

PLACERES MARINHOS

Cleverson G. Silva

Received August 22, 2000 / Accepted August 08, 2001

Os principais placeres marinhos situam-se nas praias atuais, ou foram formados em decorrência dos eventos de oscilação do nível do mar que caracterizaram o período Quaternário, ora expondo grandes áreas da plataforma continental, ora afogando porções das planícies costeiras. Em razão destes eventos, os depósitos aluviais e coluviais, que contém importantes concentrações de minerais pesados, são afogados e permanecem preservados na plataforma continental, onde são retrabalhados pelas correntes costeiras e ondas, promovendo a re-concentração dos minerais mais densos, como a ilmenita, zircão, cassiterita, ouro e diamantes. As principais atividades de mineração de placeres marinhos concentram-se hoje na plataforma continental da Namíbia e África do Sul, onde se extrai o diamante e no sudeste da Ásia, onde é explotada a cassiterita. Importantes extrações dos minerais ilmenita, zircão, rutilo e monazita, ocorrem na Austrália, Sri Lanka, Índia e também no Brasil, no litoral norte do Rio de Janeiro. Atividades importantes de extração de ouro ocorreram nas praias e plataforma continental do Alaska, encerrando-se na década de 90. A tecnologia envolvida na exploração de recursos minerais marinhos chega a ser altamente sofisticada, como observa-se na Namíbia e África do Sul, onde são empregados volumosos navios, com sondas rotativas especialmente desenvolvidas, robôs e tratores submarinos com possantes bombas de sucção, remotamente controlados, para extração do substrato cascalhoso onde ocorrem os diamantes, em lâminas d'água que atualmente já atingem 200 m de profundidade. O impacto ambiental decorrente das atividades de dragagem para exploração dos placeres marinhos é substancial na área de operação e deve ser constantemente monitorado e controlado por legislação eficaz e por órgãos ambientais e de fiscalização eficientes. Neste trabalho, apresentamos uma revisão dos principais conceitos sobre a gênese dos placeres marinhos, sobre as principais áreas de ocorrência e técnicas exploratórias mundiais e no Brasil e sobre os impactos ambientais decorrentes de sua extração.

Palavras-chave: Plataforma Continental; Minerais Pesados.

MARINE PLACERS *Marine placers are located on present beaches or are related to the Quaternary sea level oscillatory events, which exposed large areas of the continental shelf or covered portions of the coastal plains. The transgressive sea level events drowned alluvial and colluvial deposits including important heavy minerals concentrations further reworked by current and wave action. This mechanism promoted the re-concentration of the denser minerals such as ilmenite, zircon, tin, gold and diamonds. The main exploration activities of marine placers are located on Namibian and South African continental shelves, for diamonds, and on the Southeast Asia, for tin. Important extraction of ilmenite, zircon, rutile and monazite sands occurs in Australia, Sri Lanka and India, as well as on the northern Rio de Janeiro State, Brazil. Gold extraction on beaches and on the continental shelf offshore Alaska ceased during the nineties. The technology involved on the exploitation of marine minerals can be highly sophisticated, as observed in Namibia and South Africa, employing massive ships, with specially designed rotation drills, submarine robots and track-mounted vehicles, equipped with powerful suction pumps, remotely controlled. These equipment are used to extract the gravel substrate containing the diamonds in water depths approaching 200 m. The associated environmental impact in dredged areas is substantial and must be constantly monitored and controlled by an efficient legislation and by the local environmental agencies and controlling*

organisms. This paper presents a review of the current knowledge about the origin of the marine placers, the main world's and Brazilian occurrences and exploration techniques and the principal environmental impacts associated with its exploitation.

Key words: *Continental Shelf; Heavy Minerals.*

Universidade Federal Fluminense
Departamento de Geologia/Laboratório de Geologia Marinha – LAGEMAR
Av. Litorânea s.n., Gragoatá, Niterói, RJ, 24.210-340
Telefone e fax: (5521)2719-4241
Email: cleverson@igeo.uff.br

INTRODUÇÃO

Placeres (*placers*) são acumulações sedimentares formadas pela concentração mecânica de minerais detríticos de valor econômico, incluindo diversos bens metálicos ou pedras preciosas, originados a partir da decomposição e erosão de rochas-fonte, principalmente ígneas, mas também de rochas metamórficas e sedimentares.

Estes minerais detríticos são geralmente conhecidos como “minerais pesados”, em função de sua alta gravidade específica (entre 21 e 2,9 g/cm³) superior à do quartzo (2,65 g/cm³). Segundo Emery e Noakes (1968), os placeres são compostos por minerais pesados “pesados” (gravidade específica entre 21 e 6,8 g/cm³), por minerais pesados “leves” (gravidade específica entre 5,3 e 4,2 g/cm³) e por gemas (gravidade específica entre 4,1 e 2,9 g/cm³). Os pesados “pesados” são transportados apenas por curtas distâncias (15 a 20 Km) e englobam principalmente o ouro, a platina e a cassiterita. Os pesados “leves” chegam mais comumente às zonas costeiras, concentrando-se em ambientes de deposição de alta energia. Eles compreendem principalmente a ilmenita, o rutilo, o zircão, a monazita e a magnetita. Entre as gemas destaca-se o diamante, que se concentra principalmente em aluviões, mas também em praias e na plataforma continental.

Nas regiões costeiras e plataforma continental, os depósitos de minerais pesados têm sua gênese associada aos fenômenos de erosão, transporte e deposição de sedimentos pela ação das ondas e correntes costeiras, em íntima associação com as modificações decorrentes das variações eustáticas do nível do mar que caracterizaram todo o período Quaternário. Em função destas modificações do nível

marinho, muitas concentrações são também associadas a depósitos fluviais, que recobrem grande parte da plataforma continental, exposta durante fases de nível mar baixo e que foram posteriormente afogadas, pela transgressão marinha que ocorreu no final do Pleistoceno e início do Holoceno.

Provavelmente, com exclusão do sal marinho, os placeres de minerais pesados foram os primeiros depósitos minerais marinhos explorados pelo homem. Existem relatos de exploração de depósitos praias de cassiterita, na região de Cornwall, Inglaterra, que eram transportados pelos fenícios para o porto de Cadiz, Espanha, no período entre 1000 a 200 anos antes de Cristo (Lewis, 1908, apud Yim, 2000). A exploração semi-mecanizada, e mecanizada, teve início já no início do século passado, com a exploração submarina de cassiterita, na plataforma continental sul da Tailândia, a partir de 1907 (Yim, 2000) e com a recuperação de ilmenita, monazita e rutilo nas praias do estado de Kerala, na Índia, a partir de 1910 (<http://www.kmml.com>).

Placeres marinhos de outros bens minerais têm sido explorados em diversos locais do mundo, sendo que, mundialmente, a principal fonte de titânio provém dos minerais ilmenita e rutilo derivados de depósitos de diferentes praias da Austrália, África, Ásia, Américas do Norte e do Sul. Economicamente, no entanto, destacam-se, por seu alto valor agregado, os depósitos marinhos de diamantes da África do Sul e Namíbia, e os depósitos de ouro, explorados no Alaska e Nova Zelândia.

Neste trabalho, apresenta-se uma revisão das principais ocorrências mundiais de placeres marinhos e costeiros, com referências à gênese dos depósitos, reservas, volumes recuperados e técnicas correntes de exploração, assim como os principais impactos



Figura 1 – Falésia marinha em Ponta do Retiro no litoral norte do Rio de Janeiro. Os minerais pesados derivados da erosão dos sedimentos do Grupo Barreiras que formam as falésias, são concentrados na base das falésias por ação das ondas e correntes marinhas, gerando os placeres de praia.

ambientais decorrentes de sua exploração.

GÊNESE DOS PLACERES

Os minerais pesados que compõem os placeres marinhos são oriundos de rochas fontes, ígneas, sedimentares ou metamórficas, que sofreram intemperismo e erosão, desagregando e liberando os minerais detríticos para o transporte pelos agentes superficiais (rios, vento, águas pluviais, gelo e ação da gravidade). Uma vez liberados das rochas fonte, estes minerais pesados podem ser transportados até o litoral, junto com outros minerais detríticos, onde a ação das ondas e correntes costeiras, ocasiona a retirada dos minerais mais leves e concentra aqueles cujas densidades são mais elevadas, dando origem aos placeres de praias (Fig. 1).

Muitos placeres marinhos, no entanto, têm sua

origem relacionada às variações do nível do mar que ocasionaram períodos de exposição sub-aérea (regressões) e subsequente afogamento (transgressões) de extensas áreas da atual plataforma marinhas caracterizam o período Quaternário e foram modulados por mudanças climáticas, que ocasionaram o desenvolvimento das calotas polares nos períodos glaciais e seu posterior degelos, nos períodos interglaciais. As variações no volume das geleiras, foram acompanhadas pelas mudanças eustáticas do nível do mar, ou seja, nível do mar baixo e exposição da plataforma continental em fases glaciais e afogamento durante fases interglaciais. O máximo da última fase de nível de mar baixo ocorreu há 18.000 anos, quando a linha de costa situava-se nas proximidades da quebra da plataforma continental, cuja profundidade atual ocorre em média entre 75 a 120 m.

Nas fases de nível do mar baixo, em função do rebaixamento do nível de base, ocorreu o encaixamento erosivo dos canais, que em muitos locais atingiram até a borda da plataforma continental, erodindo as cabeceiras dos cânions submarinos que se estendem talude abaixo. Durante estes períodos, o fluxo de sedimentos para o mar profundo foi feito principalmente através destes cânions, por intermédio de fluxos de detritos e correntes de turbidez.

Os depósitos fluviais, formados na extensa planície costeira que se estendia por toda a plataforma continental durante as fases de nível do mar baixo do final do Pleistoceno, foram afogados pela transgressão marinha holocênica (Fig.2). Durante este processo, depósitos de minerais pesados de interesse econômico associados aos antigos cursos fluviais,

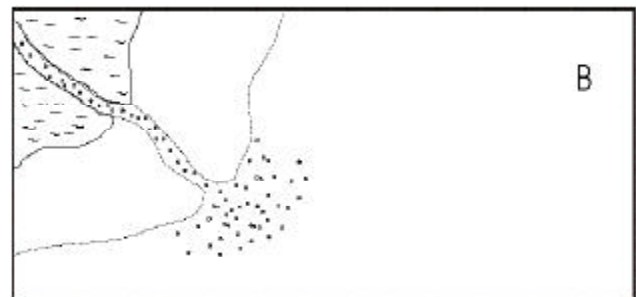
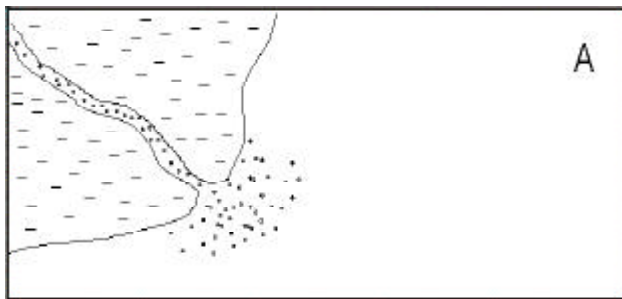


Figura 2 – Gênese dos depósitos de minerais pesados durante o afogamento do litoral em função da elevação do nível do mar. Depósitos fluviais e deltaicos, incluindo o canal fluvial e as barras arenosas submarinas na desembocadura do canal (A) são afogados pela transgressão marinha, permanecendo na plataforma continental como depósitos submersos (B) que por sua vez são retrabalhados pela ação das correntes costeiras e pelas ondas.

foram parcialmente retrabalhados e redistribuídos no lençol de areias transgressivas que recobriu grande parte da plataforma continental. Este lençol transgressivo foi posteriormente recoberto por lamias e carbonatos de borda de plataforma, à medida que o nível do mar se elevava. Desta forma, ocorreu uma diluição das concentrações originais de pesados.

No entanto, alguns depósitos importantes, de interesse econômico, ficaram preservados nos talwegues dos antigos canais afogados (Fig. 2). Estes depósitos apresentam principalmente minerais de densidades elevadas, como os depósitos fluviais de cassiterita, atualmente submersos nas plataformas continentais da Tailândia, Malásia e Indonésia que estão em exploração já por quase um século, nas regiões próximas da costa. Os depósitos de diamantes da Namíbia e África do Sul também têm origem semelhante.

Outros depósitos igualmente interessantes em termos de concentrações econômicas de pesados, foram resultantes do retrabalhamento pelas correntes de fundo do lençol de areias transgressivas. Estes depósitos ocorrem principalmente em regiões de alta energia de ondas e correntes, que promovem o transporte e retrabalhamento dos minerais detríticos, concentrando-os em irregularidades pré-existentes do fundo submarino, ou mesmo em associação com formas de fundo como ondas de areia e dunas arenosas submarinas. Exemplos destes últimos depósitos situam-se na plataforma continental sul do Brasil, na forma de cristas arenosas submarinas ao largo do farol de Albardão no Rio Grande do Sul

(Palma, 1979).

PRINCIPAIS OCORRÊNCIAS E ATIVIDADES EXPLORATÓRIAS MUNDIAIS

Os placeres marinhos são explorados em uma diversidade de locais nas linhas de costa e plataformas continentais em todo o mundo (Tab. 1). Segundo Seibold e Berger (1996), 70% da produção mundial de zircão vêm de depósitos de placeres marinhos do leste de Austrália. Placeres de diamantes em praias e na plataforma continental ocorrem a sudoeste da África e Namíbia. Minerações de magnetita em placeres marinhos desenvolvem-se em regiões do Japão e da Nova Zelândia. O ouro é explorado em placeres de praias do Alaska (EUA); ilmenita em praias da Índia, Califórnia e leste da Flórida (EUA); cromita, ouro, platina e outros pesados em praias do Oregon (EUA); cassiterita na Tailândia, Malásia e Indonésia.

A exploração dos depósitos de diamantes da África do Sul e Namíbia merece destaque pelos altos investimentos e tecnologias envolvidas para exploração em áreas da plataforma continental e talude, atingindo lâmina d'água de até 200 m. Estes investimentos são compensados pela qualidade e quantidade dos diamantes extraídos, que resultam em lucros elevados, da ordem de US\$ 10 a US\$ 50 milhões por ano (Garnett, 2000a).

As primeiras descobertas de diamantes na costa da Namíbia e África do Sul datam de 1908, quando foram encontrados depósitos diamantíferos

Bem Mineral	Utilização Principal	Ocorrência
Ouro	Ornamento	Alaska, Nova Zelândia, Gana, Filipinas, Chile e Argentina
Diamante	Jóias, Corte	África do Sul, Namíbia, Austrália, Indonésia
Cassiterita	Cobertura metálica	Indonésia, Malásia, Tailândia, Austrália, Tasmânia, Inglaterra
Rutilo	Pigmento, metal	Austrália, Sri Lanka, EUA
Ilmenita	Pigmentos	África do Sul, Índia, Austrália, Sri Lanka, Senegal, Flórida, Madagascar, Brasil, EUA
Magnetita	Aço	Nova Zelândia, Indonésia, Filipinas, Japão
Zircão	Refratários, opacificantes cerâmico	Austrália, Índia, EUA, Brasil, Sri Lanka
Granada	Abrasivos	Austrália, Índia
Monazita	Catalizadores	Austrália, Índia, Brasil
Silimanita	Refratários	Índia
Apatita	Fertilizantes	Perú, Chile

Tabela 1 – Principais ocorrências de depósitos de minerais pesados (modificado de Kudrass, 2000).

nas praias atuais e em antigos terraços de praias, atualmente distantes da linha de costa. Os diamantes, transportados pelos cursos fluviais que desembocam na linha de costa, são oriundos de corpos kimberlíticos existentes no interior e foram retrabalhados pela ação das ondas e correntes marinhas gerando os placeres costeiros. Durante fases de nível do mar baixo, os cursos fluviais estendiam-se também até a borda da plataforma continental atual, dando origem aos depósitos atualmente submersos, que podem se situar até profundidades de 500 m. Os diamantes nos depósitos submersos concentram-se junto a cascalhos que normalmente ocorrem sobrepostos ao embasamento rochoso. As principais ocorrências são associadas a irregularidades do fundo submarino que serviram como armadilha para concentração dos diamantes (Garnett, 2000). Mais de 100 milhões de quilates foram retirados dos depósitos praias emersos, que já se encontram em fase final de exploração. As atenções atuais voltam-se para os depósitos submersos, atingindo níveis de produção de mais de 750 mil quilates por ano, com reservas estimadas entre 1 a 3 bilhões de quilates (www.diamondfields.com).

Os depósitos marinhos de cassiterita do sudeste da Ásia, principalmente na Indonésia, Malásia, vêm sendo explorados desde o início do século 20, em profundidades de lâmina d'água de até 50 m. Estima-se que no final da década de 60, a produção chegou a atingir 10.000 toneladas de concentrado de cassiterita, rendendo cerca de 24 milhões de dólares, no entanto, a produção marinha declinou sobremaneira a partir de meados da década de 80, em função dos baixos preços da cassiterita no mercado internacional, após descobertas de importantes reservas em terra localizadas no Brasil (Yim, 2000).

Os principais placeres de cassiterita são de origem aluvial ou coluvial, associados a depósitos fluviais e leques aluviais de idade terciária e pleistocênica, afogados e recobertos por sedimentos marinhos holocênicos (Yim, 2000). Concentrações nas praias atuais e em antigas praias submersas também foram relatadas, porém são secundárias em termos de reservas e interesse exploratório (Hosking, 1971 apud Yim, 2000).

Os depósitos de ouro da praia de Nome, no Alasca, foram descobertos em 1900, tendo produzido

mais de 140 toneladas até 1990, quando as operações foram encerradas. A exploração em mar aberto, começou em 1987, também encerrando em 1990, após produção de mais de 3 toneladas de ouro, com uma taxa de recuperação de 824 mg/m³. Os depósitos são de origem glacial, retrabalhados por agentes marinhos, em ambientes de praia e de plataforma continental interna, e se estendem por mais de 5 km mar adentro, até profundidades de 20 m. Os depósitos primários de ouro foram erodidos pela ação das geleiras e os sedimentos depositados nas morainas frontais e laterais. Durante repetidos eventos de transgressões e regressões marinhas, os sedimentos contendo ouro foram retrabalhados e re-depositados em praias que atualmente acham-se elevadas, em relação ao nível do mar atual, ou então submersas na plataforma continental (Garnett, 2000).

A exploração de zircão, rutilo e ilmenita, que normalmente ocorrem junto em areias de praias e areias eólicas em depósitos atuais e pretéritos, tem sido extensiva em países como a Austrália, EUA, Brasil, Sri Lanka e Índia. A corporação Iluka, de origem Australiana, é detentora das principais reservas na Austrália (112 milhões de toneladas), Sri Lanka (119 milhões de toneladas) e EUA (25 milhões de toneladas), sendo a principal fornecedora de zircão e a segunda maior fornecedora de ilmenita em todo o mundo (www.iluka.com). Apenas esta corporação, reportou para o ano de 2000, a produção de 201 mil toneladas de rutilo, 1,4 milhões de toneladas de ilmenita e 315 mil toneladas de zircão. Estes minerais são também largamente explorados na Índia, em suas costas leste e oeste, que apresentam jazidas de 278 milhões de toneladas de ilmenita, 18 milhões de toneladas de zircão e 13 milhões de toneladas de rutilo (Rajamanickam, 2000).

PRINCIPAIS OCORRÊNCIAS E ATIVIDADES EXPLORATÓRIAS NO BRASIL

No Brasil, as principais áreas de exploração de minerais pesados ocorrem em placeres associados a terraços marinhos elevados situados acima, ou adjacentes a falésias do Grupo Barreiras, no litoral sul da Bahia, Espírito Santo e norte do estado do Rio de Janeiro. Estas ocorrências, que já são conhecidas

desde o século passado, tiveram como rocha fonte os sedimentos semi-consolidados do Grupo Barreiras que foram erodidos pela ação das ondas e correntes costeiras, formando falésias e plataformas de abrasão, sobre as quais situam-se os placeres marinhos. Nos



Figura 3 – Exploração de minerais pesados no litoral norte do estado do Rio de Janeiro, em áreas de concessão das Indústrias Nucleares Brasileiras. A exploração é feita por intermédio de pás carregadeiras e as areias são transportadas para a usina de beneficiamento da empresa localizada no vilarejo de Buena. O rejeito é trazido de volta para a área de exploração, recompondo a topografia original.

locais onde os sedimentos do Grupo Barreiras atingem o litoral, observa-se, na praia atual, a ação preponderante das ondas e correntes costeiras, provocando a erosão das falésias e concentrando os minerais pesados, que são ricos em ilmenita, zircão, rutilo e monazita (Fig. 1). Os mesmos processos erosivos e deposicionais ocorreram em condições de nível do mar superior ao atual, durante o Quaternário, dando origem aos placeres atualmente elevados, muitas vezes adjacentes a linhas de falésias “fósseis” que marcam o limite interno das planícies costeiras quaternárias.

A exploração destes recursos minerais foi exercida pela Nuclemon (Nuclebrás Monazita S.A.) na década de 70, sendo posteriormente sucedida pelas Indústrias Nucleares Brasileiras (INB), cuja base operacional situa-se na localidade de Buena, no litoral norte do estado do Rio de Janeiro (Fig. 3). A produção atual reportada pela INB é de 20 mil toneladas/ano de ilmenita, 720 toneladas/ano de rutilo, 9 mil toneladas/ano de zircão e mil toneladas/ano de monazita (www.inb.gov.br).

Na plataforma continental brasileira ocorrem áreas com concentrações anômalas, apresentando teores acima de 0,5% de pesados na amostra total (Palma, 1979). Na plataforma continental norte/nordeste, as anomalias situam-se ao largo de Salinópolis (PA) e no trecho Jaguaribe-Apodí, onde ocorrem teores entre 0,5 e 2,4%. Na plataforma continental nordeste/leste, foram detectadas concentrações com teores superiores a 1%, nas áreas ao largo das desembocaduras dos rios Pardo e Jequitinhonha (BA) e Doce (ES), além de trechos defronte às cidades de Itapemirim e Guarapará (ES), até a cidade de Itabapoana (RJ). São ocorrências de zircão-ilmenita, com concentrações secundárias de monazita em certos trechos. Entretanto, as maiores concentrações (teores de até 5% de pesados) situam-se em paleocanais afogados ao largo do delta do rio Paraíba do Sul (RJ). Aí, o mineral principal é a ilmenita, seguida pelo zircão, rutilo e monazita. Na plataforma sudeste/sul, entre Iguape (SP) e Paranaguá (PR), teores anômalos de ilmenita (0,6 a 1,4%) são também relacionados a paleocanais afogados. Na plataforma do Rio Grande do Sul, ao largo das lagoas Mirim e dos Patos, ocorrem três áreas com teores anômalos de zircão e ilmenita em frente à barra de Rio Grande (teores de até 2,4%) e, as mais importantes, ao largo do Farol de Albardão, que apresentam teores localmente superiores a 1% e a 5,4%, principalmente de ilmenita (Amaral, 1979).

Apesar destas ocorrências, em nossa plataforma continental ainda não foram confirmados depósitos de minerais pesados de interesse econômico. Um dos objetivos do Programa de Reconhecimento dos Recursos Minerais da Plataforma Continental Brasileira, o chamado Projeto REMPLAC, recém instituído pelo Governo Brasileiro, é o de identificar e estudar sítios potenciais para a ocorrência destes recursos minerais, visando delimitação de possíveis jazidas.

MÉTODOS DE PROSPECÇÃO E EXPLORAÇÃO

A prospecção das jazidas de minerais pesados na plataforma continental baseia-se principalmente em métodos geofísicos, para determinação da espessura sedimentar e para a visualização das principais

superfícies de discordância e das irregularidades do fundo e sub-fundo marinho. Principalmente utilizam-se levantamentos batimétricos e sonográficos do fundo, associados a levantamentos sísmicos, com equipamentos de alta resolução, tipo *boomer*, *sparker*, ou mini *air-gun*.

O levantamento sísmico é sucedido por campanhas de testemunhagem e sondagem, objetivando atingir os depósitos e superfícies discordantes visualizados na sísmica. Como os sedimentos contendo os minerais pesados são normalmente areias ou cascalhos, os testemunhadores a gravidade ou pistão são muito pouco efetivos. Portanto, utilizam-se equipamentos mais robustos, como os *vibracores*, sondas Banka, sondas rotativas ou à percussão, ou sondas por *air-lift* ou *jet-probe*. A escolha do método de amostragem, depende do tipo de material a ser penetrado, da profundidade do objetivo e da lâmina d'água.

A exploração dos pesados é feita por dragagem, que pode ser hidráulica ou mecânica. Imensas dragas mecânicas, com caçambas com capacidade para 850 litros (0,85 m³) foram utilizadas na exploração de ouro no Alaska, posteriormente substituídas por um trator submarino operado remotamente a partir de um cabo umbilical ligado ao navio. Este veículo, que pesava 25 toneladas, era equipado com uma imensa draga hidráulica com capacidade para sucção de sólidos de até 250 mm de diâmetro, acionada por uma bomba d'água com capacidade de 9690 litros/minuto. Jatos d'água sob forte pressão eram utilizados na boca da draga, para fragmentar os sedimentos semi-consolidados. A vantagem do trator submarino sobre a draga por caçambas foi a de proporcionar maior controle e seletividade quanto ao exato local a ser dragado, além de maior efetividade de dragagem, com taxas de 120 m³/hora em areias e 26 m³/hora em cascalho em profundidades médias de 15 metros (Garnett, 2000b).

A exploração de diamantes na Namíbia e África do Sul, quando em águas rasas de até 30 m, é feita de maneira seletiva por intermédio de mergulhadores que operam dragas de sucção (*air-lift*), exatamente nos locais de maior interesse, como irregularidades do fundo ou concavidades onde as concentrações de diamantes são mais elevadas. Em águas mais profundas, ou em condições de fundo submarino com

blocos e cascalhos volumosos ou fundos endurecidos, são utilizadas sondagens rotativas de largo diâmetro (até 10 m), denominadas de “Wirth drill”. Estas sondas, operam em até 200 m de profundidade, de maneira rotativa, como uma gigantesca enceradeira, realizando furos circulares e colhendo os sedimentos, até atingir o objetivo. A exploração é realizada pela sobreposição das sondagens circulares à medida que o navio vai avançando, sendo controlada por veículos remotos e por submarinos (Fig. 4). A operação da De Beers Marine em uma destas áreas, indica que cada bloco de 50 m X 50 m, contendo 120 orifícios de sondagem, normalmente fornece 2000 quilates de diamantes em um período de operação de 24 horas (Garnett, 2000a). Veículos submarinos de mineração,



Figura 4 – No alto, navio sonda e submarino utilizados pela De Beers para exploração de diamantes na costa da África do Sul e Namíbia (www.debeersgroup.com). A foto inferior mostra detalhes da cabeça da sonda rotativa modelo “Wirth Drill”, utilizada pela Diamond Fields International na exploração de diamantes na Namíbia (www.diamondfields.com).

operados remotamente a partir de cabos umbilicais ligados ao navio, também são utilizados na exploração de diamantes em profundidades de até 200 m. Estes veículos, como no caso da exploração de ouro no Alaska, utilizam sistemas de sucção para retirar os

sedimentos do fundo, e conseguem cobrir uma área de até 1000 m² por dia, com capacidade para retirar 1 milhão de metros cúbicos de sedimentos do fundo por ano (Garnett, 2000).

A exploração dos placeres de praias é normalmente feita por pás-carregadeiras, ou através de sucção hidráulica. Neste último caso os sedimentos superficiais são removidos até que seja atingido o lençol freático, criando-se um grande lago onde é instalada uma unidade de dragagem. O material dragado é despejado diretamente nos concentradores por gravidade (espirais de Humphreys) que fazem a pré-concentração do material antes de ser encaminhado para a usina para posterior re-concentração e processamento.

IMPACTOS AMBIENTAIS ASSOCIADOS

Os impactos ambientais da exploração de recursos minerais marinhos por intermédio de dragagens são imediatos em diversos níveis, incluindo: a lâmina d'água, o fundo submarino e seus organismos, a linha de costa e até mesmo sobre as comunidades costeiras que dependem do mar para sua sobrevivência, uma vez que as atividades de mineração interferem diretamente com a pesca, a navegação e o turismo.

Virtualmente quase todos os tipos de sedimentos do fundo submarino são habitados por assembléias de organismos bentônicos, que podem viver junto à superfície (epifauna) ou em subsuperfície (infauna), normalmente nas primeiras dezenas de centímetros abaixo do fundo marinho (Saila, 1976). Estes organismos são parte importante da cadeia alimentar, sendo o principal alimento dos peixes demersais, especialmente nas plataformas continentais. Quaisquer intervenções no fundo submarino, seja para a mineração, através de dragagens, ou para o descarte do rejeito do material após retirada do bem mineral, irão provocar alterações na quantidade, distribuição e deposição dos sedimentos, com óbvios impactos principalmente sobre a comunidade bentônica.

Parece evidente, que ocorrerá uma significativa redução da densidade de organismos bentônicos logo após operações de dragagens e descarte de rejeitos

sob o fundo submarino. No entanto, existe ainda grande controvérsia sobre a taxa de recolonização destas áreas pelos organismos bentônicos (Saila, 1976). Certamente, estas taxas variam de local para local, em função das características intrínsecas do ecossistema, que incluem fatores físicos e bióticos, tais como temperatura e transparência da água, quantidade de sedimentos em suspensão, hidrodinâmica das correntes de fundo e estrutura da comunidade bentônica. Os ecossistemas marinhos, na interface sedimento – lâmina d'água respondem, portanto, diferentemente em grau de sensibilidade ambiental, em função da conjugação destes diferentes fatores.

Os efeitos da dragagem do fundo submarinos sobre os organismos bentônicos resultam de diferentes processos, dentre os quais: a eliminação direta dos organismos na área dragada; a mudança na turbidez da água diminuindo sua produtividade e impedindo a luminosidade de atingir o fundo; a modificação do substrato marinho; o despejo de rejeitos sobre o fundo submarino, eliminando grande parte da população bentônica que não tem condições de escapar para a superfície após o soterramento.

O efeito da modificação do substrato após a dragagem é considerável em algumas regiões, uma vez que muitas espécies bentônicas são exclusivas de determinados tipos de fundo. Isto afeta também os organismos nectônicos, uma vez que muitas espécies de peixes são seletivas em sua dieta alimentar, consumindo apenas determinados tipos de organismos bentônicos. Um efeito indesejável da modificação do substrato é a destruição de nichos ecológicos utilizados como berçários por muitas espécies, como no caso dos arenques que habitam o Mar do Norte e que utilizam substratos de cascalho para a desova. A destruição destes substratos para dragagens de cascalho para construção tem influências diretas na diminuição desta espécie de peixes (De Groot, 1979).

Estudos realizados na região de Rhode Island (EUA) demonstram que a taxa de recuperação dos organismos bentônicos é lenta podendo levar décadas para novamente atingir o equilíbrio anterior à dragagem (Saila, 1976).

Outro efeito decorrente das operações de dragagem é a modificação da temperatura e salinidade

das águas de superfície, uma vez que as águas de fundo são normalmente mais frias e salinas do que as águas superficiais. Estas modificações têm efeito direto na produtividade e distribuição das comunidades plantônicas e nectônicas.

As modificações da morfologia do fundo em regiões próximas à costa, associadas às áreas de dragagem, também podem resultar em modificações no padrão de circulação costeira, com consequente erosão do litoral, uma vez que as depressões resultantes das dragagens podem funcionar como armadilhas de sedimentos, impedindo o trânsito livre de material nas proximidades da linha de costa (Boutmin, 1986).

Medidas de controle e monitoramento ambiental são de uso corrente nas áreas de exploração sendo mais ou menos efetivas, de acordo com a legislação ambiental vigente e com a eficiência dos órgãos de controle ambiental dos diversos países que participam de atividades exploratórias no mar. Os diversos programas incluem diferentes fases de estudos ambientais durante o empreendimento, sempre incluindo o diagnóstico, avaliação de impacto e monitoramento ambiental. A delimitação das áreas de exploração, conservando-se áreas de maior sensibilidade ambiental e a limitação da extensão dos blocos e do volume/espessura máxima permitida para exploração, tem sido uma forma comum de controle definida pela regulamentação ambiental de muitos países (por exemplo África do Sul, Austrália). Outra medida importante é a observação das áreas de descarte e a conservação de áreas de preservação permanente, reconhecidas como áreas de grande produtividade ou como berçários para espécies de importância econômica reconhecida.

O impacto da extração em áreas costeiras também é considerável, porém pode ser mais facilmente controlado, além de permitir a recomposição ambiental. A extração diretamente nas praias atuais tem sido proibida em muitos países, inclusive no Brasil, em função das implicações imediatas sobre o estoque de areias das praias, modificando os padrões de circulação e facilitando a erosão costeira, sem falar no impacto direto sobre a fauna, flora e sobre as atividades de pesca, lazer e turismo. A extração de depósitos eólicos e de terraços

de praia suspensa provoca a destruição das espécies nativas, além de interferir com ambientes sensíveis, como manguezais e restingas. Uma técnica comum de recomposição ambiental nestas áreas é a raspagem e estocagem do solo, que após a retirada do bem mineral e devolução do rejeito, retorna ao local de extração, onde então se promove o replantio das espécies originais, ou a recomposição de pastagens. Cuidados especiais também têm que ser dirigidos para o controle da poluição sobre os aquíferos, principalmente a partir das unidades de dragagem e das unidades de processamento dos recursos minerais.

CONCLUSÕES

A exploração dos placeres marinhos vem sendo uma importante atividade de mineração em muitos países, contribuindo para o fornecimento expressivo de alguns recursos minerais como a ilmenita, rutilo, zircão, cassiterita, ouro e diamantes. No Brasil as iniciativas têm sido esparsas e descontínuas, sobressaindo-se apenas a exploração dos depósitos de minerais pesados em praias e cordões arenosos litorâneos no estados da Bahia, Espírito Santo e litoral norte do Rio de Janeiro.

A indústria da exploração de diamantes na Namíbia e África do Sul é, indubitavelmente a principal atividade de mineração marinha em desenvolvimento no momento, envolvendo tecnologia de última geração para exploração e exploração submarina, com investimentos elevados e altíssimos lucros, que podem atingir 50 milhões de dólares anuais.

Com o esgotamento das reservas em terra e nas regiões costeiras de muitos bens minerais é estratégico que se tenha uma avaliação das reservas marinhas, na plataforma continental, que poderão vir a suprir a demanda por estes recursos. A ocorrência dos placeres marinhos em águas costeiras e de plataforma continental externa assegura a soberania nacional sobre estes bens minerais. Resta, portanto, promover o reconhecimento destes recursos em nossa margem continental, o que é o objeto do Projeto REMPLAC, recentemente instituído pelo Governo brasileiro.

AGRADECIMENTOS

Ao Prof. Sidney Mello, companheiro de trabalho, pelo incentivo na organização do Seminário sobre Recursos Minerais Marinhos na UFF e por seu entusiasmo para a preparação deste artigo.

À FAPERJ e SBGf, pelo apoio institucional e financeiro.

REFERÊNCIAS

- AMARAL, C.A.B., 1979.** Recursos minerais da margem continental brasileira e das áreas oceânicas adjacentes. Projeto REMAC, vol. 10, Petrobras, Rio de Janeiro: 112p.
- BOUTMIN, G., 1986.** Dragage et exploitation des sables marins qualite des materiaux et consequences sur le milieu. Tese de doutorado, Universite de Nantes, 200 pp, inédito.
- DE GROOT, S.J., 1979.** The consequences of marine gravel extraction on the spawning of herring, *Clupea harengus* Linné. J. Fisch. Biol. 16, 605 – 611.
- EMERY, K.O. & NOAKES, L.C., 1968.** Economic placer deposits of the continental shelf. Technical Bull. Economic Comission for Asia and Far East, U.N., 1: 95-110.
- GARNETT, R.H.T., 2000a.** Marine placer diamonds, with particular reference to Southern Africa. In: David S. Cronan (ed), Handbook of Marine Mineral Deposits, CRC Press, 103 – 141.
- GARNETT, R.H.T., 2000b.** Marine placer gold, with particular reference to Nome, Alaska. In: David S. Cronan (ed), Handbook of Marine Mineral Deposits, CRC Press, 67 – 101.
- KUDRASS, H.R., 2000.** Marine placer deposits and se-level changes. In: David S. Cronan (ed), Handbook of Marine Mineral Deposits, CRC Press, 3 – 12.
- PALMA, J.J.C, 1979.** Depósitos de Minerais Pesados. In: Amaral, C.A.B. (ed), Recursos Minerais da Margem Continental Brasileira e das Áreas Oceânicas Adjacentes. Projeto REMAC, Vol. 10, Petrobras, RJ, 33-50.
- RAJAMANICKAM, G.V.** Light heavy minerals on the Indian Continental Shelf, including beaches. In: David S. Cronan (ed), Handbook of Marine Mineral Deposits, CRC Press, 13 – 26.
- SAILA, S.B., 1976.** Sedimentation and food resources: animal-sediment relationships. In: Stanley and. Swift (eds), Marine Sediment Transport and Environmental Management, J. Wiley, NY, 479 – 493.
- SEIBOLD, E. & BERGER, W.H., 1996.** The Sea Floor: an introduction to marine geology. In: Springer-Verlag, 356p.
- YIM, W.W.S., 2000,** Tin placer deposits on continental shelves. In: David S. Cronan (ed), Handbook of Marine Mineral Deposits, CRC Press, 27 – 66.

De Beers Corporation disponível em: <http://www.debeersgroup.com>

Diamond Fields International Ltd disponível em: <http://www.diamondfields.com>

Iluka Resources Ltd disponível em: <http://www.iluka.com>

Indústrias Nucleares Brasileiras disponível em: <http://www.inb.gov.br>

Kerala Mineral and Metals Ltd, Government of Kerala, India disponível em: <http://www.kmml.com>

NOTE ABOUT THE AUTHOR

Cleverson G. Silva

Geólogo formado pela Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ) em 1982. Em 1987, obteve o grau de Mestre em Geologia pela UFRJ e, em 1991, o de doutor em Geologia Marinha pela Universidade de Duke, Carolina do Norte, EUA. Atualmente é professor e coordenador de Pós-Graduação do Depto. de Geologia/LAGEMAR-UFF ministrando na pós-graduação as

disciplinas de Geologia do Petróleo e Seminários de Campo em Geologia Sedimentar. Participou e coordenou diversas expedições oceanográficas no Brasil e no exterior voltadas ao estudo sobre sedimentação e estrutura da plataforma continental. Seu interesse de pesquisa envolve processos geológicos costeiros, recursos minerais marinhos e processos sedimentares em plataforma e talude.