VARIAÇÃO DA COR DOS GRÃOS CARBONÁTICOS DE SEDIMENTOS MARINHOS ATUAIS

ZELINDA MARGARIDA DE ANDRADE NERY LEÃO* e ALTAIR DE JESUS MACHADO*

ABSTRACT COLOR VARIATION OF CARBONATE GRAINS FROM MODERN MARINE SEDIMENTS. Dark colored carbonate grains occur in the surface sediments from the Abrolhos area, on the southern coast of the State of Bahia, and in the surface and sub-surface sediments from the continental margin of the State of Maranhão. The colored material found preferentially on perforated skeletal grains are iron and manganese sulphides, hydroxides and/or oxides. The iron and manganese are derived from associated terrigenous sediments and are reprecipitated under reducing conditions and influenced by the activity of sulphate reducing bacteria around centers of preservation of organic matter, such as the perforated grains. When the dark colored grains are removed back into the oxidizing zone, the black sulphides are transformed into brown hydroxides and/or oxides. The color variation of these carbonate grains is probably a reflection of the depositional history of the sediment and its extent can therefore be used as an indication of the rate of sediment deposition and erosion, and sediment reworking.

RESUMO: VARIAÇÃO DA COR DOS GRÃOS CARBONÁTICOS DE SEDIMENTOS MARINHOS ATUAIS. Grãos carbonáticos escuros ocorrem nos sedimentos superficiais da área de Abrolhos, na costa sul do Estado da Bahia, e em sedimentos superficiais e sub-superficiais da margem continental do Estado do Maranhão. O material colorido encontrado preferencialmente em grãos esqueléticos perfurados é de sulfetos de ferro e manganês, hidróxidos e/ou óxidos. O ferro e o manganês são derivados de sedimentos terrígenos e são reprecipitados sob condições redutoras, influenciados pela atividade de bactérias redutoras de sulfatos, ao redor de centros de matéria orgânica preservada, tal como nos grãos perfurados. Quando os grãos escuros são removidos para a zona oxidante, os sulfetos são transformados em hidróxidos marrons e/ou óxidos. A variação de cor desses grãos carbonáticos reflete, provavelmente, a história deposicional do sedimento e sua distribuição pode ser, pois, utilizada como um indicador da taxa de deposição e erosão, bem como do retrabalhamento.

INTRODUÇÃO Os grãos carbonáticos são predominantemente de cor branca natural. Dos sedimentos superficiais da área dos recifes de corais do Banco de Abrolhos, na costa do Estado da Bahia, e da margem continental do Estado do Maranhão, foram amostrados fragmentos esqueléticos de natureza diversa, coloridos de amarelo, cinza-escuro, marrom e totalmente pretos. As porcentagens desses grãos escurecidos em relação aos grãos de coloração branca natural variam, na área de Abrolhos, de menos de 1% a 7% por amostra analisada (Leão 1982). Nos sedimentos da margem continental do Maranhão testas coloridas de foraminíferos chegam a representar percentuais de até 25% do total de exemplares selecionados (Machado 1981).

Rochas carbonáticas escuras, em seqüências sedimentares antigas, são o resultado de exposição subaérea com infiltração de matéria orgânica de origem algal nos poros das rochas (Ward *et al.* 1970) ou carbonização de restos orgânicos (Shinn *et al.* 1984), e são interpretadas como evidências de descontinuidade deposicional no registro geológico.

Grãos carbonáticos coloridos têm sido detectados em sedimentos marinhos atuais de várias províncias carbonáticas. A maioria das referências trata, apenas, de testas de foraminíferos (Love 1962, Love & Murray 1963, Murray 1966, Maiklem 1967, Almasi 1978), porém calcarenitos parcialmente pretos (Ward *et al.* 1970) e pelots de cor cinza-escuro a preta (Barthel 1974) também estão referidos em áreas de deposição de sedimentos carbonáticos marinhos rasos.

Nas duas áreas selecionadas para estudo foram amostrados fragmentos esqueléticos escuros com o objetivo de se determinar a natureza orgânica ou inorgânica do agente corante, bem como identificar as condições ambientais que contribuíram para o processo de coloração desses grãos.

AMBIENTES ESTUDADOS A seleção das duas áreas foi feita com base em dois trabalhos de tese, durante os quais foi detectada a presença de fragmentos esqueléticos escurecidos em ambientes marinhos onde ocorre sedimentação atual de material carbonático (Leão 1982, Machado 1981).

Banco de Abrolhos O Banco de Abrolhos representa a parte mais larga da plataforma continental do Estado da Bahia, onde sua extensão máxima é de 200 km. A região amostrada localiza-se na parte norte do banco, onde ocorrem recifes de corais, ilhas vulcânicas e bancos de areia, ocupando uma área de aproximadamente 6.000 km², entre as latitudes de 17°20' e 18°10'S e as longitudes de 38°35' e 39°20'W (Fig.1). O clima nessa parte do litoral baiano é do tipo tropical úmido com pluviosidade entre 1.500 e 3.000 mm/ano. Os ventos predominantes sopram de nordeste durante os meses de outubro a fevereiro e de leste durante os meses de março a setembro. Ventos fortes do sul podem ocorrer durante os temporais de inverno entre os meses de maio a agosto. A temperatura do ar varia entre 24°C no inverno e 27°C no verão.

A profundidade das águas na área é em média de 15 m, chegando a um máximo de 30 m no canal que separa os recifes costeiros das ilhas do Arquipélago de Abrolhos. A principal corrente nessa região da plataforma continental é a Corrente Sul Brasileira que deriva do braço sul da Corrente Equatorial. Localmente, ela sofre efeitos das correntes de marés cuja amplitude é de cerca de 2,5 m e, nos canais entre os recifes, apresentam velocidades de até 3 nós. A temperatura na superfície das águas varia entre 24°C no inverno e 28°C no verão, e variações verticais de apenas 2°C a menos são reportadas nas partes mais profundas do banco. Os valores da salinidade mostram variações entre 36,5‰ e 36,7‰.

O aporte de sedimentos dos pequenos rios que

* Programa de Pesquisa e Pós-Graduação em Geofísica, Curso de Pós-Graduação em Geologia, Instituto de Geociências, Universidade Federal da Bahia. Rua Caetano Moura, 123, Campus da Federação, CEP 40210, Salvador, Bahia

desembocam nas áreas próximas aos recifes é insignificante. Os maiores rios nesta parte da costa brasileira são o Jequitinhonha e o Doce, que distam da área estudada cerca de 200 km para norte e para sul, respectivamente. O sedimento de fundo da região próxima à costa é predominantemente constituído de areias quartzosas. Nas zonas que circundam os recifes próximos à costa o teor de sedimentos siliciclásticos varia entre 30% e 70%, porém nas zonas inter-recifais o teor de sedimentos carbonáticos ultrapassa os 70%. Nas zonas próximas às ilhas e aos recifes afastados da costa o sedimento do fundo é predominantemente carbonático. Sedimento cascalhoso ocorre nas zonas que circundam os recifes de corais e as ilhas; material lamoso de natureza predominantemente terrígena ocorre no fundo dos canais que cortam os recifes costeiros e lama carbonática é depositada no fundo dos canais que circundam os recifes afastados da costa.

Figura 1 – Localização da área dos recifes de corais de Abrolhos com situação das amostras de sedimento superficial contendo grãos escurecidos

Figure 1 – Situation of the Abrolhos corals reefs showing sub-superficial sediment samples with dark grains

Margem continental do Maranhão A área estudada da margem continental do Maranhão se estende do largo de Salinópolis até a fronteira do Piauí – Ceará, entre latitudes de 1°30'N e 2°30'S e as longitudes de 41°30' e 46°30'W (Fig. 2). A região amostrada abrange a plataforma, o talude e o sopé continental.

O sudeste, a plataforma é mais estreita, tem cerca de 70 km de extensão e sua quebra ocorre em profundidades em torno de 70 a 80 m. Para noroeste, a plataforma vai-se alargando gradativamente até atingir uma extensão de cerca de 250 km, onde as águas atingem profundidades de até 100 m. O talude continental é estreito e atinge profundidades que variam entre 1.000 e 2.000 m. O clima nessa região é do tipo tropical quente chuvoso, com as chuvas de verão retardadas para o outono, sendo março e abril os meses mais chuvosos. O índice total pluviométrico na cidade de São Luís é em torno de 2.000 mm/ano.

A Corrente costeira Norte Brasileira, que deriva da Corrente Equatorial, atinge esta parte do litoral norte do Brasil, onde sofre a ação das correntes de marés com amplitude de até 8 m. A temperatura das águas superficiais da plataforma é em torno de 26°C, com pouca variação sazonal. A salinidade apresenta valores médios de 36‰, com variações apenas nas proximidades das desembocaduras dos

rios, particularmente o Rio Parnaíba.

Segundo Kowsmann & Costa (1979), o sedimento superficial do fundo das partes interna e média da plataforma é caracterizado pela predominância de depósitos de natureza terrígena, estando os sedimentos carbonáticos praticamente restritos à plataforma externa. Areias fluviais retrabalhadas formam manchas na zona frontal dos rios que desembocam na área e areias cascalhosas de algas coralinas ocorrem nas plataformas interna e média da parte sudeste da área estudada. Os sedimentos carbonáticos da plataforma externa são predominantemente constituídos de testas de foraminíferos, fragmentos de algas coralinas e conchas de moluscos. Recifes de algas calcárias ocorrem na plataforma externa da parte nordeste da área.

Figura 2 – Localização da área estudada da plataforma continental do Maranhão com indicação das amostras de sedimento superficial portadoras de testas coloridas de foraminíferos

Figure 2 – Localization of the studied area of the Maranhão continental platform and indication of the superficial sediment samples with colored foraminifera tests

AMOSTRAGEM E DESCRIÇÃO DO MATERIAL **Sedimento inter-recifal da área de Abrolhos** Na área do Banco de Abrolhos, 53 amostras de sedimento superficial do fundo foram coletadas ao longo de três linhas de amostragem (A, B, C) perpendiculares à costa, a partir da zona da praia até a área dos recifes de corais (Fig. 1). De cada fração granulométrica superior a 0,062 mm, em intervalos de 1φ, foram contados 300 grãos, dos quais foram selecionados os fragmentos esqueléticos escurecidos.

Dois tipos distintos de componentes ocorrem na área: grãos siliciclásticos, que predominam nas áreas próximas da costa, e biodetritos, que são os principais constituintes do sedimento de fundo das áreas que circundam os recifes de corais e as ilhas do Arquipélago de Abrolhos. Na fração mais grossa do sedimento de natureza terrígena, o quartzo e a mica são os constituintes mais comuns, enquanto a caulinita e a illita são frequentes na fração lama que é acumulada nas partes mais profundas das áreas inter-recifais costeiras. Quatorze tipos de fragmentos esqueléticos são os principais constituintes biogênicos. Os mais comuns são os fragmentos de molusco, coral, millepora, alga coralina, alga halimeda, briozoário, equinoderma e testas de foraminífero. Com teores abaixo de 5% ocorrem os tubos de verme, ostracodes, fragmentos de crustáceo, placas de crinóide, espículas de esponja e de alcionária.

Das 53 amostras analisadas, 48 apresentam fragmentos esqueléticos coloridos, sendo que 70% desses grãos estão nas frações granulométricas de 0,250 e 0,125 mm. Esses grãos ocorrem em porcentagens que variam de menos de 1% a 7% dos grãos analisados por amostra e dentre eles as testas de foraminíferos predominam. São comuns os fragmentos de conchas de pelecípodos, conchas de microgastrópodos, colônias de briozoários, ramos tubulares da alga vermelha *Amphiroa* sp., fragmentos de algas coralinas incrustantes e plaquetas da alga verde *Halimeda* sp. (Fig. 3).

Figura 3 – Diferentes tipos de grãos carbonáticos escurecidos: m, microgastrópodo; p, pelcípodo; b, briozoário; h, halimeda; f, foraminífero; a, alga vermelha *Amphiroa*.
Figure 3 – Different types of dark carbonatic grains: m, microgastrópodes; p, pelcípodes; b, bryozhoares; h, halimeda; f, foraminifer; a, red algae *Amphiroa*.

Sedimento superficial e subsuperficial da margem continental do Maranhão O material estudado da margem continental do Maranhão é proveniente de amostras coletadas durante duas missões oceanográficas realizadas pela Diretoria de Hidrografia e Navegação do Ministério da Marinha do Brasil (Operação Norte/Nordeste I) e pelo Projeto REMAC (Operação Geomar VIII). Estas amostras foram cedidas ao Professor Ivan de Medeiros Tinoco, professor orientador da tese de Machado (1981).

Da Operação Norte/Nordeste I foram estudadas 18 amostras de sedimento superficial do fundo da plataforma continental e, da operação Geomar VIII, foram analisadas 13 amostras de sedimento superficial, sendo 11 da plataforma e duas do talude continental (Fig. 2).

Por se tratar de um estudo específico da meio-fauna de foraminíferos, as amostras foram lavadas em uma peneira com malha de 0,062 mm e, de cada amostra, foram isolados, ao acaso, os 200 primeiros exemplares de foraminíferos. Estes grãos foram devidamente acondicionados para a identificação

taxonômica das espécies. Das 18 amostras do sedimento superficial provenientes da Operação Norte/Nordeste I, oito apresentam exemplares coloridos que representam cerca de 15% do total de espécimes isolados em todas as amostras. Na meio-fauna estudada nas amostras da Operação Geomar VIII testas coloridas e moldes escuros foram detectados em seis amostras de sedimento superficial da plataforma. A porcentagem de exemplares coloridos nessas amostras é de cerca de 25% do total de espécimes isolados.

De um modo geral, as testas coloridas dos foraminíferos variam das cores amarela, cinza e marrom à preta, e algumas apresentam-se mosqueadas de amarelo e branco; preto e branco; branco, marrom e amarelo; e marrom e amarelo (Fig. 4). Tanto as formas bentônicas quanto as planctônicas apresentam exemplares coloridos, sendo que nessas últimas as porcentagens são bem menores e entre elas os mais comuns são os exemplares de cor preta.

Vinte e duas espécies bentônicas apresentam testas coloridas: *Amphistegina lessoni*, *Archaias angulatus*, *Elphidium galvestonensis*, *Elphidium poyeanum*, *Florilus grateloupi*, *Hanzawaia bertheloti*, *Peneroplis bradyi*, *Quinqueloculina disparilis curta*, *Quinqueloculina horrida*, *Quinqueloculina lamarckiana*, *Quinqueloculina microcostata*, *Quinqueloculina parkeri*, *Sphaeroidina bulloides*, *Sigmoilina celata*, *Textularia agglutinans*, *Textularia candeiana*, *Textularia gramen*, *Triloculina ablona*, *Triloculina reticulata* forma típica, *Triloculina tricarinata*, *Triloculina trigonula* e *Triloculina somneri*. Testas escurecidas de forma planctônicas ocorrem de preferência entre as espécies *Globigerina dutertrei*, *Globigerinoides conglobatus*, *Globigerinoides ruber*, *Globigerinoides saculiferus* e *Orbulina universa*.

Figura 4 – Ilustração diagramática mostrando a variação da cor das testas de foraminíferos dos sedimentos das áreas estudadas, usando como exemplo formas de Miliolídeos e Archaias.

Figure 4 – Diagram showing the foraminifera forehead color variation of the sediments in the studied areas, using Miliolideos and Archaias forms as examples.

METODOLOGIA E RESULTADOS Levando-se em consideração que normalmente a cor preta das rochas carbonáticas indica a presença de uma concentração substancial de matéria orgânica de sulfeto de ferro ou de

óxido de manganês, grãos brancos e coloridos das amostras de sedimento das duas áreas selecionadas para estudo foram submetidos a vários testes para a determinação dos teores de carbono orgânico, de ferro, de manganês e de enxofre.

A determinação da presença de carbono orgânico foi feita por dois testes. No primeiro, grãos pretos e amarelos foram tratados com água sanitária de uso doméstico, por 24 horas, e observou-se que a cor dos grãos não desvaneceu. No segundo teste, grãos brancos, amarelos e pretos foram aquecidos a uma temperatura de 500°C durante 30 minutos. Os grãos brancos tornaram-se ligeiramente acinzentados, os amarelos adquiriram uma cor cinza-escuro e os pretos permaneceram inalterados. Os resultados desses testes comprovam, portanto, a não existência de matéria orgânica nos poros dos grãos e dessa maneira o agente corante deve ocorrer dentro da fase mineral dos fragmentos esqueléticos.

Para determinar as concentrações de ferro e de manganês, grãos brancos, amarelos e pretos foram analisados por espectrometria por absorção atômica e a concentração de enxofre foi obtida pela fluorescência de raios X. Os resultados dessas análises, como mostra a tabela 1, indicam que: 1. as concentrações de manganês são insignificantes, comparadas às de ferro; 2. os teores de ferro dos grãos coloridos (amarelos e pretos) revelam concentrações significativas para se admitir que o ferro é o principal agente responsável pela coloração dos grãos; e 3. o teor de enxofre dos grãos pretos, quase duas vezes maior do que o dos grãos amarelos, indica que a cor preta é proveniente do sulfeto de ferro.

O ferro dos grãos amarelos deve ocorrer sob a forma de óxido e/ou hidróxido.

Tabela 1 – Teor de S, Fe e Mn dos grãos coloridos e grãos brancos

Table 1 – S, Fe e Mn contents in the colored grains and white grains

GRÃOS	% S	% Fe	% Mn
Brancos	0,3	0,02–0,35	0,002–0,01
Amarelos	0,4	3,4	0,03
Pretos	0,7	1,4–5,2	0,04–0,07

Vários grãos esqueléticos dos sedimentos da área de Abrolhos, apresentando preenchimento interno de coloração cinza-esverdeada, foram analisados pela difratometria de raios X para identificação da possível presença de glauconita e/ou chamosita antigênicas. Os resultados obtidos não indicaram sequer traços desses minerais.

Testes realizados em carapaças de foraminíferos dos sedimentos superficiais da parte sul dos recifes da Grande Barreira Australiana (Maiklem 1967) e da baía da Flórida (Almasi 1978) mostram resultados compatíveis com os teores de enxofre, ferro e manganês encontrados nos fragmentos esqueléticos do sedimento das áreas estudadas. Ainda, a exemplo do que foi observado nas amostras da área de Abrolhos, os resultados das análises pela difratometria de raios X não indicaram a presença de quaisquer outros minerais que pudessem provocar a coloração dos grãos carbonáticos.

IMPLICAÇÕES AMBIENTAIS Condições necessárias à precipitação do ferro

Os sedimentos superficiais de uma plataforma aberta são geralmente oxidados, apresentam um conteúdo bacteriano alto e uma concentração elevada de matéria orgânica (Zobell & Anderson 1936, Zobell 1942, 1946, Krumbein & Garrels 1952). Nessa camada superficial de sedimento, onde há oxigênio livre, grande parte da matéria orgânica é utilizada pelas bactérias aeróbicas e o ferro presente ocorre como óxido e/ou hidróxido (Van

Straaten 1954, Gross 1965). Logo abaixo da interface deposicional, onde não há mais oxigênio livre, o restante da matéria orgânica é consumido pelas bactérias anaeróbicas. Essas bactérias utilizam o sulfato como principal fonte de oxigênio e energia, deixando o enxofre livre, que reage com o ferro presente, formando o sulfeto de ferro hidratado ($\text{Fe S.n H}_2\text{O}$) (Emery & Rittenberg 1952, Love & Murray 1963), que é responsável pela coloração preta dos grãos (Sudgen 1966). Assim, a presença de bactérias anaeróbicas e de matéria orgânica é indispensável para que condições redutoras prevaleçam (Zobell 1942).

A espessura da camada oxidante (aerada) depende da granulometria, da porosidade, do grau de bioturbação do sedimento (Maiklem, 1967) e da taxa de sedimentação da área (Van Straaten 1954).

Segundo Maiklen (1967) e Almasi (1978), as câmaras internas das testas dos foraminíferos constituem microambientes capazes de preservar matéria orgânica mesmo na zona superficial oxidante. Quando essas testas são enterradas alguns poucos centímetros abaixo da superfície, esses minúsculos centros de concentração de matéria orgânica, em presença das bactérias sulfato-redutoras (anaeróbicas), atuam como núcleos favoráveis à precipitação do sulfeto de ferro. Este mesmo processo deve ocorrer no interior das conchas dos micromoluscos, dos utrículos das plaquetas das algas halimeda, dos zoécios dos briozoários, das câmaras celulares das algas vermelhas calcárias e de todos os fragmentos esqueléticos porosos, portadores de resíduos de matéria orgânica e que tenham sido enterrados alguns poucos centímetros abaixo da zona aerada do sedimento, provocando-lhes o escurecimento das paredes dos grãos.

Fonte do Ferro O ferro sedimentar tem sido frequentemente encontrado em áreas associadas com matéria orgânica (Emery & Rittenberg 1952, Van Straaten 1954, Moretti 1957, Love 1962, Love & Zimmerman 1961, Love & Murray 1963) e grãos carbonáticos escurecidos são mais comuns em zonas de mistura de sedimentação terrígena e carbonática (Maiklem 1967).

Em ambas as áreas estudadas há mistura de sedimentos carbonáticos e sedimentos terrígenos. Nas zonas circunvizinhas dos recifes de Abrolhos o conteúdo de material de natureza siliciclástica é superior a 30% (Leão 1982) e, nas zonas interna e média da plataforma continental do Maranhão, os sedimentos terrígenos predominam (Kowsman & Costa 1979). De modo similar ao observado por Maiklem (1967) nos sedimentos da parte sul da Barreira Australiana, nos sedimentos das áreas estudadas o ferro ocorre como óxido na forma de filmes envolvendo os grãos de quartzo, no sedimento argiloso quando presente e/ou na forma coloidal nas descargas dos rios que desembocam próximo às áreas. Esse ferro é relativamente insolúvel no ambiente marinho oxidante e é depositado juntamente com o sedimento. Quando o sedimento é enterrado e condições redutoras prevalecem, o ferro oxidado, na presença das bactérias sulfato-redutoras, é reprecipitado como sulfeto de ferro hidratado coloidal ($\text{Fe S.n H}_2\text{O}$) (Emery & Rittenberg 1952, Love & Murray 1963).

Pirita e marcassita são os sulfetos de ferro naturais nos sedimentos antigos e, segundo Sudgen (1966), o sulfeto de ferro hidratado deve ser um estágio intermediário para a formação da pirita ou marcassita. De acordo com Maiklem (1967), essas observações referentes ao ferro podem ser aplicadas ao manganês, considerando-se terem esses elementos, no sedimento, um comportamento geoquímico similar, embora não idêntico.

Mudança da Cor dos Grãos Quando os grãos escurecidos são removidos para a zona oxidante, por efeito da erosão ou da ação de organismos bioturbadores, o sulfeto de ferro presente é rapidamente oxidado passando para óxido

e/ou hidróxido de ferro, que é responsável pela cor amarronzada dos grãos (Van Straaten 1954). A rapidez com que se opera essa oxidação foi comprovada por Sudgen (1966) em testes de laboratório, quando colocou fragmentos esqueléticos e pellets escurecidas expostas à oxigenação (água ou atmosfera) e observou que os grãos se tornaram oxidados dentro de uma a duas horas.

A presença de grãos com cores variadas branca, preta ou marrom, ou combinações dessas cores, depende da história deposicional do sedimento e da estrutura do grão. Assim, a predominância de grãos brancos pode significar uma taxa de sedimentação muito rápida quando muito material novo foi adicionado ou uma taxa extremamente lenta quando todo o material, longamente exposto, foi totalmente oxidado, e/ou a ausência de ferro. Um teor alto de grãos pretos indica uma alta taxa de bioturbação removendo os grãos escurecidos da camada redutora que deve estar muito próxima à superfície do sedimento e a predominância de grãos marrons pode indicar uma taxa de deposição lenta acompanhada de uma extensa, porém não rápida, ação de bioturbadores que, trazendo à superfície os grãos pretos, estes são rapidamente oxidados. Segundo Maiklem (1967), o caráter mosqueado das testas dos foraminíferos está relacionado com a estrutura do grão. Em alguns casos, o agente corante localiza-se de preferência ao longo das linhas de junção das câmaras, dando um aspecto listrado às testas; pode estar preenchendo microporos das paredes dos grãos ou apenas preenchendo as aberturas e câmaras vazias das carapaças (Fig. 4).

CONCLUSÕES 1. O agente corante dos grãos carbonáticos escurecidos do sedimento das duas áreas estudadas não é de origem orgânica – restos de matéria orgânica disseminada nos poros dos grãos – e, sim, de origem inorgânica e ocorre dentro da fase mineral dos fragmentos esqueléticos.

2. O ferro e o manganês responsáveis pela coloração desses grãos são originários das regiões costeiras adjacentes às áreas estudadas. Eles chegam ao ambiente marinho como filmes envolvendo os grãos terrígenos dos depósitos costeiros e/ou em associação com o material derivado de zonas lateríticas trazido à costa pelas descargas dos rios. Nesses casos, tanto o ferro como o manganês, nas formas de óxidos e/ou hidróxidos, são insolúveis e depositados junto com o

sedimento no ambiente marinho normal.

3. Quando o sedimento superficial é soterrado alguns poucos centímetros da superfície, estes metais entram no ambiente redutor e, na presença de H_2S produzido pelas bactérias sulfato-redutoras, são reprecipitados como sulfetos.

4. Fragmentos esqueléticos porosos constituem microambientes dentro do ambiente maior, mesmo nas zonas aeradas (oxidantes), preservando matéria orgânica que serve de alimento para as bactérias sulfato-redutoras (anaeróbicas). Essas bactérias utilizam o sulfato e deixam o enxofre livre, que reage com o ferro e o manganês presentes no estado redutor. Assim, os sulfetos desse dois metais são encontrados de preferência associados com grãos porosos.

5. Quando esses grãos escurecidos são trazidos da zona redutora para a camada superficial oxidante, os sulfetos pretos são transformados em óxidos e/ou hidróxidos marrons. O tom amarelado depende do grau de oxidação das partículas.

6. Áreas de sedimentação carbonática contendo areias mescladas (grãos brancos, pretos, marrons e amarelos) podem ser usadas para determinação da taxa de sedimentação, taxa de erosão e teor de retrabalhamento do sedimento. Por exemplo: a. a predominância de grãos brancos significa uma taxa de sedimentação muito rápida quando muito material novo foi adicionado, ou uma taxa de sedimentação extremamente lenta quando todos os grãos escurecidos foram totalmente oxidados; b. um alto teor de grãos pretos indica uma alta taxa de retrabalhamento do sedimento, quando os grãos escurecidos da camada inferior, redutora, foram removidos para a superfície; c. a presença predominante de grãos marrons pode indicar uma taxa de sedimentação lenta quando todos os grãos pretos trazidos à superfície por ação da erosão ou de bioturbadores foram expostos à oxidação; e d. teores altos de grãos amarelos indicam um período ainda maior de oxidação do caso anterior.

AGRADECIMENTOS As autoras agradecem aos órgãos financiadores CNPq e Finep, pelos recursos financeiros concedidos pelo Programa de Pesquisa e Pós-Graduação em Geofísica da UFBa; e ao Professor Abílio Carlos da Silva Pinto Bittencourt, pelas sugestões apresentadas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALMASI, M.N. 1978. *Ecology and color variation of benthic Foraminifera in Barnes Sound, Northeast Florida Bay*. 144p. (Ms. Thesis, Univ. of Miami, Florida, U.S.A.).
- BARTHEL, K.W. 1974. Black pebbles fossil and recent, on and near coral islands. In: *INTERN. SYMP. CORAL REEFS*, 2, Australia, *Proceed...* Australia, v. 2 p. 395-399.
- EMERY, K.O. & RITTENBERG, S.C. 1952. Early diagenesis of California basin sediments in relation to origin of oil. *AAPG Bull.*, 36(5):735-806.
- GROSS, G.A. 1965. *Geology of iron deposits in Canada*. 181 p. (Canada Geol. Survey, Rept. 22).
- KOWSMANN, R.O. & COSTA, M.P.A. 1979. Sedimentação quaternária da margem continental brasileira e das áreas adjacentes (relatório final). Rio de Janeiro, Petrobrás-Cenpes, *Série Projeto Remac* 8, p. 7-55.
- KRUMBEIN, W.C. & GARRELS, R.M. 1952. Origin and classification of chemical sediments in terms of pH and oxidation-reduction potential. *J. Geol.*, 60:1-83.
- LEÃO, Z.M.A.N. 1982. *Morphology, geology and developmental history of the southernmost coral reefs of Western Atlantic, Abrolhos Bank, Brazil*. 218 p. (Ph.D. Dissert., Rosenstiel School of Marine and Atmospheric Science, Univ. of Miami, Florida, U.S.A.).
- LOVE, L.C. 1962. Further studies on micro-organisms and the presence of syngenetic pyrite. *Paleontology*, 5:444-459.
- LOVE, L.C. & MURRAY, J.W. 1963. Biogenic pyrite in recent sediments in Christchurch Harbor, England. *Am.J.Sci.*, 261:433-448.
- LOVE, L.C. & ZIMMERMAN, D.O. 1961. Bedded pyrite and micro-organisms from the Mount Isa Shale. *Econ.Geol.*, 59:873-896.
- MACHADO, A.J. 1981. *Foraminíferos dos sedimentos superficiais e subsuperficiais (Plio/Holoceno) da margem continental do*
- Maranhão*. 173 p. (Tese Dout. Univ. Fed. do Rio Grande do Sul).
- MAIKLEM, W.R. 1967. Black and brown speckled foraminiferal sand from the southern part of the Great Barrier reef. *J.Sedim.Petrol.*, 37(4):1023-1030.
- MORETTI, F.J. 1957. Observations on limestones. *J.Sedim.Petrol.*, 27(3):282-292.
- MURRAY, J.W. 1966. The Foraminifera of the Persian Gulf, 4 Khoral Bazam. *Paleogeogr., Paleoclimat., Paleoecol.*, 2:153-169.
- SHIN, E.A.; ROBBIN, D.M.; LIDZ, B.H. 1984. Fire and limestones: origin of black pebbles. *AAPG Bull.*, 68(4):527.
- SUDGEN, W. 1966. Pyrite staining of pelley debris in carbonate sediments from the Middle East and elsewhere. *Geol.Mag.*, 103(3):250-256.
- VAN STRAATEN, L.J.V. 1954. Composition and structure of Recent sediments in the Netherlands. *Leids Geol. Medel.*, Leiden, 19:1-110.
- WARD, W.C.; FOLK, R.L.; WILSON J.L. 1970. Blackening of eolianite and caliche adjacent to saline lakes, Isla Mujeres, Quintana Roo, Mexico. *J.Sedim.Petrol.*, 40(2):548-555.
- ZOBELL, C.E. 1942. Changes produced by microorganisms in sediments after deposition. *J.Sedim.Petrol.*, 12(3):127-136.
- ZOBELL, C.E. 1946. Studies of redox potential of marine sediments. *AAPG Bull.*, 30(4):477-514.
- ZOBELL, C.E. & ANDERSON, D.Q. 1936. Vertical distribution of bacteria in marine sediments. *AAPG Bull.*, 20(1):258-269.

MANUSCRITO 570

Recebido em 15 de agosto de 1988

Revisão do autor em 12 de dezembro de 1988

Revisão aceita em 12 de dezembro de 1988