

VINTE ANOS DE OPERAÇÕES GEOFÍSICAS NA PLATAFORMA CONTINENTAL BRASILEIRA TWENTY YEARS OF GEOPHYSICAL OPERATIONS ON THE BRAZILIAN CONTINENTAL SHELF

Muhamad Amin Baccar⁽¹⁾ e Rudi Luiz Lengler⁽²⁾

RESUMO — Os trabalhos sismográficos sistemáticos na plataforma continental tiveram início em 1968 e prosseguem até hoje ininterruptamente, tendo sido levantados para o Departamento de Exploração (DEPEX) 677 403 km de linhas, sendo 184 445 km com técnica tridimensional. Durante esses anos, a PETROBRÁS utilizou o que havia de mais moderno em fontes de energia, cabos e sismógrafos. Hoje são utilizados *airguns* como fontes de energia, dois cabos de flutuação neutra (*streamers*), cada um com 240 canais com transmissão digital do sinal. As linhas sísmicas, que no início dos trabalhos iam até 50 m de lâmina d'água, hoje cobrem extensas áreas de mar profundo, indo, não raro, além de 3 000 m. Concomitantemente ao levantamento sismográfico, foram executados para o DEPEX, durante os últimos 21 anos, 211 000 km de levantamentos gravimétricos, 266 000 km de perfis aeromagnetométricos e 190 000 km de registros com magnetômetro de bordo. A partir de 1986, por convênio entre a PETROBRÁS e a Marinha, o DEPEX passou a operar os equipamentos geofísicos do navio oceanográfico Almirante Câmara juntamente com oficiais daquela corporação, executando levantamentos geofísicos na borda externa da plataforma continental e na Antártica. As empresas que assinaram com a PETROBRÁS contratos de exploração com cláusulas de risco levantaram, a partir de 1977, 134 455 km de linhas sismográficas, 50 000 km de gravimetria e 44 100 km de perfis com magnetômetro de bordo.

ABSTRACT — Systematic seismic surveys of the Brazilian continental shelf conducted continuously since 1968 have provided the PETROBRÁS Exploration Department with data on 677,403 km of lines (184,445 km involving 3-D techniques). PETROBRÁS has availed itself of the most modern energy sources, cables, and seismographs. At present, the seismic surveys relies on air guns and on two streamers, each equipped with 240 digital transmission channels. Originally limited to water depths of 50 m, seismic lines now cover wide areas of deep waters, sometimes surpassing 3,000 m. Together with seismic surveys, over these past 21 years the Exploration Department has received the results of 211,000 km of gravimetric surveys, 266,000 km of aeromagnetometric profiles, and 190,000 km of records taken by on-board magnetometers. Under an agreement between PETROBRÁS and the Brazilian Navy, in 1986 the Exploration Department assumed the geophysical work of the oceanographic vessel "Almirante Câmara", with the aid of Navy officers. Geophysical surveys were conducted on the outer edge of the Brazilian and Antarctic continental shelves. Since 1977, under risk contracts with PETROBRÁS, companies have surveyed 134,455 km of seismic line, 50,000 km of gravimetric, and 44,100 km of profile surveys, the latter employing magnetometers.

(Originais recebidos em 08.09.88.)

1 — INTRODUÇÃO

Os trabalhos sismográficos sistemáticos na Plataforma Continental tiveram início em 25 de março de 1968 na foz do Amazonas, quando a ES-28, contratada à Western Geophysical Co. of America, fez o primeiro registro digital utilizando como fonte sísmica o *aquapulse*, cabo com 1 600 m de comprimento, com 24 canais.

Antes dessa data, alguns trabalhos sis-

mográficos haviam sido realizados nas bacias de São Marcos e São José e no litoral do Maranhão, em 1957/1958, pela ES-1 (GSI). Foram realizados também levantamentos sísmicos na foz do rio São Francisco, baía de Todos os Santos e no litoral do Espírito Santo entre Abrolhos e o rio Doce; este realizado pela ES-22 (GSI). Esse último levantamento, juntamente com levantamentos gravimétricos, deu suporte técnico ao primeiro poço perfurado na plataforma: o Espírito Santo Submarino nº 1

1 - DEPEX/DIGEF
2 - DEPEX/SEGEOM
Av. República do Chile, 65,
Centro, CEP 20132, Rio de
Janeiro, RJ, Brasil.

QUADRO I/CHART I

EMPREGO DE FONTES SÍSMICAS MARÍTIMAS
USE OF MARINE SEISMIC SOURCES

Fonte	Início de Utilização	Equipe	Companhia Contratada
Aquapulse	25/03/68	ES-28	WGC
NCN	07/05/68	ES-28	WGC
Air Gun (1)	06/10/69	ES-34	GSI
Maxipulse	17/07/73	ES-37	WGC
Air Gun (2)	01/09/73	ES-47	WGC
Vapor Choc	18/12/76	ES-46	CGG
Air Gun (3)	09/10/79	ES-53	WGC
Water Gun	14/11/83	ES-203	HEC
Sleeve Gun	06/06/87	ES-232	GSI

NCN — nitrato de nitrocarbono
 (1) — pressão de trabalho: 2 000 psi
 (2) — pressão de trabalho: 6 000 psi
 (3) — pressão de trabalho: 4 500 psi
 WGC — Western Geophysical Company of America
 GSI — Geophysical Service Inc.
 CGG — Compagnie Générale de Géophysique
 HEC — Horizon Exploration Company

(ESS-1).

Como preparativo para o levantamento sísmico que se programou para 1968, foram realizadas linhas de refração ligando as bacias terrestres conhecidas com seu prolongamento mar-a-dentro (BACCAR, 1968).

2 — FONTES SÍSMICAS

A PETROBRÁS, desde que iniciou os levantamentos sísmográficos na plataforma continental, manteve-se atualizada no emprego de fontes sísmicas marítimas, tendo testado em águas brasileiras as de maior aceitação. O quadro I relaciona o início de utilização de cada fonte, a equipe e a companhia contratada que a utilizou.

O volume total dos *air guns*, no início dos trabalhos na plataforma, era de 580 polegadas cúbicas; hoje o mais comum é empregar 4 000 polegadas cúbicas, sendo que alguns navios operaram até com 6 270. Das fontes sísmicas listadas no quadro I, apenas o *air gun* de 2 000 psi e o de 4 500 psi continuam sendo empregados na indústria, bem como o *sleeve gun*, que é um *air gun* modificado.

3 — CABOS, RECEPTORES E SISMÓGRAFOS

Os levantamentos em lâmina d'água

maior que 10 m foram executados com cabo de flutuação neutra (*streamer*). Os primeiros cabos possuíam 24 canais de registro, e os mais recentes, 120 ou 240 canais. Os sinais transmitidos, que eram analógicos, passaram a ser digitais a partir de janeiro de 1987, com a ES-228.

No início dos trabalhos na plataforma, quando o cabo sísmico era relativamente curto (2 400 m), usou-se registrar, concomitantemente, dados de refração, utilizando-se sonobóias. A bóia permanecia estacionária enquanto o navio se afastava. O dado captado pela bóia, que continha os hidrofones, era transmitido via rádio para o navio em formato analógico. Este método caiu em desuso pela dificuldade da transmissão/recepção e pelo maior comprimento dos cabos sísmicos (4 200 m).

Bóias mais sofisticadas com transmissão de dados digitalizados voltaram a ser usadas nas zonas de águas muito rasas em 1980, quando se empregaram bóias Telseis, e nas zonas de transição mar-terra, quando se utilizou o sistema Digiseis, em 1985, para fazer a ligação de dados marítimos a dados terrestres, levantamentos dentro da lagoa Mangueira, em Alagoas e no rio São Francisco.

Os sismógrafos empregados desde 1968 registravam o dado sísmico digitalmente. No sismógrafo DFS-III, empregado em 1969, o ganho era binário, sendo

acionado a intervalos regulares. A partir de 1974, com o emprego dos DFS-IV e DFS-V, o ganho era em ponto flutuante instantâneo. Com o emprego do LRS-16, em 1987, passou-se a usar 480 canais com sinais digitalizados no cabo sísmográfico.

4 — OUTROS TRABALHOS

A PETROBRÁS sempre utilizou as técnicas operacionais mais avançadas nos levantamentos sísmicos marítimos.

Em 1968, no início das operações na plataforma, os levantamentos se restringiam até a lâmina d'água de 50 m, sendo posteriormente levados até a profundidade de 200 m. São freqüentes hoje os levantamentos até em lâminas d'água maiores que 3 000 m.

A primeira linha em água profunda foi executada em dezembro de 1969 pela ES-34(GSI) sobre o platô de São Paulo, na Bacia de Santos (BACCAR, 1970). Esta prática mais tarde generalizou-se, pois não só permite conhecer a extensão das bacias sedimentares mar-a-fora, como também propicia o melhor entendimento dos processos sedimentares.

Trabalhos em águas rasas foram feitos em setembro de 1971, pela ES-37 (WGC), com resultados insatisfatórios. Novo surto de trabalhos em águas rasas e zonas de transição ocorreu quando as bóias telemétricas se tornaram operacionalmente viáveis com os dados digitalizados sendo transmitidos por rádio em FM.

O primeiro trabalho com técnica de levantamento tridimensional (3D) foi iniciado pela ES-51(GSI) em 2 de setembro de 1978 sobre o Campo de Cherne. Desde então, esta técnica tem-se aprimorado, permitindo utilizar duas embarcações para cobrir área com obstáculos. O primeiro trabalho deste tipo foi realizado pela WGC, com a ES-211, a partir de outubro de 1985. A utilização de um navio com dois cabos sísmográficos em levantamentos 3D deu-se em abril de 1986 pela GECO, com a equipe ES-223, sobre o Baixo de São Tomé na área do poço RJS-150. A GECO também execu-

TABELA I/TABLE I

LEVANTAMENTOS SÍSMICOS NA PLATAFORMA CONTINENTAL
BRASILEIRA
SEISMIC SURVEYS OF THE BRAZILIAN CONTINENTAL SHELF

Ano	Equipe-Mês	Levantamentos 2D		3D	Total
		Raso (< 10 m)	Normal/Profundo (> 10 m)		
1968	10	—	10 031	—	10 031
1969	19	—	21 100	—	21 100
1970	18	—	23 552	—	23 552
1971	15	994	16 314	—	17 308
1972	18	3 564	9 279	—	12 843
1973	22	973	16 806	—	17 779
1974	21	2 323	11 594	—	13 917
1975	15	1 828	12 842	—	14 670
1976	25	610	33 850	—	34 460
1977	24	1 864	32 415	—	34 279
1978	11	—	23 985	1 200	25 185
1979	18,8	—	27 188	4 062	31 250
1980	28,8	4 725	38 832	—	43 557
1981	15,8	635	33 813	4 105	38 553
1982	25	5 399	26 087	2 754	34 240
1983	6,8	2 019	4 167	—	6 180
1984	11,7	—	6 043	14 095	20 138
1985	29,1	2 931	17 441	16 883	37 255
1986	36,7	1 482	19 096	39 424	60 002
1987	44	272	52 910	36 922	90 104
1988	26	—	26 000	65 000	91 000*
	440,7	29 619	463 339	184 445	677 403

* Estimado.

tou a primeira linha *swath* em testes na costa sul da Bahia em fevereiro de 1987. A GECO e a WGC, em conjunto, realizaram um levantamento visando a reflexões profundas, na Bacia do Pará-Maranhão, em março de 1985, utilizando para isso dois navios, um dos quais com a fonte sísmica, podendo, desta maneira, simular lanços com grande afastamento.

A orientação do cabo sismográfico por meio de bússolas em seu interior é utilizada desde o início dos levantamentos tridimensionais. A partir de junho de 1985, com a operação da ES-214 (Teledyne), passou-se a registrar os desvios do cabo também em levantamentos convencionais (2D). Assim, se necessário, pode-se conhecer com precisão o posicionamento do cabo e a geometria do lanço, a cada instante.

Em 1968, a PETROBRÁS, por meio de empresa contratada, levantou 10 031 km de sísmica marítima com 10 equipes-mês. Esta atividade, até agora, não sofreu solução de continuidade, ocorrendo, no entanto, um mínimo durante 1983, quando foram levantados apenas 6 180 km de sísmica na plataforma continental. A partir de então, a atividade tem crescido, sendo estimados em 91 000 km a produção em 1988 (tabela I), totalizando 677 403 km de linhas sísmicas em 21 anos de operação.

A partir de 1977, com o advento dos contratos com cláusulas de risco, empresas contratantes também promoveram levantamentos sísmicos na plataforma continental (tabela II). Em 11 anos as contratantes de risco registraram 134 445 km de sísmica.

Em 1986, a PETROBRÁS celebrou convênio com a Marinha e adquiriu e equipou o navio oceanográfico Almirante Câmara com instrumentos sismográfico, gravimétrico e magnetométrico. Técnicos do Departamento de Exploração, que até então fiscalizavam as companhias contratadas, passaram a operar os equipamentos geofísicos do Almirante Câmara conjuntamente com oficiais da Marinha. Com este navio executou-se programa sísmico em águas profundas na plataforma continental em 1987 e

TABELA II/TABLE II

LEVANTAMENTOS SÍSMICOS NA PLATAFORMA CONTINENTAL
BRASILEIRA
CONTRATOS DE RISCO
SEISMIC SURVEYS OF THE BRAZILIAN CONTINENTAL SHELF
RISK CONTRACTS

Ano	Equipe-Mês	Levantamentos 2D		3D	Total
		Raso (< 10 m)	Normal/Profundo (> 10 m)		
1977	7	—	8 665	—	8 665
1978	23	—	29 536	—	29 536
1979	10	—	8 633	—	8 633
1980	16	—	20 881	—	20 881
1981	21	—	26 006	—	26 006
1982	14	—	9 414	—	9 414
1983	10	—	8 504	—	8 504
1984	12	—	14 040	—	14 040
1985	6	—	3 886	—	3 886
1986	3	—	2 719	—	2 719
1987	2	—	2 011	—	2 011
1988	—	—	—	—	—
	124	—	134 455	—	134 455

trabalhos exploratórios na Antártica nos dois últimos verões austrais.

5 – NAVEGAÇÃO

O posicionamento do navio sismográfico e dos pontos de tiro, nos primeiros trabalhos feitos no mar, era determinado por instrumentos óticos (teodolitos), razão pela qual os trabalhos se situavam próximos à praia ou em enseadas.

Em 1968, no início dos trabalhos na plataforma, a WGC utilizou a radiolocalização a partir de pontos conhecidos no continente. Empregou para isso o Raydist e o Shoran, este para calibração.

A partir de 1978, com a ES-51, passou-se a utilizar o sistema Argo e calibração com Syledis, com alcance de até 350 km.

A partir de 1986, o sistema de radiolocalização Argo/Syledis vem integrado com navegação por satélite, sendo empregados os sistemas Transit e GPS (*Global Positioning System*). Estes dois últimos são os utilizados nas linhas que se estendem além do alcance dos sistemas Argo/Syledis.

6 – GRAVIMETRIA

Pesquisas sistemáticas no mar, com gravímetro de fundo La Coste & Romberg, foram iniciadas em 1964 e terminadas em 1967. Seu objetivo foi o reconhecimento da Plataforma Continental desde o norte de Alagoas até o Rio de Janeiro, limitado pela cota batimétrica de 50 m.

O referido levantamento, executado

pela United Geophysical Company, teve estações espaçadas de 1 km em perfis perpendiculares à costa e separados de 1 e 4 km. Foram obtidos, nesta operação, aproximadamente 16 000 km de perfis lineares.

A partir de 1972, vêm sendo realizadas medições com gravímetro de bordo juntamente com os levantamentos sísmicos de reflexão no mar. Tais medições atingiram o total de aproximadamente 211 000 km até o final de 1987.

Presentemente, as medições de gravidade são eventualmente feitas em linhas sísmicas 2D.

As empresas detentoras de áreas na plataforma sob contrato com cláusula de risco realizaram levantamentos de 50 000 km de perfis com gravímetro de bordo.

7 – MAGNETOMETRIA

Os levantamentos aeromagnetométricos feitos entre 1968 e 1970 seguiram, de modo geral, a sistemática adotada na gravimetria com perfis perpendiculares à costa e espaçados de 4 ou 5 km. Isto foi alterado, apenas, na área de Salinópolis—Camocim, com o espaçamento de 2,5 km. Todos os perfis estenderam-se à cota batimétrica de 200 m, com altura de vôo de 500 m. No sul, em frente ao estado de São Paulo, um perfil foi estendido mar-a-dentro, até o Platô de São Paulo. Esses levantamentos foram executados pela Prakla/Seismos, tendo-se obtido nessa fase uma produção apro-

ximada de 221 000 km de perfis lineares.

Em 1986, foi executado, por companhias nacionais (ENCAL, LASA, PROSPEC), o projeto de aeromagnetometria Maragoji/Canavieiras, com vôos se estendendo mar-a-fora cobrindo até a cota batimétrica aproximada de 3 000 m e com a altura da aeronave de 500 m. Compreendeu um total de 45 000 km de perfis e deixando sem levantamentos magnetométricos na plataforma continental apenas a área da Bacia de Campos.

Desde 1972, levantamentos magnéticos são realizados, com magnetômetros de bordo, concomitantemente aos levantamentos sísmicos, tendo sido registrados 190 000 km de perfis. Presentemente, estão sendo registrados valores magnetométricos apenas nas linhas sísmicas 2D.

As empresas com contrato de exploração com cláusula de risco levantaram 44 100 km de perfis com magnetômetro de bordo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BACCAR, M. A. 1968. *Trabalhos de Refração da ES-29 na Região de Produção da Bahia*. Rio de Janeiro, PETROBRÁS. (Relatório Interno, 2883).
- BACCAR, M. A. 1970. Evidências Geofísicas do Pacote Sedimentar no Platô de São Paulo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 24. *Anais* . . . Brasília, Sociedade Brasileira de Geologia.

EXPANDED ABSTRACT

Seismic surveys have been carried out continuously offshore in Brazil since March 25, 1968 when seismic crew nº 28 (ES-28) started operations. Previous seismic work had been conducted near shore on Brazil's northern coast and offshore in the state of Espírito Santo. This work, along with gravimetric surveys, provided technical support for drilling the first offshore well, i. e., Espírito Santo Submarino 1 (EES-1).

From the beginning, PETROBRÁS has relied on proven seismic sources such as the Aquapulse, low and high pressure air guns, Maxipulse (1), Vapor Choc (2), water guns, and sleeve guns. Today, only air guns are in use. Most surveys have utilized streamers, first limited to 24 channels and now offering up to 240. Although a Sonobuoy was used to record refraction data in early surveys, its use was interrupted once poor radio signal transmission had been verified. Drag cables and bay cables were used in early shallow water seismic surveys, but since 1980 telemetric buoys [Telseis (3) and Digiseis (4)] have been employed in shallow waters and in transition zones to transmit seismic data to the recording system, via FM radio. In offshore seismic surveys, PETROBRÁS has relied not only on the most up-to-date equipment but also the best techniques available.

While early surveys were carried out in water depths of up to 50 m, surveys currently extend beyond 3,000 m. The first deep water line was shot on the São

Paulo Plateau in December, 1969.

In September, 1978, the first 3-D seismic survey was purchased, focusing on the Cherne oil field. At present, 3-D surveys are collected using two streamers. Two boats are used to undershoot operational obstacles such as drilling rigs or production platforms. Since 1985, compass readings have been recorded during conventional 2-D surveys, so that precise streamer location can be determined when necessary.

Through contracted seismic companies, PETROBRÁS has surveyed 677,403 km of seismic lines since 1968 (184,445 km of which 3-D). Petroleum companies working in Brazil under risk service contracts have surveyed 134,445 km of 2-D seismic lines since 1977.

In 1986, PETROBRÁS and the Brazilian Navy equipped the oceanographic vessel "Almirante Câmara" to survey the outer edge of the Brazilian and Antarctic continental shelves.

In early offshore surveys, Raydist (5) and Shoran were used for vessel positioning. Argo (6) and Syledis (7) are now the most common while beyond their range Transit and GPS satellites are employed.

Gravimetric measurements have been taken using La Coste & Romberg equipment in underwater surveys limited to a water depth of 50 m. Using this

technique, 16,000 km of profiles have been obtained in lines perpendicular to the coast.

Together with seismic surveys undertaken since 1972, gravimetric measurements of 211,000 km have been made using on-board gravimeters. In risk contract areas, 50,000 km of gravimetric profiles have been recorded.

Aeromagnetometric surveys conducted between 1968 and 1970 followed profiles perpendicular to the coast to a water depth of 200 m at a flight altitude of 500 m. Later surveys were extended to deeper waters, i. e., 3,000 m. The entire continental shelf, excluding the Campos Basin, has been covered through 266,000 km of aeromagnetometric surveys. Since 1972, these surveys have been performed using an on-board magnetometer (together with 2-D seismic surveys) and have recorded 190,000 km. Risk contract companies have surveyed 44,100 km using on-board magnetometers.

- (1) Registered Trademark — Western Geophysical
- (2) Registered Trademark — Compagnie Générale de Géophysique
- (3) Registered Trademark — Fairfield Industries
- (4) Registered Trademark — Terra Marine Engineering Inc.
- (5) Registered Trademark — Hastings-Raydist, Inc.
- (6) Registered Trademark — Cubic Western
- (7) Registered Trademark — Sercel