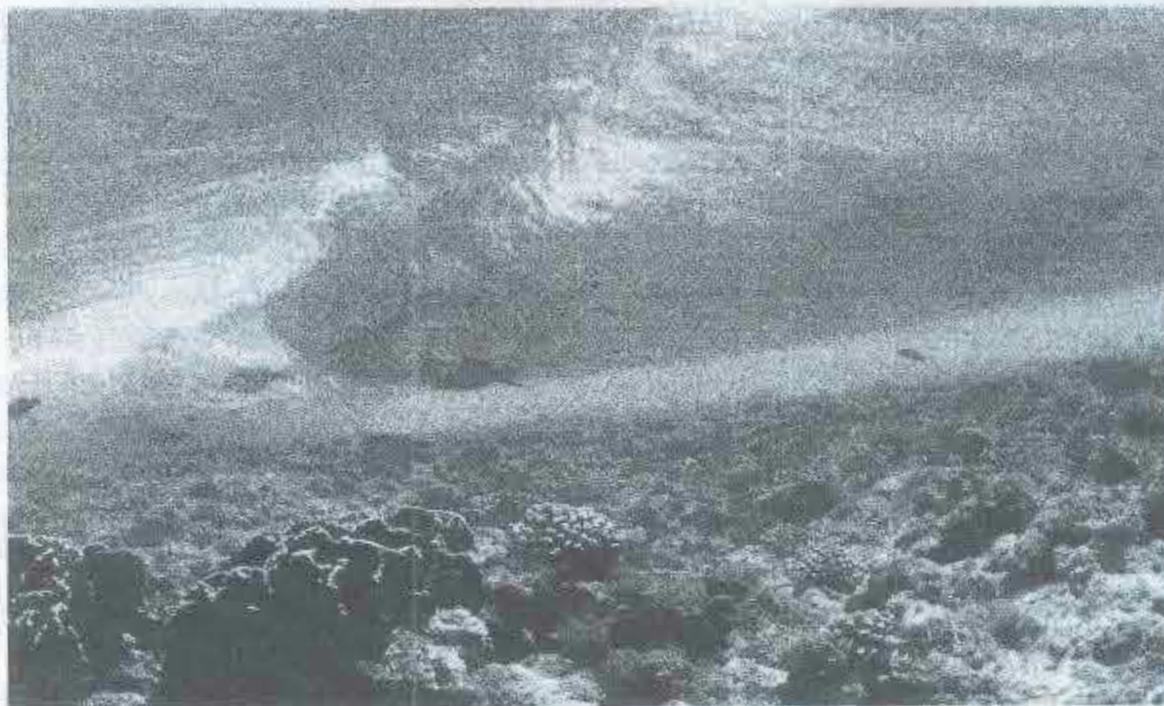


SOLUÇÕES PARA O DESAFIO DAS ÁGUAS RASAS



A Guerra Abaixo D'Água entrou em um novo domínio como resultado da sua aproximação com o litoral. Brian Longworth, autor deste artigo, examina por quê o ambiente em águas rasas é mais complexo e difícil para a Guerra Anti-Submarino e Operações de Contramedidas de Minagem (CMM).

A Guerra Anti-Submarino (GAS) está em mudança. A mudança da operação predominante em águas profundas para as águas rasas da plataforma continental pode não afetar a física da acústica, mas certamente forçará grandes mudanças na propagação do som e no desempenho dos sonares.

As profundidades na plataforma continental aumentam gradualmente da linha de costa até cerca de 200 me-

tros, antes que o fundo do mar mergulhe para profundidades de milhares de metros. Nestas águas profundas, a **estrutura** térmica do mar, pelo fato da velocidade do som diminuir quando a temperatura decresce, será a responsável pela maneira como as ondas sonoras transmitidas serão espalhadas, encurvadas ou canalizadas. Mudanças na salinidade e pressão também afetam a velocidade do som, mas, no mar

aberto, só o aumento de pressão, em profundidades abaixo de 1.000 metros tem um efeito significativo. Ele aumenta gradualmente a velocidade, sendo as ondas sonoras, subseqüentemente, curvadas para cima.

Normalmente, a **estrutura** térmica é composta de quatro camadas principais. Primeiro, uma camada isotérmica relativamente rasa, que pode mudar diariamente e é influenciada pelo aquecimento local e pelo estado do mar. Segundo, uma termoclina sazonal (de estação) abaixo da camada de superfície, onde a temperatura diminui com a profundidade, mas o gradiente é influenciado pela localização e estação climática do ano. Abaixo desta, vem a termoclina principal, onde a temperatura decresce constantemente até cerca de 4° C e, finalmente, vem a camada isotérmica que vai até o fundo do mar (o aumento na velocidade causado por um aumento de 4.000 metros na profundidade é aproximadamente equivalente ao decréscimo causado por uma queda de 20° C em temperatura).

É esta última estrutura (camada), que é estável abaixo de 500 metros e onde as ondas sonoras são encurvadas para cima ou para baixo, que cria os canais sonoros profundos e as zonas de convergência que fornecem os

caminhos de propagação que tornam as detecções passivas à longa distância possíveis. Por outro lado, as grandes variações de temperatura que ocorrem acima dos 500 metros causam o encurvamento do raio e resultam no aparecimento de zonas de sombra (**shadow zones**) que normalmente reduzem as distâncias de detecção alcançadas pelos sonares de casco.

Entretanto, as maiores distâncias de detecção alcançadas são determinadas principalmente pelas perdas causadas por divergência ou absorção, à medida que o som atravessa a água. Quanto maior a frequência, maior a absorção, onde a perda de transmissão resultante é proporcional ao quadrado da frequência. Este efeito é marcante.

Emissões sonoras de baixa frequência podem ser detectadas passivamente a centenas de quilômetros,

enquanto sonares ativos de frequência média são capazes de obter alcances de apenas 20 quilômetros. Os níveis de absorção também aumentam quando a temperatura diminui e, apesar deste efeito ser pouco influente, o sonar ativo de um navio ou helicóptero nos trópicos pode alcançar o dobro das distâncias obtidas durante o inverno no Atlântico Norte.

A eficiência de qualquer sistema passivo é, obviamente, dependente dos

Emissões sonoras passivas de baixa frequência propagam-se por centenas de quilômetros, enquanto sonares ativos de frequência média são capazes de obter alcances de apenas 20 quilômetros.

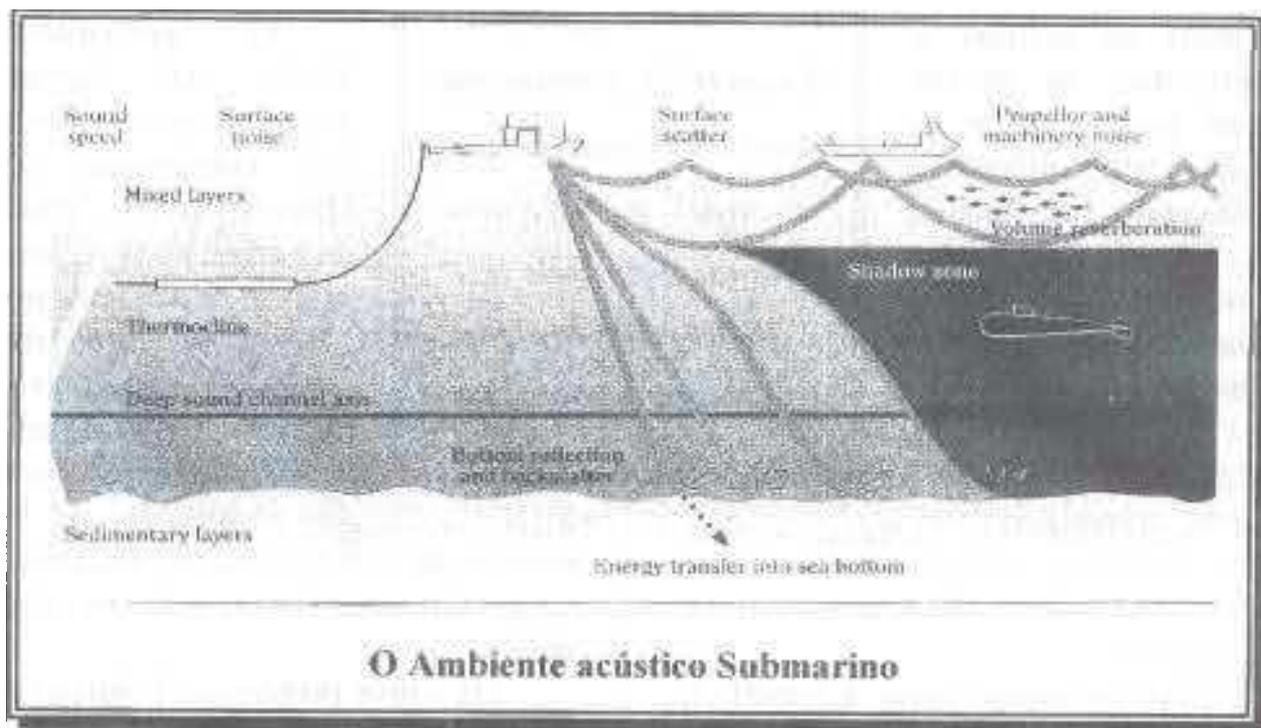
níveis de ruído irradiado pelo alvo. Contudo, com o advento dos relativamente ruidosos submarinos de propulsão nuclear, os sistemas passivos vieram ao seu encontro. Nos últimos trinta anos, isto levou a uma concentração na exploração dos sistemas passivos fixos, de submarino, de aeronave ou de navios e ao relativo declínio de interesse em melhorar os sonares ativos dos navios de superfície.

Duto de Superfície

Na plataforma continental (isto é, em profundidades inferiores a 200

um padrão de água basicamente isotérmica.

Mas com o dia claro os primeiros 10-15 metros são influenciados pelo aquecimento e resfriamento diários. O efeito deste volume de água basicamente isotérmica vai criar o duto de superfície, onde o som ficará canalizado entre a superfície e o fundo do mar, o que provoca uma melhor oportunidade de detecção para sonares ativos. Estes dutos estão presentes, estando a água isotérmica ou não, e o som propaga-se através de repetidas reflexões na superfície e no fundo do mar - a propagação é, conseqüente-



metros), os efeitos do duto de superfície são predominantes, sendo raro a formação de uma termoclina sazonal. A temperatura do mar é controlada por aquecimentos e resfriamentos locais e a massa d'água é totalmente misturada por ondas e marés. Isto cria

mente, melhor determinada pelas características dos meios que limitam este duto do que pelas particularidades da água aí contida.

As regras de reflexão, refração e espalhamento acústico aplicam-se de maneira similar à ótica. Os limites dos

duto, sejam eles a superfície ou o fundo do mar, são ambos refletores e espalhadores, sendo as perdas dependentes das diferentes impedâncias acústicas do meio. Com relação a interação com o fundo do mar, sabemos que a natureza do fundo varia extremamente, mas a diferença de densidade do fundo do mar comparada com a da água é de cerca de 4:1 e a alteração da velocidade do som é aproximadamente de 3:1, criando uma situação onde cerca de 85 % do som será refletido. Isto, entretanto, é uma aproximação pois diferentes fundos vão reagir diferentemente. Perdas são difíceis de computar ou prever, mas podem variar de 1dB por quilômetro para areia, para mais de 4 dB por quilômetro para lama. Como uma porcentagem significativa do som é dissipada por espalhamento, alguma parte retorna à fonte como reverberação de fundo, podendo encobrir ecos de alvos válidos onde o fundo do mar é rochoso.

As condições junto à superfície são radicalmente diferentes, apresentando uma razão de densidade entre o ar e a água da ordem de 4.000:1, motivo pelo qual existe uma reflexão quase perfeita da onda acústica. Quando o mar fica mais agitado, entretanto, acontece uma degradação progressiva, dependendo da relação

entre a altura da onda do mar e a frequência da onda sonora. Quanto menor a frequência, e daí maior o comprimento de onda em comparação a altura das ondas do mar, menos som será espalhado. Com os sonares típicos dos navios de superfície operando nas frequências entre 3 e 5 kHz, os alcances de detecção são degradados quando o mar fica mais encapelado, mas nas baixas frequências, inferiores a 1,5 kHz, a superfície do mar apresenta-se de forma mais suave, sendo

uma superfície perfeitamente refletora mesmo nos mares mais agitados.

O aquecimento diário na camada d'água junto à superfície, comumente conhecido como "efeito da tarde", pode ter uma grande influência nos sonares de casco dos navios de superfície e degradar severamente as distâncias alcançadas (detecção). O fenômeno de desvanecimento dos contatos previamente firmes é bem conhecido.

Há outros problemas. Diluição de água doce de rios e chuvas torrenciais e mudanças de marés e correntes, criam uma estrutura interna da massa d'água que é altamente variável e, a despeito do duto de superfície, as perdas de transmissão são apenas aproximadamente previsíveis. Em mar aberto, o efeito Doppler (que é a mu-

O aquecimento diário na camada d'água junto à superfície, comumente conhecido como "efeito da tarde", pode ter uma grande influência nos sonares de casco dos navios de superfície...

dança auditiva na frequência do eco sonar que retorna causada pelo movimento do alvo) é uma valiosa ajuda na classificação. Durante a ação da maré, o efeito do movimento da água vai gerar uma mudança de frequência em qualquer contato do fundo do mar. As condições ambientais, de uma maneira geral, fazem a detecção menos certa e a grande prevalência de contatos não submarinos, tornam a classificação muito mais difícil.

Para os sensores passivos, não há camadas acústicas de longa distância e eles ainda deparam-se com duas outras dificuldades. A primeira é que os submarinos lentos, com propulsão convencional e utilizando os motores elétricos emitem pouco ruído - certamente 20dB a menos que os submarinos nucleares típicos. Em segundo lugar, este ruído deve ser detectado em um ambiente com nível de ruído de fundo que, devido ao aumento de tráfego e às ações das ondas sobre a costa, é muito maior do que os encontrados em mar aberto e em direções as mais variadas possíveis - talvez tão elevado quanto 20dB. Nesta situação, quando um submarino tem pouca necessidade de se movimentar para procurar alvos, os sonares passivos têm uma participação muito pouco efetiva na detecção e classificação de submarinos em águas costeiras.

A Força-Tarefa Britânica estava bem treinada e bem equipada, contando com uma variedade de sonares, de casco e de helicópteros, que representava o estado-da-arte do final dos anos 70.

Detecções à curta distância significam que as operações de busca em grandes áreas não são possíveis e uma proteção direta anti-submarino, por navios ou helicópteros, deve ser provida. Um dos princípios das ações A/S em mar aberto é que esta é a guerra de desgaste (**attrition**) e um submarino que não representa mais uma ameaça direta para uma força transitando, não é mais perseguido - mas em águas rasas aplicam-se regras diferentes, porque alvos potenciais não podem ser re-direcionados e, como um "...não é mais perseguido..." confirmado para um contato classificado submarino é algo raro, uma vez obtido um contato, existe a preocupação da destruição.

Experiência no Atlântico Sul

A mais recente e única campanha A/S desde a Segunda Guerra Mundial, foi a guerra de seis semanas nas Falklands (Malvinas) em 1982. Ela foi conduzida inteiramente dentro de águas da plataforma continental. A Força-Tarefa Britânica estava bem treinada e bem equipada, contando com uma variedade de sonares, de casco e de helicópteros, que representava o estado-da-arte do final dos anos 70.

Os contatos submarinos foram poucos e afastados e é provável que o

submarino argentino *SAN LUIS* só tenha estado em contato direto com a Força-Tarefa por cerca de quatro dias. Os vídeos sonar, entretanto, estiveram constantemente saturados por possíveis contatos. Muitos foram classificados "POSSUB ALTO" ou "PROVÁVEL" e ações foram tomadas contra eles. Vários torpedos Mk 46 foram lançados nos contatos mais ameaçadores, mas, ao que parece, nenhum deles era um alvo submarino válido.

Lançar um torpedo com guiagem (*homing*) é o último mecanismo de classificação, pois caso o contato seja real ele irá quase que certamente adotar medidas evasivas ou será destruído. Caro talvez, porém necessário numa guerra rápida.

É sabido que o Comandante do *SAN LUIS* pensou que os escoltas da Marinha Real estivessem com contato em mais de uma ocasião e, mesmo que não fosse esse o caso, o contato foi incorretamente classificado. Talvez o submarino tenha sido cuidadoso para evitar denunciar sua presença (o que é esperado), talvez as oportunidades de detecções válidas tenham sido raras, mas, quais fossem as circunstâncias, o conflito no Atlântico Sul demonstrou que a detecção inicial e a classificação de um submarino em águas rasas era extremamente difícil. Era difícil em 1982 e ainda o é em 1996, porque os sonares ativos de hoje, na sua maior parte, não operam com mais eficiência em águas rasas do que faziam há 14 anos.

Emprego de emissões ativas de baixas frequências no futuro

Um dos caminhos que temos pela frente baseia-se na exploração da capacidade de detecção à longa distância dos sonares ativos de baixa frequência (*Low-Frequency Active Sonars - LFAS*) no duto de superfície. A combinação de um arranjo ativo de baixa frequência de profundidade variável aliado a um pequeno receptor passivo de reboque, está sendo empregado e encomendado em vários países (a França tem o sistema *SLASM* em operação). Testes mostraram que detecções à longa distância, afastadas até de 40 km, realmente ocorrem e que submarinos de características conhecidas são reconhecidos.

O que não é tão claro é a habilidade destes sistemas de classificarem alvos válidos no meio de ruídos de contatos não submarinos. Uma deficiência do uso de frequências baixas e largos comprimentos de onda é a falta de definição resultante. Posição precisa e discriminação só são possíveis com equipamentos de frequências mais altas. O apoio de sonares de mergulho de helicópteros para investigar e, quando possível, para classificar e atacar contatos à longas distâncias é, conseqüentemente, essencial.

Talvez a maior restrição seja que estes sonares sejam grandes, pesados e caros. Escoltas grandes são necessários para operarem helicópteros A/S e apenas um número limitado deles estará totalmente equipado. Entretanto, quando verificamos os atuais e futuros

desenvolvimentos com relação ao trato e à apresentação do dado sonar, o caminho a seguir pela frente, do presente impasse de melhorar significativamente a detecção e a classificação em águas rasas, deve estar a apenas alguns anos.

O único elemento favorável na Guerra A/S em águas rasas é a capacidade verificada nos modernos torpedos guiados em buscar, atacar e destruir seus alvos. Os torpedos possuem transdutores direcionais para evitar a aquisição do fundo e desprezar os contatos do fundo do mar. Quando lançados por helicópteros ou aeronaves de asa fixa podem ter sucesso em águas rasas (faixa de 30 metros), além do seu padrão de operação, na frequência de 30kHz, ser bom para emprego neste ambiente acústico. Com a possível exceção de um submarino que tenha pousado no fundo de forma a tornar o reconhecimento extremamente difícil, as águas rasas ou submarinos lentos não degradam a habilidade do torpedo de buscar, classificar e atacar à curta distância.

Contudo, há um conhecido e generalizado desejo de se encontrar uma maneira mais em conta de se classificar um grande número de possíveis alvos do que a utilização de torpedos (o atual programa de Arma A/S de

Baixo Custo da OTAN está buscando esta opção). As Marinhas russa e sueca (em particular) continuam a usar sistemas de foguete anti-submarino em seus navios, enquanto que para outras marinhas a velha carga de profundidade permanece sendo um bem valioso para águas rasas.

Armas Que Esperam

Os acontecimentos recentes nos mostram que é extremamente difícil fazer qualquer prognóstico sobre onde é mais provável que o próximo conflito ocorra. Também se ele envolverá submarinos ou minas como as ameaças principais, não está claro; mas sejam quais forem as circunstâncias, as minas são, relativamente, mais baratas e facilmente dispersadas por um país que possua uma Força Naval modesta. A

Guerra de Minas irá, quase que invariavelmente, tomar parte em qualquer futura operação de guerra limitada.

A ameaça de minas é bastante variada. Minas de fundeio simples (de contato) podem ser facilmente neutralizadas por varredura mecânica, com o corte de seus cabos-amarra; entretanto, embora não sejam empregadas em guerras limitadas, as seguintes variedades de minas podem impor diferentes desafios: mina à deriva, que apesar

Os torpedos possuem transdutores direcionais para evitar a aquisição do fundo e desprezar os contatos do fundo do mar. Quando lançados por helicópteros ou aeronaves de asa fixa podem ter sucesso em águas rasas (faixa de 30 metros)...

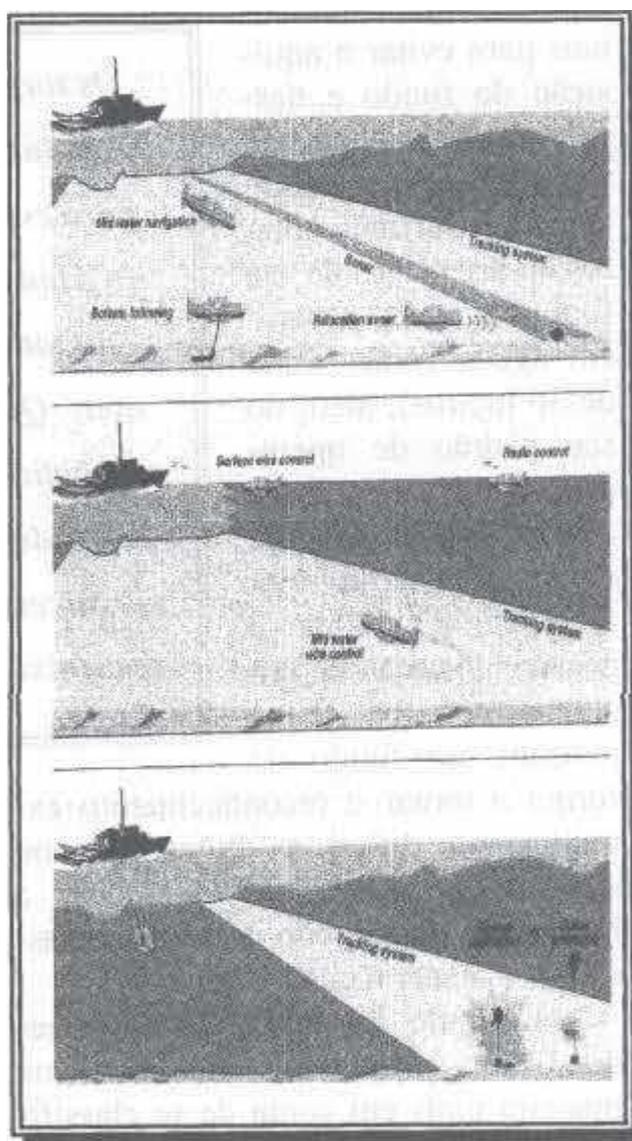
de proibida pelas leis internacionais, podem ser lançadas durante a maré vazante; minas dotadas de antenas ou extensores que aumentam o seu alcance ou tornam a varredura mais difícil; minas com mecanismo de retardo para liberação do fundeio; e minas oscilantes podem ser empregadas com cabos-amarra de comprimentos variáveis ou com obstrutores (Contra - Contramedidas de Minagem - CCMM).

As minas de fundo dependem da sua sensibilização pela assinatura acústica, magnética ou de pressão do alvo e usando uma combinação com integração do tempo para que elas reajam apenas para tipos de alvos específicos ou que façam a mina atuar no ponto de explosão mais eficaz. Retardadores de armar, mecanismos contadores de navios para retardar a ativação ou a atuação codificada remotamente, podem ser empregados para complicar a tarefa de neutralização dessas minas. Certamente que estes dispositivos e o "invarrível" elemento pressão, fizeram a localização e a destruição das minas por navios caçaminas o único meio efetivo de enfrentar esta ameaça, sendo porém, um método lento que requer muito cuidado.

Existem outras ameaças de mais difícil compreensão, ou seja, minas que liberam uma carga explosiva que irá de encontro ao alvo que esteja passando por cima e a mina norte-americana Captor que libera um torpedo Mk 46. Entretanto estes tipos de mina são - pelo menos até hoje - difíceis de serem encontradas no arsenal

de qualquer possível nação beligerante.

Os complicados mecanismos das minas modernas (CCMM) foram incorporados, na sua maioria, para impedir ou retardar o processo de limpeza (CMM). Campos minados são vistos como armas de desgaste com objetivos a longo prazo, tanto para imobilizar o tráfego mercante, quanto para forçar o emprego de um enorme



contingente de pessoal nas tarefas intensivas de contraminagem de minas (CMM). Um campo minado pode

tornar-se extremamente complexo, mas estas complexidades ou retardadores de armar ou mecanismos contadores de navios parecem ser pouco eficazes em minas empregadas para operações em águas rasas, em confrontos de curto prazo.

Operações de Caça-Minas

É a prática comum atual, realizar inicialmente uma varredura mecânica para a remoção das minas de fundeio antes de começar a operação de limpeza contra as minas de fundo; mesmo assim, os sonares dos navios caça-minas podem detectar tanto as minas de fundeio a meia água, quanto as de fundo.

Os atuais sonares de casco dos caça-minas separam as funções de busca e classificação; por prover busca de varredura por setor na faixa de 20-40kHz e com o arranjo de transdutores de classificação mais direcionados, separados na faixa de 100kHz e superior. Os possíveis alvos são então investigados por um veículo de operação remota (*ROV - Remotely Operated Vehicle*), controlado por um cabo-guia e operando a 200-250 metros a vante do caça-minas mãe, que permanece em posição mais segura. O *ROV* examina o alvo de perto por TV de baixa luminosidade (*low-light*) ou usando um sonar de imagem de

freqüência muito alta (VHF), com resolução melhor que 100 milímetros. Se o contato é uma mina "válida", o *ROV* é encaminhado para colocar uma carga de explosiva nela. Finalmente, em situações difíceis, quando, por exemplo, o contato estiver parcialmente enterrado no fundo ou a visibilidade é próxima a zero, mergulhadores podem ter que ser encaminhados para investigar.

Dependendo da sua constituição, as irregularidades no fundo podem

gerar ecos falsos de minas. Mesmo nos fundos favoráveis de areia, os falsos contatos, causados por detritos ou objetos submersos (até mesmo lixo) podem aparecer. Entretanto, é prática dos países da OTAN pesquisar as rotas planejadas e preparar os perfis dos fundos do mar nas áreas mais utilizadas, como canais. Estes são comparados com as

buscas recentes por programas de computador que ajudam e aceleram no processo de limpeza. Esta, infelizmente, não é uma facilidade disponível para auxiliar as operações ofensivas de CMM.

Contudo, as condições ambientais influenciam os sonares de detecção de minas como qualquer outro sonar. Mesmo sendo as distâncias previstas de detecção menores (freqüências mais altas), tempestades,

É a prática comum atual, realizar inicialmente uma varredura mecânica (wire sweep) para a remoção das minas de fundeio antes de começar a operação de limpeza contra as minas de fundo...

gradientes de temperatura mais intensos, mudanças de salinidade e movimentos de marés podem afetar o desempenho de detecção. Para reduzir essas dificuldades, alterações nas frequências de operação e alternativas no arranjo dos transdutores são utilizadas.

Apesar de todas as dificuldades do meio ambiente, a caça de minas é um processo lento. As velocidades de busca para cobrir um canal de 400 metros de largura raramente atingirão 4 nós, permanecendo normalmente mais baixas (na faixa de 2 nós). Cada contato investigado leva cerca de uma hora e a neutralização de uma mina leva cerca de duas horas. Entretanto, com tempo e cuidado, grandes percentuais de limpeza, na faixa de 90 % ou superior, podem ser atingidos.

Forças internacionais de caça-minas tiveram um bom desempenho durante os recentes conflitos no Golfo Pérsico. Os únicos navios atingidos por minas foram dois navios de guerra que entraram em campos minados sem o apoio de navios de CMM. Nenhum navio caça-minas foi danificado e, uma vez efetuada a limpeza de uma área, nenhum outro navio afundou ou sofreu danos pela explosão de minas. Isto não é, de nenhuma forma, uma grande conquista, mesmo porque foram ne-

cessários vários meses após o final das hostilidades para que a tarefa de limpeza estivesse concluída.

Os novos sonares de profundidade variável (VDS) para detecção de minas já estão em operação e serão empregados nos demais navios à medida que eles venham a sofrer modernizações. O VDS oferece a oportunidade de reduzir a ação das termoclinas locais e aumenta a profundidade na qual as Operações de CMM podem

ser conduzidas. Estas mudanças, mesmo não sendo mudanças radicais, vêm a melhorar as atuais capacidades e técnicas operacionais.

Para lidar com as novas prioridades de prover um nível aceitável do grau de limpeza à frente da Força-Tarefa, como também proteção direta aos navios anfíbios, diversos novos programas estão atualmente em estudo. Algumas iniciativas incluem:

- o uso de veículos submarinos autônomos (AUV), controlados por um navio à distância, para atuar como um meio precursor de CMM e para identificar se existem minas presentes na área do assalto;
- o uso de mecanismos de destruição de minas lançados por navios ou helicópteros para atacar diretamente os contatos que se apresentem como

Os novos sonares de profundidade variável (VDS) para detecção de minas já estão em operação e serão empregados nos demais navios à medida que eles venham a sofrer modernizações...

mina, acelerando o processo de limpeza;

- adotar os mesmos arranjos de transdutores sonar para classificação e busca nos caça-minas (*minehunter*) e nos seus *AUV* de apoio, de modo a expandir a capacidade de busca e permitir proteção adicional a esses navios; e

- desenvolver técnicas de investigação das águas próximas à praia em apoio às unidades de desembarque. Estas podem incluir a utilização de *laser* por helicópteros e o emprego de *AUVs*.

Os grandes desafios são visíveis para ambas as operações, A/S e de CMM, como resultado da mudança da área primária de operações dos oceanos profundos para a plataforma continental. Apesar dos altos níveis de

treinamento profissional que as principais Marinhas podem desenvolver, aliados às novas tecnologias e a uma determinação agressiva de sucesso, o futuro pode ser visto com alguma reserva. O quebra-cabeça das operações em águas rasas é bastante difícil, mas não impossível.

O CMG Brian Longworth, atualmente Consultor Naval, tem vasta experiência nos diversos aspectos da Guerra Abaixo D'Água, obtida no mar, no Ministério da Defesa do Reino Unido e na indústria. Anteriormente, exerceu o cargo de Diretor de Negócios Futuros da Marconi Sistemas Submarinos e neste ano, pela terceira vez, foi o presidente da Conferência de Tecnologia de Defesa Submarina.

Artigo: "Solutions to the shallow-water challenge"

Autor: CMG Brian Longworth, Reino Unido

Periódico: Jane's Navy International, Junho de 1996.

Adaptação: Divisão de Guerra Anti-Submarino, CAAML.

Participação: CC Sérgio Augusto Pereira Joau e Silva