ESTUDOS GEOFÍSICOS DE UM PLÁCER ANTIGO NA ILHA DE ITAPARICA, BAHIA

Joaquim Xavier Cerqueira Neto

PPG/UFBA - Instituto de Geociências, Campus Universitário da Federação, Salvador-Bahia, Brasil — 40.000

Ronald David Barker

Department of Geological Sciences, University of Birmingham P.O. Box 363 - Birmingham B15 2TT, Inglaterra.

ABSTRACT

The investigation of an ancient beach placer on the island of Itaparica, Bahia, through comparison of geophysical data with mineralogical and sedimentological parameters, gives useful information for the study of similar occurrences, and permits to determine the most efficient geophysical methods for the location of such placers.

The results show that: (i) the scintillometer survey is very efficient in the localization and delineation of these

occurrences; (ii) the I.P. method may be useful in the investigation of deeply buried deposits, and (iii) the magnetic method does not give reliable results in spite of the large quantity of magnetic minerals (ilmenite) in the deposit.

Measurements by gamma-ray spectrometer on the samples in the laboratory indicate 160 ± 34 ppm of thorium 10 ± 2 ppm of uranium (95% confidence limits) and a thorium/uranium ratio of 16 ± 2 in the placer deposit. The se-

dimentological study of samples of the deposit shows the detrital nature of the sediments and indicates a predominance of the following minerals: ilmenite, monazite, zircon and rutile.

It is recommended that extensive and systematic exploration of coastal areas be carried out, especially in the State of Bahia. The use of aerial photographs and an understanding of the Geological Nature of the placers will greatly help in the planning of an efficient and relatively cheap exploration program.

INTRODUÇÃO

Os pláceres de praia estão entre os mais importantes do ponto de vista econômico (Kreiter, 1968; Maciel e Cruz, 1973), encontrando-se neles, frequentemente, minerais como ilmenita, monazita, zirconita e rutilo, todos com aplicações industriais. A ilmenita é a matéria-prima para a produção do dióxido de titânio, empregado, em larga escala, na indústria de tintas e, em menor quantidade, na indústria aeronáutica, em forma de ligas metálicas. Do concentrado de monazita são obtidos os óxidos e sais de terras raras, como produtos principais, tendo aplicação na indústria eletrônica, na ótica de precisão, na metalurgia e na indústria química; como subproduto, é obtido o óxido de tório. Ainda, do aproveitamento da monazita tem o rejeito radioativo, isto é, resíduos de tório e de urânio (uranato de sódio), com possibilidade de aplicação futura, como combustível nuclear (Maciel e Cruz, 1973). A zirconita encontra grande aplicação na indústria cerâmica, fundição, siderurgia, indús-

tria de vidro e polimentos de lentes, e na indústria de papel. O metal zircônio, também obtido da zirconita, tem excelentes propriedades para uso em ligas metálicas, abrasivos e na engenharia nuclear. A zirconita é considerada o mineral do século (Kreiter, 1968), e toda a sua potencialidade industrial ainda não está sendo aproveitada no nosso país. O rutilo tem a sua principal aplicação nos eletrodos para solda elétrica.

Portanto, a prospecção desses minerais é de grande importância e, por isto, tem recebido uma atenção maior dos diferentes órgãos de pesquisa como CNPq, CNEN, DNPM, CPRM (Maciel e Cruz, 1973), e inclusive, do Programa de Pesquisa e Pós-Graduação em Geofísica da Universidade Federal da Bahia que se empenha, também, no estudo dos depósitos pláceres. É oportuno ressaltar a importância dos minerais pesados desses depósitos como método relevante e de crescente interesse no campo da estratigrafia, da sedimentologia, tectônica, etc. (Parfenoff, Pome-

rol e Toureng, 1970). Assim, foi estudado, detalhadamente, um plácer de praia antigo situado na Ilha de Itaparica, a 21 km de distância do terminal de Bom Despacho e localizado na Fazenda Pedrão, entre a Ponta da Cruz e a Ponta de Aratuba (Fig. 1). A investigação deste tipo de depósito se limita, normalmente, aos estudos sedimentológicos e de análises mineralógicas.

Porém, no presente trabalho, além desses estudos, também foram empregados métodos de prospecção geofísica, visando obter informações proveitosas no estudo de novas ocorrências, bem como testar os métodos geofísicos mais eficientes na prospecção sistemática e estudo deste tipo de depósito. Procurou-se, então, estabelecer correlações das respostas dos métodos geofísicos com parâmetros mineralógicos e sedimentológicos típicos do depósito plácer. Com estes dados foi, ainda, calculada a reserva de minerais úteis da jazida.

GEOLOGIA DO DEPÓSITO

A área estudada se encontra quase toda coberta por sedimentos quaternários. Na parte leste e ao longo da praia, ocorrem afloramentos de um arenito pouco consolidado, laminação paralela, granulação média a fina e cor esverdeada, possivelmente da Formação Marfim (Viana et alii, 1971; Fonseca, Wall e Maia, 1962). Os cortes na rodovia que atravessa a área estudada expuseram arenitos friáveis, intercalados com folhelhos pretos da Fm. Alagoas.

Do ponto de vista geomórfico, a área é uma restinga, observando-se vestígios de antigas falésias nas duas elevações vizinhas. Verifica-se, também, um alinhamento topográfico (elevado de 6 m, em relação ao nível do mar), paralelo à linha de praia e disposto normalmente a um paleoval. O depósito caracteriza-se, perfeitamente, como um antigo plácer de praia. (Fig. 1)

MÉTODOS GEOFÍSICOS EMPREGADOS

Cintilometria - A cintilometria foi usada no reconhecimento e na delimitação superficial do depósito. Empregou-se um cintilômetro modelo SPP-3 Saphymo Srat, portátil. Na área do plácer foram feitos perfis transversais (indicados por letras maiúsculas nas figuras), anotando-se as leituras onde ocorriam picos (altos e baixos), e nas estações afastadas 50m. Este procedimento de campo, anotando-se os valores picos encontrados na área, é muito importante nos levantamentos radiométricos, porque possibilita a confecção de mapas de iso-intensidades mais precisos do que aqueles realizados com valores medidos somente nas estações, sem o registro desses picos, muito comuns nas anomalias radioativas. O mapa de iso-intensidades de radiações gama está representado na Figura 2. Observa-se que dentro do contorno da anomalia existem contagens elevadas, evidenciando grandes concentrações de minerais radioativos. Particularmente notáveis são os valores altos registrados na extremidade oeste, ao lado da rodovia. Esta anomalia se encontra em ambiente de brejo com sedimentos argilo-arenosos escuros. Uma explicação possível para estes elevados valores de radiação é ter havido, por exemplo, a lixiviação do urânio nas partes vizinhas, mais altas, e ali se depositado, uma vez que o urânio pode ser absorvido pela argila, matéria orgânica, ou outros materiais finalmente divididos (McKelvey e Nelson, 1950). (Fig. 2)

Espectrometria gama - O método foi empregado nos estudos de laboratório com o objetivo de determinar os teores de urânio, tório e potássio. Os resultados desse método de análise são válidos, apenas, se a série radioativa estiver em equilíbrio secular. Assim, a medida de qualquer um dos elementos da família conduz à determinação, indireta, dos progenitores, como U235, U238 e Th232. É importante lembrar que a detecção de radioatividade, pura e simplesmente, não implica necessariamente, na existência desses elementos. Mero (1960) cita exemplos históricos de empresas norte-americanas que lavraram jazidas de materiais radioativos e não encontraram o urânio tão almejado. Cerqueira Neto (1976) efetuou a análise de equilíbrio de algumas amostras de material do depósito plácer de Itaparica, mostrando que, pelo menos, o tório está em equilíbrio secular. As amostras foram coletadas em três níveis diferentes (na superfície, a um e a dois metros de profundidade), sobre uma malha regular 50 m X 50 m, sendo analisadas cerca de 380 kg de sedimentos.

O espectrômetro utilizado é constituído de um detector de cristal de NaI (TL), acoplado a uma unidade analisadora multicanal Hewlett Packard. Também, foi utilizado um espectrômetro com detector de germânio-lítio com alta resolução (4%) na identificação dos emissores gama. A identificação do urânio e do tório foi feita mediante a comparação dos espectros gama dos padrões de urânio* e tório com os espectros obtidos do material a ser analisado. (Fig. 3).

Análise dos resultados - Os teores de urânio, tório e potássio encontram-se na Tabela 1. A maior incerteza associada aos teores de urânio é cerca de 30%, exceto para os teores muito baixos, quando será maior, especialmente, se a amostra for rica em tório. No caso do tório a incerteza está em torno de 10% (Fig. 4). Para o potássio a precisão da medida, de um modo geral, conduz a dois algarismos significativos. Todavia, quando as amostras são muito ricas em Th e U a incerteza quanto ao teor de potássio é plena, em virtude da contribuição de interação Compton. Por exemplo, vê-se na Tab. 1 que em algumas amostras como A 0/0 E 3/2, S 2/2 e S 5/2, ricas em U e Th, não foi possível a detecção do potássio (Fig. 4).

Os teores de tório, na profundidade de 2.00 m, se encontram na Fig. 5, em forma de curvas de isotores, mostrando o aspecto do depósito em profundidade. Observe-se a feição alongada, já evidenciada pela cintilometria. A

Tabela 2 mostra os parâmetros estatísticos para os três elementos e os limites de confiança de 95%, excluindo-se o erro experimental. (Fig. 5)

Segundo Bell (1957), as concentrações máximas de urânio e tório em pláceres de praia chegam a 70 ppm e 3.000 ppm, respectivamente, indicando os teores 2 ppm e 60 ppm como médias prováveis. Porém, no plácer de Itaparica observaram-se máximos de 45 ppm de urânio e 1.300 ppm de tório, e teores médios bem maiores: 160+34 e 10+2 ppm de tório e urânio, respectivamente, nos limites de 95% de confiança. (vide as tabelas 1 e 2).

Polarização Elétrica Induzida - Este método tem o seu emprego consagrado na prospecção de sulfetos disseminados. Mas a sua utilização é bem mais ampla, por ser sensível à detecção de minerais metálicos condutores disseminados, (Seigel, 1967), além de permitir uma visualização qualitativa dos diferentes parâmetros em profundidade. Isto, possibilita a delimitação de corpos mineralizados e, portanto, melhor orienta os trabalhos de sondagens mecânicas. O método, também, é muito útil na investigação de água subterrânea.

Um perfil foi realizado ao longo da transversal "D" (Fig. 2) de modo a interceptar a anomalia perpendicularmente. O instrumento utilizado, modelo P650 da Mc Phar, mede, diretamente, o efeito de frequência (EPF) e a resistividade aparente dados, respectivamente, por:

$$EPF = \frac{\rho_{ca} - \rho_{cd}}{\rho_{ca}} 10^2$$

$$\rho_a = \sqrt{\rho_{ca} \rho_{cd}}$$

onde, ρ_{ca} = resistividade aparente, relativa a frequência de campo elétrico (5,0 cps) e ρ_{cd} = resistividade aparente, relativa à frequência de referência do nível "cd" (0,3125 cps).

De (1) e (2) é derivado um terceiro parâmetro, o fator metálico aparente, dado por:

$$FM_a = \frac{EPF}{\rho_a} 2\pi 10^2$$

que tem a dimensão de condutividade e fornece uma medida de quantidade de condução. Adotou-se o arranjo dipolo-dipolo com o afastamento de 3,00 m entre os eletrodos de cada dipolo, variando de $n = 1$ a $n = 5$.

Análise dos resultados - As variações da resistividade aparente, do efeito de frequência e do fator metálico no perfil estão na Fig. 6.

Observe que a resistividade aparente, de um modo geral, cresce no sentido N-S, variando entre 20 m no lado da praia. Esta variação reflete a presença de material argiloso subjacente, e/ou do lençol freático, mais superficial, no trecho à esquerda da estação D/2; parece que não tem qualquer relação com a mineralização. Já a anomalia de polarização induzida ressalta bem a zona de maior concentração dos minerais pesados. Entre as estações D/1 e D/2, os valores do EPF são fortemente afetados pelo ruído de polarização de membrana devido à argila. Os maiores valores do EPF, não afetados pelo ruído, situam-se entre as estações D/2 e D/3. O perfil do fator metálico mostra a faixa de ocorrência mineral, evidenciando bem o valor do "background", situado à direita do perfil.

Magnetometria - O emprego do método magnético é muito útil em áreas de ocorrências de minerais magnéticos. E, em geral, a magnetita está entre os minerais que têm a presença mais constante nos depósitos detríticos, podendo mesmo constituir a maior parte da fração pesada (Parfenoff, 1970). Assim, o emprego do método visou registrar os efeitos de possíveis minerais magnéticos existentes no depósito. No levantamento magnetométrico empregou-se um magnetômetro de precessão nuclear, modelo MPN 100, fazendo-se leituras em todas as estações definidas pela malha regular 50m X 50m, compatível com o grau de detalhe desejado.

Os dados do levantamento magnetométrico estão na Fig. 7.

Observa-se que as variações relativas da intensidade do campo são muito pequenas e apresentam um padrão pouco sugestivo para interpretação. A feição apresentada no mapa de contorno não concorda com a forma do depósito evidenciada, por exemplo, pela cintilometria (Fig. 2). Provavelmente, estas variações registradas são devidas à componente regional. Apesar da boa precisão do levantamento (± 3 gamas) não se registraram anomalias magnéticas. Os resultados obtidos sugerem, por tanto, que o método não é muito útil na exploração de depósitos minerais pesados nesta região.

ANÁLISE SEDIMENTOLÓGICA

Esta análise compreendeu: a determinação dos teores de minerais pesados, as suas distribuições espacial e de frequências, identificação das diferentes espécies minerais, deter-

minação quantitativa dos minerais como ilmenita, monazita e zirconita; e a granulometria do sedimento.

A metodologia adotada no estudo dos minerais pesados está esquematizada na Figura 8, e fundamenta-se nos métodos de análises descritos por Parfenoff (1967), Griffith (1967) e Parfenoff, Pomerol e Tourenq (1970), padronizados para o estudo desses minerais. (Fig. 8)

A identificação das diferentes espécies minerais foi feita através da microscopia ótica e da difratometria de raios-x. As principais espécies encontradas encontram-se na Tabela 3. Em algumas amostras o teor de ilmenita atingiu até 70% da fração de minerais pesados. (Tab. 3)

Distribuições espaciais e de frequências - Com os teores de minerais pesados (concentrados) foi desenvolvida a análise estatística visando o conhecimento da distribuição e a determinação dos parâmetros estatísticos da população. Na Figura 9 encontram-se os histogramas mostrando que as distribuições de frequências dos teores de minerais pesados tem assimetria positiva. Vêem-se, ainda, as curvas de frequências relativas e acumulativas. O teste da hipótese de que a amostra foi retirada de uma população com distribuição lognormal mostra que esta hipótese não pode ser rejeitada, ao nível de significância de 5%. Isto é, verifica-se que há um ajustamento das frequências observadas à distribuição teórica:

$$\eta(L, \mu, \sigma) = \frac{\exp - (L - \mu)^2 / 2\sigma^2}{\sigma \sqrt{2\pi}}$$

onde $L = \log x$; x = variável aleatória, e as estimativas da média e da variância da população original (x) são dadas por:

$$\mu_x = e a \mu_1 + a^2 \sigma_1^2 / 2; a = \log b e$$

$$S_x = U_x^2 (e \sigma_1^2 a^2 - 1); e = 2,71828...$$

sendo μ_e e σ_e respectivamente, a média e o desvio padrão da população com distribuição lognormal. (Fig. 9)

As distribuições espaciais dos minerais pesados estão mostradas nas Figuras 10 e 11, respectivamente, para as profundidades de um e dois metros, em relação à superfície do terreno.

(Figs. 10 e 11)

Análise granulométrica - Na Figura 12, encontram-se algumas distribuições acumulativas, em gráficos log-probabilidade, dos diâmetros dos grãos do

sedimento, na escala 0 de Krumbein. Isto é, $\Phi = \log_2 d =$ diâmetro em milímetros (Krumbein e Graybill, 1965). (Fig. 12)

A análise estatística dos dados de granulometria é desenvolvida com base nos quatro parâmetros de Folk e Ward (1957), estimadores da tendência central, grau de seleção (dado pelo desvio-padrão gráfico), assimetria gráfica e curtose gráfica. Estes parâmetros são os de uso mais comum na análise de granulometria (Suguio, 1973). Os parâmetros médios amostrais e os seus limites de confiança de 95% encontram-se na tabela 4.

Os limites de confiança foram determinados por meio da distribuição "t" de Student, para os graus de liberdade $v = N - 1$.

Portanto, com base nestes dados, o sedimento é classificado como um areia média (escala de Wentworth), moderadamente selecionada, distribuição aproximadamente simétrica e mesocúrtica; de acordo com as escalas sugeridas por Folk e Ward (1957). A porosidade de sedimentos com este diâmetro médio (1,75 unid. Φ) varia entre 41% e 48%, segundo Pettijohn (1957). Os pontos de truncamentos nas curvas acumulativas de várias amostras situam-se nas faixas estabelecidas por Visser (1969), para sedimentos de praia.

ANÁLISE DE CORRELAÇÃO DOS DADOS

Correlação tório "versus" minerais pesados - O estudo de correlação entre os teores de tório e os teores de minerais pesados (concentrado) do depósito mostra que existe uma correlação linear. A reta de regressão linear está na Figura 13. O ajustamento dos valores observados a uma parábola do 2º grau, pelo método dos mínimos quadrados, conduz aos mesmos resultados do desvio-padrão e do coeficiente de correlação. Os parâmetros desta curva são: (Fig. 13)

$$a = -3,6595 \quad c = -0,0189$$

$$b = 11,7848 \quad Y = a + bx + cx^2$$

Correlação urânio "versus" tório - As concentrações de urânio e de tório e a relação Th/U segundo Adams e Weaver (1958), são indicadores de processos e ambientes sedimentares. Estes autores sugerem que muitos pláceres e, também, depósitos de bauxita pertencem a um fácies geoquímico com relação Th/U superior a 7,

apresentando teor de tório próximo ou superior a 50 ppm. Em amostras de pláceres de praia da Flórida, Murray e Adams (1958) encontraram teores de urânio e de tório iguais a $74 \pm 1,9$ ppm, e $160 \pm 2,9$ ppm, respectivamente, e $21,1 \pm 0,1$ ppm para a relação Th/U. No plácer de Itaparica a relação urânio-tório encontrada é $\text{Th/U} = 16 \pm 2$. Entre as expressões exponenciais, linear e parabólica, pesquisadas através de mínimos quadrados, para 117 graus de liberdade, verificou-se o melhor ajustamento à equação:

$$y = ax^b;$$

onde $a = 0,1903$, $b = 0,7934$, e coeficiente de correlação, igual a 0,9188. A distribuição dos pontos se encontra na (Fig. 14)

Minerais pesados "versus" granulometria - Pode-se estabelecer uma correlação entre os minerais pesados do depósito e os sedimentos, em termos do diâmetro médio. Isto é, estes minerais estão ocorrendo num depósito cujos diâmetros médios dos grãos (média geométrica) nas amostras do sedimento estão entre 0,27 mm e 0,33 mm, 95 vezes em 100. Verificou-se que o conjunto de pontos, teores de minerais pesados "versus" diâmetro médio, apresenta-se disperso, no gráfico cartesiano.

A correlação dos teores de monazita com os teores de tório dados pela espectrometria gama ficou prejudicada em virtude de ser pequena a amostra de monazita, comparada à amostra dos teores de tório.

RESERVA DE MINERAIS ÚTEIS DO DEPÓSITO

O cálculo para determinar a quantidade de minerais da jazida foi feito com base nos mapas de isotores (Figuras 10 e 11), no valor médio do teor de minerais pesados (13,8%, em peso) e nos teores médios de cada espécie mineral (Tabela 3). Empregou-se a fórmula:

$$Q = p \mu_g (1 - \eta) V_t 10^{-2} \text{ em toneladas}$$

onde:

p = teor médio de minerais pesados
 μ_g = massa específico real dos grãos do sedimento ($2,67 \text{ t/m}^3$)
 η = porosidade (41%)
 V_t = volume do depósito (m^3)

Note que $\mu_g(1 - \eta) = \mu_s$, é a massa específica aparente do material bruto. Na Tabela 5 encontram-se os valores das reservas medida e indicada.

CONCLUSÕES

Utilização e Eficiência dos Métodos Geofísicos

O estudo mineralógico, mesmo segundo um fluxograma simplificado como o da Fig. 8, é necessariamente demorado, se deseja estudar, criteriosamente, um depósito. Observe-se que, para conhecer o depósito tridimensionalmente, ter-se-ia, em malha regular com "m" transversais e "n" estações, um total de $m \times n \times p$ (onde p é o número de amostras em cada furo de sondagem) amostras a serem processadas. A utilização dos métodos geofísicos permitem a redução do número de análises mineralógicas que seriam feitas, apenas, em amostras coletadas em posições estratégicas da ocorrência.

a) Radiometria

A cintilometria foi muito eficiente na localização e delimitação superficial do depósito, confirmando a utilidade do método na prospecção desses depósitos. Contudo, é possível a ocorrência de depósitos soterrados nos quais as radiações gama, atenuadas, não seriam bem detectadas na superfície. Uma cobertura de solo com poucas dezenas de centímetros, já seria suficiente para esta atenuação.

A espectrometria gama de laboratório, além da determinação dos teores de urânio e tório, fornece também o teor de monazita, através da correlação tório vs monazita. Uma vantagem do emprego do método é o fato de serem usadas aproximadamente 1.000 g do sedimento, de uma única vez, contra menos de 10 g. usadas na análise mineralógica, que, além disso, estaria sujeita às incertezas do processo de redução da amostra. É bem conhecido na estatística, que as menores amostras conduzem a uma maior dispersão dos valores da grandeza medida. Neste trabalho cerca de 380 kg. de amostras foram analisadas pela espectrometria gama.

b) polarização induzida - resistividade

O método pode ser empregado para investigar depósitos pláceres em profundidade. Todavia, reconhece-se a necessidade de mais alguma experiência com o emprego do método em depósito relativamente espessos, onde se tenha que empregar maior afastamento entre os eletrodos. O emprego do método com a configuração e espaçamento usados nesta experiência é mais demorado do que seria para espaçamentos normais.

c) Método magnético

Este método não forneceu bons resultados, apesar da quantidade de ilmenita no depósito. No entanto, o fato de não se registrarem anomalias magnéticas indica a ausência de magnetita, confirmada pela análise mineralógica. Parece que depósitos ilmeníticos sem magnetita são mais importantes do ponto de vista do seu aproveitamento. Os resultados obtidos sugerem que o método não é muito útil na exploração de depósitos de minerais pesados nesta região.

Características do depósito

A análise sedimentológica mostrou que, de um modo geral, os minerais pesados sofrem transporte. Isto, está evidenciado pelo grau de trabalho observado nos grãos.

Considerando, por exemplo, o teor de minerais pesados do depósito, e a porcentagem de ilmenita no concentrado, respectivamente $\pm 1,7$ e 58 ± 3 por cento (em peso), tem-se 80 ± 12 kg. de ilmenita por tonelada de sedimento. Depósitos pláceres com teores de ilmenita variando entre 50 e 100 kg/t são classificados como depósitos ricos e econômicos (Kreiter, 1968 p. 18-19). Além disso, são disponíveis outros minerais como monazita, zirconita e os elementos urânio e tório, cujos teores médios são 10 ppm e 160 ppm respectivamente.

A relação tório-urânio e os teores destes elementos são dados importantes nos estudos desses depósitos, porque podem indicar a quantidade de monazita e/ou zirconita presentes. Certamente, também, serão úteis em estudos petrológicos.

Finalmente, em face da demanda desses minerais, é economicamente justificável um estudo amplo e sistemático de prospecção de novas ocorrências no litoral. O controle geomorfológico dessas concentrações sugere que o emprego de fotografias aéreas, provavelmente, será valioso no selecionamento de áreas propícias.

AGRADECIMENTOS

Ao Dr. David Lawrence Thruber, aos professores Shiguemi Fujimori e Geraldo S. Vilas Boas, pela apreciação dos temas mais especializados dentro da sedimentologia e mineralogia. À Petrobrás, pela autorização para consultas e mapas e relatórios internos, a Instituto de Geociências da Universidade Federal da Bahia, pelo uso dos seus laboratórios e, finalmente, aos proprietários da Fazenda Pedrão.

BIBLIOGRAFIA

- ADAMS, J.A.S. and WEAVER, C.E.** — 1958 — Thorium to Uranium Ratios as Indicators of Sedimentary Processes: example of concept of geochemical facies. *Bul. Am. Pet.*, **42**: 387-430.
- BELL, K.G.** — 1957 — Uranium and Thorium in Sedimentary Rocks, in *Nuclear Geology* p. 98-112. John Wiley & Sons Inc. Nova Iorque.
- CERQUEIRA NETO, J.X.** — 1976 — Estudos Geofísicos de Pláceres Ilmeníticos e Monazíticos na Ilha de Itaparica, Bahia. Tese de Mestrado. Programa de Pesquisa e Pós-Graduação em Geofísica, Universidade Federal da Bahia.
- FOLK, R.L. and WARD, W.C.** — 1957 — Brazo River Bar: study in the significance of grain size parameters. *Journal of Sedimentary Petrology*, **27** (1): 3-21.
- FONSECA, J.I. et alii.** — 1962 — Mapa Geológico do Recôncavo. Quadrângulo 790-3-1 Rel. 577 SETEX. Petrobrás-RPBA. Salvador-BA.
- GRIFFITH, J.C.** — 1967 — Scientific Methods in Analysis of Sediments. McGraw-Hill Book Co. Nova Iorque.
- KOMAROV, V.A.** — 1967 — The importance of induced polarizations methods for the exploration of ore deposits, in *Min. and Groundwater Geophysics*, publ. G.S. Canada, E.G. Rep. **26**: 138-47.
- KREITER, V.M.** — 1968 — Geological Prospecting and Exploration. Mir Publishers, Moscou.
- KRUMBEIN, W.C. and Graybill, f.a.** — 1965 — An Introduction to Statistical Models in Geology. McGraw-Hill Co. Nova Iorque.
- MACIEL, A.C. e CRUZ, P.** — 1973 — Perfil Analítico do Tório e Terras Raras. Ministério das Minas e Energia — DNPM, Bol. **28**, Rio de Janeiro.
- MACIEL, A.C. e CRUZ, P.** — 1973a — Perfil Analítico do Urânio. MME-DNPM, Bol. **27**, Rio de Janeiro.
- MCKELVEY, V.E. and NELSON, J.M.** — 1950 — Characteristic of Marine Uranium-bearing Sedimentary Rocks. *Economic Geology*, **45** (1): 35-53.
- MERO, J.L.** — 1960 — Uses of the Gama-ray Spectrometer in Mineral Exploration Geophysics, **25**: 1054-76.
- MURRAY, E.G. and ADAMS, J.A.S.** — 1958 — Thorium, Uranium and Potassium in some Sandstones. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, **13** (4): 260-69.
- PARFFENORF, A.** — 1967 — Aperçu Sur les Méthodes d'étude des concentrés Alluvionnaires au Laboratoire des Alluvions du B.R.G.M. *Bull.* **2**, 1967, Paris.
- PARFFENORF, A., POMEROL, C. e LOURENÇO, J.** — 1970 — Les Minéraux en Grain-Méthodes d'étude et détermination. Masson et Cie, Éditeurs, Paris.
- PETRIJORHN, F.J.** — 1957 — Sedimentary Rocks. 2ª. Ed. Harper's Geoscience Series, Nova Iorque.
- ROUTHIER, P.** — 1963 — Les Gisements Métallifères Geologic et Principes du Recherche. Tome I-II, Masson et Cie. Éditeurs Paris.
- SEIGEL, A.D.** — 1967 — The induced polarization method, in *Mining and Groundwater Geophysics*, publ. G.S. Canada E.G. Rep. **26**: 123-27.
- SUGUIO, S.K.** — 1973 — Introdução à Sedimentologia. Edgard Blücher, Ed. da Universidade de São Paulo.
- VIANA, D.F., GAMA, E.G., SIMÕES, I.A., MOURA, J.A., FONSECA, J.R. e ALVES, R.J.** — 1971 — Revisão estratigráfica da Bacia Recôncavo Tucano. *Boletim Técnico da Petrobrás*, **14** (3/4): 157-92, Rio de Janeiro.
- VISCHER, G.S.** — 1969 — Grain Size Distributions and Depositional Process. *Jour. of Sedimentary Petrology*, **39** (3): 1074-106.

CINTILOMETRIA

MAPA DE ISO-INTENSIDADES (em cps)
Foz de Itapirica — Ilha de Itapirica — Ba.

Cintilômetro SSP - 3 nº 387
Discriminador de energia
para 100 keV.

ESPECTROS GAMA

DETECTOR: Ge-Li

Amostra A 3/1

CURVAS OBTIDAS A PARTIR DAS EXPRESSÕES :

$$\frac{\sigma}{t_{Th}} = \sqrt{\frac{\sigma_N^2 + \sigma_{rf}^2}{L^2} + \left(\frac{\sigma_c}{C}\right)^2} = A \quad \text{e} \quad \sigma = A t_{Th}$$

onde $\sigma_N = \sqrt{N}$ N = contagem total
 $\sigma_{rf} = \sqrt{R_f}$ R_f = contagem do ruído de fundo
 σ_c = desvio-padrão do coef. de rendimento "c"
 $L = N - R_f$ t_{Th} = Teor de tório

NOTA : Curvas válidas nas condições atuais da instalação (geometria e peso padrões, rendimentos, etc.)

OBSERVAÇÃO

As escalas do eixo "ox" são comuns às duas curvas

ESPECTROMETRIA GAMA

MAPA DE ISOTOPES DE TÓRIO (ThO_2) A 2,0m DE PROFUNDIDADE

Fazenda Pedrão — Ilha de Itaparica

MAGNETOMETRIA

MAPA DE CONTORNO - INTENSIDADE DO CAMPO TOTAL

Fazenda Pedrão - Ilha de Itaparica

ANALISE SEDIMENTOLÓGICA

FLUXOGRAMA DE PROCESSAMENTO DAS AMOSTRAS

a) - Distribuição de frequência a 2,0 metros de profundidade

b) - Distribuição de frequência no depósito

*) Limites de confiança de 95 % da média populacional

CORRELAÇÃO TÓRIO versus CONCENTRADO DE MINERAIS PESADOS

TABELA 1 - RESULTADOS DE ESPECTROMETRIA GAMA

TEORES				TEORES				TEORES			
AMOSTRAS				AMOSTRAS	U	Th	K	AMOSTRAS			
	U (ppm)	Th (ppm)	K (%)		(ppm)	(ppm)	(%)		U (ppm)	Th (ppm)	K (%)
A 0/0	22	702	-	G 5/0	-	7	-	W 3/0	2	19	0,6
A 2/0	-	58	-	G 5/2	-	180	-	K 3/0	2	22	-
A 2/2	-	56	-	G 6/0	-	5	-	K 4/0	1	13	0,5
A 3/1	17	150	-	G 6/2	23	397	-	S 1/0	17	310	-
A 3/2	3	30	00,8	G 7/0	-	nd	0,7	S 1/1	46	563	2,3
B 1/0	8	192	0,4	G 7/2	2	18	0,6	S 1/2	-	1276	-
B 1/1	3	100	0,2	H 5/0	14	245	0,5	S 2/1	46	544	1,5
B 1/2	4	120	1,2	H 5/2	9	127	0,7	S 2/2	29	406	-
B 2/1	6	105	0,3	H 6/0	-	39	-	S 3/0	16	361	-
B 2/2	8	166	0,4	H 7/0	2	49	1,1	S 3/1	10	142	0,8
B 3/1	7	67	0,7	H 7/2	4	65	0,6	S 3/2	33	488	0,1
B 4/0	4	17	0,6	I 5/2	21	297	0,0	S 3/3	14	196	1,0
B 4/1	2	13	0,7	J 5/0	17	238	0,5	S 3/2	34	458	0,0
C 1/0	9	68	0,8	J 5/1	35	504	0,5	S 4/1	5	57	0,4
C 1/1	7	146	1,0	J 5/2	-	-	-	S 4/2	5	62	0,6
C 2/0	5	48	0,8	J 6/0	5	70	0,9	S 4/4	10	108	0,3
C 2/1	5	80	1,3	J 6/1	3	23	1,0	S 5/0	8	135	0,4
C 3/0	9	100	0,6	J 6/2	-	nd	-	S 5/1	14	301	0,3
C 3/2	8	78	0,9	J 7/0	6	67	1,1	S 5/2	34	691	-
C 4/0	2	26	1,1	J 7/1	-	20	-	S 5/3	5	115	0,8
C 4/1	3	21	0,9	J 7/2	-	nd	-	S 6/1	15	331	0,3
C 4/2	3	21	0,8	L 4/0	1	29	-	S 7/1	16	278	0,3
D 1/0	10	155	0,3	L 4/1	3	50	0,1	S 8/1	5	57	0,6
D 1/1	10	190	0,4	L 5/1	-	171	-	S 8/3	9	99	0,6
D 1/2	5	68	0,8	L 6/1	3	34	1,6	S 10/0	3	30	0,4
D 3/0	11	250	0,3	L 7/0	-	nd	-	S 10/3	4	26	-
D 3/1	12	310	0,4	L 7/1	-	nd	-	S 11/0	16	190	0,1
D 3/2	8	125	0,7	L 8/0	-	4	-	S 11/1	14	143	0,4
D 4/1	4	39	0,6	L 8/1	-	3	-	S 11/2	15	173	0,3
D 5/1	-	3	0,8	M 5/0	-	1	-	S 11/3	25	386	0,0
E 3/0	13	240	0,4	M 5/1	6	43	-	S 12/0	12	168	0,3
E 3/1	34	145	2,2	M 5/2	6	214	0,3	S 12/1	12	171	0,4
E 3/2	48	1300	-	M 6/0	-	nd	-	S 12/3	16	303	1,3
E 4/1	6	36	0,6	M 6/2	1,0	8	0,3	S 12/2	11	119	-
E 5/0	2	33	2,0	M 7/0	-	nd	-	S 13/0	14	178	0,2
E 5/2	3	29	2,2	M 7/2	3	25	0,1	S 13/1	16	208	0,3
F 2/1	3	15	1,0	M 8/0	-	7	0,2	S 13/2	11	129	0,6
F 3/0	13	350	0,2	M 9/0	-	nd	-	S 13/3	14	192	0,3
F 3/1	2	28	0,1	M 9/1	-	7	0,1	S 14/1	14	173	0,1
F 3/2	10	409	0,9	M 9/2	-	3	0,1	S 14/2	12	133	0,5
F 4/1	-	31	-	N 4/0	6	63	0,1	S 14/3	21	266	0,1
F 5/1	2	24	1,3	N 6/0	-	2	-	S 15/2	16	196	0,2
F 5/2	2	32	0,7	N 5/1	17	177	-	S 15/3	17	246	0,0
G 1/1	1	19	1,7	N 5/2	16	182	-	S 15/1	13	166	-
G 2/0	-	nd	-	N 7/0	-	nd	-	S 14/0	5	37	0,2
G 2/1	2	37	2,0	N 7/1	4	26	-	S 15/0	11	169	0,1
G 3/0	-	42	-	N 9/1	-	2	-	S 9/3	3	36	0,4
G 3/1	-	193	-	N 9/2	4	74	0,6	S 9/2	2	18	0,9
G 3/2	3	85	1,1	O 5/1	8	135	0,9	S 10/1	3	31	0,6
G 4/0	-	201	-	O 6/1	2	32	1,3	S 10/2	2	20	0,7
G 4/2	-	167	-	W 4/0	1	13	0,7	S 2/0	5	77	0,6

ND = NÃO DETECTADO. A 2/2, amostra coletada na estação 2 da transv. A, a 2,0 m de profundidade.
S 1/k, sondagens de controle

TABELA 2 – PARÂMETROS ESTATÍSTICOS DOS ELEMENTOS RADIOATIVOS

	URÂNIO (ppm)	TÓRIO (ppm)	POTÁSSIO (%)
$\bar{X}$	10	160	0,7
S_x	9	198	0,5
CV%	112	124	71
N	112	131	106
Limites de Confiança de 95%			
	10 ± 2	160 ± 34	$0,7 \pm 0,1 (?)$

TABELA 3 – MINERAIS ÚTEIS DA JAZIDA

ESPÉCIE	TEOR MÉDIO (%)	ERRO PROVÁVEL
Ilmenita	58	± 2
Monazita	4	± 1
Zircônia	5	± 2
Rutilo	0,9	$\pm 0,2$

TABELA 4 – PARÂMETROS MÉDIOS AMOSTRAIS DO SEDIMENTO

	Md	Mz	Φ_i	SK _i	K _G
$\bar{\Phi}$	1,75	1,75	0,65	0,00	1,03
Φ	$\pm 0,41$	$\pm 0,41$	$\pm 0,11$	$\pm 0,04$	$\pm 0,05$
CV%	23	23	18	—	5
N	30	30	30	28	21
Limites de Confiança de 95%					
$\text{md} \cdot \Phi$	$1,75 \pm 0,15$	$0,65 \pm 0,03$	$0,00 \pm 0,02$	$1,03 \pm 0,02$	
mm	$0,30 \pm 0,03$	$0,40 \pm 0,02$			

* Parâmetros edimensionais

Md, mediana ou percentil $\Phi_{.50}$; Mz, média; Φ_i , desvio-padrão gráfico inclusivo; SK_i, assimetria gráfica inclusiva; K_G, curtose gráfica

**TABELA 5
RESERVA DE MINERAIS DO DEPÓSITO**

MINERAL	RESERVA MEDIDA (kg)	RESERVA INDICADA (kg)
Ilmenita	$1.796.000 \pm 15\%$	1.170.000
Monazita	$124.000 \pm 40\%$	81.000
Zircônia	$155.000 \pm 61\%$	100.000
Rutilo	$28.000 \pm 15\%$	18.000