

ESPECTROMETRIA GAMA E ESTRATIGRAFIA DO HORIZONTE FOSFÁTICO (FORMAÇÃO ITAMARACÁ) NA BACIA PARAÍBA EM PAULISTA - PE.

Ebenézer Moreno de Souza 1

Mário Lima Filho 2

Virgínio H. Neumann 2

Heldio P. Villar 1,3

1 CNEN; emoreno@nlink.com.br; 2 UFPE/Dep. Geologia; 3 B. Politécnica/UPE

RESUMO Na região de Paratibe, a norte de Paulista-PE, foi encontrado um "horizonte fosfático" da Formação Itamaracá, jazendo sobre arenitos grossos e conglomeráticos da Formação Beberibe e sotoposto a calcários arenosos e calcarenitos argilosos da Formação Gramame. Vale ressaltar a singularidade da ocorrência das três unidades juntas, na superfície.

O desenvolvimento dos trabalhos na área estudada, constou preliminarmente de perfis a pé com um cintilômetro portátil para delimitar a área com valores radiométricos elevados. Como decorrência, a segunda etapa apontou para a utilização de espectrometria gama, com a finalidade de se identificar os radioisótopos presentes no fosfato radioativo e litologias adjacentes.

O equipamento utilizado foi um espectrômetro gama portátil SCOUT, com 256 canais, para discriminação os espectros de energia dos isótopos radioativos, tendo como sonda um cristal cintilador acoplado a uma fotomultiplicadora. O sistema é controlado por um Palmtop HP 200 LX, mas também pode ser acoplado a um microcomputador.

Foram identificados urânio-238 (e seus filhos) e potássio-40 nos três litotipos das formações Beberibe, Itamaracá e Gramame. Os espectros resultantes retratam as características gama-espectrométrica de cada litotipo, servindo como suas assinaturas radiométricas para futuras comparações ou identificações em outros locais na bacia. Merece destaque o espectro do fosfato uranífero da Formação Itamaracá, cuja nitidez e forma dos picos similar à curva normal, confirmam indelévelmente o alto teor de urânio no fosfato.

Do ponto de vista estratigráfico e paleoambiental, o horizonte fosfático representa uma seção condensada, depositada no topo de um Trato de Sistema Transgressivo (TST) e, portanto, um excelente marco estratigráfico para ser usado como ferramenta de correlação na Bacia Paraíba.

Palavras-chaves: Espectrometria gama, fosfato uranífero, Formação Itamaracá, marco estratigráfico, Estratigrafia genética, Trato de Sistema Transgressivo e seção condensada.

ABSTRACT In the Paratibe area, north of the town of Paulista (in the northeastern State of Pernambuco, Brazil), an occurrence of phosphate horizon (Itamaracá Formation) was found. It was overlying a Beberibe Formation horizon (composed of coarse sandstone and conglomerates) and underlying a Gramame Formation horizon (composed of sandy limestone and clayey calcarenites). It must be underlined the singularity of the superficial occurrence of all three units.

The present work started with a survey carried out with a handheld scintillometer, in order to single out the areas with highest count rates. Once this was done, the following step involved in situ gamma spectrometric analysis of the three units.

A 256-channel SCOUT portable spectrometer was used, having scintillator crystal coupled to a photomultiplier tube as a probe. The whole system is controlled by a Palmtop HP 200 LX, being also capable of being connected to a PC.

Uranium-238 and its daughters and potassium-40 have been clearly identified in all units. The resulting gamma spectra can be seen as the corresponding unit's own "fingerprint", thus allowing their identification elsewhere in the basin. It must be underlined the spectra from the phosphate-uraniferous Itamaracá Formation, whose sharpness and photo-peaks very similar to the expected Gaussian curve are clearly indicative of high uranium concentration.

From the stratigraphic and paleoenvironmental viewpoints, the phosphate horizon represents a condensed section, deposited on top of a Transgressive System Tract and, as such, an excellent stratigraphic milestone to be used as a correlation tool in the Paraíba Basin.

INTRODUÇÃO

A área estudada localiza-se no município de Paulista-PE, distando aproximadamente 15 km a norte da capital pernambucana, mais precisamente, na rodovia PE-15 em direção a Abreu e Lima, logo após o rio Paratibe (Fig. 1).

O interesse nessa área foi despertado após o trabalho de Souza (1999), que através de cintilometria gama encontrou na margem oeste da rodovia supracitada, sob a calçada de uma antiga vila operária, um horizonte de rocha fosfática com elevados valores radiométricos, em torno de 1000 cps quando o cintilômetro SRAT SPP/2 era colocado com a sonda sobre o terreno. Vale ressaltar que esta é uma rara ocorrência da rocha fosfática em superfície.

Em decorrência da terraplanagem para a triplicação da rodovia PE-15 e, conseqüentemente, da derrubada da vila operária, foi exposta no local, três litologias: um arenito grosso a conglomerático nas escavações para o subleito da rodovia, o horizonte fosfático sobreposto ao arenito e situado no nível do terreno e, na margem oposta (leste), em corte de estrada,

calcários arenosos e calcarenito argiloso, pertencentes às formações Beberibe, Itamaracá e Gramame, respectivamente.

Neste trabalho, realizou-se primeiramente uma radiometria a pé com o cintilômetro com a finalidade de delimitar a área de estudo e, depois, aplicou-se uma espectrometria gama com um Espectrômetro portátil SCOUT, para identificar os isótopos radioativos presentes nas litologias, uma vez que esse equipamento discrimina através do canal de energia o elemento emissor da radiação, e através dos espectros gama característicos de cada unidade tentar reconhecer um padrão espectrométrico que possa servir de comparação ou distinção das mesmas em outros locais na bacia. Desse modo, foi possível representar as unidades geológicas por seus espectros característicos.

Em decorrência da terraplanagem para a triplicação da rodovia PE-15, na área estudada estão em contato, três unidades do Grupo Paraíba: a Formação Beberibe, basal, a Formação Itamaracá (Lima Filho & Souza, 2001), fosfática e com urânio, e a Formação Gramame, carbonática, sobreposta (Tabela 1).

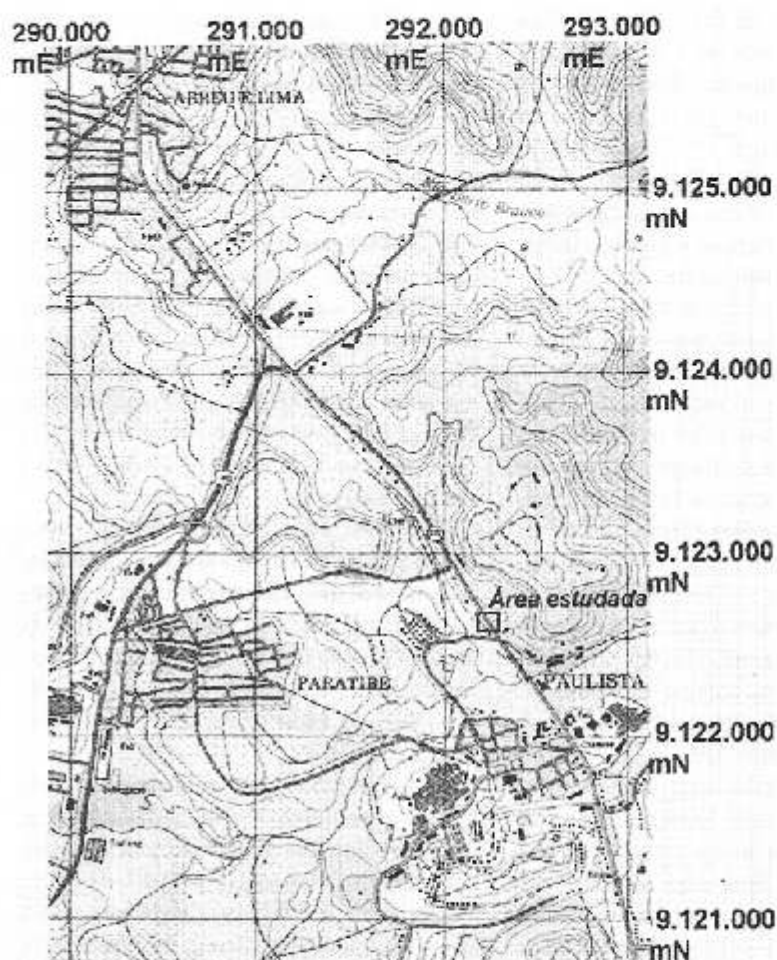


Figura 1 - Mapa de localização da área estudada

Tabela 1 – Quadro comparativo das três unidades do Grupo Paraíba

RESULTADO DO ESPECTÔMETRO PORTÁTIL	RESULTADO DO CINTILÔMETRO	LITOLOGIA	ESPESSURA NO AFLORAMENTO	FORMAÇÃO GEOLÓGICA
97.933 Contagem total (4 min)	120 cps	Calcarenito argiloso	5 m	Formação Gramame
126.583 Contagem total (4 min)	1.000 cps	Fosforito uranífero amarelo	0,50 m	Formação Itamaracá
30.103 Contagem total (4 min)	50 CPS	Arenito grosso a conglomerático	1 m	Formação Beberibe

A ocorrência de fosforitos marinhos com considerável teor de fosfato na bacia em tela, já era conhecida desde o final da década de 40, descoberta pelo professor Paulo J. Duarte. Kegel (1953) denominou de Formação Itamaracá "um arenito grosso, calcífero, com abundante fauna de idade cretácea" observada no Engenho Amparo, na Ilha de Itamaracá. Kegel (1955) incluiu na porção inferior da Formação Itamaracá, arenitos grossos por vezes conglomeráticos, friáveis, continentais, contendo restos de plantas carbonizadas, os quais, por vezes encontravam-se interdigitados com os calcarenitos de fácies marinha propostos no trabalho anterior. Posicionou também o fosfato imediatamente abaixo da Formação Gramame e sobre o "arenito calcífero com fosfato", o "arenito friável", o "arenito calcífero duro". Mostrou ainda que sobre os dois primeiros, o fosfato tinha teores mais elevados que sobre o "arenito duro" rico em material detrítico, e que o fosfato era ligeiramente radioativo.

Kegel (1957) denominou de Membro Beberibe da Formação Itamaracá os arenitos cinzentos, mais ou menos friáveis, contendo fósseis marinhos e intercalados com níveis silíceos-argilosos, também fossilíferos.

White (1958) determinou o conteúdo de U_3O_8 existente em concentrados obtidos na usina de beneficiamento da Fosforita S/A, em Olinda-PE, obtendo um valor de 0,02% de U_3O_8 , podendo chegar, em amostras seletivas, a valor de 0,03% de U_3O_8 .

Beurlen (1967) considerou as camadas fossilíferas do Engenho Amparo (Ilha de Itamaracá - PE) e de Alhandra - PB, como basais da fase transgressiva da bacia e, como tal, correspondente à Formação Gramame, constituída de calcários cinzentos com intercalações de argila. Sugeriu, então, o abandono da Formação Itamaracá, passando seus litotipos a compor a parte inferior da Formação Gramame, que ficou mais espessa, incluindo tam-

bém, o "horizonte fosfático". O Membro Beberibe, passou a constituir uma nova formação, a Formação Beberibe, sotoposta à Formação Gramame e basal do Grupo Paraíba.

Saad (1974) realizou um levantamento radiométrico na faixa costeira entre Recife - João Pessoa, enfocando a correlação existente entre o fosfato e o urânio e a possibilidade do aproveitamento deste como subproduto daquele. Menor (1975), avaliou os jazimentos de fosforito de Olinda - PE, em termos sedimentológicos, mineralógicos, estratigráficos e de potencial econômico, comparando-os com as jazidas fosfáticas de Taiba, no Senegal.

Menor et al. (1977) revisaram os conceitos dos sedimentos fosfáticos na bacia, incluindo petrografia, mineralogia e características químicas do fosforito. Amaral et al. (1977), trataram do comportamento paleoambiental que condicionou o processo sedimentar durante a deposição da sequência clástica basal.

Lima Filho (1998) reconhece na margem continental do Nordeste Oriental duas bacias sedimentares com origem e evolução distintas, separadas pelo Lineamento Pernambuco: a Bacia Paraíba, a norte, uma bacia tipo rampa, e a Bacia Pernambuco, a sul, uma bacia tipo rifte.

Souza (1999) realizou radiometria autopostrada na região urano-fosfática entre Recife e Igarassu, identificando os antigos jazimentos dos fosforitos, atualmente mascarados pela atividade antrópica, e elaborou mapas de isoradioatividade, de isópacas e de contorno estrutural da camada fosfática.

Lima Filho & Souza (2001) identificaram um marco estratigráfico nos arenitos calcíferos campanianos da Bacia Paraíba, seu significado paleoambiental e o estudo dos litotipos sob a ótica da Estratigrafia de Sequências. Como decorrência desse estudo, retomaram a denominação Formação

Itamaracá, no sentido de Kegel (1953), para o "horizonte fosfático", uma vez que, juntamente com os arenitos calcíferos representam o topo de um Trato de Sistema Transgressivo (TST) e explicam mais adequadamente a evolução da bacia.

MATERIAIS E MÉTODOS

Os trabalhos na área estudada desenvolveram-se em duas etapas. A primeira, com um cintilômetro com a finalidade de encontrar outros afloramentos nos arredores, além daqueles já reconhecido por Souza (1999). A segunda, objeto específico deste trabalho, consistiu da utilização de um espectrômetro gama portátil com a finalidade de identificar os isótopos radioativos presentes no "horizonte fosfático" e unidades adjacentes.

Na primeira etapa, tomou-se como ponto central da radiometria pé, o "horizonte fosfático" existente entre a margem da rodovia PE-15 e a antiga vila operária, e a partir deste local fez-se dois perfis ortogonais com o cintilômetro SRAT-SPP/2 na altura de um braço distendido, acompanhado de alguns caminhamentos multidirecionais, com a finalidade verificar a extensão e variação do afloramento. Os valores radiométricos variaram em torno dos 350 cps, sobre um litotipo amarelado, arenoso, com uns 30 m de comprimento por uns 4 m de largura, orientado segundo a direção nortesul. Colocando-se o cintilômetro com a sonda sobre o terreno, as contagens recebidas acusavam valores de 1000 cps, indicando tratar-se de uma litologia com radioatividade elevada, enquanto nos calcários ficavam em torno de 120 cps e nos arenitos em torno de 50 cps.

Na segunda etapa, utilizou-se um espectrômetro gama portátil SCOUT 256, para a identificação do isótopo radioativo presente no "horizonte fosfático" e das litologias sotopostas e sobrepostas a ele, e através da obtenção dos espectros corres-

pondentes, procurar uma possível assinatura radiométrica que pudesse ser utilizada, por comparação, em outros locais da bacia, no futuro.

O equipamento SCOUT 256 consiste de um analisador multicanal portátil de 256 canais para a determinação de espectros de energia de fontes de radiação ionizantes. O detector é do tipo cintilador a cristal de NaI (Iodeto de Sódio), acoplado a uma fotomultiplicadora. O sistema é controlado por um Palmtop HP 200 LX, mas também pode ser conectado a microcomputador tipo PC.

Como os comprimentos de onda são característicos de cada emissor, a quantificação desses comprimentos de onda possibilita a identificação do isótopo. Os fótons de raios gama são medidos em unidades de energia ($\text{keV} = \text{mil elétron-volts}$), os quais, são discriminados através dos vários canais existentes no equipamento, de acordo como o isótopo radioativo emissor.

O resultado da aquisição dos vários raios gama presentes num afloramento ou amostra pode ser apresentado sob forma de um histograma, mais conhecido como espectro gama, onde na ordenada tem-se a quantidade dos pulsos registrados pelo instrumento e na abscissa, a intensidade e valor da energia de cada feixe de raio gama, que aparece sob forma de picos (Fig. 2).

Cada pico é característico do radioisótopo presente e, por consequência, o espectro representará a "assinatura radioativa" ou padrão da unidade/litotipo, possibilitando sua correlação ou diferenciação em relação a outros afloramentos, litotipos ou unidades, nos demais locais na bacia.

As contagens foram obtidas, colocando-se a sonda em contato com as três litologias, por um tempo de 4 minutos, onde se obteve, em torno de 97.933 contagens para os calcários da Formação Gramame, 126.583 contagens para o "horizonte fosfático" da Formação Itamaracá, e 30.103 contagens para os arenitos da Formação Beberibe.

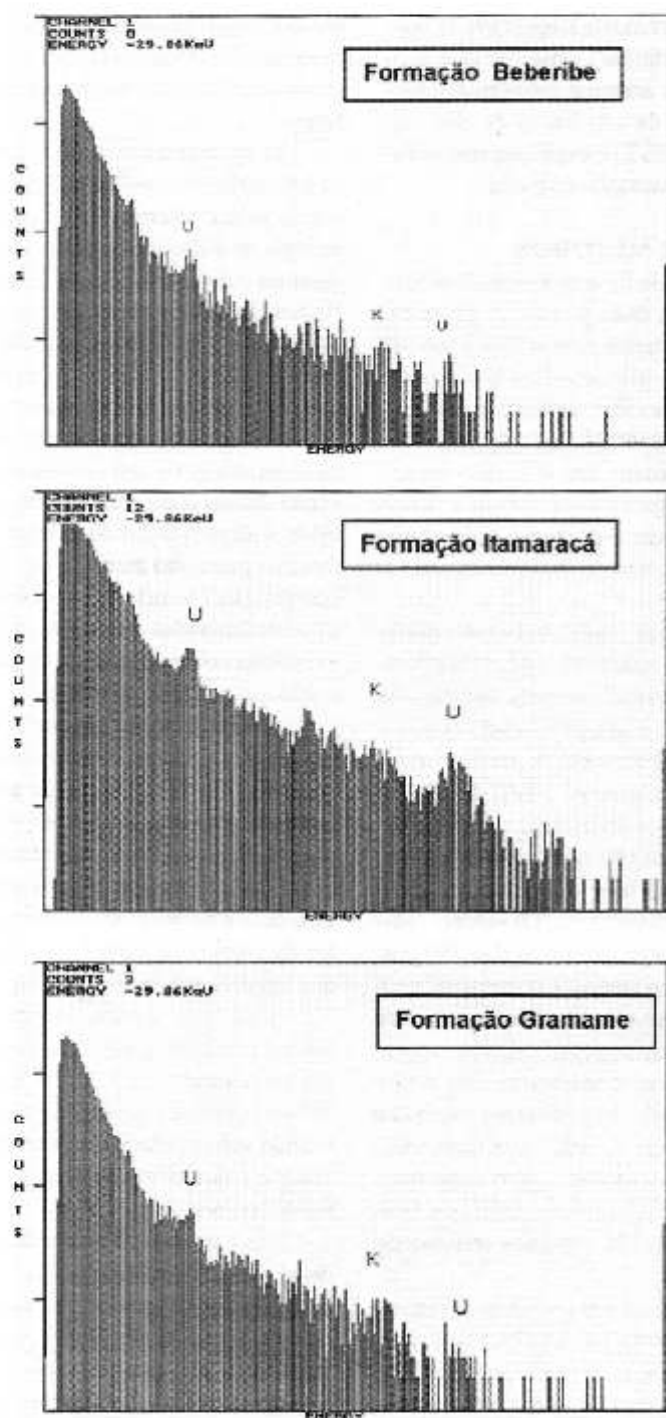


Figura 2 – Espectros gama das três formações do Grupo Paratiba

O "HORIZONTE FOSFÁTICO" DE PAULISTA-PE (FORMAÇÃO ITAMARACÁ) E SEU POSICIONAMENTO ESTRATIGRÁFICO NA BACIA PARAÍBA

O local estudado em detalhe neste trabalho, está situado na antiga faixa de pesquisa para fosfato, "Paratibe-Timbó", atualmente descaracterizada *in totum* devido a presença de núcleos urbanos e rodovias. A triplicação da rodovia PE-15, permitiu a exposição de duas litologias distintas do "horizonte fosfático": nas escavações para o subleito da rodovia, ocorre um arenito de granulometria grossa a conglomerática, sotoposto ao fosfato, e no corte de estrada, na margem oposta da rodovia, ocorre um calcarenito argiloso, que está sobreposto ao fosfato.

Desse modo, pelas suas características litológicas/estratigráficas, estão presentes no local as três unidades cretáceas do Grupo Paraíba: Formação Beberibe, na porção inferior, Formação Itamaracá, intermediária e sobrejacente à primeira, e a Formação Gramame, superior, sobreposta a Itamaracá.

A Bacia Paraíba é constituída de uma sequência sedimentar predominantemente cretáceo-paleocênica, que repousa discordantemente sobre o embasamento cristalino proterozóico. Estratigraficamente, na área estudada, mostra três unidades: Grupo Paraíba, Formação Barreiras e Cobertura Quaternária (Tabela 2). O Grupo Paraíba está representado por quatro formações, com idades do Coniaciano ao Paleoceno (Lima Filho &

Tabela 2 – Coluna estratigráfica da Bacia Paraíba

Eras	Períodos	Épocas	Unidades		Litologias
CENOZÓICO	Quaternário	Recente/ Holoceno	Depósitos da Cobertura Quaternária		Cascalhos, areias, siltes, argilas
		Pleistoceno			Areias de praias com intercalação de camadas fluviais
		Plioceno			Areias e argilas variegadas
	Terciário	Paleoceno	Grupo Paraíba	Formação Maria Farinha	Calcários dolomíticos com intercalações margosas, fossilíferos
MEZÓZÓICO	Cretáceo	Maastrichtiano		Formação Gramame	Calcários intercalações com margas e níveis argilosos, fossilíferos
		Campaniano/ Coniaciano		Formação Itamaracá	Arenitos calcíferos e fosforitos, fossilíferos
				Formação Beberibe	Arenitos quartzosos, grossos e conglomerados
PROTEROZÓICO		Embasamento Cristalino			Gnaisses, migmatitos, granitos

Souza, 2001), a saber: Formação Beberibe, Formação Itamaracá, Formação Gramame e Formação Maria Farinha.

A Formação Beberibe é a unidade basal e está assentada discordantemente sobre o embasamento cristalino e constituída de clásticos grossos continentais. Na área estudada está representada por arenito de coloração cinza clara a esbranquiçada, mal selecionado, caulínico, friável, com granulação grossa e níveis conglomeráticos cujos seixos quartzosos podem atingir até 3 cm segundo eixo maior. No entender de Mabesoone & Alheiros (1988), estes leitos conglomeráticos podem corresponder a depósitos de leques aluviais.

Sobreposto ao arenito, ocorre o "horizonte fosfático", o qual, representa a Formação Itamaracá (Kegel 1953; redefinido por Lima Filho & Souza, 2001), constituída no local por um arenito calcífero, fosfático, uranífero, com coloração amarelada a esbranquiçada, granulometria fina a grossa, esta última, devido a presença de macrofósseis, nas porções mais superiores da unidade.

A Formação Gramame, de idade mastrichtiana, apresenta-se sobrejacente à Formação Itamaracá, e está representada em corte de estrada na margem leste da rodovia, consistindo de calcário arenoso e calcarenito argiloso creme-amarelado, de granulometria fina, boa efervescência ao HCl 10% a frio, bastante intemperizado, mas ainda preservando alguns blocos centimétricos a métricos, menos alterados.

A Formação Maria Farinha, de idade daniana, não presente no local estudado, é constituída de calcários detriticos e puros, intercalados com calcários margosos e níveis argilosos, todos fossilíferos.

Recobrimdo o a seqüência sedimentar do Grupo Paraíba, ocorrem a Formação Barriciras, constituída de sedimentos areno-ar-

gilosos mal selecionados e com cores variada e os Depósitos da Cobertura Quaternária, constituídos de cascalhos, areias, siltes e argilas, comumente associados à evolução da rede fluvial e aos processos glácio-eustáticos.

No contexto estratigráfico e paleoambiental, a Formação Itamaracá, com arenitos calcíferos e fosforitos, estaria dentro do modelo da estratigrafia genética agrupada em um Trato de Sistema Transgressivo (TST), cujo topo seria a camada de fosforito marinho, representando uma seção condensada (hardground) e um excelente marco estratigráfico na bacia, do momento em que a Superfície de Inundação Máxima (SIM) se estabilizou, traduzindo a evolução normal das variações eustáticas ocorridas no Cretáceo (Lima Filho & Souza, 2001).

RESULTADOS DA ESPECTROMETRIA GAMA

Os raios gama emitidos pelas substâncias radioativas têm energias bem definidas. Assim, o acúmulo de eventos nos quais toda a energia dos raios gama fosse absorvida resultaria, no espectro, em uma linha. Porém, as flutuações estatísticas inerentes ao processo de detecção fazem com que, ao invés de uma linha, seja obtido um pico que tem a forma similar à da curva normal.

A lei dos grandes números indica que a tendência de um determinado dado estatístico, é mais pronunciada à medida que a quantidade de informação aumenta. Como resultado, se diversas fontes radioativas iguais, porém de atividades diferentes, tiverem seus espectros registrados dentro de um tempo igual de contagem as mais ativas terão espectros em que os picos se aproximam da curva normal, o que não ocorre com as fontes menos ativas.

Desse modo, no caso das três unidades do Grupo Paraíba presentes no local estudado, os espectros mostrarão maior definição dos picos, cujas formas se aproximarão da curva normal, quanto maior forem as atividades dos radioisótopos presentes num determinado tempo. Daí, a necessidade de que o tempo de exposição do cristal cintilador da sonda para o registro das atividades, seja o mesmo.

Os três espectros gama de cada uma das unidades estão representados na Figura 2, e revelam a presença de apenas dois radioisótopos, o urânio-238 e o potássio-40. O urânio-238 mostra dois picos, correspondentes a raios gama emitidos pelo Bismuto-214, que um dos componentes do decaimento do urânio-238. O primeiro pico, mais próximo da ordenada, corresponde a energia de 609,4 keV, enquanto o segundo corresponde a energia de 1764,5 keV. O pico do potássio-40 corresponde a energia de 1461 keV.

O espectro da Formação Itamaracá (Fig. 2b), mostra os picos do urânio-238 bem definidos e destacados, com suas formas bem próximas da curva normal, refletindo uma forte presença do urânio no litotipo fosfático. O pico do potássio-40 apresenta uma curva com forma suave e bem aberta indicando que a presença desse isótopo radioativo não é relevante. Porém, sua boa definição é interpretada como suportada pelas contagens relativas ao urânio.

O espectro da Formação Gramame (Fig. 2c), mostra o primeiro pico do urânio-232 (609,4 keV) com pequena definição, enquanto o segundo (1764,5 keV) é quase ausente. Já o pico do potássio-40 apresenta-se de maneira mais clara e sua forma é aproximada da curva normal bem aberta, refletindo a boa presença do radioisótopo. O litotipo onde foi feita a espectrometria

gama na unidade corresponde a um calcarenito argiloso, daí o provável aumento do potássio devido as argilas.

O espectro da Formação Beberibe, mostra os picos do urânio-238 bem diluídos, o mesmo ocorrendo com o pico do potássio-40, refletindo a fraca presença de ambos isótopos radioativos nos arenitos grossos a conglomeráticos da formação.

Assim, os espectros gama servem para caracterizar as litologias fosfáticas da Formação Itamaracá, calcarenito argiloso da Formação Gramame e arenito grosso a conglomerático da Formação Beberibe, servindo como suas assinaturas gama-espectrométricas, passíveis de correlação com outras ocorrências no âmbito da bacia.

De igual modo mas não tão característico, as outras duas unidades apresentam seus espectros gama para urânio e potássio radioativo, servindo também de assinatura gama-espectrométrica das unidades envolvidas, fato a ser confirmado em mais detalhe a posteriori quando da comparação com afloramentos em outras localidades da bacia.

A Formação Itamaracá com seus arenitos calcíferos e interdigitação com a unidade basal, a Formação Beberibe, estaria dentro do modelo de estratigrafia genética agrupada em um Trato de Sistema Transgressivo, cujo topo seria a camada de fosfato-uranífero, representando assim, uma Superfície de Inundação Máxima (SIM), e traduzindo a evolução normal das variações eustáticas ocorridas no Cretáceo (Lima Filho & Souza, 2001).

De igual modo mas não tão característico, as outras duas unidades apresentam seus espectros gama para urânio e potássio radioativo (Figuras 2a e 2b), servindo também de assinatura gama-espectrométrica

das unidades envolvidas, fato a ser confirmado em mais detalhe a posteriori quando da comparação com afloramentos em outras localidades da bacia.

CONCLUSÕES

O horizonte fosfático de Paulista representa a fácies fosfática da Formação Itamaracá, estando no local estudado, sobrejacente a Formações Beberibe e sotoposta à Formação Gramame, num raro caso observado em superfície.

O horizonte fosfático é fortemente radioativo e a espectrometria gama mostrou que o radioisótopo presente é o urânio-238.

Este horizonte fosfático-uranífero representa uma seção condensada (hard-ground) agrupada no topo de um Trato de Sistema Transgressivo, depositada quando a Superfície de Inundação Máxima chegou ao apogeu, começando a depositar os calcários nas partes mais distais da bacia e precipitar fosfato com urânio sobre as partes proximais da rampa.

Este horizonte ou camada de fosfato radioativo representa assim um excelente marco estratigráfico (e radioativo), podendo ser utilizado como ferramenta de correlação na Bacia Paraíba e, até, entre outras bacias marginais do Nordeste brasileiro.

A espectrometria gama das litologias das formações Beberibe, Itamaracá e Gramame, presentes no local estudado, podem representar as suas assinaturas espectrométricas e, portanto, passíveis de identificação em outros locais na bacia.

REFERÊNCIAS

- Amaral, A. J. R., 1985b. Projeto recursos de urânio nos fosforitos do Nordeste. Recife, DNPM/CNEN, Relat. Téc., 44p. (Inédito).
- Amaral, A. J. R., Menor, E. A., Santos, S., 1977. Evolução paleogeográfica da seqüência clástica basal da bacia sedimentar Pernambuco-Paraíba. In: SIMP. GEOL. NORDESTE, 8, Campina Grande, 1977, Atas... Campina Grande, SBG-NE, p. 37-63.
- Beurlen, K., 1967. Estratigrafia da faixa sedimentar costeira Recife-João Pessoa. Soc. Bras. Geol., B. 16(1): 43-53.
- Fonseca Neto, J. C., 1979. Projeto fosfato na faixa sedimentar costeira Pernambuco-Paraíba. Recife, CPRM/DNPM, Relat. Final, V. 1.
- Kegel, W., 1953. Relatório Anual do Diretor (Ano 1952). In: Brasil, DNPM/DGM, 80p.
- Kegel, W., 1955. A geologia do fosfato em Pernambuco. Rio de Janeiro, DNPM/DGM, B. 157, 53p.
- Kegel, W., 1957. Novo Membro fossilífero da Formação Itamaracá (Cretáceo Superior) de Pernambuco. Rio de Janeiro, An. Acad. Brasil. Ciên., 29(3): p. 373-375.
- Lima, M. R., 1985. Primeiros resultados palinológicos dos sedimentos da Bacia Pernambuco-Paraíba. In: CONG. BRAS. PALEONTOLOGIA, 9, Fortaleza-CE, p. 29.
- Lima Filho, M. F., 1998. Análise estratigráfica e estrutural da Bacia Pernambuco. São Paulo, IG/USP, Tese de Doutorado, 139 p.
- Lima Filho, M. F., Monteiro, A. B., Souza, E. M., 1998. Carbonate sections of the Paraíba and Pernambuco basins, Northeastern Brazil: implications for the stages of opening of the Southern Atlantic Ocean. Alicante (Espanha), 15th Intern. Sedim. Congr., pp 504-505.

- Lima Filho, M. F., Souza, E. M., 2001. Marco estratigráfico nos arenitos calcíferos do Campaniano da Bacia Paraíba: estratigrafia e significado paleoambiental. In: SIMP. GEOL. NORDESTE, 19, Natal, Atas... p. 87-88.
- Mabesoone, J. M., Alheiros, M. M., 1988. Origem da bacia sedimentar costeira Pernambuco-Paraíba. *Rev. Bras. Geoc.*, 18 (4): 476-482.
- Menor, E. A., 1975. La sédimentation phosphatée. Petrographie, minéralogie et géochimie des gisements de Taïba (Senegal) et d'Olinda (Brésil). Straborg, Univ. Louis Pasteur, Thèse Doct. Ing., pp. 107-153.
- Menor, E. A., Dantas, J. R. A., Lyra Sobrinho, A. C. P., 1977. Sedimentação fosfática em Pernambuco e Paraíba: revisão e novos estudos. In: SIMP. GEOL. NORDESTE, 8, Campina Grande, 1977, Atas... Campina Grande, SBG-NE: 1-24.
- Saad, S., 1974. Aspectos econômicos do aproveitamento do urânio associado aos fosfatos do Nordeste. Rio de Janeiro, CNEN/DEM, B.7, 46p.
- Souza, E. M., 1999. Levantamento radiométrico das unidades estratigráficas da Bacia Paraíba. Dissertação de Mestrado, UFPE/CTG, 152p.
- White, M. G., 1958. Uranium in the marine phosphate deposits near Recife, State of Pernambuco, northeast Brazil. *Rio de Janeiro, Eng. Min. Met.*, 27(160): 209-210.