Aspectos científicos dos recursos minerais marinhos

Luiz Roberto Silva Martins

1. Introdução

Os oceanos são considerados, de diversas formas, como fonte de alimentos (pesca e atividades correlatas) de energia renovável (marés, ondas, gradiente térmico), de combustíveis fósseis (óleo e gás), de minerais de valor econômico apreciável (81diamante, ouro), de materiais para construções (cascalho e areia), de fertilizantes (fosfatos) e de outros produtos químicos (sal) e medicinais (algas).

Utilizamos igualmente o mar de outras maneiras, como as ligadas aos aspectos turísticos (vela, natação, mergulho, pesca esportiva), como vias navegáveis para o comércio e espaço para instalação de outros dispositivos (cabos submarinos, oleodutos) e finalmente como bacias captadoras de tantos rejeitos.

Pela legislação vigente (United Nations Law of the Sea), os países possuem o direito de adjudicarem a Zona Econômica Exclusiva (ZEE), estendendo-se por 370 km (200 milhas náuticas) em direção de mar aberto (Figura 1).

Através da ZEE são assegurados direitos soberanos aos países costeiros, com o propósito de exploração, explotação, conservação e gerenciamento dos recursos naturais vivos e não-vivos das águas sobrejacentes, do piso marinho e de seu subsolo.

O atual conhecimento científico disponível sobre a ZEE é fruto especialmente dos estudos de geologia e geofísica marinha realizados nos últimos 30 anos, em face de compromissos assumidos pelos países costeiros

junto a organismos ligados às Nações Unidas, ou pela necessidade premente de buscar nos oceanos, recursos minerais carentes em seus domínios continentais. A potencialidade em termos de recursos não-vivos de cada região fisiográfica dos oceanos é apresentada na Figura 2. A partir da ilustração podemos discutir as principais características de cada um dos recursos minerais e abordá-los em termos de parâmetros de controle de sua geração.

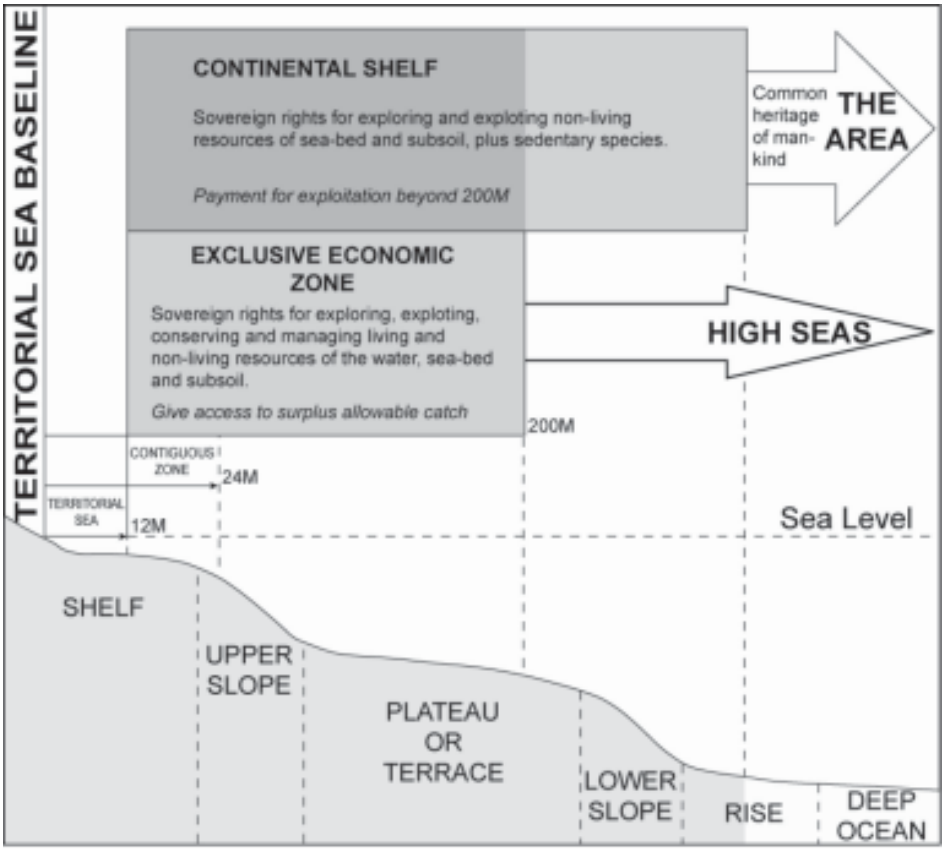

Figura 1. Zonas marítimas e suas relações com a topografia de fundo (Levy, 2000).

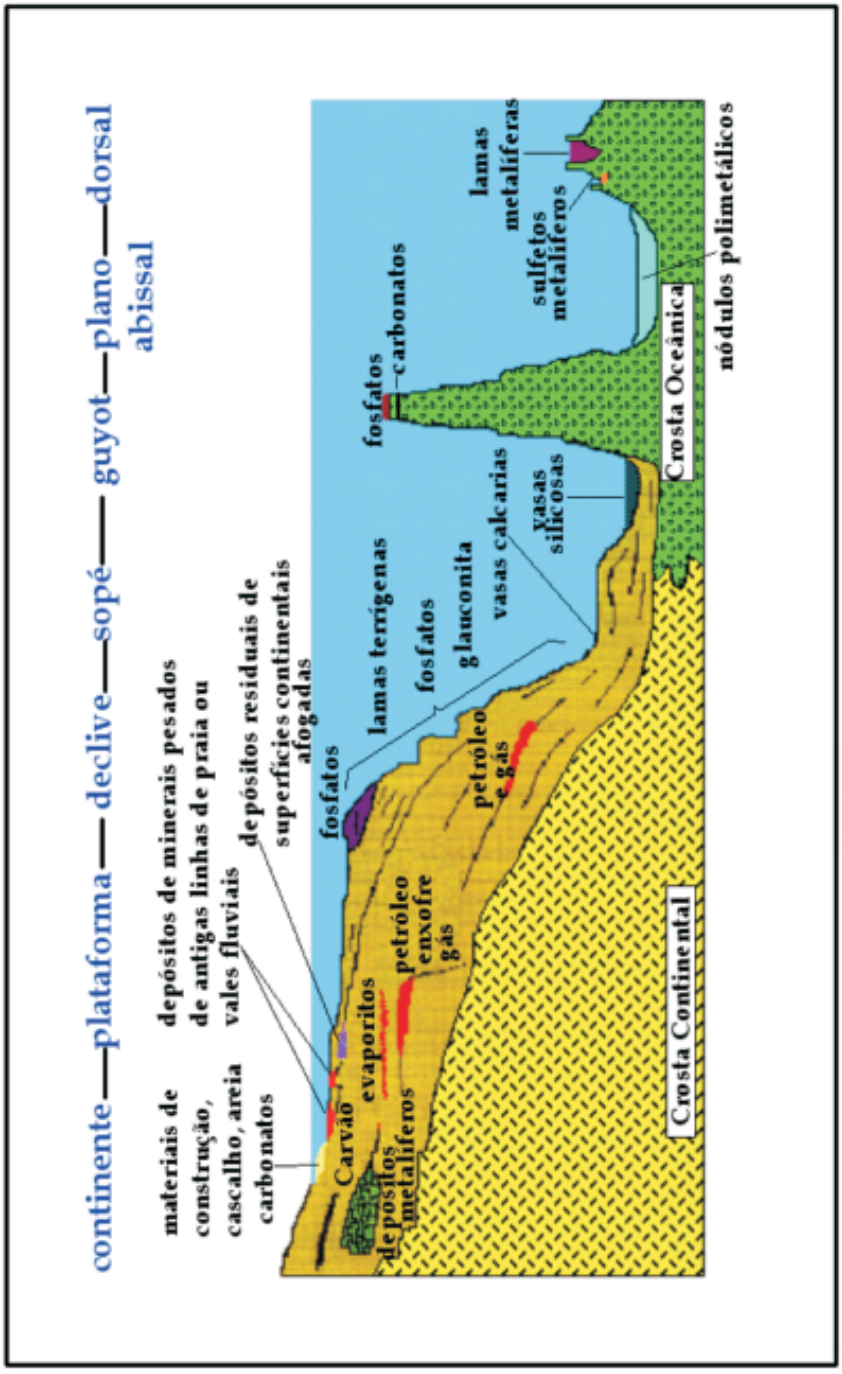

Figura 2. Representação esquemática da estrutura da margem continental e regiões adjacentes e localização de depósitos minerais (COOK, 1975).

2. Contexto geológico

A margem continental representa uma complexa porção do meio oceânico, de grande interesse científico e acentuada importância econômica, representando também o foco principal de uma interação e interdependência humana rapidamente crescentes. Tecnicamente, de acordo com a Comissão Oceanográfica Intergovernamental (COI) da Unesco, a margem continental estende-se desde os ambientes costeiros transicionais como estuários, deltas, lagunas, barreiras, marismas, planícies de marés, costões e praias arenosas, incluindo a plataforma continental, talude e o sopé continental.

Depósitos de margem continental incluem sedimentos derivados do continente que se misturam em variadas proporções com sedimentos biogênicos ou autígenos que se formam através de processos nitidamente marinhos. Tais acumulações usualmente preservam a história geológica em relação às mudanças globais.

Três fatores influenciam de forma decisiva o contexto geológico relativo a ocorrência de recursos minerais na zona costeira e margem continental adjacente-tectônica, variação do nível do mar e mudanças ambientais (MARTINS 1996). Eles não são totalmente independentes, constituindo em realidade mecanismos alimentadores para o desenvolvimento de várias inter-relações na construção da paisagem sedimentar dos ambientes marinhos e a conseqüente formação de recursos não-vivos.

2.1. Tectônica

Representa o estudo das grandes feições estruturais da Terra e suas causas, envolvendo processos como atividade vulcânica, terremotos, falhamentos, dobramentos, soerguimento e subsidência. Todos esses processos são considerados manifestações da tectônica de placas e o contínuo mecanismo de separação, colisão e subducção das mesmas.

Processos tectônicos, ao lado das estruturas sedimentares, são de fundamental importância na formação de campos de petróleo e gás e depósitos minerais tanto na zona costeira como em mar aberto. Mineralizações no fundo marinho são comumente associadas aos denominados *black smokers* que ocorrem nas dorsais meso-oceânicas, onde o novo piso oceânico é gerado.

Deformações na margem continental podem igualmente produzir estruturas tipo trapeamento para petróleo e gás. Um aumento no gradiente geotérmico sob a margem continental pode resultar na geração de hidrocarbonetos.

A formação de um sistema de montanhas no continente pode conduzir a exposição e erosão de rochas, contendo ouro, ilmenita ou diamante, que são então transportados pelos rios para as zonas costeiras, formando depósitos de placeres marinhos.

Os movimentos tectônicos não somente desempenham um papel direto na formação dos recursos não-vivos marinhos, mas também um papel indireto através de sua influência nas mudanças do nível do mar, ambientes marinhos e no clima (Figura 3). Um exemplo dessa influência em escala local é o soerguimento tectônico de uma zona costeira, produzindo uma queda relativa do nível do mar e uma mudança climática no interior.

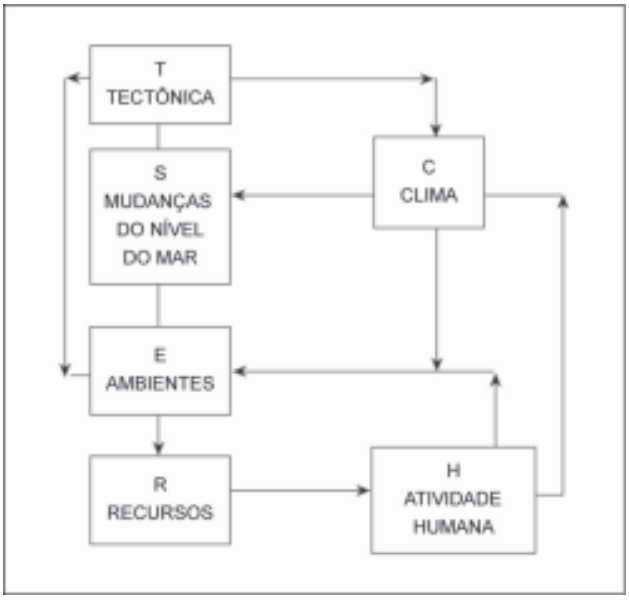

Figura 3. Mecanismo SETR (Sea level, Environment, Tectonics and Resources) do Programa OSNLR (COI/Unesco), mostrando as ligações entre variação eustática do nível do mar, mudança ambiental, tectonismo e suas influências na ocorrência de recursos marinhos não-vivos.

Numa escala global, a deriva de uma placa continental, a uma latitude elevada, pode resultar no desenvolvimento de uma ampla capa de gelo

continental, um abaixamento no nível do mar e um esfriamento global. Esses movimentos tectônicos podem ocorrer em uma variada gama de escalas.

Em regiões tectonicamente ativas como em Papua Nova Guiné, o soerguimento pode ser da ordem de milímetros a centímetros por ano. Esta alta taxa de elevação é, em parte, responsável pela preservação dos recifes elevados da península de Huox. Pode também produzir taxas mensuráveis de progradação costeira de forma que, mesmo em escala de tempo pequena, o efeito dos processos tectônicos nos recursos marinhos não-vivos pode ser bastante profundo.

A expansão do fundo oceânico ocorre em taxas de poucos milímetros por ano, conseqüentemente, a deriva de um fragmento continental a altas altitudes, pode levar milhões de anos.

Ao contrário, um esfriamento global pode resultar em um aumento no *input* de cinza vulcânica na atmosfera.

Dessa forma, podemos concluir que os processos tectônicos podem ser muito importantes na formação de recursos marinhos não-vivos. Eles podem ocorrer em escalas de poucos a muitos milhões de anos e podem afetar uma parte relativamente pequena da crosta terrestre, como no caso de soerguimento localizado ou de vastas partes do globo, como no caso do movimento de placas.

2.2 Mudanças eustáticas do nível do mar

Podem ocorrer em uma escala amplamente variável de mudanças diurnas de marés até mudanças muito maiores associadas com o desenvolvimento de capas de gelo, elevação e subsidência de grandes partes da crosta terrestre. As grandes mudanças do nível do mar que são de extensão global são referidas como eustáticas.

Durante os últimos anos, houve um aumento expressivo na documentação relativa a história das variações eustáticas do nível do mar devido especialmente aos esforços da indústria do petróleo, particularmente, através da interpretação de perfis sísmicos.

Utilizando este método, VAIL *et al* (1977), HAQ *et al* (1987) e vários outros pesquisadores, desenvolveram uma curva global de nível do mar em

que é possível reconhecer mudanças com periodicidade variando de 10^7 anos (curvas de primeira ordem) a 104 anos (curvas de quarta ordem).

Uma resolução mais apurada de 103-102 anos (essencialmente registros do Holoceno) foi desenvolvida usando evidências de feições de antigas linhas de praia, tais como recifes coralígenos e cristais de praia, e de técnicas das datações, variando de registro histórico (humano) a métodos radiométricos, paleontológicos e paleomagnéticos.

Ainda que todos os recursos marinhos não-vivos de águas rasas sejam influenciados em graus variados pelas mudanças eustáticas do nível do mar, eles reagem a diferentes escalas temporais.

Para a zona costeira, como um recurso, é necessário compreender os registros de mudança do nível do mar de 10^0 a 10^4 anos, para placeres marinhos, de 10^3 a 10^6 anos, enquanto para fosforitas, a extensão de tempo é de 10^6 a 10^8 anos.

Os mecanismos responsáveis pelas variações eustáticas do nível do mar são variados e sujeitos a muitas controvérsias.

Elevações ou abaixamento do nível do mar podem ocorrer através de mudanças na geometria da litosfera, como por exemplo, o desenvolvimento de uma nova cadeia meso-oceânica que causaria uma elevação, ou por uma depressão prévia isolada que torna ligada e inundada pelo oceano como o Mediterrâneo Messiniano. Contudo, a mais conhecida mudança eustática ocorre como resultado de mudanças climáticas e particularmente ao crescimento ou diminuição das capas de gelo polares. Tais mudanças representam uma conseqüência direta do aquecimento ou resfriamento climático. Variação climática, por sua vez, tem sido vinculada à extensão do potencial de mecanismos dirigentes, tais como, esfriamento devido à deriva de um grande fragmento continental a altas latitudes ou a um grande episódio vulcânico.

Uma série de mecanismos extraterrestres, ainda pouco compreendidos, tem sido invocados com base em suas aparentes influências nos ciclos climáticos. Os melhores mecanismos documentados são chamados de ciclos de Milankovick, que possuem periodicidade de 20.000, 40.000 e 100.000 anos. Eles resultam de variações nos elementos orbitais da Terra, tais como, excentricidade da órbita, inclinação do eixo de rotação e o "cambalear" do

eixo. Tudo isso pode combinar-se para reduzir o nível da radiação solar, conduzindo ao desenvolvimento de capas de gelo em latitudes elevadas, ao início do esfriamento global, e a um abaixamento no nível do mar.

Os ciclos de Milankovick foram documentados em várias partes do mundo, como nos terraços coralígenos elevados de Papua Nova Guiné e nas cristas de praia do sudeste da Austrália.

Em muitas áreas, muitas vezes, torna-se difícil separar variações eustáticas genuínas de mudanças no nível relativo do mar devido a soerguimento ou subsidência do continente.

Para muitos recursos marinhos não-vivos, como os "placeres", o efeito desses dois tipos de variação são essencialmente os mesmos em termos de influência na distribuição dos recursos. Contudo, em alguns casos, notavelmente as fosforitas, os episódios da fosfogênese, parecem estar mais vinculados a elevações eustáticas do nível do mar.

Em muitas situações, usando as mudanças do nível do mar para localização de depósitos, é necessário separar as mudanças relativas e eustáticas.

Um diferente tipo de análise é necessário para avaliar o efeito do chamado "efeito estufa" sobre os recursos não-vivos, particularmente, a zona costeira.

O crescente aumento de combustíveis fósseis, aumento associado ao conteúdo de CO_2 da atmosfera, e o aquecimento global produziram uma elevação do nível do mar. Em caso de manutenção da tendência atual, esta situação poderá tornar-se catastrófica para as zonas costeiras.

Tal situação tem sido objeto de muitos programas internacionais e reuniões específicas (Coastal Change/95, Bordeaux, França; Coastal Change/96, Rimouski, Canadá, A Zona Costeira como um Recurso: Aspectos científicos e tecnológicos, Caracas, Venezuela, outubro/96) ou a serem realizados futuramente auspiciados por vários organismos internacionais (Unesco, OEA, Comunidade Européia).

2.3 Mudanças ambientais

Na zona costeira, as mudanças ambientais podem ocorrer como resultado das variações eustáticas do nível do mar, de maneira tal que um

ambiente marinho raso pode tornar-se continente ou vice-versa. Tectonismo também pode afetar o ambiente de deposição de várias maneiras. Elevação do continente próximo a costa, pode resultar num aumento marcante na sedimentação, produzindo progradação da zona costeira, siltação em lagunas costeiras ou transformação de uma plataforma dominada por sedimentação carbonática para sedimentação clástica.

Mudanças ambientais podem estar ligadas igualmente a alterações climáticas que podem afetar o índice pluviométrico e conseqüente aporte de água doce à zona costeira sob a forma de água superficial e de subsuperfície. O próprio homem pode proporcionar a mesma situação através da construção de barragens em cursos fluviais, cujos efeitos sobre a zona costeira podem ser consideráveis.

Uma queda na temperatura da água local ou regional pode produzir um decréscimo no crescimento de formações coralígenas ou afetar o desenvolvimento de outros organismos.

Um aumento na incidência de tormentas ou no regime de energia presente no ambiente pode ter um efeito marcante na distribuição e concentração das areias de praia e de plataforma interna e na formação ou destruição de cristas de praia.

São conhecidos na história geológica da Terra, tempos em que ocorreram mudanças fundamentais na química dos oceanos. Em alguns casos, as alterações afetaram somente corpos de água relativamente pequenos, em especial quanto a teores de salinidade. Algumas vezes, esses eventos foram muito mais amplos, como os denominados eventos oceânicos anóxidos que, certamente, afetaram grandes porções do Oceano Atlântico.

Outros períodos da história terrestre foram caracterizados pela deposição em muitas plataformas continentais de sedimentos ricos em ferro ou fósforo e atribuídos como conseqüências de mudança ambiental (química e bioquímica) nas condições do oceano global.

Concluindo, podemos dizer que em alguns casos, os processos de eustasia, tectonismo e mudança ambiental, ocorreram de forma separada, mas comumente eles são inter-relacionados afetando a distribuição de recursos marinhos não-vivos.

Exemplos de situações de relações entre os componentes SETR (OSNLR) são encontrados na Tabela 1.

Tabela 1. Relações entre os componentes do mecanismo SETR ilustrado na Figura 3.

T——S	Desenvolvimento de uma dorsal meso-oceânica, produzindo elevação do nível do mar 10^6 - 10^7 anos.
T——E	Elevação da área fonte produzindo mudanças apreciáveis na área de deposição, tais como, destruição de recifes pelo aporte de sedimentos terrígenos 10^2 - 10^6 anos.
T——C	Deriva de placa para latitude elevada produzindo mudança apreciável no clima regional e global 10^6 - 10^7 anos
C——S	Desenvolvimento de uma capa de gelo polar produz uma queda eustática no nível do mar 10^3 – 10^6 anos.
S——E	Elevação relativa do nível do mar resultando na migração das condições parálicas através da plataforma continental (período de 10^3 - 10^5 anos).
T——S——E——R	A interação de mudanças do nível do mar, ambientes e tectônica, produz recursos não-vivos, tais como petróleo e gás (10^5 - 10^7 anos), depósitos fosfáticos (10^4 - 10^7 anos) e areia (10^3 - 10^6 anos)
R——H——E	O uso dos recursos não-vivos, seja por extração (como no caso da areia e cascalho) ou modificação (no caso da zona costeira), pode afetar os ambientes marinhos costeiros num período de 10^1 -10^3 anos.
H——C——S	A queima de combustíveis fósseis e o resultante efeito estufa, provavelmente, comanda significantes mudanças no nível do mar 10^1 - 10^2 anos.

3. Ambientes de formação

A abordagem desse tópico encontra-se embasada no elemento fundamental de que se torna impossível "explotar" um bem mineral marinho sem a realização de uma etapa "exploratória" científica, desenvolvida de

forma adequada, visando o conhecimento global da área em termos de parâmetros físicos, químicos e biológicos que conduziram a sua formação e concentração.

Apenas para exemplificar este conceito indicamos que o dimensionamento do calcário bioclástico situado na plataforma continental interna ou dos minerais pesados da zona costeira, ambos situados no Rio Grande do Sul, só foi possível através de detalhado mapeamento com comprovação da atividade biológica ou de áreas fontes e, principalmente, de mecanismos transpo-deposicionais.

Grande parte desses estudos envolve a pesquisa de aspectos vinculados especialmente à evolução paleogeográfica, na maioria dos casos vinculada às transgressões e regressões marinhas, à dinâmica sedimentar em termos de nível de energia e à conseqüente idade dos sedimentos (modernos, relictos ou palimpsesticos), à geoquímica sedimentar no quadro relativo aos processos singênicos da interface sedimento/água e seus conseqüentes produtos diagênicos, à atividade organógena, à profundidade de deposição, ao agente de transporte e à outros pontos mais específicos, dependendo da região a ser pesquisada. Todas essas informações indispensáveis à fase exploratória, constituirão a documentação básica de trabalho para qualquer iniciativa futura de avaliação do potencial econômico dos recursos não-vivos identificados.

4. Classificação

Os recursos não-vivos de mar aberto podem ser classificados segundo sua posição de ocorrência em relação às regiões fisiográficas do domínio oceânico e correspondente profundidade de ocorrência em:

a) Depósitos de mar aberto vinculados ao substrato, que são em essência equivalentes aos depósitos continentais, incluindo petróleo e gás, carvão, depósitos metalíferos, enxofre e evaporitos.

b) Depósitos minerais de oceano profundo, que são encontrados a profundidades abissais, geralmente distantes do continente, onde os sedimentos químicos e bioquímicos não são afetados pela sedimentação terrígena, como os nódulos polimetálicos.

c) Acumulação de águas rasas, ocorrentes na linha de costa e margens continentais como cascalho, areia, carbonatos, minerais pesados e fosforitas.

CRONAN (1980) estabeleceu seis grupos de minerais de acordo com seu modo de origem e ocorrência:

a) Minerais ocorrendo na margem continental, abaixo do piso marinho.

b) Depósitos detritais de agregados e "placeres" encontrados, geralmente, em zonas costeiras e que foram supridos pelo continente.

c) Depósitos de precipitados químicos, ocorrendo no piso marinho em ambientes relativamente rasos.

d) Depósitos de ferro-manganês, que são precipitados químicos sob a forma de nódulos, crostas e incrustações, contendo altas concentrações de metais como níquel, cobre, cobalto e que foram predominantemente desenvolvidos em oceano profundo.

e) Sedimentos metalíferos que são precipitados químicos de uma variedade de elementos, formados como resultado de atividade vulcânica em certas áreas.

f) Minerais autígenos menores.

Na primeira categoria, estão incluídos os depósitos de petróleo e gás, carvão, evaporitos e enxofre. No segundo conjunto associam-se acumulação de areia, cascalho, minerais pesados, enquanto os nódulos fosfáticos caracterizam o terceiro grupo. Nódulos e crostas usualmente contendo altas concentrações de metais tais como níquel, cobre e cobalto são representativos do quarto conjunto. Lamas e sulfetos metalíferos são representativos do quinto conjunto. A glauconita pode ocorrer no sexto grupo.

Santana (1979) sintetiza a classificação dos recursos minerais marinhos em:

Depósitos superficiais:

Águas rasas:

– Sedimentos calcários (recifes e biodetritos, concheiros e areias calcárias)

– Fosfatos
– Pláceres
– Minerais pesados "pesados": ouro, estanho e platina
– Minerais pesados "leves": ilmenita, rutilo, zircão e monazita.
– Grupo das gemas: diamante, rubi, safira, etc.
– Lamas metalíferas (vazas): urânio, tório, vanádio, molibdênio e níquel
– Areias e cascalho (material de construção)

Águas profundas:

– Nódulos polimetálicos-manganês, cobre, cobalto, níquel, e ferro

Depósitos sub-superficiais:

– Hidrocarbonetos
– Evaporitos: anidrita, gibsita, salgema, sais de potássio e magnésio.
– Enxofre
– Carvão

Outras classificações são numerosas na bibliografia específica, tanto de caráter geral como específico para alguns grupos de minerais, baseadas no modo de formação, profundidade de ocorrência emprego e interesse econômico do bem mineral. Cruickshank *et al.* (1993) divulgaram um completo esquema de classificação relativo aos recursos do mar (Tabela 2).

Hale & McLaren (1984) consideram apenas os minerais superficiais agrupando os depósitos com potencial em industriais e do tipo placer. Os primeiros são aqueles em que todo material dragado é utilizado. Nesta categoria estão: cascalho, areia e carbonato de cálcio bioclástico. O segundo grupo é formado por depósitos onde apenas a fração de minerais pesados é utilizada, como ouro, dinamite, rutilo, zircão, ilmenita. Para os autores, os denominados minerais industriais constituem recursos importantes tanto com relação a sua composição mineralógica (areia silicosa, por exemplo), como em suas propriedades de composição mecânica (cascalho e areia), podendo constituir variedades detritais ou químicas, dependendo de sua origem.

Fluid		Unconsolidated		Consolidated	
Seabed	Subseabed	Seabed	Subseabed	Seabed	Subseabed
Seawater Magnesium Sodium Uranium Bromine and Salts of 26 other elements	Hydrotermal Fluids Sulfur	Industrial Materials Sand and Gravel Shells Aragonite Heavy Mineral Placers Magnetite Ilmenite, Rutile Chromite, Monazite Nodules Manganese Phosphorite Muds and oozes Metalliferous Carbonaceous Siliceous	Heavy Mineral Placers Gold Platinum Cassiterite Gem stones Bedding Deposites Phosphorite	Crusts Phosphorite Cobalt Manganese Mounds and Stacks Metallic sulfides	Disseminated, Stratified, Vein or Massive Deposits Coal Phosphates Carbonates Potash Ironstone Limestone Metallic sulfides Metalic salts

Tabela 2. Classificação dos recursos minerais marinhos (CRUICKSHANK *et al.* 1993).

Depósitos marinhos detritais são derivados de rochas preexistentes que foram desintegradas e ou decompostas através de processos físicos e químicos do intemperismo. Rochas e partículas minerais que se originaram no continente foram transportados para os oceanos por processos glaciais, fluviais e eólicos onde foram submetidas a retrabalhamento e concentração por processos marinhos (energia de praias, transgressões e regressões, etc.

Depósitos químicos diferem dos detritais porque foram precipitados a partir da água do mar sob certas condições ambientais ou por meio de processos bioquímicos, como as areias aragoníticas das Bahamas.

Os depósitos de placeres ocorrem em vários ambientes marinhos e possuem um grande número de origens possíveis. Dois tipos podem ser considerados, os formados em ambientes de alta energia e aqueles acumulados em situações de baixa energia. Nas zonas de alta energia costeira, os minerais pesados são concentrados por ondas e correntes que removem de forma seletiva as frações de grãos mais leves. Ainda que os placeres de alta energia tenham recebido maior atenção, existem boas evidências que sugerem depósitos associados a ambientes de baixa energia em baías abrigadas, com ouro e platina na costa do Alasca.

Na dinâmica de formação de placeres por processos contemporâneos, concorrem muitos depósitos relictos. Nos períodos glaciais, o nível do mar esteve suficientemente baixo para expor muitas das plataformas continentais, quando os rios esculpiram canais e depositaram seus depósitos através dessa planície costeira. Nesta paisagem, praias e deltas foram formados no atual bordo da plataforma continental. Nos períodos de degelo, o nível do mar subiu resultando no retrabalhamento parcial desses depósitos, formando acumulações do tipo *palimpsest*, originalmente relictos, mas retrabalhados por dinâmica moderna. Outros permaneceram essencialmente não perturbados e foram cobertos por sedimentos recentes, enquanto outros foram preservados intactos com pouco ou nenhum recobrimento.

Conseqüentemente uma apreciável quantidade de depósitos de placeres foram formados em estágios antigos de nível do mar abatido, não foram redistribuídos pelo regime hidrodinâmico atual, e por essa razão são descritos como relíquias (vales fluviais afogados e antigas linhas de praias). Alguns desses depósitos, especialmente os ocorrentes na plataforma interna, são retrabalhados e redistribuídos pela hidrodinâmica moderna.

MARTINS (1978) estabeleceu essa relação ao estudar depósitos de calcário bioclástico da região de Albardão (plataforma interna e praia oceânica moderna). O material conchífero é proveniente de uma atividade biogênica Pleistocênica, mas retrabalhado pela dinâmica atual constituindo um depósito do tipo *palimpsest*, ou seja, originalmente relíquia (Pleistoceno) mas retrabalhado por dinâmica moderna de alta energia (Holoceno). Estudos relativos a recursos não-vivos na margem continental do Atlântico Sudoeste foram divulgados por BLISSENBACH (1979), AMARAL (1979), SANTANA (1979, 1999), MARTINS (1996) e por MARTINS & SANTANA (1999).

5. Relação dos recursos em termos de importância científica e/ou econômica

O programa Ocean Science in relation to Non Living Resources (OSNLR) – um programa global compartido pela COI/Unesco e pela Division of Ocean Affairs and Law of the Sea (Doalos/ONU, 1995 a 2002) – estabeleceu um esquema hierárquico na abordagem dos recursos minerais marinhos. Foram estabelecidos três grupos distribuídos por sua importância em:

a) Acumulações de interesse econômico e científico global relativo (areias silicosas, vasas carbonáticas ou silicosas), embora reconhecendo que possam ser importantes em algumas áreas.

b) Depósitos de interesse econômico futuro, mas de considerável interesse científico (sulfetos polimetálicos, lamas metalíferas, nódulos e crostas polimetálicas).

c) Materiais de interesse econômico, mas de interesse científico variando desde alto, como no caso de petróleo, gás e zona costeira, à intermediário, como os sedimentos carbonáticos, fosforitas, placeres, areia e cascalho.

Como o esquema é altamente dinâmico, alguns conceitos foram modificados no decorrer do programa.

De uma forma sintética, os resultados podem ser visualizados na Tabela 3:

Tabela 3. Comparação entre o significado econômico e o esforço científico relativo aos recursos marinhos não-vivos. A tabela é essencialmente dinâmica, sofrendo alterações tanto em termos global como regional.

	1. Disponi-bilidade	2. Potencial econômico	3. Interesse contemporâneo	4. Nível deesforço
Areia e cascalho	A	A	B	B
Carbonatos	A	B	B	B
Placeres minerais	A	A	B	B
Fosforitas	B	B	B	B
Areias silicosas	A	C	B	B
Vasas calcarias	A	C	C	C
Nódulos polimetálicos	B	B	A	A
Lamas metalíferas	B	B	B	C
Crostas Manganesíferas	C	C	B	B
Sulfetos polimetálicos	C	C	A	A
Petróleo e gás	B	A	A	A
Zona costeira	A	A	B	A

1. Disponibilidade

Indica a distribuição mundial do bem mineral através do oceano:

a) Abundante: presente na maioria ou em muitas regiões

b) Comum: ocorrente em várias regiões

c) Limitada: presente somente em algumas regiões

2. Potencial econômico

Considera-se que, em certas proporções, estes depósitos estão sendo atualmente explotados ou possam ser explotados em resposta às solicitações de um mercado futuro:

a) Alto: número significante de depósitos estão sendo explotados ou com potencialidade futura

b) Médio: poucos depósitos estão sendo explotados ou podem ser a médio e longo prazo

c) Baixo: sem explotação incisiva atualmente

3. Interesse contemporâneo

Mostra a taxa de crescimento do interesse cientifico desses depósitos e no número de pesquisadores que estão envolvidos ou atraídos pelo tema.

a) Alto: substancial aumento no interesse

b) Moderado: aumento relativo

c) Baixo: pequeno ou sem aumento de interesse

4. Nível de esforço

Mostra a quantidade relativa do esforço científico que está sendo atualmente direcionado ao estudo:

a) Alto: grande nível de esforço

b) Moderado: substancial nível de esforço

c) Baixo: modesto nível de esforço.

6. Considerações finais

O conhecimento científico relativo aos recursos minerais, sejam ocorrências de águas rasas como de águas profundas, representa a base fundamental para o desenvolvimento das etapas de exploração e explotação futuras. Usufruir de um bem mineral cuja história de formação e concentração não se conhece à luz da dinâmica ambiental constitui sério risco aos recursos em si, acompanhada na maioria das vezes por danos ambientais irreversíveis.

Estudos relativos à evolução paleogeográfica da margem continental e suas etapas de desenvolvimento são indispensáveis na compreensão de acumulações de granulados e minerais pesados, enquanto um conhecimento profundo de geoquímica marinha e tectônica de placas conduzirá estudos relativos à mineralização em águas profundas, ao sucesso.

Em síntese, devemos afirmar que só o conhecimento científico adequado poderá nortear as futuras etapas de exploração e de explotação.

Agradecimentos

Ao CNPq pela Bolsa de Produtividade em Pesquisa (1A) que tornou possível a realização da presente revisão. A colega Maria Luiza Correa da Camara Rosa e a professora Viviane Possamai, pela revisão do texto.

Referências

AMARAL, C. B. Recursos minerais da margem continental brasileira e das áreas oceânicas adjacentes. *Projeto REMAC,* v. 10, 1979.

BLISSENBACH, E. Prospective sedimentary mineral potential of the south american atlantic margin. In: SEMINÁRIO SOBRE ECOLOGIA BENTÔNICA Y SEDIMENTACION DE LA PLATAFORMA CONTINENTAL DEL ATLÂNTICO SUR, 1979, Uruguay. *Memorias...* Montevideo, Uruguay: UNESCO: ROSTLAC, 1979. p. 383-403.

COOK, P. J. Minerals from the oceans. In: RESOURCES OF THE SEA SYMPOSIUM, 1975, Austrália. *Proccedings...* Austrália: Royal Society of Tasmânia, 1975.

CRONAN, D. J. *Underwater minerals.* London: Academic Press, 1980. 362 p.

CRUICKSHANK, M. et al. *Marine mining on the outer continental shelf.* Washington, USA: U.S. Department of Interior, Minerals Management Service, 1993. 62 p. (Report 87-0035).

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

HAQ, B. U.; HARDENBOL, J.; VAIL, P. R. Chronology of fluctuating sea levels since the triassic. *Science,* n. 235, p. 1156-1167, 1987.

LEVY, J. P. The United Nations Convention on the Law of the Sea. In: COOK, P. S.; CARLETON, C. M. (Ed). *Continental shelf limits.* New York, USA: Oxford University Press, 2000. p. 8-16.

MARTINS, L. R. Operação GEOMAR IV: Costa Sul: geologia marinha DHN. *Boletim DG 32,* v. 4, p. 1-19, 1978.

_____.*Estratégia de estudo dos recursos não vivos da margem continental brasileira.* Rio de Janeiro: CPRM, 1996. CPRM- Relatório Interno. 64 p.

_____; SANTANA, C. I. *Non living resources of the southern brazilian coastal zone and continental margin.* Porto Alegre: [s.n.], 1999. 110 p. Special Publication. OAS/IOC-UNESCO/MCT.

SANTANA, C. I. Recursos minerales del mar. In: SEMINÁRIO SOBRE ECOLOGIA BENTONICA Y SEDIMENTACIÓN DE LA PLATAFORMA CONTINENTAL DEL ATLÂNTICO SUR, 1979, Uruguai. *Memorias*... Montevidéo: 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. Special Publication. OAS/IOC-UNESCO/MCT.

VAIL, P. R.; MITCHUM, M. R.; THOMPSON, S. Seismic stratigraphy and global changes of sea level: global cycles of relative sea level. *American Association of Petroleum Geologists Memoir,* n. 181, p. 844-845, 1977.

Resumo

O crescente interesse científico sobre as margens continentais e regiões oceânicas adjacentes tem gerado, especialmente nos últimos anos, muitos estudos pertinentes à potencialidades de cada região em termos de recursos não-vivos.

Certos fatores e suas inter-relações são considerados como decisivos na construção da paisagem sedimentar dos ambientes marinhos (águas rasas e profundas) e a conseqüente formação dos recursos não-vivos. Sob esse prisma, processos tectônicos, mudanças eustáticas do nível do mar e mudanças ambientais representam parâmetros de controle incisivos, criando mecanismos de geração e concentração de recursos minerais, nas diferentes regiões fisiográficas dos oceanos.

Os conhecimentos dos aspectos científicos com a devida profundidade facilitam sobremaneira a fase exploratória.

Abstract

The increasing interest on continental margins and adjacent oceanic regions have generated specially over the last years, a large number of studies regarding its potential in terms of marine non-living resources.

Some control parameters and their relationship are considered as decisive in the formation of the sedimentary landscape of marine environments (shallow and deep waters) and the consequent formation of marine mineral resources. From this point of view, tectonic process, eustatic sea-level changes and environmental changes represent incisive control elements that govern generation and concentration mechanisms of the different marine mineral deposits through the physiographic regions of oceans.

Deep knowledge on scientific aspects highly contribute to the exploratory phase of such resources.

O Autor

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).