

**SOCIEDADE BRASILEIRA
DE GEOQUÍMICA**

**1º CONGRESSO
BRASILEIRO DE GEOQUÍMICA**

ANAIS

Volume I



CRONOESTRATIGRAFIA DE SEQUÊNCIAS CARBONÁTICAS DO NORTE DO BRASIL COM BASE NOS DADOS DE ISÓTOPOS DE ESTRÔNCIO

Tilho Takaki - PETROBRÁS/CENPES
Roni Rodrigues - PETROBRÁS/CENPES
Koji Kouchino - USP

ABSTRACT

The strontium isotope composition of marine limestones can be a valuable tool for stratigraphic correlation, in addition to other techniques usually employed for this purpose. The technique can render particularly important in sequences where the fossil assemblage do not present good stratigraphic resolution. As examples, data from Mesozoic and Cenozoic limestone sequences of north Brazilian coast are here presented. Data on strontium isotope composition are compared to those obtained by De Paolo and Ingram in another geographic locations.

RESUMO

Demonstra-se que a composição isotópica do estrôncio de carbonatos marinhos pode ser uma valiosa ferramenta estratigráfica de correlação, em adição às técnicas normalmente empregadas. É particularmente importante em seqüências onde a associação fossilífera não mostra boa resolução estratigráfica.

Como exemplo, são apresentados os dados obtidos em seqüências carbonáticas do Mesozóico e Cenozóico da costa Norte do Brasil. Os dados isotópicos do estrôncio são comparados aos obtidos por De Paolo e Ingram em outras localidades geográficas.

1 - INTRODUÇÃO

A alteração, em função do tempo, na composição isotópica do estrôncio presente na água do mar constitui promissora ferramenta de correlação e datação estratigráfica. Essa possibilidade se deve ao fato de que o fracionamento isotópico do estrôncio durante a precipitação é desprezível, de modo que a composição isotópica do mineral formado é função única e exclusiva da razão $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ do fluido a partir do qual foi precipitado (Veizer et al. 1983).

A concentração de estrôncio na água do mar é relativamente alta, e seu tempo de residência oceânica é de 4×10^6 anos (Holland 1978), mais longo do que o de homogeneização oceânica (em redor de 10^3 anos) (Broecker 1963). Assim, os oceanos apresentam homogeneização muito boa com respeito ao estrôncio, fazendo com que a relação isotópica $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ seja a mesma em qualquer lugar, em determinado tempo. É, portanto, independente das fácies e da latitude, não requer densidade de amostragem alta (normalmente necessária em outras metodologias), e reflete, essencialmente, a relação isotópica das várias áreas-fonte. Em geral, é possível reconhecer duas fontes primárias; a crosta continen-

intemperismo químico e transporte pelos rios, enquanto o manto superior libera esses elementos, principalmente por meio da atividade hidrotermal nas cadeias mesoceânicas e do intemperismo submarino de basaltos.

Segundo Koepnick et al. 1985, o aumento da razão $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ da água do mar indica relativa diminuição na contribuição do estrôncio de fontes oceânicas e relativo aumento na contribuição de fontes continentais. Essa mudança reflete decréscimo de volume das cadeias oceânicas e da razão de espalhamento (Pitman 1978) e pode sugerir aumento na atividade orogênica continental, resultando em aumento da erosão de fontes terrestres mais ricas em ^{87}Sr (Palmer & Elderfield 1985).

Recentemente, medidas bastante precisas da relação $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ foram efetuadas sobre carapaças bem preservadas de foraminíferos e sedimentos carbonáticos pelágicos do Mesozóico e do Cenozóico, possibilitando a construção de curvas de alta resolução, em que se relacionam os valores de $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ com a idade daqueles intervalos (Elderfield et al. 1982, De Paolo & Ingram 1985, Palmer & Elderfield 1985, Hess et al. 1986, Elderfield 1986). A utilização dessa curva permite correlações e datações com precisão em torno de $\pm 1,0$ milhão de anos.

Apesar desses trabalhos, muito pouco tem sido feito no sentido de datar e correlacionar estratigraficamente, com base nos isótopos de estrôncio, as espessas seqüências carbonáticas da plataforma rasa, onde, normalmente, os efeitos diagenéticos capazes de mascarar os resultados isotópicos originais são maiores. Os resultados obtidos no estudo das seqüências carbonáticas mesozóicas e cenozóicas da costa Norte do Brasil mostram essa possibilidade (fig. 1).

2 - PROCEDIMENTO ANALÍTICO

As amostras de calcário foram pulverizadas e dissolvidas em ácido clorídrico 0,1 N. O estrôncio separado, por meio de coluna de resina catiônica, foi depositado sobre um filamento simples de tântalo para análise espectrométrica. Nas medidas da relação isotópica do estrôncio empregou-se espectrômetro de massa modelo Varian TH-5, acoplado a um microcomputador HP-9825-B, cuja técnica de operação está descrita em Kawashita et al. 1986. A qualidade das medidas da razão $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ foi aferida em relação ao carbonato de estrôncio NBS-987.

3 - APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS

Os estudos estratigráficos baseados nos isótopos de estrôncio permitem ampla gama de aplicações no que diz respeito a datações e correlações de alta precisão. Isso inclui a correlação de seqüências carbonáticas polares e equatoriais, de carbonatos depositados em plataformas rasas e em águas profundas, e a datação de sedimentos com fósseis não-característicos, vertebrados marinhos, fosforita e evaporitos.

Visando mostrar algumas das possibilidades de aplicação dos isótopos de estrôncio, foram selecionadas duas seções carbonáticas marinhas da costa Norte do Brasil: Albiano e Cenomaniano da Bacia de Barreirinhas, e Eoceno, Oligoceno e Mioceno da plataforma continental do Amapá. Os resultados foram comparados aos dados de mesma idade constantes da literatura mundial (Burke et al. 1982, De Paolo & Ingram 1985, Hess et al. 1986). Quando a seção estudada não apresentava datação paleontológica, sugeriu-se uma idade para a mesma, com base nas correlações dos valores isotópicos do estrôncio medidos e com os constantes das curvas

apresentadas por esses autores, nas quais se relacionam os valores isotópicos versus idade das amostras analisadas.

ALBIANO

A seqüência estudada é constituída, essencialmente, de gradações de folhelhos, margas e calcilutitos.

Os valores isotópicos alcançados estão entre 0,70725 e 0,70775 (fig. 2) e correspondem à mesma escala de variações observada por Burke et al. 1982, em estudo de seqüências de mesma idade. Estes dados tendem a serem maiores durante a fase de maior restrição e produtividade orgânica do Albiano, conforme indicado pelos teores mais elevados de carbono orgânico dessa parte da seção carbonática. Possivelmente, esse relativo enriquecimento em ^{87}Sr indique maior influência de fontes continentais, demonstrada também pelo aumento das intercalações de folhelhos escuros nessa parte da seqüência carbonática.

A utilização das variações constatadas da base para o topo do Albiano (fig. 2) como elemento de datação e correlação regional dependerá dos resultados analíticos a serem obtidos com o estudo de outros poços perfurados na Bacia de Barreirinhas.

CENOMANIANO

No poço estudado (1-BA-2-MA), predominam os calcilutitos cinza claro a esbranquiçados, ao passo que os calcarenitos somente são encontrados nos 200 metros superiores dessa seqüência.

Os dados da relação $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ mostram que a composição isotópica da água do mar durante o Cenomaniano foi relativamente mais constante que no Albiano, embora apresente pequena mas constante variação: de 0,70725 na base para 0,70750 no topo.

Essa maior constância de valores, provavelmente, se relacione à transgressão marinha do Cenomaniano, diminuindo, portanto, a influência da fonte continental de Sr. Assim, a composição isotópica constatada nos carbonatos desse período seria um reflexo predominantemente de fontes oceânicas de Sr.

A variação isotópica observada da base para o topo do Cenomaniano, embora pequena, é constante e, talvez, possibilite sua utilização futura na datação e correlação estratigráfica desse intervalo de tempo.

Os valores isotópicos obtidos são compatíveis com os constatados por Burke et al. 1982, em análise de amostras do mesmo período.

EOCENO

Os carbonatos do Eoceno apresentam valores médios da relação $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ em redor de 0,70780. Nenhuma tendência definida foi observada, admitindo-se que as fontes de estrôncio permaneceram relativamente estáveis durante esse período (fig. 2).

Os resultados correspondem aproximadamente aos obtidos por De Paolo & Ingram 1985, pelos quais se verifica que a pouca variabilidade dos valores de $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ durante o Paleoceno e o Eoceno torna sua utilização inadequada para estudos cronoestratigráficos desses períodos.

A primeira grande variação nos valores dos isótopos de estrôncio durante o Cenozóico ocorre no topo do Eoceno - base do Oligoceno (fig. 2).

Essa mudança de comportamento relativamente abrupta na relação isotópica do estrôncio, refletida também nos valores isotópicos do carbono (Rodrigues & Takaki, em elaboração), corresponde a uma mudança global na vida oceânica, normalmente atribuída a mortalidade em massa. Segundo De Paolo & Ingram 1985, o aumento da relação $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ no contato do Eoceno - Oligoceno coincide com o decréscimo da temperatura das águas de fundo (conforme mostrado pelos dados de $\delta^{18}\text{O}$ de foraminíferos bentônicos), aumento da profundidade de compensação dos carbonatos, baixas temperaturas continentais (segundo dados paleobotânicos) e com períodos de níveis de mar baixo. Os rápidos aumentos da razão isotópica do estrôncio, em especial, são contemporâneos ao início da glaciação ou à formação de gelo polar marinho.

A partir desse ponto, os valores de $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ tornam-se maiores com o tempo, refletindo um enriquecimento gradual em ^{87}Sr e, conseqüentemente, maior influência das fontes continentais de estrôncio. Aparentemente, nesse tempo, as fontes de origem oceânica começam a ser amplamente suplantadas pelas de origem continental.

Esse rápido e relativamente homogêneo aumento na relação $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ representa um período de particular interesse para estudo, devido ao potencial que os períodos de rápidas variações apresentam para datações e correlações mais precisas.

A partir dos dados de De Paolo & Ingram 1985, o Oligoceno situa-se aproximadamente entre os valores 0,70780 e 0,7083 da relação $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$. Utilizando-se esses limites nos resultados obtidos na análise dos calcários do poço 1-APS-29, foi possível assumir essa idade para a seção não datada paleontologicamente entre 2 600 e 2 000 metros, e propor um limite entre o Oligoceno Inferior - Oligoceno Superior em redor de 2 360 metros, correspondendo, também, ao rápido deslocamento na curva dos dados de $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ (fig. 2). Por outro lado, considerando-se o limite Eoceno-Oligoceno no valor $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr} = 0,70780$, também foi possível subir o topo do Eoceno até aproximadamente 2 600 metros, isto é, dentro do intervalo sem datação paleontológica.

MIOCENO

À semelhança do Oligoceno, também o Mioceno é caracterizado por valores de $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ que aumentam homogeneamente, possibilitando seu uso em correlações estratigráficas bastante precisas, principalmente em seqüências do Mioceno Inferior e Médio. Segundo os dados de De Paolo & Ingram 1985, o Mioceno Inferior apresenta valores de $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ entre 0,70830 e 0,70869. Esse intervalo, aparentemente não observado no poço 1-APS-29, sugere a ocorrência de uma discordância com hiato, correspondente ao Mioceno Inferior. Também bastante sugestivo é o valor anormalmente elevado da relação $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$, constatado em redor de 1 940 metros, que sugeriria carbonato alterado diageneticamente e ocorrendo, talvez, na própria superfície de discordância. Os valores isotópicos encontrados no poço 1-APS-29 (0,70860 a 0,70880) são característicos do Mioceno Médio, permitindo propor uma divisão cronoestratigráfica para esse intervalo sem datação paleontológica (fig. 2).

Foi possível a utilização da curva que relaciona a idade e os valores de $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$, construída com base nos dados isotópicos de fósseis e carbonatos de águas profundas da costa do Golfo (EUA), Contessa (Itália), de diversas localidades da Europa e do Deep Sea Drilling Project, isto é, amostras de várias latitudes, usando os dados isotópicos obtidos na seqüência carbonática da plataforma rasa do poço 1-APS-29, situado atualmente na zona equatorial.

Essa correlação de valores isotópicos possibilitou estabelecer uma cronoestratigrafia para o Oligoceno e o Mioceno do poço 1-APS-29, numa seqüência carbonática ainda sem informação paleontológica.

Esse método poderá constituir valiosa ferramenta de correlação estratigráfica, em conjunto com os métodos normalmente utilizados, principalmente por ser independente de fatores como fácies e latitude.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BROECKER, W. S. - 1963 - Radioisotopes and large-scale oceanic mixing: in the sea. New York, Interscience. v. 2 p. 88-108.
- BURKE, W. H.; DENISON, R. E.; HETHERINGTON, E. A.; KOEPNICK, R. B.; NELSON, H. F.; OTTO, J. B. - 1986 - Variation of seawater $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ throughout Phanerozoic time. Geology, 10:516-9.
- DE PAOLO, D. J. & INGRAM, B. L. - 1985 - High-resolution stratigraphy with strontium isotopes. Science, 227:938-41.
- ELDERFIELD, H. - 1986 - Strontium isotope stratigraphy. Palaeogeogr. Palaeoclimatol., Palaeoecol., 57:71-90.
- ELDERFIELD, H.; GIESKER, J. M.; BAKER, P. A.; OLDFIELD, R. K.; HAIVKES-VORTH, C. J.; MILLER, R. - 1982 - $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ and $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ ratios, interstitial water chemistry and diagenesis in deep-sea carbonate sediments of the Ontong Java Plateau. Geochim. Cosmochim. Acta, 46: 2259-68.
- HESS, J.; BENDER, M. L.; SCHILLING, J. G. - 1986 - Evolution of the ratio of strontium-87 to strontium-86 in seawater from Cretaceous to present. Science, 231:979-84.
- HOLLAND, H. D. - 1978 - The chemistry of the atmosphere and oceans. New York, John Wiley. 351 p.
- KAWASHITA, K.; SATO, K.; SONOKI, T. - 1986 - Análises isotópicas com o espectrômetro de massa TH-5 "on-line" com microcomputador da linha Apple e HP-9825-B. São Paulo, USP, Inst. de Geociências. Trabalho apresentado no Encontro Latino-Americano de Espectrometria de Massa, 1, Rio de Janeiro, 1986.
- KOEPNIK, R. B.; BURKE, W. H.; DENISON, R. E.; HETHERINGTON, E. A.; NELSON, H. F.; OTTO, J. B.; WAITE, L. E. - 1985 - Construction of the seawater $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ curve for the Cenozoic and Cretaceous: supporting data. Chem. Geol., 58:55-81.
- PALMER, M. R. & ELDERFIELD, H. - 1985 - Sr isotope composition of sea water over the past 75 Myr. Nature, 314:526-8.

RODRIGUES, R. & TAKAKI, T. - 1987 - Estratigrafia isotópica de seqüências carbonáticas cenozóicas da margem continental Norte do Brasil. Rio de Janeiro, PETROBRAS. CENPES. Trabalho a ser apresentado no Congresso Brasileiro de Paleontologia, 10.

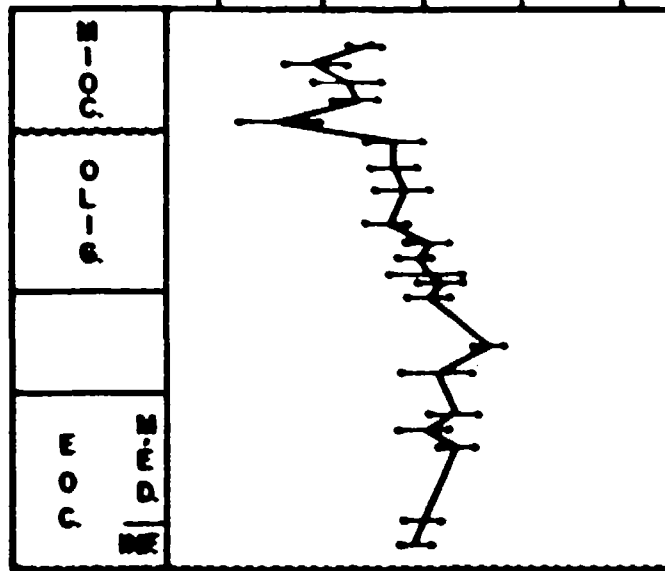
VEIZER, J.; COMPSTON, W.; CLAUSER, N.; SCHIDLANSKI, M. - 1983 - $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ in Late Proterozoic Carbonates: evidence for a Mantle event at 900 Ma ago. Geochim. Cosmochim. Acta, 48:1059-70.

1-APS-29

$^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$

.7090

.7070



1-BA-2-MA

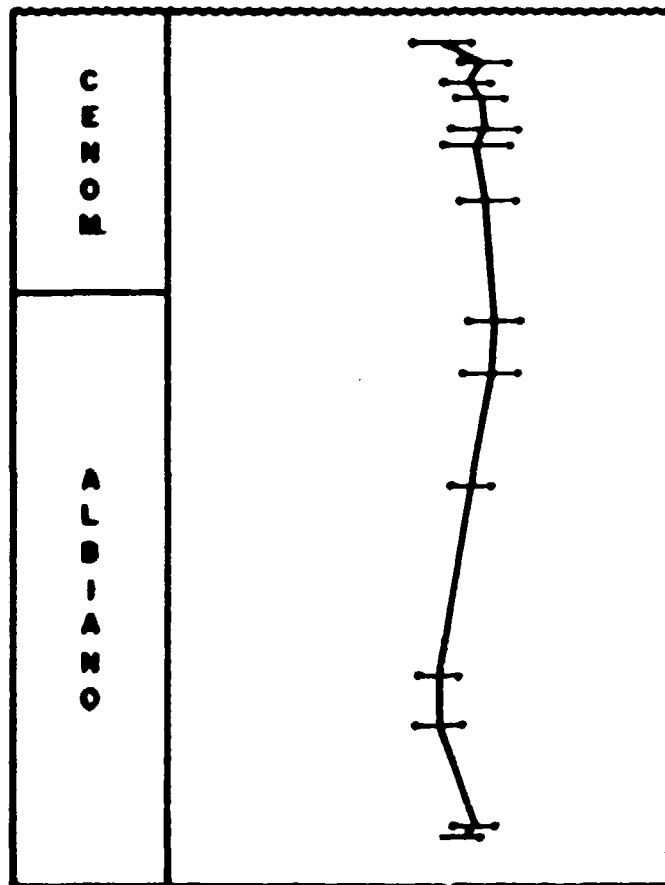


FIG. 2 - DADOS DA RELAÇÃO ISOTÓPICA $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$

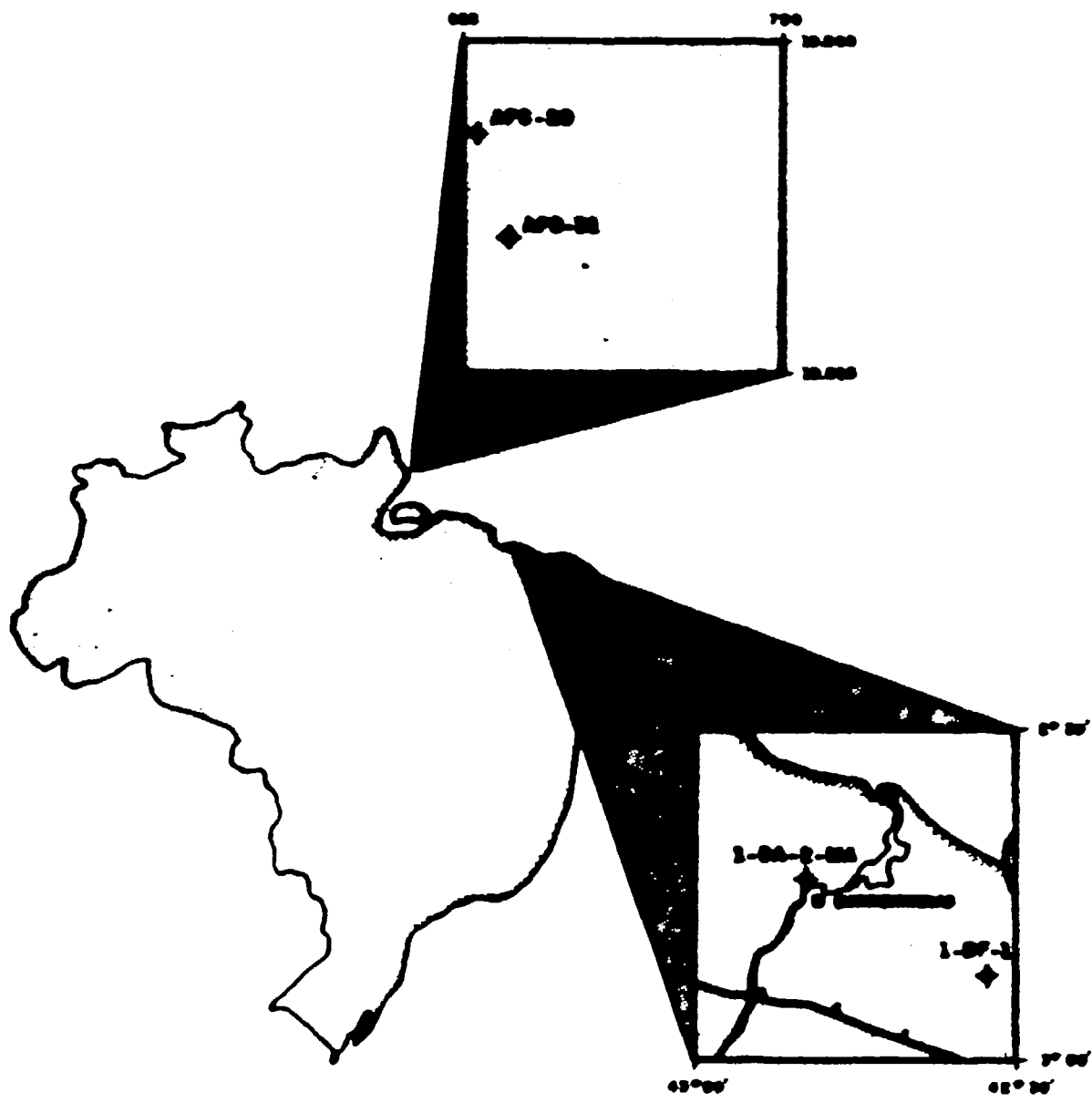


FIG. 1 - MAPA DE LOCALIZAÇÃO DOS POÇOS ESTUDADOS