

# Ocorrência de recursos minerais na plataforma continental brasileira e áreas oceânicas adjacentes

---

*Luiz Roberto Silva Martins  
Kaiser Gonçalves de Souza*

## **1. INTRODUÇÃO**

A distribuição mundial desigual de recursos minerais no continente, a sensibilidade política que tal fato causa e um atento crescimento da importância na proteção e conservação dos ambientes, aumentaram o significado futuro dos minerais marinhos, além do óleo e gás. Conhecimento de sua distribuição, categoria, gênese e abundância, embora ainda imperfeito, crescem rapidamente, particularmente para aqueles minerais economicamente significantes em um futuro próximo.

Atualmente, a mais importante mercadoria (excluindo óleo e gás) minerada em mar aberto, tanto em quantidade como em valor, é composta de agregados (areia e cascalho) para a indústria da construção, seguida pelos placeres submersos de estanho, os carbonatos bioclásticos para corretivo de solo e cimento, as acumulações fosfáticas para uso em fertilizantes. As lamas ricamente mineralizadas do Mar Vermelho serão brevemente exploradas. As grandes quantidades de nódulos de manganês (polimetálicos) também devem ser consideradas como contribuição valiosa para o suprimento mundial de níquel, cobre, cobalto e manganês. Acumulações de sulfetos mapeados no Pacífico leste representam novas ocorrências a serem pesquisadas com profundidade, embora requerendo o desenvolvimento de novas tecnologias, antes de serem minerados economicamente.

A exploração de minerais marinhos depende em essência do custo competitivo de outros recursos que, por sua vez, estão vinculados ao desenvolvimento de uma tecnologia disponível de baixo custo, bem como de seu valor e quantidade disponível.

Entre os muitos fatores que determinam a distribuição dos recursos minerais marinhos, a evolução dos oceanos é de influência básica. Dessa maneira a localização dos minerais foi determinada durante os diferentes estágios de evolução oceânica.

Essas etapas são: estágios essenciais da deriva das massas continentais, quando a expansão oceânica iniciou e o fundo do rifte central foi construído de crosta oceânica como, por exemplo, no Mar Vermelho; o estágio quando o rifte alargou-se e uma dorsal foi formada no oceano, onde mais crosta oceânica foi formada expandindo a partir da dorsal, esfriando como no Oceano Atlântico; e um terceiro estágio, quando a crosta oceânica colidiu com a crosta continental, e submergiu abaixo dela, como por exemplo, no leste do Pacífico.

Sulfetos polimetálicos e sedimentos metalíferos podem ser depositados ao longo dos maiores limites de fratura e placas, na crista das dorsais, durante todos esses estágios de evolução oceânica e durante períodos de vulcanismo de arco de ilhas. Os depósitos são formados por atividade hidrotermal, particularmente em áreas tectonicamente ativas, onde o grau de expansão é alto.

Nódulos de manganês são mais abundantes em áreas com taxas inexpressivas de sedimentação e condições oxidantes, característica das grandes e profundas bacias oceânicas como, por exemplo, o Pacífico equatorial norte-leste.

Por sua vez, a distribuição dos placeres e agregados é restrita à plataforma continental e está relacionada a fatores como proximidade de área fonte no continente e mudança recentes no nível do mar. Depósitos fosfáticos marinhos estão restritos às margens continentais e associados a fenômenos de ressurgências.

Depósitos minerais do piso marinho podem ser caracterizados como não consolidados e, portanto, capazes de serem coletados diretamente por dragagem, ou consolidados requerendo energia adicional para fragmentação do depósito antes da coleta. Cada um dos tipos pode ocorrer na superfície ou abaixo da interface sedimento/água.

Depósitos não consolidados incluem materiais de construção como cascalho e areia, material bioclástico (carbonatos), placeres de minerais pesados contendo titânio, estanho e ouro; lamas metalíferas como as

encontradas no Mar Vermelho, nódulos polimetálicos e vasas silicosas e carbonáticas.

Depósitos consolidados incluem seqüências estratificadas tais como carvão e ferro, crostas como as encontradas nos montes submarinos do Oceano Pacífico, formadas por óxidos de manganês ricos em cobalto.

SANTANA (1999) sintetizou o conhecimento sobre a ocorrência de recursos minerais da margem continental brasileira e regiões adjacentes fornecendo um mapa na escala de 1:5.592.000. Trabalhos adicionais realizados pelo Serviço Geológico do Brasil e por centros de pesquisa vinculados à universidade enriqueceram o trabalho inicial com novas informações sobre areia, minerais pesados, carbonatos e fosfatos.

## **2. OCORRÊNCIAS SUPERFICIAIS**

### **2.1 GRANULADOS SILICICLÁSTICOS (AREIA E CASCALHO)**

Praias, por seus aspectos estéticos e por muitas outras razões, despertam o interesse público. Elas são formadas por areia e cascalho, matéria-prima para obras e construções, e serviram durante muito tempo como fonte de material para tais aplicações.

Felizmente, o crescimento acentuado do turismo, apesar dos problemas associados que aportaram à zona costeira, serviu para o surgimento de medidas visando a sua preservação. O aumento gradativo da importância da manutenção de um campo de dunas, como elemento absorvente da energia de onda durante as ressacas, forneceu embasamento para medidas governamentais visando sua preservação, manejo, bem como de todo o perfil praias. Contudo, variações do nível do mar provocada por ação antrópica ou como causa natural vem causando sérios danos à linha de costa, através da erosão.

Essas razões são suficientes argumentos para o crescente interesse dos depósitos de areia e cascalho presentes na plataforma continental.

Areia e cascalho presentes na plataforma continental excedem em volume e potencial o valor de qualquer outro recurso não-vivo, exceto o óleo e gás. Sua utilização é dividida entre a indústria da construção e os programas de reconstrução praias, como os conduzidos pelo MMS (Minerals Management Service) na costa leste dos Estados Unidos, por exemplo. Por

serem comodidades de baixo custo é importante que o material seja minerado de local próximo ao mercado consumidor.

Em certas ocorrências, contudo, como nas costas da Sibéria, norte do Canadá, na Namíbia, no norte e leste da Austrália, as suas explorações não perfazem as condições econômicas requeridas. Da mesma forma, os depósitos de areia e cascalho situados além do limite das 200 milhas ou fora dos contornos fisiográficos da plataforma continental não são tão atraentes.

A produção de areia e cascalho provavelmente prosseguirá em locais próximos a grandes cidades e centros turísticos para mitigar locais de severa erosão praias (Edisto Beach, South Carolina, USA, é um desses casos com registro do problema e plano de recuperação, já a praia do Hermenegildo, RS, possui o problema, mas nenhum plano de *beach nourishment*). Para se ter uma idéia do crescimento da importância de areia e cascalho, calcula-se que em 1980 somente 1,5% de material usado era de origem de mar aberto. Para alguns países, contudo, a produção *offshore* é de grande significado como no Reino Unido que obtém 25% desse material em mar aberto, mas a produção maior (cerca de 50% da produção mundial de agregados) é realizada pelo Japão.

Como a mineração é desenvolvida próxima a linha de costa, uma série de cuidados devem ser seguidos com vistas a preservação ambiental. Isto ocorre no Reino Unido, onde a dragagem é regulada, sendo confinada a específicas áreas de concessões. O mesmo sucede nos Estados Unidos, onde a realização de tais trabalhos é coordenada por agências como o USGS, MMS e CERC.

A maior parte das dragagens é realizada a profundidades menores de 45 metros, estando previsto um aumento para 50-60 metros em um futuro próximo. O material pode ser minerado por meio de dragas ou bombas hidráulicas, ou ambos métodos, sempre com regras sensíveis ao ambiente marinho. Medidas governamentais restringem a mineração muito próximas à linha de costa, de duas maneiras, pela distância ou pela profundidade da lâmina d'água. Em Brunswick (Canadá), a distância é de 300 metros, enquanto no Japão a dragagem é proibida num limite de 4/5 km da costa. No Reino Unido, as licenças de mineração de mar aberto não são concedidas para águas mais rasas que 18 metros.

Danos ao fundo marinho e ao ambiente pela extração de areia e cascalho podem desenvolver-se de muitas formas. O aumento da turbidez

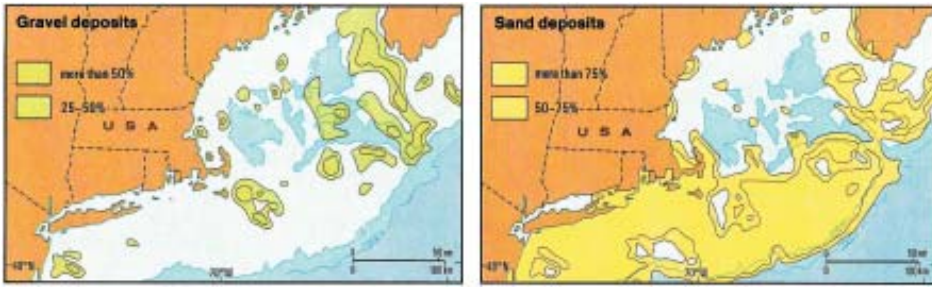
na água do mar pode reduzir o desenvolvimento de plantas em águas rasas, o que pode prejudicar o habitat de certas espécies de peixes e crustáceos e reduzir a captura comercial e as oportunidades de pesca recreativa. O acúmulo expressivo de lama, que muitas vezes tem que ser removida quando depositada, pode asfixiar as vegetações e recifes. Deve ser considerado também que a remoção de areia e cascalho sob a espessura uniforme de grandes áreas irá destruir a fauna de fundo e locais de procriação gerando áreas estéreis do piso marinho, que levarão muitos anos para serem recuperadas.

Sugestões existem para um dano menor ao ambiente, por meio da realização do corte de trincheiras no piso marinho, rodeadas por áreas não perturbadas, e onde é criada uma variação de relevo que poderá ser benéfica a população de peixes.

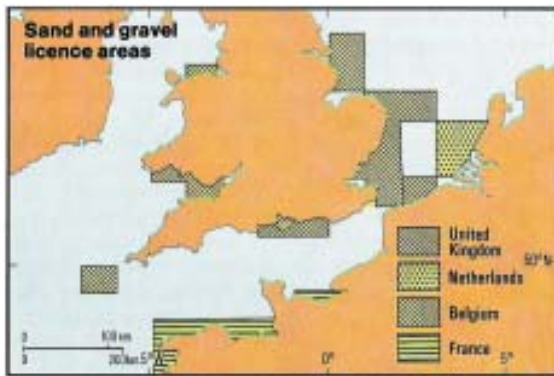
A extensa bibliografia específica sobre o tema (consultar, por exemplo, EARNEY, 1990) revela que os problemas decorrentes da mineração marinha têm sido intensamente estudados pelas nações mais desenvolvidas e algumas possíveis soluções estão atualmente bem documentadas. Métodos governamentais apontam para a realização de estudos detalhados sobre o ambiente marinho e os processos naturais de sustentação do mesmo, de forma que a legislação irá prevenir danos irreversíveis ao ambiente ou a outras atividades que utilizam o meio marinho, particularmente aquelas baseadas na utilização sustentável dos recursos vivos.

Estudos sobre estoques arenosos presentes na plataforma continental interna e de conseqüente realimentação de praias erodidas são encontrados em trabalhos como o de AMATO (1994) para a plataforma leste dos Estados Unidos. No sul do Brasil e Uruguai, estoques arenosos foram avaliados por MARTINS *et al.* (1999, 2005), MARTINS & URIEN (2004) e MARTINS & TOLDO Jr. (2006b).

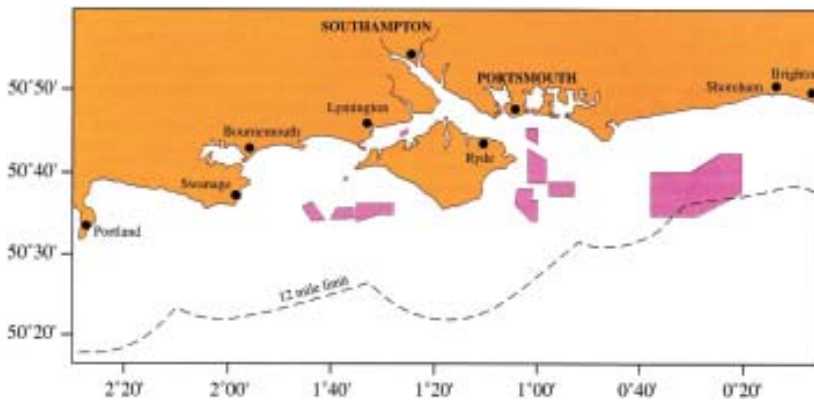
Na Figura 1 são mostradas as ocorrências de areia e cascalho na plataforma leste dos Estados Unidos, enquanto na Figura 2 são apresentadas as concessões do Reino Unido, Holanda, Bélgica e França para o mesmo tipo de exploração no Mar do Norte. Na Figura 3 são representadas áreas de dragagens de areia no canal inglês e nas figuras 4 e 5 detalhes relativos a extração e estocagem de areia e cascalho. Na Figura 6 estão representadas áreas com potencial de areia, presentes na plataforma continental do Rio Grande do Sul.



**Figura 1.** Areia e cascalho representam por seu volume o potencial mineral econômico mais importante da plataforma continental dos Estados Unidos (COUPER, 1983).



**Figura 2.** O Mar do Norte, uma das mais ricas áreas do mundo em areia e cascalho, foi dividido pelos países costeiros (Reino Unido, Holanda, Bélgica e França) em áreas de concessão para dragagem. As licenças fornecidas pelas respectivas agências nacionais pertinentes, para direito de dragagem, estão sujeitas a restrições relacionadas à pesca e proteção costeira (COUPER, 1983).



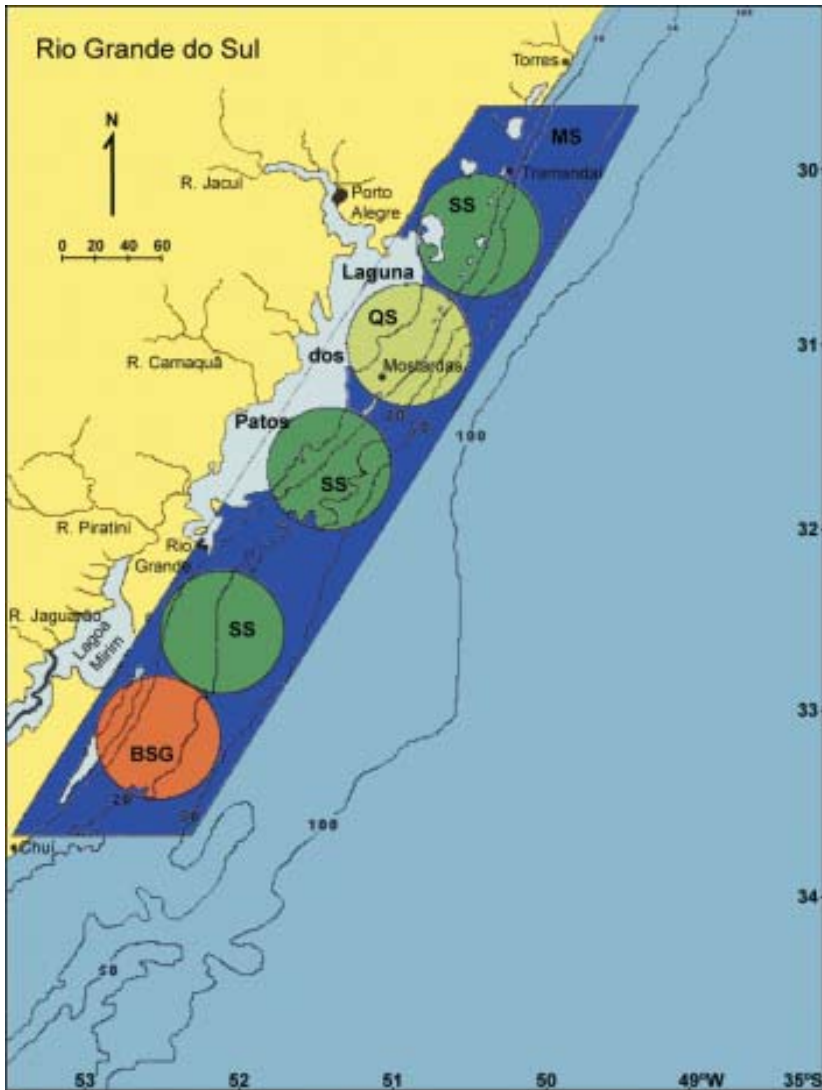
**Figura 3.** Áreas de dragagem de areia no canal inglês (SUMMERHAYES, 1998).



**Figura 4.** Cascalho sendo minerado através da draga (SUMMERHAYES, 1998).



**Figura 5.** Areia e cascalho de mar aberto estocado para distribuição (SUMMERHAYES, 1998).



**Figura 6.** Potencial de areia quartzosa, areia quartzosa com bioclastos e areia e cascalho bioclástico da plataforma continental interna do Rio Grande do Sul (MARTINS *et al.*, 1999).

## 2.2 GRANULADOS BIOCLÁSTICOS

Carbonato de cálcio é minerado como material recifal consolidado ou como acumulações bioclásticas não consolidadas recifais ou de conchas. A mineração de camadas de conchas é mais comum, enquanto recifes



coralígenos representam fontes de carbonato de cálcio, mas a utilização de corais não-vivos ou mortos aumenta a vulnerabilidade a dano mediante a ação de ondas e tempestades.

No meio marinho, o esforço mais expressivo da pesquisa encontra-se dirigido a oólitos, corais, algas coralígenas e conchas. Nas ilhas tropicais com franjas de recifes coralígenos as areias não são de quartzo, mas de fragmentos de corais de carbonato de cálcio, componente básico do cimento. Carbonato de cálcio sob a forma de conchas é também comum nas plataformas continentais.

A planta exploratória de areia aragonítica situada em Cat Cay nas Bahamas é uma das mais expressivas. Com mais de 37.500 milhões de metros cúbicos, abastecendo segmentos do mercado americano com carbonato de cálcio para corretivos de solos e cimento.

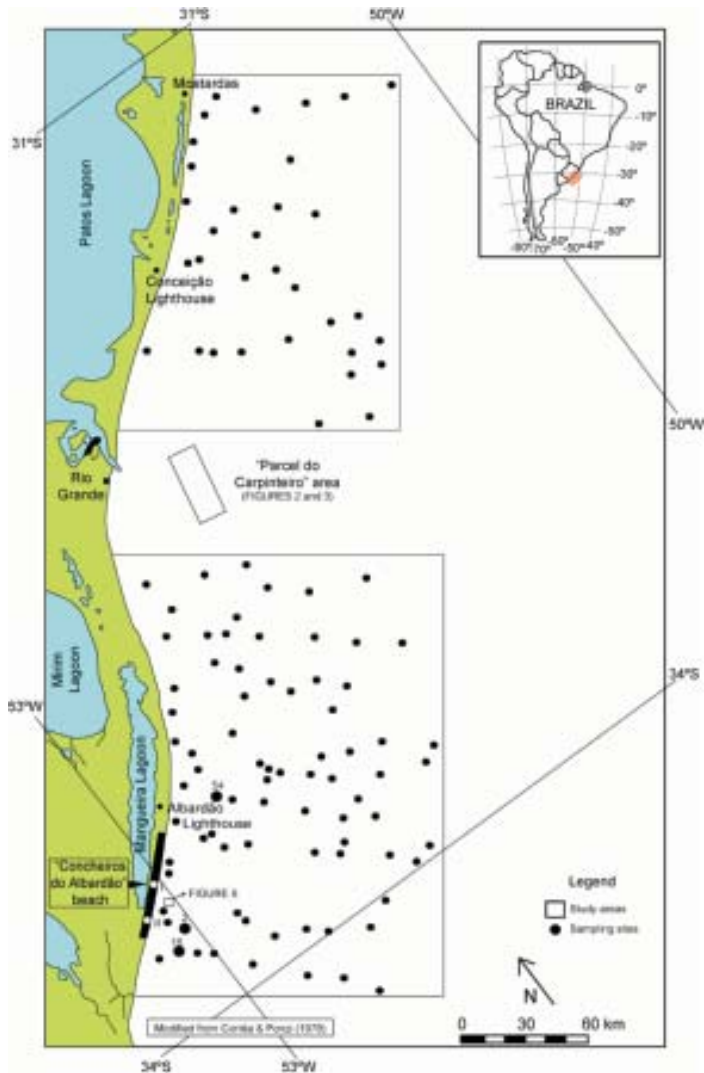
Areias calcárias denominadas *marl* são também dragadas da plataforma continental francesa para aplicação direta nos solos ácidos da Bretanha. Tais depósitos possuem composição similar às encontradas no nordeste do Brasil. A produção é bastante expressiva entre 500 e 700 toneladas/ano.

Estudo de COUTINHO (1995) na província carbonática da plataforma continental brasileira que se estende do Rio Pará (0,5°S) até as vizinhanças de Cabo Frio (23,5°S), em uma provavelmente mais longa e contínua plataforma atapetada por sedimentos carbonáticos do mundo, revelou interessantes aspectos dessa sedimentação. Os sedimentos carbonáticos que ocupam as porções média e externa da plataforma estão representados por areias e cascalhos formados por algas coralígenas ramificadas e maciças, concreções, artículos de Halameda, moluscos, briozoários e foraminíferos bentônicos.

MONT<sup>o</sup>ALVERNE & COUTINHO (1992) calcularam uma reserva de 1,96x10 toneladas considerando a isóbata entre 20 e 30 metros na plataforma continental de Pernambuco, admitindo uma espessura média 1,5 metros.

Segundo SANTANA (1979, 1999), a margem continental do nordeste e leste do Brasil até a altura de Cabo Frio possui sedimentos ricos em carbonato contendo mais de 75% de CaCO<sub>3</sub>. O autor considerou uma espessura média para estes depósitos de 5 metros representando uma reserva de 2x10<sup>11</sup> toneladas, correspondendo, na época, a mais de 50 vezes a reserva estimada do continente.

O conhecimento relativo aos depósitos de calcário bioclástico ocorrente na plataforma continental interna do Rio Grande do Sul, vinculado a antigas linhas de praia de alta energia (MARTINS, 1972), foi sintetizado por CALLIARI *et al.* (1999), com especial ênfase nas áreas de Albardão e Carpinteiro, representando um potencial econômico de 1 bilhão de toneladas (Figura 7). Em Santa Catarina, estudos realizados na zona costeira foram divulgados por CARUSO Jr. (1999).



**Figura 7.** Localização das acumulações do Albardão e Parcel do Carpinteiro na Plataforma Continental Interna do Rio Grande do Sul (CALLIARI *et al.*, 1999).

### 2.3 DEPÓSITOS DE PLACERES

Depósitos de cassiterita, ilmenita, ouro e diamante ocorrentes nas plataformas continentais são formados da mesma forma que as acumulações aluvionares fluviais. O mineral ou gema é erodido das rochas nas cabeceiras dos rios e carregado pelo curso fluvial se o fluxo é suficientemente vigoroso até sua diminuição quando as partículas mais pesadas assentam em seu leito, preferencialmente em áreas de remanso. Inundações periódicas movem essas acumulações rio abaixo, onde assentam novamente e são cobertas por outros sedimentos. Praias do mundo inteiro têm sido mineradas para muitos minerais, incluindo o diamante (Namíbia), ouro (Alasca e Nova Escócia) e cromita (Oregon).

As concentrações de minerais física e quimicamente resistentes são formadas a partir da erosão de corpos mineralizados liberados por meio do intemperismo e acumulados mecanicamente. Esses minerais podem permanecer *in situ* ou serem transportados e concentrados em areias e cascalhos ocorrentes em rios e praias, incluindo ouro nativo, platina, cassiterita (estanho), rutilo e ilmenita (titânio), magnetita (ferro), zircão (zircônio), volframita (tungstênio), cromita (cromo), monazita (cério e tório) e pedras preciosas.

Ainda que ocorram ao longo do tempo geológico (como ouro encontrado em rochas do pré-cambriano da África do Sul), a maioria formou-se nos últimos 65 milhões de anos. Depósitos importantes podem ser indicados como ouro no Alasca, areia titaníferas na Flórida, Sri Lanka, Índia, Austrália e Brasil, estanho na Malásia e Indonésia e magnetita nas praias do Japão.

Alguns dos placeres encontrados nas plataformas continentais estão situados em camadas fluviais que foram afogadas pela elevação do nível do mar a partir de -130/-150 metros durante os últimos 18 mil anos. Outros placeres são formados por meio do retrabalhamento de alguns desses depósitos aluvionares por ondas e correntes na linha de praia durante os níveis de estabilização temporária da transgressão holocênica. Outras acumulações mais recentes representam o material erodido carregado para o mar por ação fluvial para depósitos praias (usualmente associados a deltas), ou pela erosão de areias costeiras que contenham concentrações de minerais pesados.

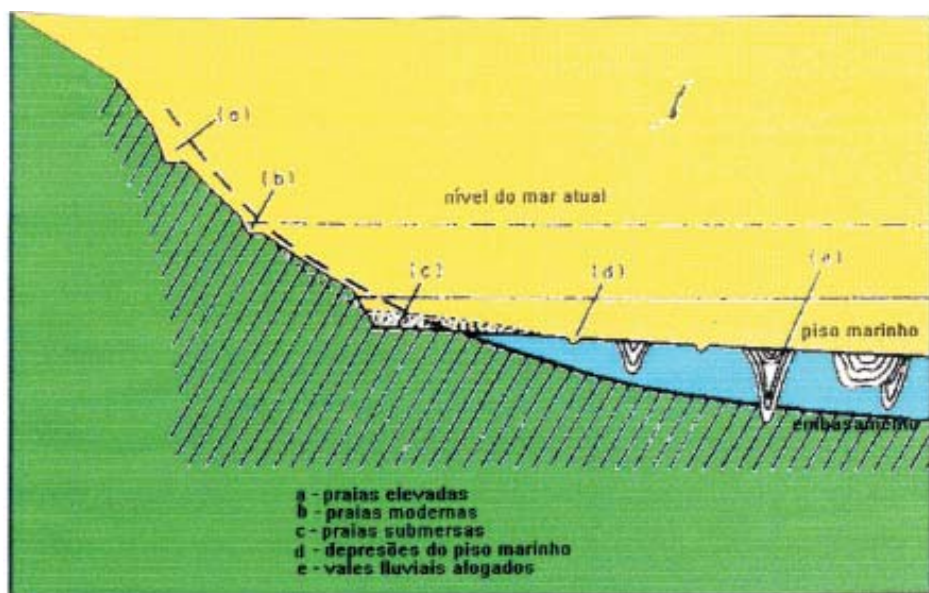
Zonas rasas da plataforma continental servem para a exploração de diamante (Namíbia), Cassiterita (Malásia, Indonésia e Tailândia), (Tabela 1). Outros minerais como cromita (cromo), rutilo (titânio), ilmenita (ferro e titânio), magnetita (ferro), zircão (zirconita), monazita (terras raras) e shelita (tungstênio), foram ou estão sendo dragados em vários locais do Sir Lanka e Austrália.

**Tabela 1.** Relações entre profundidade e modo de ocorrência de minerais marinhos não consolidados.

MINERAL	PROFUNDIDADE		MODO DE OCORRÊNCIA			
	0-30 metros	30-200 metros	Praia	Praia submersa	Cursos submersos	Sedimentos superficiais
Ilmenita	X	X	X	X		
Rutilo	X	X	X	X		
Zircão	X	X	X	X		
Monazita	X	X	X	X		
Titânio	X	X		X		
Estanho	X	X		X		
Ouro		X	X	X	X	
Platina		X	X	X	X	
Diamante	X	X	X	X	X	
Ferro	X	X	X	X	X	
Areia	X	X	X	X	X	X
Cascalho	X	X	X	X	X	X

De uma maneira geral os depósitos de placeros não se estendem muito distante da linha de costa. Os problemas ambientais associados à mineração de placeros são similares aos ligados à exploração de areia e cascalho, exceto pela tendência seletiva e geograficamente mais limitada em área (Figura 8).

A possibilidade de mineração de placeros de mar aberto será a mesma nas acumulações costeiras e dependente de fatores como custo da exploração, obtenção de permissão para a mineração, necessidade de satisfazer

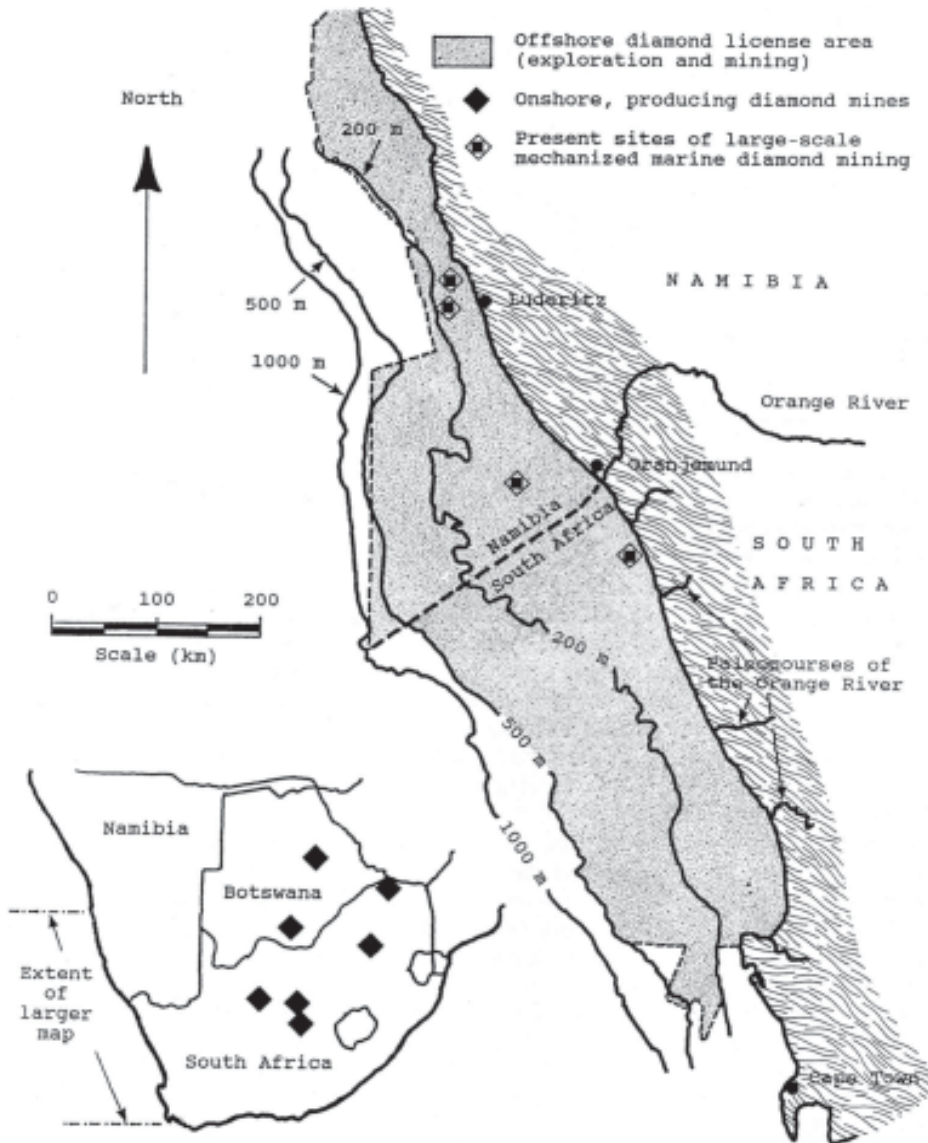


**Figura 8.** correlência de pláceres de minerais pesados na zona costeira e plataforma continental adjacente.

regulamentos ambientais, tecnologia de beneficiamento e custos de transporte. Enquanto alguns pláceres contêm recursos como ilmenita e rutilo e são amplamente distribuídos, estanho aluvial é restrito a áreas como sudeste da Ásia, onde ocorrem a partir de granitos estaníferos. Pláceres comerciais de ouro são menos freqüentes e os de diamante comparativamente raros.

O sul da costa da Namíbia é a principal fonte dos diamantes marinhos. Antes de 1961 esses diamantes eram obtidos pela mineração de terraços ao norte do rio Orange. Diamantes de Kimberlitos intemperizados foram transportados pelo rio Orange e seus tributários, do rio Vaal até a zona costeira, onde foram coletados (Figuras 9, 10 e 11) e posteriormente soterrados por sedimentos calcários. Muitos diamantes foram também levados em direção norte por fortes correntes e eventualmente acumulados em areias e lamas na plataforma continental. A mineração desses diamantes de mar aberto em águas de até 35 metros de profundidade iniciaram em 1961 e prosseguiram por uma década, quando as atividades tornaram-se não econômicas para a maioria das empresas mineradoras, sendo as operações de mar aberto deslocadas para a plataforma interna. A produção em zonas internas rasas continuou com operadoras independentes usando pequenos barcos ou bombeamento para a praia. A produção em 1996 foi de 90.000

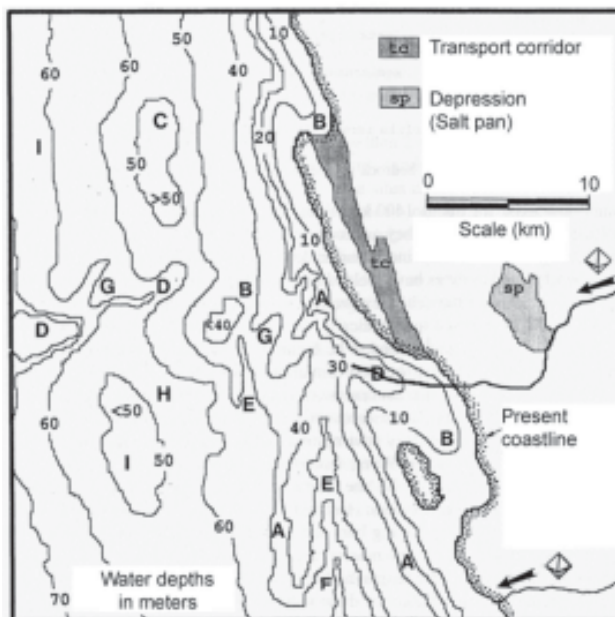
quilates. Após 1971, grandes companhias começaram a explorar em águas profundas e nos 12 anos seguintes constataram a existência de cascalhos comerciais ricos em diamantes na plataforma média em águas de até 200 metros. Esses depósitos foram explorados através de novas técnicas desenvolvidas em 1990.



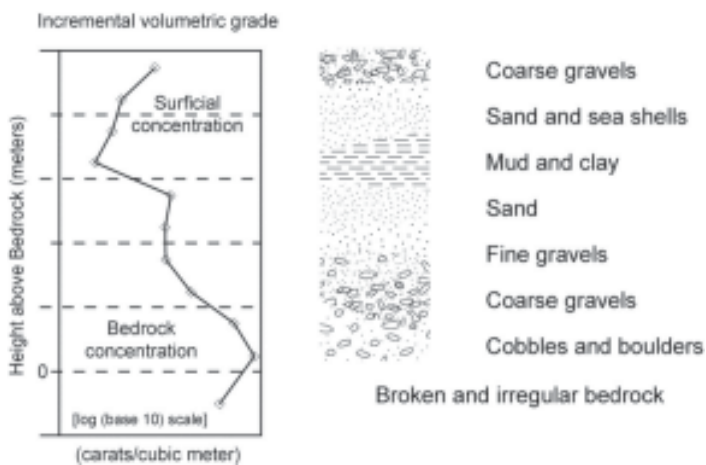
**Figura 9.** Áreas licenciadas para exploração e mineração do sul da África apresentando batimetria e principais pontos operacionais (GARNETT, 1999b).

**TARGET PALEO FEATURES**

- |                           |                |                   |
|---------------------------|----------------|-------------------|
|                           |                | A - Coastline     |
| B - Embayment             | C - Depression | D - River         |
| E - Corridor              | F - Valley     | G - Major gullies |
| H - Area of energy change |                | I - Sheet gravels |



**Figura 10.** Feições típicas de acumulação de diamante na plataforma interna (GARNETT, 1999b).



**Figura 11.** Perfil litológico de feição da plataforma continental interna rica em diamantes (GARNETT, 1999b).

Nesse ano, a De Beers Marine produziu 29.195 quilates na plataforma continental média e a produção subiu para 470.000 quilates em 1996, quando representou um terço da produção de diamantes na Namíbia. Em 1997, a exploração de diamante da Namíbia e África do Sul estendeu-se à isóbata de 500 metros. Os estudos revelaram que as camadas produtivas de mar aberto da Namíbia e África do Sul devem sua origem a uma complexa interação de sistemas de alta energia fluvial, marinha e eólica que operaram no oeste da costa pelo menos desde o Oligoceno.

Explorações para amostragem de diamantes ocorreram nas margens continentais de Angola, Sierra Leoa, Indonésia, Austrália (Golfos Bonaparte e Carpentaria), Rússia (Mar Branco e Mar Azov) e Canadá (Golfo Coronation).

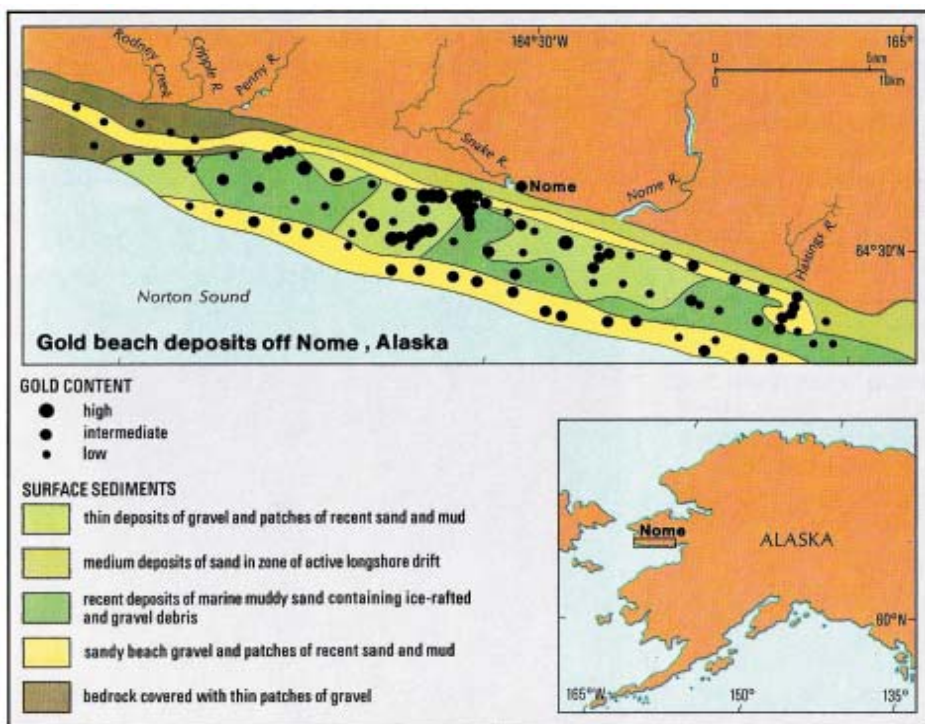
Os placeres de diamante da costa da Namíbia e África do Sul foram transportados por cursos fluviais após sua erosão de kimberlitos situados a centenas de quilômetros no continente. Correntes litorâneas combinadas a fortes ventos e ação de ondas de elevada energia durante períodos de consideráveis mudanças no nível do mar concentraram os diamantes em paleolinhas da costa e outras feições geológicas litorâneas.

Os cascalhos existentes formam uma fixa camada sobre um embasamento irregular, ocorrendo em setores da plataforma interna e média ao longo das costas da Namíbia e África do Sul.

Placeres contendo ouro são encontrados em zonas costeiras da África do Sul, Alasca, norte do Canadá, Sibéria e Filipinas. Tanto ouro como diamante são menos abundantes progressivamente, à medida que a distância da fonte aumenta. Assim é improvável que quantidades comerciais sejam ocorrentes além da zona superior do declive continental.

Os depósitos de ouro do Alasca (Figura 12) devem sua origem a uma singular combinação de: a) mineralização primária vizinha; b) glaciação; c) falhamento recorrente da linha de costa; d) mudanças no nível do mar; e, e) uma linha de costa totalmente exposta a condições marinhas de elevada energia. A existência das concentrações pode ser resumida como sendo integrada por uma combinação de fatores: os depósitos de ouro primário foram erodidos por glaciação e redepositados como morainas laterais e terminais. Os detritos glaciais e partículas de ouro foram submetidos a





**Figura 12.** As praias de Nome no Alasca são conhecidas por possuírem ouro desde o século XIX. A mineração foi desenvolvida nas praias, estendendo-se mais tarde em direção ao continente, mais especificamente em praias antigas. Na zona costeira, a maior concentração de ouro é encontrada onde finas camadas de cascalho relicto, recobrem material de deriva glacial. Os depósitos de mar aberto foram mostrados por perfurações no gelo que cobrem o mar a maior parte do ano. As condições climáticas e a distância do Alasca adicionam fatores consideráveis no custo da mineração, mas com o crescente desenvolvimento da tecnologia, o interesse comercial pode aumentar (COUPER, 1983).

repetidos falhamentos ao longo de uma linha de costa climaticamente exposta, e a variações de nível do mar (GARNETT, 1999a).

Concentrações e ocorrências de minerais pesados estão presentes ao longo da zona costeira do Brasil, do Piauí ao Rio Grande do Sul, sob a forma emersa e submersa. Na parte emersa são minerados na Paraíba, Bahia, Espírito Santo e Rio de Janeiro (ilmenita, rutilo, monazite e zircão), sobressaindo as concentrações de Cumuruxatiba (Bahia) e Itabapoana (Rio de Janeiro).

A reserva de Curumuxatiba envolve 171.000 toneladas de ilmenita, 4.000 toneladas de monazita e 365.000 toneladas de zircão e rutilo (SANTANA, 1999).

Os estudos realizados na zona costeira do Rio Grande do Sul, foram iniciados por VILLWOCK *et al.* (1979), prosseguiram com MUNARO (1994) e foram sintetizados por CARUSO Jr. *et al.* (1999) conforme pode ser acompanhado na Tabela 2.

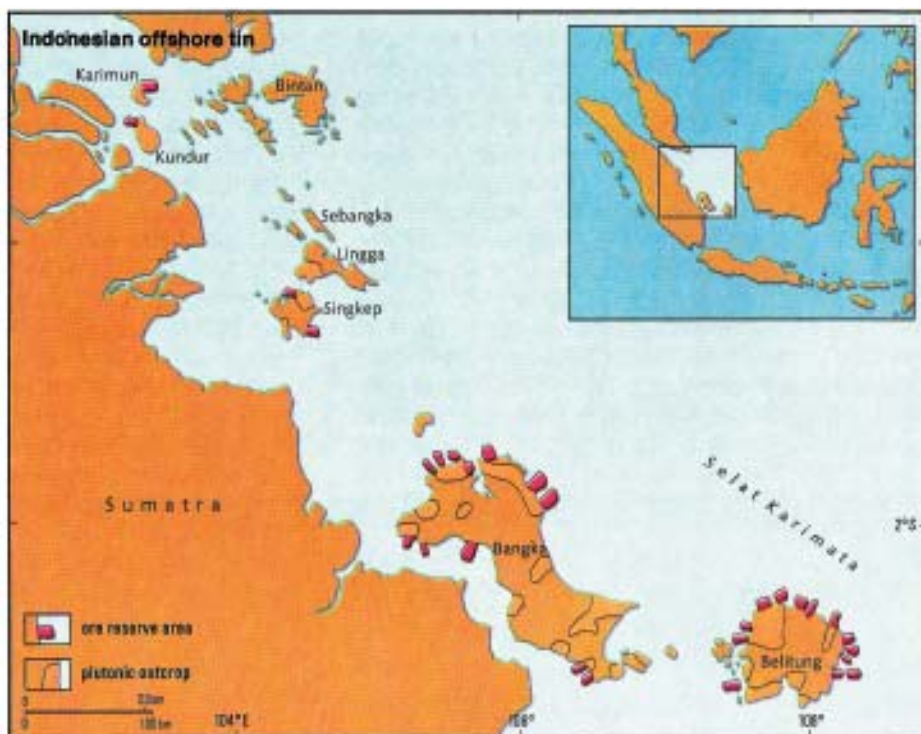
**Tabela 2.** Reservas de minerais pesados da região de Bujuru (RS) segundo MUNARO (1994).

LOCAL	ESPESSURA (m)	VOLUME	TONELADAS	%	CONTEÚDO
Estreito	2,92	46.790.000	74.864.000	3,22	2.412.040
Bujuru	3,62	35.638.000	72.060.000	4,59	3.309.062
Bujuru norte	3,34	49.219.000	78.750.400	4,74	3.729.000
Total	3,29	131.647.000	225.675.200	4,19	9.450.240
Reserva	1,32	22.847.000	40.280.000	3,52	1.419.358

Boa parte das acumulações estão relacionadas a linha de costa moderna e representam usualmente depósitos alongados paralelos e subparalelos à praia, com 30 a 100 metros de largura e 18 km de comprimento. Outros depósitos estão relacionados com campos de dunas Holocênicas, recobrando terrenos Pleistoscênicos.

Um dos exemplos de exploração econômica de placeres é o de estanho do sudeste da Ásia, contendo cassiterita ( $\text{SnO}_2$ ) liberada a partir de rochas duras (usualmente granitos) por processo intempérico durante tempos geológicos recentes (Figura 13).

A cassiterita migrou com auxílio da gravidade e água corrente para formar um depósito aluvial. As operações de extração situam-se preferencialmente em zonas abrigadas rasas estuarinas ou da plataforma interna. O sudeste da Ásia é uma das regiões de maior produção de estanho, com os recursos ocorrendo por uma distância apreciável de 2900 km, do norte de Burma, península da Tailândia, oeste da Malásia até as ilhas Bangka,



**Figura 13.** Indonésia é uma das principais regiões do mundo, onde placeres de mar aberto são minerados. Depósitos primários de estanho ocorrem em rochas graníticas do continente e os minerais pesados (incluindo cassiterita) foram transportados, depositados e concentrados durante o Quaternário em vales fluviais como trapas naturais que se estenderam em mar aberto.

A exploração atual está limitada a profundidades de 50 metros, mas os depósitos encontrados em profundidades maiores podem ser minerados no futuro.

O potencial desse recurso na Indonésia é estimado em 1,6 milhões de toneladas, do qual 40% é de mar aberto.

Belitung e Sengkep da Indonésia. Cerca de 7% da produção mundial de estanho provém de mar aberto.

As atividades de mineração na zona costeira e em mar aberto, países envolvidos e status atual da exploração/exploração em termos de minerais industriais e do tipo *placer*, encontram-se resumidos na Tabela 3.

Outros projetos de extração da cassiterita foram estabelecidos na baía Saint Ives em Cornwall, Inglaterra, e na península Seward no Alasca.

**Tabela 3.** Atividades de mineração na zona costeira e mar aberto relativo a minerais industriais e do tipo placer (HALE & McLAREN, 1984).

Commodity	Country	Current Status
<b>Industrial Minerals</b> (I) Texturally dependent: sand and gravel (aggregate)	Canada; Cuba; Denmark; France; Netherlands; Japan; Nigeria; Sweden; U.S.A.; United Kingdom	Offshore exploration and mining
(II) Composition dependent: calcium carbonate <sup>1</sup> (cement, agricultural lime)	Bahamas; Brazil; Cuba; Denmark; Fiji; France; Iceland; Kenya; Republic of China; United Kingdom; U.S.A.; Mauritania	previous or ongoing offshore mining beach mining
high-grade silica sand (glass)	Finland; Canada; New Zealand	offshore mining offshore exploration/evaluation mining in harbour
<b>Placer Minerals</b>		
cassiterite (tin)	Indonesia; Thailand; U.S.S.R.; United Kingdom; New Zealand; Australia	offshore mining offshore pilot-scale mining offshore exploration previous beach and offshore exploration
chromite (chromium)	U.S.A.;	previous beach mining and offshore exploration previous offshore exploration
diamonds	Mozambique	beach and offshore mining
gold	Namibia Canada; New Zealand;	previous beach mining/offshore exploration previous offshore mining; present status unknown previous beach mining, offshore exploration and mining Offshore exploration/mining <sup>†</sup> estuarine mining operation offshore exploration
iron sands	Philippines; U.S.A.;	beach mining
	U.S.S.R.;	beach mining previous beach and offshore mining previous beach mining previous beach mining, present status unknown previous or ongoing offshore exploration beach mining, offshore exploration
	Fiji; India;	previous beach mining offshore exploration beach mining
	Brazil;	past or ongoing offshore exploration
	Fiji; South Africa; Japan; Australia; New Zealand; Florida, U.S.A.;	previous beach mining, and ongoing exploration
	Philippines;	beach mining, offshore exploration previous offshore exploration
	Mozambique; S.W. India; Sri Lanka	beach mining, offshore exploration previous offshore exploration
monazite (rare earths and thorium)	Australia; S.W. India; Brazil; Sri Lanka;	beach mining offshore exploration beach mining
phosphorite (phosphorous)	Australia; Mexico; New Zealand; U.S.A.	past or ongoing offshore exploration
platinum	U.S.A.	previous beach mining, and ongoing exploration
rutile	Australia; Brazil; S.W. India; Sri Lanka; Canada	beach mining, offshore exploration previous offshore exploration
zircon	Sri Lanka; Canada; Australia; Mozambique	beach mining, offshore exploration previous exploration previous offshore exploration

1. Includes aragonite, coral, marl and shell hash.

## 2.4 FOSFORITAS

Acumulações de fosforitas são conhecidas como ocorrentes especialmente nas plataformas continentais e parte superior do declive em muitas partes do mundo, mas a maior quantidade dos depósitos são de teor baixo e pouco espessos (BURNETT & RIGGS, (1990). Estudos detalhados de sísmica realizados na plataforma continental da Carolina do Norte e no platô Blake ao largo da Flórida revelaram a ocorrência de concentrações comerciais com espessuras de 10 metros. Igualmente, foram desenvolvidas

plantas de mineração de nódulos de fosforita ao sul da Califórnia. Os depósitos de fosforita de Chatham Rise no leste da Nova Zelândia foram cuidadosamente examinados e dimensionados com 30-100 milhões de toneladas de rocha fosfática delineada com um potencial adicional de glauconita rica em potássio, associada com a fosforita. Estudos relativos ao impacto ambiental de mineração de fosforita a profundidades superiores a 700 metros não foram ainda estabelecidas.

O termo fosforita é normalmente aplicado ao depósito sedimentar composto principalmente por minerais fosfáticos (Figura 14). Uma combinação de fatores, entre eles preço de mercado e custo da extração, têm inibido a extração de fosforita em muitos casos. Os depósitos de mar aberto oferecem uma alternativa interessante em regiões pobres em fosfato.

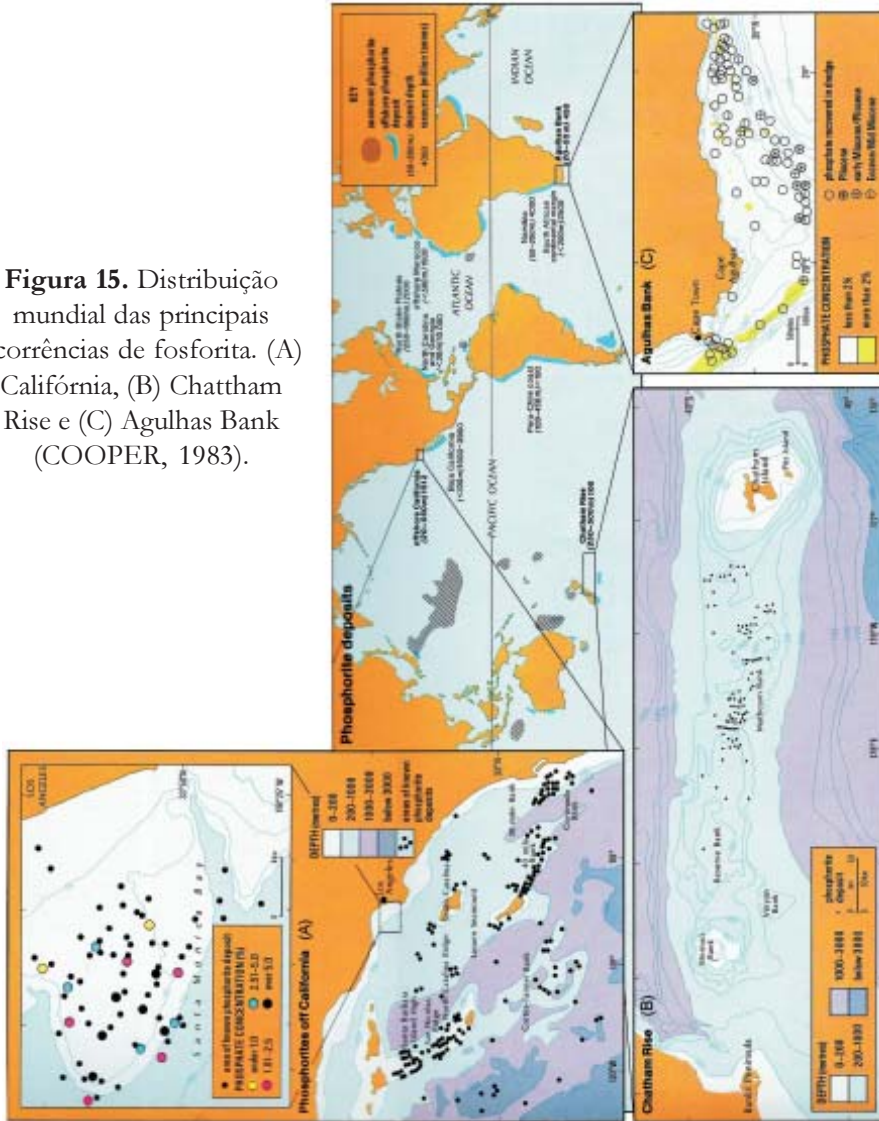


**Figura 14.** Carbonato fosfático com percentual de  $P_2O_5$  ao redor de 15-18% dragado da plataforma continental do Marrocos (dimensão máxima 12 cm). É formado por um conglomerado de seixos de calcário fosfatizado imersos em uma matriz fosforítica onde estão presentes grãos tamanho areia verde-escuro a preto de glauconita (SUMMERHAYS, 1998).

Fosforitas compostas por cálcio-fluorapatita ocorrem em variados tamanhos desde areia até matacões e são descritos na bibliografia como ocorrentes nas margens continentais do México, Peru, Chile, Austrália, Estados Unidos e oeste da África, tendo algumas delas recebido atenção comercial.

No Brasil, SANTANA (1979) indicou a ocorrência de rochas fosfatadas no *gyrot* do Ceará com teores de até 18,4% de  $P_2O_5$ ). Mais tarde KLEIN *et al.* (1992) descreveram preliminarmente a ocorrência de nódulos fosfáticos na margem continental do Rio Grande do Sul.

**Figura 15.** Distribuição mundial das principais ocorrências de fosforita. (A) Califórnia, (B) Chattham Rise e (C) Agulhas Bank (COOPER, 1983).



**Figura 15.** Distribuição mundial das principais ocorrências de fosforitas.

Fosforitas marinhas foram descobertas como nódulos, através de dragagens realizadas no Banco Agulhas (África do Sul) durante a missão Challenger (1872-76), sendo posteriormente identificadas e descritas em outros locais. Ocorrem

normalmente nas margens continentais e partes superiores dos declives continentais a profundidades menores de 500 metros e normalmente situadas com pequenas exceções entre as latitudes 40° N e 40° S. Podem igualmente ocorrer em altos topográficos como montes submarinos, *gyyols*, elevações, cristas e platôs, especialmente no Atlântico oeste.

**Figura 15A.** Nódulos de fosforita em Chatham Rise encontram-se amplamente distribuídos, com a ocorrência sendo acompanhada por 480 quilômetros ao longo da crista dessa feição. A maior acumulação ocorre próxima ao meridiano 180° e a uma profundidade de 350 a 450 metros. Os nódulos possuem um tamanho de 2-4 cm de diâmetro, constituídos de calcários de foraminíferos fosfatizados, datado como de idade Mioceno Inferior e Médio. Ocorrem associados a lamas arenosas glauconíticas de coloração esverdeada que recobrem uma vasa branca de foraminíferos de idade Oligocênica. Os nódulos possuem cor cinza-oliva, superfície lisa polida e um teor de 15 a 25% de  $P_2O_5$ .

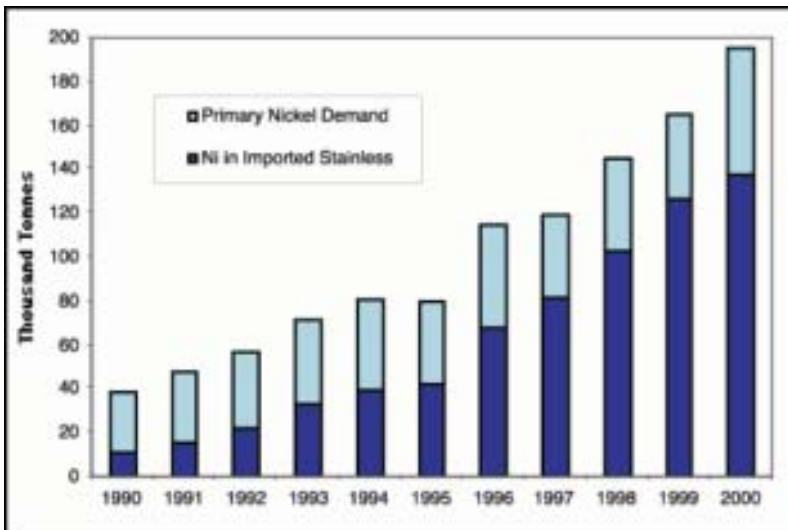
**Figura 15B.** Fosforitas são igualmente conhecidas como ocorrentes em larga escala no banco Agulhas, tendo se tornado uma das áreas mais intensamente estudadas no mundo. Uma variedade bastante grande de fosforitas foram identificadas, mas a mais importante em termos de concentração e distribuição está representada por calcários orgânicos fosfatizados compostos principalmente por microfósseis, foraminíferos planctônicos e conglomerados fosfáticos que contêm fragmentos desses calcários em uma matriz de glauconita, microfósseis e areia quartzosa, todos cimentados por apatita. Os dois tipos de fosforitas podem ser correlacionados com o calcário de idade Mioceno inferior a Plioceno que formam extensos afloramentos na plataforma média e externa ao nordeste da África do Sul. Uma terceira variedade, de composição mineralógica comparável, consiste de conglomerados fosfatizados caracterizados por uma mistura variável de nódulos com microfósseis e fragmentos de ossos, coincidente com o afloramento alongado de sedimentos do Paleoceno da região interna do banco Agulhas paralelo a costa ao sul do Cabo. Amostras de fosforitas do banco Agulhas revelaram um valor entre 15% de  $P_2O_5$ .

**Figura 15C.** Nódulos de fosforita foram identificados na Califórnia em 1937, durante uma dragagem realizada pelo Scripps Institution of Oceanography. Atualmente é conhecida sua ampla distribuição estendendo-se de Point Reyes, ao norte de São Francisco, até o golfo da Califórnia, em profundidades variáveis de 60 a 180 metros, distante poucos quilômetros da costa até o limite da plataforma. Um número elevado de mais de 30 depósitos individuais foram identificados ao sul da Califórnia, dez dos quais foram selecionados para estudos de detalhe. Os recursos foram estimados em 50 Mt de nódulos e 12,5 Mt de areias fosfáticas com um teor de  $P_2O_5$  variável de menos de 1 a 31,4%. A ocorrência de areia fosfática da baía de Santa Mônica é de especial interesse por sua ocorrência em águas relativamente rasas de 55 metros.

## 2.5 NÓDULOS POLIMETÁLICOS

Após atingir um pico em 1970, o interesse na exploração e exploração dos minerais associados ao oceano profundo declinou de forma acentuada. O interesse no aproveitamento desses depósitos, governado pela capacidade tecnológica, diminuiu em função da ausência de perspectivas econômicas.

Nos anos futuros, a economia será o fator principal e a tecnologia desempenhará o papel de elemento suporte. A demanda de níquel, por exemplo, em grande parte para produção de aço inoxidável, cresceu rapidamente na última década, face a crescente industrialização da China, Índia e outros países em desenvolvimento. Na Figura 16 é apresentada a presença de uma quantidade crescente de níquel na economia da China.



**Figura 16.** Consumo primário e indireto de níquel na china no período 1990-2000 (ANTRIM, 2005).

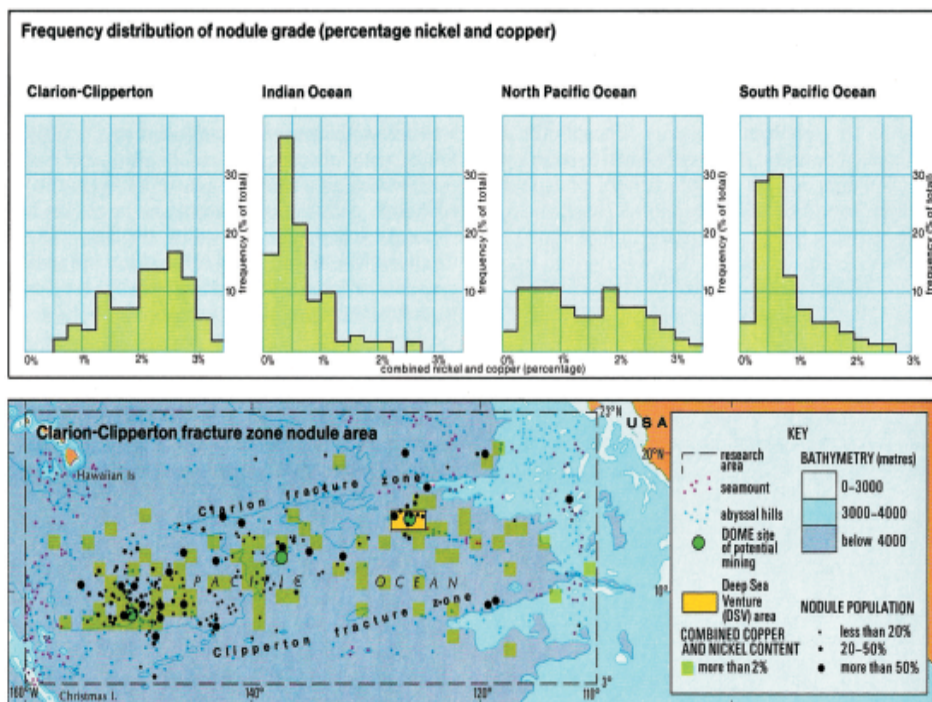
Cobalto igualmente favoreceu essa crescente demanda face a sua utilização na obtenção de maior densidade de energia em baterias. Por sua vez, o cobre também respondeu a crescente industrialização automobilística.

Nódulos polimetálicos ocorrem normalmente a grandes profundidades (ao redor de 4.000 metros) nas bacias oceânicas, não sendo significantes as ocorrências em águas rasas. Segundo SANTANA (1999), são abundantes no Pacífico Norte, tornando essa região economicamente mais atraente para



futura exploração (Figura 17). Recentemente, o Instituto Federal Alemão para Geociências e Recursos Naturais submeteu a International Seabed Authority-ISA aplicação para um contrato de exploração de uma área com nódulos polimetálicos entre o sudeste do Havái e sudoeste da Califórnia. A aplicação de tal natureza representa a primeira, segundo as regras de contrato da ISA. BLISSENBACH (1979) indicou que a concentração média de níquel, cobre, cobalto é de 2,5 a 3,0%.

Alguns fatores devem ser considerados pelas concentrações menores encontradas no Atlântico quando comparadas com as do Pacífico. Com uma área três vezes menor, o Atlântico recebe um volume comparativamente mais alto de sedimentos terrígenos transportados através de correntes de turbidez e outros fluxos gravitacionais para a região abissal, apresentando uma taxa de sedimentação intensa e contínua, gerando um ambiente pouco propício para a ocorrência de reações diagênicas propícias ao desenvolvimento dos nódulos.



**Figura 17.** Zona de fratura Clarion-Clipperton e área de ocorrência dos nódulos, mostrando igualmente a distribuição de frequência de níquel e cobre comparada as dos oceanos Índico e Pacífico (norte e sul) (COOPER, 1983).

A diferença mais importante entre os nódulos encontrados no Atlântico em relação aos de outros oceanos é, principalmente, a alta taxa de Mn/Fe, provavelmente devido à contribuição terrígena mais intensa e ao alto conteúdo de ferro presente nos sedimentos.

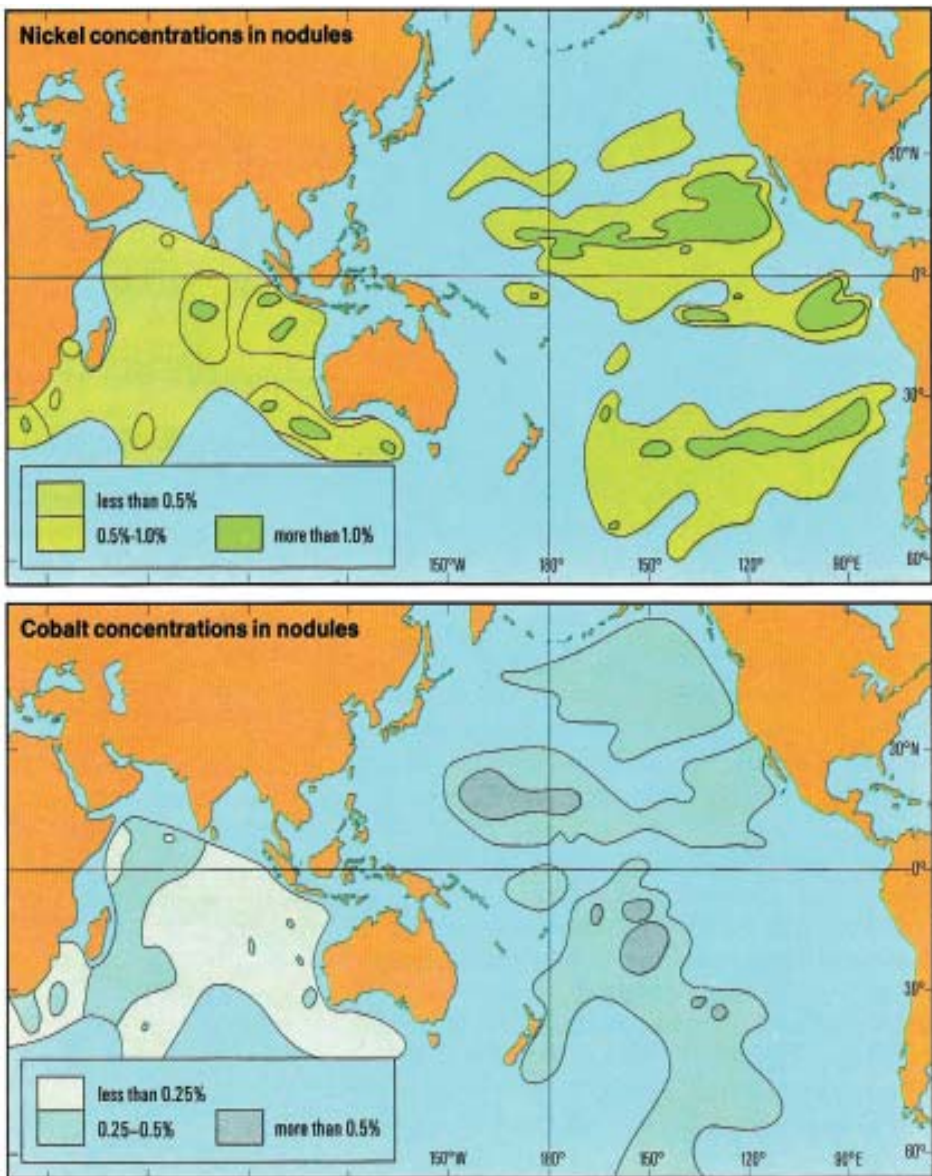
No Brasil, SANTANA (1999) indica uma dragagem realizada no Plateau de Pernambuco a uma profundidade entre 1.750 e 2.200 metros com recuperação de 150kg de material, formado predominantemente por nódulos polimetálicos, de alta esfericidade, densa cobertura metálica e com diâmetro de 2 a 12 cm. Cerca de 90% dos nódulos recuperados possuíam um núcleo de rochas fosfáticas com lâminas concêntricas de 0,5-0,7 cm de espessura. A composição é variável com 28% de  $P_2O_5$  no núcleo, e 20-30% de manganês, 30% de ferro, 0,6 a 1,5 de cobalto, 0,04 a 0,23 de cobre, 0,08 a 0,53 de chumbo e 0,12% de zinco metálico nas lâminas concêntricas. O autor em seu mapa apresenta outras ocorrências situadas na Zona Costeira Econômica Exclusiva.

Na zona de Clarion-Clipperton-CCZ (entre o Havaí e a Baja Califórnia), depósitos de nódulos polimetálicos encontram-se situados a nordeste do Oceano Pacífico Tropical. Duas fontes são atribuídas para os metais presentes nos depósitos: fontes hidrotermais de vulcões submarinos e fontes continentais dos rios do norte e centro do continente americano. Os nódulos apresentam quantidades significantes de manganês, níquel, cobre e cobalto (Figura 18).

Por sua vez, as concentrações de níquel e cobalto nos nódulos do Pacífico Norte são apresentadas na Figura 19.

MORGAN (1999) sintetizou o atual conhecimento sobre as potencialidades da região, estimando os recursos em milhões de toneladas para o manganês-7500, Níquel-340 Cobre-2,65 e Cobalto-78%. Segundo o autor, a área de ocorrência atinge nove bilhões de quilômetros quadrados, contendo cerca de 34 bilhões de toneladas de nódulos de manganês.

JAUHARI & PATTAN (1999) realizaram um detalhado estudo sobre a bacia central do Oceano Índico (Figura 20), enquanto STACKELBERG (1999) efetuou o mesmo trabalho, com os nódulos de manganês da Bacia do Peru.



**Figura 18.** Concentrações de níquel e cobalto em nódulos do Pacífico Norte (COOPER, 1983).

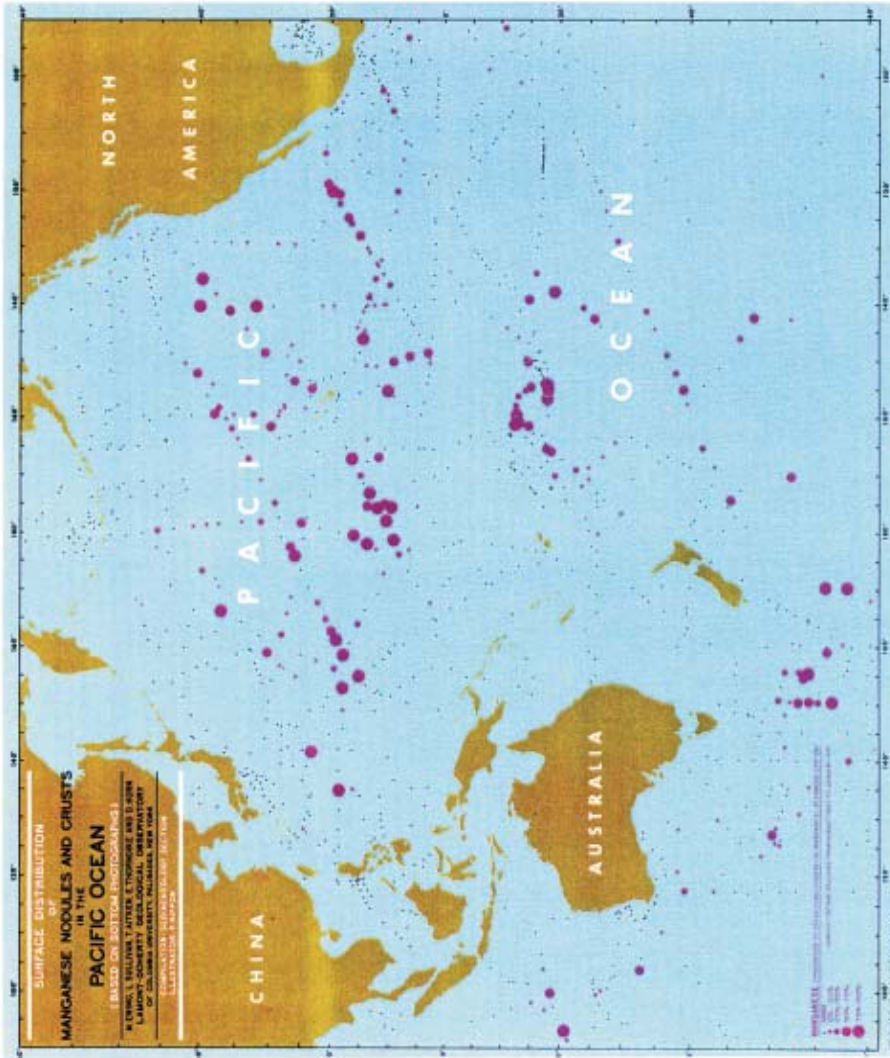
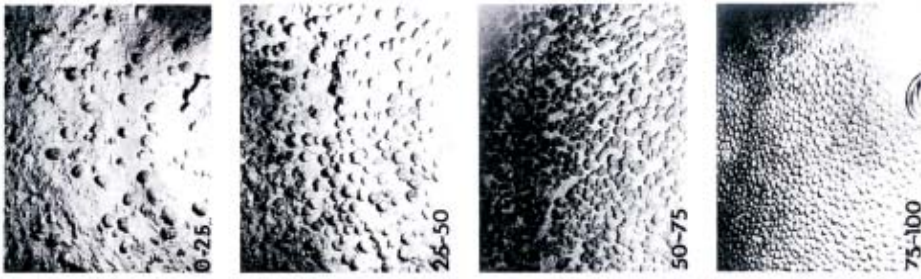
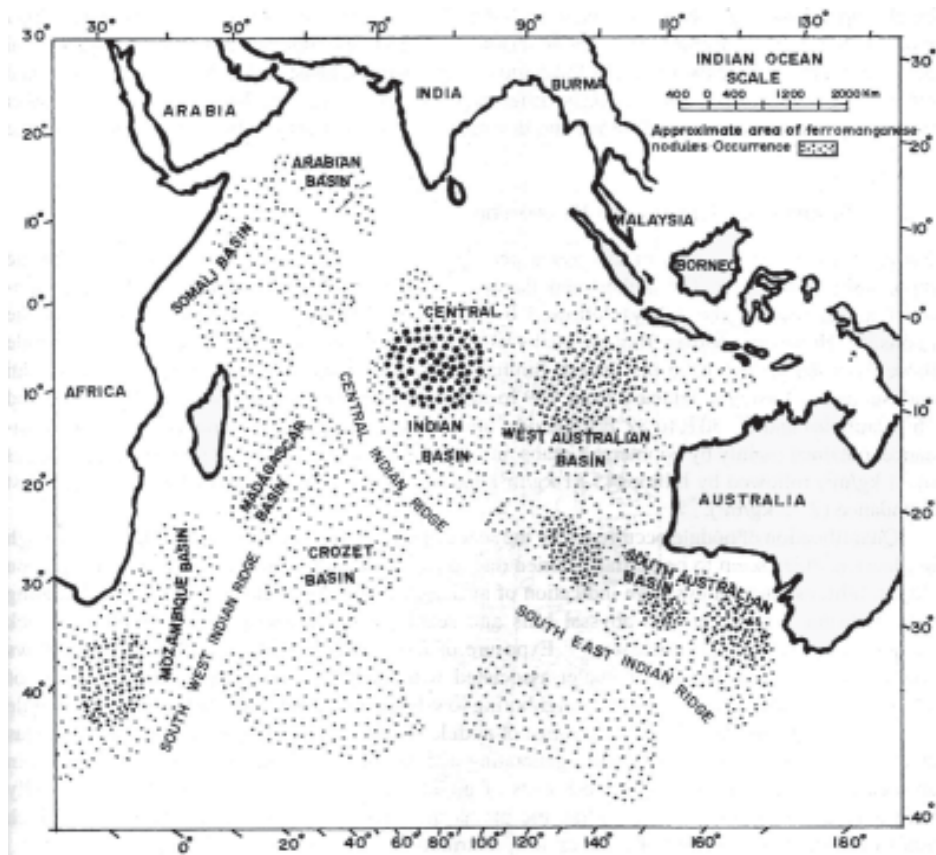


Figura 19. Concentração de nódulos polimetálicos no Pacífico Norte (HORN *et al.*, 1972).



**Figura 20.** Ocorrência de nódulos de ferro-mangânês na bacia do Oceano Índico segundo JAUHRI & PATTAM (1999).

## 2.6 CROSTAS COBALTÍFERAS

Em realidade, trata-se de crostas de manganês enriquecidas por cobalto e que costumam ocorrer como cobertura de substratos duros como basalto, em diversas regiões. Tipicamente encontrados em montes submarinos onde existe influxo modesto de sedimento, esses depósitos vêm sendo considerados como possível fonte de manganês e cobalto. Os melhores depósitos encontrados até agora em cadeias de montes submarinos a diferentes profundidades situam-se na porção central e leste do Oceano Pacífico e no Oceano Índico.

Estão normalmente associados a crostas polimetálicas formadas por óxidos de manganês e ferro, que incorporam outros metais em sua estrutura.

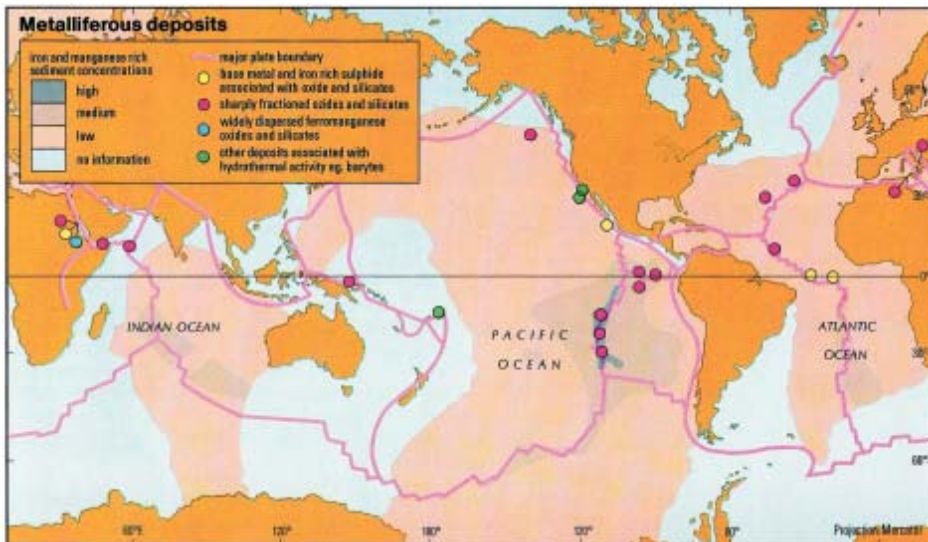
São associados a superfícies expostas do fundo oceânico e em declives de montes submarinos. Em algumas áreas as crostas possuem níveis elevados de cobalto incorporando a designação de crostas cobaltíferas.

Crostas de ferro-manganês ricas em cobalto foram objeto de estudo no Oceano Pacífico por HEIN *et al.* (1999).

## 2.7 SULFETOS POLIMETÁLICOS E OUTROS DEPÓSITOS HIDROTERMAIS

Os primeiros depósitos de sulfetos maciços (Figura 21) foram identificados no East Pacific Rise em 1978, em uma área de colinas vulcânicas apresentando fissuras, e com incisiva atividade hidrotermal próxima ao eixo de expansão. Os depósitos são aproximadamente cilíndricos apresentando de 3 a 10 metros de altura com 5 metros de diâmetro e cores variadas: ocre, cinza, marrom e vermelha. MARCHIG (1999) ampliou o conhecimento relativo à atividade hidrotermal no East Pacific Rise e às mineralizações associadas.

Amostras coletadas revelam a presença de sulfetos de ferro, zinco e cobre em acentuadas concentrações. Outras áreas mineralizadas têm sido descobertas incluindo várias regiões entre as ilhas de Galápagos, Equador e Juan de Fuca Ridge, ao largo do Estado de Oregon (USA).



**Figura 21.** Depósitos metalíferos de ferro, manganês e associados de sulfetos, óxidos, silicatos e barita (COOPER, 1983).

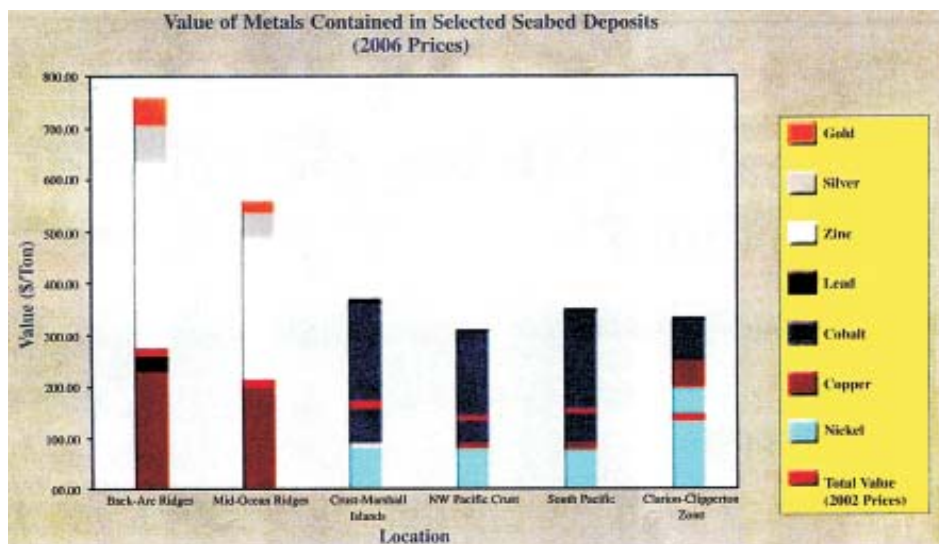
As ocorrências necessitam de uma fase exploratória mais detalhada, antes da etapa de avaliação de sua importância econômica. Dados recentemente divulgados (2006) indicam os valores comerciais dos metais contidos em depósitos de sulfetos, crostas polimetálicas e nódulos polimetálicos (Tabela 4) e nas mais variadas regiões do oceano profundo (Tabela 5).

**Tabela 4.** Valores dos metais comerciais contidos nos depósitos de sulfeto, crostas polimetálicas e nódulos polimetálicos (ANTRIM, 2005).

Value of Contained Commercial Metals (\$/Ton)										
	\$/Ton	Sulfide Deposits				Polymetallic Crusts			Polymetallic Nodules	
		Intraoceanic Back-Arc Ridges	Intraoceanic continental Back-Arc Ridges	Co-rich Chassigny	Mid-Ocean Ridges	Marshall Islands	NW Pacific Crust	South Pacific	Indian Ocean	Clarion-Clipperton Zone
Nickel	6,771	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$38.70	\$36.58	\$36.35	\$20.48	\$86.67
Copper	1,652	\$84.25	\$33.04	\$522.02	\$67.73	\$1.75	\$1.78	\$1.77	\$2.51	\$16.85
Cobalt	15,198	\$0.00	\$0.00	\$2.43	\$0.00	\$119.88	\$96.84	\$114.50	\$50.85	\$36.48
Lead	969	\$11.63	\$111.45	\$0.00	\$1.94	\$1.74	\$1.72	\$0.72	\$1.00	\$0.44
Zinc	881	\$133.04	\$162.11	\$0.35	\$103.08	\$0.76	\$0.60	\$0.59	\$0.45	\$1.23
Titanium	7,770	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$85.47	\$59.83	\$77.70	\$69.93	\$41.18
Silver	145,189	\$28.31	\$401.59	\$0.00	\$20.33	\$0.00	\$0.10	\$0.00	\$0.58	\$0.00
Gold	9,797,042	\$28.41	\$37.23	\$0.00	\$11.76	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00
Total Value of Contained Commercial Metals		\$285.64	\$745.42	\$524.80	\$204.83	\$248.30	\$197.45	\$231.62	\$145.80	\$182.84

AUGUST 2006 / 57

**Tabela 5.** Valores dos metais contidos em depósitos de mar profundo, presentes em várias regiões.



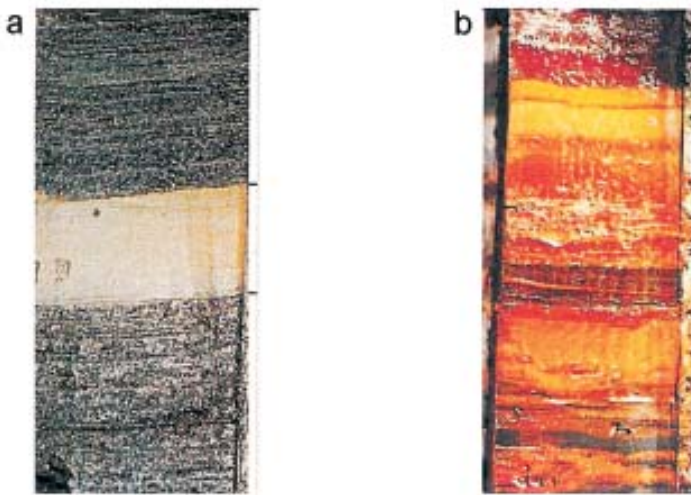
A atividade hidrotermal no Mar Vermelho (figuras 22 e 23) acha-se ligada ao movimento divergente das placas africana e arábica e subsequente formação de nova crosta oceânica. A formação dos depósitos hidrotermais é facilitada por duas razões:

a) o desenvolvimento de nova crosta oceânica focada em uma área relativamente pequena (depressão isolada);

b) ocorrência de salmouras salinas que favorece a preservação dos depósitos hidrotermais. Como resultado, ferro, manganês, sulfato e fácies de sedimentos sulfetados são encontrados.

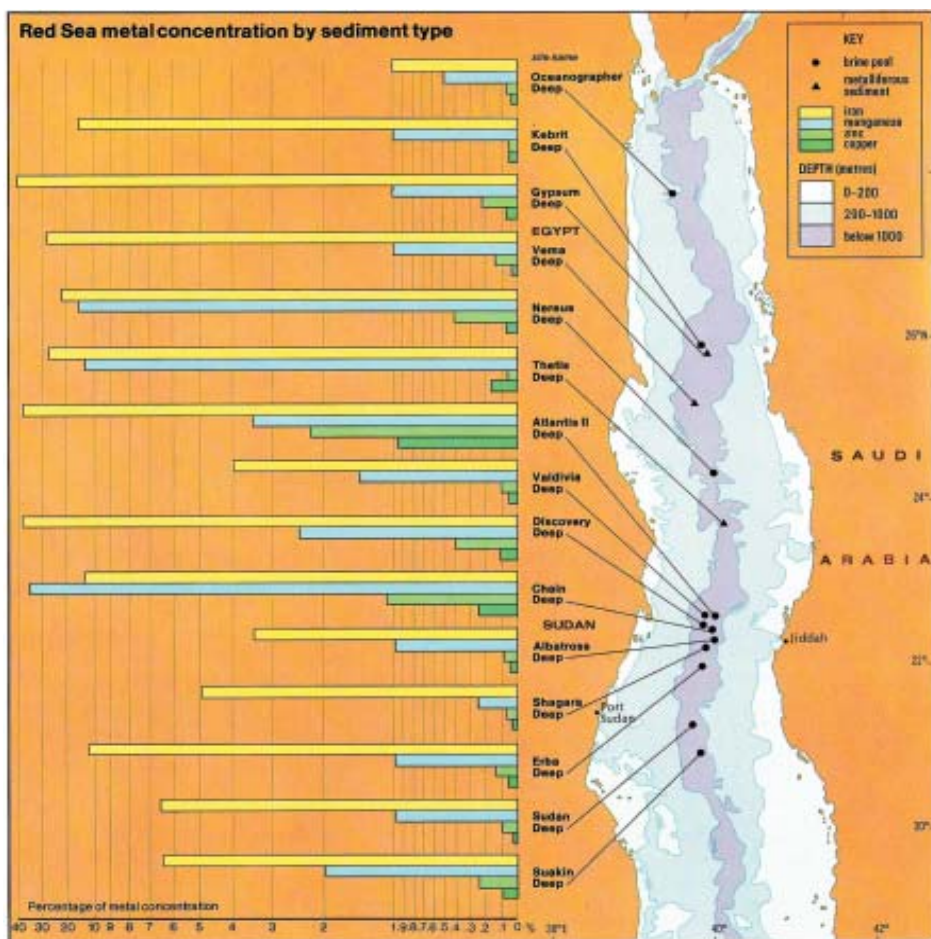
Esses depósitos são únicos em comparação com outras mineralizações metalíferas em limites de placas divergentes por suas altas concentrações.

SHOLTEN *et al.* (1999) realizaram minuciosa investigação sobre as diferentes fácies sedimentares, caracterizando as denominadas fácies goetita, fácies hematita, fácies sulfeto e fácies normal. O estudo favorece uma visão ampla do complexo conjunto de minerais ocorrentes na área.



**Figura 22.** Camadas multicoloridas representando diferentes minerais depositados a partir das salmouras ricas em metais do Mar Vermelho: a) secção verde-cinza com 125 a 145 cm formada por sedimentos biodetríticos (carapaças de foraminíferos formadas por calcita altamente magnésiana) e mistura finamente laminada desses sedimentos com sulfetos de ferro no topo e fundo; b) secção vermelho-marrom e amarela com 125 a 165 cm, integrada por uma mistura amarelo-laranja de goetita e limonita amorfa (SUMMERHAYES, 1998).





**Figura 23.** Lamas metalíferas do Mar Vermelho. As lamas metalíferas do Mar Vermelho foram descobertas em 1963. Ainda que investigações subsequentes tenham mostrado que existem vários depósitos associados com salmouras quentes, somente a depressão Atlantis II é de interesse comercial. Os depósitos estão todos localizados nas partes central e norte, formados por sedimentos de granulação fina, estratificados e multicoloridos com variação química considerável. Altas concentrações de 6% de zinco, 1% de cobre e 100 ppm de prata, são encontradas em sulfetos, óxidos e silicatos. A depressão Atlantis II cobre uma área de aproximadamente 60 km<sup>2</sup>. A lama metalífera está localizada a 2.000 metros abaixo do nível do mar, variando em espessura de 2 a 25 metros, sendo coberta por 200 metros de densa salmoura, com temperaturas registradas de 62°C. Isso sugere que a atividade hidrotermal prossegue a depositar os metais. A depressão situa-se na ZEE do Sudão e Arábia Saudita e uma comissão conjunta foi criada para administrar a exploração (COOPER, 1983).

## 2.8 OUTRAS OCORRÊNCIAS

*Glauconita*: um silicato hidratado de potássio, ferro e alumínio que pode ser encontrado nas margens continentais. Segundo a maioria dos geoquímicos marinhos, trata-se de um produto autigênico produzido junto à interface sedimento-água. Alguns autores indicam ser a glauconita um produto de intemperismo marinho, o que não invalida sua condição de componente da fase denominada de halmirólise ou diagênese inicial. Ocorre normalmente com sedimentos terrígenos e contém de 2 a 9% de  $KO_2$ , servindo como fonte de potássio para fertilizantes.

Tem sido descrita nas margens continentais dos Estados Unidos (Califórnia), África do Sul, Austrália, Portugal, Nova Zelândia, Filipinas, China, Japão e Escócia.

Os grãos individuais de glauconita encontrados em lamas marinhas raramente excedem a 1 mm de diâmetro, embora possam ser também encontrados ocasionalmente, como aglomerados em nódulos de vários centímetros de diâmetro cimentados por material fosfático. Os grãos típicos de glauconita são arredondados, de coloração verde escuro, e freqüentemente apresentam forma e aparência de carapaças de foraminíferos.

Sedimentos autógenos freqüentemente resultam de processos associados com alta produtividade orgânica e elevados níveis de matéria orgânica nos sedimentos marinhos. Esses minerais, tais como fosforitas e glauconitas, são conhecidos por formarem-se dentro das áreas de grande produtividade vinculadas à ressurgência.

No Brasil, estudos sobre a ocorrência de glauconitas foram divulgados a partir da década de 1970, sendo descritos tanto em amostras superficiais como em testemunhos.

*Barita*: foi encontrada sob a forma de concreções nas cercanias de Colombo, no Oceano Índico. As concentrações apresentam cerca de 75% de sulfato de bário. Outras ocorrências foram descritas na Califórnia, a 304 metros. De um modo geral, ela encontra-se bastante distribuída nos sedimentos marinhos, especialmente associada a sedimentos biogênicos, usualmente como grãos individuais.

Sua origem é bastante controversa incluindo fonte hidrotermal e atividade biogênica.

*Lamas orgânicas:* podem estar associadas a várias regiões costeiras e foram erodidas das áreas continentais adjacentes, em pequenas bacias. Face às condições redutoras e falta de acumulação nessas bacias, esses sedimentos são preservados.

Alguns autores indicam que essas lamas podem ser usadas como fertilizantes.

Os sedimentos da Bacia Santa Bárbara ao sul da Califórnia contêm uma média de 4% de matéria orgânica.

Freqüentemente, nessas condições redutoras, sulfetos metálicos podem ocorrer (pirita especialmente).

*Vasas organogênicas:* no piso oceânico profundo ocorrem depósitos constituídos por material de origem biogênica, denominados de vasas organogênicas. Algumas vasas têm potencial econômico, mas encontram-se praticamente inexploradas, em face à grande profundidade de ocorrência. Dois tipos predominam, com as respectivas áreas de ocorrência governadas pelo controle de latitude podendo ser calcárias ou silicosas. As vasas calcárias (formada usualmente do foraminífero globigerina) e as vasas silicosas (diatomáceas e radiolários).

As vasas de globigerina apresentam um teor de até 99% de carbonato de cálcio, ocupando uma área de 128 milhões de km<sup>2</sup> (36%) dos fundos dos oceanos, com espessura de até 400 metros, estimando-se existir no fundo dos oceanos um volume da ordem de um trilhão de toneladas com 200 m de espessura.

As vasas calcárias ocupam o piso marinho nos trópicos e subtropicais, a batimétricas superiores à profundidade de compensação do carbonato de cálcio.

As vasas silicosas cobrem áreas profundas do piso marinho, abaixo da profundidade de compensação do carbonato de cálcio. Embora possuam composição bastante elevada em termos de sílica, a profundidade de ocorrência representa o maior empecilho a sua exploração econômica.

Areias compostas predominantemente por grãos de quartzo representam fonte potencial de sílica para vidro e possivelmente modelos de fundição. Várias gerações de retrabalhamento no material original são requeridas para produção de um material de alta qualidade e pureza. Embora depósitos

significantes ocorram na Finlândia e Canadá, as acumulações de alta qualidade parecem limitadas a extensões regionais.

### **3. OCORRÊNCIAS DE SUBSUPERFÍCIE**

#### **3.1 EVAPORITOS**

As ocorrências de evaporitos na margem continental brasileira de idade Aptiana são formadas por anidrita, gipsita, halita, potássio e sais de manganês. Os depósitos se estendem da bacia de Alagoas ao Plateau de São Paulo. SANTANA (1999) mostra o limite de mar aberto das bacias evaporíticas, baseado em perfis sísmicos de reflexão e refração, complementados por dados de perfuração. A maior largura das bacias salíferas ocorre na costa de Santos, estendendo-se por 650 km a partir do Plateau de São Paulo.

O sal ocorre tanto estratificado como formando estruturas dômicas ou do tipo almofada, com as primeiras ocorrendo nas porções norte e sul da bacia evaporítica. Nas bacias de Sergipe e Alagoas, onde os depósitos ocorrem estratificados ou formando almofadas, sais de potássio e magnésio (carnalita e silvita) foram identificadas. A ocorrência apresentando espessura de 15 a 50 metros acha-se localizada a 3.000 metros de profundidade. No mesmo mapa, SANTANA (1999) apresenta as ocorrências de domos de sal, contendo halita de alta pureza, detectados no domo de Barra Nova (ES). Os domos identificados ao norte de Abrolhos e Mucuri (BA), juntamente com os de Barra Nova, podem ser economicamente interessantes, pois são relativamente rasos e não muito distantes da costa. Como os processos de extração são bem conhecidos e não dispendiosos, os sais podem ser economicamente significantes.

Barra Nova apresenta sete domos, localizados a 30-50 km da linha de costa e a uma profundidade de 30-55 metros. Um deles apresenta-se numa situação de quase aflorante e os outros situam-se de 106 a 900 metros. Mucuri mostra dois domos com o topo do sal quase aflorando e outro com o topo situado a 800 m. Todos eles localizados de 20 a 25 km da linha de costa e recobertos por uma lâmina d'água de 20/25 metros.

#### **3.2 ENXOFRE**

Todas as bacias que abrigam hidrocarbonetos tendem a ter depósitos de enxofre. Eles podem ocorrer estratificados ou presentes nas rochas

capeadoras dos domos de sal. Dessa forma, é provável a existência de depósitos de enxofre bastante expressivos na margem continental brasileira, devido à presença de extensas bacias evaporíticas. SANTANA (1979) indica que na época dois projetos: “Enxofre na plataforma continental” e “Enxofre na bacia evaporítica do Espírito Santo: partes emersas”, foram preparados, mas devido às dificuldades nas etapas de equipamento para perfuração e financiamento, eles foram abandonados. Também a Petrobras, pouco tempo antes, anunciou a descoberta de enxofre nas bacias de Sergipe a Espírito Santo, através de camadas estratificadas boas geradoras desse recurso.

Baseado em secções sísmicas, mapas gravimétricos e perfurações (ROCHA, 1975) foram selecionadas 21 estruturas como capazes de abrigar enxofre em suas rochas capeadoras. Localizadas na desembocadura do Rio Doce e conseqüentemente nas porções submersas da bacia do Espírito Santo, onde enxofre foi identificado, é possível que esse elemento esteja presente em suas rochas capeadoras.

Enxofre pode ser formado através da redução do sulfato de anidrita para gás sulfídrico por meio da ação de bactérias na presença de hidrocarbonetos e subseqüente oxidação do gás que libera enxofre na forma elementar.

Antigos trabalhos da CPRM na área dos domos de Janaína, Yemanjá e Mucuná, embora promissores, não prosseguiram em função de empecilhos técnicos e de financiamento.

Em Abrolhos norte, três domos estão situados de 60 a 70 km da costa, com o topo do sal localizado em 300 metros, e uma profundidade de 20-30 metros.

Na desembocadura do Rio Doce, os domos estão a uma distância de 30 a 50 km da costa, cobertos por uma lâmina d'água de 30 a 70 metros e denominados Yemanjá, Janaína, Yara, Inaê, Mucuná, Rio Doce norte e Rio Doce sul. Os cinco primeiros apresentam topo do sal a 270 m, 300 m, 750 m e 800 m respectivamente. Rio Doce norte possui seu topo recoberto por uma coluna d'água de 15 metros, enquanto o do Rio Doce sul não foi determinado.

### 3.3 CARVÃO

Inglaterra, Japão, Canadá e Austrália são países que apresentam importante ocorrência de carvão em suas plataformas continentais, geralmente formando extensões de camadas sedimentares do continente adjacente. Para se ter uma idéia da importância desses depósitos, pode-se indicar que 30% da produção de carvão do Japão e 10% da Inglaterra provêm de camadas sedimentares submarinas. A região da Nova Escócia no Canadá contribuiu com 80% do carvão extraído dos depósitos submarinos de Sidney.

No Brasil, carvão é encontrado na formação Rio Bonito, permiano médio da Bacia do Paraná. O Serviço Geológico do Brasil (CPRM), juntamente com o Departamento Nacional da Produção Mineral (DNPM), desenvolveram vários projetos na zona costeira entre Araranguá (Santa Catarina) e Tramandaí (Rio Grande do Sul). Na área próxima à praia de Santa Terezinha, localizada entre Torres e Tramandaí (Rio Grande do Sul), a CPRM perfurou alguns poços, identificando, a 700-800 metros de profundidade, camadas de carvão com espessura variável de 0,35 a 2,65 metros. As extensões das camadas de carvão foram confirmadas, embora com dados ainda insuficientes para considerar a ocorrência economicamente viável. Perfis sísmicos obtidos na plataforma continental serão necessários para uma avaliação mais consistente.

A mineração de carvão da plataforma é desenvolvida há muitos anos. Normalmente, ela é realizada pela extensão de galerias a partir da terra, sob a plataforma continental, até atingir os estratos ricos no mineral. Segundo a literatura disponível, existe uma quantidade apreciável de carvão sob a plataforma continental em muitas partes do mundo, mas sua extensão ainda é desconhecida.

Perfurações nas províncias de gás do Mar do Norte confirmaram a presença de grandes quantidades de carvão de boa qualidade nas camadas carboníferas do Permiano a uma profundidade de 7.000 metros abaixo do piso marinho. Tal situação é inacessível com a tecnologia atual de extração de carvão. As possibilidades residem no futuro, quando o carvão poderá ser extraído por uma tecnologia mais avançada.

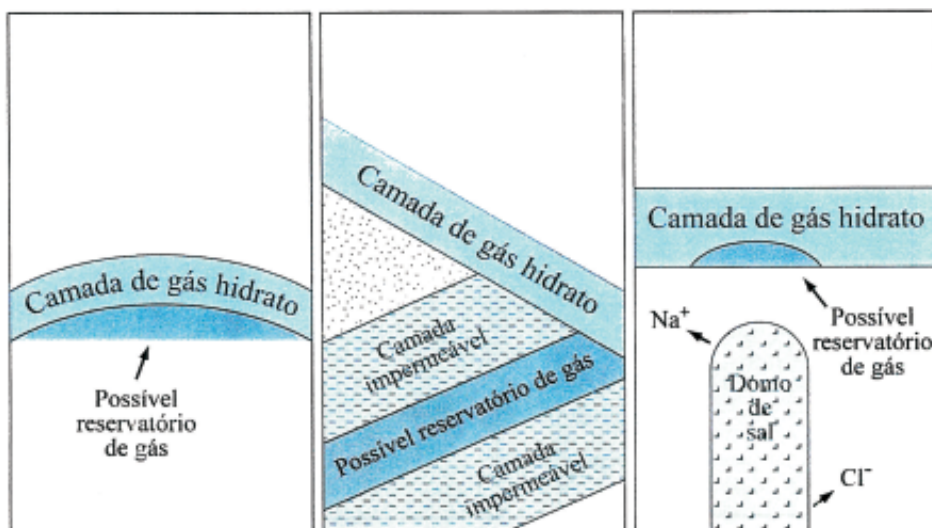
Muitos desses depósitos de carvão podem ser explorados no futuro através de técnicas de gaseificação com plantas localizadas em ilhas artificiais. Na baía de Ariake (Japão), ilhas artificiais foram já construídas

mas destinadas a facilitar a extensão da mineração do carvão a partir do continente.

### 3.4 HIDRATOS DE GÁS

A busca incessante de fontes alternativas de energia a partir dos oceanos estabeleceu, no decorrer dos anos, o desenvolvimento de muitos estudos e projetos com a finalidade de fornecer um melhor conhecimento de seu potencial, bem como alguns princípios básicos fundamentais para o seu aproveitamento (MARTINS, 2003).

Por mais de um século, cientistas de várias partes do mundo detêm conhecimento sobre hidratos de gás, ocorrentes naturalmente em certas áreas dos oceanos, vinculados especialmente ao declive e à elevação continental. A partir de 1964 vem crescendo o interesse científico com conotações econômicas sobre essas acumulações. DILLON (1997) sintetizou as principais situações de acumulação de hidratos de metano (Figura 24).



**Figura 24.** Situações de acumulação de hidratos de metano (DILLON, 1997).

Estudos realizados pelo United States Geological Survey (USGS) indicam que esses depósitos em nível mundial atingem o dobro dos hidrocarbonetos fósseis. Nos Estados Unidos, as reservas até aqui estudadas estão localizadas especialmente no Plateau Blake e no Golfo do México (Figura 25).



**Figura 25.** Hidratos de gás do cânion Mississipi (LORENSON *et al.*, 2002).

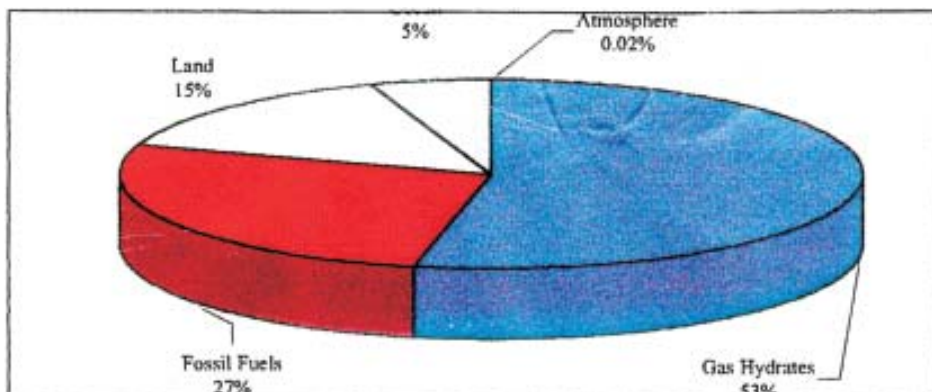
Em oceano profundo, hidratos de metano foram identificados em testemunhos geológicos obtidos através do Ocean Drilling Project (ODP), tendo surpreendido as equipes de pesquisadores, a extensão e as espessuras desses depósitos.

Hidratos de metano são substâncias sólidas semelhantes ao gelo, compostas por água e gás natural. Costumam ocorrer naturalmente em áreas onde o metano e a água podem combinar-se em condições apropriadas de temperatura e pressão. Os estudos sobre o aproveitamento dos hidratos de metano encontram-se alicerçados em cinco componentes maiores: caracterização do recurso, produção, mudanças climáticas globais, segurança e estabilidade do piso marinho. É esperado que os hidratos de metano ingressem no panorama econômico como um recurso em cenário a partir de 2010.

Os hidratos de metano constituem o maior reservatório de carbono do ambiente global (Figura 26).

Com suficientes fontes de metano e água, os hidratos são estáveis em profundidades de 150 a 2.000 metros, abaixo do *permafrost* e no fundo oceânico à profundidades maiores que 300 a 400 metros e 1.100m abaixo do piso marinho.





**Figura 26.** Distribuição do carbono no ambiente (ANTRIM, 2005).

A maior parte dos depósitos oceânicos de hidratos do metano possuem origem biogênica. Esses depósitos são encontrados nos declives continentais de margens passivas, zonas de subducção, em dobramentos e vales entre a linha de costa e as cordilheiras, acima das placas de subducção e em bacias do tipo *back-arc*.

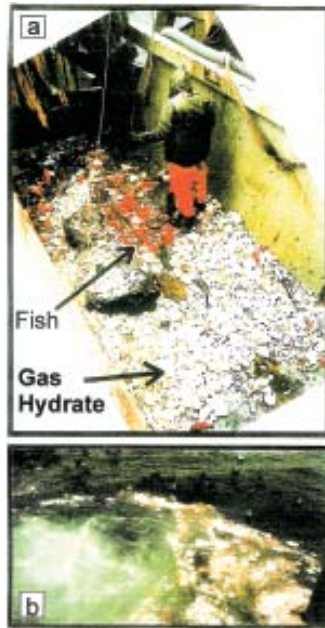
O processo básico de recuperação do gás natural envolve quebra no equilíbrio de manutenção do hidrato e o bombeamento do gás para a superfície. Um dos métodos consiste no aumento da temperatura do hidrato por injeção termal, outro é efetuar a redução da pressão, o que resulta na dissociação do gás a partir da água, ou injetar solvente que altera as características de pressão-temperatura, favorecendo a dissociação do gás.

Japão e Índia investem fortemente na pesquisa de hidratos de gás. Os resultados desse esforço são mostrados nas Figuras 28 e 29.

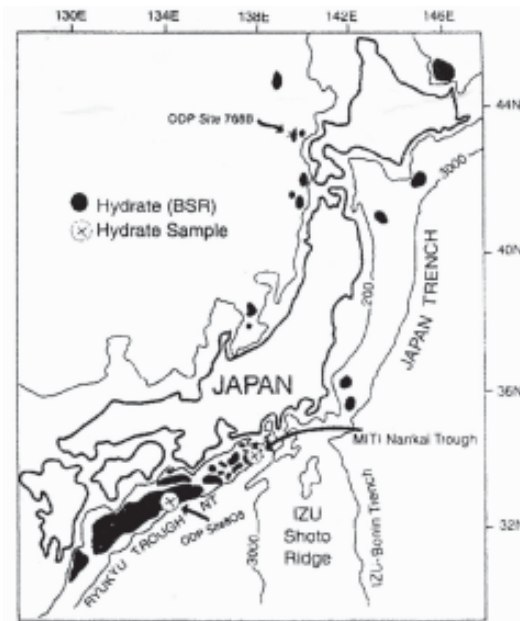
O pesqueiro Ocean Selector recuperou, em missão realizada em novembro de 2000, cerca de 1 tonelada de fragmentos de hidratos de metano (Figura 27) através de uma rede de arrasto, à profundidade de 800 metros, nas cabeceiras do Canyon Barclay junto à ilha de Vancouver.

Os estudos do Brasil são ainda em pequeno número tendo TANAKA *et al.* (2003) apresentando resultados obtidos no Cone do Amazonas.

A compreensão relativa à presença de hidratos no piso marinho vem crescendo rapidamente, visando promover um melhor conhecimento sobre



**Figura 27.** (a) Lascas de hidratos de metano no porão do barco pesqueiro (branco), peixes (vermelho) e rochas carbonáticas (preto). (b) Lascas de hidratos de metano descarregadas de retorno ao mar (SPENCE & CHAPMAN, 2001).



**Figura 28.** Depósitos de hidrato na costa do Japão (ANTRIM, 2005).

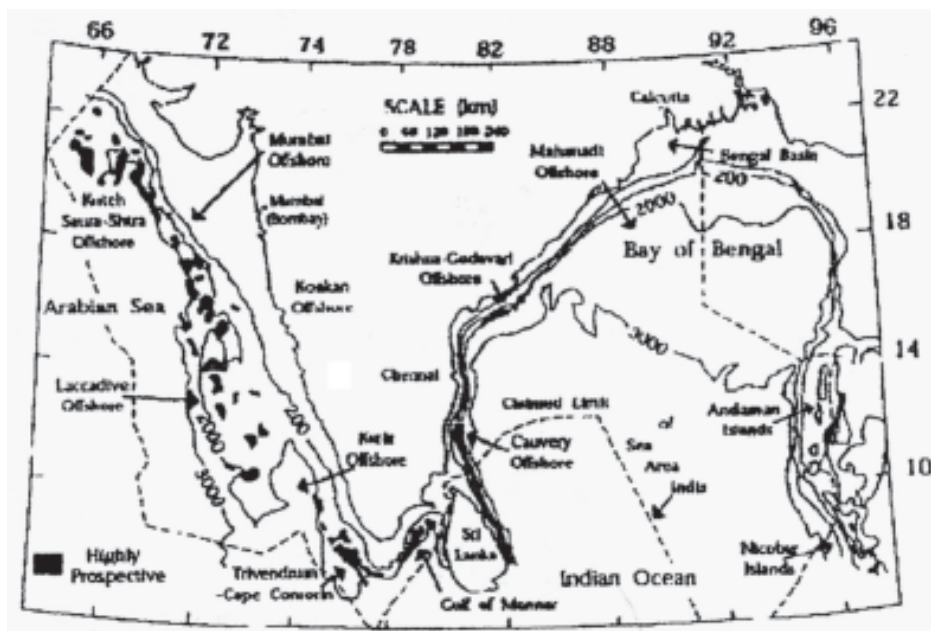


Figura 29. Depósitos de hidrato de metano na Índia (ANTRIM, 2005).

o fluxo do gás em subsuperfície, bem como dos modelos de formação e dissociação do mesmo. Além disso, a avaliação do possível impacto do gás contido nos hidratos, no clima global, só será atingida pela compreensão de como ele é liberado na coluna d'água e se o gás pode eventualmente atingir a atmosfera.

Conhecido durante algum tempo na indústria do petróleo, como um estorvo nas tubulações de óleo e gás, onde sob certas condições promovia efeito similar ao do colesterol nas artérias humanas, os hidratos de gás passaram a constituir um atraente tema a partir da década de 1960, em função de suas conotações de caráter econômico e ambiental. A atual distribuição de depósitos de hidratos de metano, conhecidas e inferidas, é apresentada na Figura 30.

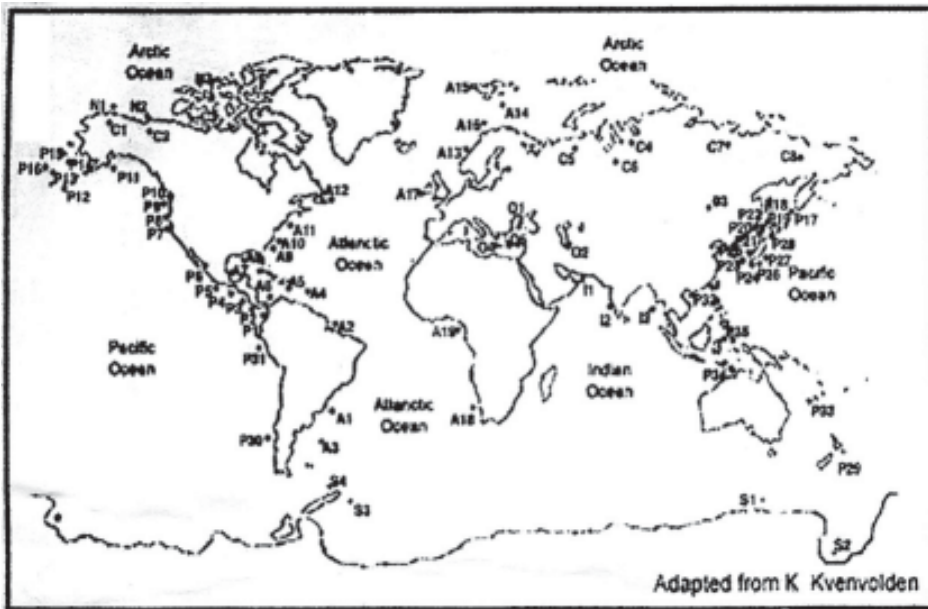


Figura 30. Ocorrência global de depósitos de hidratos de metano KVENVOLDEN (2001).

#### 4. ZONA COSTEIRA COMO UM RECURSO

A adoção da zona costeira como um recurso não-vivo é decorrente de inúmeras discussões promovidas durante as reuniões do Grupo de Coordenação do programa “Ocean Science in relation to Non Living Resources-OSNLR” (COI/Unesco).

Em realidade, a zona costeira representa um de nossos recursos mais preciosos, pois abriga grande parte da população mundial. Trata-se de uma zona frágil que responde de maneira adversa a mudanças em seu perfil de equilíbrio. Essas mudanças podem ser naturais ou induzidas pelo homem. Os fenômenos naturais como, por exemplo, terremotos, inundações, tempestades, podem resultar em apreciáveis mudanças na linha de costa. Algumas dessas mudanças podem ser globais em extensão, como a elevação eustática do nível do mar, resultado do aquecimento global e que afetará enormemente a zona costeira, produzindo inundação marinha, salinização e destruição dos sistemas aquíferos costeiros.

As mudanças induzidas pelo homem, como construção de portos, retirada de sedimentos do perfil praial, dragagens, podem conduzir a fenômenos de erosão costeira regional ou local. A construção de barragens pode afetar o aporte de sedimentos ou nutrientes conduzindo a drásticas mudanças tanto em recursos vivos como não-vivos da zona costeira.

O interesse despertado pela zona costeira em organismos como a Unesco e a OEA, Comunidade Européia, entre outras, conduziu a realização de inúmeras conferências, seminários, *workshops* e outras reuniões científicas sobre o tema, como a Conferência Internacional “Coastal Change” realizada em Bordeaux, França, com a participação de mais de quatrocentos cientistas e administradores costeiros. Na oportunidade, ficou clara a importância das zonas costeiras, seriamente afetadas por ações naturais e antrópicas, como erosão, salinização de aquíferos e contaminação. Uma das metas do evento foi amplamente atingida, facilitando a comunicação efetiva entre cientistas, usuários e administradores da zona costeira, através na análise de muitas questões, tais como:

- Quais são os vários mecanismos e processos responsáveis pelas mudanças físicas ocorrentes na zona costeira?
- Como a ciência pode ser utilizada no desenvolvimento sustentável dessa região?
- Quais são as implicações socioeconômicas dessas mudanças?

Neste verdadeiro cenário de estudo e preservação da zona costeira, pelo que ela representa como um recurso em si, alguns aspectos fundamentais devem ser levados em consideração como:

- Gerenciamento integrado dos ambientes costeiros, incluindo biodiversidade;
- Exploração sustentável dos recursos marinhos vivos;
- Exploração dos recursos não-vivos, a um custo efetivo e de uma forma ambientalmente aceitável;
- Avaliação e previsão de eventos episódicos costeiros geralmente catastróficos, com vistas a minimizar seus impactos na vida humana e na infra-estrutura existente;

- Avaliação da capacidade da zona costeira em absorver as mudanças produzidas;
- Formação e fortalecimento da capacidade científica dos países menos desenvolvidos, de forma a permitir participação em programas costeiros internacionais de relevância para suas prioridades e aspirações nacionais;
- Comunicação mais efetiva dos resultados científicos aos usuários e administradores para uma melhor condução de suas ações na zona costeira;
- União mais efetiva entre ciências costeiras e a sociedade para assegurar o seu desenvolvimento e conscientização com relação à zona costeira.

A importância da zona costeira como um recurso em si é enfatizada nos trabalhos desenvolvidos pelo United States Geological Survey, que inclusive estabeleceu uma série de publicações especiais procurando indicar a importância das linhas de praias e terras baixas adjacentes. Tais documentos enfatizam que o desconhecimento desses processos trazem normalmente trágicas colisões entre o homem e a natureza. A geologia costeira e marinha, quando aplicada nessas situações, podem contribuir para a compreensão e o equacionamento de muitos desses problemas.

Em plano regional, a adoção da zona costeira como um recurso em si foi enfatizada quando da realização das 1<sup>as</sup> Jornadas Ibero-Americanas de Ciência e Tecnologia Marinha (Cartagena, 1995) e a criação de um grupo de trabalho denominado “A Zona Costeira como um recurso: aspectos científicos e tecnológicos”. O grupo estabeleceu sua pauta de trabalho versando sobre:

- a) Estabilidade e vulnerabilidade dos ecossistemas costeiros e a exploração sustentável de seus recursos, incluindo os aspectos socioeconômicos;
- b) Efeitos a longo prazo do contínuo enriquecimento das águas costeiras por nutrientes e matéria orgânica (eutroficação e floração de algas nocivas);
- c) Efeitos na zona costeira de mudanças climáticas globais (incluindo processos de erosão) e sua adequada identificação.

No Brasil, vários estudos foram desenvolvidos nos últimos anos, considerando a zona costeira como um recurso em si. A contribuição do PGGM sobre erosão e progradação do litoral brasileiro foi feita por MUEHE (2005) e representa uma contribuição de valor apreciável.

No âmbito regional (Brasil, Uruguai e Argentina) o trabalho de MARTINS *et al.* (2002), abordando aspectos erosivos da linha de costa dos três países, constitui um estudo de igual valor.

Pelas razões aqui discutidas, considera-se a zona costeira como recurso em si, merecendo, dessa forma, uma atenção compatível com sua importância na interface continente/oceano (MARTINS & TOLDO Jr., 2006b).



**Figura 31.** Elevação do nível do mar e erosão costeira: problemas do recurso zona costeira.

## 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

De todos os recursos minerais discutidos no presente capítulo, nosso país tem informações de sua ocorrência em sua ZEE e área oceânica adjacente.

Os depósitos não-combustíveis, relacionados com o piso marinho, são formados por aqueles que podem ser obtidos de depósitos relativamente rasos em zonas costeiras (menos de 200 metros de profundidade), incluindo agregados como areia e cascalho, conchas e outros tipos de depósitos de carbonato de cálcio, fosforitas, placeres de minerais pesados ou gemas e depósitos de enxofre de subsuperfície. Os depósitos de mar profundo situam-se a profundidades expressivas (3.500 a 5.500 metros), requerendo uma tecnologia bastante distinta para os estudos exploratórios.

Com relação ao Brasil, o volume de informação é apenas razoável, destacando-se a heterogeneidade na profundidade e fidelidade dos dados existentes. Alguns trabalhos possuem boa qualidade de informações e foram obtidos através de programas plurianuais sob a responsabilidade de uma rede, reunindo muitas instituições (OSNLR, Remac, PGGM, por exemplo). No momento, encontram-se em desenvolvimento outros projetos similares (Remplac, Comar).

Não devem ser esquecidas as questões político-estratégicas a serem definidas pelo Brasil para os recursos minerais da Área Internacional dos Oceanos (SOUZA *et al.*, neste volume), com a criação de uma rede regional de instituições (Brasil, Argentina, Uruguai) para desenvolver atividades exploratórias na área da Elevação do Rio Grande.

### REFERÊNCIAS

AMATO, R. *Sand and gravel maps of the Atlantic Continental shelf with explanatory text* US Department of the Interior. [USA]: Minerals Management Service. Office of International Activities and Marine Minerals, 1994. (OCS Monograph MMS 93-0037).

ANTRIM, C. L. *What was old is new again: economic potential of deep ocean minerals: the second time around*. Arlington, USA: Center for Leadership in Global Diplomacy, 2005. 8 p.



BURNETT, W. C.; RIGGS, S. R. Phosphate deposits of the world. In: \_\_\_\_\_ . Neogene to modern phosphorites. Cambridge, UK: Cambridge University Press, 1990. V. 3.

BLISSENBACH, E. Prospective sedimentary mineral potentials in the South America Atlantic margin. In: SEMINÁRIO SOBRE ECOLOGIA BENTONICA Y SEDIMENTACIÓN DE LA PLATAFORMA CONTINENTAL DEL ATLÂNTICO SUR, 1979, Uruguai. *Memorias...* Montevideo: UNESCO: ROSTLAC. 1979. p. 383-403.

CALLIARI, L. J.; CÔRREA, I. C. S.; ASP, N. E. Inner shelf and seashell resources in Southern Brazil. In: MARTINS, L. R.; SANTANA, C. I. (Ed.). *Non living resources of the southern brazilian coastal zone and continental margin*. Porto Alegre: [s.n.], 1999. p. 39-49. Special Publication. OAS/IOC-UNESCO/MCT.

CARUSO JR., F. Shell deposits in the Santa Catarina coastal area, Southern Region of Brazil. In: MARTINS, L. R.; SANTANA, C. I. (Ed.). *Non living resources of the southern brazilian coastal zone and continental margin*. Porto Alegre: [s.n.], 1999. p. 69-79. OAS/IOC-UNESCO/MCT. Special Publication.

\_\_\_\_\_ et al. Heavy mineral sand deposits of the Rio Grande do Sul coastal plain Southern Brazil. In: MARTINS, L. R.; SANTANA, C. I. (Ed.). *Non living resources of the southern brazilian coastal zone and continental margin*. Porto Alegre: [s.n.], 1999. p. 50-61. OAS/IOC-UNESCO/MCT. Special Publication.

COUTINHO, P. N. Sedimentos carbonáticos da plataforma continental brasileira. In: OSNLR/COMEMIR WORKSHOP, 1992, Porto Alegre. *Anais...* Porto Alegre: [s.n.], 1992. 25 p.

COUPER, A. *Times atlas of the oceans*. New York, USA: Van Nostrand Reinhold Company, 1983. 272 p.

DILLON, W. *Gas (methane) hydrates: a new frontier*. Washington, USA: USGS Public Issues in Energy and Marine Geology, 1997. 2 p.

EARNEY, F. C. E. *Marine mineral resources*. London: Routledge, 1990. 387 p.

GARNETT, R. H. T. Marine placer gold, with particular reference to nome, Alaska. In: CRONAN, D. S. (Ed.). *Handbook of marine mineral deposits*. Boca Raton, USA: CRC Press, 1999a. Cap. 4, p. 67-102.

\_\_\_\_\_. Marine placer diamonds, with particular reference to South Africa. In: CRONAN, D. S. (Ed.). *Handbook of marine mineral deposits*. Boca Raton, USA: CRC Press, 1999b. Cap. 5, p. 103-144.

HALE, P. B.; MCLAREN, P. A preliminary assessment of unconsolidated mineral resources in the canadian offshore. *The Canadian Mining e Metallurgical Bulletin*, p. 1-12, 1984.

HEIN, J. R. et al. Cobalt-rich ferromanganese crusts in the Pacific. In: CRONAN, D. S. (Ed.). *Handbook of marine mineral deposits*. Boca Raton, USA: CRC Press, 1999. p. 239-280.

HORN, D. R.; HORN, B.; DELACH, M. N. Worldwide distribution and metal content of deep-sea manganese nodules. In: MANGANESE NODULE DEPOSITS WORKSHOP, 1972, Honolulu. *Proceedings...* Honolulu, USA: [s.n.], 1972.

HOSANG, D.; ABREU, J. G. N. Concreções fosfáticas na plataforma externa e talude superior da margem continental sul brasileira. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 41., 1997, João Pessoa. *Resumos 97...* João Pessoa: [s.n.], 2002.

JAUHARI, P.; PATTAN, J. N. Ferromanganese nodules from Central Indian Ocean basin. In: CRONAN, D. S. (Ed.). *Handbook of marine mineral deposits*. Boca Raton, USA: CRC Press, 1999. p. 171-198.

KLEIN, A. H. et al. Concreções fosfáticas no terraço do Rio Grande. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 37., 1992, São Paulo. *Resumos expandidos...* São Paulo: [s.n.], 1992. p. 202-203.

KVENVOLDEN, K. The global occurrence of gas hydrates deposits. In: \_\_\_\_\_ . *Natural gas hydrates: occurrence, distribution and detection*. Washington, USA: American Geophysical Union, 2001. (Geophysical Monograph, 124).

LORENSEN, T. D. et al. Gas hydrate occurrence in the Northern Gulf of México studied with giant piston cores. *EOS*, v. 83, n. 51, p. 601-607, 2002.

MARCHIG, V. Hydrothermal activity on the southern ultrafast- spreading segment of the east pacific rise. In: CRONAN, D. S. (Ed.). *Handbook of marine mineral deposits*. Boca Raton, USA: CRC Press, 1999. Cap. 11, p. 309-328.

MARTINS, L. R. Hidratos de metano: um interesse crescente. *Gravel*, n. 3, p. 131-135, 2003.

\_\_\_\_\_ ; TOLDO JR, E. E. Estoque arenoso da plataforma continental: um recurso estratégico para a zona costeira. *Gravel*, n. 4, p. 37-46, 2006a.

\_\_\_\_\_. Dynamics and changes of beach erosion, accretion and nourishment in Rio Grande do Sul, Brazil. *LOICZ/Imprint*, n. 1, p. 14-15, 2006b.

\_\_\_\_\_; URIEN, C. M. Areias da plataforma e a erosão costeira. *Gravel*, n. 2, p. 4-24, 2004.

\_\_\_\_\_; MARTINS, I. R.; URIEN, C. M. Sand bodies of the Santa Catarina inner continental shelf, Brazil. *Gravel*, n. 3, p. 103-109, 2005.

\_\_\_\_\_; TOLDO JR., E. E.; DILLENBURG, S. R. *Erosão costeira: causas, análise de risco e sua relação com a gênese de depósitos marinhos*. Porto Alegre: [s.n.], 2002. Cd-Rom.

\_\_\_\_\_. et al. Distribuição faciológica da margem continental do Rio Grande do Sul. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 26., 1972, Belém. *Anais...* Belém, 1972. p. 115-132.

\_\_\_\_\_. Sand deposits along Rio Grande do Sul (Brazil) inner continental shelf. In: MARTINS, L. R.; SANTANA, C. I. (Ed.). *Non living resources of the southern brazilian coastal zone and continental margin*. Porto Alegre: [s.n.], 1999. p. 26-38. OAS/IOC-UNESCO/MCT. Special Publication.

MONT'ALVERNE, A. A.; COUTINHO, P. N. Províncias sedimentares da plataforma continental de Pernambuco. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 32., 1992, Salvador. *Anais...* Salvador: [s.n.], 1992. p. 1524-1530.

MORGAN, C. L. Resource estimates of the Clariom – Clippertom Manganese Nodule Deposits. In: CRONAN, D. S. (Ed.). *Handbook of marine mineral deposits*. Boca Raton, USA: CRC Press, 1999.

p. 145-170.

MUEHE, D. *Erosão e progradação do litoral brasileiro*. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, 2006. 475 p. Programa de Geologia e Geofísica Marinha.

MUNARO, P. *Geologia e mineralogia dos depósitos de minerais pesados de Bujurú*. 1994. 90 f. Dissertação (Mestrado em Geociências)- Pós-Graduação em Geociências, UFRGS, Porto Alegre, 1994.

ROCHA, J. M. *Recursos minerais do mar: parte 2: recursos subsuperficiais: Projeto REMAC: relatório interno*. [S.l.: s.n.]: 1975. 25 p.

SANTANA, C. I. Recursos minerales del mar. In: SIMINARIO SOBRE ECOLOGIA BENTÔNICA Y SEDIMENTACION DE LA PLATAFORMA CONTINENTAL DEL ATLÂNTICO SUR, 1979, Montevideo. *Memorias...* Montevideo, Uruguay: UNESCO/ROSTLAC, 1979. p. 361-382.

\_\_\_\_\_. Mineral resources of the Brazilian continental margin and adjacent oceanic regions. In: MARTINS, L. R.; SANTANA, C. I. (Ed.). *Non living resources of the southern Brazilian coastal zone and continental margin*. Porto Alegre: [s.n.], 1999. p. 15-25. OAS/IOC-UNESCO/MCT. Special Publication.

SHOLTEN, J. S. et al. Hydrothermal mineralization in the Red Sea. In: CRONAN, D. S. (Ed.). *Handbook of marine mineral deposits*. Boca Raton, USA: CRC Press, 1999. p. 369-396.

SPENCE, G. D.; CHAPMAN, N. R. Fishing trawler nets massive "catch" of methane hydrates. *EOS*, v. 82, n. 50, p. 621-627, 2001.

SUMMERHAYES, C. P. Ocean resources. In: SUMMERHAYES, C. P.; THORPE, S. A. (Ed.). *Oceanography*. London: Manson Publishing, 1998. p. 314-337.

STACKELBERG, U. von. Manganese nodules in the Peru basin. In: CRONAN, D. S. (Ed.). *Handbook of marine mineral deposits*. Boca Raton, USA: CRC Press, 1999. p. 197-238.

TANAKA, M. D.; SILVA, C. G.; CLEANELL, M. B. Gas hydrates on the Amazonas submarine fan. In: ANNUAL MEETING [OF] FOZ OF AMAZONAS BASIN, BRAZIL AMERICAN ASSOCIATION OF PETROLEUM GEOLOGISTS, 2003, USA. *Poster session...* Salt Lake City, USA: [s.n.], 2003.

VILLWOCK, J. A. et al. Concentraciones de minerales pesados a lo largo de la costa de Rio Grande do Sul. In: SIMINARIO SOBRE ECOLOGIA BENTÔNICA Y SEDIMENTACION DE LA PLATAFORMA CONTINENTAL DEL ATLÂNTICO SUR, 1979, Montevideo. *Memorias...* Montevideo, Uruguay: UNESCO/ROSTLAC, 1979. p. 405-414.

## **Resumo**

Minerais ocorrentes no piso marinho podem ser derivados de fontes continentais, como areia, cascalho e placeres vinculados à atividade fluvial e dinâmica costeira (pretérita e atual) ou gerados nas bacias oceânicas como sulfetos metálicos e outros minerais associados. Depósitos de subsuperfície como evaporitos, enxofre, carvão e hidratos de gás são igualmente discutidos.

O adequado conhecimento sobre eles ainda não foi atingido, conforme pode ser constatado por meio de mapas gerais mais recentes de distribuição de minerais marinhos, levando em conta que mesmo as margens continentais são parcialmente

exploradas e que é de apenas 5% o conhecimento de detalhe sobre depósitos hidrotermais vinculados aos limites das placas.

Em realidade, os recursos minerais marinhos apresentam um volume expressivo de acentuado interesse científico e crescente valor econômico. Neste capítulo, é apresentada uma visão geral dos recursos minerais existentes em águas rasas, semi-profundas e profundas, com indicações de atividades de exploração e exploração e de interesse nacional face as ocorrências na ZEE de nosso país.

Granulados siliclásticos (areia e cascalho) e bioclásticos (carbonato de cálcio), depósitos de pláceres, fosforita, nódulos polimetálicos e outros depósitos hidrotermais, evaporitos, enxofre, carvão, hidratos de gás são brevemente discutidos.

É salientada igualmente a zona costeira como um recurso em si, conforme adotado em muitos países desenvolvidos.

## **Abstract**

*Minerals occurring on the seafloor can be derived from continental sources, such as sand gravel and placers linked with preteritous fluvial activity and coastal dynamics (past and modern), or generated in the oceanic basins, such as phosphorites nodules, crusts polymetallic sulphides and other related deposits. Subsurface deposits as evaporites, sulfur, coal and gas hydrates are also discussed.*

*The suitable knowledge on these deposits is incomplete as it can be find out by looking to the more recent general maps of marine minerals distribution, taking into account that the continental margin is just partially explored and the detailed knowledge regarding the hydrothermal deposits linked to plate tectonics is around 5%.*

*In fact, the marine mineral resources show an expressive volume of scientific advantages and increasing economic value. In this chapter, we present a general landscape of the marine minerals resources occurring in shallow, semi-deep and deep waters, with indications on the exploration and exploitation activities and national profit due to the occurrences in the EEZ of our country.*

*Lithoclast (sand and gravel) and bioclastic (calcium carbonate) aggregates, placers deposits, phosphorites, polymetallic nodules and other hydrothermal deposits, evaporites, sulfur, coal and gas hydrates are briefly discussed. The adoption of the coastal zone as a resource by itself, as it is usually considered by developed countries.*

## **Os Autores**

LUIZ ROBERTO SILVA MARTINS é professor emérito da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), doutor em Ciências, livre docente em Sedimentologia. Fundador do Centro de Estudos de Geologia Costeira e Oceânica (Ceco), do Programa de Geologia e Geofísica da Marinha (PGGM) e do Curso de Pós-Graduação em Geociências. Coordenador Regional do Programme on Ocean Science in relation to Non Living Resources (OSNLR)(COI-Unesco) e do South West Atlantic Coastal and Marine Geology Group (Comar - Brasil, Uruguai e Argentina).

KAISER GONÇALVES DE SOUZA é geólogo formado na Universidade do Vale do Rio dos Sinos (Unisinos-RS) e doutor em geologia marinha pela Universidade de Paris. Concluiu o pós-doutorado no Instituto de Geociências e Recursos Naturais em Hannover (Alemanha). Fez treinamento em exploração de recursos minerais marinhos patrocinado pela Comissão Preparatória da Autoridade Internacional do Leito Marinho e do Tribunal Internacional das Leis do Mar (Nações Unidas) e especializou-se em assuntos relativos à Convenção das Nações Unidas sobre o Direito do Mar. Atuou como especialista em recursos do mar no Ministério da Ciência e Tecnologia em colaboração com a Comissão Interministerial de Recursos do Mar. Trabalhou como Geólogo Marinho na Autoridade Internacional dos Fundos Marinhos (Nações Unidas), (Jamaica), onde contribuiu para o desenvolvimento de atividades visando o aproveitamento sustentado de recursos minerais marinhos localizados em áreas oceânicas além das jurisdições nacionais. Atualmente exerce a função de Chefe da Divisão de Geologia Marinha, no Serviço Geológico do Brasil (CPRM), onde sua principal atuação tem sido na implementação do Programa de Avaliação da Potencialidade Mineral da Plataforma Continental Jurídica Brasileira (Remplac).