

BR 9127373

INIS - BR - 2678

**CONGRESSO BRASILEIRO  
DE GEOLOGIA**



28 de outubro a 1 de novembro 90  
CENTRO DE CONVENÇÕES

**ANAIS**  
**VOLUME 2**



**REALIZAÇÃO:**  
**SOCIETATE BRASILEIRA DE GEOLOGIA**  
**NÚCLEO NORDESTE**

**CARACTERIZAÇÃO DOS "BEACH ROCKS" DO LITORAL SUL DE PERNAMBUCO COM BASE EM EVIDÊNCIAS PETROGRÁFICAS E ISOTÓPICAS**

*Hortência Maria Barboza de Assis - Pós-Graduação em Geociências-UFPE*

*Ricardo Farias do Amaral - Pesquisador do CNPq  
Valdir A. V. Manso - Prof. Adjunto-UFPE*

**ABSTRACT**

The study is restricted to the occurrence of three lines of beachrocks located between the Maracaípe river and Sirinhaém river, southern coast of Pernambuco state.

The mineralogy and petrography, made it possible the characterization of three types of cements (micrite envelope, acicular crust and intergranular cryptocrystalline). They correspond to diagenetic microfacies which are set in different diagenetic environment.

X-ray analysis, as well as  $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$  e  $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$  isotope analysis, show evidence of a dominantly marine precipitating fluid with a subordinate fresh water influence on a second cement generation.

**INTRODUÇÃO**

Os estudos dos "beach rocks" ou arenitos de praia cimentados por carbonato de cálcio concentram-se sempre na definição da origem do cimento e do processo de cimentação.

Os trabalhos realizados enfocam a questão da origem orgânica ou inorgânica do cimento destas rochas, assim como os processos que controlam a sua precipitação.

Os defensores da hipótese orgânica baseiam-se, principalmente, na atividade bioquímica das algas verdes (Cloud 1952). A origem biológica, entretanto, e, ainda, bastante debatida em função da quantidade insuficiente de matéria orgânica encontrada na maioria das ocorrências destas rochas que permita um precipitado decorrente do processo bioquímico. Associado a isto, técnicas modernas de microscopia eletrônica e análises químicas, constataam que em alguns casos, o que parecia evidencia de estruturas oriundas da participação biológica direta, é na verdade, um precipitado inorgânico com uma textura adquirida em função da rápida velocidade de precipitação.

No que tange a origem inorgânica o problema reside na caracterização do fluido precipitante e sob que condições se deu a precipitação. Entre os defensores do lençol freático de água como principal agente cimentante, destaca-se Russel 1962. Em sua teoria, entretanto, é necessária a presença de formações calcárias nas proximidades, o que nem sempre ocorre.

A origem por evaporação de águas marinhas intersticiais foi defendida por Ginsburg 1953 e Taylor & Illing 1969.

Os trabalhos mais atualizados apresentam um mecanismo de cimentação com um precipitado de mistura de água marinha com água doce (Schmalz 1971, Moore 1973).

Hanor 1978, através de experimentos em laboratório, constatou, porém, que a mistura de águas marinhas e doce não é suficiente para promover a cimentação. Segundo este autor, é necessário o despreendimento do  $\text{CO}_2$  do sistema para que ocorra a precipitação do carbonato.

O objetivo deste trabalho é através dos resultados de um estudo petrográfico detalhado, associado a análises isotópicas de  $\delta^{13}\text{C}$  e  $\delta^{18}\text{O}$ , contribuir para o entendimento do complexo mecanismo de cimentação destas rochas.

**DESCRIÇÃO DA ÁREA**

Os "beach rocks", em estudo, localizam-se no litoral Sul de Pernambuco, entre os rios Maracaípe e Sirinhaém. Geotectonicamente estão inseridos dentro da Bacia Costeira de Recife (Rand 1976), composta com os terraços marinhos pleistocênicos e holocênicos, depósitos lagunares e recifes algais, as formações quaternárias desta Bacia (Fig. 1). O

embasamento pré-cambriano da área é formado por gnaisses de composição granítica e granodiorítica, frequentemente cortados por efusivas vulcânicas do Cretáceo.

Os "beach rocks" apresentam-se em três linhas aproximadamente paralelas à costa e, entre si, com sete quilômetros de extensão e dois metros de largura por quatro de espessura aproximadamente. Apresentam um mergulho médio de 120, no sentido do mar. Dois tipos de estruturas são facilmente identificadas, a laminação plano-paralela (em maior quantidade) e a estratificação cruzada.

A linha mais próxima ao continente fica praticamente emersa na maré baixa e estende-se continente a dentro sob os terraços marinhos holocênicos.

As outras duas linhas mais afastadas da costa, positionam-se, respectivamente, a 900 metros e a um quilômetro, com apenas 1/3 a 2/3 de sua porção aflorante na baixa mar.

#### METODOLOGIA

As amostras foram coletadas ao longo de perfis perpendiculares à linha de costa, com uma equidistância de aproximadamente 250 metros, variando de acordo com os aspectos distintos apresentados ao longo do corpo rochoso. Foram coletadas em cada perfil amostras representativas do topo e da base submersa. Estas amostras foram trituradas e pulverizadas para serem submetidas à análise de difratometria de Raios-X e isótopos de  $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$  e  $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ . Para a análise petrográfica confeccionou-se seções delgadas impregnadas sob vácuo com resina plástica colorida (CENPES - PETROBRAS-RJ) para melhor destaque dos poros e visualização da morfologia do cimento.

#### PETROGRAFIA

As amostras foram estudadas através de técnicas convencionais petrográficas, sendo que para os detalhes da morfologia do cimento a sua relação com o arcabouço utilizou-se microscopia eletrônica de varredura (MEV).

##### Composição do arcabouço

O arcabouço da rocha é formado por siliciclastos e bioclastos que perfazem cerca de 70 a 80% da rocha, com 20 a 30% restante de cimento carbonático. A rocha é classificada segundo Tucker 1981 como arenito calcário.

Os constituintes dominantes, entre os siliciclastos, são quartzo e quantidades subordinadas de feldspato. O quartzo apresenta-se subanguloso a subarredondado, monocristalinos, na sua maioria, ocorrendo esporadicamente grãos policristalinos. Os feldspatos são também subangulosos, sendo a maioria microclina e em menor quantidade plagioclásio.

Os bioclastos correspondem a aproximadamente 5% do arcabouço e são compostos de fragmentos de algas vermelhas da família Coralinácea, gastrópodes e pelecípodes, artículos de "Halimeda", corais e espinhos de equinóides.

Os minerais acessórios são representados por anfibólios (tremolita e hornblenda), granada, sillimanita, moscovita, turmalina, epidoto, zircão, rutilo e opacos (ilmenita e óxido de ferro).

##### Composição do cimento

Nas lâminas delgadas identificam-se três texturas de cimento.

A textura dominante consiste de cristais aciculares isôpacos de calcita magnésiana com tamanho variando de 10 a 15 micra, que se dispõem orientados com seu eixo normal à superfície dos grãos do arcabouço.

Estes cristais desenham ao redor dos bioclastos ou siliciclastos uma franja de espessura uniforme (Foto 1). Este tipo de morfologia fibro-radial é controlada, segundo Folk 1974, pela composição química da água intersticial que deve ser rica em íon de magnésio. Folk (op. cit.) associa

a cristalinidade à atividade do magnésio na solução precipitante. O íon magnésio "envenena" o livre crescimento dos cristais, induzindo um maior desenvolvimento na direção do eixo c e inibe o crescimento nas direções laterais.

A segunda textura, em abundância, é formada por um cimento criptocristalino intergranular de cor marrom escura. É responsável pela obliteração da porosidade em alguns pontos da rocha (Foto 2). Em microscopia eletrônica este tipo de cimento apresenta-se, às vezes, com uma aparência "lamelar" (Foto 4). FOLK (op. cit.) ressaltou que as formas romboédricas de calcita magnésiana quando sujeitas a um crescimento rápido e a uma razão baixa de Mg/Ca, adquirem um aspecto lamelar ("mica like book") provocado pelo efeito seletivo do íon  $Mg^{2+}$ .

A terceira textura caracteriza-se por uma delgada película sob a forma de um envelope criptocristalino ao redor dos grãos siliciclásticos e bioclásticos. Nestes últimos chega a micritizar parcialmente alguns grãos (Foto 3).

#### ANÁLISES DE RAIOS-X E ISÓTOPOS DE $^{13}C/^{12}C$ e $^{18}O/^{16}O$

As análises por difração de Raios-X revelam a calcita magnésiana como o mineral constituinte dos dois tipos de cimento mais dominante, a franja acicular e o criptocristalino intergranular. O envelope criptocristalino, pela dificuldade de isolamento, não foi analisado. Isto só poderá ser feito em análise de microsonda eletrônica.

Os resultados acusam uma variação no teor de  $MgCO_3$  nas diferentes linhas de "beach rocks" (Tabela 1). A dominância de determinado tipo de cimento dá um caráter composicional distinto às linhas mais próximas e mais distantes do continente.

O cimento acicular, dominante nas linhas mais próximas ao continente, é de calcita magnésiana com alto teor em  $Mg^{2+}$ . Os dados plotados nos diagramas de Chave 1962 e Goldsmith et al 1955 estimam um valor de 17 a 20 mol %  $MgCO_3$  para este tipo de cimento.

A presença do tipo criptocristalino intergranular causa um decréscimo no teor de  $MgCO_3$  que, nos diagramas antes citados, apresenta um valor de aproximadamente 4 mol %. Este cimento ocorre preferencialmente nas linhas mais distantes da costa.

Os fatos demonstram que há uma variação na razão Mg/Ca no cimento das diferentes linhas de "beach rocks", à medida que as mais próximas ao continente apresentam uma concentração maior de  $MgCO_3$  na calcita e as linhas mais distantes uma concentração menor (Tabela 1).

As determinações isotópicas ( $\delta^{13}C$  e  $\delta^{18}O$ ) relativas ao padrão Belemite PeeDee (PDB) mostram dados condizentes com as observações feitas em relação a morfologia do cristal e sua variação no teor em magnésio (Tabela 2).

As amostras com dominância do cimento acicular microcristalino apresentam valores mais altos de  $\delta^{13}C$ , em torno de + 3,00 ‰ (PDB). Naquelas em que há uma predominância do tipo criptocristalino intergranular, os valores decaem para +1,00 ‰ (PDB). O mesmo ocorre em relação aos valores de  $\delta^{18}O$  que passa de um valor médio de + 0,52 ‰ para - 0,10 ‰.

Os dados, de modo geral, demonstram que o cimento é enriquecido em  $^{13}C$  e está bem dentro dos valores reportados a cimentos carbonáticos marinhos. O alto teor de  $\delta^{13}C$  aponta para a contribuição de  $CaCO_3$  inorgânico, como resultado de precipitação química diretamente da água do mar saturada em íons de  $Ca^{++}$  e  $CO_3^{--}$ . A variação verificada no valor de  $\delta^{13}C$  e no empobrecimento de  $^{18}O$ , nas amostras em predominância do cimento criptocristalino intergranular, sugere a influência de água doce.

#### MICROFÁCIES DIAGENÉTICAS

As análises petrográficas, associadas à composição isotópica e dados de difratometria de raios-X, sugerem que os diferentes tipos de

cimentos não foram precipitados em ambientes com as mesmas condições físico-químicas.

A disposição textural destes cimentos permite sua individualização em três microfácies diagenéticas. Estas microfácies podem ser agrupadas dentro de um modelo de sequência de estágios diagenéticos com base no seu provável ambiente de formação, conforme mostra a Fig. 2.

Estágio 1 - Este estágio representa a primeira microfície. É caracterizado pelo envelope criptocristalino ao redor dos grãos do arcabouço, assim como por bioclastos parcialmente micritizados (Foto 3). A gênese destes envelopes ainda não foi bem definida. Bathurst 1966 associou estes filamentos criptocristalinos, que chamou de envelopes micríticos, ao metabolismo de algas. Na área em estudo há uma concentração expressiva de algas do gênero "Lithothamnium". A alteração destas algas, em condições normais de ambiente, ocorre muito rapidamente, o que torna possível que elas sejam responsáveis pelo desenvolvimento destes envelopes.

Estágio 2 - A segunda microfície diagenética é formada pelos cristais aciculares que se dispõem em volta dos grãos, desenhando uma franja isópaca. A relação textural desta franja com os envelopes de primeira microfície se dá através de uma zonação de fácies, onde se vê uma zona criptocristalina delgada (envelope micrítico), seguida por uma zona microcristalina com cristais aciculares orientados perpendicularmente à superfície destes envelopes na direção do centro do poro (Fotos 3 e 5).

Valores na ordem de +3.00 ‰, para a relação  $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$  e 0.52 ‰ para a relação  $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$  em PDB assim como um teor de 17 a 20 mol %  $\text{MgCO}_3$ , indicam que este cimento formou-se em condições marinhas. Longman 1980 descreve os cimentos aciculares como precipitados inorgânicos típicos da zona freática marinha ativa.

Estágio 3 - A terceira microfície diagenética é formada pelo cimento de calcita criptocristalina de baixo teor em magnésio (Foto 6). É um estágio caracterizado pelo preenchimento, quase completo, dos vazios intergranulares, reduzindo significativamente a porosidade da rocha (Foto 2).

A composição isotópica, nas amostras com predominância desta microfície sofre uma alteração nos valores de  $\delta^{13}\text{C}$  e  $\delta^{18}\text{O}$  para respectivamente +1.6 ‰ e -0.1 ‰ em PDB. A variação textural e composicional do cristal, mostra a provável influência de água doce.

## DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

As evidências petrográficas e químicas mostram a existência de mecanismos distintos de formação para cada tipo de cimento encontrado. Esta diferença reside na variação do quimismo da água sob diferentes condições ambientais.

As duas primeiras microfácies (envelope micrítico e franja acicular) foram geradas, possivelmente, em um sistema estritamente marinho.

No cimento acicular isto é evidenciado pelos dados isotópicos e pela morfologia do cristal relacionada ao alto teor de  $\text{MgCO}_3$  na calcita. Longman 1980 descreve este cimento como típico de zona freática ativa, onde há o movimento ativo de água dentro de sedimentos parcialmente imóveis. É possível que a imobilidade parcial dos grãos do arcabouço deva-se a uma cimentação inicial gerada pelo envelope micrítico que serve de substrato para a franja acicular isópaca.

Sob o ponto de vista paleogeográfico, a formação destas microfácies, provavelmente, ocorreu sob condições submarinas na zona intermará inferior ou inframar superior.

A presença do cimento criptocristalino intergranular denota um outro sistema em que a água marinha do poro sofre influência de água doce. Isto é reportado na morfologia dos cristais, em que a diminuição no teor em magnésio elimina o efeito de inibição provocado pela grande quantidade deste íon na água do mar e pela queda apresentada nos valores isotópicos de  $\delta^{13}\text{C}$  e  $\delta^{18}\text{O}$  para, respectivamente, +1.61 ‰ e -0.10 ‰ (Tabela 2).

O influxo de água doce no sistema francamente marinho deve ter sido provocado, provavelmente, por uma descida no nível do mar. O abaixamento do nível marinho gerou, pela diferença de potencial hidráulico, um influxo de água freática doce. Este influxo é responsável pela dispersão fluida na interface água doce/água marinha e consequente precipitação de um cimento marinho com influência de água doce. (Fig.3).

Paleogeograficamente, esta terceira microfície pode ter sido gerada na zona intermaré com perda de  $\text{CO}_2$  a exemplo do modelo idealizado por Manor 1978 antes citado.

## CONCLUSÃO

Verificou-se através do estudo petrográfico que não existe apenas uma única geração de cimento nos "beach rocks" e que o precipitado está intrinsecamente associado à composição química da água do poro. Esta, por sua vez, depende das condições hidrodinâmicas e do ambiente em que se formou a rocha.

O modelo proposto para justificar a geração das diferentes microfácies é coerente com as observações petrográficas, dados de difratometria de raios-X e análises isotópicas, que convergem para um só ponto.

Os resultados apresentam um precipitado de origem inorgânica para a segunda e terceira microfície. Não chegou-se a uma conclusão definitiva quanto a origem da primeira microfície, pela dificuldade de isolamento do material para análise. Entretanto, a origem orgânica de fendida na literatura para estes envelopes micríticos, não entra em choque com o modelo apresentado neste trabalho.

Recomenda-se um estudo mais aprofundado do aquífero costeiro da área em que se encontra as linhas de "beach rocks", para uma interferência mais precisa do posicionamento da interface água doce/água marinha.

Os eventos de transgressão e regressão que ocorrem no Quaternário, provavelmente, influenciaram no processo de cimentação destas rochas. Isto implica na necessidade de datações de  $^{14}\text{C}$  para o posicionamento no tempo e no espaço das diferentes linhas de "beach rocks".

Em relação à composição química dos três tipos de cimento, sugere-se o uso de microsonda eletrônica, onde através de uma análise pontual poderia-se quantificar o teor em magnésio nas diferentes microfácies separadamente.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao geólogo Pedro de Césero pelo acesso aos laboratórios do CENPES-PETROBRÁS-RJ e a química Tikac da PETROBRÁS pelas análises isotópicas. Agradecem também ao Prof. Paulo da Nóbrega Coutinho pela revisão do manuscrito e ao Laboratório de Geologia e Geofísica Marinha - DEMI-UFPE, pelo apoio técnico. Ao CNPq pelo auxílio financeiro.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BATHUST, R.G.C. - 1966 - Boring algae, micrite envelopes and lithification of molluscan biosparites. J. Geol., Chicago. v. 5, p.15-32.
- CHAVE, K.L. - 1962 - Factores influencing the mineralogy of carbonate sediments, Limol. Oceanogr., v.7, p.218-233.
- CLOUD, P.E.Jr. - 1952 - Preliminary report on geology and marine environments of Onotoa Atoll, Gilbert Islands. Atoll Res. Bul.
- FOLK, R.L. - 1974 - The natural history of crystalline calcium carbonate: effect of magnesium content and salinity.. J. Sediment. Petrol. Tulsa, Okla. v.44.. p.40-53.
- GINSBURG, R.N. - 1953 - Beachrock in south Florida. Jour. Sed. Petrology. v.23.p.85-92.
- GOLDSMITH, J.R.; GRAF, G.L.; JOENSUU, O.L. - 1955 - The occurrence of magnesian calcites in nature: Geochim et Cosmoch Acta, v.7, p.212-230.

- HANOR, J.S. - 1978 - Precipitation of beachrock cements: mixing of marine and meteoric water vs CO<sub>2</sub>-degassing. Jour.Sed.Petrology. v. 48.p.489-501.
- LONGMAN, M.W. - 1980 - Carbonate diagenetic textures from nearsurface diagenetic environments. AAPG Bul., Chicago. v.64. n.4,p.461-486.
- MOORE, C.H. - 1973 - Intertidal carbonate cementation, Grand Cayman, West. Indies. J.Sediment.Petrol., Tulsa. Olka, v.43, n.3 p.591-602.
- RAND, H.M. - 1976 - Estudos geofísicos na faixa litorânea ao sul de Recife. 112p. Tese de Concurso para Docente Livre.
- RUSSEL, R.J. - 1962 - Origen of beach rocks. Zeit. Geomorphol., v.6 p.1-16.
- SCHMALZ, R.F. - 1971 - Formation of beachrock at Eniwetok Atoll. Carbonate Cements. n.19. p.17-24..
- TAYLOR, J.C.& ILLING, L.V. - 1969 - Holocene Intertidal calcium carbonate sedimentation, Qatar, Persian Gulf. Sedimentology. v.12 n.1/2. p.69-107.
- TUCKER, M.E. - 1981 - Sedimentary petrology: an introductionNew York. Halsted Press. 252p. (Geoscience Texts, 3).

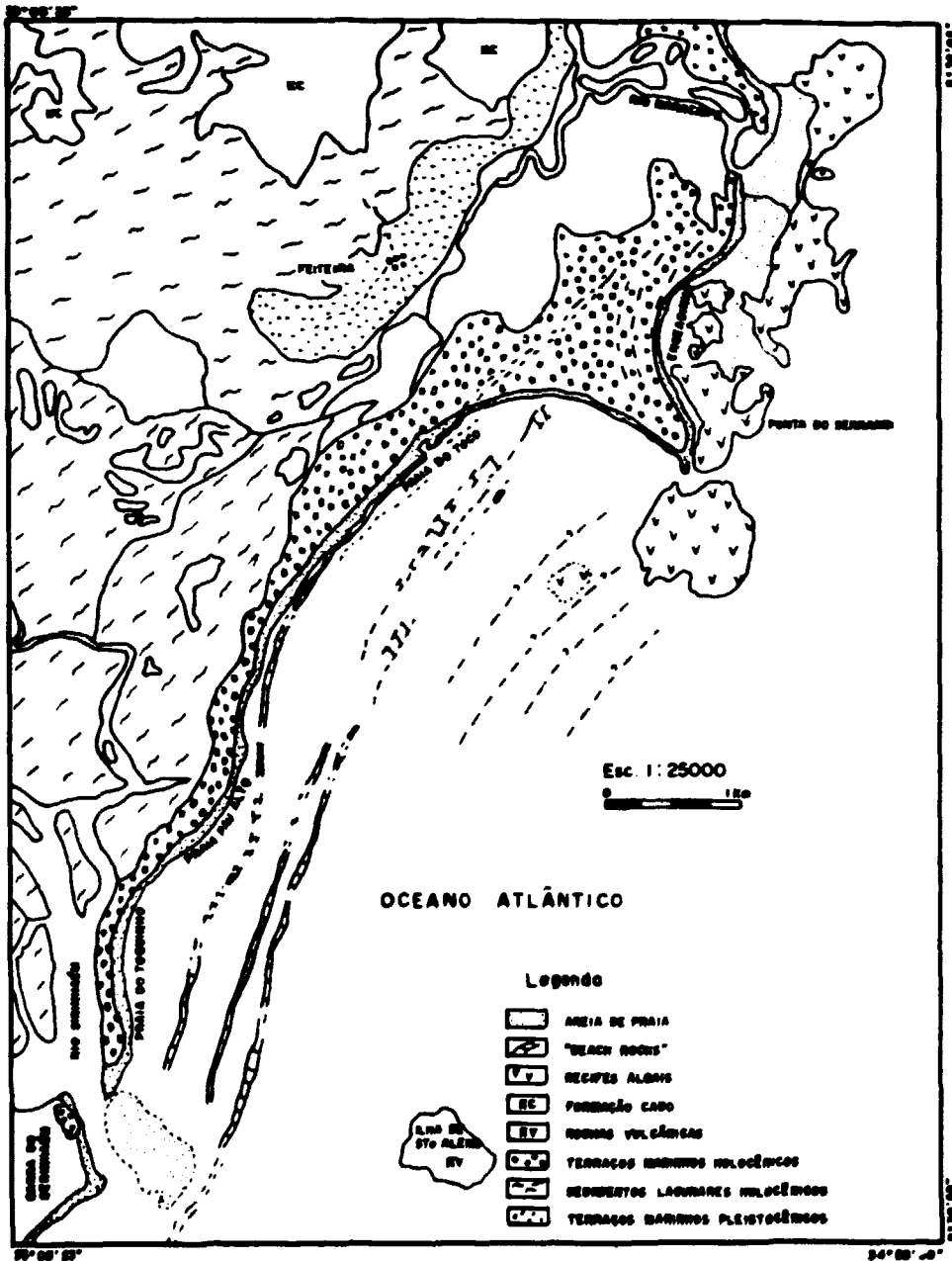


Fig. 1 - MAPA DE LOCALIZAÇÃO






ESTÁGIO	MICRO FÁCIES DIAGENÉTICAS	RAIOS-X MOL % $MgCO_3$	VALOR ISOTÓPICO MÉDIO (PDB)	AMBIENTE DIAGENÉTICO
I	 <p>A - ENVELOPE MICRÍTICO B - CIMENTO CRIPTO-CRISTALINO INTERGRANULAR.</p>	—	—	MARINHO
II	 <p>C - FRANJA ISÓPTICA ACICULAR</p>	17 - 20	$+ 3,0 \text{ ‰ } \delta^{13}C$ $+ 0,52 \text{ ‰ } \delta^{18}O$	ZONA FREÁTICA MARINHA
III	 <p>D - CIMENTO CRIPTO-CRISTALINO INTERGRANULAR</p>	4	$+ 1,81 \text{ ‰ } \delta^{13}C$ $- 0,10 \text{ ‰ } \delta^{18}O$	ZONA DE MISTURA

FIG. 2 - SEQUÊNCIA DE EVENTOS DIAGENÉTICOS DOS "BEACH ROCKS" ASSOCIADA AO AMBIENTE

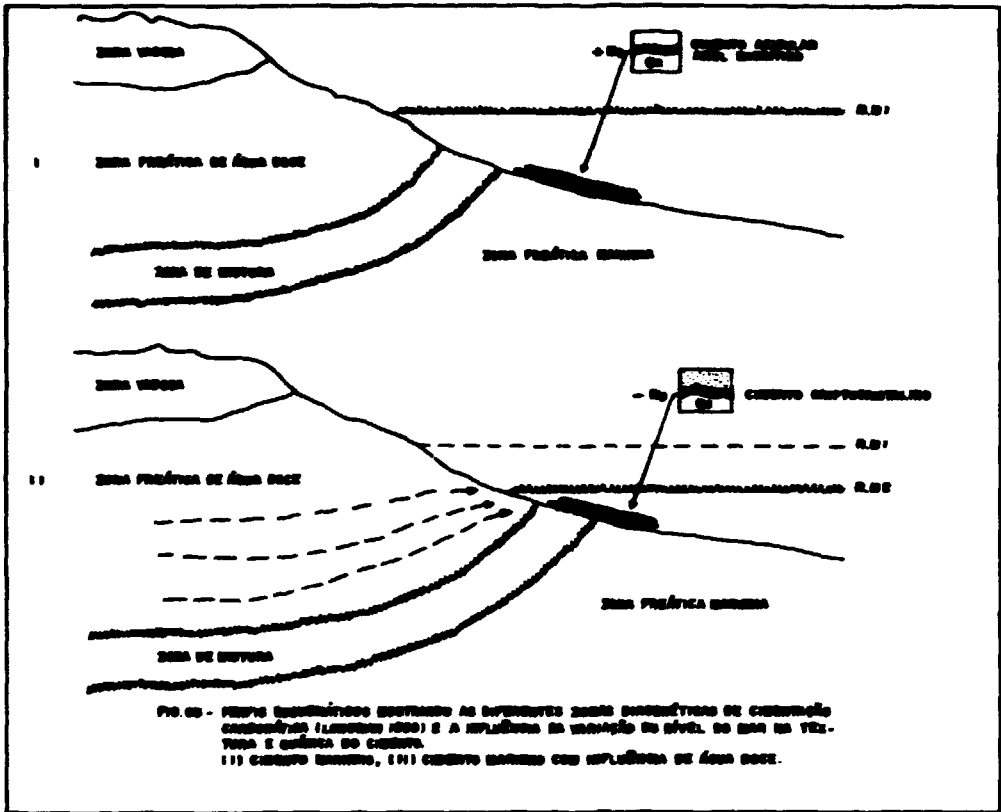


FIG. 05 - NÍVEL ATUALIZADO DEVERIA AS DIFERENTES ZONAS CARACTERÍSTICAS DE CANTAREAS CARACTERÍSTICAS (LIMITE VERDE) E A INFLUÊNCIA NA VARIAÇÃO DO NÍVEL DO MAR NA TÊTULA E CANTARA DO CANTAR.

I) CENSO ANTIGUO, II) CENSO ATUALIZADO COM INFLUÊNCIA DE ÁGUA DOCE.

LINHA DE BEACH ROCK	AMOSTRAS	RAZÃO-X MOL % $MgCO_3$	CIMENTO DOMINANTE	CIMENTO SECUNDÁRIO
1ª	OB1	20	ACICULAR	—
	OB2.4	20	ACICULAR	—
	OB.1	20	ACICULAR	—
	OB.4	20	ACICULAR	—
	OB.18	20	ACICULAR	—
	OBDE.3	20	ACICULAR	—
	OBDE.3	18	ACICULAR	CRISTOCRISTALINO
2ª	4E	17	ACICULAR	CRISTOCRISTALINO
3ª	ZBIS1	3	CRISTOCRISTALINO	ACICULAR
	ZBIE.3	4	CRISTOCRISTALINO	ACICULAR
	ZE	4	CRISTOCRISTALINO	ACICULAR
	ZE	4	CRISTOCRISTALINO	ACICULAR

TABELA 1 - RELAÇÃO ENTRE A DOMINÂNCIA DO CIMENTO E A QUANTIDADE EM MOL % DE  $MgCO_3$ .

LINHA DE BEACH ROCK	AMOSTRAS	$\delta^{13}C$ (PDB)	$\delta^{18}O$ (PDB)	$\delta^{18}O$ (SMOW)
1ª	OB1	+2.97	+0.43	30.81
	OB2.4	+2.96	+0.46	30.83
	OBIE.3	+2.94	+0.73	31.12
	OBDE.3	+3.09	+0.59	30.98
	OBDE	+3.00	+0.36	30.74
2ª	4E	+3.31	+0.59	30.99
3ª	ZBIS1	+1.61	-0.10	30.27

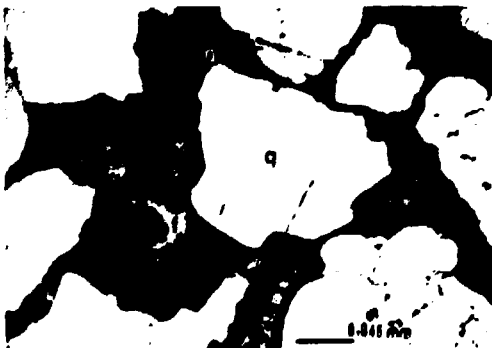
TABELA 2 - DADOS DE ISÓTOPOS ESTÁVEIS DE CARBONO ( $\delta^{13}C$ ) E OXIGÊNIO ( $\delta^{18}O$ ) DO CIMENTO CARBONÁTICO DE AMOSTRAS REPRESENTATIVAS DAS TRÊS LINHAS DE BEACH ROCKS.



**Foto 1** - Fotomicrografia mostrando a franja isópaca de cristais aciculares de calcita magnesiana (b) ao redor dos grãos de quartzo (q) que crescem para o interior do poro (p). N//.



**Foto 2** - Fotomicrografia mostrando o cimento criptocristalino intergranular (c). N//.



**Foto 3** - Destaque do cimento criptocristalino (a) sob a forma de envelope micrítico em volta dos grãos de quartzo (q), com um fóssil parcialmente micritizado (f). N//.



Foto 4 - Detalhe do cimento criptocristalino intergranular (C), salientando a sua forma com aparência lamelar (mica like book). MEV; aumento 3000x.

Foto 5 - Fotomicrografia mostrando as três microfácies a partir do grão de quartzo (q). Envelope micrítico (a), cristais aciculares (b) e cimento criptocristalino intergranular (b). MEV; Aumento 2000x.



Foto 6 - Disposição dos cimentos acicular (b) e criptocristalino intergranular (c) a partir dos grãos de quartzo (q). MEV; aumento 1900x.

