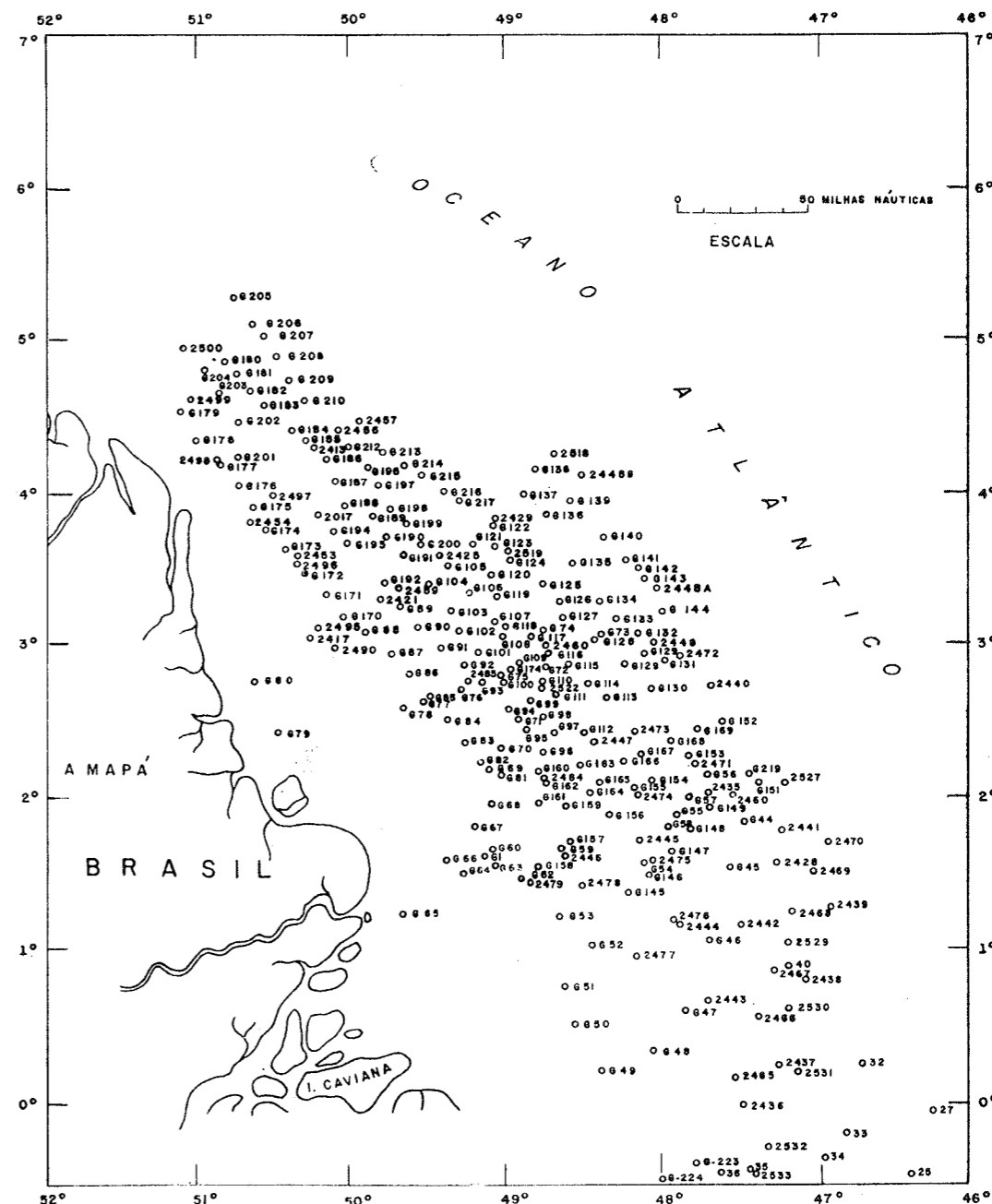


Fig. 1 - MAPA DE LOCALIZAÇÃO DAS ESTAÇÕES (Redução do Mapa em Projeção Mercator na Escala de 1:1.000.000)

## PARAMETROS AMBIENTAIS

Na diagnose dos processos operantes nesta região as diferentes linhas de evidência assumem importâncias diversas.

Na Plataforma Interna-Média, onde os fatores terrígenos predominam, a análise da geometria, litologia, estruturas sedimentares e padrões de circulação são as técnicas de maior definição para o reconhecimento de facies-ambiente de sedimentação.

A distribuição dos organismos é essencialmente condicionada ao substrato derivado dos fatores citados.

Na Plataforma Externa, o domínio é carbonático. A deposição é altamente dependente da atividade orgânica e o sedimento reflete esta herança. O reconhecimento deste parâmetro, é fundamental ao estudo dos ambientes. Porém, para estes carbonatos, a avaliação das mudanças mineralógicas e químicas que acompanham a conversão dos minerais carbonáticos metaestáveis para formar os carbonatos estáveis é recomendada, tendo em vista principalmente a natureza reliquia ou residual dos carbonatos ocorrentes.

## MORFOLOGIA — SEDIMENTO

Zembruski et Alii (1971) dividem a Plataforma Continental Norte Brasileira em duas províncias fisiográficas distintas:

a — Área situada ao largo da costa Maranhão-Pará, com Plataforma de pequeno declive, Quebra de Plataforma abrupta, em torno da cota batimétrica de 80 metros.

b — Área situada a partir de Salinópolis (Pará) até o extremo noroeste (Território do Amapá), com alargamento da Plataforma, aumentando a cota batimétrica para a Quebra da Plataforma até 140 a 150 metros. Foram assinalados três níveis topográficos marcantes: de 0 a 30 metros, de 70 a 85 metros, de 140 a 150 metros, relacionados respectivamente à atual sedimentação amazônica, sedimentos remanescentes e, a uma superfície de nivelamento.

Desta primeira província, na região próxima a Salinópolis, foram reconhecidos durante a Geomar-III, que ao rápido aumento de gradiente da Quebra de Plataforma corresponde mudança sedimento-organismos. O sedimento de Plataforma é constituído predominantemente por algas calcárias, enquanto que no Talude ocorre vasa composta por argila carbonática de cor creme, com testas de foraminíferos plan-

tônicos e gastrópodos pelágicos, em compatibilidade ambiental.

Recortando a borda da Plataforma Externa há vales assoreados de até 1 km de largura e 90 metros de altura (entre as estações 2470 — 2471) e que estão convenientemente localizados no mapa de isobatimétricas (Fig. 2A).

Amostragem em um destes vales, em uma parte bastante estreita (Fig. 2B) mostram indicações de sua formação sobre influência continental e fluxo de turbidez com os sedimentos dispostos em camadas semicompactadas, de areia argilosa castanho-oliva, com granulação predominante de areia fina, grãos de quartzo de alta esfericidade, sub-angular e sub-arredondados. A fração acessória apresenta minerais opacos, mica verde e fragmentos de madeira e de acordo com a profundidade atual, foraminíferos plantônicos e bentônicos. Intercalando-se, há argila cinza escuro com pequena fração de quartzo e restos carbonosos.

Para a segunda província fisiográfica, foram adicionados detalhes sobre o sistema de canais transversais à costa (segundo nível topográfico) que ocorrem a partir da região em frente à ilha Mexiana. São mais adensados até a ilha de Maracá, espaçando-se para o extremo noroeste (Fig. 2C).

Estes canais rasos recortam o sedimento carbonático e/ou areno-quartzoso grosseiro e são preenchidos por sedimentos com granulometria que varia desde a argila até areia grossa nos flancos e argila mais pura para a superfície interior. Formam quando próximo ao «canyon» Amazonas, um sistema de tributários do mesmo. Em direção noroeste terminam em dois maiores vales (em frente à ilha de Maracá e do Cabo Cassiporé), abrindo-se na Plataforma Externa-Talude Superior.

Ao terceiro nível, corresponde um terraço regular que acompanha o contorno da Plataforma Externa-Talude Superior e que foi confirmado a partir da posição lat. 2° 27,0' N long. 47° 45,0' W Gr e leste do «canyon» Amazonas até o limite noroeste pesquisado (Fig. 2D).

Sua extensão e a cota batimétrica onde vão se localizar o primeiro aumento de gradiente-limite superior (100 a 200 metros) e a declividade típica de talude-limite inferior (150 a 280 metros) são variáveis, principalmente devido às influências dos processos formadores dos vales que o alcança. Mostra, contudo, tendência de alargamento em torno do «canyon» Amazonas e do vale situado em frente

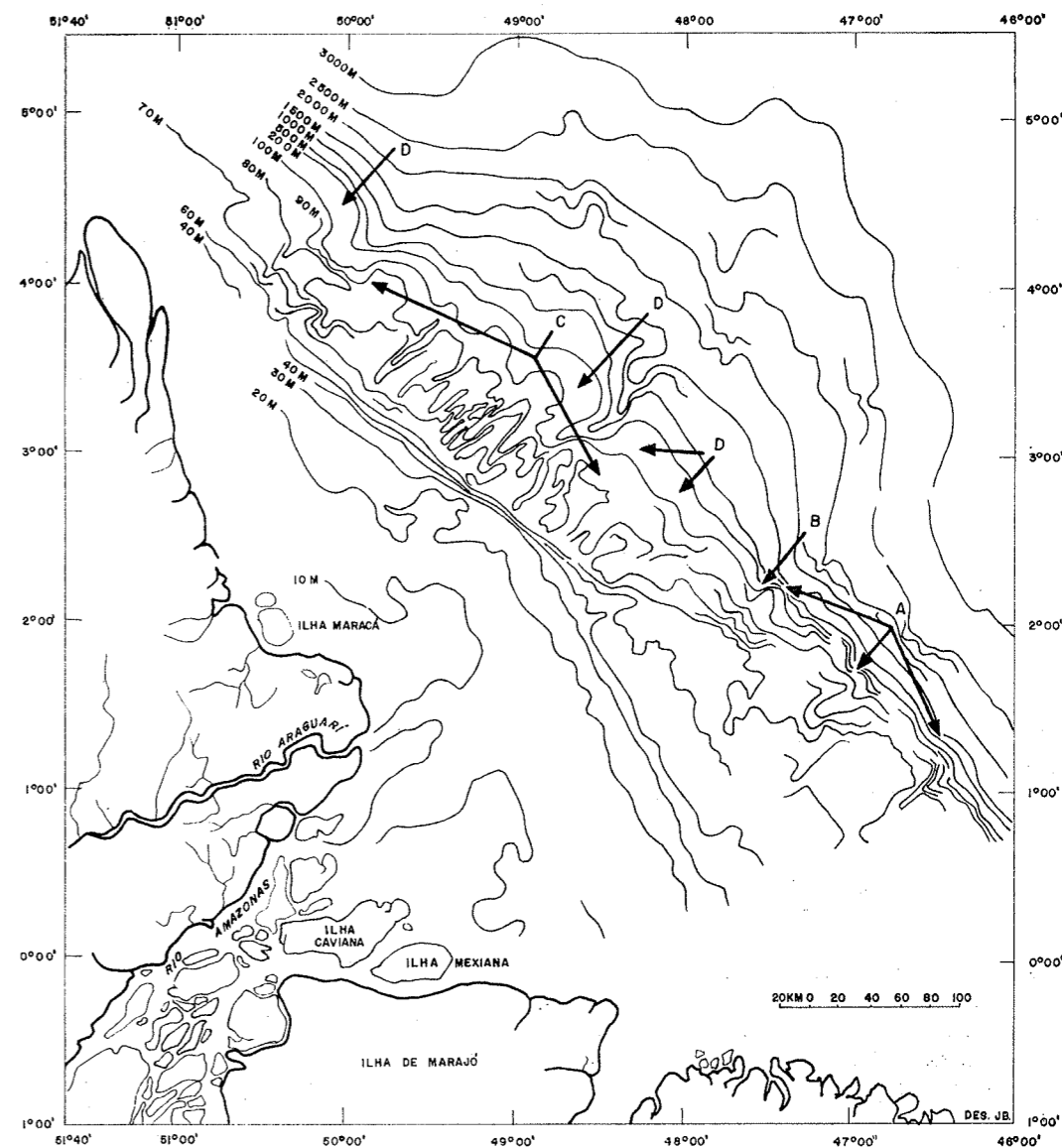


Fig. 2 - CARTA BATIMÉTRICA DA PLATAFORMA DA FOZ DO AMAZONAS  
Compilado de Mapa da Petrobrás na Escala 1:1.000.000

ao cabo Cassiporé, estreitando-se e desaparecendo em direção à primeira província fisiográfica de Quebra de Plataforma abrupta.

A abundância de litoclastos, ooides e fósseis nesta região suporta sua interpretação como feição de linha de praia associada a flutuações marinhas quaternárias. A estes «relictos» superpõem-se sedimentos e organismos de Plataforma Externa — Talude Superior.

### OCEANOGRAFIA

São destacáveis as características físicas do estuário Amazonas, onde fatores dinâmicos (marés) e físico-químicos (mistura de água doce e salgada) condicionam a deposição das fácies lamosa e de transição (Zembruski et Alii, 1971, figs. 9 e 10; perfis oceanográficos da Operação Geomar-III), e a influência da corrente das Guianas que defletindo para noroeste a descarga amazônica, permite a permanência de camadas reliquias.

### FACIES SEDIMENTARES

Os aspectos básicos sobre as fácies sedimentares ocorrentes já foram tratados em trabalhos anteriores, que mostram haver uma variação lateral, com intergradação de fácies.

Os trabalhos (Ottmann, 1960; Kempf et Alii, 1970; Coutinho & Moraes, 1970; Mabe-soone, 1971; Zembruski et Alii, 1971), apresentam um certa variação na terminologia, mas, pelas descrições e inferências genéticas contidas são praticamente concordantes. Quanto a bionômica bentônica, a mesma foi equacionada por Kempf (1970).

Três maiores componentes, areia quartzosa, carbonato e argila-silte são os membros finais dos sedimentos.

Aos nove tipos litológicos determinados, basicamente, nos limites convencionais de litofácies foram adaptadas as feições diagnósticas de tendência de fácies em interrelação com ambiente e paleogeografia (Fig. 3), dadas pelos organismos, províncias petrológicas e glauconita (Pomeranblum & Costa, 1972, a e b).

### FACIES ARENO QUARTZOSA

Esta unidade que ocupa grande extensão da área, é composta por quartzo com granulação média a fina e entre os minerais pesados são caracterizados por províncias de maior persistência petrológica (Pomeranblum & Costa, 1972a).

A fração orgânica é muito pequena, representada por constância de miliolídios castanhos, o que significa longo tempo de exposição em interface água-sedimento (Santos, 1971). As conchas de introdução posterior são sempre pequenas e translúcidas e esta atividade aumenta nas proximidades de outras fácies.

Conchas velhas, grandes e pesadas que ocorrem escassamente seriam de ambientes pré-téritos. Na estação 2466, *Crassostrea* típicas de mangue mostram permanência longa no sedimento. Na estação 2467 valvas grandes de *Tivela fulminata*, forma comum de fauna de areia rasa mistura-se com fauna de influência da Fácies Biogênica adjacente.

Esta fácies corresponde a uma fase não deposicional e é o topo da Formação Tucunaré definida por Schaller & Vasconcellos, (1971).

### FACIES ARENO-ARGILOSA DE LITORAL

Depositada sob influência atual dos processos continentais, bordeja o litoral do Maranhão e Pará. Composta, predominantemente, por areia quartzosa de má seleção, contém argila subordinada, e restos de conchas litorâneas e fragmentos de rocha de origem continental.

### FACIES BIODETRITICA DE PLATAFORMA INTERNA

Pequena mancha carbonática composta de fauna recente e residual marcada pela associação *Amphistegina* — *Archais* — *Quinqueloculina* (Bandeira, 1970; Santos, 1971) e entre os minerais pesados, dominância de estáveis (Pomeranblum & Costa, 1972a).

### FACIES ARGILO-ARENOSA DE SUPERPOSIÇÃO FLÚVIO-MARINHA

Em simultâneos processos erosionais e deposicionais, o atual regime do rio Amazonas constrói uma plataforma de delta de maré. Os sedimentos dominantes são argilosos. A argila é cinza oliva a cinza claro, com fração siltica acessória. Em percentagem menor de 1% ocorrem areia quartzosa de granulometria fina a média, biotita, muscovita, minerais opacos, restos vegetais, biodetritos e pelotas feacas. Localmente há dominância de areias quartzosas fluviais.

Nas áreas de noroeste ocorrem fragmentos de concreções limoníticas e silito ferruginoso e arenito argilo-calcífero e pirita.

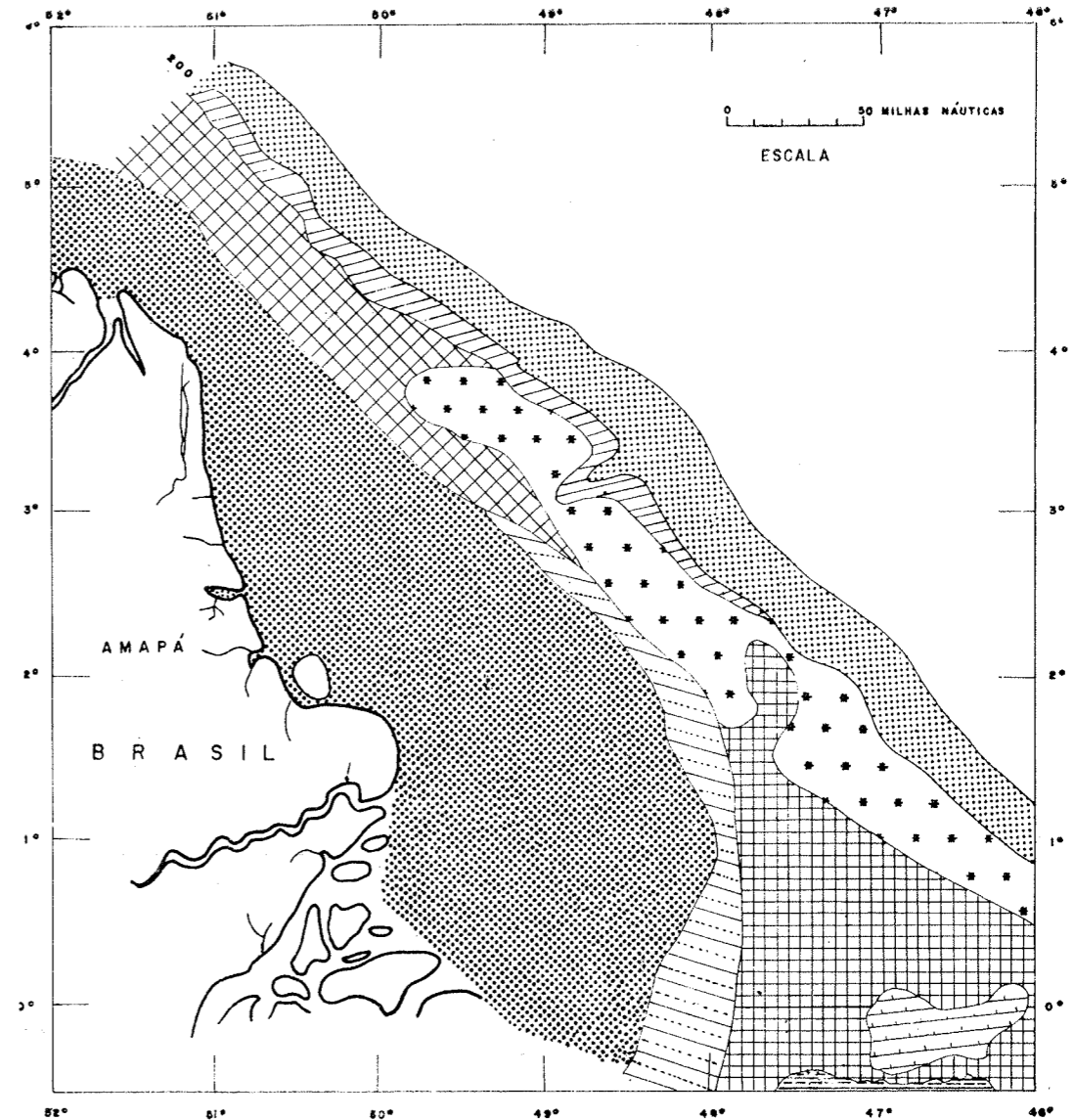


Fig. 3 - FACIES SEDIMENTARES

LITOLOGIA		FACIES E AMBIENTES	
HOLOCENO		Argila-Areia Quartzosa	ARGILO - ARENOSA DE SUPERPOSIÇÃO FLÚVIO MARINHA
		Areia Quartzosa-Argila	ARENO - ARGILOSA DE PRÓ-GRADAÇÃO ESTUARINA
		Areia Quartzosa-Argila	ARENO - ARGILOSA DE LITORAL
		Argila	ARGILOSA DE TALUDE
		Carbonato e Areia Quartzosa	BIODETRITICA DE PLATAFORMA EXTERNA
PLEISTOCENO HOLOCENO		Carbonato, Areia Quartzosa	BIODETRITICA DE PLATAFORMA INTERNA
		Areia Quartzosa, Carbonato	ARENO-QUARTZOSA, BIODETRITICA TRANSGRESSIVA
PLEISTOCENO		Carbonato - Argila	CARBONATICA ARGILOSA DE TERRAÇO
		Areia Quartzosa	ARENO-QUARTZOSA, FORMAÇÃO TUCUNARÉ

LEGENDA DA FIGURA 3

A consistência do sedimento é variável podendo apresentar-se fluído, mas comumente há uma semicompactação, com fluidez apenas superficial. Foram observadas intercalações de camadas irregulares cinza escuro e claro.

Coloração marrom por oxidação na camada superficial é na região leste marcada até a cota batimétrica de 43 metros, enquanto que na região noroeste esta alteração vai até a cota batimétrica de 35 metros.

Fauna marinha rara e especializada como já foi destacado em trabalhos anteriores (Kempff, 1970; Santos, 1971) é constituída na infauna por bivalvos nutridores em depósito e na epifauna por animais vágeis. Formam uma assembléia ecologicamente coerente com o sedimento em acumulação, com espécimes vivos, e as conchas dos mortos correspondem aos viventes. As espécies mais comuns são:

*Yoldia perproctata* Dall, *Phacoides muricatus* (Splender), *Trigonocardia antillarum* (Orbigny) *Nuculana acuta* Conrad, *Macoma tenta* Say, *Tellina punicea* Born, *Caliptrea centralis* Conrad e *Bursa spadicea* Montfort.

A densidade populacional é baixa quando é maior o conteúdo de argila (maior acumulação de produtos tóxicos) e cresce em direção aos limites com as fácies adjacentes.

Na Estação 2496, na lâmina d'água de 47 metros foram coletados em sedimentos argilosos, bivalvos pertencentes ao gênero *Ostrea*.

São de forma oval alongada, tamanho mediano, concha pouco espessa com costelas radiais, margem interna lisa e superfície exterior rosa violáceo.

Compõem uma população morta, com a maioria das valvas desarticuladas e, com predominância de valvas dorsaes, mas, algumas delas estão unidas.

Pela ação de pouco desgaste e moderada proporção de fragmentos mostram que sofreram mais efeito de exposição do que transporte. Como nestes epibentos as adaptações morfológicas não permitem sobrevivência em condições argilosas, pois as valvas achatadas não previnem eficientemente a entrada de sedimento na cavidade do manto, sua ocorrência significa uma mudança ecológica relacionada à deposição de argila.

#### FÁCIES ARENO-ARGILOSA DE PROGA- DAÇÃO ESTUARINA

É representada por misturas de areia sílica e silte arenoso e recobre em adelgaçamento lateral as fácies sedimentares pré-existentes.

A fauna bentônica é composta de indivíduos pequenos: bivalvos, gastrópodos, escafópodos, briozoários lunulitiformes. São abundantes os espécimes de *Nucula* e *Nuculana* relacionados ao conteúdo de silte/argila.

Alguns elementos maiores são encontrados como o gastrópodo *Polystira albida* Perry e o coral *Astrangia braziliensis* que segundo Laborel (1969/1970) é característico de águas turvas.

Populações vivas ou ofiuróides seguem o contorno desta litofácies. São adaptados a áreas de sedimentação ativa, com mobilidade suficiente para migrar a medida que o sedimento é depositado.

Nesta fácies que coincide com a denominada «água de mistura» conseqüente das marés de salinidade, há intensa precipitação de organismos pelágicos, principalmente *Globigerinóides* e *Creseis*.

Nesta transição de litofácies as tendências são: aumento de atividade biológica de megafauna e microfauna, a mistura de minerais estáveis e instáveis e glauconita em vários estágios de transformação.

#### FÁCIES BIODETRÍTICA DE PLATAFORMA EXTERNA

A Plataforma Externa é caracterizada por uma cobertura de areia e seixos carbonáticos biodetríticos, de cor variando de amarelo acinzentado a marrom moderadamente amarelo. A fração areia grossa a seixo é constituída por grãos esqueletais inteiros ou quebrados pertencentes e algas (incrustantes e artículos de *Halimeda*) e a componentes da megafauna (moluscos e briozoários principalmente). Na fração areia média são importantes os foraminíferos.

A maior percentagem de carbonato é secundada por quartzo. Traços de biotita, muscovita, minerais opacos, e glauconita são comuns.

Os componentes carbonáticos são derivados de três categorias genéticas:

a — elementos esqueletais de organismos bentônicos que são formados no piso submarino: os grupos que contribuem são as algas coralinas e codiáceas, briozoários, moluscos, foraminíferos e em menor participação antozóários, equinodermas e crustáceos.

b — elementos esqueletais de organismos pelágicos que são formados na coluna sobrejacente: são os foraminíferos plantônicos e moluscos pelágicos.

c — elementos de origem não esquelética: os ocorrentes são ooides e litoclastos.

#### a — Organismos Bentônicos

**Algas coralinas** — Fragmento e blocos nodulares produzidos por algas coralinas do grupo das *Melobesiae*, são importantes construtoras do sedimento. Estas plantas secretoras de  $\text{CaCO}_3$  apresentam requisitos ecológicos bem controlados, para seu desenvolvimento. Seu limite inferior na área está entre a isobata de 80-90 m embora seu crescimento se dê até 100 metros, mas já com pequena potencialidade secretora.

Sua distribuição na Plataforma tem sido descrita por diversos autores que Kempff (1970) detalha sua ecologia e associação biológica.

Na região Norte-Nordeste, formam bancos que são feições topográficas baixas e planas definindo a Fácies Biogênica de Zembruski et Alii (1971) e que se adelgaça em Salinópolis.

**Algas Codiáceas** — Estas plantas são de hábito arbustivo, crescendo erectas, isoladamente ou em tufos. São fortemente calcificadas, com talos constituídos por segmentos de forma variada separados por constricções e que são facilmente desarticuláveis, sendo incorporados ao sedimento. Sendo fotossintéticas, seu florescimento é limitado à zona de penetração da luz.

Segmentos discóides de *Halimeda cf tuna* (Ellis & Solander) substituem as algas coralinas [formando segundo Mabesoone (1971) uma subfácies] transicionalmente em Salinópolis. Na Geomar-III foram coletados alguns espécimes apresentando o talo verde, que comprovam seu hábito atual em borda de Plataforma Externa. Porém já em terraço, fragmentos desgastados são indicadores de ambiente diverso do atual com argila (restritiva para fotossíntese).

Na área leste a Fácies Biogênica típica, isto é, um substrato compacto de blocos e seixos de algas coralinas dominantes é substituído. Há misturas de algas coralinas do tipo incrustante, com pequena potencialidade de acreção, do tipo lamelar, algas codiáceas, e ainda briozoários calcários. Esponjas numerosas e variadas, instalam-se no sedimento solto. Algumas são ativos agentes de agregação dos grãos iniciando assim um processo de cimentação dos carbonatos, ao mesmo tempo que também atuam as melobesias reunindo e recobrindo os restos soltos.

**Moluscos** — Restos esqueletais de moluscos são importantes componentes do sedimento.

Estudos da composição da fauna foram feitos por Kempff & Matthews (1968) e a da sua distribuição por Kempff (1970).

Sendo, principalmente, dependentes das condições ecológicas criadas e controladas pelas algas calcárias têm ampla distribuição geográfica e batimétrica.

Ocorrem tanto na Fácies Biogênica como na Biotrítica, em acordo com sua origem, em função de um substrato carbonático. Das espécies coletadas na área leste são mais comuns *Arca zebra* (Swainson) e *Chama macerophilla* Gmelin; ocorrendo regularmente *Antigona rígida* (Dillwyn), *Spondylus americanus* Hermann, *Pseudochama radians* (Lamarck), *Americardia media* Linnaeus, *Turritella isoleta* Linnaeus, *Siliquaria squamata* Bruguière, *Conus sp.* e *Trivia sp.*

O gastrópodo *Siliquaria squamata* que apresenta as voltas em espiral irregular e não soldadas é associado ao fundo de esponja, pois estes animais servem de suporte para sua concha com morfologia de difícil equilíbrio.

Esta observação no sentido paleoecológico regional significa, quando em presença de um sedimento carbonático algal contendo restos de *Siliquaria squamata* (as esponjas normalmente não são preservadas) mudanças ambientais, com substituição competitiva dos elementos no biótopo. Em condições de baixa sedimentação estas gerações sucessivas preservam-se reunidas no mesmo litótopo.

Este aspecto é destacado também para os trabalhos de Geologia Marinha, quando são utilizados amostradores de pequena capacidade em contraste com o equipamento biológico usual (dragas).

**Outros grupos** — Os briozoários são principalmente do tipo de zoários erectos, rígidos, bilamelares, lobados, ligados ao substrato (adeoniforme) e do tipo de zoários erectos rígidos de ramos dicotômicos subcilíndricos (vinculariforme).

O tipo lunuliforme de zoários cônicos de vida livre ocorrem, e tem distribuição ampla principalmente nos fundos arenosos.

Corais e equinodermas são menos numerosos e dos últimos é característico o equinóide *Eucidaris tribuloides* (Lamarck) presente por restos de placas e espinhos.

#### b — Organismos Plantônicos

Como é normal, gastrópodos pelágicos e foraminíferos plantônicos, tendem a aumentar o número de espécies e de indivíduos em direção à Plataforma Externa.

## c — Ooides e litoclastos

Os litoclastos são normalmente derivados de ação de algas e esponjas, que agregam o sedimento solto.

São diferenciados por apresentarem as algas coralinas, uma estrutura laminar concêntrica, identificável mesmo quando a mesma engloba núcleo de natureza diferente.

As esponjas inicialmente retêm os grãos com sua substância gelatinosa e aos poucos vai havendo um endurecimento do agregado. Alguns fragmentos de biomicro, com forma e superfície irregular cujos intraclastos são da mesma composição do sedimento circundante parecem ter esta origem com o material fino (matriz) infiltrando-se e preenchendo os espaços deixados pelo muco.

A leste foi coletado um fragmento de rocha distinto destes sedimentos semilitificados. É um calcário creme bem consolidado, com recristalização que reflete mudanças diagenéticas mais avançadas e são possivelmente mais antigos.

Ooides superficiais (1 ou 2 lâminas), brilhantes e castanhos, ocorrem no adelgaçamento de fácies, próximo a borda da Plataforma Externa em Salinópolis.

#### FACIES ARENO-QUARTZOSA E BIODETRÍTICA TRANSGRESSIVA

Areia quartzosa de granulação em geral média a grossa. Cor básica marrom amarelado escuro, variando em tonalidade oliva e cinza. Contém pequena percentagem de silte/argila e a fração carbonática está situada entre 20 e 40%, e de minerais opacos em 10%, com misturas de instáveis e estáveis.

Entre os moluscos, a associação mais comum é de *Arca zebra* (Swainson), *Chama mace-rophylla* Gmelin e *Plicatula gibbosa* Lamarck. Formam camadas extensivas de conchas mortas. As velhas são mais abundantes do que as novas, havendo vários estágios de desgaste. São revestidos por arenito, perfuradas e incrustadas por outros organismos.

Relatam gradativas introduções de material, e tempo longo de exposição na interface água-sedimento.

As duas primeiras espécies citadas, embora venham de fauna mais antigas continuam a viver até o presente, pois muitas tem aparência nova. Foi observado que em *Plicatula gibbosa* domina a aparência velha. São componentes na assembléia de Fácies Biodetrítica

de Plataforma Interna (Santos, 1971), e no fundo areno-quartzoso adjacente a praia na Plataforma da região de Recife (Kempf, 1970). Na fauna caraílica é citada por Warmke & Abbott (1961) como espécie intertidal que se fixa em substratos duros.

Outros indícios de mar mais raso são de distribuição descontínua como fragmentos do *Donax* e conchas adultas de *Anadara notabilis* Roding.

Uma outra população distinta é encontrada, com pequenos e novos bivalvos — *Corbula*, *Limopsis*, *Crenella*, *Amussium*, *Crassinella*, *Tellina*, *Nucula* e ainda *Nassarius nanus* Usticke, *Nuculana acuta* Conrad, *lima lima* (Linnaeus), *Pecten zigzag* (Linnaeus), *Microcardium tinctum* Dall).

Briozoários lumitiformes são abundantes e o coral *Astrangia braziliensis* Vallencienens é encontrado.

Fragmento de arenito quartzoso com opacos, de cimento calcífero são constantes na faixa de cota batimétrica de 80 metros e se estendem para a fácies transicional determinada pela GEOMAR-II. Sua superfície irregular «carstificada» e composição semelhante do sedimento circulando (identificação macroscópica) sugerem ação de esponjas. Poderiam ser também produtos erosivos residuais, derivados de restos transportados de zona de praia.

De ambientes atuantes num sistema dinâmico, ainda em processo é resultante um recobrimento de tempo e espaço. A areia quartzosa mais antiga vão se misturar plicatulas velhas de sucessão posterior, na formação das camadas basais dos flancos dos vales. Estes recebem uma delgada cobertura atual de silte/argila que propicia vida ativa de epifauna. O preenchimento dos leitos dos vales por argila mais puras conduz a instalação de uma fauna idêntica à da fácies de superposição flúvio marinha.

#### FÁCIES ARGILOSA DE TALUDE

Os depósitos argilosos normais para água profunda começam a precipitar a partir da cota batimétrica de 100 metros e vão ser uma constante em direção à bacia oceânica. Os minerais de argila determinados por Formoso (1971) mostram que na sedimentação detrítica pelágica há influência de fontes continentais. A presença de calcita no sedimento pode ser relacionada à outras superfícies organicamente produtivas (facies biogênicas), como também

provir de conchas de foraminíferos pulverizadas ou cocólitos (menores de 30 $\mu$ ).

Esta vasa de argila carbonática apresenta cor amarelo-oliva no topo, com 70% a 80% de argila e cerca de 20% de fração biogênica e pequena fração de quartzo de granulação silte/areia muito fina e, argilito semifrável ferruginoso. A argila subjacente é de cor cinza-oliva, com a fração biogênica em cerca de 10%, com traços de quartzo de granulação areia muito fina/silte e pelotas fecais.

A fração biogênica é composta de esqueletos inteiros e fragmentos de foraminíferos plantônios e gastrópodos pelágicos. Os foraminíferos são espécies de *Globigerina*, *Globigerinoides*, *Globorotalia*, *Orbulina*, *Pulleniatina* e os pterópodos pertencem a *Cavolina*, *Creseis*, *Spirathella*.

As estações da GEOMAR-II e da fase internacional da GEOMAR-III amostraram parte desta região.

#### FACIES CARBONÁTICA-ARGILOSA DE TERRAÇO

Na borda da Plataforma Externa — Talude Superior as camadas de topo da superfície do extenso terraço são compostas por sedimentos heterogêneos, que são produto de complexas misturas pós-deposicionais.

São areias carbonáticas grossas a médias (ooides, testas e conchas pelágicas, testas e conchas bentônicas) de fração acessória composta por seixos de calcarenitos, siltitos e arenitos quartzosos e areias quartzosas médias a grossas, glauconita e biodetríticos. Quando se estendem para o talude superior passam a conter argila.

No extremo noroeste (E-205, E-206) em profundidade de 170-190 metros há de seixos (20 mm) a grânulos (3 mm) de arenito quartzoso-micáceo e silito ferruginoso, facetados e de superfície brilhante, calcilito com *Spiratella* em processo de litificação e oxidação; moldes fósseis de *Spiratella* e glauconita totalmente transformada. São de um ciclo anterior da atual, representado pela argila com a fauna *Limopsis* — *Microcardium* — terebratulídeos normal ao ambiente.

Os foraminíferos plantônicos de aspecto recente dominam na fauna. *Amphistegina* e miliolídios velhos, castanhos e pretos são reliquias.

Sedimentos compostos por organismos pelágicos (foraminíferos e gastrópodos), são comuns a partir da Plataforma Externa, onde o influxo de outros detritos é menor. Nos ambientes modernos, suas conchas e testas são delicadas e translúcidas. Os moldes fossilizados de *Spiratella* seriam produtos de um ciclo anterior de deposição que restou não soterrado em períodos de mar mais baixo. São supostos de idade pré-wiscosianiana superior, e representam um diástema.

Para estimativa destas relações de base as informações são ainda muito pequenas, mas, os litoclastos terrígenos apontam ainda para uma incorformidade erosional.

Outros elementos que são seguros indicadores batimétricos são os ooides. Têm distribuição lateral ampla embora descontínua, são raros e esparsos entre as isobatas de 80-100 metros, mascarados por sedimentação posterior.

Na estação 211 a uma profundidade de 180 metros compõem a fração quase pura de granulometria areia grossa/média que domina no sedimento sendo acessória a argila de Talude com pequena contribuição orgânica (pelágica) atual. Nesta amostra são presentes fragmentos de calcário oolítico.

Estes ooides são semimaturados, castanhos e de superfície fosca e muitos apresentam dois estágios de acreção oolítica.

Pelo menos para esta localização, as evidências são de ambiente de águas rasas seguido por uma fase não deposicional e sedimentação atual de Talude.

No lado leste (E-168, E-169) os ooides são de tamanho areia média com menor número de camadas concêntricas, castanhos e de superfície brilhante, e estão misturados à fração biodetrítica residual de um tempo não muito distante (*Halimeda-Amphitegina* de fácies vivente em área contínua) e argila e fauna de Talude.

Ainda, determinados pela GEOMAR-I (Santos, 1971) em canal tributário do «canyon» Amazonas, ooides, fauna reliquia, e fauna plantônica mostram as tendências de progressiva diminuição lateral da fácies carbonática atual, deixando expostos os elementos mais antigos e de idades relativas diferentes.

Os ooides que se formaram em condições de menor influxo de sedimentos terrígenos podem ser integrados tanto ao intervalo final da regressão pré-wiscosiniana superior como ao Wiscosiniano Superior.

No lado noroeste a faixa das isóbatas 100-110 metros (E-209 a E-217) são encontrados testemunhos de ambiente de praia com areias quartzosas grossas, por vezes com seixos quartzosos angulosos e pigmentados por ferro. Há restos de fauna intertidal como *Anomalocardia brasiliensis* Gmelin, *Thais hemastoma floridana* (Conrad) e outros indicadores de mar raso — *Anadara notabilis* (Roding), *Petalocochus*, *Donax*, grandes *Balanus*, e fragmentos de madeira fossilizada e turfa.

Fragmentos de conchas pesadas e seixos esféricos de arenito quartzoso de até 15 mm de diâmetro sugerem o ambiente de alta energia. Ooides aí são misturados.

As misturas geradas pelas mudanças ambientais se alternam e recombina irregularmente, em função da topografia irregular. Há fauna novas misturadas às de fácies de praia; faunas novas, faunas de *Plicatula*, *Chama*, *Arca* de pulso transgressivo sobre elementos mais antigos e areias quartzosas reliquias com rara fauna moderna.

#### TENDÊNCIAS DE FORAMINÍFEROS

As associações são apresentadas em termos de relação dos maiores grupos e dominância genérica.

#### I — DENSIDADE POPULACIONAL

Há estreita relação entre a frequência relativa de foraminíferos e a história geológica que condicionou a morfologia submarina e tipo de sedimento presente, que estão resumidos na fig. 4.

A baixa densidade populacional na Fácies Areno-quartzosa (Perfil 1) aumenta brusca-mente com bentônicos na Fácies Biodetrítica de Plataforma Externa e outra vez com plantônicos, em direção ao Talude de quebra abrupta.

Em direção noroeste a baixa densidade populacional acompanha a Fácies Argilo-arenosa de Superposição Flúvio-marinha (perfis 2, 3 e 4), crescendo na Fácies Areno-argilosa de Progradação Estuarina, com bentônicos e plantônicos; e aumentando gradativamente para o Talude com dominância de plantônicos.

Ao longo do plano de tempo são indicadores, na Fácies Areno-quartzosa, os raros miliolídios castanhos de testas castanhas e pesadas da permanência ainda de elementos regressivos, onde houve condições de intempe-

rismo continental e o equilíbrio ainda não foi alcançado.

Em Plataforma Externa as condições marinhas normais dentro do equilíbrio quântico qualitativo dos grupos de bentônicos calcários e arenáceos e plantônicos são mostradas: 1) bentônicos calcários são os mais abundantes em quase toda a Plataforma; 2) os bentônicos arenáceos tendendo a decrescer em direção a Quebra da Plataforma; 3) os plantônicos são os mais importantes em direção a Quebra de Plataforma, dominando no Talude.

Na área de descarga do rio Amazonas a produtividade é profundamente afetada pelo influxo de água doce, com mudanças de salinidade e pela sedimentação rápida e concentração de sedimentos em suspensão. As tendências de decréscimo e desaparecimento são acompanhada por espécimes de testas delicadas, translúcidas e menores, típicos de proximidade de fonte de água doce.

#### II — POPULAÇÕES BENTÔNICAS

Em trabalhos anteriores (Santos, 1971; Santos & Carvalho, 1971) foram descritas as associações de *Amphistegina* — *Archais* — *Quinqueloculina* que corresponde à Fácies Biodetrítica de Plataforma Interna, as associações de *Cibicides* — *Hanzawaia* que corresponde a Fácies Areno-argilosa de Progradação Estuarina e a dominância de *Amphistegina* com fauna diversificada na Fácies Biodetrítica de Plataforma Externa.

A dominância de *Amphistegina* é máxima na subfácies de *Halimeda* que decorre da evolução dinâmica de simultâneos florescimentos e acumulação, portanto em processo atual. *Amphistegina* é presente em proporção acima de 90%. Suas testas brancas e translúcidas (por vezes, verdes por *Zooxanthellae*) relatam sua vivência no habitat de Plataforma Externa.

Em direção noroeste, quando há a substituição de algas por esponjas e briozoários, restam as testas castanhas e foscas de *Amphistegina*. Mantém ainda a dominância mas em presença de bentônicos diversificados (indicativos de biofácies de Plataforma Externa). Esta condição é ressaltada por Walton (1964) para identificar espécies residuais. São de acumulações prévias e poderiam ser explicadas em termos de uma fácies anterior de alga, ou em senso mais geral, longevidade para a fácies carbonática. Testas velhas, castanhas e quebradas de *Peneroplis* em ocorrência ocasional,

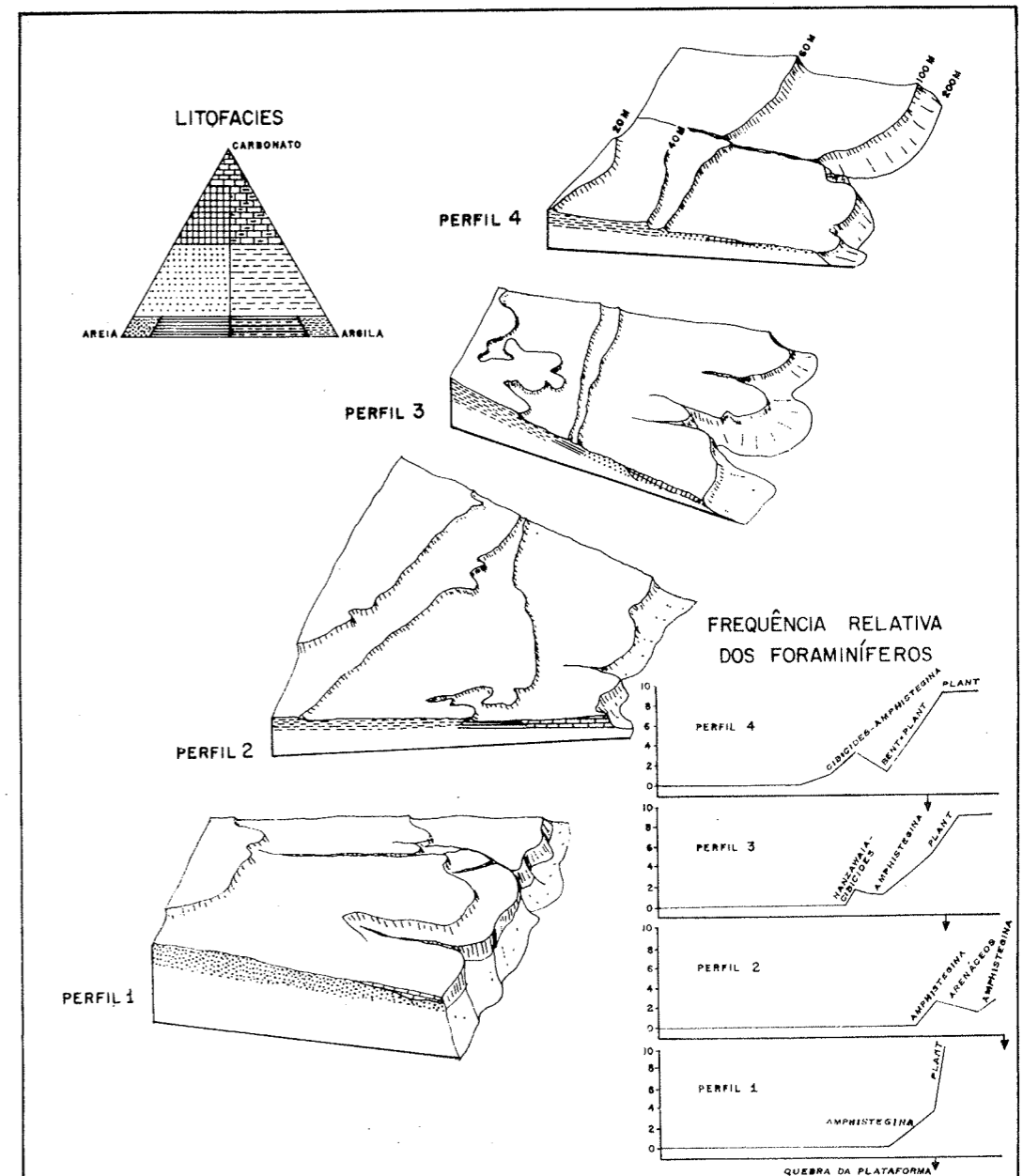


Fig. 4 — RELAÇÃO DE MORFOLOGIA - SEDIMENTOS E FORAMINÍFEROS

são correlacionadas a ambientes mais rasos do que o atual. O empobrecimento carbonático de sudeste para noroeste é acompanhado pela gradual diminuição de espécimes de *Amphistegina* que terminam na Fácies Areno-quartzosa-Biodetrítica por ocorrências esparsas de testas muitas velhas.

Siegle (1968) definindo subprovincias da Província Caribeana pelas faunas de *Amphistegina*, cita suas associações a recifes pleistocênicos submersos em Porto Rico e no Golfo do México, e a sedimentos pleistocênicos, na Plataforma das Guianas. Possivelmente, na Subprovincia Norte-Nordeste, a dominância de *Amphistegina* (Tinoco, 1971) indica processos do Pleistoceno ao Recente, embora haja diferenças relativas de idade. Segundo os dois autores citados as faunas da Província Caribeana estão relacionadas na fig. 5.

Siegle (op. cit.) relaciona as faunas de *Amphistegina* — *Archaias* a águas quentes e as de *Amphistegina* a águas menos quentes.

Na área estudada *Amphistegina* — *Archaias* são associações de Plataforma Interna, a dominância de *Amphistegina* é uma subfácies especializada recente, e a sub-dominância de *Amphistegina* em presença de fauna diversificada significa concentração reliquia de ambientes prévios.

A maior concentração de testas em Plataforma Externa é resultante de acumulação lenta do sedimento detrítico. Esta tendência é aumentada pela presença de testas mais antigas.

Na ausência do controle mortos/vivos os componentes residuais e reliquias foram reconhecidos pela cor castanha, estado de preservação, ocorrência subdominante, distribuição esparsa e de implicação ambiental diversa do atual.

Na Fácies Areno-quartzosa-Biodetrítica e na Fácies Areno-Argilosa de Progradação Estuarina, miliolídios castanhos e pesados e bentônicos arenáceos robustos são presentes e diferem da fauna mais nova, pequena e diversificada.

*Homotrema rubrum* Lamarck é comum formando massas incrustantes e perfuradas no substrato de algas calcárias do Norte-Nordeste. Para o extremo noroeste perde a coloração vermelha que normalmente é retida muito tempo após a morte. Tem aspecto bastante desgastado, são rosáceas, restando poucas de cor viva.

### III — POPULAÇÕES PLANTÔNICAS

Onze espécies de plantônicos foram identificadas nos sedimentos examinados. Entre as mesmas, *Globigerinoides rubra* f. *trilobus*, *Globigerinoides sacculifera* e *Globorotalia menardii* f. *typica* são as mais freqüentes.

A percentagem e número de espécies são diretamente relacionados a topografia dentro dos padrões citados e aos fatores físico-químicos de estuário.

A população plantônica contribue entre 15 e 20% dos foraminíferos na região de progradação estuarina (mistura de águas de salinidade diferentes), havendo dominância de *Globigerinoides rubra* f. *trilobus*. Em direção à Quebra de Plataforma-Talude a percentagem de plantônicos cresce até 100%, com aumento do número de espécies (Fig. 6).

Na borda da Plataforma-Talude da região noroeste a percentagem de plantônicos é menor (70%). Representam interrupção de sedimentação em áreas que sofreram diluição de sedimentos terrígenos.

### IV — VARIAÇÃO DE FÁCIES

Há dois tipos: fácies batimétrica e fácies geográfica (fig. 7).

Para leste apontam uma plataforma de tendência a enriquecimento carbonático com ambiente marinho, oxidante normal (testas castanhas) e estabilidade ambiental.

Para noroeste, a passagem para outro domínio sedimentar é traduzida por uma fase carbonática com baixa razão de enterramento, influência de fatores terrígenos e mudanças físico-químicas. A dinâmica sedimentar atuando em condições ambientais variadas com rupturas de ordem geoquímica (aparência de ambiente redutor) — testas pretas.

### EVOLUÇÃO PALEOGEOGRÁFICA

Esta interpretação seguiu, em parte, o modelo padrão de uma seqüência estratigráfica de transgressão marinha que consiste de uma inconformidade basal sobreposta por sedimentos de águas rasas que são sucedidos por camadas mais novas, com, conteúdo de mar mais profundo.

### CAMADA DE BASE

A superfície mais antiga que em Plataforma é uma inconformidade é a Fácies Are-

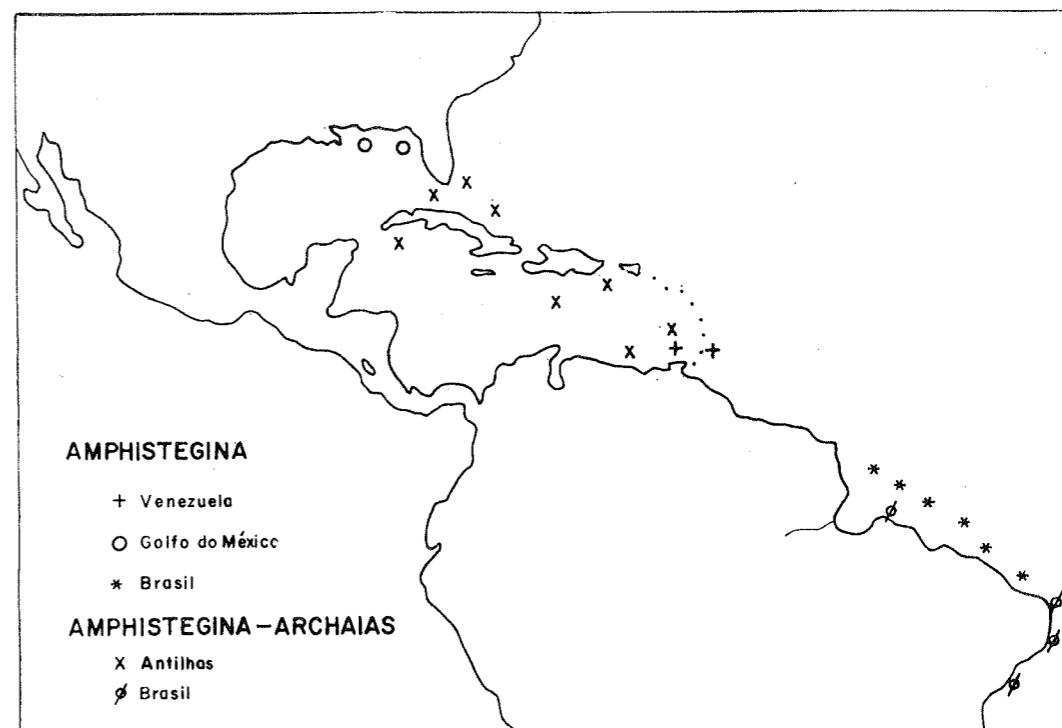
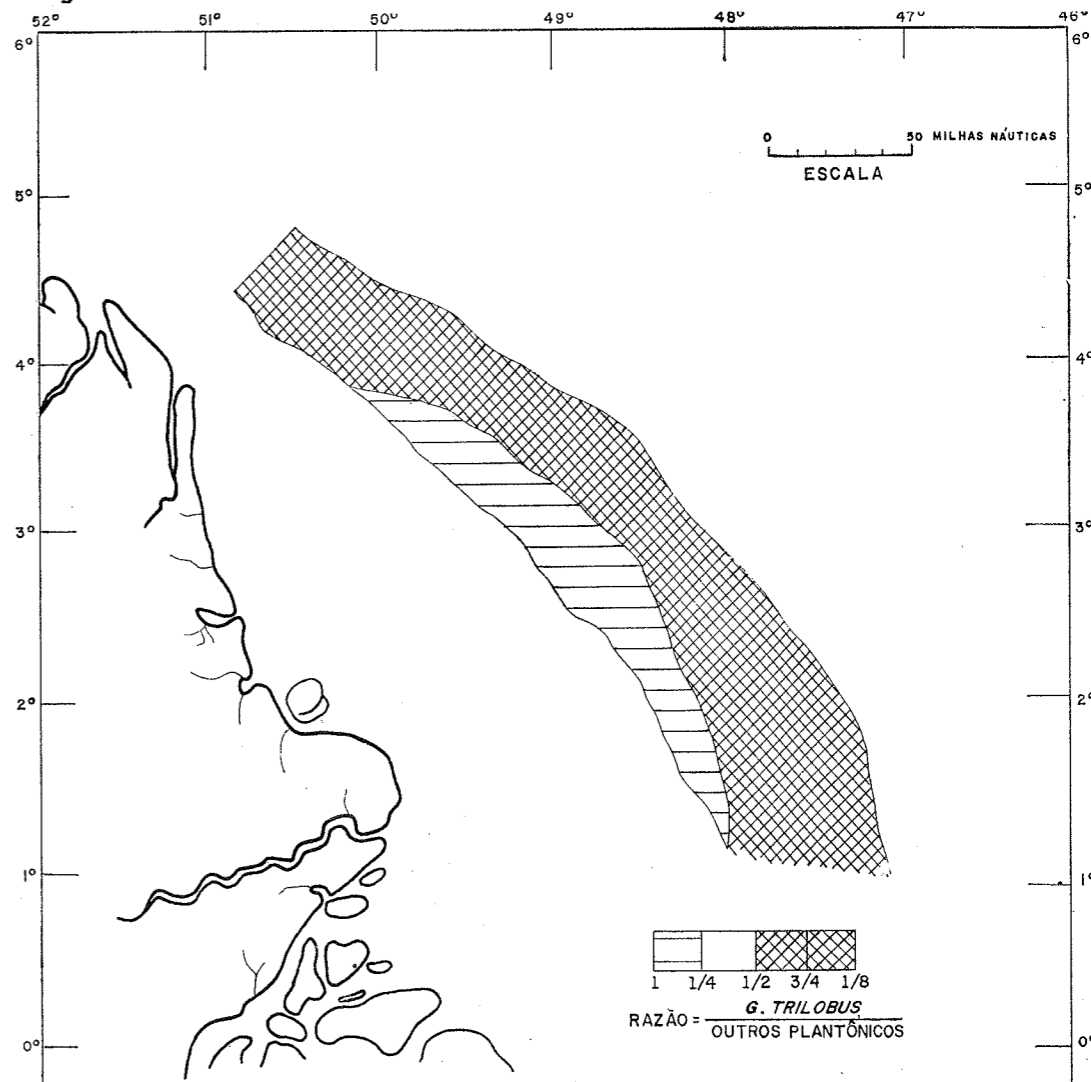


Fig. 5 FAUNAS DE AMPHISTEGINA DA REGIÃO CARIBEANA



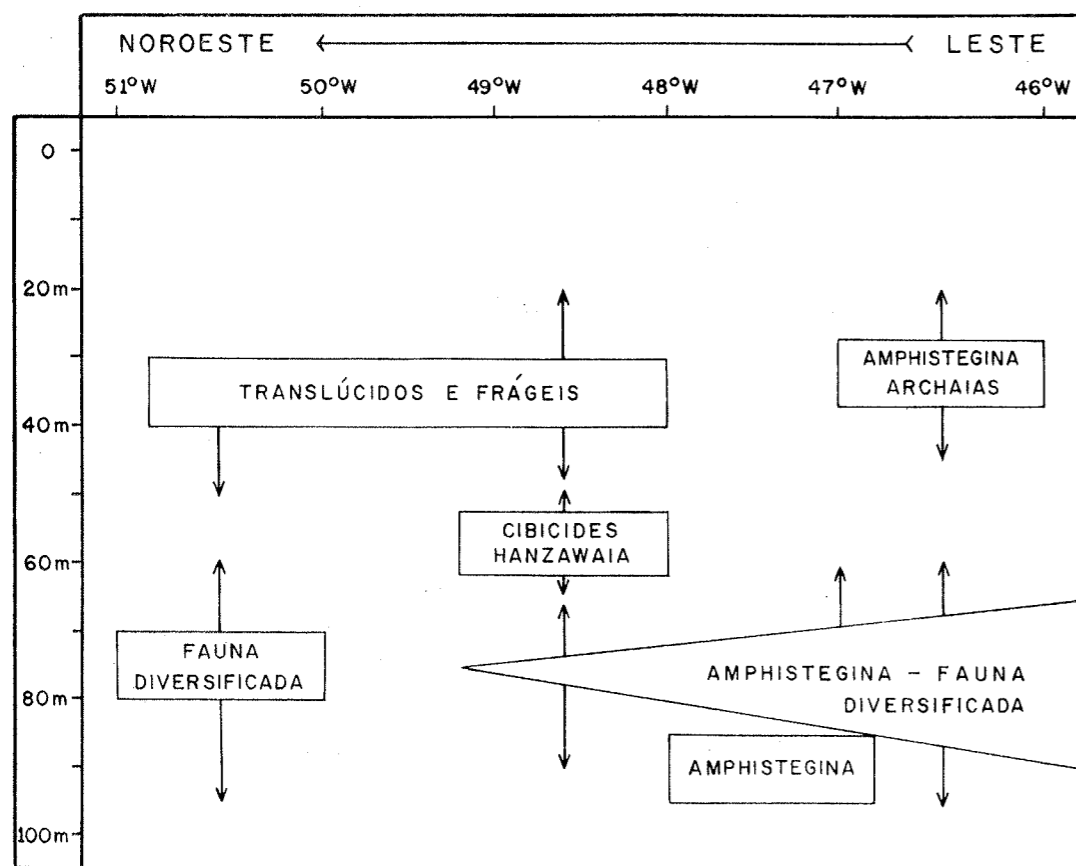


Fig. 7 - VARIÇÕES DE FACIES DE FORAMINÍFEROS

no-quartzosa. A mesma corresponde ao topo da Formação Tucunaré, definida por Schaller & Vasconcellos (1971) por sua litologia característica e uniforme de areias quartzosas (Fig. 8).

Tem grande extensão em área, e sua ocorrência no continente é descrita por Sá (1969). Os minerais pesados estáveis semelhantes aos descritos por Pomerancblum & Costa (1972a) são marcos de correlação estratigráfica.

Para noroeste, os contactos entre a Formação Tucunaré e as unidades de topo são gradacionais. Os paleocanais detetados por eco-sondagem clássica são relíquia de uma antigo sistema de drenagem continental e representam inconformidades erosionais. São correlacionáveis com outras feições semelhantes encontradas em boca de estuários (Guilcher, 1970).

Em terraço os moldes fósseis de *Spirathella* são os elementos de idade mais antiga.

São considerados diástemas pela dificuldade de precisar o tempo de interrupção deposicional.

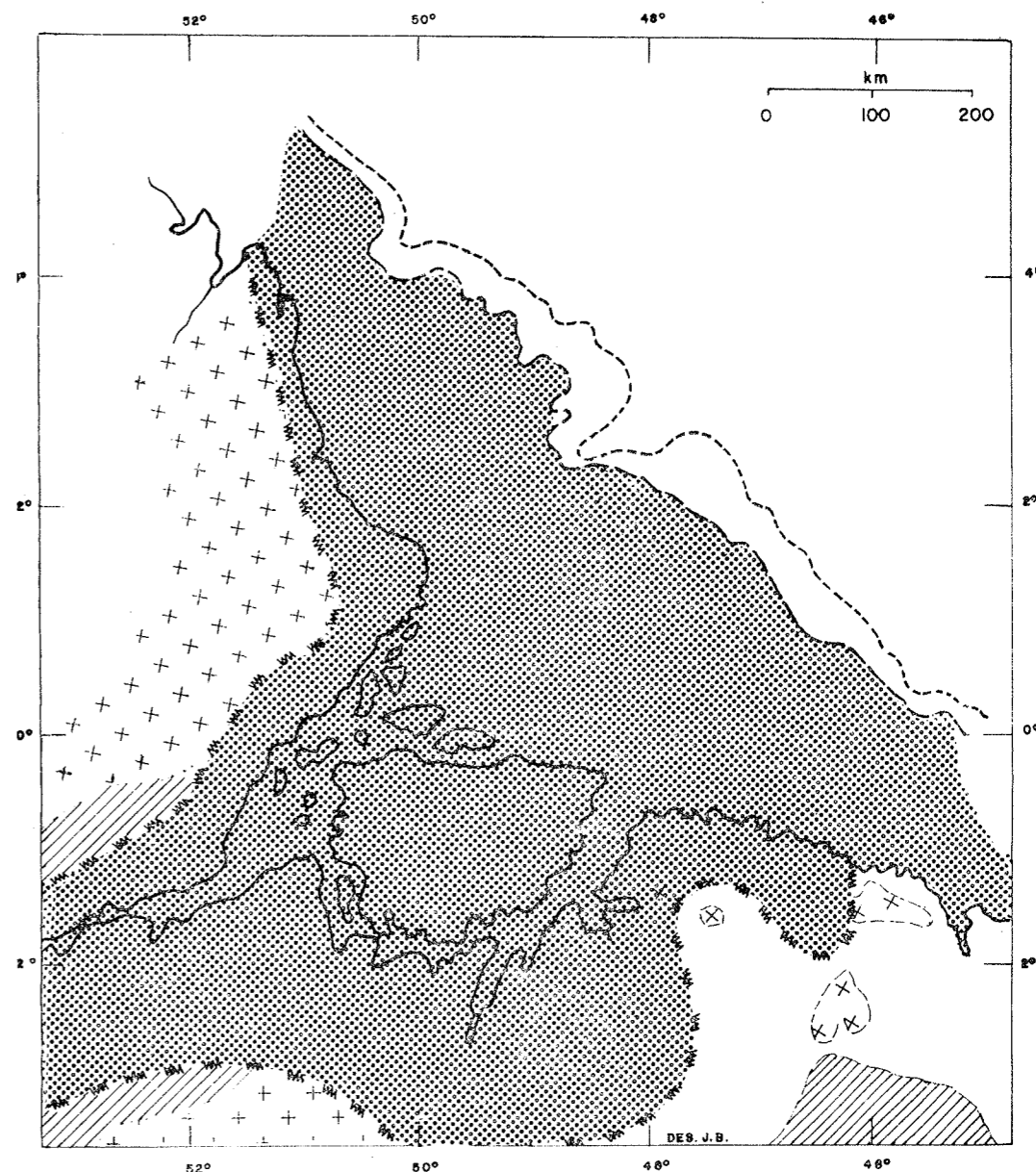
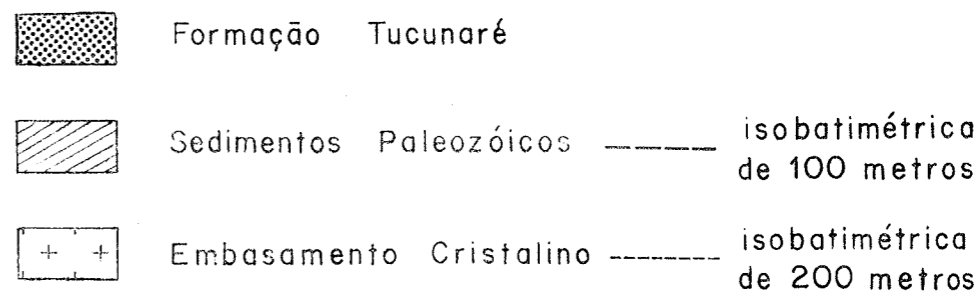
Este conjunto representa o evento quaternário de regressão que ocorreu em outras Plataformas.

#### FASE ESTACIONÁRIA

A seção estratigráfica ideal é mascarada por haver uma mistura após cada deposição, principalmente, por sedimentação lenta da fração carbonática em Plataforma Média-Externa.

Os sedimentos agora observados foram formados em vários ambientes diferentes que se sucederam no mesmo litótopo. Em termos de profundidade são do mais raso para mais fundo e em termos de energia de alta para baixa (Fig. 9).

Esta sucessão é ligada a uma fase estacionária de nível de mar mais baixo e uma posterior elevação.

Fig. 8 - ÁREA DE OCORRÊNCIA DA FORMAÇÃO TUCUNARÉ  
(Segundo Schaller e Vasconcellos, 1971)



AMBIENTE	RELAÇÕES ESTRATIGRÁFICAS	INDICADORES
TALUDE	[Diagrama de estratigrafia]	ARGILA
PLATAFORMA INTERNA A LITORAL	[Diagrama de estratigrafia]	CARBONATO OOLÍTICO GLAUCONITA
PLATAFORMA EXTERNA-TALUDE	[Diagrama de estratigrafia]	CARBONATO ESQUELETAL ( <i>Spiratella</i> )

Fig 9- SEQUÊNCIA SEDIMENTAR DE TERRAÇO ( Noroeste )

A feição topográfica correspondente e que, foi recoberta pelas Comissões GEOMAR é o terraço situado no contorno da Plataforma Externa — Talude Superior. Superpõe sua morfologia a estas regiões da Margem Continental. Sua profundidade média (140-150 metros) está próxima a média mundial (130 metros) de nível de mar mais baixo, na última glaciação pleistocênica. Suas fases erosionais são sugeridas pelos abundantes litoclastos remanescentes.

Durante este estágio a atual Plataforma Média-Externa deveria ser uma planície costeira plana, de fraca drenagem em um clima árido. O influxo dos sedimentos terrigenos não foi suficiente para soterrar os pré-existentis: moldes fósseis de *Spiratella*, permitindo também o desenvolvimento de uma fácies carbonática rasa, documentada pelos ooides.

Ab'Saber (1967) considera que, também no interior da região amazônica, os períodos de nível de mar mais baixo coincidiram com climas mais secos.

Esta linha de costa antiga era recortada por canyons e vales na costa abrupta de leste e uma zona costeira irregular a oeste, trabalhadas no ciclo erosivo anterior (Fig. 10).

**FASE TRANSGRESSIVA INICIAL**

Ao início da transgressão corresponde uma fácies de praia com abundante litoclastos e fauna intertidal e condições estuarinas alteradas (Fig. 11).

O influxo de terrígeno foi menor do que o anterior na bacia de drenagem durante o aprofundamento dos paleocanais pois durante esta fase o preenchimento aluvial não alcançou a altura das camadas leito do ciclo regressivo.

Destes cursos d'água forçados vale acima pelo avanço do oceano restam os indícios dados por biotita e sua transformação em glauconita.

Ambientes de Plataforma Rasa com comunidades de moluscos e foraminíferos colonizando camadas pouco potentes de carbonato, estão registradas na sucessão, na região noroeste. A passagem da linha de praia é documentada por raros restantes.

Aparentemente, a tendência a enriquecimento carbonático de leste já estava instalada, neste tempo, com formação de bancos baixos.

Os arenitos quartzosos de cimento calcífero, que são encontrados entre as isobatas de 70 a 80 metros são indicadores de uma particular linha de tempo: ou de um homogêneo ecossistema propício a esponjas ou como «beach-rocks» em superfície erosiva.

**FASE TRANSGRESSIVA FINAL COM SUPERPOSIÇÃO FLÚVIO-MARINHA**

É reconhecido que os últimos estágios de elevação do nível do mar foram lentos (Emery, 1968) produzindo preenchimento de estuário em muitas costas.

Nesta fase até o nível de mar estável atual em áreas com maior suprimento terrígeno foi possível progradação do tipo da facies argilo-arenosa (Fig. 12).

Os principais fatores de controle de fácies são de estuário gerando um discreto delta de maré.

Os padrões encontrados nesta fácies flúvio-marinha são:

Há maior deposição de sedimentos finos na superfície de todo e areias fluviais grossas puras são restritas aos canais de deságue (Zembruscki et alii, 1971).

As tendências de um novo ciclo regressivo são: 1) a partir da Fácies Argilo-arenosa o sucessivo e rápido desaparecimento dos grupos de organismos e, decréscimo geral do número de espécies, pelo aumento da razão de sedimentação que produz condições árdas de sobrevivência; 2) a partir da Plataforma Externa, sucessão de províncias petrológicas de minerais estáveis para instáveis, em Plataforma Interna.

As feições morfológicas mostram estágios evolutivos de abrandamento dos contornos, por preenchimento dos canais de deságue e dos

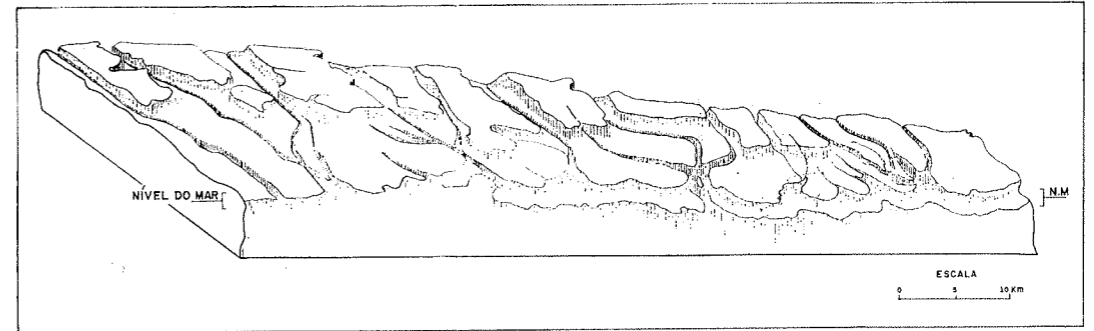


Fig.10-PALEOGEOGRAFIA NO LIMITE PLEISTO-HOLOGÊNICO

canais do esqueleto pleisto-holocênico por argila; e mudanças do relevo por sedimentação rítmica nas fases periódicas da descarga amazônica.

Para as fácies carbonáticas produzidas por algas construtoras, os processos de adição contínua estão em estágio de equilíbrio com o ambiente moderno. Da Fácies Biodetrítica de Plataforma Externa, em direção noroeste, permanecem os produtos da fase transgressiva inicial. Misturam-se com uma fauna moderna.

**CORRELAÇÃO DE IDADES**

No estudo dos sedimentos marinhos, do Quaternário Superior, as flutuações eustáticas têm sido determinadas em tempo absoluto (radiocarbono). Na literatura especializada há acordo entre os limites de tempo e os processos eustáticos (Emery, 1968).

Em resumo, é conhecido que de 30 a 35.000 anos atrás o nível do mar era próximo ao

AMBIENTE	RELAÇÕES ESTRATIGRÁFICAS	INDICADORES
PLATAFORMA EXTERNA	[Diagrama de estratigrafia]	CARBONATO ESQUELETAL
PLATAFORMA INTERNA	[Diagrama de estratigrafia]	CARBONATO ESQUELETAL
ESTUÁRIO E PRAIA	[Diagrama de estratigrafia]	GLAUCONITA/BIOTITA/CARBONATO/AREIAS RELÍQUIAS.
VALE ALUVIAL	[Diagrama de estratigrafia]	AREIA QUARTZOSA

Fig 11 - SEQUÊNCIA SEDIMENTAR DE PLATAFORMA EXTERNA

AMBIENTE	TIPO DE SEDIMENTO	RAZÃO DE SEDIMENTAÇÃO	FAUNA				MINERALOGIA											
			FORAMINÍFEROS	BIVALVOS	GASTROPODOS	BRIZOZÓARIOS	PROVÍNCIAS PETROLÓGICAS	ESTAUROLITA	CIANITA	ZIRCON	HORNBLENDA	HIPERSTENO	AUGITA	BIOTITA	MUSCOVITA	GLAUCONITA		
FLÚVIO-MARINHA	ARGILA	RÁPIDA	A	F	A	F	A	F	A	F								
PROGRADAÇÃO	AREIA ARGILA	MODERADA																
PLATAFORMA ABERTA	AREIA QUARTZOSA E CARBONATO RETRABALHADOS	LENTA																
VALE ALUVIAL (PLEISTOC.)	AREIA QUARTZOSA	NÃO DEPOSICIONAL																

Adaptado de Pomerancblum & Costa (1972, A e B)

Fig.12-SEQUÊNCIA DE SUPERPOSIÇÃO FLÚVIO-MARINHA

UNIDADE DE TEMPO	LIMITE DE TEMPO (anos)
Recente	5000 ± 1000 ao presente
Holoceno Superior	10000 ± 1000 a 4000 ± 1000
Holoceno Médio	13000 ± 1000 a 10000 ± 1000
Holoceno Inferior	16000 ± 1000 a 13000 ± 1000
Wiscosiniano Superior	antes de 16.000 ± 2.000

Fig. 13 - ESCALA DE TEMPO/UNIDADE

atual. Regrediu até cerca de menos 130 m a 16.000 passados. A transgressão holocênica começou a 14.000 anos e continuou rapidamente até 7.000 anos, e a partir deste a elevação foi lenta e gradual (Milliman & Emery, 1968).

Na ausência das datações de radiocarbono, as unidades de tempo estabelecidas para o Quaternário, em interação com o contexto paleogeográfico anterior, são os dados estimativos de referência nível do mar/tempo.

O procedimento é semelhante ao estabelecido por Logan et alii (1969) na Plataforma do Yucatán, México.

As ocorrências na fig. 13 (segundo Shepard, 1960 in Logan et alii, 1969) proporciona visualização do processo em tempo finito.

A relação dos paleoambientes e ambientes modernos com a superfície de transgressão é representada em esquema (Fig. 14). As posições aproximadas do nível do mar tem um limite relativo de tempo finito.

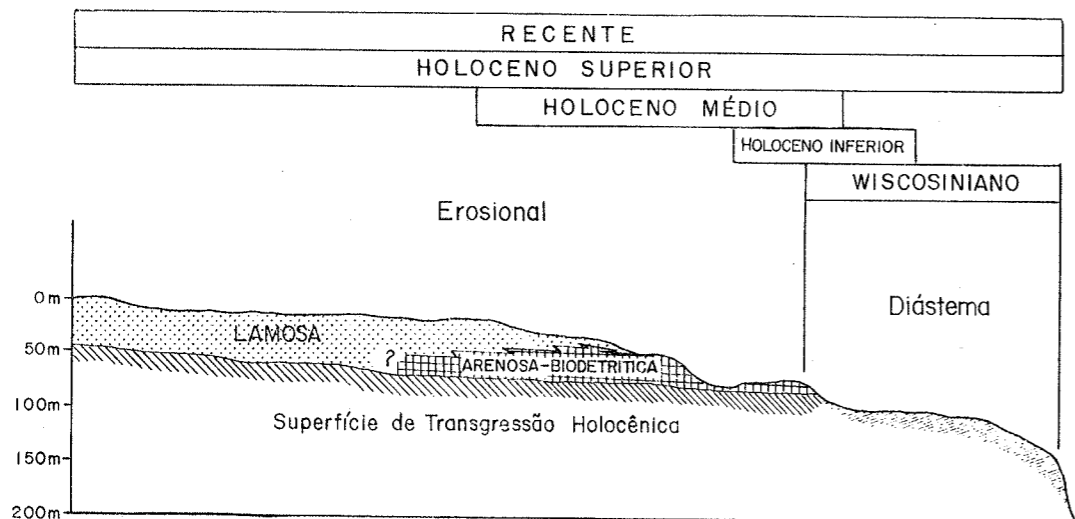


Fig. 14 - RELAÇÕES TRANSGRESSÃO / UNIDADE DE TEMPO

### CONDIÇÕES TECTO-AMBIENTAIS

Em Plataformas estáveis, a posição das isobatas representa um tempo definido. A transgressão e a escala de unidade/tempo absoluto têm uma aproximação conveniente. Porém esta diminui em Plataformas subsidentes com a incerteza que este componente introduz.

As associações litológicas estudadas delimitam dois domínios tectônicos condicionantes da sedimentação (Fig. 15).

Há a leste, associações comuns de Plataforma estável com suites de minerais pesados estáveis indicando baixa erosão na área fonte. As areias quartzosas gradam diretamente a carbonatos.

Para oeste, as associações são de Plataforma instável, com razão de subsidência lenta. Em períodos de mar mais baixo, houve maior taxa de erosão com áreas fonte relativamente ativas suprindo detritos variados.

Na fase transgressiva inicial a sedimentação lenta foi principalmente carbonática, com baixo fornecimento da área fonte.

Na fase final a sedimentação mais rápida é clástica com espécies mineralógicas predominantemente instáveis.

Estes efeitos do controle tectônico e eustático poderão ser quantificados por datações de

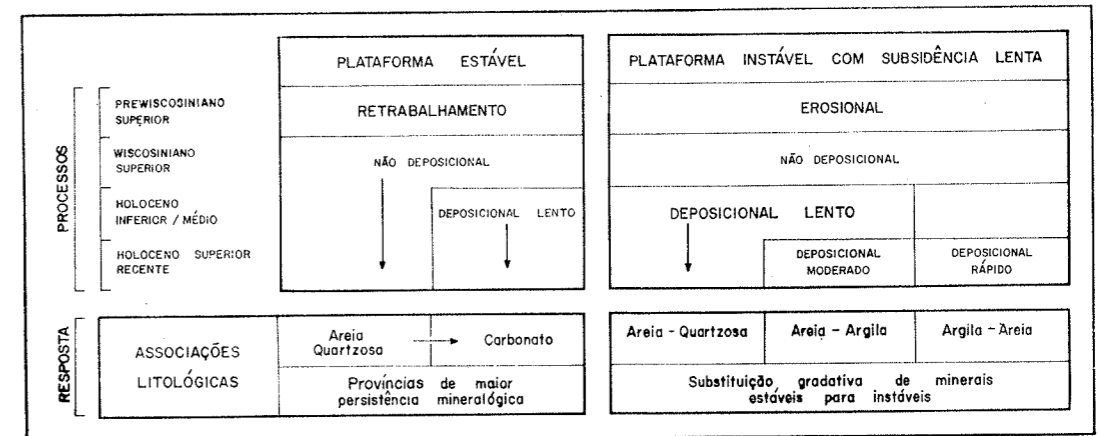


Fig. 15 - CONDIÇÕES TECTO-AMBIENTAIS

radiocarbono. Nesta interpretação da história da Plataforma poderá haver inclusive ampliação de tempo para os fenômenos determinados.

O último abaixamento do nível do mar, foi certamente precedido por outros ciclos regressivos, pois além das feições sub-áreas detetadas por ecosondagem clássica (mais novas), são conhecidos canais soterrados determinados em perfis sísmicos contínuos (mais antigos). Alguns elementos de terrço, quando datados por radiocarbono poderão situar nesta reconstrução os eventos pré-wiscosinianos superiores.

### AGRADECIMENTOS

Agradecemos o apoio da Companhia de Pesquisas de Recursos Minerais e do Departamento Nacional da Produção Mineral, na confecção deste trabalho.

Agradecemos pela cooperação e excelente tratamento, durante os dois meses de mar ao Sr. Capitão de Mar e Guerra Fernando Mendonça da Costa Freitas, Comandante do Navio Oceanográfico «Almirante Saldanha», do Ministério da Marinha.

### REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AB'SABER, A. Z. — *Problemas Geomorfológicos da Amazônia Brasileira in LENT, H. (ed.) 1967. Aas do Simp. Biota Amazônica. Vol. 1 (Geo.), p. 35-67.*
- BANDEIRA, Jr., A. N. (1970) — *Estudo Sedimentológico da Foz do Rio Pará: Relatório para a Diretoria de Hidrografia e Navegação da Marinha do Brasil.*
- COELHO, P. A. (1970) — *A Distribuição dos Crustáceos Decápodos Reptantes do Norte do Brasil: Trabs.: Oceanogr. Univ. Fed. Pernam. (1967, 1969), v. 9-11, p. 223-238.*
- COUTINHO, P. N. & MORAES (1970) — *Distribucion de los Sedimentos en la Plataforma Continental Norte Y Nordeste del Brasil: Arq. Ciên. Mar, 10 (1): 79-90, figs.*
- EMERY, K. O. (1968) — *Relict Sediments on Continental Shelves of World: Am. Ass. Petr. Geologists, Bull. 52, nº 3, p. 445-464, 16 figs.*
- FORMOSO, M. (1971) — *Plataforma Continental Norte do Brasil. Mineralogia de Argilas: Relatório da II Reunião do Grupo Executivo do Programa Plurianual de Geofísica e Geologia Marinha. Porto Alegre.*
- GIBBS, R. S. (1967) — *The Geochemistry of the Amazon River System: Geol. Soc. Am., Bull. v. 7, 1.203-1.232.*
- (1970) — *Circulation in the Amazon River Estuary and Adjacent Atlantic Ocean: J. Mar. Research, v. 28, nº 2.*
- GUILCHER, A. — *Quaternary Events on the Continental Shelves of the World: in DELANY, F. M. (ed.) 1970. ICSU/SCOR Working Party 31 Symp. The Geology of the East Atlantic Continental Margin. 1. General an Econ. Pap. Rep. nº 70/13, Inst. Geol. Sci., p. 35-46.*
- GORINI, M. A. et ALII (1971) — *Resultados Preliminares do Parcial Processamento de Ecogramas e testemunhas obtidos durante a Operação GEOMAR-II do Navio Oceanográfico «Almirante Saldanha»: Relatório da II Reunião do Grupo Executivo do Programa Plurianual de Geofísica Marinha, Porto Alegre.*
- KEMPF, M. (1970) — *Note on the Benthic Bionomy of the N-NE Brazilian Shelf: Marine Biology, v. 5, nº 3, p. 213-224.*
- KEMPF, M. & MATHEWS, H. R. (1968) — *Marine Mollusks from North and Northeast Brazil. I. — Preliminary List: Arq. Est. Biol. Mar. Univ. Fed. Ceará, 8 (1), p. 87-94.*

- KEMPF, M. ET ALII (1970) — *Plataforma Continental do Norte e Nordeste do Brasil. Nota Preliminar sobre a Natureza do Fundo*: Trabs. Oceanogr. Univ. Fed. Pernambuco (1967/1969), v. 9/11, p. 9-26, 4 figs.
- LABOREL, J. (1969/1970) — *Madreporáires et Hydro-Coralliaires Récifaux des Cotes Bressiliennes*: R. Sc. C. Calypso, fasc. IX: Ann. L'Institut Oceanographique: (NS) f. XLVIII, p. 171-229.
- LIMA, M. C. & CAMPANHA, W. A. (1971) — *Resultado Preliminar do Exame da Fração Orgânica Associada aos Sedimentos da Plataforma Amazônica*: Relatório da II Reunião do Grupo Executivo do Programa Plurianual de Geofísica e e Geologia Marinha. Porto Alegre.
- LOGAN ET ALII (1969) — *Carbonates Sediments and Reefs, Yucatán Shelf, México*: Am. Ass. Petr. Geologists, Mem. 11, 198 p.
- MABESOONE, J. M. (1971) — *Facies Sedimentares da Plataforma Continental Brasileira*: Estudos Sedimentológicos, 1 (1), p. 55-71.
- MARTINS, L. R. (1971) — *Resultados do Processamento das Amostras da GEOMAR-II. Efeito nos Laboratórios do Centro de Estudos Costeiros e Oceanográficos do Instituto de Geociências da U.F.R.G.S.* Relatório da II Reunião do Grupo Executivo do Programa Plurianual de Geofísica e Geologia Marinha. Porto Alegre.
- MARTINS, L. R., ET ALII (1971) — *Observações Geológicas na Margem Continental Norte do Brasil*: XXV Congresso Brasileiro de Geologia. Soc. Bras. Geol., Núcleo de São Paulo. Bol. Esp. n.º 1, p. 29-30.
- MILLIMAN, J. D. & EMERY, K. O., 1968 — *Sea Levels during the Past 35000 years*: Science, 162, p. 1121-1123
- OTTMANN, F., 1960. *Sobre a Distribuição dos Sedimentos na Embocadura do Rio Amazonas*: Soc. Bras. Geologia, Bol. 9, n.º 1, p. 57-61.
- POMERANCLUM, M., 1971 — *Estudo dos Minerais Pesados da Plataforma Continental Norte do Brasil Referentes à Operação GEOMAR-II*: Relatório da II Reunião do Grupo Executivo do Programa Plurianual de Geofísica e Geologia Marinha. Porto Alegre.
- POMERANCLUM, M. & COSTA, M. P. A., 1972a. — *Sedimentologia da Plataforma Continental Norte Brasileira*. XXVI Congresso Brasileiro de Geologia, Belém, Pará.
- 1972b — *Glaucônita Como Processo de Alteração de Biotita*. — XXVI Congresso Brasileiro de Geologia, Belém, Pará.
- REZENDE, W. M. & FERRADAES, 1971. — *Integração Geológica Regional da Foz do Amazonas*. — XXV Congresso Brasileiro de Geologia: Soc. Bras. Geol., Núcleo de São Paulo. Bol. Esp. n.º 1, p. 220-221.
- RUSSEL, R. J. (1967) — *Crigin of Estuaries*. in: LAUFF, G. H. *Estuaries*. Am. Ass. Adv. Science, Publ. 83, 757p.
- SÁ, J. H. S. (1969) — *Contribuição à Geologia dos Sedimentos Terciários e Quaternários da Região Bragantina Estado do Pará*: Bol. Geologia n.º 3 Inst. Geociências, UFRJ, p. 21-36.
- SANTOS, M. E. C. M. (1971) — *Fração Carbonática Associada aos Sedimentos Superficiais da Plataforma Continental Norte Brasileira*: Estudos Sedimentológicos, 1 (2), p. 87-103.
- SANTOS, M. E. C. M. & CARVALHO, J. C. (1971) — *Comissão GEOMAR-II. Relatório da II Reunião do Grupo Executivo do Programa Plurianual de Geofísica e Geologia Marinha*. Porto Alegre.
- SCHALLER, H. & VASCONCELLOS (1971) — *Estratigrafia Preliminar da Bacia Sedimentar da Foz do Rio Amazonas*. XXV Congresso Brasileiro de Geologia: Soc. Bras. Geol., Núcleo de São Paulo. Bol. Esp. n.º 1.
- SELLEY, R. C. (1970) — *Ancient Sedimentary Environments*: Chapman & Hall Ltd, London. 237 p.
- SEIGLIE, G. A. (1968) — *Relations between the Distribution of Amphistegina and the Submerged Pleistocene Reefs off Western Puerto Rico*: Tulane Studies in Geology, V. 6, n.º 4, p. 139-147.
- TINOCO, I. M. (1959) — *Classificação Sistemática dos Foraminíferos dos Testemunhos de Sondagens Submarinas Efetuadas pelo Navio Escola "Almirante Saldanha" na Embocadura do Rio Amazonas*: Trabs. Bio. Marit. Oceanogr. Univ. Recife, v. 1, n.º 1, p. 107-112.
- (1970) — *Distribuição dos Foraminíferos da Plataforma Continental do Norte-Nordeste do Brasil*: Arch. Museu Nacional, v. 54, p. 93-96.
- WALTON, W. R. — *Recente Foraminiferal Ecology and Paleoecology* in IMBRIE, J. & NEWELL, J. (1964) — *Approaches to Paleoecology*, p. 151-237. John Wiley & Sons Inc.
- WARMKE, G. L. & ABBOTT, R. T. (1961) — *Caribbean Seashells*. Livingston Publ. Company.
- ZEMBRUSCKI ET ALII (1971) — *Fisiografia e Distribuição dos Sedimentos Superficiais da Plataforma Continental Norte Brasileira*: Bol. Tec. Petrobrás, v. 14, n. 3/4, p. 127-155.

## RECURSOS MINERAIS DA MARGEM CONTINENTAL BRASILEIRA<sup>(1)</sup>

Por

CARLOS ALFREDO BECKER AMARAL<sup>(2)</sup>, MARCO AURELIO VICALVI<sup>(2)</sup>,  
LEOPOLDO AMARAL BARRETO<sup>(3)</sup> e CARLOS IVAN SANTANA<sup>(3)</sup>

### ABSTRACT

Exploration and exploitation technologies, associated with the influences of supply and demand, constitute the principal factor in the economy of submarine mineral resources. Advances in these technologies, coupled with growing industrial requirements at a time when land deposits are becoming exhausted, have surprised even those better informed. All this focuses attention on the value ocean deposits and, as a consequence, this present decade is witnessing a veritable rush to the sea.

On the Brazilian Continental Margin, a region with an extent of 1,850,000 km<sup>2</sup> (shelf, 850,000 — slope, 200,000 and rise 800,000), the search for petroleum is the outstanding activity. The objectives of these researches extend from the roll-over structures at the mouth of the Amazon, to those of a halocynetic nature in the south of Bahia and Espírito Santo, as far even, as Santos. Other areas with promising characteristics are Barreirinhas and Piauí-Ceará. The four petroleum discoveries are located off Sergipe where the Guaricema and Caioba fields are under development while economic viability of Camorim and Dourados is being studied.

Evaporites occur from Alagoas to Santos. Drilling has revealed the presence of gypsum-anhydrite relatively pure habite and radioactive salts in Sergipe, Espírito Santo, Santos, etc. They are found bedded, and in various stages of halocynetic evolution. From Aptian age in general, they might be Jussaric at Santos. Development permits have been sought in various areas for sulphur, potassium and rock salt.

The principal concentrations of heavy minerals of the coastal sands extend from the State of Rio de Janeiro as far as Bahia. Favorable conditions are expected for similar occurrences in the neighbouring marine areas.

In the off-shore North-East, the resurgence of deep water precipitates phosphates on the upper slope and on the outer part of the platform. An extensive belt of calcareous sediments occurs in the shallow waters from Salinópolis, Pará, as far south as the 20th parallel. They are the result of organic activity, chiefly of algae. On the coast of Rio Grande do Sul and Santa Catarina, there occur recently deposited shell banks, some already in a state of mineralization. In the deep sea, in

localities with low detrital sedimentation, occur nodules of the oxides of Mn (up to 24%), Cu, Ni, Co, Mb, V, Zn, etc. The exploitation of those is being studied in various parts of the world.

### 1. INTRODUÇÃO

Ao se considerarem os recursos minerais do fundo dos oceanos o petróleo ocupa, necessariamente, lugar de destaque. A produção atual dos demais bens minerais submarinos é, ainda, relativamente pequena. Esta situação, porém, evolue rapidamente com o desenvolvimento da tecnologia — principal fator condicionante da economicidade daqueles jazimentos, juntamente com os reflexos da lei da oferta e procura.

O momento propício à exploração de diversos jazimentos oceânicos vem se aproximando com rapidez surpreendente. Dai, em parte, estamos presenciando (ou participando de) esta verdadeira corrida mundial para o mar.

Os Estados Unidos da América do Norte, por exemplo, estão atualmente desenvolvendo um plano decenal que elevará sua inversão em pesquisas marinhas de 250 milhões de dólares em 1968 para 17 bilhões em 1980. Naquele ano, 15.500 especialistas estarão dedicados às ciências do mar: O Brasil não poderia permanecer alheio a este panorama mundial e foi com estas imagens em mente que se planejou

(1) Trabalho desenvolvido no Programa de Reconhecimento Global da Margem Continental Brasileira — REMAC.

(2) Departamento Nacional da Produção Mineral (Divisão de Geologia e Mineralogia, Setor de Geologia Marinha) — Av. Pasteur, 404/2º — Rio de Janeiro — GB — Brasil.

(3) Companhia de Recursos Minerais (Diretoria de Operações) — Av. Pasteur, 404 — anexo — Rio de Janeiro — GB — Brasil.

em 1971, o Programa de Reconhecimento Global da Margem Continental Brasileira — REMAC\*.

Deve-se, no entanto, ter bem claro que estes esforços, no que se referem aos recursos minerais — excetuando-se o petróleo — não são, em grande parte, de pesquisa mineral entendida como um estudo de viabilidade ou pré-viabilidade econômica. São, isto sim, um considerável movimento no sentido de se avaliarem as reais potencialidades daqueles recursos.

O Mapa Preliminar dos Recursos Minerais da Margem Continental Brasileira, na escala de 1:500.000, foi planejado pelo Departamento Nacional da Produção Mineral e integra o seu Programa de Avaliação de Recursos Minerais, e os trabalhos foram desenvolvidos dentro do Programa REMAC. Dadas as limitações gráficas para a presente publicação, o mapa original foi simplificado e desdobrado em três figuras (3, 7 e 8). Apontam-se alguns jazimentos: de um lado os que estão associados às rochas sub-superficiais, e, de outro, aqueles que são condicionados pela sedimentação mais ou menos contemporânea. Este trabalho não encerra a intenção de ser completo.

## 2. Recursos Minerais Associados às Rochas Sub-superficiais

### 2.1. Petróleo

#### 2.1.1. Atividade Exploratória

Já a partir de 1968 a Petrobrás lançou-se decididamente à pesquisa de petróleo na Plataforma Continental Brasileira, imensa região com cerca de 800.000 km<sup>2</sup>. Para esta atividade exploratória, e com finalidade operacionais, a plataforma foi dividida em 14 áreas (Figura 1), nem sempre seguindo-se critérios geológicos.

A pesquisa em tão ampla região exigiu, desde logo, o desdobramento das atividades em 3 níveis:

- reconhecimento geofísico;
- Detalhamento sísmico de áreas selecionadas, e
- perfuração pioneira em áreas prioritárias.

(\*) Detalhes sobre o Programa REMAC podem ser encontrados em Almeida, A. C. F. de — (1972) — Reconhecimento Global da Margem Continental Brasileira.

No trabalho Índice dos Levantamentos Sobre a Margem Continental Brasileira (Amaral et alii, 1972), apresentado neste mesmo Congresso de Geologia, são indicadas as áreas em que a Petrobrás desenvolveu atividades exploratórias. São igualmente fornecidas informações sobre as naturezas daqueles levantamentos bem como sobre os relatórios de dados resultantes.

#### 2.1.2. Estado atual da Pesquisa

Considerando-se que trabalhos que versam especificamente sobre o petróleo em nossa plataforma continental estarão sendo apresentados neste mesmo Congresso, a seguir será oferecido somente um breve panorama dos principais resultados alcançados até o presente.

Na atual etapa da pesquisa petrolífera em nossa plataforma continental, os objetivos são bem variados. De um lado estão as magníficas estruturas do tipo «roll over» mapeadas na Foz do Amazonas, em sedimentos provavelmente deltáicos. Uma vez confirmado o caráter deltáico de tais sedimentos, estarão sendo reconhecidas condições de acumulação semelhantes às do Delta do Niger, o maior produtor da Costa Oeste da África. Na plataforma em frente a São Luiz, também foram mapeadas estruturas «roll over».

Já na Plataforma do Piauí-Ceará, tem-se estruturas anticlinais associadas a falhamentos afetando o Cretáceo Inferior e o Juro-Triássico.

Em Sergipe, o Cretáceo Inferior associa-se a paleo altos pré-Aptianos (campos de Camorim e Caioba) e areias enérgicas do Membro Calumbi que também ofereceram condições de jazimento já comprovadas em duas descobertas: Guaricema e Dourados.

No Recôncavo-Almada, são trapas paleogeomorfológicas associadas a discordâncias e estruturas do Cretáceo Inferior recobertas possivelmente por Cretáceo Superior e Terciário.

Nas regiões de Espírito Santo, Campos e Santos, encontram-se as estruturas halocinéticas mapeadas pela geofísica e já confirmadas pela perfuração. Estas estruturas afetam colunas Terciárias com boas características de geração e reservatório.

Em Campos, a perfuração submarina confirmou a presença de uma seção deltáica Terciária com excelente índice de petróleo, associando-se arenitos permo-porosos e folhelhos geradores.

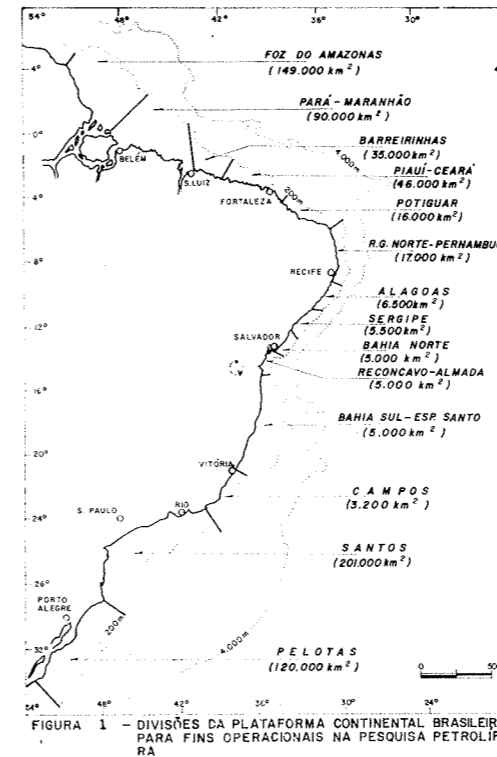


FIGURA 1 — DIVISÕES DA PLATAFORMA CONTINENTAL BRASILEIRA PARA FINS OPERACIONAIS NA PESQUISA PETROLÍFERA

Na Baía de Pelotas, os objetivos são suas estruturas na coluna Terciária.

Em nível menos investigado, ocorrem extensas regiões carbonáticas com possibilidades de jazimentos petrolíferos associados a recifes nas bacias de Bahia Sul-Espírito Santo, Barreirinhas e na própria Foz do Amazonas.

As áreas com indícios mais promissores são Barreirinhas, Piauí-Ceará e, especialmente, a Bahia Sul-Espírito Santo. A Figura 2 mostra uma síntese das perfurações submarinas realizadas por área, indicando-se ainda os resultados obtidos. As descobertas, em número de quatro, concentram-se na Plataforma de Sergipe.

No Baixo de Mosqueiro foram localizados os campos de Guaricema, em desenvolvimento, e o de Dourados. Os reservatórios são arenitos lenticulares dispersos em folhelhos da Formação Piaçabuçu, Membro Calumbi. Tratam-se, pois, de trapas estratigráficas.

No Alto de Aracaju, em blocos associados à grande Falha de Atalaia, conta-se com outras duas descobertas: Caioba e Camorim. A primeira está em desenvolvimento e tem como reservatórios principais os arenitos «tipo lençol» da Formação Serraria. Em Camorim os Reservatórios são conglomerados de baixa per-

mo-porosidade do Membro Carmópolis, Formação Muribeca que já ofereceram três campos na parte emersa da bacia.

## 2.2. Evaporitos

### 2.2.1. Importância

Historicamente, as estruturas salinas associam-se às mais interessantes produções de óleo e gás. Mas não se restringe aos hidrocarbonetos a potencialidade econômica dos depósitos salinos. Além da gipsita-anidrita, tem-se o enxofre, que se concentra nas «cap rocks», e os próprios sais solúveis. Recentemente, cavernas artificiais produzidas no seio da massa salina servem de seguros e econômicos depósitos de variados fluidos tais como hidrocarbonetos e lixos radioativos.

No Brasil, se bem que existam em regiões emersas, extensos depósitos salinos geo-economicamente favoráveis, os jazimentos salinos da plataforma já vem se constituindo alvo de dispendiosos estudos, mesmo sem contarmos aqueles que visam a produção de petróleo. E, na Plataforma de Espírito Santo, algumas áreas já foram requeridas para pesquisa de potássio, salgema e enxofre.

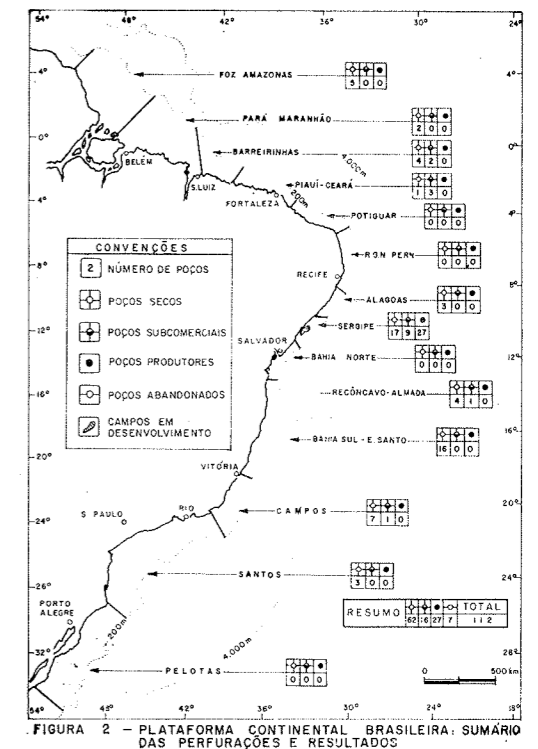


FIGURA 2 — PLATAFORMA CONTINENTAL BRASILEIRA: SUMÁRIO DAS PERFURAÇÕES E RESULTADOS

## 2.2.2. Ocorrências

Na plataforma continental brasileira, (Figura 3) os evaporitos estão presentes nas bacias de Alagoas, Sergipe, Bahia Sul-Espírito Santo, Campos e Santos. Distribuição análoga é verificada no Gabão, Congo e Cuanza, na África. São Aptianos em geral, talvez Jurássicos na Bacia de Santos.

Na figura 3, os pontos escuros indicam ocorrências de gipsita-anidrita. Estes minerais podem ser encontrados também associados aos sais solúveis nas demais áreas. Também estão indicadas as camadas de sais solúveis, e as regiões estruturalmente perturbadas com características atribuídas à halocinese. Algumas delas, na plataforma, são determinadas com bom controle de dados. A Petrobrás já mapeou, com geofísica, inúmeros domos e alinhamentos de domos, especialmente nas bacias de Espírito Santo, Campos e Santos, e algumas ocorrências foram perfuradas. Por outro lado, a partir da quebra da plataforma, oceano a dentro, o volume de dados disponíveis é menor e não se pode, ainda, afirmar com segurança a presença dos sais solúveis. As

setas assinalam as ocorrências confirmadas pela perfuração.

Em Alagoas, é limitada a disponibilidade de dados. A perfuração já confirmou, no entanto, a presença de sais solúveis a cerca de 3.000 m de profundidade, na Formação Muribeca.

Em Sergipe, os evaporitos selam reservatórios produtores do Membro Carmópolis. Estes sais estão no Membro Ibura, Formação Muribeca. Sua composição é essencialmente à base de halita, mas sais radioativos são indicados pelos perfis elétricos.

No sul da Bahia, a presença de sais solúveis foi confirmada pela perfuração a cerca de 3.500 m de profundidade.

Na Bacia de Espírito Santo, encontram-se domos fortemente perfurantes. Alguns deles, muito rasos, chegam a afetar a morfologia submarina. Nesta mesma bacia, acompanhando-se a variação lateral de uma camada evaporítica (Figura 4), vê-se que a composição de gipsita-anidrita, encontrada perto de linha de costa, dá lugar aos sais solúveis mais para o centro da bacia, costa a fora. Neste mesmo sentido, os sais se espessam e o mesmo acon-

Testemunho	Intervalo (Metros)	Espessura (Metros)	Teores médios em percentagens				
			H <sub>2</sub> O	R. I.*	CaSO <sub>4</sub>	NaCl	Total
1-2	326 — 344,5	18,54	0,33	5,68	3,70	89,70	99,45
3	630 — 639	9,00	0,06	1,31	1,56	96,52	99,45
4	1.000 — 1.016	16,00	0,61	3,86	2,32	92,91	99,70

RESULTADOS DE ANÁLISES QUÍMICAS PROCEDIDAS EM AMOSTRAS DOS TESTEMUNHOS COLHIDOS NA PERFURAÇÃO 9-CPRM-1-ESS. (Segundo Relatório final do Projeto Domo Salinos da Plataforma Continental do Estado do Espírito Santo — D.N.P.M.)

(\*) R. I. — Resíduos Insolúveis)

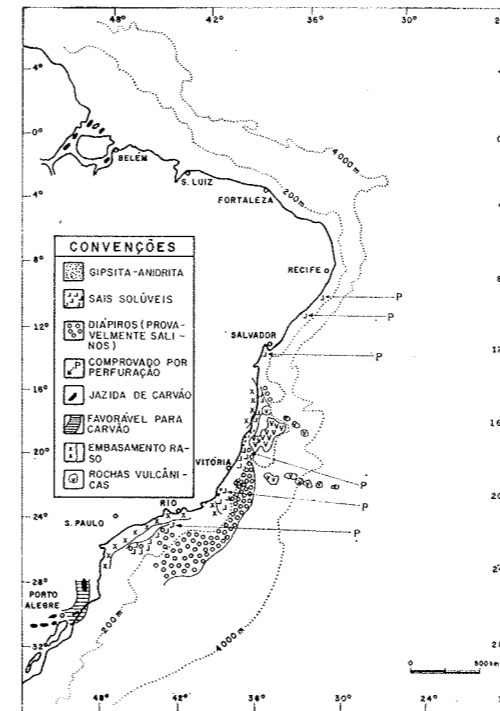


FIGURA 3 — RECURSOS MINERAIS ASSOCIADOS ÀS ROCHAS SUBSUPERFICIAIS

tece com a coluna sobre posta até que, a certa altura, verificou-se a halocinese.

A Figura 5 mostra alguns destes domos rasos na Bacia de Espírito Santo. Estão indicadas as profundidades estimadas dos ápices das massas salinas que variam em torno de poucas centenas de metros. Nesta mesma região, a gravimetria sugere a presença de possíveis «cap rocks». Com o intuito de testar possível ocorrência de «cap rock» num domo já comprovado por perfuração para petróleo, e com vista a enxofre, foi perfurado o poço 9-CPRM-1-ESS em projeto do Departamento Nacional da Produção Mineral intitulado «Domo Salinos da Plataforma Continental».

A seção geológica da Figura 5 foi preparada com base nos resultados das duas perfurações que atingiram o domo. O 1-ESS-1, para petróleo, atingiu a massa salina em seu flanco, a 1.850 m de profundidade. Perfurou até pouco mais de 3.000 m uma seção quase que totalmente de halita. Já o poço 9-CPRM-1-ESS perfurou o ápice do domo e atingiu o sal a 125 m de profundidade. Infelizmente, perda de circulação verificada antes de ser atingida a massa salina comprometeu a amostragem do possível «cap rock» que, se existente, teria se mostrado muito reduzido. A perfuração não detectou enxofre, objetivo prin-

cipal da perfuração. O poço foi encerrado a 1.002 m, dentro do sal. A coluna perfurada revelou-se de halita bastante pura até os 800 m, com aproximadamente 2 m de sais radioativos, indicados pela perfilagem a cerca de 150 m de profundidade.

O Quadro 1 dá os resultados de análises feitas em 4 testemunhos. Estas análises revelaram uma composição em torno de 90% de cloreto de sódio.

Ao largo do Rio de Janeiro, perfuração submarina atingiu sais solúveis a cerca de 3.500 m de profundidade.

Na Bacia de Santos, observam-se todos os estágios da evolução das estruturas salíferas — desde os estágios de almofadas e domos de pequena penetração, até os domos altamente perfurantes próximos e para além da quebra da plataforma. Perfuração ao largo de São Paulo penetrou aproximadamente 500 m de evaporitos a cerca de 3.000 m de profundidade. Esta seção mostrou-se composta essencialmente por halita, mas também foram identificadas carnalita e taquidrita.

## 2.2.3. Considerações genéticas

Segundo Asmus (1972), a ocorrência de evaporitos em tão vasta área permite conje-

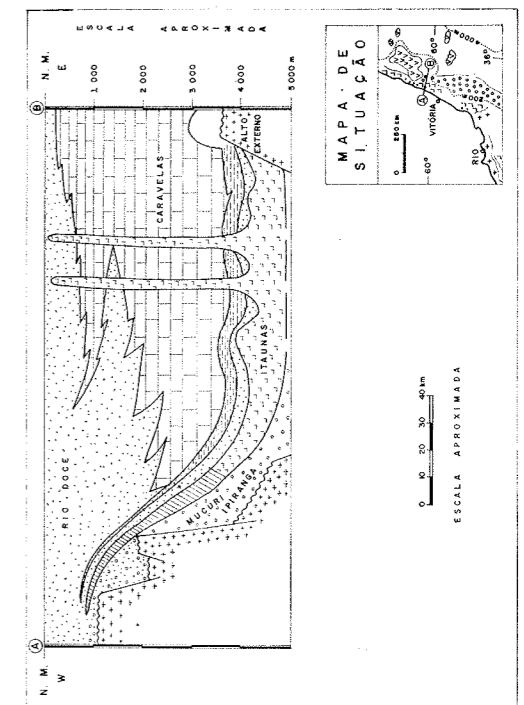


FIGURA 4 — SEÇÃO GEOLÓGICA ESQUEMÁTICA: PLATAFORMA CONTINENTAL BRASILEIRA - BACIA DE ESPÍRITO SANTO.

turas a cerca de um modelo regional de deposição. E o provável caráter salino das estruturas diapíricas existentes para além da quebra da plataforma, tanto no Brasil (Santos) como na África (Gabão), sugeririam que a deposição salina poderia ter-se estendido para além das bacias costeiras, até, talvez, por cima da crosta oceânica recém formada.

Desta forma, e segundo o mesmo autor, as barreiras locais teriam servido apenas para oferecer condições de maior restrição, ocasionando deposição de sais de potássio, mais solúveis, nas bacias de Sergipe, Santos e Congo, bem como para estender verticalmente no tempo a fase evaporítica, como na bacia de Cuanza que apresenta evaporitos Albianos.

### 2.3. Carvão Mineral

As camadas de carvão mineral da região do Brasil Meridional inserem-se na Formação Rio Bonito, Sub-Grupo Itararé, Grupo Tubarão. A Formação Rio Bonito que, na re-

gião das jazidas de carvão apresenta-se com uma espessura em torno de 150 m, constitui-se de intercalações de arenitos quartzosos, folhelhos e camadas de carvão formadas à base da flora gondwanica «Glossopteris-Gangamopteris».

Na região da Araranguá, Santa Catarina, diversos estágios de projeto, do Departamento Nacional da Produção Mineral para a avaliação do carvão mineral (ainda em desenvolvimento), vêm mostrando o comportamento de monótona camada de carvão minerável denominada Barro Branco. As perfurações espaçadas de 2 a 4 km, já chegaram a 8.000 m da atual linha de praia e indicam aí a persistência da camada carbonífera que deverá entrar plataforma continental adentro a uma profundidade de 200 m, mergulhando para sudoeste com 2° a 3°.

Na figura 3, são representadas algumas jazidas e uma área favorável para carvão mineral, entrando plataforma continental adentro.

A Figura 6 apresenta uma seção colunar do intervalo da Formação Rio Bonito em que

I T E N S	R E G I O Ë S				
	Metropolitana	Criciúma	Próspera	Urussanga	Rio do Oeste
Unidade (%)	2,70	3,20	2,50	3,00	3,4
Mat. Voláteis (%)	27,10	25,20	24,80	25,50	22,9
Carbono Fixo (%)	40,70	39,30	40,90	33,80	35,4
Cinzas (%)	29,50	32,30	31,80	37,70	38,3
Enxôfre (%)	3,60	5,50	4,50	5,10	3,9
Poder Calor. Sup. (cal/g)	5.575	5.000	5.220	5.750	3.973 4.447

**QUADRO 2**

Resultados de Análises imediatas típicas, em base seca, de carvão não beneficiado oriundo da «Camada Barro Branco» (Conforme Machado, 1969).

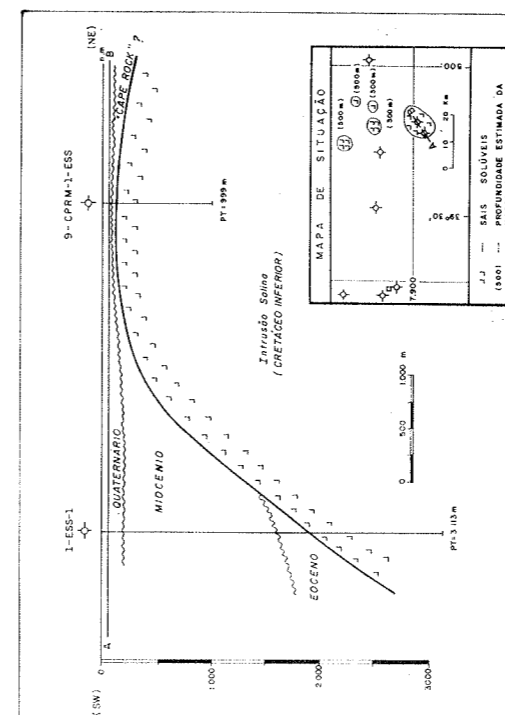


FIGURA 5 - SEÇÃO GEOLÓGICA ESQUEMÁTICA 1-ESS-1/9-CPRM-1-ESS (Adaptado do Relatório Final do Projeto Domo Salina da Plataforma Continental, Q.N.P.M.)

estão inseridas as camadas de carvão em Santa Catarina. Ao lado direito vê-se um detalhe de camada Barro Branco, bastante monótona e persistente na região. Sua espessura total varia entre 1 e 2 m e o carvão recuperável está em torno de 0,5 a 1,2 m.

O Quadro 2 nos mostra os resultados de análises de carvão daquela camada, não beneficiado, oriundo de diversas localidades. Como se vê com os dados apresentados, a Camada Barro Branco não se notabiliza nem pela sua espessura nem pelas qualidades de seu carvão, apenas razoavelmente coqueificante. De qualquer forma, e como se disse na introdução, a reserva carbonífera real permanecerá lá, potencial, até o dia em que a oferta e demanda de um lado, e a tecnologia de outro, além de outros fatores, tornarem interessantes o seu aproveitamento pela humanidade.

### 3. Recursos Minerais Condicionados pela Sedimentação mais ou menos Contemporânea

#### 3.1. Depósitos de águas rasas

##### 3.1.1. Minerais pesados

Emery et alii (1968) classificam os minerais pesados econômicos em três grupos, levando

em consideração suas características físicas e, conseqüentemente, fatores ambientais de deposição:

- minerais pesados «pesados» — este grupo inclui o ouro, estanho e platina, com densidade entre 6, 8 e 21 g/cm<sup>3</sup>. Seus depósitos são predominantemente aluvionares;
- minerais pesados «leves» — grupo da ilmenita, rutilo, zircão e monazita, cujas densidades variam entre 4, 2 e 5,3 g/cm<sup>3</sup>. Os depósitos atuais ou antigos, são predominantemente de praia;
- grupo das gemas — essencialmente o diamante, rubi e safira, com baixos pesos específicos (2,9 a 4,1), porém com elevada dureza. Ocorre principalmente em leitos de rios, embora o diamante seja encontrado também em pláceres litorâneos.

Estes minerais ocorrem, associados ou isoladamente, em plataformas continentais de diversas regiões do mundo (ouro no Alasca, casiterita na Indonésia, Ilmenita e rutilo na Austrália, diamantes na costa oeste da África do Sul, etc.) e algumas delas são ou já foram mineradas economicamente. Porém, em sua maior parte, constituem reservas potenciais para aproveitamento futuro.

No Brasil, são conhecidos, há muito tempo, diversos depósitos de minerais pesados do grupo «b» que engloba a ilmenita, rutilo, zircão, monazita, etc, associados a areias litorâneas. Estendem-se desde o litoral do Maranhão até o Rio Grande do Sul, em manchas

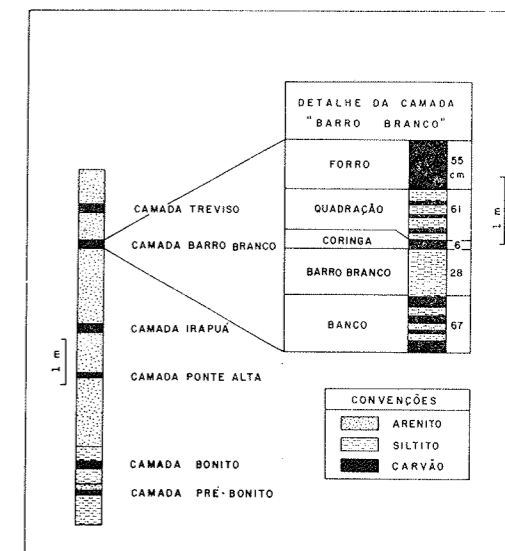


FIGURA 6 - SEÇÃO COLUNAR TÍPICA DO INTERVALO DA FORMAÇÃO RIO BONITO COM CAMADAS DE CARVÃO. REGIÃO DO ESTADO DE SANTA CATARINA. (Adaptado do Machado, 1971)

esparças separadas por amplos trechos estéreis (Figura 7).

As principais ocorrências estão na faixa de costa que vai do norte do Estado do Rio de Janeiro, até aproximadamente Porto Seguro, no sul da Bahia. Em alguns locais (como na Barra do Itabapoana e Cumuruxatiba), estão sendo minerados pela Comissão Nacional de Energia Nuclear.

Todos estes depósitos são geneticamente relacionados, e os seus minerais constituintes, provenientes, primariamente, de rochas do embasamento, sofreram uma primeira concentração nos sedimentos terciários continentais do Grupo Barreiras. Estas rochas, aflorantes em toda a extensão desse trecho litorâneo, constituem as conspicuas falésias que se alinham paralelamente ao litoral, ora terminando bruscamente na atual linha de costa, ora afastan-

do-se alguns quilômetros desta, no sentido do interior do continente. Análises mineralógicas efetuadas recentemente em amostras destes sedimentos, coletadas em Cumuruxatiba (litoral sul da Bahia), indicaram um teor médio de 2,9% de minerais pesados, com teor máximo de até 16%, segundo Barreto e Pinto (1972).

As oscilações do nível do mar, no Quaternário aliadas ao soerguimento do litoral, propiciaram condições ótimas para o retrabalhamento dos sedimentos do Grupo Barreiras pelos agente oceânicos (ondas e correntes ao longo da costa) concentrando os minerais pesados nas praias e cordões arenosos litorâneos.

Devido ao fato de o nível do mar ter ocupado posições muito inferiores (de até — 130 m) em relação atual, é de se esperar a ocorrência de depósitos de origem semelhantes nos trechos favoráveis do litoral brasileiro, como acima

### QUADRO 3

Jazidas de minerais pesados litorâneas registradas no Departamento Nacional da Produção Mineral (segundo Oliveros e Leonardos, 1961, p. 319)

Localização	Concessionária	Reserva Indicada (t)
Alcobaça — BA	Cnen (Sulba)	—
Prado-Cumuruxatiba	Cnen (M. Muci)	400.000
Anchieta — ES	Comira	500.000
Aracruz — ES	Cnen (Sulba)	—
Espírito Santo	Mibra	—
Guarapari — ES	Mibra	19.950
Guarapari — ES. II	Mibra	23.353
Iconha (I) — ES	Vis. T. Araújo	55.000
Iconha (II) — ES	Vis. T. Araújo	—
Serra (II) — ES	Cnen (Sulba)	—
Serra (III) — ES	Cnen (Sulba)	6.400
Serra (IV) — ES	Cnen (Sulba)	—
Vitória — ES	Cnen (Sulba)	11.500
Vitória — ES	Cnen (Sulba)	—
Paranaguá — PR	J. V. da Costa	—
S. J. da Barra — RJ	Mín. Itabapoana	229.000
Brusque — SC	Sul Brasileira	—
Caraguatatuba — SP	Cil	—
Caraguatatuba — SP	Fer. Lorenzi	23.000

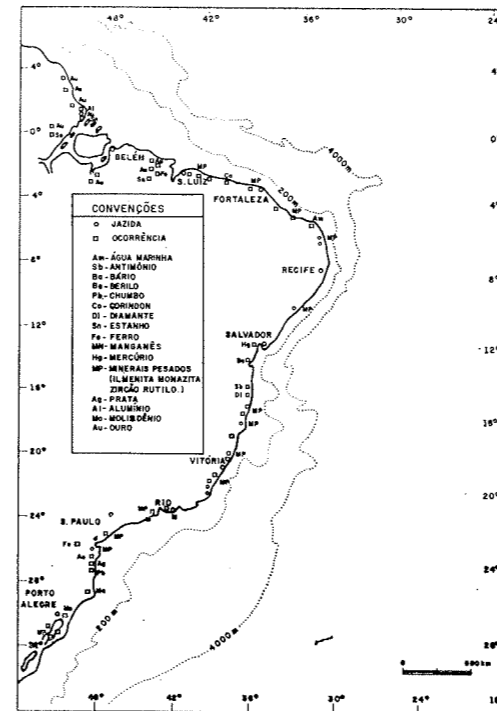


FIGURA 7 — RECURSOS MINERAIS ASSOCIADOS À FAIXA COSTEIRA

apontados. Estes depósitos devem encontrar-se associados a antigas linhas de praia e em paleovales fluviais e podem ser esperadas concentrações de minerais pesados com elevados teores que poderão, no futuro, ser minerados economicamente. Ficam, assim, aumentadas as reservas potenciais destes bens minerais do Brasil.

### 3.1.2. Sedimentos calcáreos

Desde Salinópolis, na costa do Pará, até o paralelo 20° S, no Espírito Santo, (Figura 8), ocorre extensa faixa de sedimentos carbonáticos derivados, principalmente, de atividades de algas calcáreas, associadas a outros organismos que encontraram, na plataforma continental norte e nordeste brasileira, condições favoráveis ao seu desenvolvimento. Estas ocorrências estão registradas em trabalhos de vários autores, dos quais Mabesoone (1971) apresenta uma síntese. Em alguns trechos da costa, estes depósitos estão localizados em cota batimétrica rasa (10 a 20 m), como se verifica em certas faixas do litoral de Pernambuco. A exemplo de alguns países europeus que mineram extensamente depósitos semelhantes para utilização como fertilizante, estes calcários biogênicos revestem-se de considerável importância econômica, especialmente para o nordeste do Brasil.

Na Baía de Todos os Santos, Bahia, existem alguns concheiros com importantes reservas. Situam-se a pouca profundidade e estão, há muitos anos, em regime de lavra, abastecendo a indústria local de cimento.

No litoral de Santa Catarina e Rio Grande do Sul ocorrem concheiros naturais recentes, resultantes de acumulação de conchas calcárias em fundos de enseadas e baías. Em Santa Catarina, atingem importantes dimensões econômicas, com uma reserva de 2.500.000 toneladas (Castro e Ferreira, 1971), suficientes para abastecer diversas indústrias de cal e de corretivo para o solo.

### 3.1.3. Sedimentos fosfatados

Na costa leste-nordeste brasileira, a dominância em certos meses do ano, de ventos do quadrante nordeste, arrasta do litoral, por correntes de deriva e de declive deles resultantes, as águas superficiais costeiras da Corrente do Brasil. Para reestabelecer o equilíbrio desfeito pela ação dos ventos, sobem, talude acima, águas frias profundas (águas intermediárias do Atlântico Sul) ricas em nutrientes, inclusive fosfatos. Esta subida é acompanhada de uma série de variações das características físicas como a temperatura, pressão, etc, que,

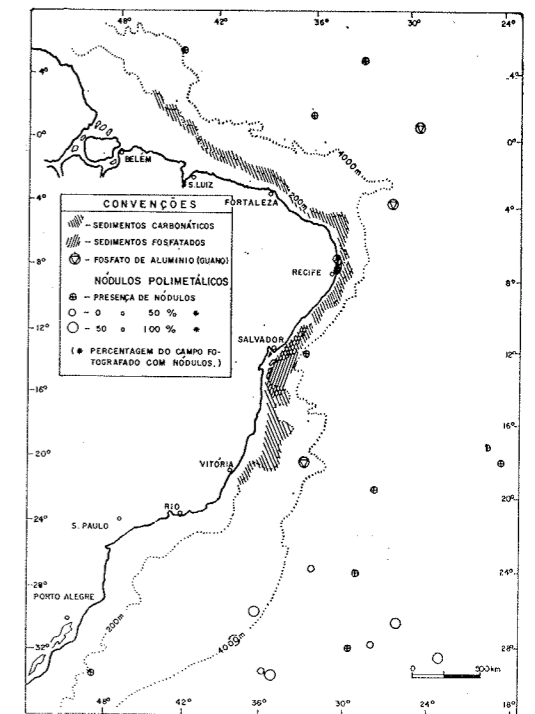


FIGURA 8 — RECURSOS MINERAIS CONDICIONADOS PELA SEDIMENTAÇÃO MAIS OU MENOS CONTEMPORÂNEA

por sua vez, alteram o equilíbrio químico provocando, em certos casos, a precipitação de  $P_2O_5$ . Verifica-se que, mundialmente, as condições para esta precipitação são mais favoráveis nas regiões do talude superior e da plataforma externa. Reduzidas taxas de sedimentação detrítica são responsáveis pela elevação relativa do teor  $P_2O_5$  no sedimento resultante.

Na Figura 8 são indicadas as áreas que apresentam as condições mais favoráveis a estes depósitos fosfatados. O desenvolvimento de projetos específicos poderá indicar a verdadeira natureza, teores e extensões daqueles jazimentos.

Segundo a bibliografia mundial, são frequentes, neste tipo de depósito, teores entre 18 e 22% de  $P_2O_5$ , em contraposição às concentrações de até 36% encontradas em regiões emersas do continente. No entanto, em vários locais, como é o caso do nordeste brasileiro, a maior proximidade relativa do mercado consumidor (agricultura) e muitas vezes, as próprias dimensões dos jazimentos marinhos (a serem melhor determinadas no caso brasileiro) apontam estes como bastante interessantes economicamente.

### 3.2. Depósitos de mar profundo

#### 3.2.1. Nódulos de Manganês \*

Os nódulos de manganês são considerados os mais importantes dentre os depósitos de mar profundo. Revestem-se de grande significado econômico e deverão, em breve, alterar profundamente a economia de certos depósitos continentais de manganês e associados, com reflexos nas próprias tecnologias de metalurgia

Seu elevado conteúdo de manganês (24,2%), aliado aos teores menores de cobre, níquel, molibdênio, vanádio, zinco e outros elementos metálicos, fazem com que os seus depósitos constituam-se importantes reservas potenciais destes elementos cada dia mais escassos nos continentes. Diversas organizações internacionais atualmente encetam intensas pesquisas visando a obtenção de tecnologia adequada ao seu aproveitamento econômico.

Estimativas de reservas efetuadas para o Pacífico indicaram uma reserva de 1,6 trilhões de toneladas de nódulos (segundo Mero, 1964), que estariam sendo formadas a uma razão muitas vezes maior que a do próprio consumo de manganês atual. São menos abundantes no Atlântico, atribuindo-se tal fato às maiores taxas de sedimentação detrítica verificadas neste oceano.

Os nódulos de manganês ocorrem em profundidades que variam de 400 a 8.000 m. São mais abundantes nas planícies abissais, mas ocorre também com menor incidência, nas partes inferiores do talude continental pouco atingidas pela sedimentação detrítica.

No Atlântico Sul, ao largo da Margem Continental Brasileira, foram fotografadas várias concentrações de nódulos de manganês, em diversos pontos. Tais estudos vêm revelando uma maior densidade de nódulos entre as latitudes de 26 a 34° S (Figura 8).

(\*) Embora a expressão "nódulos de manganês" esteja consagrada pelo uso, certos autores estão preferindo a designação "nódulos polimetálicos" ou simplesmente "nódulos". Isto se deve ao fato de que, além de diversos metais estarem presentes na sua composição, em muitos casos contribuem com teores maiores do que o do manganês.

## BIBLIOGRAFIA

- ALMEIDA, Alberto C. F. de (1972) — "Reconhecimento Global da Margem Continental Brasileira". In: Congresso Brasileiro de Geologia. 26. Belém, PA. An. (no prelo).
- BARRETO, L. A. & PINTO, A. C. F. (1972) — *Projeto Cumuruxatiba*. Cia. Pesq. Rec. Min., Relat. Inédito, Salvador.
- BRASIL, Dep. Nac. Prod. Min. Cia. Pesq. Rec. Min. (1971) — *Relatório Final do Projeto Domos Salinas da Plataforma Continental do Estado do Espírito Santo*. Relat. Inédito.
- CAMPOS, Carlos W. M. (1970) — Exploração de Petróleo na Plataforma Continental Brasileira. *B. Téc. Petrobrás*, Rio de Janeiro, 13 (3/4): 95-114. il.
- CRUICKSHANK, M. J. (1968) — Offshore Mining — Present and Future. *Engineering and Mining Journal*, 169 (1): 84-91.
- EMERY, K. O. & NOEKCS, L. C. (1969) — Economic Placer Deposits of the Continental Shelf. Technical Bulletin, Economic Commission for Asia and Far East U.N., v. 1: 95-111.
- EWING, M. et alii (1972) — World-wide distribution of manganese nodules. *Ocean Industry*, 7 (1): 26-29.
- FONTENELLE, J. J. G. (1971) — Recursos Minerais do Mar no Brasil. Conferência na Escola Superior de Guerra, Rio de Janeiro, Inédito.
- FROES DE ABREU, Sylvio (1960) — *Recursos Minerais do Brasil*. Rio de Janeiro, Inst. Nac. Tecnologia, v. 1. il.
- FROES DE ABREU, Sylvio (1962) — *Recursos Minerais do Brasil*. Rio de Janeiro, Inst. Nac. Tecnologia, v. 2. il.

- GILLSON, J. L. (1961) — Geologia dos Placeres Brasileiros de Ilmenita. *Rev. Eng. Min. Metal*, Rio de Janeiro, 33 (197): 231-234.
- GILLSON, J. L. (1950) — Deposits of Heavy Minerals in the Brazilian Cost. *Minning Engineering*, 187 (6): 685-693.
- GILLSON, J. L. (1959) — Sand Deposits of titanium minerals. *Minning Engineering*, 11 (4): p. 421-429.
- HALBUTY, M. T. (1967) — *Salt Domes*. Gulf Petroleum Co., 1967.
- MABESOONE, J. M. & TINOCO, I. M. (1967) — Shelf of Alagoas and Sergipe (Northeastern Brazil). 2. Geology. *Trab. Inst. Oceanogr. Univ. Fed. Pe, Recife*, v. 7/8: 151-186.
- MABESOONE, J. M. & COUTINHO, P. N. (1970) — Littoral and shallow marine geology of Northern and Northeastern Brazil. *Trab. Inst. Oceanogr. Univ. Fed. Pe, Recife*, v. 12: 1-214.
- MACHADO, E. P. (1970) — Geologia de Carvão no Brasil. In: *Carvão de Pedra*. An. do III Simpósio, p. 26-38.
- MC KELVEY, V. E. & WANG, F. F. H. (1970) — *Preliminary Maps World Subsea Mineral Resources*. U.S.G.S., Misc. Geologic Investigations, Washington, DC, 17 p. (4) maps.
- MERO, J. L. (1965) — *The mineral resources of the Sea*. New York, The American Elsevier Publishing Company, 312 p.
- U.S. Com. Mar. Sc. Eng. (1969) — Our Nation and the Sea, and Resources. Programa Nacional de Ação, Washington, DC.
- VIEIRA, L. P. (1972) — Problemas Econômicos na Exploração Submarina. XIII Reunião de Especialistas da ARPEL, Maracalibo.
- WANG, F. F. H. et alii (1970) — *Mineral Resources of the Sea*. United Nations, Dept. of Econ. and Social Affairs, New York, 49 p.
- WEEKS, L. G. (1965) — Worlds Offshore Petroleum Resources. *A.A.P.G.*, 49 (10): 1.680-1.693.
- WEEKS, L. G. (1971) — "Marine Geology and Petroleum Resources". Congresso Mundial de Petróleo. Moscow.
- WENK Jr., E. (1969) — The physical Resources of the Ocean. *Scientific American*, 221 (3): 166-177.
- ANAIS HIDROGRAFICOS (1970) — D.H.N. — Rio de Janeiro.



# INTRODUÇÃO À OCEANOGRAFIA DO ESTUÁRIO AMAZÔNICO

Por

FERNANDO MANUEL FONTES DIÉGUES<sup>(1)</sup>

## ABSTRACT

Since 1963 the "Diretoria de Hidrografia e Navegação" (D.H.N.) has been carrying out oceanographic surveys in the Northern maritime region of Brasil. During such survey it has been also studied the influence of the Amazon River over the distribution of oceanographic properties in the estuary and adjacent areas. Using the data obtained during seven expeditions carried out in different months of the year it has been established the oceanographic dimensions of the estuary, its seasonal variations, stratification, and the geostrophic circulation bordering it. Some factors accountable for controlling circulation and mixture are just now being more detailedly studied.

It is also intended better to know the problem of fertilization in the estuarine region, through the study of interactions being processed between river and sea.

Furthermore, it is expected that a more detailed and definite knowledge of estuarine circulation in the region can allow support to geophysics studies being carried out by scientists of various Brazilian institutions working in cooperation with D.H.N.

### 1. O CAMPO DE ESTUDO

#### 1.1 O Regime de Chuvas e o Rio

Durante o período de um ano são bastante significativas as variações do nível do Rio Amazonas e seus afluentes, provocadas em sua parte mais ponderável pelo regime de chuvas a que a região se encontra sujeita e, em menor escala, pela contribuição das águas provenientes do degelo na Cordilheira dos Andes.

Tais variações são periódicas e obedecem a um ciclo anual, consubstanciado nos fenômenos de enchente e vazante, dependentes das mais ou menos abundantes precipitações locais. Na Fig. 1 estão representados os valores médios de pluviosidade na Bacia Amazônica, para todos os meses do ano.

Como conseqüência, e da importância das pulsações periódicas do nível dos rios, as denominações de inverno e verão assumem, na região amazônica, uma conotação diferente da que se verifica em regiões temperadas. A denominação de verão vincula-se à época de vazante e é a estação propícia à pesca e atividades agrícolas às margens dos rios. O inverno caracteriza-se pela intensificação das chuvas e o transbordamento dos rios, cujas águas vão fertilizar as baixadas contíguas.

Fornece-nos uma idéia aproximada da variação do volume hidrográfico da região o fato de que, neste século, dezesseis enchentes atingiram cotas entre 28 e 29 metros acima do nível do mar e nove delas, consideradas excepcionais, ultrapassaram a cota de 29 metros. A maior, atingindo 29,69 m de altura (1953), provocou, como se pode facilmente imaginar, perdas e prejuízos de grande vulto. As variações do nível do Rio Amazonas e demais rios da bacia, devidas em última instância ao regime de precipitações, constituem, portanto, um aspecto de singular importância para a geofísica da Região Amazônica e, simultaneamente, pode-se dizer que comandam em grande parte o desenrolar de atividades e da vida regionais.

A formidável massa de água doce que se adiciona aos rios por ocasião das enchentes não influi apenas no domínio da bacia propriamente dito. Ela se escoia em direção ao Oceano Atlântico indo provocar alterações na distribuição de propriedades físico-químicas da área adjacente ao estuário, ocasionando modi-

(1) Capitão de Corveta, Chefe do Departamento de Oceanografia do NOC "Almirante Saldanha". Diretoria de Hidrografia e Navegação — Ilha Fiscal — Ministério da Marinha — Rio de Janeiro — Guanabara — Brasil.

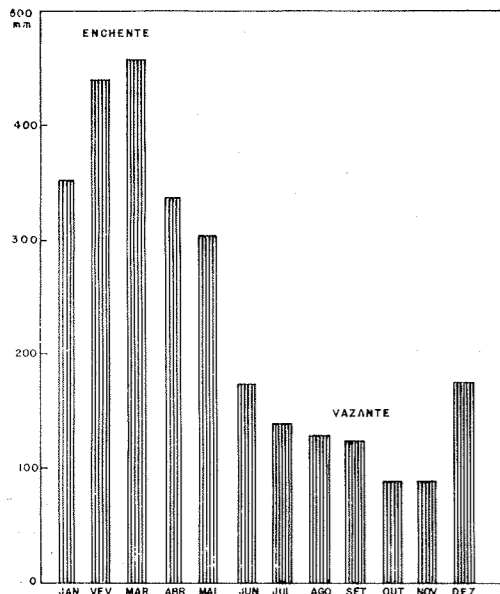


Fig. 1 — Médias mensais de precipitação (altura total do mês dada em mm) computadas de um período de oito anos, para a cidade de Belém. Diagrama construído de acordo com dados extraídos da publicação "Normais Climatológicas", do Serviço de Meteorologia do Ministério da Agricultura.

ficações nas características do ecossistema marinho.

Alguns números podem melhor retratar as dimensões dessa influência. O Rio Amazonas despeja, em média, cerca de 200.000 metros cúbicos de água doce, por segundo, no Oceano Atlântico. Esse volume é cinco vezes maior do que o do Rio Congo e doze vezes maior do que o Rio Mississippi. Corresponde, aproximadamente, a um valor entre 18 e 20% da descarga total de rios em todo o mundo. No decorrer de um ano, a mesma quantidade de água que invade o oceano poderia cobrir toda a superfície do Mar Mediterrâneo, com uma camada de água doce de 3 m de espessura.

A influência do Rio Amazonas sobre as águas oceânicas é um fenômeno evidente e acentuado. Entre o Rio e o Mar estabelecem-se processos diversos de interação, seja sob o ponto de vista físico-químico, seja sob uma perspectiva eco-biológica.

## 1.2 Objetivos do Estudo

Logo se impõem três ordens de questões, englobadas sob diferentes aspectos e que poderiam ser assim enunciadas:

a) Até que ponto, ou em que extensão, apresenta-se a influência do Rio sobre o Mar, e quais os processos ou condições que a determinam?

b) De que forma, e dentro de que limites, a água do Rio pode aumentar ou atenuar a produtividade primária na região?

c) De que maneira a interação rio-mar, e a alteração periódica das condições oceanográfica, modificando o «habitat», determinam variações biológicas locais, em quantidade e/ou qualidade?

É à primeira dessas questões que se pretende, neste estudo, apresentar algumas sugestões. Pretende-se, em uma primeira aproximação ao vasto e complexo problema da dinâmica rio-mar, obter uma descrição do alcance e características formais da área geográfica influenciada pelo Rio Amazonas, sua estratificação e possíveis fatores responsáveis pela circulação local. Claro está que, no presente caso, a análise deve ser referida ao âmbito da Oceanografia Costeira e, mais especificamente, ao da Oceanografia Estuarina, dentro do qual torna-se indispensável o conhecimento e o apoio em trabalhos já clássicos como os de Stommel, Pritchard, Tully, Mc Lellan e outros.

Na elaboração deste trabalho foram utilizados os dados existentes no Centro Nacional de Dados Oceânicos (D.H.N.). Foram computados dados das seguintes comissões realizadas sob a direção da Diretoria de Hidrografia e Navegação:

— Equalant I (Atlântico Equatorial) — CTs Bertioga e Baependi — Fevereiro, Março/1963.

— Equalant II (Atlântico Equatorial) — CT Bracuí — Agosto, Setembro/1963.

— Operação Norte/Nordeste I (XXXVª Comissão Oceanográfica) — NOc. Almirante Saldanha — Abril, Maio/1968.

— Operação Pesca Norte — NOc Almirante Saldanha — Novembro, 1968.

— Operação Geomar II — NOc. Almirante Saldanha — Outubro, 1970.

— Operação Geomar III — NOc. Almirante Saldanha — Junho, 1971.

Um certo número de dados das comissões acima mencionadas não puderam ser aproveitados por se apresentarem duvidosos. Ressalva-se, ainda, o fato de que os referidos dados foram obtidos no decorrer de anos diferentes. Isso significa que, tomados em conjunto, podem não representar, obrigatoriamente, uma evolução média da variação das condições

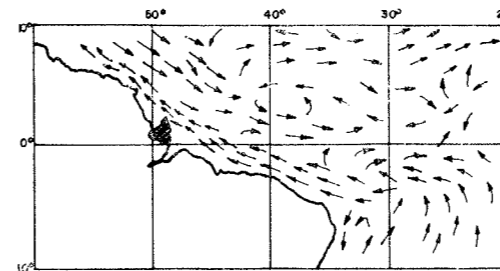


Fig. 2 — Correntes superficiais na região equatorial e adjacências do estuário amazônico, destacando-se o deslocamento da corrente das Guianas, próximo ao litoral, no sentido de SE para NW, e o deságue das águas fluviais. As setas foram plotadas de acordo com topografia dinâmica deduzida por Neumann (1960), sobre a superfície de 600 db.

oceanográficas no decorrer de um ano. De fato, é possível que os dados relacionados ao período de enchente, por exemplo, ou ainda vazante, sejam representativos de condições extremas de uma ou outra das duas situações. De qualquer forma julgou-se que, dado o caráter introdutório deste estudo, tais dados poderiam satisfazer plenamente a seus objetivos.

## 2. ASPECTOS GERAIS DO ESTUÁRIO

### 2.1 Dimensões Oceanográficas do Estuário

A Corrente das Guianas, ramo da Corrente Sul-Equatorial que se desloca em um rumo aproximado NW (Fig. 2), faz com que a água do Rio seja rapidamente misturada às águas de elevada salinidade que a caracterizam.

A água doce é transportada até distâncias consideravelmente grandes da desembocadura, nos sentidos N e NW, e a participação do Rio Amazonas na mistura pode ser detetada pelas reduzidas salinidades existentes à superfície. A salinidade é o parâmetro apropriado para o estudo descritivo das influências que se verificam entre o Rio e o Mar.

Nas Figs. 3, 4, 5, 6, 7, 8 e 9 estão representadas cartas de distribuição geográfica superficial da salinidade, para vários meses do ano, de acordo com os dados das comissões discriminadas no item anterior. As sete cartas de distribuição da salinidade, tomadas em conjunto, e ordenadas sucessivamente segundo o mês do ano indicam a área de domínio, a forma e características gerais com que se processam as variações anuais de salinidade. Tais variações, evidentemente, associam-se às variações de nível do Rio, ou seja, à dicotomia enchente-vazante.

Uma vez que, a não ser em pontos específicos próximos ao litoral (em virtude de ressurgência ou contribuição de rios), não são observadas no Atlântico Tropical salinidades abaixo de 36‰ à superfície, pode-se considerar, na presente discussão, como sujeitas à influência do Rio Amazonas as áreas cujas salinidades forem inferiores àquele valor.

Assim, nas Fig. de 3 a 9 são representadas as isohalinas de 30, 31, 32, 33, 34, 35 e 36‰, que informarão, na medida em que seu valor decresce, uma maior participação da água doce na mistura. São indicadas também as áreas em que a salinidade é superior a 36‰ e que constituem o campo da Corrente das Guianas. Nas cartas em que a obtenção de dados assim o permitiu foram plotadas as isohalinas de 20 e 12‰, representativas de um franco domínio das águas provenientes da Baía.

A distribuição esquematizada na Fig. 3 está associada ao início da vazante. Nas Figs. 4 e 5 já se verifica uma marcante influência das águas de salinidade mais elevada da Corrente das Guianas, próximo à desembocadura. Assinalam a vigência do período de vazante, cujos efeitos passam a se desvanecer em fins de novembro, conforme indicado na Fig. 6. Já no decorrer da enchente (Figs. 7, 8 e 9)

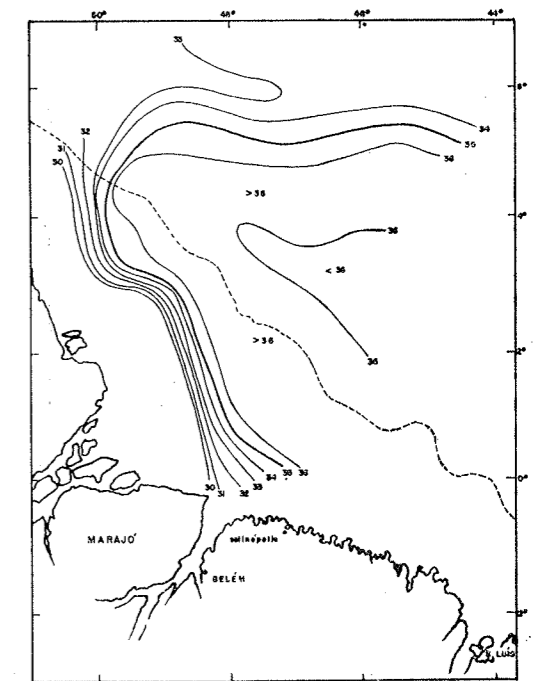


Fig. 3 — Distribuição superficial de salinidade, em partes por mil, conforme dados obtidos durante a Operação "Equalant II" (CT Bracuí). Período: agosto/setembro (1963). Início da vazante.

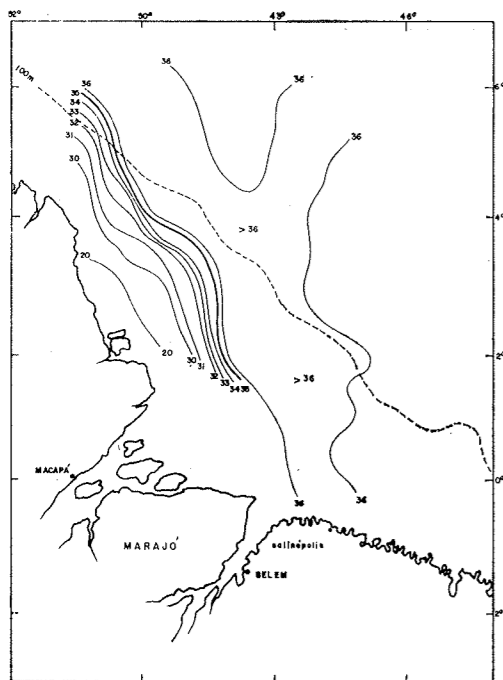


Fig. 4 — Distribuição superficial de salinidade, em partes por mil, conforme dados obtidos durante a Operação "Geomar II" (NOc "Almte. Saldanha"). Período: outubro (1970). Vazante.

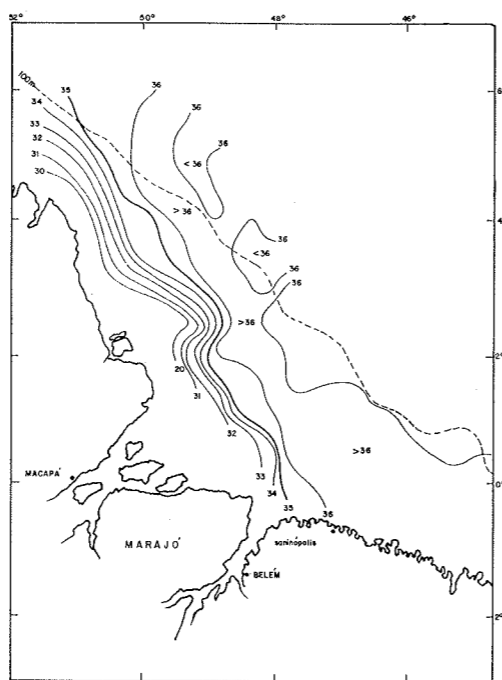


Fig. 5 — Distribuição superficial de salinidade, em partes por mil, conforme dados obtidos durante a Operação "Norte/Nordeste I" (NOc "Almte. Saldanha"). Período: outubro — início de novembro (1967). Vazante.

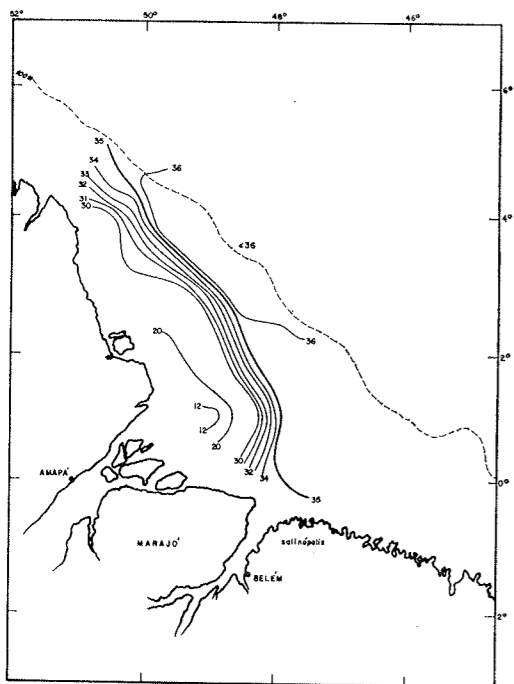


Fig. 6 — Distribuição superficial de salinidade, em partes por mil, conforme dados obtidos durante a Operação "Pesca Norte" (NOc "Almte. Saldanha"). Período: novembro (1968). Fim de vazante/início da enchente.

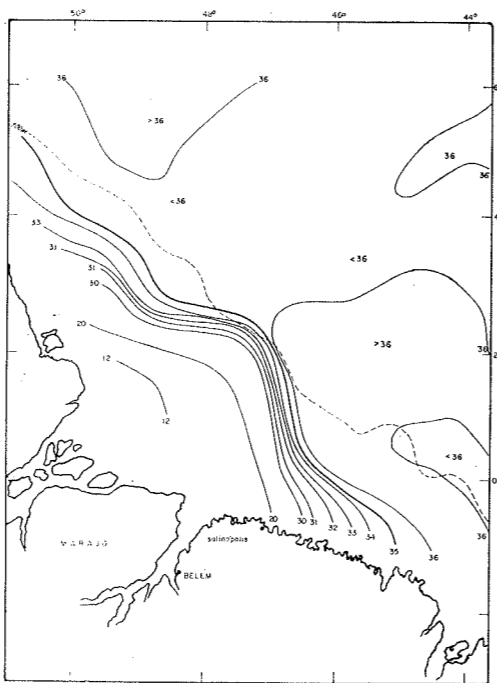


Fig. 7 — Distribuição superficial de salinidade, em partes por mil, conforme dados obtidos durante a Operação "Equalant I" (CT Bertoga). Período: fevereiro/março (1963). Enchente.

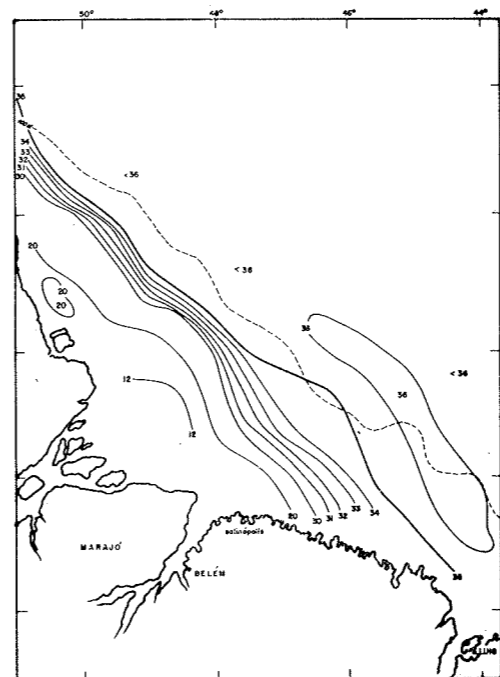


Fig. 8 — Distribuição superficial de salinidade, em partes por mil, conforme dados obtidos durante a Operação "Norte/Nordeste II" (NOc "Almte. Saldanha"). Período: abril/maio (1968). Enchente.

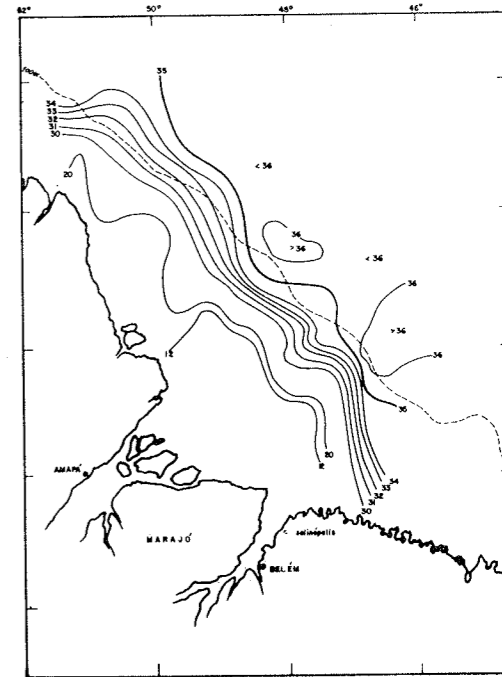


Fig. 9 — Distribuição superficial de salinidade, em partes por mil, conforme dados obtidos durante a Operação "Geomar III" (NOc "Almte. Saldanha"). Período fim de maio/junho (1971). Enchente.

os efeitos da água doce apresentam-se com bastante nitidez a maiores distâncias da desembocadura, caracterizando o período.

A isohalina de 36‰ constitui um excelente instrumento para observação da influência do Rio, no setor Sul-Oriental do Estuário (proximidades do Rio Pará e Salinópolis), na medida em que se passa das condições de vazante às de enchente. Durante a vazante, as águas salinas com forte influência da Corrente das Guinas ( $S \text{ ‰} \geq 36$ ) vão progressivamente ocupando a superfície, na área compreendida, aproximadamente, entre os meridianos de 47° e 48° W, ao sul da latitude de 1° N (Figs. 3, 4 e 5). Uma situação intermediária é a que pode ser observada na Fig. 6. Já as Figs. 7, 8 e 9, características do período de enchente, testemunham o avanço das águas do Rio. A isohalina de 36‰, neste último caso, desloca-se até perto da Baía de São Marcos; e uma salinidade bastante baixa, de 20‰, passa a ocupar a superfície, ao largo, nas proximidades da cidade de Salinópolis (conforme pode ser visto, mórmente nas Figs. 7 e 8). Na vazante, portanto, as águas salinas oceânicas praticamente bloqueiam a saída das águas fluviais e devem penetrar algumas milhas

a dentro, pela calha do Rio. Na enchente, este último mantém sua influência até as vizinhanças da Baía de São Marcos.

No que se refere ao setor Norte-Occidental do estuário as variações na distribuição superficial da salinidade já não se apresentam com tanta clareza. Consideremos a isohalina de 30‰, que nos dá a idéia de apresentar alguma regularidade. A linha representativa de 30‰ estende-se em uma posição aproximadamente paralela ao litoral (Território do Amapá), parecendo deslocar-se em toda a sua extensão segundo um eixo posicionado na direção NE-SW, acompanhando os efeitos de vazante e enchente. Entretanto, na Fig. 7 esta possível variação já não se apresenta com a suficiente nitidez.

Note-se contudo, ao contrário do que acontece no setor Sul-Oriental, que a salinidade de 36‰ nunca chega a atingir posições próximas à costa. Se no setor Sul-Oriental a descarga do Rio é bloqueada durante a vazante, no setor Norte-Occidental parece existir durante todo o ano um «canal» que permite a passagem permanente das águas fluviais, embora sua largura diminua durante a vazante.

Tal fato pode levar à conclusão de que existe, normalmente, um fluxo através do setor Norte-Occidental, correndo paralelamente e próximo à costa, no sentido NW, transportando a água doce a grandes distâncias da desembocadura (pelo menos, até o Cabo Orange). Por outro lado, a evasão de águas fluviais através do setor Sul-Oriental constituiria um mecanismo, apenas periódico ou eventual, para o excesso de descarga provocado pela enchente.

Alguns aspectos merecem ser destacados quanto à configuração geral do sistema de interações Rio-Mar. No período de vazante o eixo principal da Corrente das Guianas encontra-se muito bem definido, localizando-se em posição próxima à da linha representativa do início do talude e fim da plataforma continental. Em torno dele observa-se uma língua de alta salinidade ( $S^{\circ}/\text{oo} > 36^{\circ}/\text{oo}$ ), correspondendo a uma faixa que varia de 20 a 120 milhas de largura. A água da Corrente das Guianas, deslocando-se em sentido aproximado de SSE para NNW parece oferecer resistência ao progresso das águas fluviais, arrastando-as para N e NW.

Já no período de enchente (Figs. 7, 8 e 9) observa-se que a área anteriormente ocupada pelas águas das Guianas é em grande parte invadida pela água doce, que vai provocar uma redução de salinidade para valores abaixo de  $36^{\circ}/\text{oo}$ . A «língua» de alta salinidade ( $> 36^{\circ}/\text{oo}$ ), representativa da Corrente das Guianas, sofre um deslocamento para o sul e para leste (Figs. 7 e 8), podendo vir a se formarem bolsões em cujo centro são encontradas salinidades de valor superior a  $36^{\circ}/\text{oo}$  (Fig. 9).

Seria interessante observar-se, ainda, o que parece ser o processo da formação de bolsões ou olhos («lens») de água doce, assinalados por Ryther, Menzel e Corwin, entre  $8^{\circ}$  —  $10^{\circ}$  N e  $50^{\circ}$  —  $55^{\circ}$  W. É possível que tais bolsões sejam ocasionados através do processo indicado nas Figs. 3 e 4. Ao iniciar-se o período de vazante as águas da Corrente das Guianas passam a prevalecer sobre as águas do Rio e tendem a cortar essas últimas, conforme se infere da Fig. 3. Com a progressão da vazante (Fig. 4) e o fortalecimento das Guianas, uma certa quantidade de água doce desprende-se de sua vertente original. Na Fig. 3 pode-se ser observado o provável início de formação de um desses bolsões, em torno da isohalina de  $33^{\circ}/\text{oo}$ , com centro próximo ao ponto de coordenadas  $048^{\circ}$  W e  $6^{\circ}$  N. Já na Fig. 4 verifica-se o rompimento da barreira de água doce pela massa de água altamente salina.

## 2.2 Circulação Geostrófica Adjacente

A natureza dos dados disponíveis para a obtenção do relevo dinâmico ao largo do estuário amazônico não é satisfatória, seja pelo fato de os dados terem sido coletados, em sua maioria, sobre a plataforma continental, seja pelo excessivo afastamento entre algumas estações profundas, o que não permitiu uma interpretação mais segura da configuração geral da circulação geostrófica. Ao se estudar a circulação geostrófica o objetivo seria o de se comparar situações de enchente e vazante, observando-se as possíveis modificações introduzidas pela contribuição mais ou menos acentuada da água doce, no decorrer dos dois períodos.

Assim mesmo, com alguma dificuldade, aproveitando os dados da «Operação Norte-Nordeste II», foi possível estabelecer um quadro aproximado da circulação geostrófica durante um período de enchente (abril/maio de 1968). Encontra-se representado na Fig. 10, em termos de centímetros dinâmicos, sobre a superfície de 500 db.

Sendo a força de Coriolis de valor muito baixo ou praticamente nulo nas proximidades do Equador, a construção do relevo dinâmico não deveria implicar, neste caso, na obtenção de modelo de circulação idêntico àquele que poderia ser obtido em águas de latitudes mais elevadas, e apresentaria algumas distorções em relação à topografia dinâmica clássica. De fato, pode-se observar na Fig. 10, que nas vizinhanças do Equador o relevo dinâmico apresenta-se de forma irregular, «disciplinando-se» em células de configuração mais irregular, à medida em que aumenta a distância do Equador.

A célula de circulação que apresenta maior nitidez é aquela cujo centro localiza-se em uma posição aproximada  $5,5^{\circ}$  N e  $49,5^{\circ}$  W. Uma segunda célula está localizada próximo ao ponto  $3,5^{\circ}$  N e  $47,5^{\circ}$  W. Mais ao sul e, portanto, mais próximo ao Equador, a situação apresenta-se de maneira difusa.

Se for considerado que nas duas células acima referidas a circulação se efetua à maneira típica do Hemisfério Norte, em torno do centro, no sentido dos ponteiros de um relógio, os deslocamentos sobre a plataforma continental deverão verificar-se no sentido indicado pelas setas da Fig. 10. Pode-se concluir, em uma primeira aproximação, que a circulação geostrófica reforça, ou mesmo impulsiona, a massa de água doce despejada pelo Rio, no sentido NW, conforme já se havia inferido, no

item anterior, da distribuição superficial da salinidade.

Por outro lado, na faixa mais próxima do Equador, com a atenuação ou desaparecimento da Força de Coriolis, o padrão de circulação não se apresentando em moldes clássicos, dará lugar, por sua vez, ao desenvolvimento de um fenômeno de divergência, a partir dos valores mais elevados para aqueles mais baixos de anomalia dinâmica.

O fenômeno de divergência já foi considerado por Moreira da Silva (1958), constatando o referido autor a coincidência do centro de uma célula do relevo dinâmico com a menor profundidade em que se encontrava a isoterma de  $27^{\circ}$  C e, portanto, a existência de uma pequena ressurgência que compensaria o escoamento da água, do centro para a periferia da célula.

É interessante notar-se, ainda, que o sentido em que se deslocam as águas da divergência terá por consequência a inibição da saída de água doce que é despejada através do Rio Pará (parte oriental do estuário) e que «deveria» fluir, naturalmente, para E e

SE. Esta consideração vem reforçar, mais uma vez, as observações apresentadas no item anterior.

Embora não fosse possível obter-se o relevo dinâmico para a época de vazante, encaminhamos o leitor ao trabalho de Moreira da Silva (1958), «Reconhecimento Oceanográfico do Estuário do Amazonas» (Anuais Hidrográficos, Tomo XVII, 1958-1959). Nesse trabalho o autor apresenta o relevo dinâmico ao largo do estuário nos meses de novembro/desembro (vazante). Seria prematuro, entretanto, empreendermos um estudo comparativo entre as duas situações de enchente e vazante.

## 2.3 Estratificação do Estuário

Na Fig. 11 (A, B, C, D, E e F) encontram-se representados alguns aspectos da distribuição em profundidade da salinidade, para os períodos de vazante (Comissão Norte-Nordeste I — out/nov/1967) e enchente (Comissão Norte-Nordeste II — abr/mai/1968).

As seções verticais de salinidade correspondem a perfis oceanográficos em que foram efe-

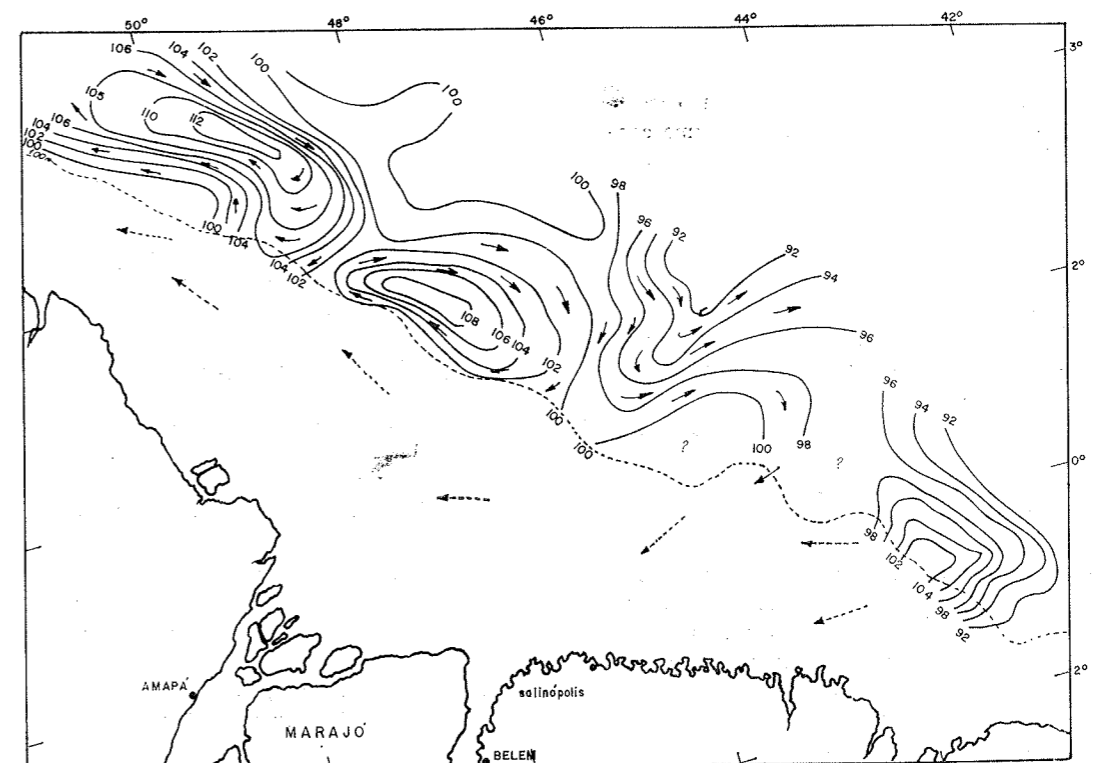


Fig. 10 — Circulação geostrófica adjacente ao estuário, conforme dados da Operação "Norte-Nordeste II" (abril/maio, 1968), durante o período de enchente, em centímetros dinâmicos, sobre a superfície de 500 db.

tuadas medições em profundidade sobre a linha perpendicular ou aproximadamente perpendicular, à costa, a partir dos seguintes pontos de terra: Cabo Cassiporé, Desembocadura do Rio Amazonas (Ilha Caviana) e Salinópolis.

As Figs. 11. A, B e C, situadas à esquerda, representam a estratificação de salinidade naqueles três perfis, durante a vazante, e as Figs. 11 D, E e F representam os mesmos perfis sob o domínio da enchente. Os dados obtidos para a estratificação correspondente à Fig. 11. B. (Perfil «Rio Amazonas») não foram suficientes para que se dispusessem de uma representação da distribuição vertical mais próxima à costa, iniciando-se o perfil a cerca de 40 milhas de terra.

De acordo com o critério estabelecido por Deacon (1933), podem ser identificadas de uma maneira geral, duas massas (ou corpos de água) de origens e características distintas. São elas: a água tropical, que nos diagramas TS compreende a região limitada pela superfície e a profundidade correspondente à salinidade de  $36^{\circ}/\text{oo}$  e temperatura  $18^{\circ}\text{C}$ ; e a água costeira, definida como sendo aquela formada pela mistura de água oceânica (tropical) com a água do Rio. A água tropical corresponde, no caso, ao ramo da Corrente Sul-Equatorial que na região recebe o nome de Corrente das Guianas.

Pode-se observar em todos os perfis, com exceção do da Fig. 11. C, que a plataforma continental é permanentemente ocupada pela mistura de águas doces e salinas que constitui a água costeira. O grau de mistura varia, com predominância da água doce, à medida em que é maior a proximidade da costa. Já perto do talude a água oceânica passa a exercer uma influência bem mais ponderável, mórmente durante o período de vazante, quando seu domínio é total.

Sobre a plataforma continental os valores de salinidade também variam no tempo, indicando a vigência de um período de enchente e vazante. Assim, comparando-se o mesmo perfil nas duas condições (A e D, B e E, C e F), observa-se valores bem menores de salinidade durante a enchente. Durante a vazante, as águas oceânicas tropicais invadem a plataforma provocando um aumento de salinidade, chegando mesmo, no caso do Perfil Salinópolis (Fig. 11. C) a inibir a passagem de água doce, conforme já havia sido observado, aliás, no item 2.1. Nota-se, entretanto, que apesar do aumento relativo de salinidade, a água costeira permanece fluindo, durante a vazante.

desde o Braço Norte do Rio Amazonas indo alcançar, pelo menos, o Cabo Cassiporé, como indicam os valores de 26 e  $29^{\circ}/\text{oo}$  da Fig. 11. A.

Mórmente nos dois perfis «Salinópolis é bem nítida a invasão da água tropical durante a vazante, com o desaparecimento da água costeira. Já na comparação dos dois perfis «Rio Amazonas» observa-se a permanência de água costeira sobre a plataforma mesmo no decorrer de vazante, embora seu alcance sofra um retrocesso em relação à enchente. Da mesma forma, nos dois perfis «Cabo Cassiporé», observa-se que a água tropical alcança distância mais próxima da costa durante a vazante, aumentando a salinidade da mistura, embora a água costeira também não deixe de ser detetada localmente.

### 3. OS FATORES DA CIRCULAÇÃO

#### 3.1 Generalidades

As águas rasas ou costeiras, entre as quais encontram-se incluídas as águas estuarinas do Rio Amazonas, caracterizam-se por uma variabilidade bastante ampla de suas condições oceanográficas, conforme pôde ser observado no item 2. No estuário amazônico a variabilidade é ocasionada por diversos fatores. São eles:

— contribuição das águas doces do Rio, maior ou menor, de acordo com o seu regime de cheias;

— fatores meteorológicos, tais como o vento e, principalmente, o volume de precipitações, incidindo sobre o fator anterior;

— influência das marés e correntes por elas induzidas, provocando a mistura das águas e a oscilações periódicas das condições oceanográficas;

— o atrito entre as águas que penetram e aquelas que se evadem do estuário;

— a configuração topográfica (fundo e fronteiras laterais do estuário), cujas formas físicas impõem condições restritivas à circulação e modificam as características das ondas, à medida em que se aproximam da costa.

Um ou outro desses fatores poderá exercer influência predominante mas de maneira geral, a circulação deverá ser resultante da combinação ponderada entre eles.

É uma tarefa ambígua, e até certo ponto contraditória, estabelecer geograficamente o domínio do estuário amazônico. Dividindo o curso do Baixo Amazonas em dois braços de água — o Rio Pará, ao Sul, e o Rio Amazonas propriamente dito (ou Braço Norte), ao

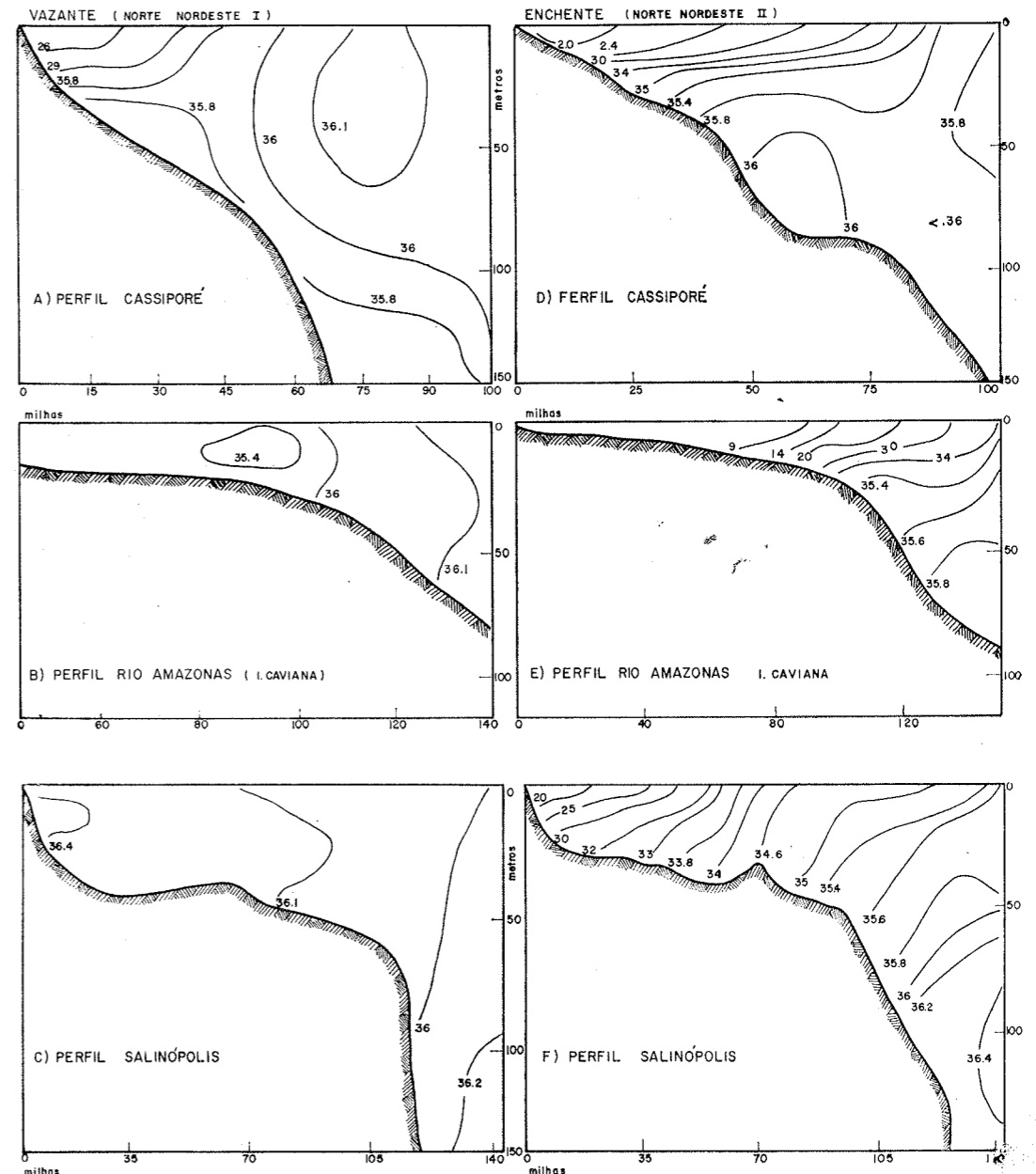


Fig. 11 — Estratificação do estuário amazônico, observada segundo 3 cortes (perfis) perpendiculares à linha da costa, durante os períodos de enchente e vazante.

norte (Fig. 13 — a Ilha de Marajó divide também a opinião dos geógrafos, sobre a conveniência de se considerar o Rio Pará como um braço do Rio Amazonas. Argumenta-se que a contribuição do Rio Tocantins, como afluente do Rio Pará, é bastante ponderável, levando-se em conta, ainda, que as ligações entre o Rio Pará e o Rio Amazonas efetivam-se na região dos estreitos através de um sistema de compensação, semelhante ao de vasos comunicantes.

Do ponto de vista oceanográfico esta dificuldade se desvanece ao adotarmos a definição clássica estabelecida por Pritchard\* (1963): «Um estuário é um corpo de água costeiro semi-fechado, que possui uma conexão livre com o oceano, e dentro do qual a água do mar encontra-se diluída, de maneira mensurável, com a água doce derivada da drenagem de terra». Uma vez que o estuário é definido pela análise das propriedades oceanográficas na área caracterizada pela mistura entre águas doces e salgadas, no caso do Rio Amazonas poder-se-ia falar, então, de um «sistema estuarino», seja

(\*) Referido in Pickard (1970).

considerando os rios Amazonas e Pará como dois corpos distintos, seja como parcelas componentes de um mesmo corpo indivisível de águas.

Oceanograficamente, o importante a ressaltar — embora a dificuldade de definição seja acentuada pela complexidade dos processos estuarinos e pela topografia irregular da costa — é que dois fatores predominantes caracterizam a classificação da região como estuarina: a mistura de águas (fluvial e oceânica) e o efeito relativamente importante da topografia, ao estabelecer um determinado padrão de circulação.

3.2 Classificações Gerais

A definição estabelecida por Pritchard implica na eliminação de acidentes geográficos, tais como golfos, baías ou outros tipos de reentrâncias costeiras em que a evaporação supere a soma das precipitações e contribuição de rios (estuário inverso ou negativo). A desembocadura do Rio Amazonas, compreendida dentro da definição de Pritchard, classifica-se como um **estuário positivo**, em que a evaporação é

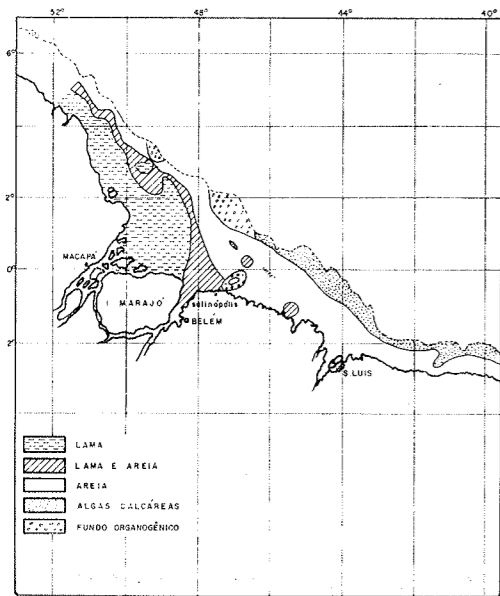


Fig. 12 — Natureza do fundo, de acordo com observações efetuadas por Kempf, Coutinho e Morais (1968), durante a Operação “Norte/Nordeste I”, e publicadas pela Diretoria de Hidrografia e Navegação (DG-26-XI; XXXVª Comissão Oceanográfica — NOc “Almte. Saldanha”).

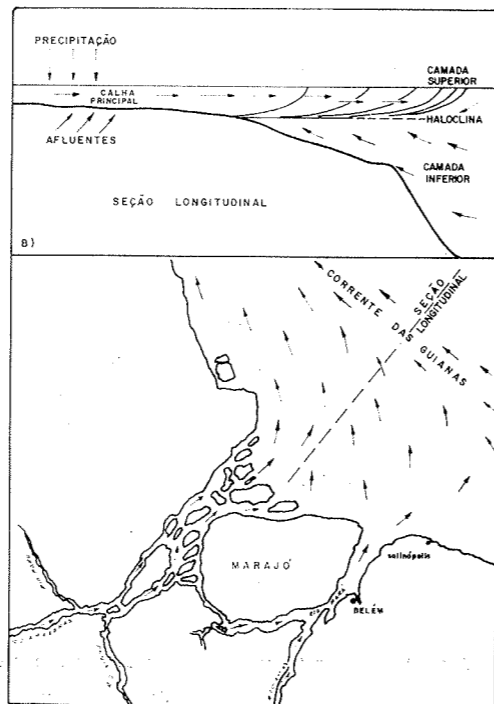


Fig. 13 — A) Representação esquemática dos principais movimentos de água no estuário amazônico, indicando-se a posição de uma seção longitudinal, representada em B), com as camadas superior e inferior, e a direção geral dos fluxos.

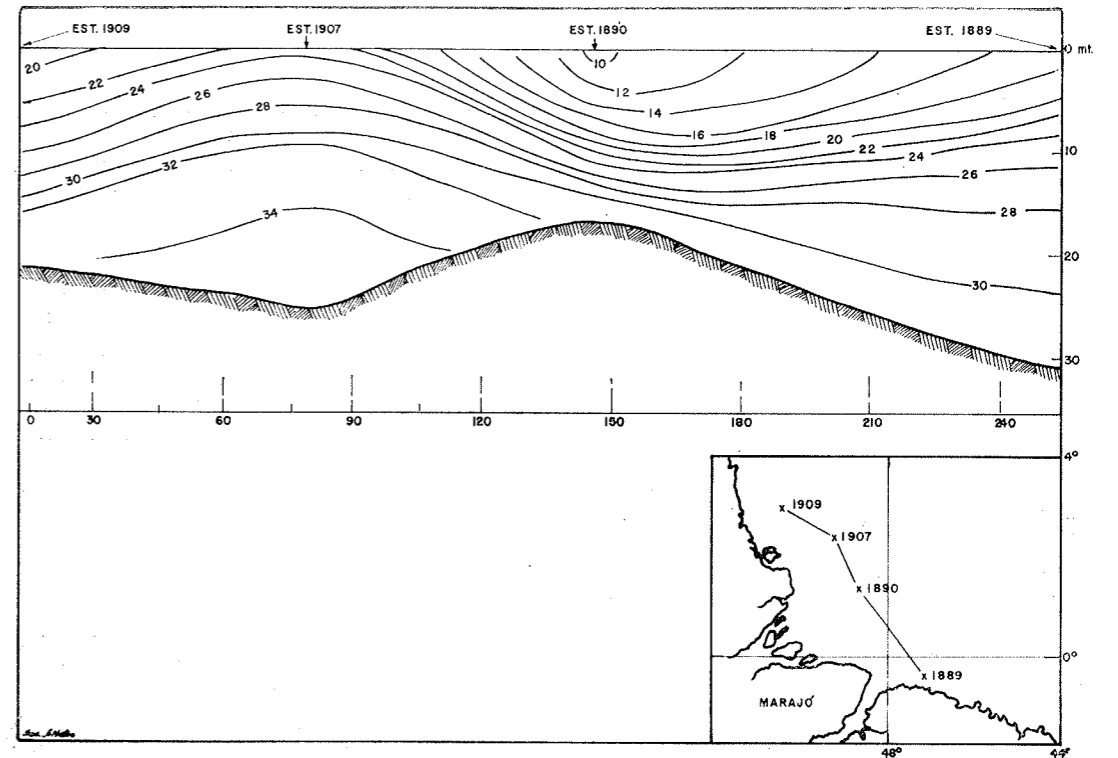


Fig. 14A — Distribuição da salinidade em profundidade, segundo um corte transversal ao estuário (ver posição das estações na figura menor, ao lado), durante o período de enchente (Operação “Norte/Nordeste II”, Abril, maio, 1968).

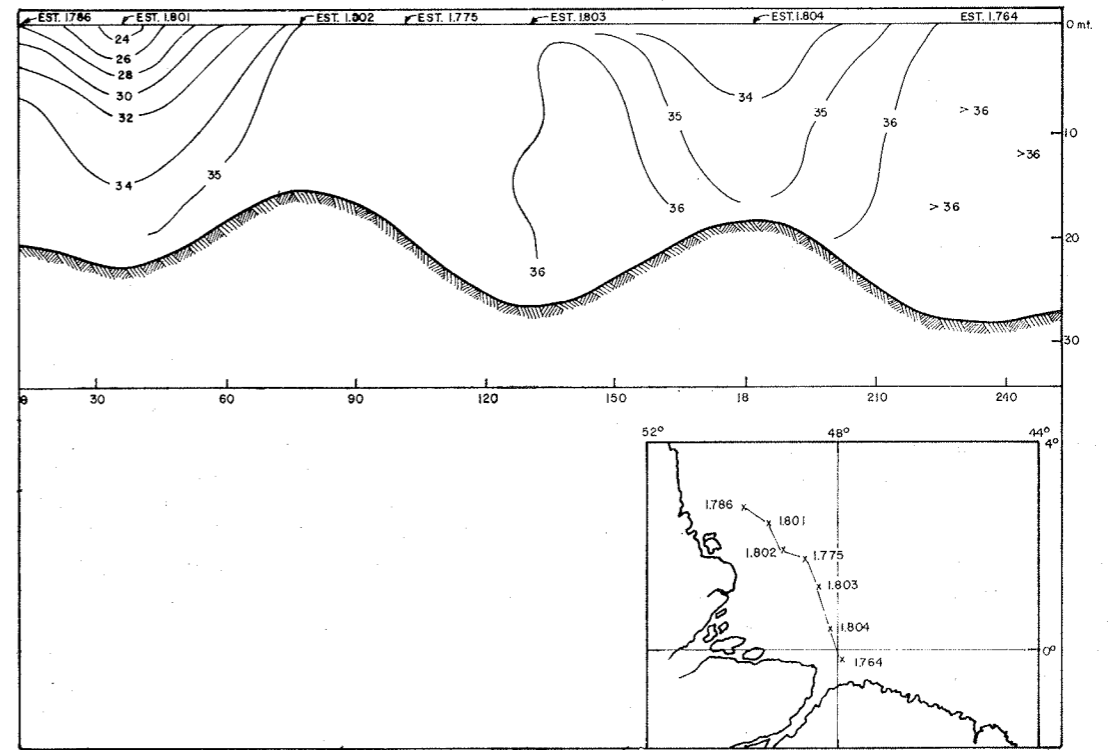


Fig. 14B — Distribuição da salinidade em profundidade, segundo um corte transversal ao estuário (ver posição das estações na figura menor, ao lado), durante o período de vazante (Operação “Norte/Nordeste I”, outubro/novembro, 1967).

menor que a soma das precipitações e contribuição de rios.

Sob o ponto de vista geomorfológico, e de acordo com outra classificação proposta ainda por Pritchard, o estuário do Rio Amazonas é um estuário **plano costeiro** («coastal plain estuary»). Este tipo de estuário se caracteriza por possuir fundos rasos, de declives suaves, onde a profundidade cresce mais ou menos uniformemente em direção ao oceano. É resultante da subsidência de áreas continentais e/ou da elevação do nível do mar ao invadir o vale de um rio. Podem ser alimentados por um ou mais fluxos de água doce.

A configuração geomorfológica do sistema estuarino amazônico, por suas próprias características permite, ainda, que se observe na região estuarina uma distribuição bastante regular da natureza do fundo, em sintonia com a distribuição de propriedades das águas suprajacentes. Pode-se constatar, na Fig. 12, a notável coincidência entre a natureza do fundo e a distribuição superficial da salinidade (Figs. 3 a 9). Na Fig. 12 as áreas representativas de «lama» e «lama & areia» parecem ser aquelas em que as águas fluviais apresentam-se de forma dominante (ou mais acentuadamente do que em outros pontos do estuário), insinuando, inclusive, o padrão da circulação estuarina.

### 3.3 Controle da Circulação e Mistura: Discussão

#### 3.3.1 — Classificações Dinâmicas

Já sob o ponto de vista exclusivamente dinâmico, são conhecidos os trabalhos de Stommel sobre a circulação estuarina. O referido autor sugere uma classificação baseada nas causas físicas predominantes no deslocamento e na mistura das águas\*. Estas causas seriam de caráter meteorológico (ventos e precipitações), maregráfico e hidrológico (rios e mar), cabendo estabelecer a ordem de significação ou predomínio entre elas.

Os estuários controlados pelo rio seriam aqueles que exibem padrões de circulação e estratificação determinados pela contribuição das águas do rio, aí consideradas as alterações provocadas pelas variações sazonais no volume de precipitações na bacia fluvial. Os estuários controlados por marés seriam aqueles comandados, em um alto grau, pelos efeitos das correntes de marés, ao determinarem certos pa-

drões de circulação e estratificação. Os estuários controlados pelos ventos seriam aqueles existentes em regiões de marés relativamente baixas, em águas rasas, onde a circulação e a mistura induzidas pelo vento assumiriam um papel predominante.

Difícil é estabelecer-se para o caso do sistema estuarino amazônico o grau de predominância entre as causas acima alinhadas, isolando-as e analisando-as de «per si», para que em seguida fossem comparadas e lhes conferido um certo grau de significação. No entanto, não é difícil observar-se — embora sem a estanqueidade desejada — os efeitos que estas causas podem provocar sobre a circulação e a mistura das águas.

#### 3.3.2 — As Condições Hidrológicas

No caso do sistema estuarino amazônico a circulação e a mistura são predominantemente controlados pela contribuição variável de água dos rios. Esta circulação pode ser induzida da análise da estratificação das águas estuarinas. Neste caso, é conveniente recorrer a uma outra classificação preconizada por Stommel, baseada na distribuição de propriedades da água.

A propriedade considerada é a salinidade, uma vez que em estuários típicos a densidade é principalmente controlada pela salinidade, que condicionando a estratificação, poderá conduzir ao reconhecimento da circulação.

A luz de classificação de Stommel o estuário amazônico pode ser considerado como um estuário **moderamente estratificado**. Este tipo de estratificação encontra-se representado nas Figs. 11 de A a F. A salinidade aumenta regularmente, de dentro para fora do estuário.

A estratificação caracteriza-se por compreender, basicamente, duas camadas distintas de água. Em cada vertical de um ponto do estuário a camada superior é menos salina que a camada inferior. Entre elas apresenta-se uma camada intermediária, produzida pela mistura entre águas das camadas superior e inferior.

A estratificação do estuário amazônico indica, ainda, a existência de dois fluxos que se deslocam em sentidos contrários. A descarga do Rio processa-se através da camada superior, observando-se a penetração da água oceânica através da camada mais profunda. Além dos dois fluxos horizontais verifica-se também um movimento vertical de mistura de água doce e salgada, dando lugar à variação longitudinal de salinidade, em ambas as camadas.

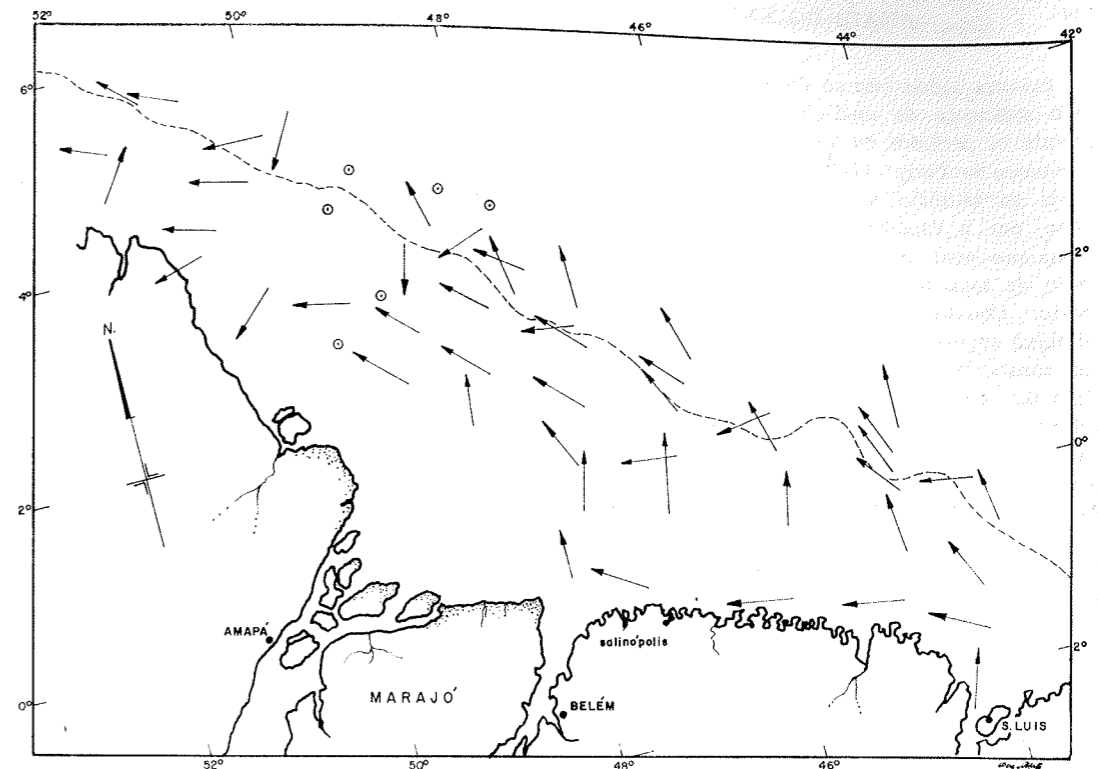


Fig. 15 — Direção e velocidade dos ventos conforme observados na Operação "Norte/Nordeste I" (vazante). Ventos dominantes de SE, com velocidades de 5 a 10 nós.

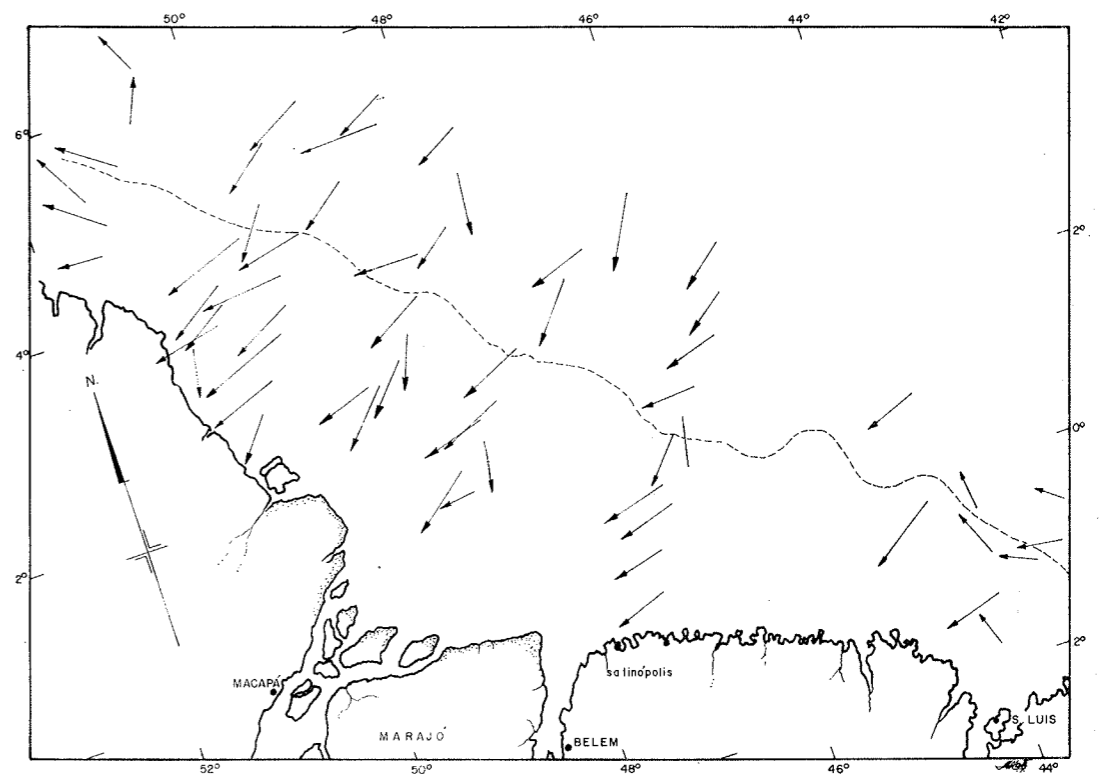


Fig. 16 — Direção e velocidade dos ventos, conforme observados na Operação "Norte/Nordeste II" (enchente). Ventos dominantes de NE, com velocidades de 10 a 15 nós.

(\*) Referido in Pickard (1970) e Mc Lellan (1968).

Embora ainda não se disponha de um número suficiente de medições correntométricas durante os períodos de vazante e enchente, as conclusões de Tully\* (1961), poderiam ser aplicáveis ao estuário amazônico. Considera-se, então, que a espessura da camada superior permanece com um mesmo valor, para cada ponto de toda a extensão longitudinal do estuário. Conseqüentemente, uma seção vertical do fluxo superior de saída (Fig. 13) mantém-se constante. Pode-se concluir, pelo princípio da continuidade de volume, que a velocidade do transporte de volume aumenta de dentro para fora do estuário, uma vez que a compressão progressiva, em sentido contrário, da água oceânica, garante uma diminuição da espessura nos pontos mais exteriores do estuário. A velocidade de descarga do Rio acelerar-se-ia de dentro para fora do estuário.

Já a determinada distância da desembocadura, entretanto, a própria compressão da cunha da água salgada irá produzindo o desaceleramento da velocidade, à medida em que se vai efetivando, através da mistura, a salinização das águas doces da camada superior, e que o estuário for se alargando.

As observações anteriores referem-se a um dado regime, considerando-se um volume fixo de descarga do Rio para o estuário. As variações locais (enchente e vazante) alteram a espessura da camada superior.

Na Fig. 14.A e B estão representadas distribuições de salinidade em profundidade, segundo dois cortes transversais ao estuário. A distribuição representada na Fig. 14.A corresponde às condições de enchente, e a da Fig. 14.B à situação de vazante.

São observados valores bem mais baixos de salinidade durante a enchente. Tomando-se a isohalina de 30‰, na Fig. 14.A (enchente), observa-se que sua profundidade oscila, em toda a extensão do corte, entre 23 e 8 m de profundidade, por baixo de águas menos salinas que atingem, na superfície, valores de 10 e 12‰. Já na Fig. 14.B (vazante) os valores de salinidade iguais ou menores do que 30‰ são confinados a um pequeno setor superficial, à margem esquerda do estuário, atingindo um máximo de 5 m de profundidade. Neste último caso, a salinidade superficial apresenta um mínimo superior de 23‰, na margem esquerda; e superior a 32‰ na margem direita (a oeste de Salinópolis), que é fortemente invadida pela Corrente das Guianas.

### 3.3.3 O Efeito dos Ventos

As Figs. 15 e 16 representam a situação dominante de ventos nos períodos correspondentes a vazante e enchente, respectivamente. As setas indicam valores de velocidade e direção do vento, obtidos durante as comissões Norte/Nordeste I e Norte/Nordeste II, em cada estação realizada. Observa-se que coincidindo com a época de vazante são dominantes os ventos de SE, com velocidade situadas, em sua grande maioria, entre 5 e 10 nós. Na época de grande enchente os ventos dominantes passam a ser os de NE, com velocidades em média superiores às de vazante, e situadas na faixa de 10 a 15 nós.

Embora nenhuma das duas configurações apresentadas facilite a descarga do Rio, a de vazante pode se constituir em um fator importante na drenagem da água costeira na direção NW, inibindo a saída para E e SE. Por outro lado, a configuração coincidente com a enchente é totalmente inibidora, recalçando a água do Rio sobre a plataforma continental e o litoral.

A análise comparada das duas configurações, em relação ao fenômeno de enchente/vazante, poderia levar a uma observação que, no entanto, mereceria estudo mais detalhado e aprofundado, a respeito dos mecanismos dinâmicos que regem o deságue do Rio. Durante a enchente a força dos ventos não seria suficiente para impedir a saída das águas do Rio, dado seu formidável aumento de volume. Na vazante, a diminuição de energia cinética do Rio poderia ser compensada por uma configuração de ventos mais favorável ao deságue, e que impeliria as águas na direção NW.

### 3.3.4 Influência das Correntes de Marés

É lícito esperar-se que as distribuições de salinidade das Figs. 3 a 9 representem apenas valores médios ou aproximados da variação da salinidade superficial em cada ponto considerado. Principalmente nas áreas mais próximas à costa as correntes de marés, além de poderem ocasionar duas vezes por dia consideráveis modificações no volume da água do estuário, poderão provocar, também, variações no valor superficial da salinidade. Mormente se for considerado o fato de que as amplitudes de marés em vários pontos do litoral amazônico atingem valores altíssimos (em torno de 12 metros na Ilha de Maracá). Por outro lado, nas «Cartas de Correntes de Maré de Salinópolis a Belém»

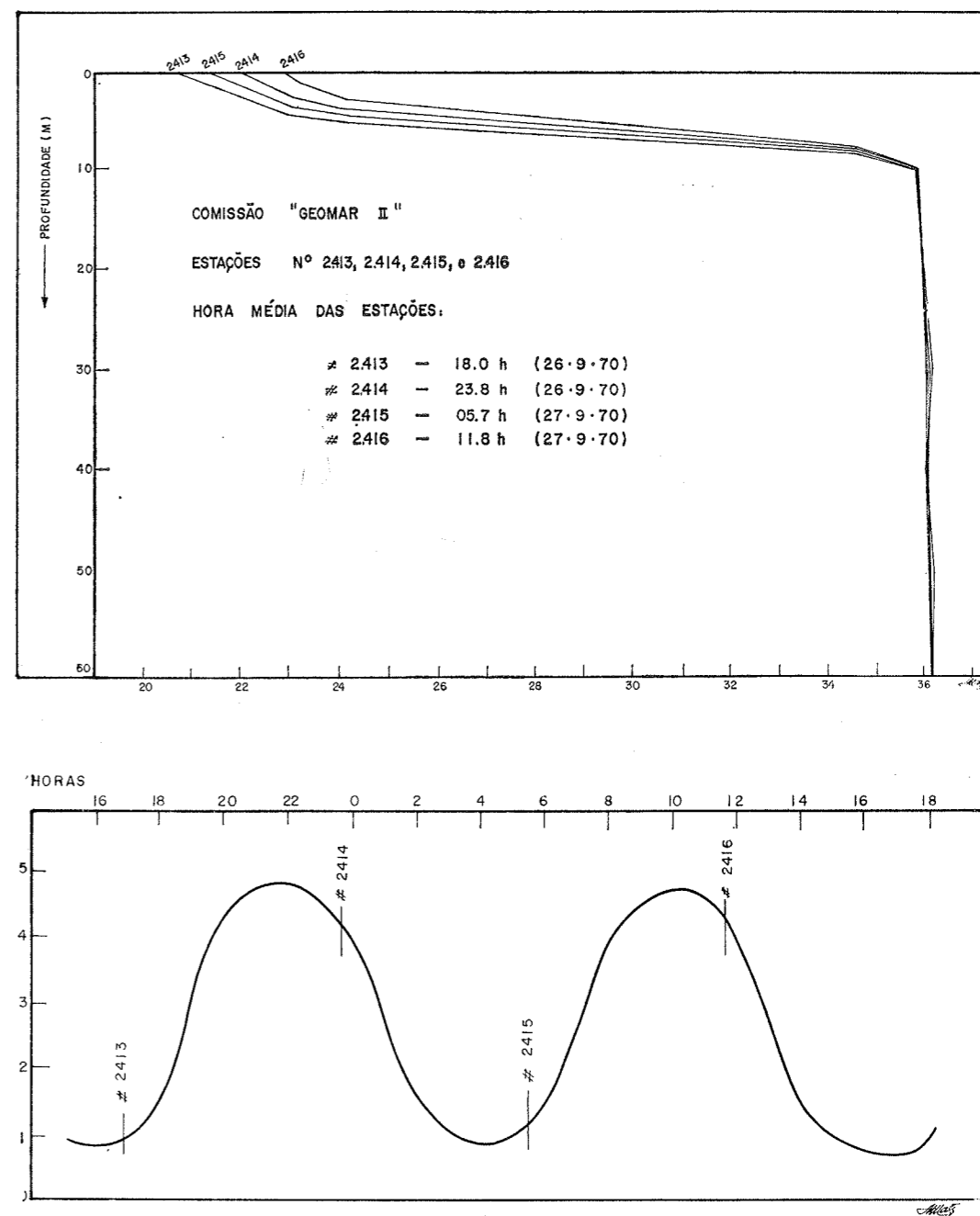


Fig. 17 — A) Variação da curva de salinidade pelo efeito das correntes de marés, em quatro estações da Operação "Geomar II", realizadas em um mesmo ponto, em horas diferentes, comparada com B) curva de variação das alturas da maré durante o período de observações considerado, para o porto "Barra Norte do Rio Amazonas" (Tabuas das Marés para o ano de 1970 — D.H.N.).

(\*) Referido in Hela & Laevastu (1961).



(DG-10-I-1) são indicados valores de velocidade que, em determinadas condições, são superiores a 5 nós.

Procurando-se observar as variações de salinidade pelo efeito das correntes de marés, foi construído o gráfico da Fig. 17. Neste gráfico, aproveitando-se dados da Comissão Geomar II, foram plotadas as curvas de salinidade em função da profundidade para quatro estações efetuadas em um mesmo ponto, espaçadas no tempo por um intervalo de aproximadamente seis horas. Na parte inferior da figura está representada a curva da maré, para o mesmo período em que foram efetuadas as observações oceanográficas. O ponto de observações considerado é o de Lat. 4° 18'.8 N e Long. 50° 17'.1 W. A curva de maré refere-se ao ponto de latitude 0° 55' N e Longitude 50° 4'.5 W.

Conforme se observa na Fig. 17 as variações de salinidade verificam-se até cerca de 10 metros de profundidade (no ponto considerado) e acompanham a oscilação das marés. Da estação nº 2.413 para a nº 2.414 observa-se um aumento superficial de salinidade provocado pela maré de enchente e, conseqüentemente, movimento das águas salinas sobre o estuário. Da estação nº 2.414 para a nº 2.415 a salinidade superficial diminui pelo efeito da maré de vazante, ocasionado pelo retrocesso das águas salinas e o avanço da água doce para fora do estuário. Da estação nº 2.415 para a nº 2.416 o fenômeno apresenta-se de forma semelhante ao que se verifica da estação nº 2.413 para a nº 2.414. Nota-se, entretanto, que a estação nº 2.414 e a nº 2.416 não apresentam os mesmos valores de salinidade superficial, como se poderia supor. Tal diferença poderia ser atribuída a outros fatores envolvidos nos processos da circulação estuarina.

#### 4. NOTAS COMPLEMENTARES

Foram considerados, neste estudo, alguns aspectos físicos do estuário amazônico. Seria imprescindível, entretanto, na elaboração de um trabalho global, a consideração de outros elementos. Principalmente aqueles que afetam a produtividade orgânica e o estudo das implicações impostas pela distribuição de propriedades e a circulação estuarina às possíveis flutuações quantitativas e processos ecobiológicos locais. Tais considerações poderão ser matéria de um estudo completo e sistemático, integrado aos variados capítulos da oceanografia estuarina. Aqui, nosso objetivo, foi apenas o de traçar em suas linhas mais gerais a mol-

dura físico-dinâmica dos processos estuarinos, no interior da qual a pesquisa deverá ser encaminhada em maior detalhe, amplitude e diversificação.

É interessante salientarmos, desde já, alguns problemas que podem servir de sugestão à pesquisa futura. Inicialmente, apresentam-se as seguintes indagações: Em que extensão, geográfica e em profundidade, o Rio Amazonas pode influenciar a produtividade orgânica do estuário e das águas oceânicas adjacentes? Como se apresentam as flutuações em intensidade, comandadas, principalmente, pelo regime periódico de enchente e vazante na bacia amazônica?

Alguns pontos merecem ser lembrados na resolução de tais problemas:

(1) Pode-se esperar a influência do Rio Amazonas, em primeiro lugar, e em maior intensidade, nos níveis eufóticos, onde se realiza a produção de matéria orgânica, uma vez que a água doce tem tendência a permanecer à superfície;

(2) A descarga do Rio pode influenciar a produtividade biológica de diversas maneiras, entre elas:

(a) se o Rio descarrega uma grande quantidade de nutrientes pode-se esperar a proliferação e o crescimento do plancton; se a quantidade de nutrientes for pequena, os níveis de crescimento do plancton serão baixos;

(b) se o Rio descarrega grandes quantidades de matérias sólidas em suspensão (minerais, detritos em geral) e/ou compostos orgânicos dissolvidos que lhe confirmam determinada coloração, a atenuação da penetração da luz solar provocará, por sua vez, uma diminuição na camada em que se processa a fotossíntese;

(c) a mistura das águas doces às águas salgadas, provocando uma diminuição da densidade, aumentará a estabilidade da camada superficial, dificultando, dessa forma, a renovação dos estoques de nutrientes à superfície. Na zona equatorial, o suprimento de nutrientes torna-se um fator mais limitativo da produtividade do que a luz solar, praticamente disponível durante todo o ano.

Quaisquer que sejam os objetivos da pesquisa ou as indagações propostas no campo da produtividade e da biologia, os primeiros passos serão:

(1) o estudo da distribuição de nutrientes;

(2) o estudo da distribuição de gases dissolvidos;

(3) o conhecimento dos valores da penetração de luz solar, sua distribuição e os efeitos provocados por fatores dos quais ela depende;

(4) a determinação, em quantidades e espécies da vida planctônica estuarina, em correlação com a distribuição de propriedades.

Seria desnecessário falar-se, ainda, da importância a ser conferida às distribuições de temperatura e salinidade. Esta última, em particular, e em virtude da magnitude de suas variações de valor deverá controlar a vida biológica na região. As variações de salinidade afetam a regulação osmótica do peixe e uma grande maioria deles é adaptada a viver em soluções com uma gama relativamente bastante limitada de pressão osmótica. Além disso, juntamente com a temperatura, a salinidade terá um efeito determinante sobre as condições de flutuabilidade das ovas pelágicas.

O perfeito conhecimento dos processos, fenômenos físicos e características biológicas dominantes na região estuarina exige um trabalho contínuo, a realizar-se no decorrer de alguns anos, considerando-se o potencial de pesquisa atualmente existente. A colaboração

entre as diversas especialidades oceanográficas torna-se indispensável.

Algumas idéias básicas sobre a programação da pesquisa também poderiam ser aqui ventiladas. Entre elas, destaca-se a necessidade do uso de bóias oceânicas colocadas em pontos estratégicos do estuário (Salinópolis e Cabo Norte nos parecem serem dois desses pontos). Estas bóias deveriam fornecer, pelo menos, informações sobre correntes e sobre as variações de salinidade, as quais serviriam de parâmetros para a obtenção de um quadro sinótico virtual do estuário, uma vez estabelecidos os possíveis padrões de circulação e distribuição de propriedades.

De grande importância, também seria a realização de duas expedições anuais (enchente e vazante) à região. Dessa forma através do levantamento das condições oceanográficas do estuário e adjacências, poder-se-ia obter um retrato adequado do estuário e suas variações.

Finalmente, nós dispensamos de falar da importância com que se reveste o estudo do sistema estuarino amazônico, seja do ponto de vista científico ou econômico.

#### BIBLIOGRAFIA

- DIRETORIA DE HIDROGRAFIA E NAVEGAÇÃO (1962) — Cartas de Correntes de Maré — Rio Pará, de Salinópolis a Belém. (DG-10-I-1).
- DIRETORIA DE HIDROGRAFIA E NAVEGAÇÃO (1970) — Tábuas das Marés para o ano de 1970 — Costa do Brasil e Portos Estrangeiros — (DG-16-7).
- DIRETORIA DE HIDROGRAFIA E NAVEGAÇÃO — Comissões Oceanográficas realizadas pela Diretoria de Hidrografia e Navegação, conforme relacionadas no item 1.2.
- HELLA, ILMO e LAEVASTU, TAIVO — "Coastal Fisheries in respect of Weather and Hydrography" — Fisheries Hydrography, Cap. 5 — Fishing News (Books) Ltd, 1961.
- KEMPF, MARC, COUTINHO, P. NÓBREGA e MORAIS, JADER ONOFRE — "Plataforma Continental do Norte e Nordeste do Brasil" — Diretoria de Hidrografia e Navegação — DG-26-

XI — XXXª Comissão Oceanográfica (Operação Norte/Nordeste I) — 1968.

MC LELLAN, HUGH, J. — "Estuaries" — Elements Of Physical Oceanography, Cap. 20 — Pergamon Press — 1968.

MOREIRA DA SILVA, Capitão-de-Fragata PAULO DE CASTRO — "Reconhecimento Oceanográfico do Estuário do Amazonas" — Anais Hidrográficos — Tomo XVII — 1958/59 — Diretoria de Hidrografia e Navegação.

PICKARD, G. L. — "Coastal Oceanography" — Descriptive Physical Oceanography, Cap. 8 — Pergamon Press, 1970.

RYTHER, J. H., MENZEL, D. W. e CORWIN, NATHANIEL — "Influence of the Amazon River Outflow on the Ecology of the Western Tropical Atlantic" — Journal of Marine Research, Volume 25, 1/1967.

# GLAUCONITA COMO PROCESSO DE ALTERAÇÃO DE BIOTITA: OCORRÊNCIA NA PLATAFORMA CONTINENTAL NORTE-BRASILEIRA

Por

MALVINA POMERANCBLUM<sup>(1)</sup> e MARCIO PAULO DE ATAIDE COSTA<sup>(2)</sup>

## ABSTRACT

The distribution map of glauconite in the Northern Continental Shelf of Brazil is presented.

In this region glauconite occurs mainly in the external peripheral zone of the actual muddy Amazonic Sedimentation. Glauconite as a biotite alteration process in its various stages is discussed and compared to similar occurrences.

This alteration involves iron oxidation, potash retention, hydration, partial loss of aluminum and structural changes of biotite, being characteristic of marine environment.

## INTRODUÇÃO

Muito se tem discutido a respeito da origem e significado do mineral glauconita. Os aspectos geológicos concernentes ao problema têm sido alvo de controvérsias entre vários estudiosos, tanto na definição do material fonte, como na caracterização das condições ambientais de formação.

O presente estudo, de caráter qualitativo, focaliza alguns aspectos do processo de glauconitização ocorrente na área estudada, onde uma série de estágios transicionais demonstraram a transformação da mica-biotita em glauconita.

Os sedimentos estudados foram coletados à bordo do NOc «Almirante Saldanha» durante a Comissão Geomar I, realizada em junho de 1969 pela Diretoria de Hidrografia e Navegação do Ministério da Marinha, em cooperação com o Departamento Nacional da Produção Mineral do Ministério das Minas e Energia, Petrobrás, Instituto de Geociências da U.F.R.J. e Laboratório de Ciências do Mar da U.F.Pe.

## ÁREA ESTUDADA

A área estudada compreende a parte da plataforma continental Norte Brasileira que se

estende desde a foz do Rio Pará, Estado do Pará, até a Ilha de Maracá, Território Federal do Amapá, dando-se maior ênfase à zona de transição entre a sedimentação amazônica atual da plataforma interna, e a sedimentação remanescente das plataformas média e externa (Fig. 1).

## OCORRÊNCIA DA BIOTITA-GLAUCONITA

A presença de glauconita foi sentida através de certa frequência em algumas estações de amostragem, em grãos verde-escuro apresentando formas variáveis. Ficou evidenciado através o formato dos grãos e seus diferentes estágios de alteração (encontrados no decorrer do estudo em lupa binocular e confirmado por microscopia de polarização e difração de raios X<sup>3</sup>), tratar-se de glauconita como produto de alteração de biotita.

Formação de glauconita a partir de biotita foi descrita por Galliher (1935) em seu exaustivo estudo no qual diferentes estágios são discutidos. Suas micrografias mostram os diferentes estágios dessa alteração.

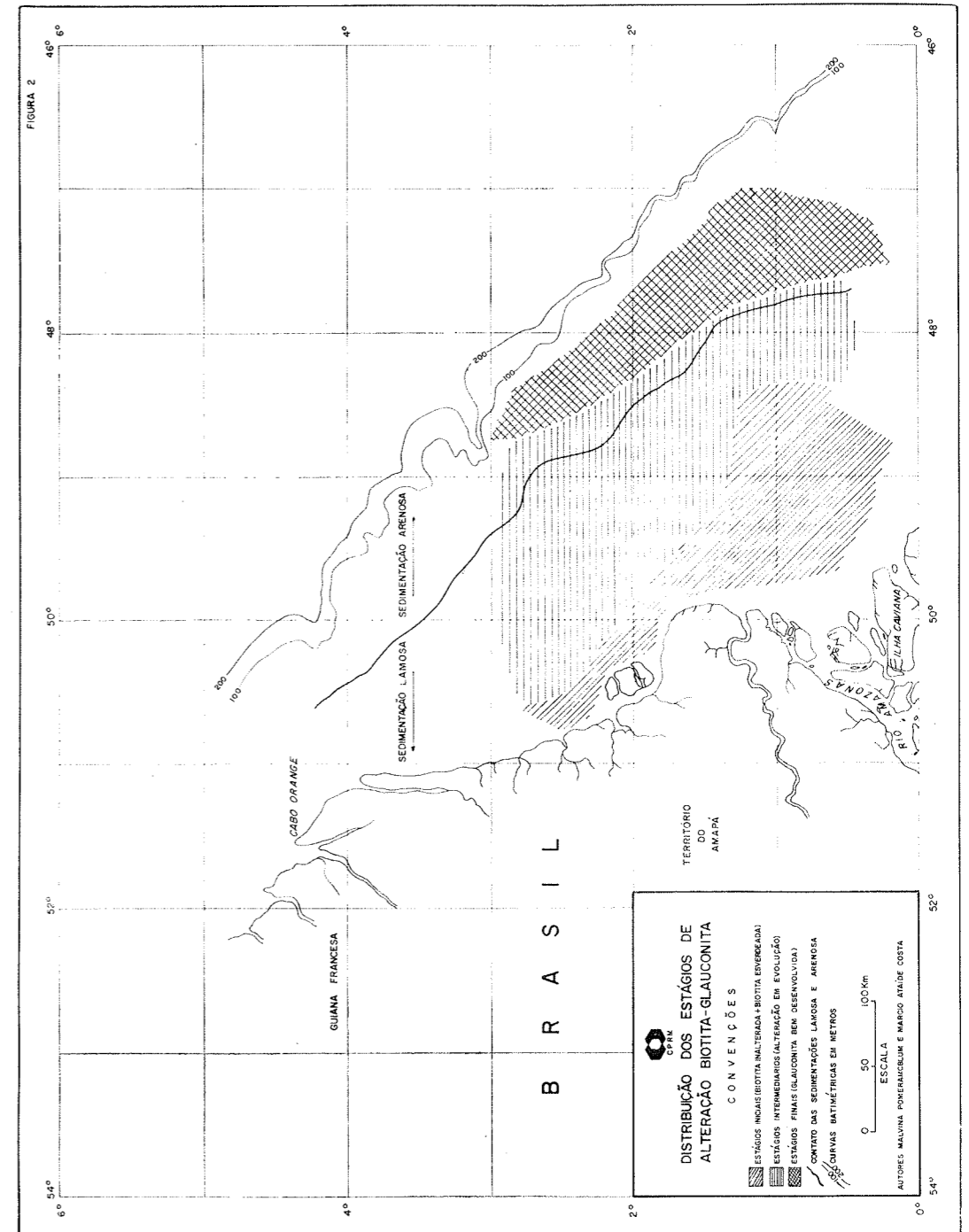
Foram encontrados, na área ora em apreciação, os seguintes estágios de alteração característicos:

— Biotita inalterada, de coloração castanho-clara em placas finas e castanho-escuro em placas grossas (Lâmina 1).

(1) Companhia de Pesquisas de Recursos Minerais — LAMIN — RJ.

(2) Companhia de Pesquisas de Recursos Minerais — Proj. REMAC — RJ.

(3) Análise realizada pelo geólogo Nelson da Silva Gondim da CPRM-DIVEX.



- Biotita totalmente esverdeada, já com sintomas iniciais de glauconitização (Lâmina 2).
- Estágio inicial de glauconitização, no qual nota-se a atuação do processo nas clivagens de biotita, numa das extremidades ou em todo o comprimento do grão (Lâmina 3).
- Estágio intermediário, no qual o processo já em fase mais adiantada provoca, por aumento de volume, a distorção dos grãos. Nesse estágio os grãos assumem o formato de um minúsculo «acordeon» (Lâmina 4).
- Estágio final no qual o formato micáceo desaparece por completo, sendo substituído por uma forma globular arredondada. (Lâmina 5).

#### DISTRIBUIÇÃO DA BIOTITA-GLAUCONITA

Encontramos dois tipos de sedimentos nos quais a associação biotita-glaucônita esteve presente: a área da plataforma interna, lamosa atual, e a área da plataforma média a externa, arenosa. A distribuição dos grãos de biotita-glaucônita foi a seguinte (Fig. 2).

- Estágios iniciais de biotita inalterada e biotita esverdeada, na região mais interna da sedimentação lamosa.
- Estágios intermediários de transformação biotita-glaucônita, ocorrendo na parte externa da sedimentação lamosa, na zona de transição entre as duas sedimentações e na região arenosa próxima ao contato com a lamosa.
- Estágios finais com glauconita bem desenvolvida ocorrendo dentro da sedimentação arenosa.

#### CONSIDERAÇÕES AMBIENTAIS

Glaucônita granular ocorre, principalmente, em areias quartzosas, areias feldspáticas e calcarenitos, em ambientes de certa turbulência. No caso específico de formação de glauconita a partir de biotita, o processo de alteração envolve: oxidação do ferro; perda parcial do alumínio; retenção do potássio; hidratação e mudanças estruturais.

Opiniões sobre gênese de glauconita têm sido bastante controversas, quando da avaliação dos fatores ambientais de formação. Segundo Takahashi (1939), glauconita é fruto

de metamorfismo submarino, sendo condições redutoras necessárias à sua formação e estando quase sempre associada a sulfeto de ferro, podendo ser posteriormente retrabalhada e concentrada em sedimentos independentes da presença deste sulfeto.

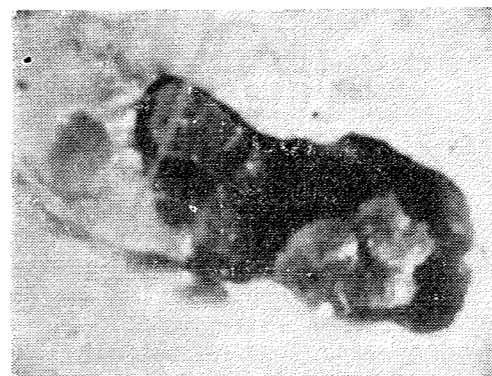
Gallier (1935) concluiu ser glauconita derivada de biotita por um processo de intemperismo marinho. Notou, também, que sedimentos ricos em biotita relativamente próximos à costa passam, horizontalmente, a sedimentos ricos em glauconita-biotita «offshore» e, então, progressivamente a sedimentos glauconíticos em maiores profundidades.

Segundo Emery (1960) glauconita é encontrada entre 50 a mais de 2.000 metros de profundidade, sendo abundante em ambientes de fundo os mais oxigenados, em áreas de correntes turbulentas e algum movimento de ondas. Medidas realizadas mostraram ser o pH acerca de 7,8 e o Eh cerca de + 300 mv, ambos similares à água superposta. O oxigênio dissolvido na água estava a 90% de saturação. Estes fatos mostraram ter o ambiente no qual glauconita é encontrada condições oxidantes, em contraste com a aceitação geral de ser glauconita restrita a ambientes anaeróbicos (Cloud 1955, Lochman 1957).

É interessante, na plataforma continental Norte Brasileira, a associação dos vários estágios de transformação biotita-glaucônita com os dois tipos de fundo predominantes. Os estágios iniciais de transformação ocorrem, principalmente, na parte interna da plataforma, associados ao fundo lamoso, onde a taxa de sedimentação é alta e o potencial de oxidação é relativamente baixo.

À medida que chegamos à transição da sedimentação lamosa para a arenosa, os estágios intermediários mais avançados da alteração se fazem presentes. Os estágios finais de glauconita já completamente desenvolvida, ocorrem na plataforma média e externa, associados ao fundo arenoso, onde a taxa de sedimentação é baixa e o potencial de oxidação é alto.

Pelas associações sedimentação/estágios de transformação descritas acima, concluímos que a região de transição entre o fundo lamoso e o arenoso é a que apresenta maior razão de transformação, na área estudada. Assim, o contraste das propriedades físico-químicas da interface água/sedimento entre os fundos lamoso redutor e arenoso oxidante, em contato, torna-se importante na glauconitização dessa região.



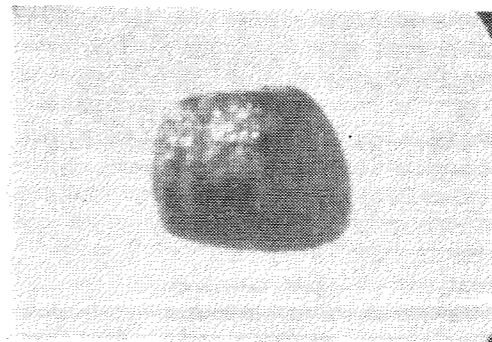
LAMINA 1  
Estágio de biotita inalterada.



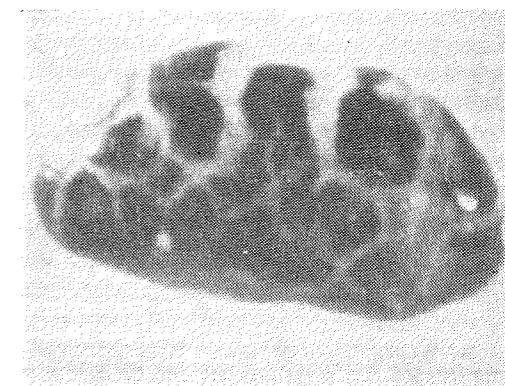
LAMINA 2  
Estágio de biotita esverdeada.



LAMINA 3  
Estágio inicial de glauconitização.



LAMINA 4  
Estágio intermediário de glauconitização.



LAMINA 5  
Estágio final de glauconitização.

**CONSIDERAÇÕES FINAIS**

Fato importante a destacar na área estudada e a ocorrência, na região arenosa de contato com a sedimentação lamosa, de glauconita já completamente desenvolvida, juntamente com estágios ainda em evolução. Esta simultaneidade evidencia a superposição de duas épocas de transformação biotita-glauconita. A primeira durante a transgressão marinha Holocênica, na qual sedimentos ricos em biotita teriam sido retrabalhados e concentrados na sedimentação arenosa, sendo paulatinamente submetidos ao intemperismo submarino propiciador da glauconitização. A segunda época é a de alteração atual, durante a qual sedimentos ricos em biotita estão sendo depositados e sofrendo processos intempéricos semelhantes na faixa de contato da sedimentação lamosa progradante, com a sedimentação arenosa. Nos processos de alteração atuais, tem grande importância a corrente marinha sul Equatorial com sua influência marcante no

controle das áreas de maior migração deltaica na região. Esta corrente, transportando a fração fina em direção NW, parece concentrar biotita dentro da fração arenosa atual, misturando-a com a sedimentação arenosa mais antiga. A ação dos processos intempéricos marinhos, seria responsável pela glauconitização nesta segunda época de transformação. Assim, estágios já desenvolvidos anteriormente e estágios ainda em evolução, nessa faixa de mistura, seriam fruto de maior ou menor tempo de exposição aos processos transformadores, a partir da transgressão Holocênica. Estudos sedimentológicos — geoquímicos — oceanográficos seriam oportunos, nesta região, como contribuição ao melhor conhecimento das condições geológicas de formação de glauconita. Biotita, mineral característico de seqüências de contribuições continentais e glauconita, de seqüências de contribuições marinhas, serviriam como um dos critérios litológico-mineralógicos diagnósticos na individualização de facies sedimentares.

**BIBLIOGRAFIA**

- BURST, F. J. (1958) — "Glauconite" Pellets: Their Mineral Nature and Applications to Stratigraphic Interpretations, Bull. Amer. Assoc. Petroleum Geologists, Vol. 42, nº 2, p. 310-327.
- CHILINGAR, G. V. (1955) — Review of Soviet Literature on Petroleum Source-Rocks, Bull. Amer. Assoc. Petroleum Geologists, Vol. 39, p. 764-767.
- CLOUD, P. E. (1965) — Physical Limits of Glauconite Formation, Bull. Amer. Assoc. Petroleum Geologists, Vol. 39, p. 484-492.
- EMERY, K. O. (1960) — The Sea off Southern California, New York, John Wiley and Sons Inc., 366 p.
- GALLIHER, E. W. (1935) — Geology of Glauconite, Bull. Amer. Assoc. Petroleum Geologists, V. 19, p. 1569-1601.
- (1935) — Glauconite Genesis, Bull. Geol. Soc. Amer., Vol. 46, p. 1351-1366.
- GRUNER, J. W. (1935) — The Structural Relationships of Glauconite and Mica, Amer. Mineralogists, Vol. 20, p. 699-714.
- PETTIJOHN, F. J. (1949) — Sedimentary Rocks, New York, Harper and Brothers, 526 p.
- (1972) — Sand and Sandstone, New York, Springer-Verlag, 618 p.

**CONGRESSOS REALIZADOS PELA SOCIEDADE  
BRASILEIRA DE GEOLOGIA**

- I — Congresso Brasileiro de Geologia — 1947 — Rio de Janeiro, DF
- II — Congresso Brasileiro de Geologia — 1948 — São Paulo, SP
- III — Congresso Brasileiro de Geologia — 1949 — Salvador, Ba
- IV — Congresso Brasileiro de Geologia — 1950 — Ouro Preto, MG
- V — Congresso Brasileiro de Geologia — 1951 — Curitiba, Pr
- VI — Congresso Brasileiro de Geologia — 1952 — Pôrto Alegre, RS
- VII — Congresso Brasileiro de Geologia — 1953 — Terezina, Pi
- VIII — Congresso Brasileiro de Geologia — 1954 — Recife, Pe
- IX — Congresso Brasileiro de Geologia — 1955 — Águas do Araxá, MG
- X — Congresso Brasileiro de Geologia — 1956 — Volta Redonda, RJ
- XI — Congresso Brasileiro de Geologia — 1957 — Salvador, Ba
- XII — Congresso Brasileiro de Geologia — 1958 — Belo Horizonte, MG
- XIII — Congresso Brasileiro de Geologia — 1959 — São Paulo, SP
- XIV — Congresso Brasileiro de Geologia — 1960 — Brasília, DF
- XV — Congresso Brasileiro de Geologia — 1961 — Florianópolis, SC
- XVI — Congresso Brasileiro de Geologia — 1962 — Pôrto Alegre, RS
- XVII — Congresso Brasileiro de Geologia — 1963 — Recife, Pe
- XVIII — Congresso Brasileiro de Geologia — 1964 — Poços de Caldas, MG
- XIX — Congresso Brasileiro de Geologia — 1965 — Rio de Janeiro, Gb
- XX — Congresso Brasileiro de Geologia — 1966 — Vitória, ES
- XXI — Congresso Brasileiro de Geologia — 1967 — Curitiba, Pr
- XXII — Congresso Brasileiro de Geologia — 1968 — Belo Horizonte, MG
- XXIII — Congresso Brasileiro de Geologia — 1969 — Salvador, Ba
- XXIV — Congresso Brasileiro de Geologia — 1970 — Brasília, DF
- XXV — Congresso Brasileiro de Geologia — 1971 — São Paulo, SP
- XXVI — Congresso Brasileiro de Geologia — 1972 — Belém, PA