

38

OUTROS SISTEMAS E TÉCNICAS MODERNAS DE NAVEGAÇÃO

38.1 NAVEGAÇÃO INERCIAL

Todos os sistemas de Navegação Eletrônica discutidos nos capítulos anteriores dependem de informações externas ao navio, transmitidas por estações terrestres (Omega, Decca, LORAN-C, Radiogoniometria e Consol) ou por satélites (TRANSIT, GPS), através de ondas eletromagnéticas. O RADAR, estudado no volume I (Capítulo 14), depende de pulsos de RF transmitidos pelo próprio navio. O sistema DOPPLER de navegação, que será estudado a seguir, depende da transmissão de ondas acústicas pelo navio. O **Sistema de Navegação Inercial**, entretanto, é independente de qualquer sinal transmitido externamente ou pelo próprio navio.

Há uma grande vantagem em um sistema de navegação que possa fornecer a posição do navio continuamente e com precisão, sem necessitar de qualquer informação externa. Esse sistema não requer a emissão ou recepção de sinais e é imune a interferências. Isto é de particular importância para os submarinos nucleares, que são projetados para permanecerem submersos durante suas patrulhas, por prolongados períodos.

O Sistema de Navegação Inercial para Navios (SINS – “Ship’s Inertial Navigation System”) foi desenvolvido no final dos anos 1950 e início da década seguinte, para preencher os requisitos de posicionamento preciso dos submarinos nucleares portadores de mísseis balísticos (SSBN). Após um primeiro modelo experimental instalado no submarino “Nautilus”, que cruzou o Pólo Norte navegando submerso, em 3 de agosto de 1958, o Sistema de Navegação Inercial foi empregado a bordo do submarino “George Washington”, em 1960. Desde então, tem sido continuamente refinado, aperfeiçoado e reduzido em tamanho

e custo, de modo que, atualmente, seu uso foi estendido aos submarinos de ataque, navios-aeródromos e outros meios de superfície.

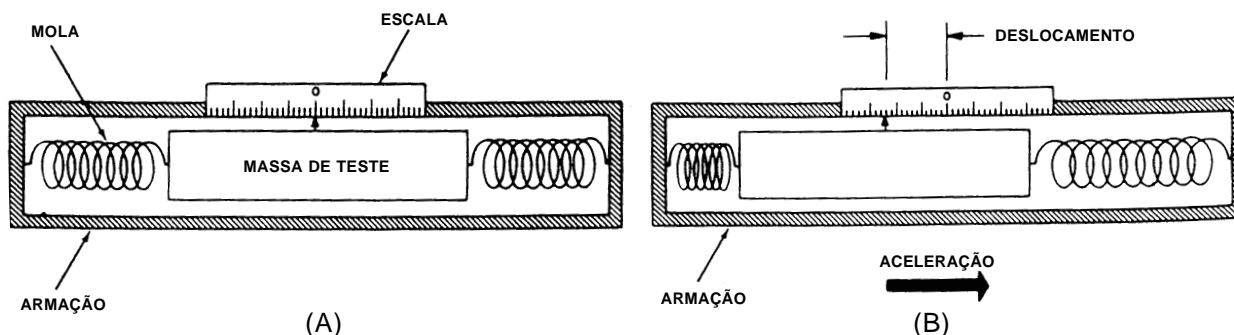
A **Navegação Inercial** é definida como o processo de determinar a posição do navio e os seus movimentos com base na medida das suas acelerações em direções espaciais conhecidas, por meio de instrumentos que mecanizam as leis do movimento de Newton. As acelerações são integradas para obtenção da velocidade e posição. Os instrumentos básicos usados em todos os sistemas de navegação inercial são **giroscópios, acelerômetros e computadores**.

Os giroscópios foram estudados no Volume I (Capítulo 3). Essencialmente, um **giroscópio** clássico consiste de um rotor (volante ou toro), perfeitamente balanceado, que, ao girar em alta velocidade, mantém, de acordo com as leis de Newton, a orientação do seu eixo de rotação, apontando sempre para um mesmo ponto no espaço (com respeito a um sistema de referência universal), exceto quando perturbado por uma força externa, como a gravidade ou o atrito (fricção). Um **acelerômetro** é um dispositivo projetado para computar a aceleração (**A**) ao longo de um determinado eixo, pela medida da força (**F**), exercida ao longo desse eixo, sobre uma dada massa (**M**), usando a 2ª Lei do Movimento de Newton (**F = MA**).

Um acelerômetro pode ser considerado, em sua expressão mais simples, como uma massa suspensa por um fio (um pêndulo) ou que pode correr ao longo de um guia reto. Estando o suporte do pêndulo ou do guia em repouso, ou em estado de movimento retilíneo uniforme, a massa estará em seu ponto neutro. Mas, se o suporte inicia movimento, ou altera sua velocidade, isto é, se há uma aceleração, a massa se desloca da posição neutra e a quantidade de deslocamento é proporcional ao valor da aceleração.

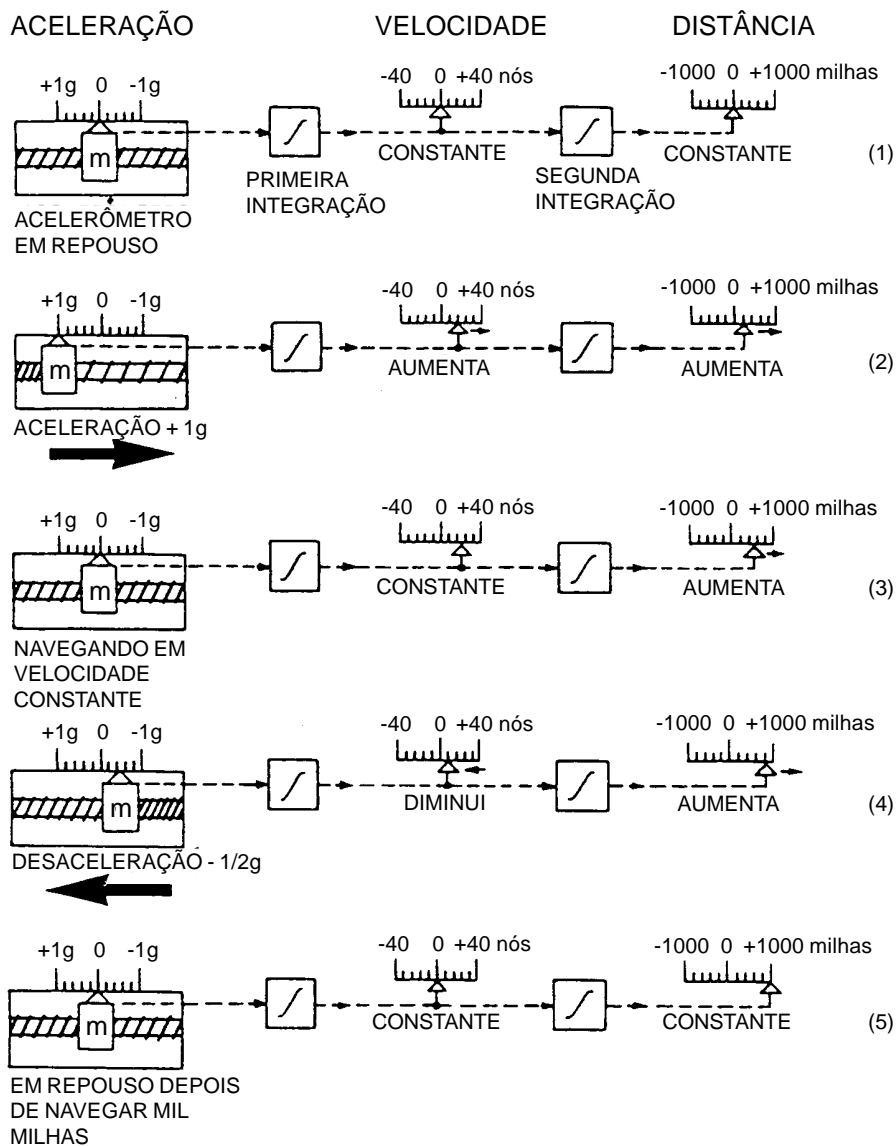
A medida do deslocamento é feita por meios elétricos, pois, assim, conseguem-se detectar tanto as mínimas como as grandes acelerações. A figura 38.1 mostra um tipo simples de acelerômetro. Ele é constituído da armação, massa de teste, molas de controle e escala graduada. Se a armação está em repouso, ou se deslocando em movimento retilíneo uniforme, a massa está em sua posição neutra, como indicado na figura 38.1(A). Quando a armação é acelerada para a direita (como no caso de alteração de velocidade), a massa se move para trás com referência à armação, o que é indicado pelo ponteiro na escala. Quando cessa a aceleração, no caso de ser mantida uma velocidade uniforme, as molas de controle fazem com que a massa de teste retorne à sua posição neutra inicial com respeito à armação.

Figura 38.1 - Acelerômetro Básico



Na figura 38.2, apresentamos uma ilustração do que ocorreria num navio hipotético, que navegasse em linha reta, e cujo acelerômetro só estivesse sujeito às forças devidas à marcha normal do navio.

Figura 38.2 - Operação do Acelerômetro



Em (1) o acelerômetro marca zero – o navio está parado.

Em (2) o navio inicia o movimento, dando lugar a uma aceleração de 1 g; sua integração dá a velocidade de 20 nós, e, ao integrar a velocidade, começa a marcar a distância.

Em (3), alcançada a velocidade de 20 nós, a mesma é mantida constantemente; o acelerômetro volta a marcar zero; a velocidade prossegue em 20 nós e a distância continua aumentando.

Em (4) há uma aceleração negativa, ou seja, uma desaceleração, o que é indicado no acelerômetro; há, portanto, uma redução da velocidade, que diminui para 10 nós; a distância continua aumentando, mas de maneira mais lenta.

Em (5) o navio pára, depois de percorrer 1.000 milhas. O acelerômetro marca zero, pois está em repouso; a velocidade é zero, e a escala de distância marca mil milhas, cessando de aumentar.

O navegador inercial só necessita medir as acelerações nos sentidos Norte-Sul e Leste-Oeste. As demais acelerações, como as devidas ao balanço, caturro, gravidade, etc., devem ser eliminadas.

Um **Sistema de Navegação Inercial** é basicamente constituído por:

- Dois acelerômetros, que medem as acelerações do navio com respeito aos eixos N-S e E-W;
- integradores acoplados aos acelerômetros;
- plataforma estabilizada por giroscópios, sobre a qual estão os acelerômetros;
- sistema de orientação, que mantém os acelerômetros alinhados em suas respectivas direções azimutais; e
- computador digital para determinar as diferenças de Latitude e de Longitude, aplicando-as às coordenadas inicialmente alimentadas, e que fornece a posição do navio.

Em uma breve descrição de sua operação, pode-se dizer que o Sistema de Navegação Inercial é baseado no princípio da Sintonia de Schuler, pelo qual uma plataforma estável permanecerá alinhada com a vertical do local, qualquer que seja o movimento do veículo onde esteja instalada. O sistema consiste, basicamente, de dois acelerômetros e três giroscópios. A Latitude é obtida pela medida do ângulo entre a vertical do lugar e o eixo de rotação da Terra, com o qual um dos giroscópios está alinhado. A Longitude é obtida por dupla integração da aceleração no sentido Leste-Oeste (E-W), medida por um dos acelerômetros, para produzir distância percorrida no fundo (“distance over the ground”) na direção E-W; esta é, então, aplicada como diferença de Longitude (ΔL) à Longitude da posição inicial. Assim, o Sistema de Navegação Inercial (SINS) **mede** Latitude, mas **calcula** Longitude. Os dois acelerômetros e os três giroscópios são montados em um sistema com suspensão cardan; os acelerômetros e os giroscópios são interdependentes, não se podendo identificar tarefas separadas e distintas para cada componente.

A teoria do SINS fundamenta-se na aplicação do princípio da inércia a um sistema giroscópico. O sistema é construído de forma que tende a permanecer estável no espaço, em três planos perpendiculares entre si, sendo isto obtido pelo uso de três giroscópios. Assim, quando o navio se desloca, o sistema, pela propriedade da inércia, tende a permanecer fixo no espaço. O método pelo qual isto é usado para fornecer posição geográfica (Latitude e Longitude) será explicado adiante, mas antes é necessário entender a construção do sistema giroscópico e da plataforma estável do Sistema de Navegação Inercial.

38.2 A PLATAFORMA ESTÁVEL DO SISTEMA DE NAVEGAÇÃO INERCIAL

Para estabilizar o sistema em três planos, são requeridos três giroscópios, montados perpendicularmente entre si. Usam-se giroscópios com um único grau de liberdade (“single-degree-of-freedom gyroscopes”), figura 38.3, com seus eixos sensíveis apontados, respectivamente, para o Pólo Norte Celeste (giroscópio **L**), na direção oposta ao centro da Terra (giroscópio **M**) e na tangente à superfície da Terra (giroscópio **E**), conforme apresentado na figura 38.4, onde as setas indicam a direção dos eixos sensíveis dos giroscópios (para o giroscópio **E** está mostrada a ponta da seta).

Os três giroscópios são montados com suspensão cardan, de modo que tenham completa liberdade de movimento em todos os três planos. Ademais, os giroscópios **L** e **M** devem girar em torno do eixo horizontal E-W, conforme o navio varia sua Latitude. Para

obter isto, estes dois giroscópios são montados no “Anel de Latitude”, que é um disco capaz de girar em torno do eixo horizontal E-W, sendo, assim, mantido com seu plano no meridiano. Sua atitude é mostrada na figura 38.5, para as posições na superfície da Terra (a) e (b), da figura 38.6.

Figura 38.3 - Giroscópio com um Único Grau de Liberdade (“Single-Degree-of-Freedom Gyroscope”)

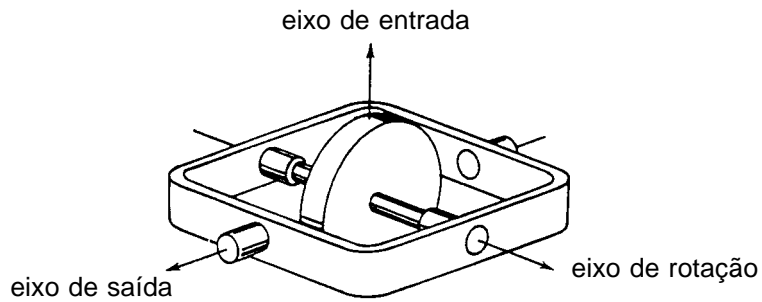


Figura 38.4 - Orientação dos Três Giroscópios

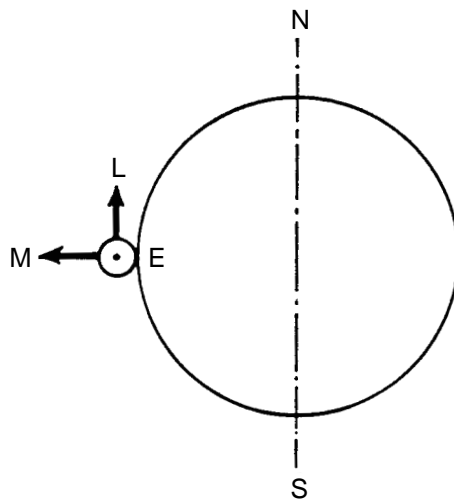


Figura 38.5 - Rotação do Anel de Latitude em Torno do Eixo E-W

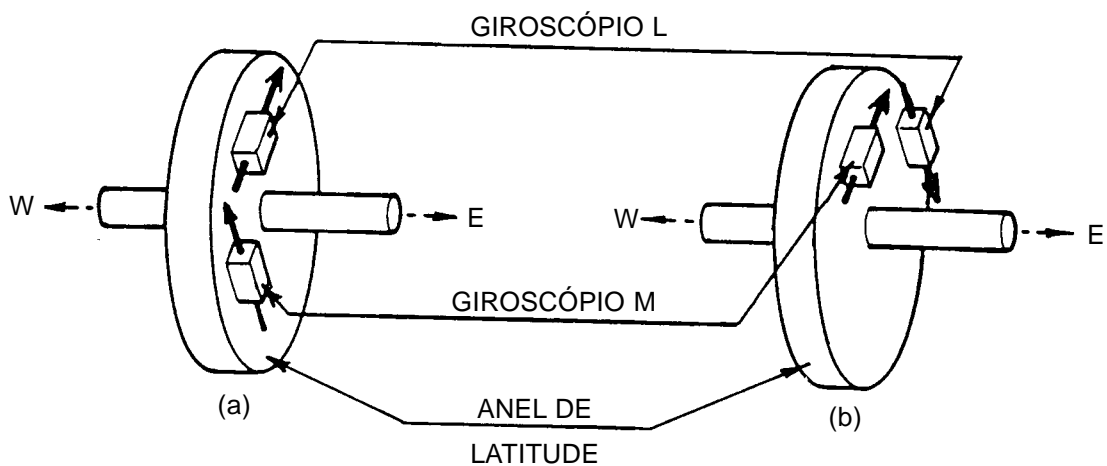
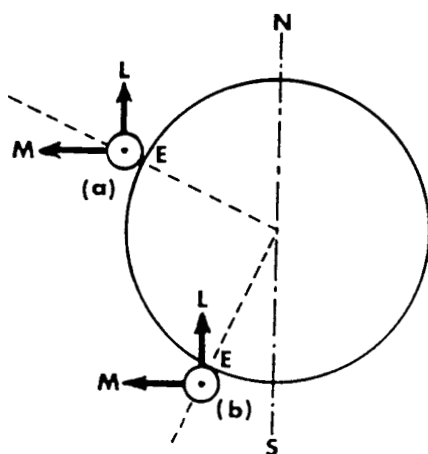


Figura 38.6 - Efeito das Mudanças de Latitude



O Anel de Latitude é montado no Anel de Azimute, livre de girar em azimute, em todas as direções (figura 38.7). O giroscópio E-W é montado sobre este anel. O Sistema Giroscópico completo, então, está mostrado na figura 38.7. O sistema, como descrito até aqui, tenderia a permanecer fixo no espaço, o que significa que, para um observador na superfície terrestre, pareceria girar de 360° a cada dia sideral, devido à rotação da Terra (figura 38.8).

Entretanto, o giroscópio **M** deve ser mantido no plano do meridiano e o giroscópio **E** no plano horizontal, por razões que se tornarão aparentes mais tarde. Então, o giroscópio **L** recebe um torque em torno de seu eixo, numa razão igual e oposta à rotação da Terra (isto é, 360° em cada dia sideral). Por esta razão, o sistema mantém sua atitude com respeito à horizontal e à vertical, conforme mostrado na figura 38.9.

Além disso, o sistema deve ter um meio de buscar a vertical (e, conseqüentemente, a horizontal). Isto é proporcionado por **acelerômetros** em dois eixos. Os **acelerômetros** são, basicamente, pêndulos montados no Anel de Azimute, como mostrado na figura 38.10, de modo que seus eixos sensíveis sejam N-S e E-W. Isto é importante, porque os acelerômetros devem ser capazes de medir a aceleração e indicar a vertical em dois planos: Norte-Sul e Leste-Oeste. O equipamento até aqui descrito (com os três giroscópios, o Anel de Latitude, o Anel de Azimute e os dois acelerômetros) constitui o **Elemento Sensível** do Sistema de Navegação Inercial (figura 38.10). Para isolar o **Elemento Sensível** do balanço e caturro do navio, ele é montado em duas suspensões adicionais. O sistema completo, denominado de **Plataforma Estável**, é mostrado na figura 38.11.

Figura 38.7 - O Sistema Giroscópico Completo

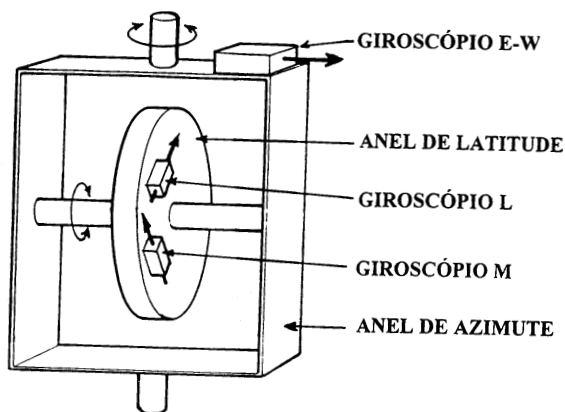


Figura 38.8 - Efeitos da Rotação da Terra

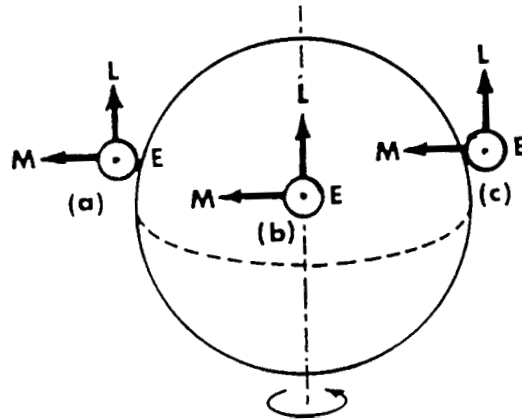


Figura 38.9 - Efeito do Torque no Giroscópio L

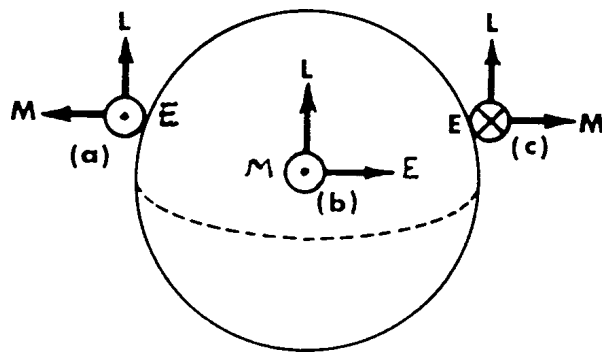


Figura 38.10 - Elemento Sensível do Sistema de Navegação Inercial

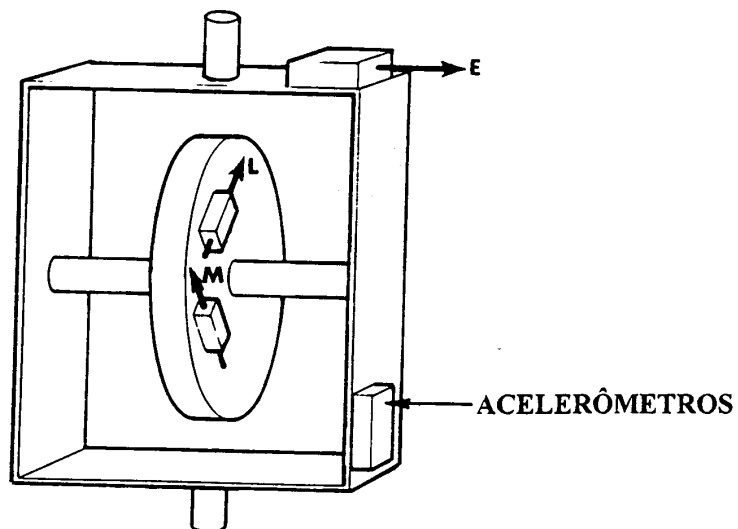
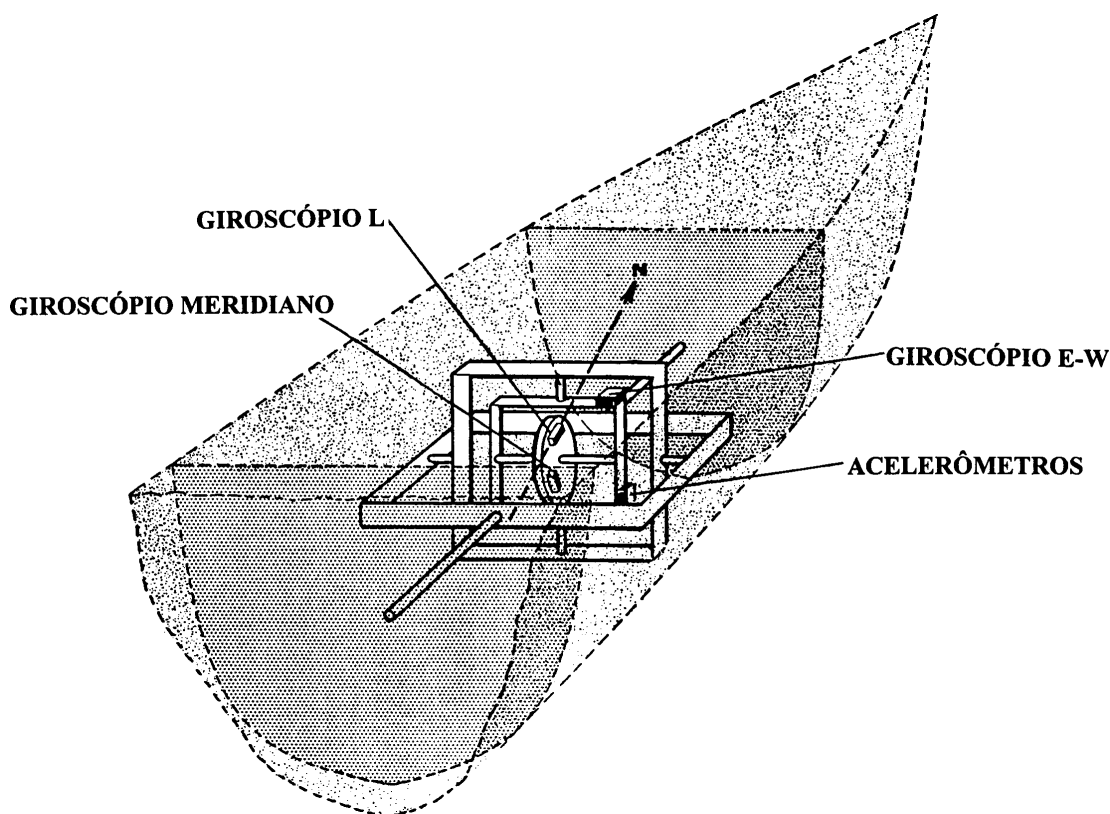


Figura 38.11 - Plataforma Estável do SINS (Navio na Proa Norte)



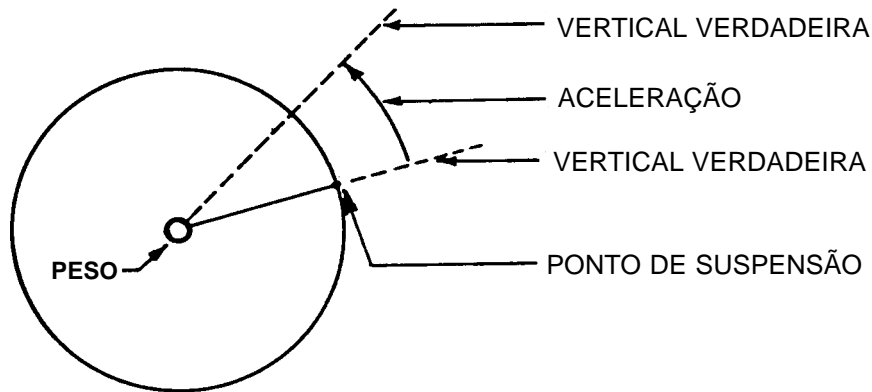
Cada anel de suspensão é controlado por um motor de torque, através de um sistema servo-motriz, usando sinais dos três giroscópios. Além disso, o giroscópio **L**, conforme anteriormente citado, recebe um torque igual e oposto à rotação da Terra. Assim, a **Plataforma Estável** é isolada dos efeitos do movimento do navio (isto é conhecido como “isolamento do movimento da base”) e vai buscar e permanecer em uma atitude correta com respeito aos planos horizontal e vertical.

38.3 PRINCÍPIO DA SINTONIA DE SCHULER

Os pêndulos dos acelerômetros estariam sujeitos a ser afetados pela aceleração do navio, ou seja, eles poderiam tomar uma falsa vertical, do mesmo modo que ocorreria com um pêndulo em um trem que estivesse acelerando, devido ao atraso do peso. Isto pode ser contornado pelo uso do Princípio de Schuler, pelo qual um pêndulo com o seu ponto de suspensão na superfície terrestre e o seu peso no centro da Terra indicará sempre a verdadeira vertical, independentemente da aceleração imprimida ao ponto de suspensão (figura 38.12).

O período de oscilação desse pêndulo será de 84 minutos. Assim, o **Princípio de Schuler** aplica-se a qualquer pêndulo com um período de 84 minutos. Então, sintonizam-se os circuitos dos acelerômetros e dos giroscópios, de modo que o Elemento Sensível tenha este período de oscilação, para que mantenha a propriedade de indicar a vertical verdadeira, sob qualquer aceleração ou desaceleração a que esteja sujeito. O processo é conhecido como “Sintonia de Schuler”.

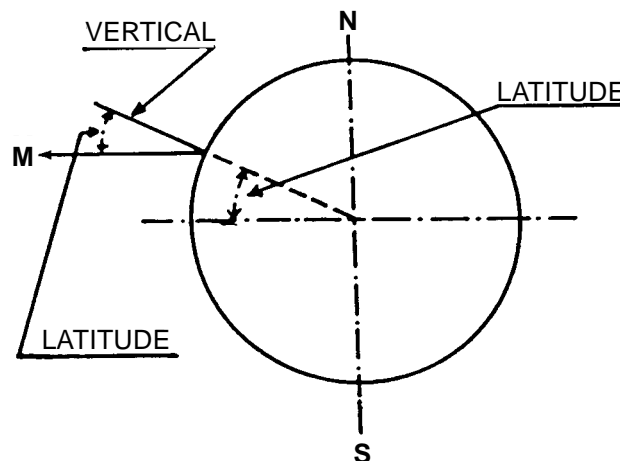
Figura 38.12 - Pêndulo com Peso no Centro da Terra



38.4 MEDIDA DA LATITUDE E CÔMPUTO DA LONGITUDE

A **Latitude** é medida diretamente, em um Sistema de Navegação Inercial, a partir da Plataforma Estável, pois é o ângulo entre o giroscópio **M** e a vertical do Elemento Sensível (figura 38.13). A **Longitude** não pode ser medida diretamente, mas o **torque adicional** exigido para manter o Elemento Sensível vertical no meridiano é uma medida da velocidade na direção E-W. A integração desse dado dará a distância navegada E-W, que pode ser aplicada, como diferença de Longitude (ΔL), à Longitude anterior indicada, de modo a manter a posição do navio constantemente atualizada.

Figura 38.13 - Medida da Latitude no Sistema de Navegação Inercial



Assim, em resumo, a Plataforma Estável mantém sua atitude com relação ao eixo de rotação da Terra e à vertical, por um sistema de três giroscópios e dois acelerômetros. A Sintonia de Schuler garante que o movimento do navio não introduz no sistema uma falsa vertical. O SINS mede diretamente a Latitude, mas a Longitude é obtida por integração da velocidade E-W. O movimento do veículo considerado pelo SINS é o movimento verdadeiro, sobre a superfície da Terra, levando em conta todas as influências – correntes, ventos, marés, etc.

Além da Latitude e Longitude, o Sistema de Navegação Inercial proporciona, ainda, as seguintes informações:

- **Rumo do navio:** indicado com muita precisão pelo giroscópio E-W e acelerômetro; assim, o SINS pode substituir uma agulha giroscópica;
- **Caturro e balanço:** a Plataforma Estável é mantida com muita precisão nos planos horizontal e vertical; então, é capaz de proporcionar dados exatos de balanço e caturro, para alimentar os sistemas de armas e sensores, para sua estabilização; e
- **Velocidade:** a razão de torque dos giroscópios fornece as componentes N-S e E-W da velocidade; com isso, calcula-se a velocidade verdadeira do navio (velocidade no fundo).

38.5 ERROS NO EQUIPAMENTO. PRECISÃO DO SISTEMA DE NAVEGAÇÃO INERCIAL

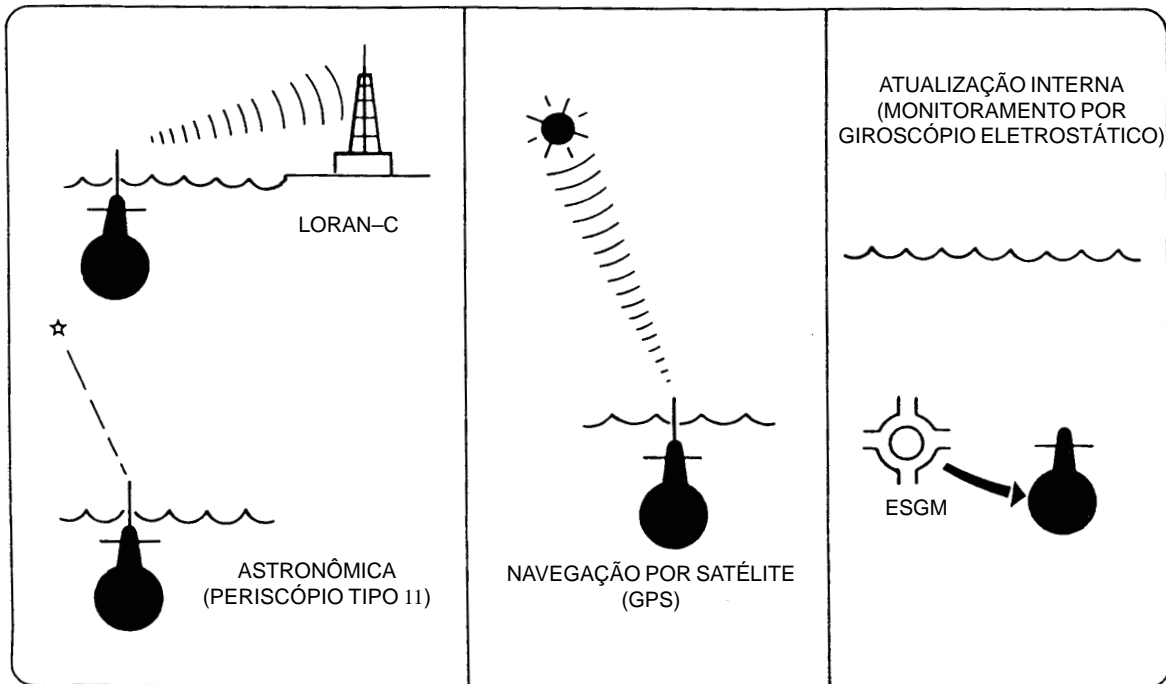
A exatidão de um **Sistema de Navegação Inercial** depende fundamentalmente da precisão e confiança dos seus principais componentes. As fontes potenciais de erros mais significativas são:

- Erros causados pelo movimento de rotação diário da Terra;
- atrito nos sistemas giroscópicos;
- desalinhamento da plataforma estável, resultando que componentes verticais do campo gravitacional da Terra sejam falsamente interpretados como componentes horizontais; e
- outras imperfeições na construção dos giroscópios e acelerômetros.

Devido ao erro combinado causado por estes e outros fatores, todos os Sistemas de Navegação Inercial apresentam algum grau de erro cumulativo, que aumenta com o tempo de operação. Assim, a posição fornecida pelo sistema deve ser periodicamente comparada com posições obtidas por outros meios e, ainda, o SINS deve ser atualizado e calibrado a determinados intervalos de tempo, utilizando, por exemplo, uma posição LORAN-C ou GPS. Entretanto, os sistemas atuais requerem atualizações muito menos freqüentes que os inicialmente instalados nos submarinos portadores de mísseis balísticos "Polaris". Isto é uma característica importante, pois a determinação da posição por meios externos muitas vezes requer que o submarino navegue próximo da superfície (figura 38.14), onde a vulnerabilidade à detecção é grandemente aumentada.

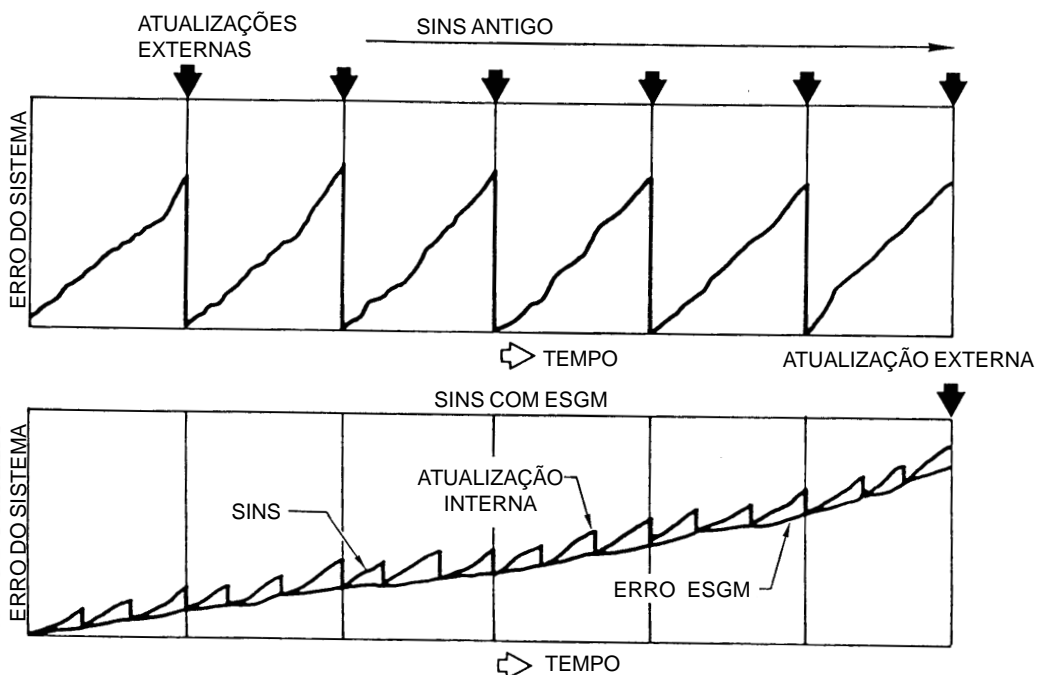
Entre os avanços mais interessantes ocorridos durante os esforços contínuos para refinar os Sistemas de Navegação Inercial nos últimos 20 anos, destacam-se o desenvolvimento do **giroscópio eletrostático** (ESG – "electrostatic gyro") e do **giroscópio a laser** ("laser gyro"). No **giroscópio eletrostático**, o rotor consiste de uma esfera sólida de berílio de 1 centímetro de diâmetro, que gira a 216.000 RPM em um vácuo quase perfeito. O rotor é suspenso unicamente por um campo eletrostático, que mantém a esfera afastada poucos centésimos de milímetro da superfície interna do estojo que a contém. Assim, o **giroscópio eletrostático** fica livre do atrito nos rolamentos, que afeta os giroscópios clássicos, assim como de muitos dos torques aleatórios associados, que suspensões mecânicas podem introduzir. Conseqüentemente, o ESG representa a melhor aproximação jamais alcançada pelo homem ao giroscópio perfeito teórico.

Figura 38.14 - Determinação de Posição para Atualização do SINS



Nos Sistemas de Navegação Inercial mais modernos, um **giroscópio eletrostático** é empregado para monitorar continuamente a posição derivada de sistemas giroscópicos convencionais e para atualizar periodicamente o sistema (atualização interna), durante o intervalo entre duas posições determinadas por meios externos. Embora, com o decorrer do tempo, mesmo um Sistema de Navegação Inercial monitorado por **giroscópio eletrostático** desenvolva um grau significativo de erro e necessite de atualização externa, o emprego deste dispositivo aumenta de cerca de 6 vezes o tempo requerido entre estas atualizações, em comparação com os modelos de SINS mais antigos (figura 38.15).

Figura 38.15 - Intervalo de Atualização Estendido pelo Uso de Monitoramento por Giroscópio Eletrostático (ESGM)



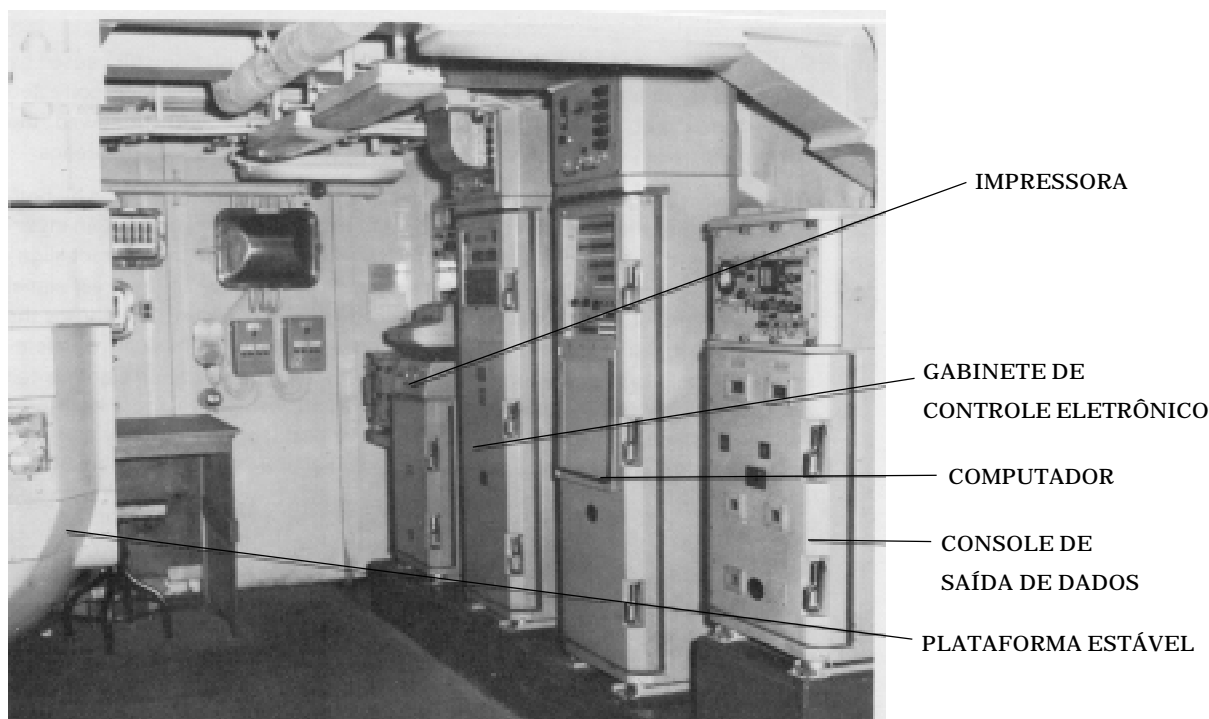
O **giroscópio a laser** foi incorporado em muitos dos Sistemas de Navegação Inercial mais novos, desenvolvidos recentemente, em especial naqueles projetados para aeronaves. Na realidade, o equipamento não é um giroscópio no sentido tradicional, pois não há uma massa giratória central. Em vez disso, existe uma trajetória laser geométrica fechada (normalmente triangular), centrada em um eixo de rotação virtual. Esta trajetória é percorrida em sentidos opostos por feixes laser de fases idênticas, que são gerados continuamente. Qualquer rotação do dispositivo em torno do eixo causará uma diferença de fase aparente nos dois feixes laser, pois a trajetória do feixe que se propaga na direção da rotação é efetivamente aumentada, enquanto que a trajetória do feixe que se propaga na direção oposta é diminuída. A diferença de fase medida será diretamente proporcional à velocidade de rotação. Por não depender de uma massa giratória para sua operação, o Sistema de Navegação Inercial que emprega **giroscópios a laser** é ainda mais preciso que os sistemas monitorados por **giroscópios eletrostáticos**.

Também foram feitos aperfeiçoamentos na construção dos acelerômetros, o que contribuiu para aumentar a precisão do SINS.

Além disso, em algumas aplicações utilizou-se o princípio da redundância, instalando-se a bordo dois Sistemas de Navegação Inercial, inicializando-se um dos sistemas pelas informações do outro (no meio da “vida útil” de sua precisão), aumentando-se, assim, o intervalo de tempo entre as necessárias atualizações por meios externos.

Um Sistema de Navegação Inercial atualmente instalado em vários submarinos e navios da U.S. Navy é o SINS Mark III Mod 5, cujos componentes são mostrados na figura 38.16.

Figura 38.16 – Sistema de Navegação Inercial MK III Mod 5



Detalhes sobre a precisão dos Sistemas de Navegação Inercial constituem, normalmente, informações classificadas, cujo grau de sigilo impede sua divulgação. No entanto, pode-se afirmar que a informação de azimute (rumo) é muito precisa ($\pm 0,1^\circ$), sendo o SINS,

normalmente, utilizado como fonte primária de direções (rumos) para as repetidoras de bordo, substituindo, assim, a agulha giroscópica (que permanece como “back-up”).

Outra grande vantagem é a saída precisa e contínua de dados de estabilização proporcionada pelo SINS, que é usada nos sistemas de armas e nos sensores de bordo.

Quanto à precisão de posicionamento, ela é melhor que 1 milha, em todas as ocasiões.

Entretanto, embora o SINS não esteja sujeito a vários erros comuns na navegação estimada, o navegante deverá sempre lembrar que as posições fornecidas pelo sistema não são posições determinadas, assemelhando-se mais a posições estimadas. Por melhor que sejam os equipamentos, os dados de posição deverão ser comparados com outros meios, assim que as circunstâncias permitirem.

38.6 NAVEGAÇÃO DOPPLER

O **Sistema Sonar Doppler** é um desenvolvimento relativamente recente na navegação, sendo capaz de determinar a profundidade e a velocidade verdadeira do navio, ou velocidade no fundo (“speed over the ground”), com um alto grau de precisão. O sistema é baseado na medida da **variação Doppler** (“**Doppler shift**”) de um padrão acústico continuamente transmitido.

No Volume I deste Manual (Capítulo 11) é apresentado um breve estudo do efeito Doppler e de sua aplicação nos odômetros.

Em síntese, a determinação da velocidade da fonte (navio) é dada, segundo a lei Doppler-Fizeau, por (figura 38.17):

$$v = C \left(1 - \frac{f}{f'} \right)$$

Onde:

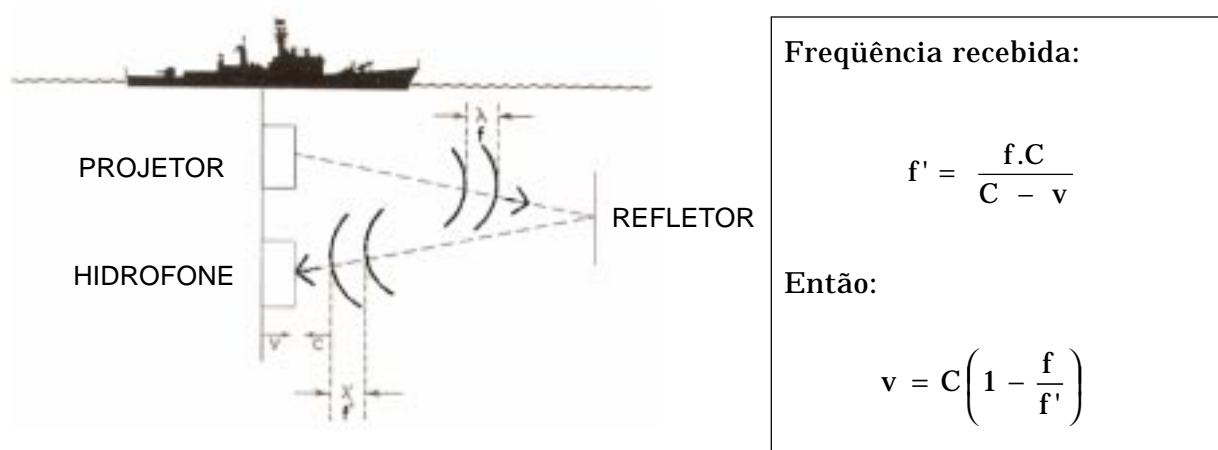
v = velocidade da fonte (incógnita desejada);

C = velocidade do som na água (conhecida);

f = frequência da onda acústica transmitida (conhecida); e

f' = frequência da onda refletida (eco) recebida (medida).

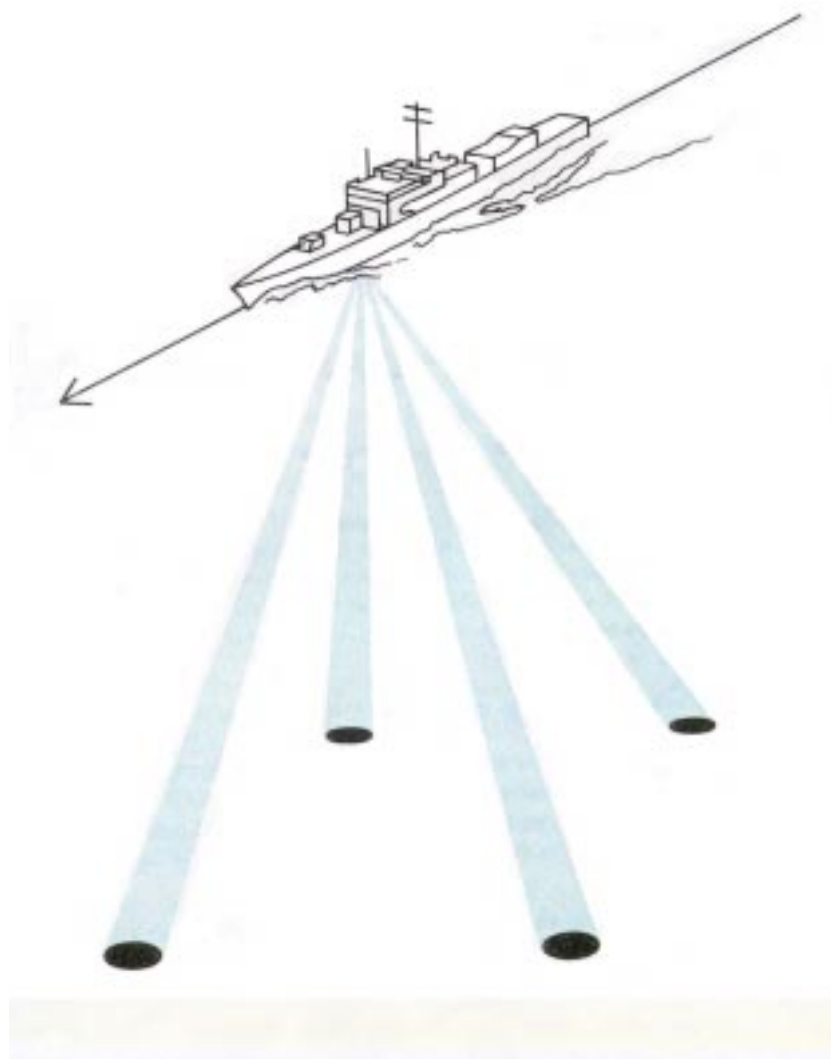
Figura 38.17 - Padrão das Ondas Acústicas Refletidas de Volta a um Transmissor/Receptor em Movimento



Uma complicação inerente a qualquer sistema de navegação Doppler é que as características de propagação de um sinal acústico tendem a variar com a temperatura, salinidade e densidade da água do mar na qual o sinal é transmitido. Em vista disso, como o sistema depende de pequenas variações de frequência dos ecos refletidos, causados pelo movimento horizontal do navio, o equipamento deve incorporar, para garantir boa precisão em águas mais profundas, um método para compensar as mudanças aleatórias de frequência resultantes de condições variáveis da água do mar. Ademais, como somente a componente horizontal da velocidade do navio é de interesse, quaisquer erros verticais que possam ser introduzidos como resultado do balanço e do caturro da plataforma também devem ser eliminados.

Então, no processo de desenvolvimento de Sistemas Sonar Doppler, tanto para emprego militar como para uso científico e comercial, adotou-se um arranjo de 4 transdutores em dois eixos, com feixes transmitidos no eixo longitudinal do navio (para vante e para ré) e no eixo transversal (para boreste e para bombordo), com 90° de afastamento entre feixes, que formam um ângulo de cerca de 30° com a vertical, conforme mostrado na figura 38.18. Este padrão é denominado de “configuração Janus”, em alusão à figura mitológica de Janus, divindade romana representada com dois rostos opostos, capaz de olhar simultaneamente para frente (para o futuro) e para trás (para o passado).

Figura 38.18 - Configuração Janus (Arranjo de Quatro Transdutores em Dois Eixos - Longitudinal e Transversal)



Este padrão permite que as variações Doppler para vante e para ré, assim como para boreste e bombordo, sejam continuamente comparadas para eliminar qualquer erro decorrente de movimento vertical do navio ou causado por irregularidades do fundo, proporcionando, assim, uma determinação muito precisa da velocidade horizontal do navio e da profundidade. O sistema fornece informações contínuas de velocidade (com precisão de 0,1 nó), profundidade (com precisão de 1 metro) e distância navegada (com aproximação de 0,01 milha).

Portanto, a “configuração Janus” usa quatro fontes de energia sonora, espaçadas de 90° entre si. As fontes operam como transmissores e receptores, usando como refletor o fundo do mar. Os transdutores emitem feixes de energia ultra-sônica e, através da medida do desvio Doppler da frequência das ondas refletidas pelo fundo, é possível medir a velocidade de deslocamento nos eixos longitudinal e transversal.

Em muitas aplicações militares e científicas, os transdutores são montados em uma plataforma horizontal estabilizada por giroscópios, que mantêm os feixes orientados nas 4 direções cardeais – Norte, Sul, Leste e Oeste, para determinar o rumo no fundo e a velocidade no fundo. Assim, fica criado um sistema de “navegação estimada” de grande precisão, capaz de indicar continuamente a posição do navio, a partir de uma posição inicial introduzida no equipamento. Além disso, as informações de rumo verdadeiro e velocidade no fundo podem ser transmitidas a outros sistemas de navegação de bordo, incluindo plotador de derrota estimada. Nas aplicações comerciais, em navios de grande calado, altamente estáveis, como os V.L.C.C. (“Very Large Crude Carriers”), U.L.C.C. (“Ultra Large Crude Carriers”) e alguns navios RoRo (“roll-on, roll-off”), o arranjo de 4 transdutores é rigidamente fixado ao fundo do navio e a estabilização é obtida por meios eletrônicos.

A maioria dos Sistemas Sonar Doppler utiliza reflexão no fundo do mar até profundidades de cerca de 300 metros (1.000 pés). Na operação em profundidades maiores, o sinal acústico é refletido pela massa d’água. A precisão dos navegadores Doppler é considerada como sendo de 0,17% da distância navegada desde a última calibragem (atualização) do sistema. Assim, por exemplo, para uma singradura de 1.000 milhas um navegador Doppler indicará a posição de chegada com um erro de 1,7 milha.

Como em todo sistema de navegação estimada, os erros se acumulam com o tempo e os principais são devidos à própria precisão das medidas de velocidades. Em fundos de até cerca de 300 metros, as ondas acústicas ultra-sonoras são refletidas pelo fundo do mar e, assim, a precisão das medidas é muito alta. Mas, para maiores profundidades, a precisão é diminuída, pois deve ser empregada a reflexão pela própria massa d’água (que também se movimenta). Assim, em profundidades maiores o sistema degrada, aumentando os erros com o crescimento da profundidade.

Outras fontes de erros são:

- Erros na orientação dos transdutores;
- erros induzidos pelo movimento do navio;
- erros devidos à variação da velocidade do som na água; e
- erros devidos à perda de potência do nível refletido.

Existem hoje muitas centenas de Sistemas Sonar Doppler instalados em navios militares, de pesquisa e comerciais, com a maioria deles encontrada a bordo de grandes petroleiros e graneleiros. Os sistemas estão sendo utilizados para manter uma plotagem estimada altamente precisa nas regiões oceânicas, fora do alcance LORAN-C. Além disso, servem como “back-up” à navegação por satélites (GPS). Os dados de velocidade do Sistema Sonar Doppler são também usados, via digital, em uma variedade de outros sistemas,

incluindo estabilizadores e sistemas integrados de navegação e governo. As informações do navegador Doppler são, ainda, muito úteis durante evoluções em canais e outras águas restritas, e nas operações de atracação ou fundeio, como veremos a seguir.

Equipamentos Doppler menores e menos complexos, operando com princípios semelhantes, foram recentemente desenvolvidos por vários fabricantes para embarcações pequenas, especialmente para navegação de esporte e recreio. Esses equipamentos usam somente um feixe sonar de grande abertura e dependem apenas de reflexão da onda acústica no fundo, pois, em sua maioria, as embarcações de esporte e recreio navegam principalmente em águas rasas. As informações fornecidas são a profundidade local, perfil do fundo, velocidade da embarcação e distância navegada. Tais equipamentos custam em torno de US\$ 1.000,00.

38.7 USO DO SONAR DOPPLER NO AUXÍLIO À ATRACAÇÃO E AO FUNDEIO

Para navios de grande deslocamento (igual ou maior que 100.000 toneladas de porte bruto), a determinação precisa da velocidade transversal proporcionada pelo sistema Doppler é de grande importância nas manobras de atracação, pois esta componente da velocidade é crítica quando o navio se aproxima do cais. A velocidade transversal máxima para uma aproximação com segurança do cais, para navios de 100.000 tpb, é de cerca de 0,2 pé por segundo (0,06 metro por segundo, ou 0,12 nó). Para navios maiores, tal velocidade deve ser ainda menor. Um navio deste porte, encostando no cais com uma velocidade maior que 1 pé por segundo (0,6 nó), pode destruir toda a estrutura de um terminal de atracação. Para fundeio, a velocidade do navio deve ser da ordem de 0,15 metro por segundo (0,3 nó), para navios de 100.000 tpb, aproximadamente. Se um navio deste porte fundear com velocidade maior, certamente perderá o ferro.

Por isso, navios desse deslocamento possuem indicadores de velocidade nos eixos proa-popa e boreste-bombordo (velocidade longitudinal e velocidade transversal). Sendo as exigências de precisão da ordem de 0,01 nó, tais velocidades só poderiam ser determinadas por sonar Doppler. Esse sistema de indicação de velocidades usa a “configuração Janus” anteriormente explicada. A apresentação é feita de modo digital, geralmente em visores LED. Um Sistema Sonar Doppler típico usado em navios mercantes é mostrado na figura 38.19.

Figura 38.19 – Sistema Doppler de Navegação (“DOPPLER SONAR”)



38.8 NAVEGAÇÃO BATIMÉTRICA

A **Navegação Batimétrica** pode ser definida como o ramo da navegação que utiliza a topografia submarina para obter dados de posicionamento do navio, a partir do retorno de ecos sônicos ou ultra-sônicos refletidos pelo fundo do mar, mesmo em grandes profundidades.

Embora muito útil também para navios de superfície, a **Navegação Batimétrica** é empregada especialmente por submarinos, que, quando submersos em profundidades maiores que a cota periscópica, ficam virtualmente impedidos de receber informações de navegação transmitidas por ondas eletromagnéticas, que quase não penetram no meio aquoso (como vimos, apenas as ondas de ELF e VLF, utilizando potências muito elevadas, conseguem penetrar nas camadas superficiais do mar). Nesta situação, a **Navegação Batimétrica**, usando ondas acústicas, que se propagam vantajosamente no oceano, constitui um método de navegação de valor inestimável, capaz de fornecer um meio de posicionamento baseado nas feições do fundo do mar.

Para a prática da **Navegação Batimétrica** são produzidas **Cartas Batimétricas** especiais. Essas cartas são, essencialmente, cartas de relevo submarino e se assemelham às cartas topográficas terrestres, onde as isóbatas, ou isobatimétricas, correspondem às curvas de nível do relevo, dando uma noção precisa da topografia do fundo e das cotas do relevo submarino. A Diretoria de Hidrografia e Navegação (DHN) publica uma série de **Cartas Batimétricas** especiais, de uso controlado, restrito aos nossos submarinos.

O navegante deve ser capaz de identificar nas **Cartas Batimétricas** as marcas principais do relevo submarino que possam ser usadas na navegação, tais como montanhas submarinas, escarpas, bancos oceânicos, “canyons” submarinos, picos submersos, fendas e fossas, além de outras feições importantes da topografia do fundo, como a plataforma continental, o talude continental e a margem continental (figura 38.20). Estes acidentes podem ser identificados através das informações do ecobatímetro, proporcionando excelentes elementos para auxiliar no posicionamento do navio.

A figura 38.21 mostra, na ilustração (a), o trecho de uma **Carta Batimétrica**, onde as isóbatas, traçadas a intervalos de 100 metros, correspondem às curvas de nível da topografia do fundo e indicam as cotas do relevo submarino. Na ilustração (b), é apresentada uma vista de perfil da seção indicada em (a), onde pode ser visto o cume de um monte submarino (ou banco oceânico) e um “canyon” a ele adjacente. A figura 38.22 mostra o Canyon de Salvador.

As **Cartas Batimétricas** apresentam, através das isóbatas, a topografia do fundo com um elevado grau de detalhe, o que as distingue das **Cartas Náuticas** convencionais, que proporcionam apenas uma visão geral do relevo submarino, pelo uso de isóbatas bastante espaçadas. Na figura 38.23, por exemplo, é apresentado um banco oceânico com 130 metros de profundidade; na ilustração (a), é mostrada a representação do banco em uma **Carta Náutica** convencional, onde estão traçadas apenas as isóbatas de 500 metros e 250 metros, além de indicado o cume do banco, a 130 metros de profundidade. Na ilustração (b), está mostrado o mesmo acidente, representado em uma **Carta Batimétrica**, onde estão traçadas as isóbatas com intervalo de 50 metros. A figura apresentada nessa carta mostra, de forma muito mais evidente, a configuração do mesmo acidente submarino, representando-o de maneira mais propícia para a **Navegação Batimétrica**.

A figura 38.24 mostra um trecho de uma **Carta Batimétrica** na qual o intervalo entre as isóbatas traçadas é de 1 metro. Note-se que a topografia do fundo é apresentada com uma grande riqueza de detalhes.

Figura 38.20 - Feições Principais do Relevo Submarino

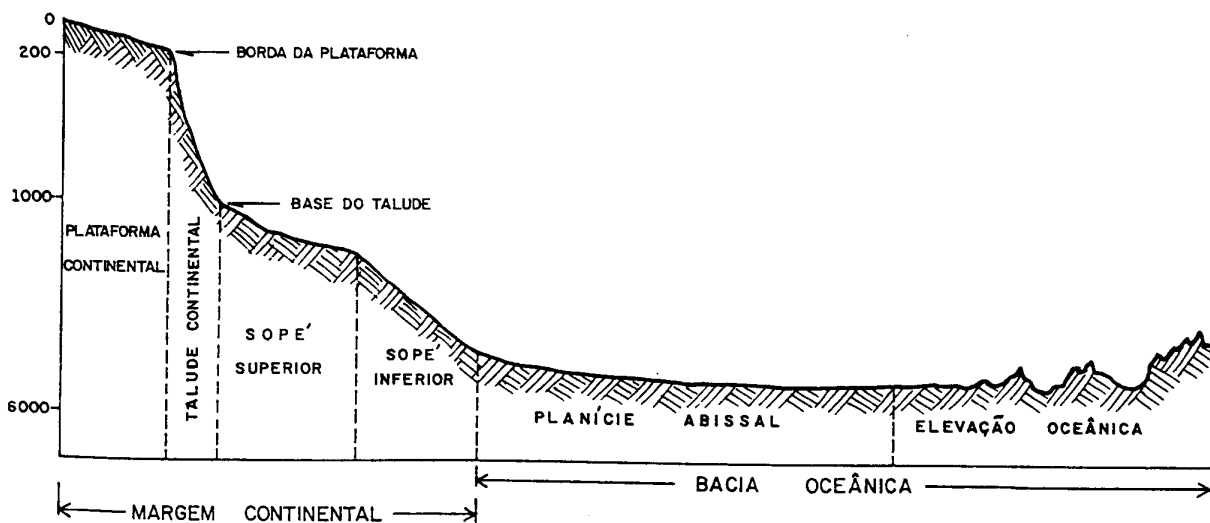
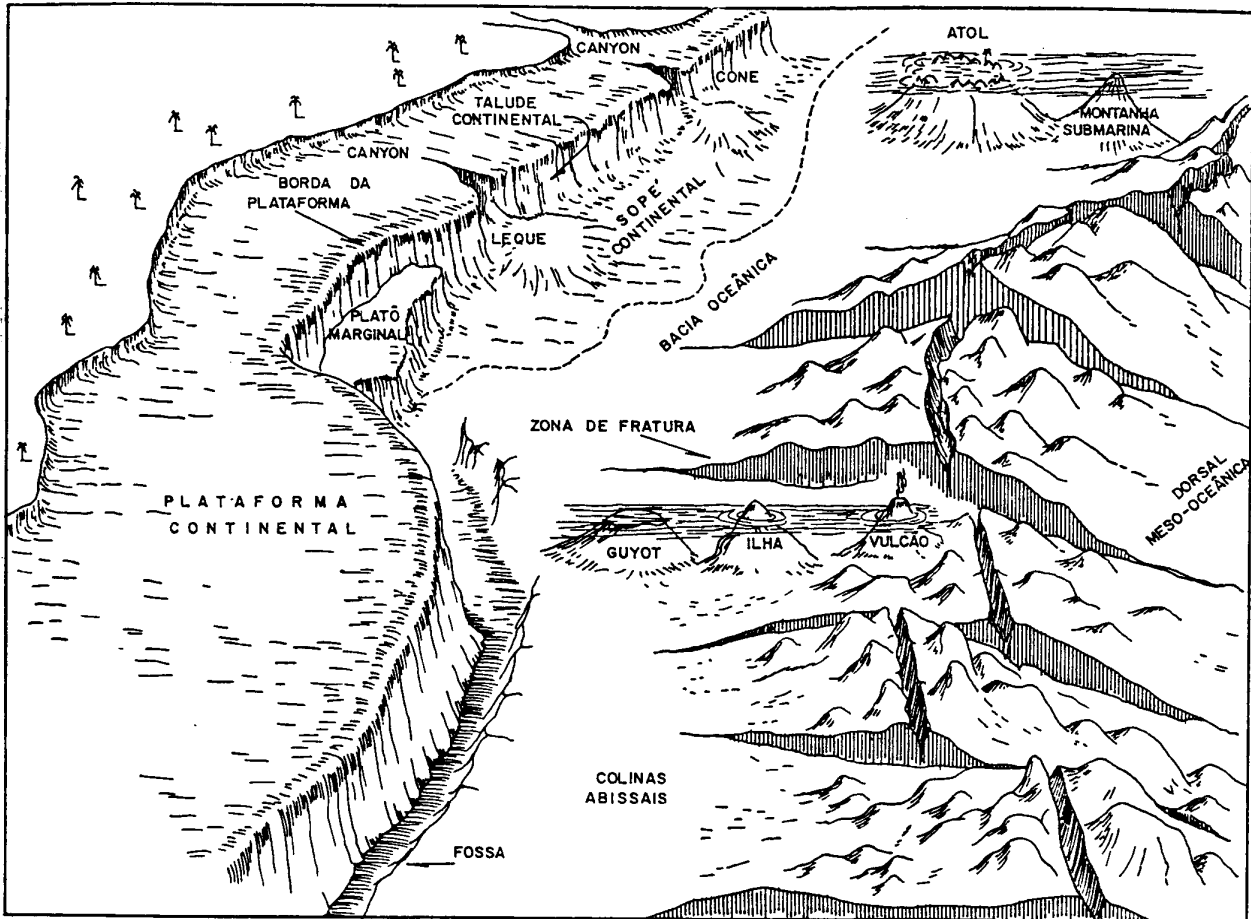
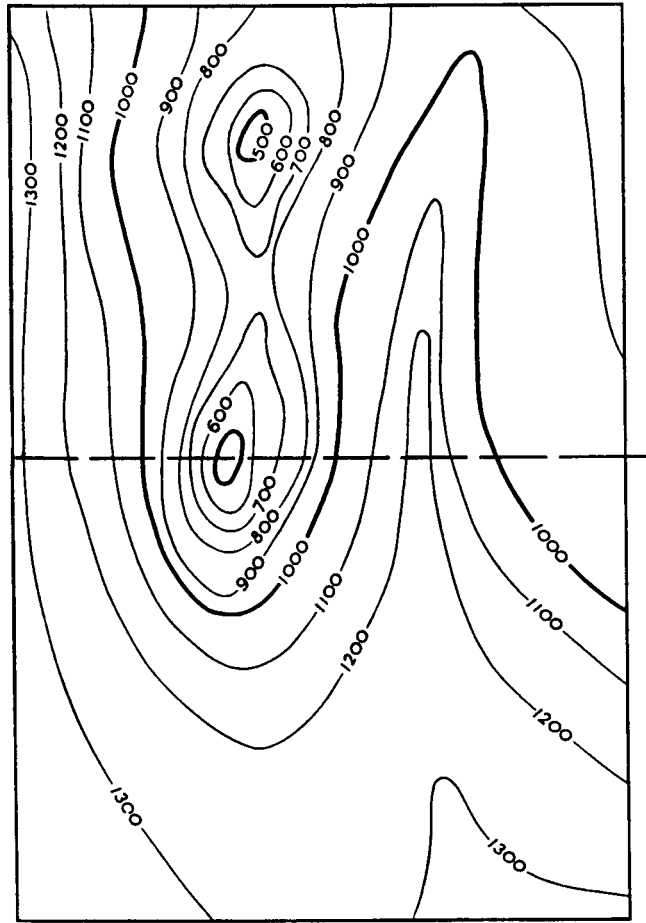
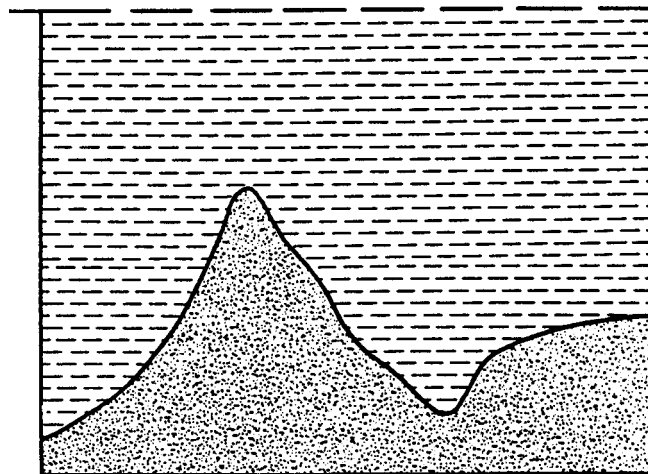


Figura 38.21 - Trecho de Carta Batimétrica e Perfil da Seção Indicada



(a)



(b)

Figura 38.22 - Canyon de Salvador

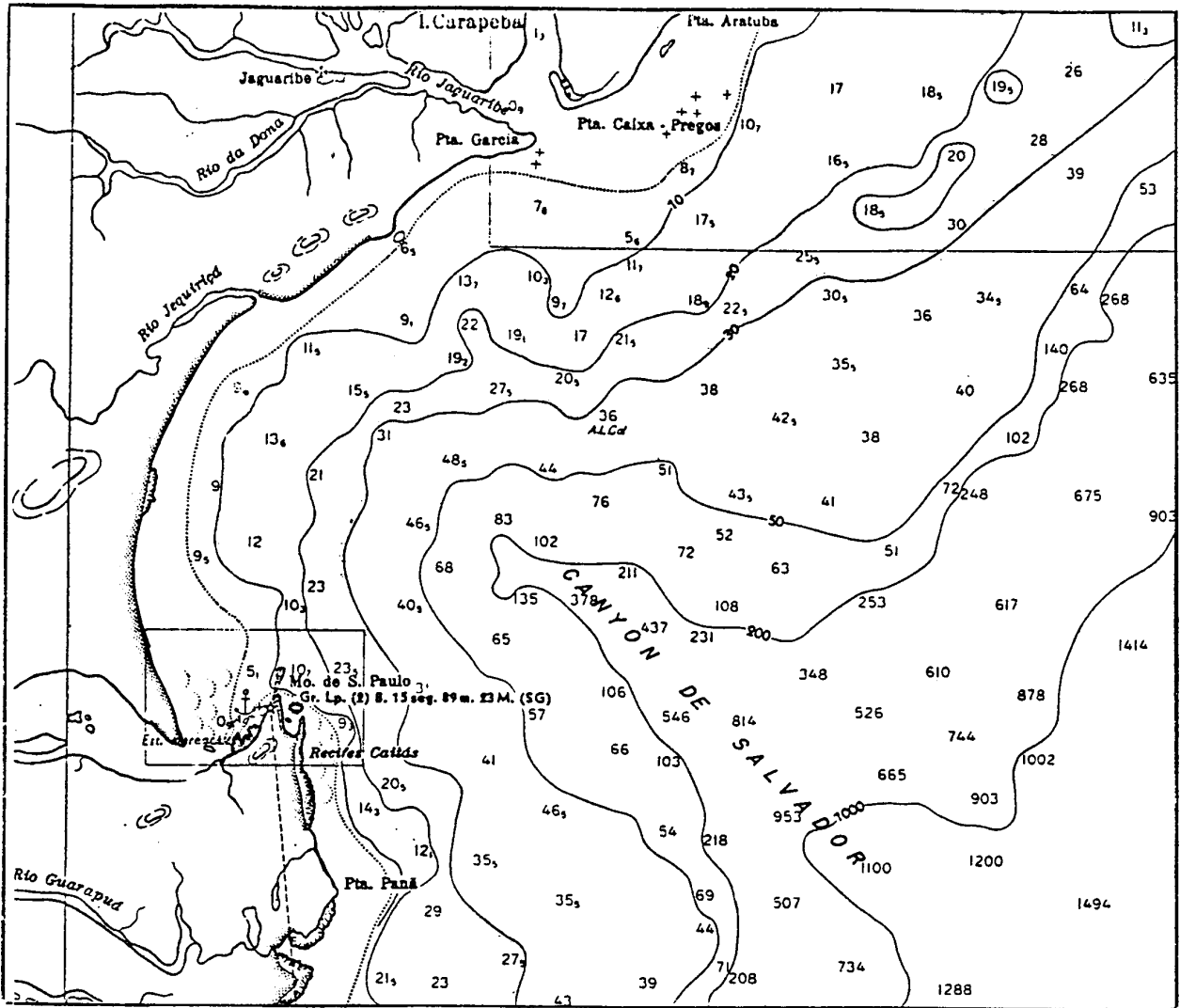
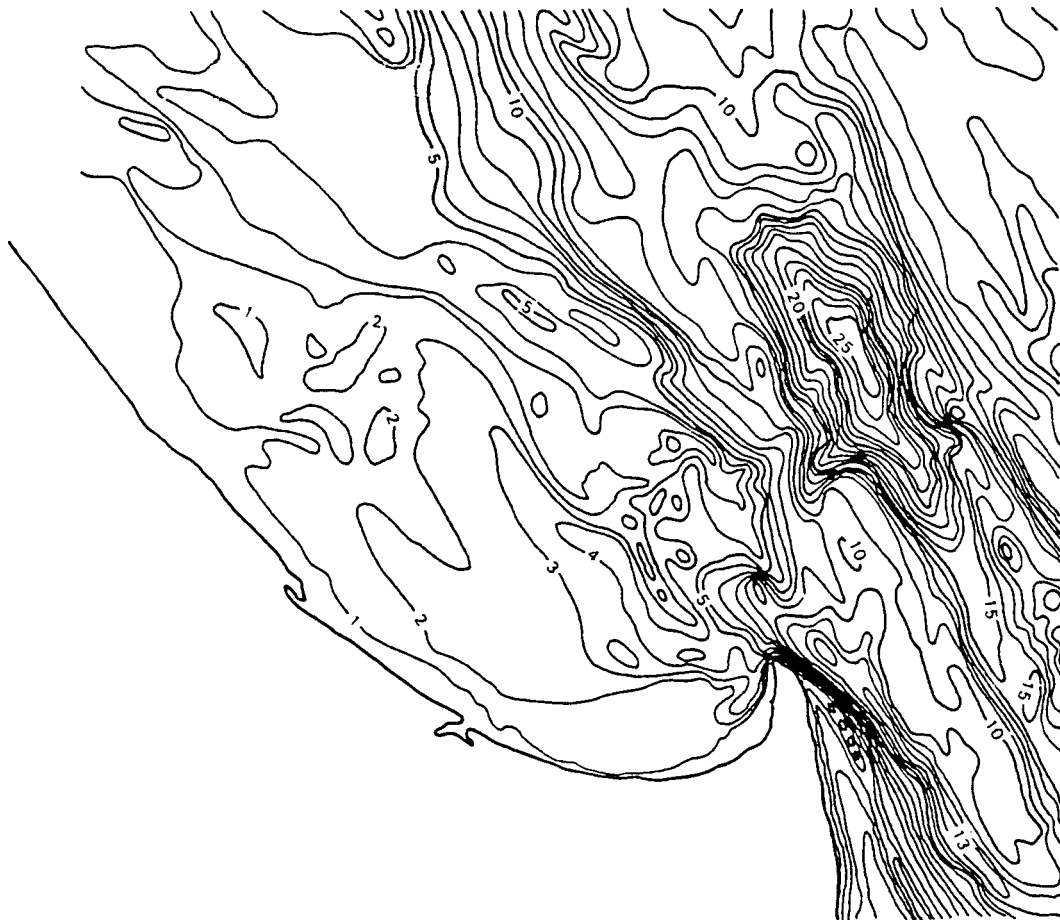


Figura 38.23 - Representação de um Acidente Submarino em uma Carta Náutica Convencional e em uma Carta Batimétrica



Figura 38.24 - Seção de uma Carta Batimétrica (Intervalo entre Isóbatas: 1 Metro)

38.9 NOÇÕES SOBRE INTERPRETAÇÃO DAS INFORMAÇÕES DO ECOBATÍMETRO

Desde tempos imemoriais, uma das maiores preocupações do navegante tem sido evitar o encalhe do seu navio, ou embarcação. O prumo de mão é, provavelmente, o mais antigo instrumento de navegação. Com o passar dos anos, o prumo de mão evoluiu para a máquina de sondar, que podia ser usada em profundidades maiores. A base do prumo de mão ou do peso da máquina de sondar era côncava, de modo que pudesse ser “armada” com sebo ou sabão, proporcionando, assim, além da profundidade, uma amostra do sedimento do fundo, o que constituía mais uma informação para auxiliar na determinação da posição, ou para o fundeio (tensa = qualidade do fundo). Mesmo assim, as sondagens só podiam ser obtidas nas vizinhanças ou sobre a plataforma continental e a intervalos comparativamente longos, em virtude do tempo consumido para arriar e içar o prumo mecânico. Hoje, com o emprego do ecobatímetro, o navegante pode obter continuamente a sondagem, que pode ser apresentada graficamente, mostrando o perfil do fundo sobre o qual o navio se desloca (figura 38.25).

O prumo de mão, a máquina de sondar e o ecobatímetro foram apresentados com detalhes no Volume I deste Manual (Capítulo 11). Em resumo, o ecobatímetro gera uma onda acústica submarina e mede o intervalo de tempo entre a transmissão do sinal e a

recepção do eco refletido pelo fundo; conhecendo-se a velocidade de propagação do som na água do mar, este intervalo de tempo é convertido em uma leitura de profundidade, por meio da fórmula:

$$\text{prof} = C \cdot \frac{t}{2}$$

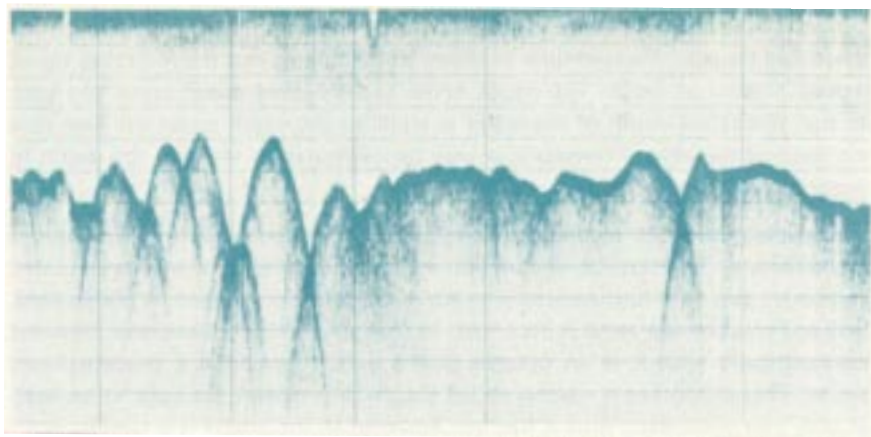
Onde:

C = velocidade de propagação do som na água do mar;

t = intervalo de tempo entre a transmissão do sinal acústico e a recepção do eco refletido no fundo; e

prof = profundidade do local.

Figura 38.25 - Registro do Ecobatímetro (Perfil do Fundo)



Na figura 38.26, por exemplo, o sinal acústico é transmitido quando o mostrador rotativo do ecobatímetro indica zero. O equipamento, então, mede o intervalo de tempo decorrido entre a transmissão do sinal e a recepção do eco refletido pelo fundo, obtendo: $t = 53.333$ ms. Sabendo-se que a velocidade de propagação do som na água do mar é 1.500 m/s, o ecobatímetro calcula a profundidade local:

$$\text{prof} = 1.500 \times \frac{0,053333}{2} = 40 \text{ m}$$

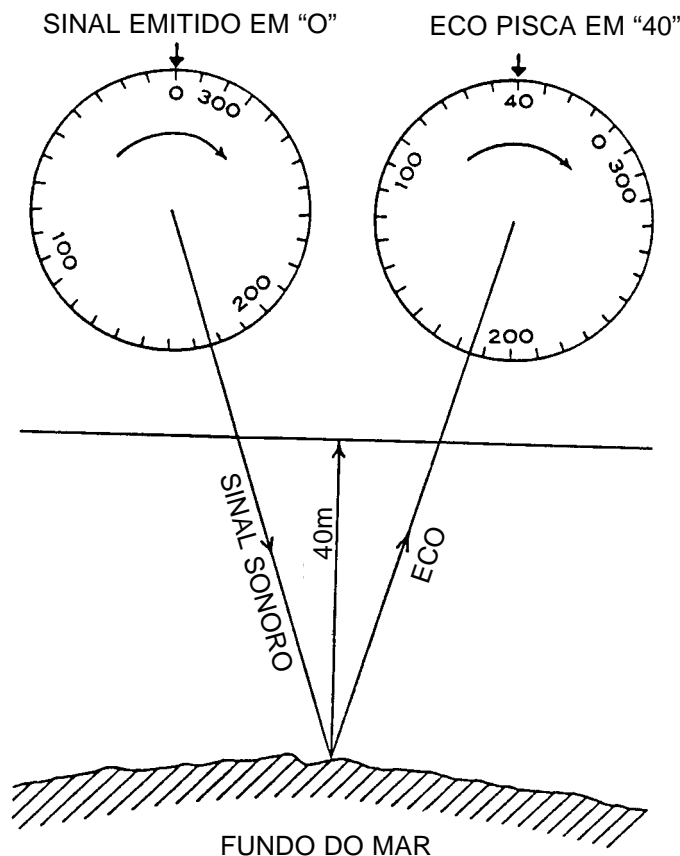
Assim, o mostrador piscará na graduação 40, indicando a profundidade local.

Na realidade, a velocidade do som na água varia com a temperatura, salinidade e pressão (profundidade). Esta variação, entretanto, não é muito grande e os ecobatímetros, em sua maioria, são calibrados para uma velocidade do som de 4.800 pés/s (≈ 1.463 m/s). No mar, a velocidade de propagação do som é quase sempre maior que este valor calibrado e o erro introduzido na indicação do ecobatímetro proporciona maior segurança ao navegante (ou seja, o equipamento indicará profundidades ligeiramente menores que as verdadeiras), exceto no caso de água doce ou extremamente fria.

Alguns ecobatímetros operam na faixa audível do espectro sonoro (de cerca de 20 a 20.000 Hz). Entretanto, a tendência é usar frequências mais altas, da faixa ultra-sonora, de modo a reduzir as interferências causadas pelos ruídos do navio.

O transdutor, localizado no fundo do navio, próximo da quilha, transmite o sinal acústico quando eletricamente excitado. A energia sonora usada para determinar a profundidade é projetada sob a forma de um cone. A maioria dos ecobatímetros de navegação gera um cone com um abertura de cerca de 60°; a área do fundo coberta pelo cone sonoro é função da profundidade e, em águas profundas, pode ser bastante grande. O eco, refletido pelo fundo, é recebido pelo transdutor, convertido em energia elétrica e amplificado. O intervalo de tempo medido entre a emissão do pulso e a recepção do eco é, então, transformado em profundidade e apresentado visualmente. Em geral, o ecobatímetro indica a profundidade abaixo da quilha, de modo que a profundidade real será igual à profundidade medida somada ao calado do navio. Alternativamente, o equipamento pode ser calibrado de maneira a fornecer a profundidade medida desde a superfície da água, pela introdução automática do calado do navio na altura do ponto onde está instalado o transdutor.

Figura 38.26 - Determinação da Profundidade pelo Ecobatímetro



A indicação da profundidade pode ser analógica (por meio de um neon que pisca na graduação do mostrador correspondente ao fundo medido), digital, através de registro gráfico em papel (figura 38.27), ou utilizando uma tela de cristal líquido (LCD). Os ecobatímetros equipados com registrador gráfico ou com tela de cristal líquido são muito úteis na navegação, pois fornecem o perfil do fundo na área onde trafega o navio. Um perfil de fundo típico foi mostrado na figura 38.25.

Em teoria, os ecos são refletidos pelo fundo de todos os pontos varridos pelo cone sonoro; na realidade, entretanto, os primeiros ecos que retornam tendem a mascarar os ecos posteriores. O navegante deve estar ciente que o primeiro retorno virá da porção do

fundo que estiver mais próxima e que esta porção não está sempre diretamente abaixo do navio. Quando isto ocorre, o fenômeno é denominado **eco lateral**. Na figura 38.28, por exemplo, a profundidade indicada pelo ecobatímetro (abertura do cone de emissão = 60°), que não corresponderia ao ponto diretamente abaixo do transdutor, seria de 462m, enquanto que a profundidade do cume da montanha submarina é de 400 metros. Neste caso, o ecobatímetro está indicando um **eco lateral**.

Em águas rasas, podem ocorrer **retornos múltiplos** quando o fundo é um bom refletor sonoro (fundo duro). O primeiro eco retorna do fundo e é registrado como profundidade, mas, além disso, o eco reflete-se novamente para baixo, a partir da superfície da água, torna a refletir-se no fundo e retorna ao equipamento. A figura 38.29 mostra um exemplo de dupla reflexão: o traço superior representa o fundo verdadeiro, enquanto o inferior, indicando o dobro da profundidade, é causado pelo retorno múltiplo. A redução do ganho do equipamento normalmente elimina as indicações de eco múltiplo.

Outro fenômeno que pode dificultar a interpretação das informações do ecobatímetro é o surgimento de um fundo falso, suspenso na água, entre a superfície e o fundo verdadeiro (figura 38.30). Isto é causado por ecos refletidos pela camada de dispersão profunda ("**deep scattering layer**"), formada por zooplânctons e outros minúsculos organismos marinhos. Durante o dia, a camada de dispersão profunda, também denominada de fundo fantasma ("**phantom bottom**"), é encontrada em profundidades de cerca de 400 metros; à noite, normalmente, ela se aproxima da superfície. Às vezes a camada é tão densa que chega a mascarar os ecos do fundo verdadeiro.

Cardumes de peixes também refletem o sinal sonoro, tornando os ecobatímetros (em especial os que usam frequências mais altas) particularmente úteis na pesca. Uma descontinuidade marcante no meio líquido pode causar a reflexão do som; assim, um ecobatímetro pode, muitas vezes, detectar o limite entre uma camada de água doce que se sobrepõe à água salgada mais pesada.

Um fundo rochoso reflete quase todo o sinal acústico, enquanto fundo de lama tende a absorver a energia sonora, refletindo, assim, um eco mais fraco. Uma camada de lama ou silte sobre um fundo rochoso normalmente proporciona dois ecos. Na figura 38.31, por exemplo, verifica-se, no registro do ecobatímetro, o fundo de lama e, mais abaixo, o fundo duro, no canal de acesso a Florianópolis.

O ar é refletor perfeito das ondas sonoras. Por isso, com o navio operando máquinas a ré, o ecobatímetro muitas vezes perde a indicação, em virtude das bolhas de ar que passam por baixo do transdutor.

Uma outra possível fonte de erro na indicação do ecobatímetro é o balanço e, em menor extensão, o caturro do navio. A instalação do transdutor, na maioria dos casos, é fixa (não estabilizada), causando a inclinação do cone de transmissão, com relação à vertical, conforme o navio se movimenta. Este efeito também deve ser levado em conta pelo navegante, como mostrado na figura 38.32. Somente um ecobatímetro com transdutor estabilizado continuará emitindo na vertical, mesmo com o balanço e o caturro do navio, como pode ser visto na ilustração da direita dessa figura.

Em virtude da emissão do sinal acústico em um feixe cônico, com uma determinada largura (abertura), os acidentes do relevo submarino em grandes profundidades serão

representados com uma forma “hiperbólica” e assim, nessa situação, o perfil registrado pelo ecobatímetro pode diferir um pouco do perfil real do fundo, conforme mostrado na figura 38.33. Se o fundo é bastante irregular, poderá aparecer no registro do ecobatímetro um padrão de diversas “hipérboles” superpostas umas às outras, como ilustrado na figura 38.34. A forma “hiperbólica” é função da largura do feixe emitido, da profundidade local e da velocidade da embarcação. As múltiplas “hipérboles” são devidas, em grande parte, aos **ecos laterais** produzidos pelo cone sonoro. O efeito torna-se ainda mais acentuado com o balanço da embarcação.

Quando interpretando o registro do ecobatímetro, o navegante deve lembrar que as profundidades mínimas indicadas no topo de cada “hipérbole” podem não ser aquelas diretamente abaixo da quilha e que, portanto, o perfil registrado pode não corresponder exatamente ao perfil do fundo sobre o qual se desloca o navio.

Os ecos hiperbólicos, entretanto, ocorrem apenas em grandes profundidades. A figura 38.35 mostra o registro do ecobatímetro indicando fundos irregulares nas proximidades da borda da plataforma continental a sudeste de Cabo Frio (na posição Latitude 23° 43,7' S e Longitude 041° 38,3' W). Note-se a ausência de ecos hiperbólicos.

Figura 38.27 – Ecobatímetro com Registro Gráfico

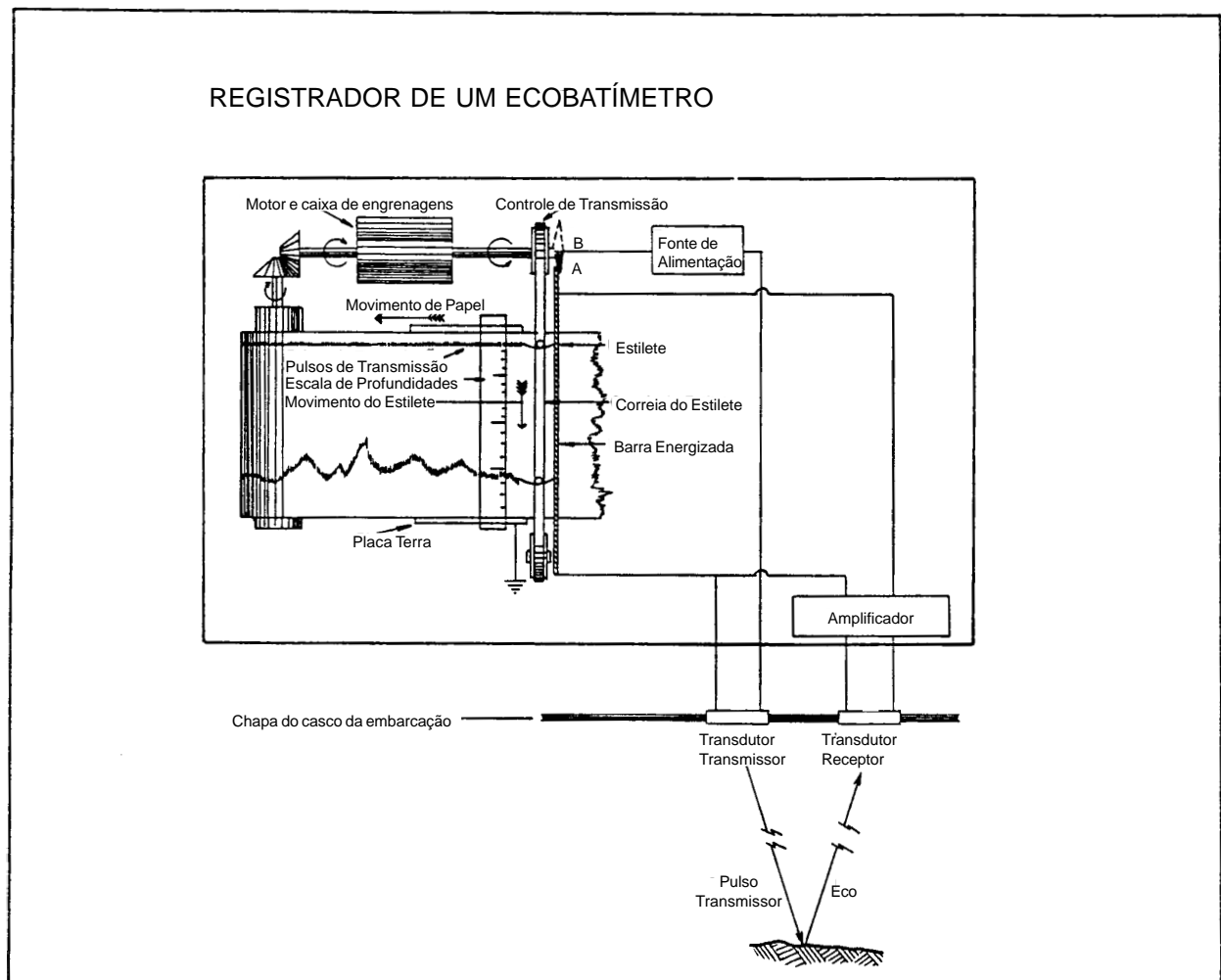


Figura 38.28 - Eco Lateral

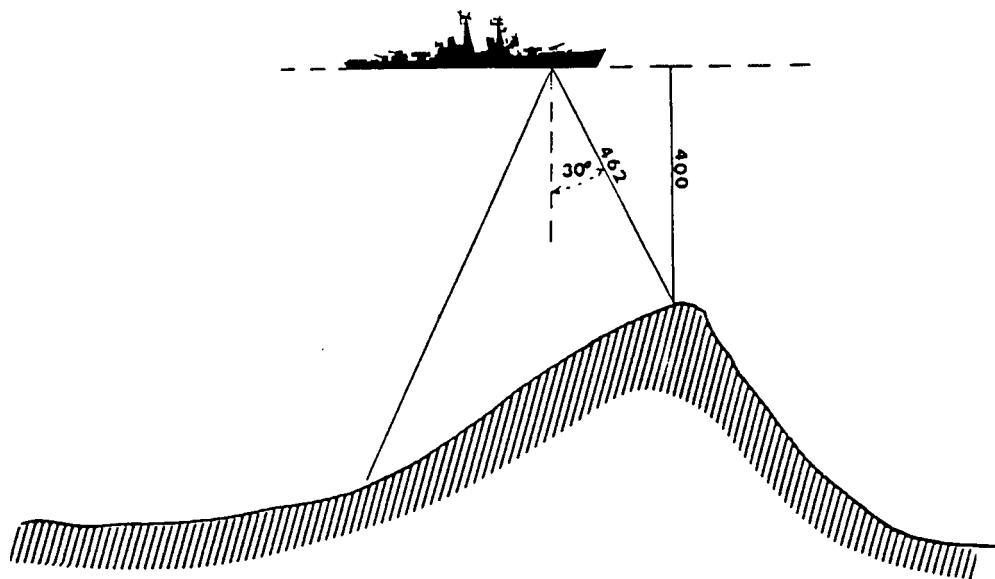


Figura 38.29 - Eco Duplo Indicado no Registrador do Ecobatímetro

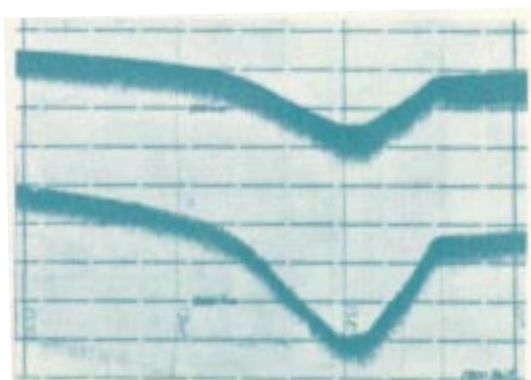


Figura 38.30 - Registro do Ecobatímetro Mostrando "Deep Scattering Layer" (DSL) entre o Fundo e a Superfície do Mar

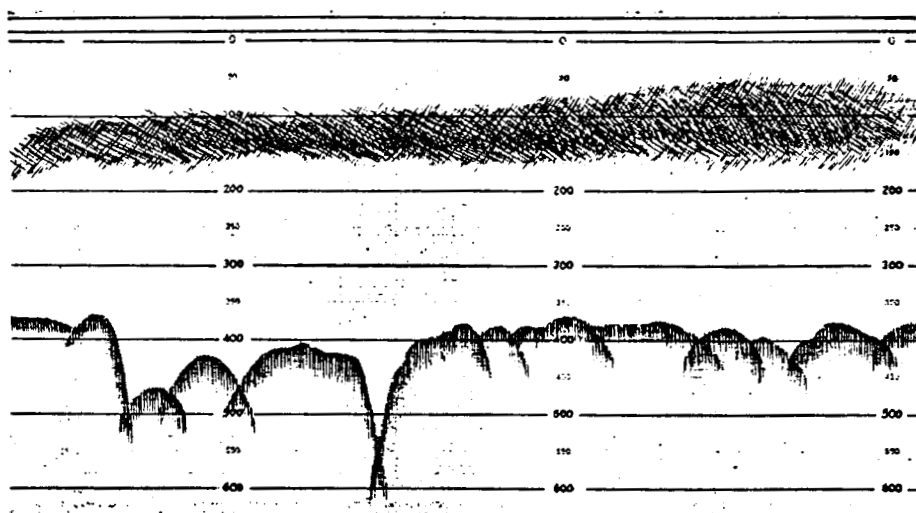


Figura 38.31 - Registro do Ecobatímetro Mostrando Fundo de Lama e, mais Abaixo, Fundo Duro (Canal de Acesso a Florianópolis)

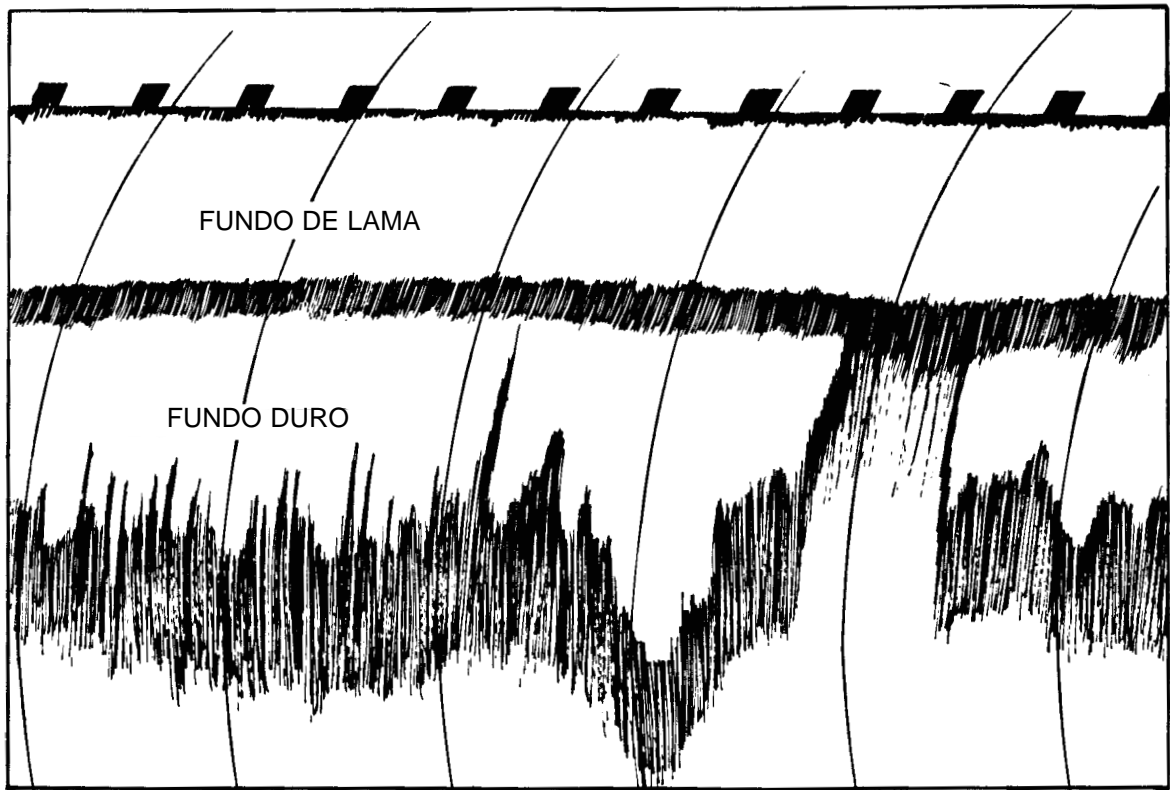


Figura 38.32 - Efeitos do Balanço e do Caturro do Navio sobre as Indicações do Ecobatímetro

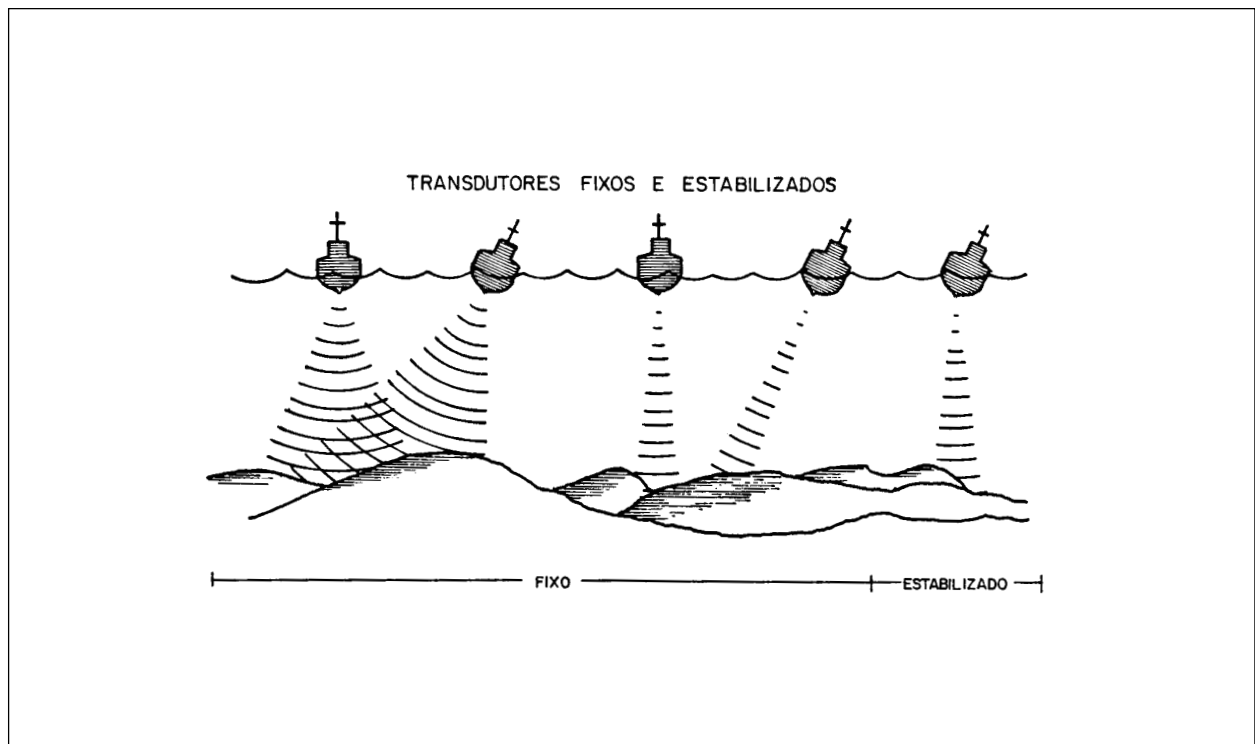
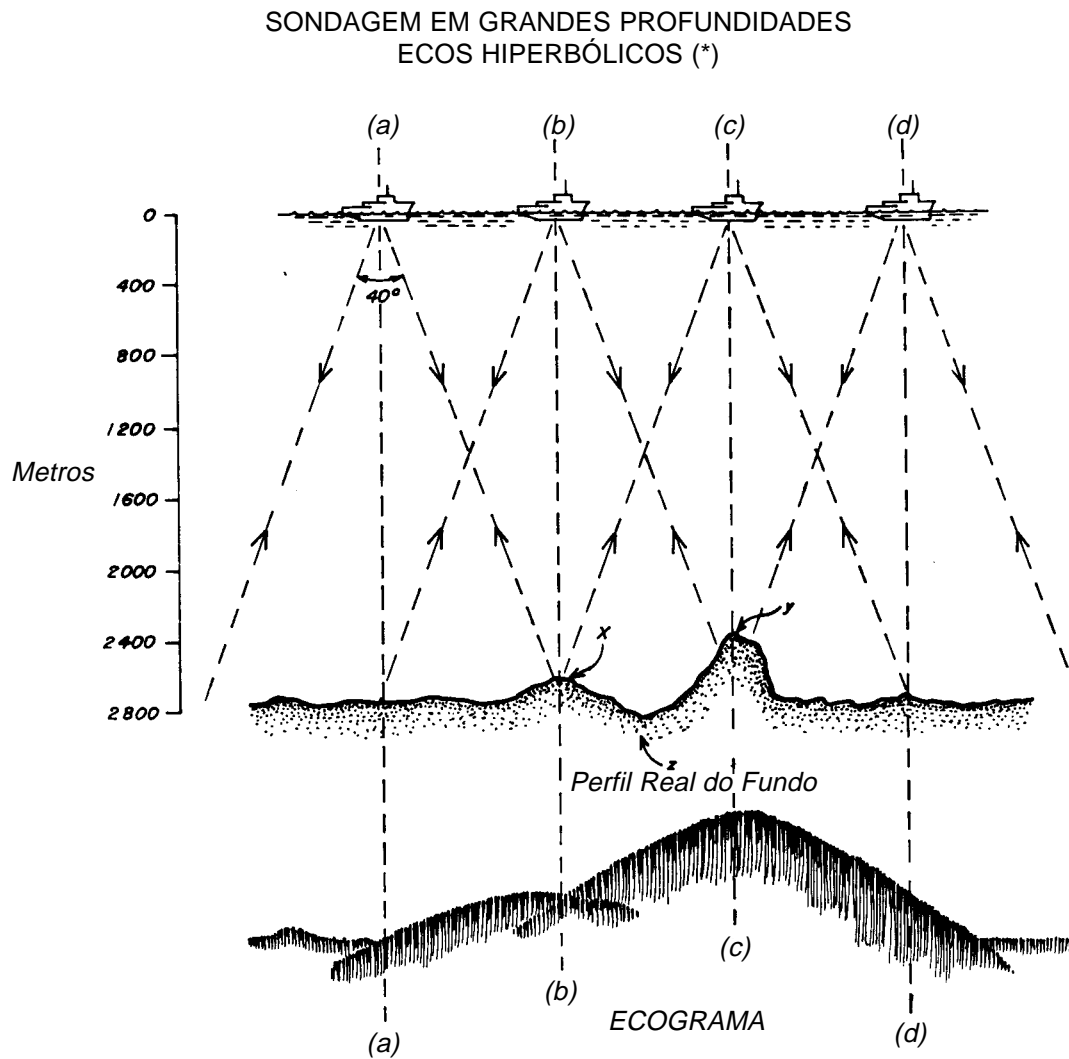
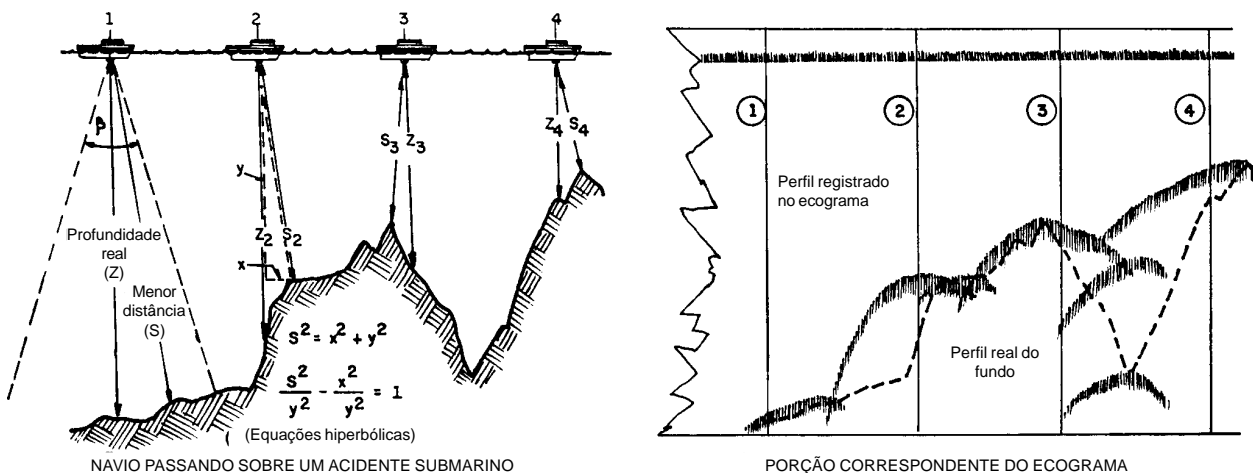


Figura 38.33 - Ecos Hiperbólicos (Grandes Profundidades)



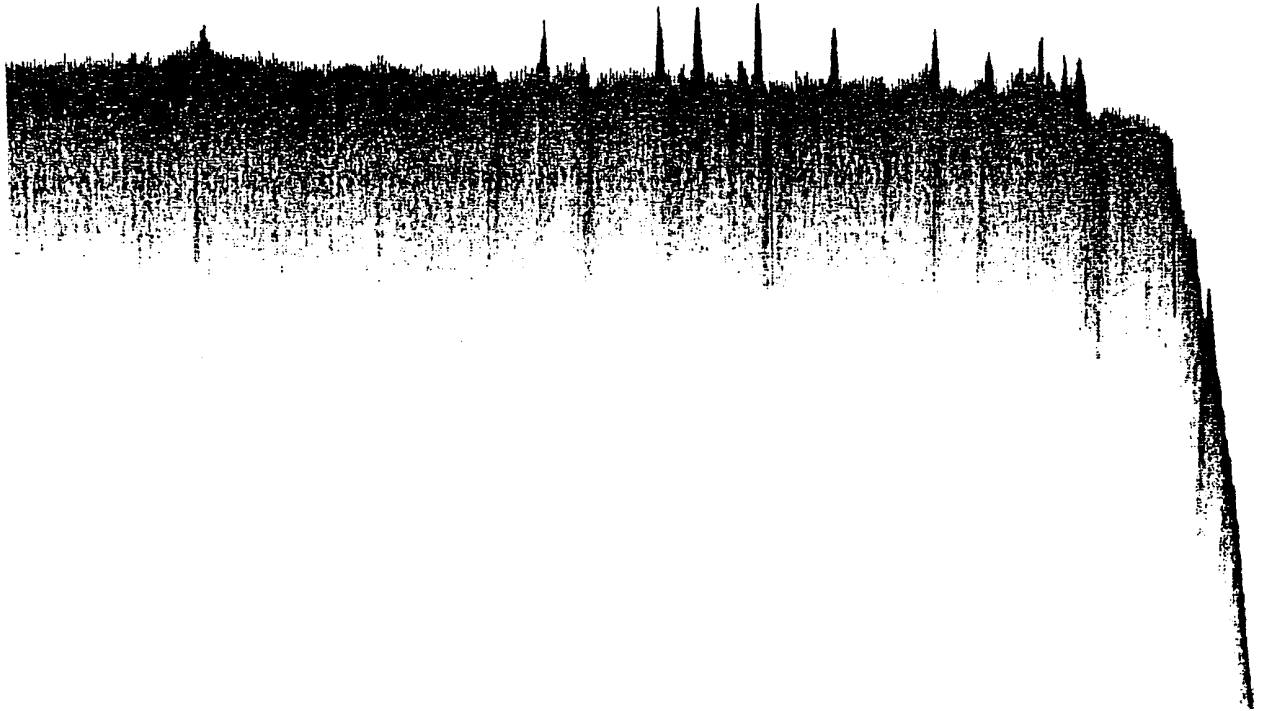
(*) OS ECOS RECEBIDOS SÃO VERDADEIRAS HIPÉRBOLES APENAS EM TEORIA.
NA PRÁTICA, ENTRETANTO, SUA FORMA É UMA CURVA SEM REPRESENTAÇÃO MATEMÁTICA.

Figura 38.34 - Registro Oriundo de um Fundo Irregular (Grandes Profundidades)



O EFEITO DA LARGURA DO FEIXE DE EMISSÃO DO TRANSDUTOR NO REGISTRO DO ECOBATÍMETRO

Figura 38.35 – Fundos Irregulares nas Proximidades da Borda da Plataforma a SE de Cabo frio



38.10 TÉCNICAS DE NAVEGAÇÃO BATIMÉTRICA

Existem várias técnicas para controle dos movimentos e determinação da posição do navio na **Navegação Batimétrica**. A mais simples é a denominada “correr uma isóbata” ou “correr uma linha de sondagem” (“running a sounding”), que consiste em seguir uma isóbata representada na Carta Náutica. No extrato de carta mostrado na figura 38.35a está ilustrado como uma isobatimétrica (ou linha de sondagem) pode ser seguida para conduzir o navio com segurança na direção desejada, principalmente sob visibilidade restrita ou quando o único equipamento de navegação disponível é o ecobatímetro. Neste exemplo, o navegante decidiu seguir a isóbata de 50 metros para navegar das proximidades do Rio de Janeiro até o través da Ponta de Saquarema. Ao alcançar a profundidade de 50 metros (lida no ecobatímetro e devidamente corrigida, se for o caso), o navio governará no rumo geral ENE; se a profundidade diminuir, o rumo será corrigido para BE; se aumentar, a correção será para BB, de modo que se navegue mantendo a profundidade constante em 50 metros, ou seja, “correndo a isobatimétrica de 50 metros”. Quando se usa este método de navegação em visibilidade restrita, é prudente reduzir a velocidade, para dar tempo de reagir a uma mudança rápida de profundidade que ocorrer inesperadamente; além disso, em baixa velocidade aumenta-se a razão de obtenção de profundidades e reduzem-se os ecos espúrios, facilitando a manobra de seguir a isóbata escolhida.

Outra técnica bastante empregada é a do transporte das isóbatas, que requer, para sua aplicação, uma folha de papel vegetal ou plástico transparente.

Na figura 38.36, por exemplo, temos uma representação do relevo do fundo do mar, com as isóbatas de 100, 110, 120, 130 e 140 metros traçadas na carta sobre a qual está sendo conduzida a navegação. A linha de rumo do navio também é apresentada.

Figura 38.35a

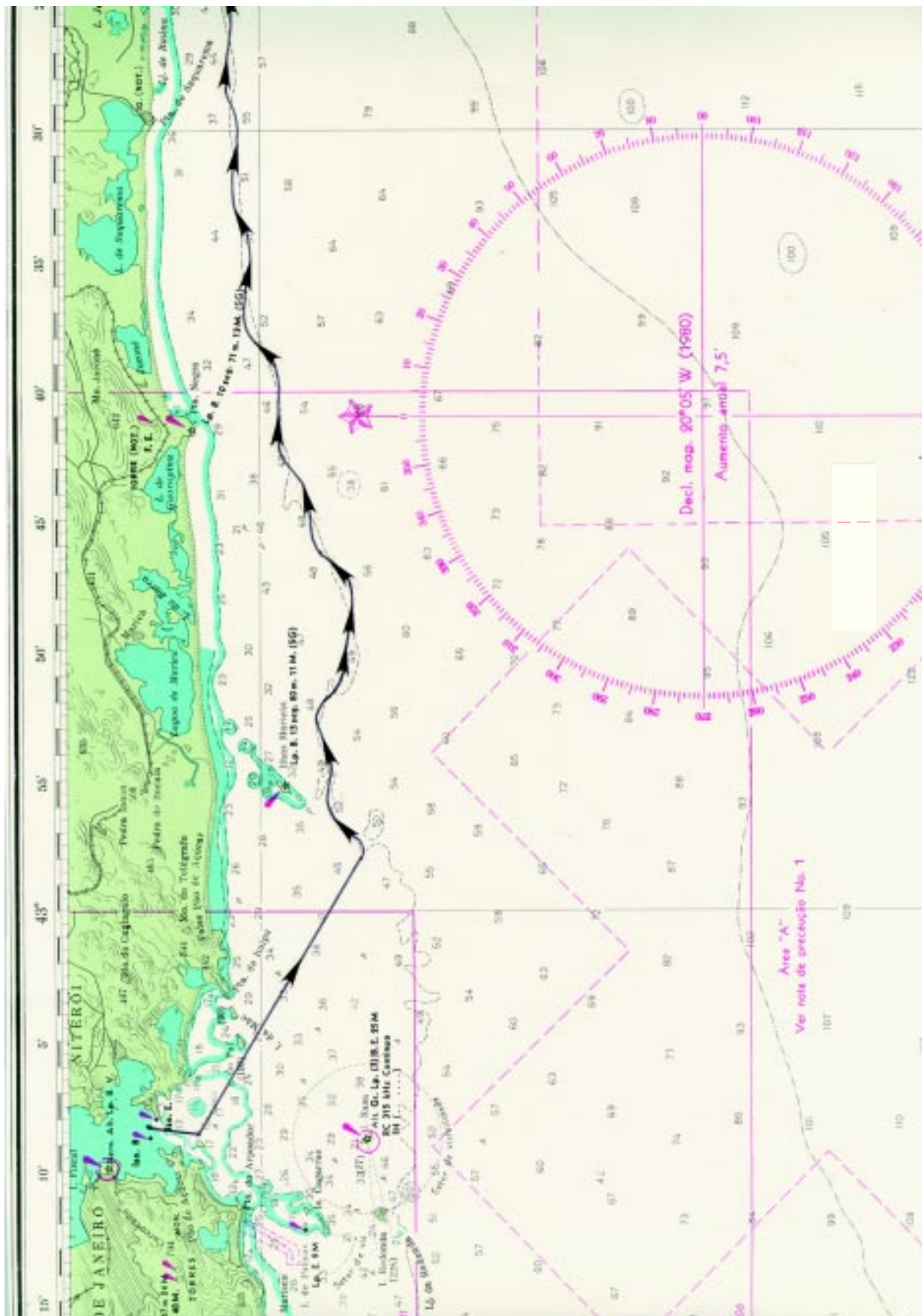
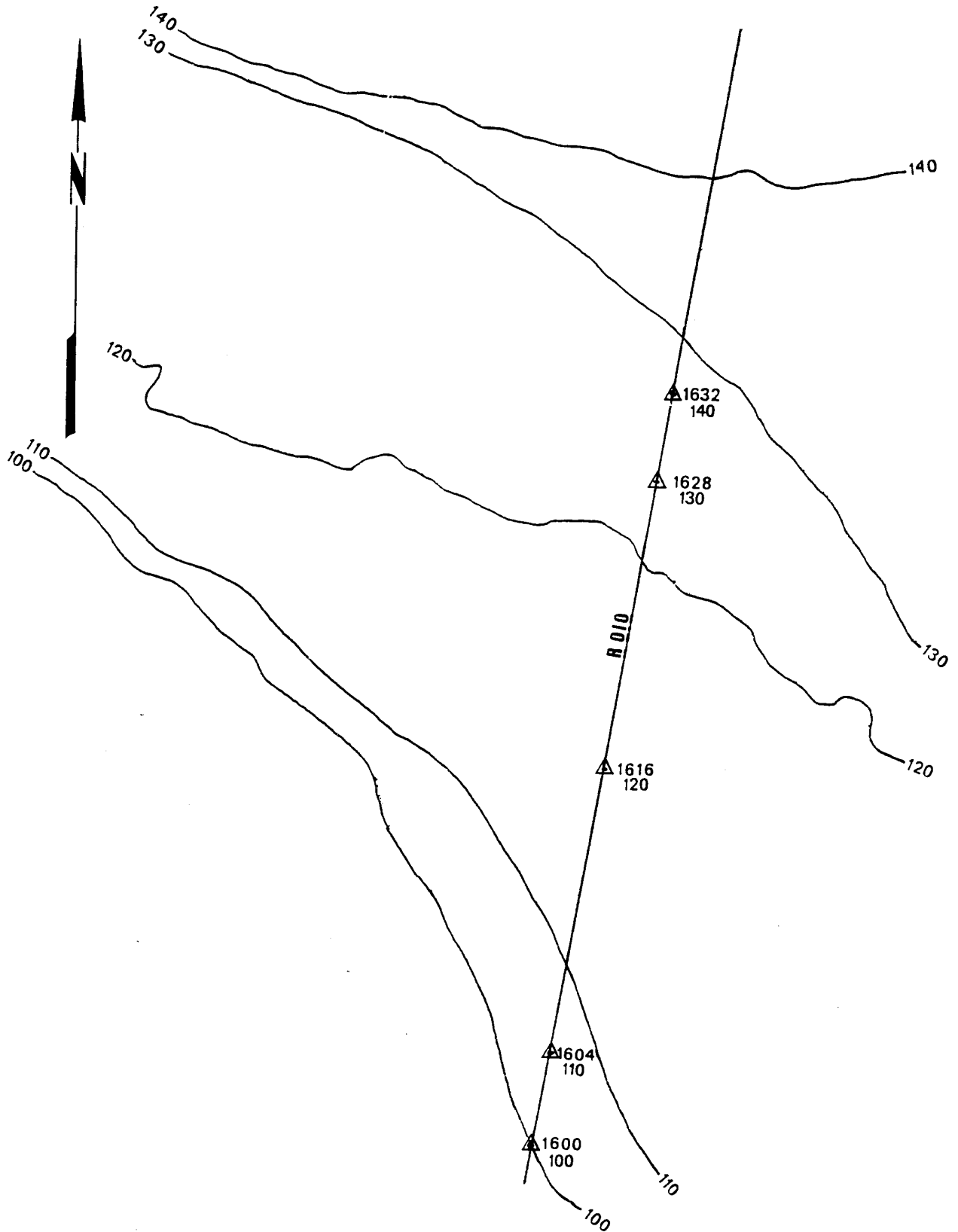


Figura 38.36 - Trecho da Carta, com as Isóbatas Traçadas de 10 em 10 Metros, Indicando a Topografia do Fundo



Para determinar a posição por transporte de isóbatas, o navegante registra os instantes em que o ecobatímetro indica sondagens de valores iguais às isóbatas traçadas na carta. Neste caso:

HORA	PROFUNDIDADE
1600	100 m
1604	110 m
1616	120 m
1628	130 m
1632	140 m

A primeira posição estimada (1600 horas) é marcada sobre a isóbata de 100 metros. Após isso, o navegante plota sobre a linha de rumo os pontos estimados das sondagens seguintes (1604, 1616, 1628 e 1632 horas), conforme mostrado na figura 38.36.

Copiam-se, então, as isóbatas na folha de papel vegetal ou plástico transparente. Em seguida, a primeira isóbata (100 m) é transportada da distância navegada entre 1600 horas e 1632 horas, sobre a linha de rumo; a segunda (110 m) é transportada da distância navegada entre 1604 e 1632 horas, e assim por diante. O ponto de cruzamento das isóbatas transportadas com a isóbata de 140 m será a posição do navio às 1632 horas, como indicado na figura 38.37.

Com duas isóbatas teremos, quase sempre, cruzamentos em mais de um ponto. Com três isóbatas consegue-se, na maioria dos casos, um triângulo de incerteza. Uma quarta isóbata confirmaria a posição. No exemplo, foram usadas cinco isóbatas.

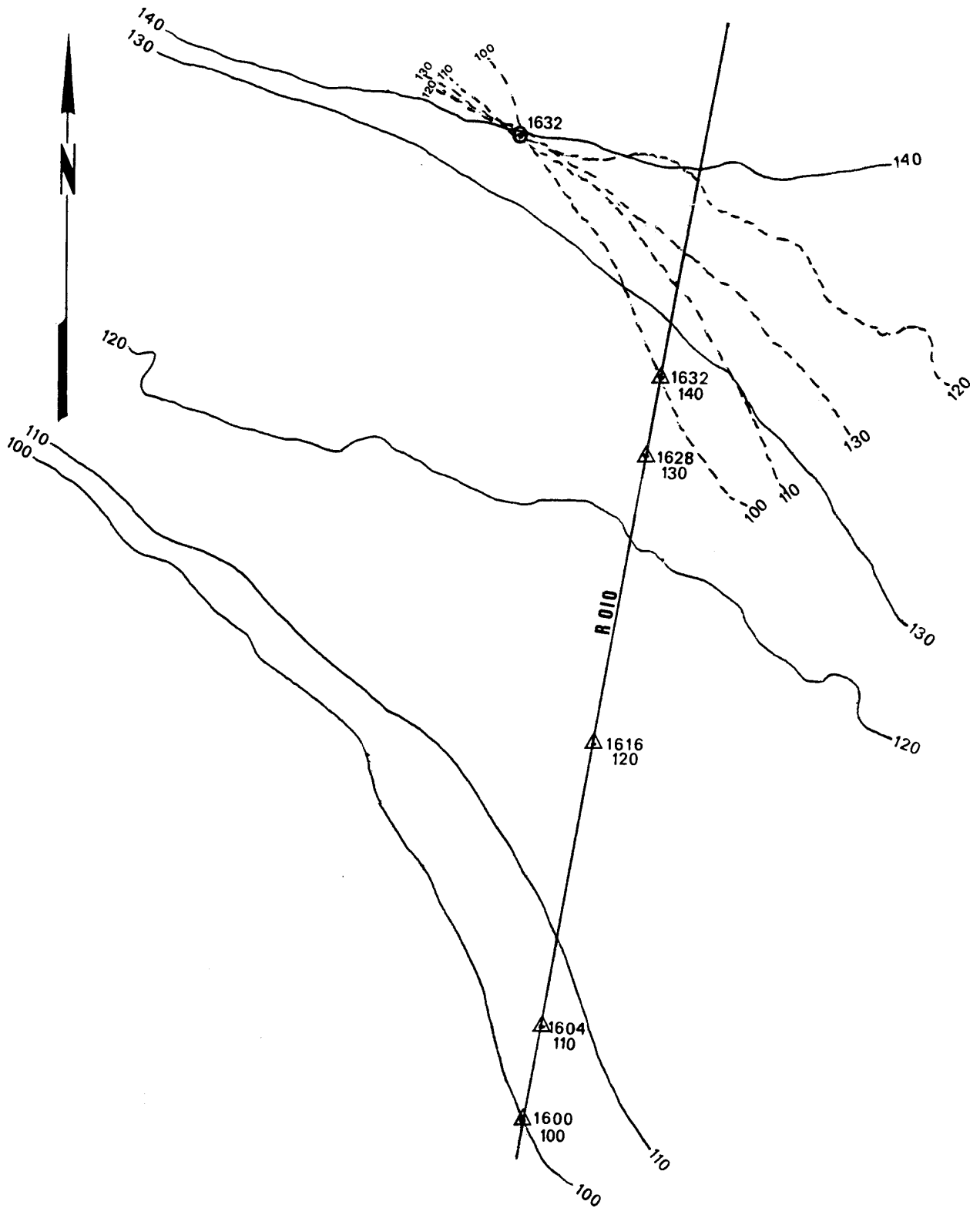
Para o traçado das isóbatas transportadas, elas são primeiramente copiadas em papel vegetal ou plástico transparente. Depois, avançadas da distância navegada, sobre a linha de rumo, paralelamente a si mesmas. Calcando um pouco o lápis sobre o “overlay” transparente, consegue-se transferir para a carta o trecho de isóbata que vai cruzar com a última isóbata usada (no exemplo, a de 140 m às 1632 horas).

Uma variante desta técnica consiste em, após registrar os instantes em que o ecobatímetro indica sondagens de valores iguais às isóbatas traçadas na carta, plotar, em uma folha de papel vegetal ou plástico transparente, uma linha na direção do rumo do navio e, sobre ela, marcar as posições estimadas correspondentes aos instantes obtidos (levando em conta a velocidade em que se navega), anotando ao lado de cada ponto a profundidade e a hora correspondentes. Após terminado este processo, o “overlay” transparente é colocado sobre a carta, na vizinhança da posição estimada do navio, com a linha de rumo orientada na direção apropriada. Move-se, então, o “overlay” sobre a carta, paralelamente a si mesmo (isto é, com a linha de rumo sempre orientada na direção correta), até que as posições plotadas no papel coincidam com as isóbatas correspondentes traçadas na carta. Desta maneira, a posição do navio ao cruzar a última isóbata considerada pode, normalmente, ser determinada com boa precisão.

Tanto esta técnica quanto a anterior não devem ser usadas quando a direção do deslocamento é paralela às isóbatas, ou quando o relevo submarino é pouco acidentado e apresenta uma declividade uniforme (ou seja, quando as isóbatas são mais ou menos paralelas entre si e espaçadas de forma aproximadamente igual).

O cume de um monte submarino isolado, localizado por meio do ecobatímetro, também pode ser usado para determinar a posição do navio.

Figura 38.37 - Ponto por Transporte de Linhas de Igual Profundidade



Quando não se passa diretamente sobre o tope do acidente, pode ser usada a técnica ilustrada na figura 38.38. Quando o navio se aproxima do monte submarino isolado, determina-se, com a melhor precisão possível, uma posição e, então, ruma-se direto para o cume do banco. A figura 38.38a mostra as isóbatas traçadas em torno do cume de um monte submarino, cuja menor profundidade é 1.130 metros. O navio determinou sua posição ao Sul do banco e desfechou o rumo 000°, dirigindo-se diretamente para o tope do acidente. No entanto, como mostrado na figura 38.38b, conforme o navio se aproxima do monte submarino, registrando as sondagens a cada minuto, a menor profundidade obtida foi 1.169 metros. Da posição correspondente à sondagem mínima traça-se uma perpendicular ao rumo do navio (ver a figura 38.38b). À medida que as profundidades passam a aumentar, fica óbvio que o navio já passou do cume do banco; guina-se, então, de 90° com relação ao rumo original, assumindo-se, neste exemplo, o rumo de 270°, cruzando novamente sobre o acidente, de modo a passar o mais próximo possível da posição do cume. As sondagens são, de novo, anotadas a cada minuto. No segundo rumo, a sondagem mínima obtida foi 1.149 metros. Da posição correspondente, traça-se uma outra perpendicular ao rumo.

A interseção das duas perpendiculares traçadas pelas profundidades mínimas determina a posição do cume do monte submarino relativa às plotagens feitas, ou seja, com referência à navegação estimada do navio. A direção e a distância que separam esta interseção da posição do cume plotada na carta representa o deslocamento da derrota estimada. Assim, a derrota pode ser ajustada e a posição do navio determinada. Este método de localização do cume de um monte submarino pode ser usado com um cone sonoro de qualquer abertura. Essa técnica é muito pouco usada em comparação com as anteriormente apresentadas e seu uso se prende mais à verificação de acidentes isolados.

Figura 38.38 - Determinação da Posição pelo Cume de um Monte Submarino

