

# Tecnologia de pesquisa e lavra de recursos minerais marinhos

---

*Kaiser Gonçalves de Souza  
Luiz Roberto Silva Martins*

## **1. INTRODUÇÃO**

O desenvolvimento de equipamentos e técnicas para a pesquisa e a lavra de recursos minerais marinhos tem sido um dos grandes desafios para a ciência e para a tecnologia desde a última metade do século passado.

Vários dispositivos e técnicas foram desenvolvidos tanto para investigar o leito oceânico, visando a localização de recursos e o estudo dos ambientes responsáveis por sua origem e concentração, quanto para a lavra dos recursos identificados.

## **2. PESQUISA MINERAL**

Para a investigação de recursos minerais marinhos, é fundamental a aplicação de ferramentas que possam coletar dados sobre a espessura, o arranjo e a composição do substrato marinho. De forma geral, as técnicas de reconhecimento utilizadas baseiam-se em métodos indiretos e diretos.

O método indireto consiste na realização de levantamentos geofísicos que mapeiem sistematicamente a cobertura sedimentar. Os métodos geofísicos incluem principalmente a sísmica de reflexão de alta resolução, para a identificação da espessura e da geometria dos depósitos, e os métodos de batimetria - incluindo a batimetria por multi-feixe - e de sonografia, para observação da extensão lateral dos depósitos e das características superficiais da distribuição.

Os métodos diretos de observação consistem em amostragens pontuais da superfície de fundo, incluindo sondagens e filmagens submarinas.

Esses métodos permitem comprovar as interpretações propostas a partir do estudo geofísico, além de permitir a cubagem final dos depósitos existentes.

Os métodos utilizados podem variar de acordo com o tipo de recurso mineral a ser estudado e a profundidade onde ele se encontra.

### **3. LAVRA**

Os métodos utilizados para a lavra dos recursos minerais marinhos dependem de suas características físicas, químicas e da profundidade dos depósitos. A título de exemplo, abaixo são descritos os métodos utilizados para a lavra de alguns recursos minerais que ocorrem em lâminas de água rasa, semi-rasa e profunda.

No caso de granulados marinhos, que ocorrem em água rasas, a lavra pode ser feita por intermédio de dragas de caçamba ou dragas hidráulicas, que retiram o material do fundo submarino para grandes barcaças e navios, ou por dragagem hidráulica diretamente para o local de interesse, no caso de projetos de recuperação de praias.

Os dois tipos principais de dragas hidráulicas são: as dragas fixas, indicadas para a retirada de material de reservas espessas localizadas, como é o caso dos canais fluviais submersos; as dragas móveis, que operam sempre em movimento, dragando o material do fundo em jazidas esparsas e de pequena espessura. Essas dragas utilizam bombas potentes, com capacidade para bombear cerca de 2.600 toneladas de material por hora, em lâminas de água de até 50m.

A lavra de pláceres pode ser feita por dragagem hidráulica ou mecânica. Imensas dragas mecânicas, com capacidade para 850 litros (0,85m<sup>3</sup>) foram utilizadas na exploração de ouro no Alasca, e posteriormente substituídas por um trator submarino operado remotamente a partir de um cabo umbilical ligado ao navio. Esse veículo, que pesava 25 toneladas, era equipado com uma imensa draga hidráulica com capacidade para sucção de sólidos de até 250 milímetros de diâmetro, acionada por uma bomba de água com capacidade de 9690 litros/minuto. Jatos de água sob forte pressão eram utilizados na boca da draga, para fragmentar os sedimentos semiconsolidados. A vantagem do trator submarino sobre a draga por caçambas foi a de proporcionar maior controle e seletividade quanto ao exato local a ser

dragado, além de maior efetividade de dragagem, com taxas de 120m<sup>3</sup>/hora em areias e 26m<sup>3</sup>/hora em cascalho em profundidades médias de 15m (GARNETT, 1999a).

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

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

Em águas mais profundas, ou em condições de fundo submarino com blocos e cascalhos volumosos ou fundos endurecidos, são utilizadas sondagens rotativas de largo diâmetro (até 10m), denominadas *Wirth drill*. Tais sondas operam em até 200m de profundidade, de maneira rotativa, como uma gigantesca enceradeira, realizando furos circulares e colhendo os sedimentos até atingir o objetivo. A exploração é realizada pela sobreposição das sondagens circulares à medida que o navio vai avançando, e é controlada por veículos remotos e por submarinos. Veículos submarinos de mineração, operados remotamente a partir de cabos umbilicais ligados ao navio, também são utilizados na exploração de diamantes em profundidades de até 200m. Esses veículos, como no caso da exploração de ouro no Alasca, utilizam sistemas de sucção para retirar os sedimentos do fundo, são capazes de cobrir uma área de até 1000m<sup>2</sup> por dia, e têm capacidade para retirar 1 milhão de metros cúbicos de sedimentos do fundo do oceano por ano (GARNETT, 1999b).

A lavra do enxofre nativo consiste no processo *Frasch*, cuja eficácia decorre do baixo ponto de derretimento e da baixa densidade desse elemento. O processo *Frasch* pode ser descrito da seguinte maneira: a água superaquecida é injetada sob pressão para abaixo de um sistema de três tubulações

concêntricas; essa mesma água funde o enxofre; o ar comprimido é injetado para abaixo dessa tubulação; a mistura da água quente, do ar e do enxofre derretido é bombeada para a superfície (as bolhas de ar elevam o enxofre).

De acordo com Marques Filho (2004), uma outra maneira de lavra do enxofre nativo é através do Processo Claus, que é o padrão da indústria na redução das emissões de dióxido de enxofre ( $\text{SO}_2$ ) de efluentes gasosos ricos em gás sulfídrico ( $\text{H}_2\text{S}$ ). Basicamente, o processo consiste de duas etapas em série: uma térmica e outra catalítica. A cinética do processo é limitada devido à natureza de suas reações principais, que tendem ao equilíbrio. Assim, uma unidade de recuperação de enxofre com três reatores catalíticos, por exemplo, tem capacidade teórica de recuperar 98% de enxofre do gás ácido. Embora a fase térmica do Processo Claus seja responsável por 60 a 70% da conversão total de enxofre, ela tem sido pouco estudada e, ainda hoje, a maior parte dos modelos disponíveis para projetos de novas plantas ou para a otimização das existentes são baseados em relações de equilíbrio ou em equações empíricas.

Na lavra de carvão em depósitos *offshore*, o processo utilizado é o *Underground Coal Gasification* (UCG). Nesse processo, ainda em estágio de desenvolvimento, o carvão é alcançado por meio da perfuração direcional precisamente controlada e submetido a uma queima controlada, produzindo um gás combustível que vai para uma cavidade perfurada na terra, para uma área de recuperação. Os depósitos de carvão de até 8km de distância da costa são acessíveis para o método UCG da terra através de poços de longo alcance.

Em relação à lavra de nódulos polimetálicos, considerável desenvolvimento foi obtido nos últimos 25 anos por consórcios internacionais privados, subsidiados por diferentes governos. A mineração de nódulos polimetálicos envolve a coleta de minério a uma profundidade da ordem de 4.000 a 5.000m.

Diferentes sistemas hidráulicos, desde simples dragas rebocadas até dragas auto-impulsionadas extremamente móveis foram testados. Tais sistemas coletam e enviam os nódulos para a superfície através de potentes bombas a ar ou hidráulicas. Também foram testados sistemas contínuos de caçambas, que consistem em caçambas de correntes de dragagem conectadas a um laço. Outros modelos mais especulativos também foram concebidos.

A lavra de crostas é tecnologicamente mais difícil do que a de nódulos de manganês. Os nódulos se localizam em substrato de sedimento brando, enquanto as crostas são aderidas, com maior ou menor força, à rocha do substrato. Para poder lavar as crostas, é indispensável recuperá-las sem extrair rochas do substrato, o que diluiria apreciavelmente o valor do minério. Uma das maneiras utilizadas para a lavra das crostas é a utilização de um veículo que se arrasta pelo fundo oceânico conectado a um navio mediante um sistema de elevação por tubos hidráulicos e um cordão elétrico. As crostas se fragmentariam com as garras articuladas do veículo, técnica que permite minimizar a quantidade de substrato rochoso recolhido. Entre os sistemas inovadores propostos, figuram o varredor com jorro de água para separar as crostas do substrato rochoso, as técnicas de lixiviação química *in situ* das crostas quando se encontram em montes submarinos e a separação sônica. À exceção Japão, poucas investigações e desenvolvimento de tecnologias de lavra de crostas foram realizados. Ainda que diversas idéias tenham sido propostas, as atividades de investigação e desenvolvimento dessa tecnologia são incipientes (HERZING et al., 2002).

#### **4. CONTROLE AMBIENTAL**

Segundo Silva (2000), medidas de controle e monitoramento ambiental são de uso corrente nas áreas de exploração, sendo mais ou menos efetivas, de acordo com a legislação ambiental vigente e com a eficiência dos órgãos de controle ambiental dos diversos países que participam de atividades exploratórias no mar. Os diversos programas incluem diferentes fases de estudos ambientais durante o empreendimento, sempre incluindo o diagnóstico, avaliação de impacto e monitoramento ambiental. A delimitação das áreas de exploração, conservando-se áreas de maior sensibilidade ambiental, e a limitação da extensão dos blocos e do volume/espessura máxima permitida para exploração, têm sido uma forma comum de controle definida pela regulamentação ambiental de muitos países (por exemplo, África do Sul, Austrália). Outra medida importante é a observação das áreas de descarte e a conservação de áreas de preservação permanente, reconhecidas como áreas de grande produtividade ou como berçários para espécies de importância econômica reconhecida.

## **5. DESENVOLVIMENTO TECNOLÓGICO MARINHO NO BRASIL**

A partir da descoberta de importantes campos de petróleo na Bacia de Campos na década de 70 do século passado, um conjunto de atividades de engenharia foi implementado para que fosse possível a produção petrolífera no mar, incluindo a fabricação e a instalação de estruturas denominadas plataformas fixas e as operações marítimas para a instalação de equipamentos no fundo do mar para o controle da produção e de dutos para o transporte.

Na década de 1980, com a necessidade de produzir petróleo em laminais de água mais profundas em especial as superiores a 400m de profundidade, grande ênfase foi dada às operações realizadas com o auxílio de robôs submarinos. Uma nova especialidade de engenharia foi então amplamente desenvolvida no Brasil: a Engenharia Submarina, associada ao controle remoto de equipamentos no fundo do mar - denominados equipamentos submarinos de produção -, à aplicação de conceitos de hidroacústica para comunicação no meio marinho, à instrumentação submarina, à aplicação de novos materiais e ao projeto e à instalação de estruturas complexas. Nesse contexto, as plataformas fixas foram sendo substituídas pelas plataformas flutuantes.

A tecnologia marinha avançou rapidamente no Brasil ao longo da década de 90 do século XX consolidando na indústria do petróleo a imagem do país como líder na produção em águas profundas. Esse esforço tecnológico liderado pela PETROBRAS, tem contado com o decisivo apoio das universidades e dos centros de pesquisa nacionais.

Em 1997/98, ocorreram entendimentos preliminares entre o Ministério da Ciência e Tecnologia (MCT) do Brasil e o governo da Índia para estudar a possibilidade de desenvolver um projeto bilateral de construção de um veículo submersível a grandes profundidades, tripulado para pesquisa, utilizando as tecnologias existentes nos dois países. Entendia-se que o submersível pudesse ser empregado tanto no apoio à instalação de sistemas de exploração submarina de petróleo quanto na pesquisa de recursos minerais e biotecnológicos da Plataforma Continental brasileira e das áreas oceânicas adjacentes.

Do lado brasileiro identificavam-se, como parceiros no desenvolvimento do submersível, dentre outros, o Ministério da Ciência e

Tecnologia, a Coordenação dos Programas de Pós-Graduação de Engenharia da Universidade Federal do Rio de Janeiro (COPPE/UFRJ), o Arsenal de Marinha do Rio de Janeiro e a PETROBRÁS. Do lado indiano, o Instituto Oceanográfico de Goa demonstrou firme interesse em participar do projeto. No entanto, esse projeto não teve continuidade.

Entre os centros de desenvolvimento tecnológico brasileiros com vocação para atuar na área de recursos minerais marinhos, destacam-se o Laboratório de Tecnologia Submarina (LTS), vinculado ao Programa de Engenharia Oceânica da COPPE/UFRJ; o Centro de Pesquisas da Petrobras (CENPES); a Marinha do Brasil e o CETEM.

## **6. LABORATÓRIO DE TECNOLOGIA SUBMARINA**

Vinculado ao Programa de Engenharia Oceânica da COPPE/UFRJ, o Laboratório de Tecnologia Submarina foi criado em 1989 para atender à crescente demanda por tecnologia em águas profundas.

Atualmente, o LTS vem desenvolvendo processos para a exploração de óleo e gás em águas profundas e apoiando a marinha brasileira na segurança da Plataforma Continental. Aborda temas como robótica, infraestrutura para testes submarinos, hidroacústica, tubos flexíveis alternativos, soldagem submarina, separador de fundo e umbilicais submarinos, além de trabalhar para o desenvolvimento de tecnologias que viabilizem a exploração racional dos recursos do mar e contribuir para o melhor conhecimento da Plataforma Continental brasileira. O LTS já realizou cerca de 6.500 projetos, em parceria com empresas estatais e privadas, com órgãos de governo federais, estaduais e municipais e com entidades não-governamentais nacionais e estrangeiras. Mais de 1.000 contratos de pesquisa e desenvolvimento tecnológico foram realizados com a PETROBRAS.

Os projetos desenvolvidos pelo LTS têm proporcionado capacitação tecnológica e de pessoal para responder aos desafios relacionados à exploração de recursos em lâminas de água cada vez mais profundas.

As principais linhas de pesquisa do LTS são:

- Análise estrutural de dutos submarinos sob diversas condições de carregamento;

- Iniciação e propagação de falha em dutos submarinos;
- Desenvolvimento de equações de projeto para dutos submarinos baseadas em estudos de confiabilidade estrutural;
- Análise experimental do desempenho de cabos umbilicais sob tração e torção;
- Desenvolvimento de concepções alternativas de dutos rígidos e flexíveis para águas profundas;
- Comportamento estrutural de painéis de navios e colunas de plataformas oceânicas;
- Avaliação experimental de equipamentos e estruturas para águas profundas;
- Análise teórica e experimental de colunas de perfuração de poços de petróleo/gás;
- Equipamentos de segurança e controle de poços de petróleo/gás;
- Geração de energia por ondas do mar;
- Recifes Artificiais.

## **7. CENTRO DE PESQUISAS DA PETROBRAS**

A área de exploração e produção de petróleo do CENPES é aquela de maior relevância na aplicação de recursos, com uma fatia de R\$120 milhões, o que equivale a 39% do seu orçamento para 2001, em torno de R\$310 milhões. Uma das metas perseguidas, a de operação a 3.000m de lâmina d'água (águas ultraprofundas), começa a ser viabilizada. Hoje, o recorde de produção da estatal é de 1.877m, enquanto a perfuração atinge 2.783m.

Os investimentos da instituição estão distribuídos em cinco áreas: exploração e produção; abastecimento; gás e energia; distribuição; e internacional. A expectativa é de que os R\$310 milhões aplicados em 2001 dêem à Petrobras um retorno de R\$2,2 bilhões em cinco anos.

Nos últimos 23 anos, o CENPES, pioneiro no uso do conceito de produção flutuante, enfatizou sempre a inovação e o aperfeiçoamento, com base em sua experiência profissional. O primeiro Programa de Desenvolvimento Tecnológico de Sistemas de Produção em Águas Profundas (PROCAP-1000) foi lançado em 1986 com o objetivo de melhorar a

competência técnica da empresa na produção de petróleo e gás natural em águas com profundidade de até 1000m. Para isso, foram escolhidos como unidade de desenvolvimento, os campos de Albacora e Marlim.

Os resultados obtidos neste primeiro programa e as demais descobertas em águas mais profundas encorajaram a empresa a criar, em 1993, um novo programa, o Programa de Inovação Tecnológica para Sistemas de Exploração em Águas Profundas (PROCAP-2000). Implementado para dar continuidade aos esforços do primeiro, este foi um desafio muito maior.

Movida pelo desejo de colocar em produção seus campos já descobertos em águas profundas, assim como os campos potenciais a serem descobertos à profundidade de lâmina d'água de cerca de 3000 metros, a indústria petrolífera está ampliando e desenvolvendo um conjunto de novas tecnologias. Desta maneira, a Petrobras lançou, em 2000, o Programa Tecnológico da Petrobras em Sistemas de Exploração em Águas Ultraprofundas (PROCAP-3000).

Atualmente, o PROCAP-3000 é executado por meio de projetos sistêmicos focalizando as principais tecnologias consideradas de importância estratégica para os cenários de águas ultraprofundas da empresa.

O CENPES está desenvolvendo um modelo baseado na plataforma de exploração de petróleo, desenvolvida recentemente pela própria Petrobrás, batizado de Mono-BR, que suporte uma sonda de perfuração. Normalmente, apenas as plataformas fixas - viáveis apenas em águas rasas - suportam as sondas, porque as plataformas semi-submersíveis convencionais - utilizadas em águas mais profundas - movimentam-se muito com a maré.

A Mono-BR é uma plataforma com um casco de forma arredondada, oco por dentro, por onde a água entra e sai, o que minimiza os efeitos das oscilações das ondas do mar. A primeira utilização desse tipo de plataforma será no campo de Pitranema, na Bacia Sergipe/Alagoas. A unidade ainda está em construção no exterior e será arrendada pela PETROBRAS.

## **8. MARINHA DO BRASIL**

A Marinha do Brasil vem realizando, desde 1980, um amplo programa de pesquisa e desenvolvimento. Motivada pela necessidade de acompanhar os esforços de atualização científica e tecnológica, e a exemplo de outros

ministérios militares, resolveu implantar alguns órgãos de pesquisa, como o Centro Tecnológico da Marinha em São Paulo (CTMSP), o Centro de Análises de Sistemas Navais (CASNAV) e o Instituto de Estudos do Mar Almirante Paulo Moreira (IEAPM).

Como diretriz fundamental, todos os empreendimentos a cargo do CTMSP são concebidos pela equipe técnica que, em alguns casos, conta com a colaboração de engenheiros e cientistas de outras instituições de pesquisa e de universidades do país. Essa equipe acompanha e fiscaliza as execuções, que são contratadas junto a empresas nacionais altamente qualificadas. Para a consolidação de uma forte e imprescindível “cultura experimental” no âmbito desse programa de pesquisa e desenvolvimento, o CTMSP conta com o Centro Experimental Aramar, no município de Iperó (SP), onde estão instalados seus laboratórios e oficinas especializadas. Esse esforço de desenvolvimento possibilitou a formação de um significativo acervo tecnológico e gerou a capacitação em diversas áreas, o que permitiu que passassem a ser projetados e fabricados no Brasil vários materiais, componentes, equipamentos e sistemas anteriormente adquiridos no mercado externo e que, muitas vezes, não podiam ser importados devido a restrições por parte dos países fornecedores.

Os principais laboratórios do CTMSP são: Laboratório de Materiais Nucleares; Laboratório de Caracterização de Materiais; Laboratório de Desenvolvimento de Instrumentação e Combustível Nucleares; Laboratório de Termohidráulica; Laboratório de Testes de Equipamentos de Propulsão; Laboratório de Qualificação de Produto; Laboratório Radioecológico; Laboratório de Choque, Vibração e Ruído.

Como cliente, o CTMSP utiliza cerca de 150 indústrias nacionais, às quais encomenda a grande maioria dos produtos utilizados nos seus projetos. No entanto, alguns desses itens, devido à pequena quantidade ou à sua sofisticação, são fabricados internamente. Para suprir tais necessidades, o CTMSP montou uma infra-estrutura própria de fabricação, que também pode atender eventuais necessidades do setor industrial, com diversos equipamentos de fabricação com controle numérico computadorizado (CNC).

Cabe ao CASNAV a Avaliação Operacional (AO), poderoso instrumento que, utilizando modernos métodos científicos, permite à

Marinha saber como empregar seus meios de maneira eficaz. A AO possibilita o conhecimento das limitações e das possibilidades dos modernos e sofisticados equipamentos e sistemas empregados na Marinha.

Já ao IEAPM incumbe – a exemplo do que ocorre com as Marinhas modernas - conhecer o ambiente em que opera, aspecto indispensável para aumentar a eficácia de seu desempenho, principalmente em face da modernização dos meios flutuantes, dotados de sistemas e equipamentos extremamente sensíveis e dispendiosos. Desse modo, a missão desse órgão é planejar e executar atividades de pesquisa e desenvolvimento científico e tecnológico nas áreas de Oceanografia, Meteorologia, Hidrografia, Geologia e Geofísica Marinhas, Instrumentação Oceanográfica, Acústica Submarina e Engenharia Costeira e Oceânica, a fim de contribuir para a obtenção de modelos, métodos, sistemas, equipamentos, materiais e técnicas que permitam o melhor conhecimento e a eficaz utilização do ambiente marinho, no interesse da Marinha do Brasil.

## **9. CENTRO DE TECNOLOGIA MINERAL**

No Brasil, um dos principais órgãos de beneficiamento mineral é o CETEM, instituto nacional e eminentemente tecnológico, focado em uma temática definida: atua na pesquisa e no desenvolvimento de tecnologias minerais e ambientais. Sua linha de pesquisa consiste em:

- Tecnologia ambiental e reciclagem;
- Inovação em processos minero-metalúrgicos;
- Pesquisa de minerais e rochas industriais;
- Gestão sustentável de recursos minerais

A tecnologia ambiental e reciclagem se baseia na otimização do uso da energia e de materiais, na redução do impacto ambiental, assim como na busca pela satisfação social, consideradas características fundamentais para a concepção de projetos no setor. Essa linha de pesquisa envolve estudos diagnósticos voltados à gestão ambiental de áreas mineradas, bem como ao desenvolvimento de tecnologias limpas de reciclagem de materiais e de disposição segura de materiais rejeitados, visando a sustentabilidade da indústria minero-metalúrgica e áreas correlatas.

A inovação em processos minero-metalúrgicos tem como objetivo o desenvolvimento de tecnologias para o setor, visando a aumentar a produtividade, reduzir os custos e obter produtos diferenciados, de modo a ampliar a competitividade tecnológica.

A pesquisa de minerais e rochas industriais envolve a implementação de estudos para a modificação das propriedades físicas e/ou químicas dos minerais industriais, e poderá atender a demandas específicas e atuais do mercado, assim como oferecer produtos alternativos, de menor preço. Além disso, implica o desenvolvimento estudos voltados ao aprimoramento de técnicas de lavras e de beneficiamento dos diferentes tipos de rochas ornamentais.

A gestão sustentável de recursos minerais tem como meta o desenvolvimento de metodologias e instrumentos de gestão e informação para auxiliar a tomada de decisões, o planejamento e a implementação de atividades e projetos que visem aprimorar o nível de sustentabilidade da exploração econômica de bens minerais.

## **10. ÁREAS DE INOVAÇÃO E DESENVOLVIMENTO CIENTÍFICO E TECNOLÓGICO**

De forma geral, fica evidente que a tecnologia marinha brasileira teve um grande desenvolvimento no que concerne à produção de petróleo e de gás. No que diz respeito à exploração de recursos minerais não petrolíferos da Plataforma Continental Brasileira, o desenvolvimento tecnológico marinho foi quase nulo. Contudo, existe um grande potencial para adaptar e inovar a tecnologia existente à exploração de recursos minerais não petrolíferos da Plataforma Continental e áreas oceânicas adjacentes.

Entre os projetos tecnológico que poderiam alavancar o desenvolvimento sustentado do aproveitamento dos recursos minerais marinhos destacam-se:

- A construção de um submersível de pesquisa tripulado, com alcance de até 4.500m de profundidade;
- A construção de um Veículo Submersível Autônomo, *Autonomous Underwater Vehicle* (AUV), com equipamento de prospecção geofísica,

autonomia mínima de 200km e capacidade de mergulho de até 4.500m de profundidade;

- A construção de Veículos Operados Remotamente, *Remotly Operated Vehicles* (ROVs) para operar em diferentes profundidades, com missões diversas.

Quanto à pesquisa mineral, a adoção de metodologias adequadas e modernas constitui o ponto básico para o exercício ora proposto. Em torno desse propósito gravitam todas as etapas das atividades de bordo - coleta de amostras, testemunhagem, perfilagem sísmica etc. -, passando pelos trabalhos laboratorial e de interpretação de gabinete, realizados com instrumental de última geração disponível no mercado.

Com respeito à exploração dos bens marinhos, é imperativa a realização de uma etapa de investigação científica exploratória desenvolvida de forma adequada, para o conhecimento global do ambiente em termos de processos físicos, químicos e biológicos que conduziram a sua formação. De modo geral, esses trabalhos devem envolver estudos vinculados à evolução paleogeográfica da área a ser trabalhada, à dinâmica sedimentar em termos de energia atuante no ambiente, aos processos químicos e biológicos ligados à geração dos recursos, assim como aos demais parâmetros importantes na fase de exploração, cujos resultados irão constituir uma documentação básica de trabalho na avaliação do potencial dos recursos identificados.

Tais objetivos serão atingidos com a aplicação de técnicas que tenham acompanhado a inovação e o desenvolvimento científico e tecnológico dos últimos anos, pois os laboratórios nacionais de processamento de dados e amostras necessitam urgentemente dessa atualização.

### **Agradecimentos**

À professora Viviane Possamai (Instituto de Letras/UFRGS) e a Maria Luiza Correa da Camara Rosa (CECO/UFRGS) pela eficiente colaboração. As estagiárias da DIGEOM/CPRM, Hyala Queiroz Valente da Silva e Milena de Oliveira Marchão pelas pesquisa na Internet e formação das informações.

**REFERÊNCIAS**

- BRASIL. Marinha do Brasil. CTMSP, CASNAV e IEAPM. Disponível em: <<https://www.mar.mil.br/ctmsp/>>; <<http://www.mar.mil.br/casnav/avoper.htm>>; <<http://www.ieapm.mar.mil.br>>. Acesso em: 2007.
- CENTRO DE PESQUISA DA PETROBRÁS - CENPES. Disponível em: <[http://www2.petrobras.com.br/tecnologia/port/areadeatuacao\\_exploracaoaguas.asp](http://www2.petrobras.com.br/tecnologia/port/areadeatuacao_exploracaoaguas.asp)>. Acesso em: 2007.
- CENTRO DE TECNOLOGIA MINERAL - CETEM. Disponível em: <[http://cetem.gov.br/servicos\\_tecnologicos.htm](http://cetem.gov.br/servicos_tecnologicos.htm)>. Acesso em: 2007.
- GARNETT, R. H. T. Marine placer diamonds, with particular reference to Southern África. In: CRONAN, D. S. (Ed.). Handbook of marine mineral deposits. Boca Raton, USA: CRC Press, 1999a. p. 103-141.
- HERZING, P. M.; PETERSEN, S.; HANNINGTON, M. D. Polymetallic massive sulphide deposits at the modern seafloor and their resource potential. In: POLYMETALLIC massive sulphides and ferromanganese crusts: status and prospects. Kingston, Jamaica: [s.n.], 2002. p. 7-35. (ISA Technical Study, 2).
- LABORATÓRIO DE TECNOLOGIA SUBMARINA – LTS. Disponível em: <<http://www.lts.coppe.ufrj.br>>. Acesso em: 2007.
- M. FILHO, J. Estudo da fase térmica do processo Claus utilizando fluidodinâmica computacional. 2004. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química)- USP, São Paulo, 2004. Disponível em: <<http://teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3137/tde-13102004-100123/>>. Acesso em: 2007.
- PETROBRÁS. Disponível em: <[http://www2.petrobras.com.br/tecnologia/port/areadeatuacao\\_exploracaoaguas.asp](http://www2.petrobras.com.br/tecnologia/port/areadeatuacao_exploracaoaguas.asp)>. Acesso em: 2007.
- SILVA, C. G. Placeres marinhos. Revista Brasileira de Geofísica, v. 18, n. 3, p. 327-333, 2000.
- \_\_\_\_\_; JUNIRO, A. G. F.; BREHME, I. Granulados litoclásticos. Revista Brasileira de Geofísica, v. 18, n. 3, p. 319-326, 2000.

## Resumo

O decorrer das últimas décadas foi caracterizado por um crescente aumento nas atividades relacionadas com a exploração de recursos minerais presentes tanto nos limites das jurisdições nacionais, como além destas. Neste trabalho são abordados elementos relativos aos aspectos tecnológicos de pesquisa e lavra de recursos minerais marinhos presentes na Zona Econômica Exclusiva (ZEE) e na área oceânica adjacente. O texto discute igualmente a potencialidade nacional em termos de centros e laboratórios especializados, engajados na pesquisa tecnológica no ambiente marinho, bem como a utilização de modernos mecanismos, como os submersíveis, na pesquisa oceânica. De forma detalhada, são apresentados aspectos pertinentes à metodologia de pesquisa e lavra de granulados litoclásticos e bioclásticos, pláceres marinhos, fosforitas, crostas cobaltíferas, sulfetos polimetálicos, evaporitos, enxofre, carvão e hidratos de gás.

## Abstract

*The last decades have been characterized by an increase in activities associated with the exploration of mineral resources in the limits of national jurisdiction and outside. In this paper we discuss aspects related to the technological features of research, mining and processing of marine mineral resources present along the Exclusive Economic Zone – EEZ, and adjacent oceanic area. The paper also discusses the national potential in terms of specialized centers and laboratories engaged in the marine technological research, such as the use of modern mechanisms like the submersibles in the oceanic investigation. Aspects regarding the methodology of the research, mining and processing of the siliclastic and bioclastic aggregateds, marine placers, phosphorites, cobaltiferous crusts, polymetallic sulphides, evaporites, sulfur, coal and gas hydrates are presented in detail.*

## Os Autores

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).

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).