

MARINHA DO BRASIL
CENTRO DE INSTRUÇÃO ALMIRANTE GRAÇA ARANHA
ESCOLA DE FORMAÇÃO DE OFICIAIS DA MARINHA MERCANTE

ROGERIO LAMBLET DA SILVA

SISTEMAS HIDROACÚSTICOS UTILIZADOS NO POSICIONAMENTO
DINÂMICO

RIO DE JANEIRO

2014

ROGERIO LAMBLET DA SILVA

SISTEMAS HIDROACÚSTICOS UTILIZADOS NO POSICIONAMENTO
DINÂMICO

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como exigência para obtenção do título de Bacharel em Ciências Náuticas do Curso de Formação de Oficiais de Nautica/Máquinas da Marinha Mercante, ministrado pelo Centro de Instrução Almirante Graça Aranha.

Orientador (a): CF JALES

RIO DE JANEIRO

2014

ROGERIO LAMBLET DA SILVA

SISTEMAS HIDROACÚSTICOS UTILIZADOS NO POSICIONAMENTO
DINÂMICO

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como exigência para obtenção do título de Bacharel em Ciências Náuticas do Curso de Formação de Oficiais de Náutica/Máquinas da Marinha Mercante, ministrado pelo Centro de Instrução Almirante Graça Aranha.

Banca Examinadora (apresentação oral):

(nome, titulação, instituição e assinatura)

(nome, titulação, instituição e assinatura)

(nome, titulação, instituição e assinatura)

Nota: _____

Nota Final: _____

Data de Aprovação: ____/____/____

DEDICATÓRIA:

Dedico este trabalho a todos que me ajudaram de alguma forma a chegar até aqui. Aos professores deste centro de instrução, aos amigos pelo apoio, aos meus tios Paulo César Silva e Maria Madalena que sempre me apoiaram e aos meus pais Rogério da Silva e Maria das Graças Verly Lamblet por terem me fornecido toda a educação necessária para esse grande passo em minha vida.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, aos professores deste centro de instrução pelo apoio recebido e principalmente a minha família por ter me ajudado a chegar até aqui.

Tudo que o um homem ignora não existe para ele
(Albert Einstein)

RESUMO

Este trabalho tem por objetivo principal apresentar os dispositivos acústicos utilizados nos sistemas de posicionamento dinâmico. Ele expõe aspectos importantes relacionados ao tema como dificuldades técnicas, diferentes arranjos utilizados e suas características, componentes dos sistemas e suas utilizações. Por fim, o texto faz uma conclusão importante a respeito da função desses dispositivos no atual cenário de exploração dos campos de petróleo no mar.

Palavras-chave: Linhas de base. Telemetria acústica. Precisão no posicionamento. Sistemas de posicionamento dinâmico

ABSTRACT

This monograph aims to show the acoustic positioning devices which are used nowadays with the dynamic positioning systems. It exhibits relevant aspects related to technical issues, different schemes employed and their characteristics, system components and their applicability and at the end, the text brings an important conclusion about the function of these devices into the current panorama of oil exploration over the seas.

Key Words: Baseline. Acoustic Telemetry. Positioning Accuracy. Dynamic Positioning Systems.

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

LBL: Long Baseline

SBL: Short Baseline

USBL: Ultra short baseline

USS United States Ship

USNS United States Naval Ship

ROV Remotely Operated Vehicle

AUV Autonomous Underwater Vehicle

GNSS Global Navigation Satellite System

GPS Global Positioning System

VRU vertical reference unit

GIB gps intelligent buoys

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1: Transceptores operando em relação a somente um transponder em um sistema SBL	18
Figura 2 Sistema Range 2 da empresa Sonardyne. Exemplo de aplicação dos sistemas acústicos nas operações offshore	19
Figura 3 Navio sísmico realizando pesquisa com longa rede de cabos e hidrofones ..	20
Figura 4 Dispositivos de pesquisa utilizando sistemas de posicionamento e transmissão acústica de comandos e informações	20
Figura 5 Submarino também necessita de um sistema auxiliar de posicionamento para dar suporte às operações de lançamento de mísseis.	21
Figura 6 Exemplo do emprego de uma rede de transceptores na superfície do gelo. Os pontos representados pelas letras A, B e C formam uma disposição triangular cobrindo toda a área a ser pesquisada.	22
Figura 7 Uso dos sistemas de posicionamento na atividade pesqueira. Os pontos A, B, C e D representam as extremidades da rede de pesca.....	23
Figura 8 Sistema de posicionamento LBL utilizado por mergulhador	23
Figura 9 Minisubmarino Trieste 1 equipado com um sistema de posicionamento acústico tipo SBL.....	24
Figura 10 APOS Acoustic Positioning Operational Station. Software desenvolvido pela Kongsberg servindo de interface entre o sistema e seu operador.	26
Figura 11 Imagem mostrando uma válvula do duto do transceptor através do casco à esquerda e controle manual do mecanismo da haste de metal.....	27
Figura 12 Haste de metal sobre a qual foi montado o transceptor. É possível observar o transceptor na parte de baixo da imagem em uma caixa especial para manutenção. ...	28
Figura 13 Over the side pole. É arriado no mar quando o sistema acústico é utilizado.	28
Figura 14: Uso de diferentes sistemas acústicos no mesmo navio	31

Figura 15 Exemplo de aplicação de um Long Baseline System.....	32
Figura 16 Exemplo de aplicação de um sistema tipo Ultra Short Baseline System	35
Figura 17 Uma rede de bóias inteligentes empregadas para detectar o local de impacto de um artefato na água.	38
Figura 18 Tabela demonstrando a relação entre a frequência utilizada e o coeficiente de atenuação do sinal.	39
Figura 19 Tabela demonstrando as relações entre raios máximos e as diferentes faixas de frequência do sinal.	40
Figura 20 CDT Conductibility Depth and temperature instrument	42
Figura 21 Princípio de funcionamento do velocímetro baseado no “sing-around principle”	43
Figura 22 Exemplo de velocímetro utilizado para medir a velocidade do som na água.	43
Figura 23 Esquema demonstrando um gráfico polar selecionando uma direção específica para a recepção de sinais.....	46
Figura 24 Esquema representando a reverberação na estrutura do casco do navio.....	47
Figura 25 Modelo de sinal modulado por chaveamento.....	50
Figura 26 Exemplo de um gráfico da função de auto-correlação mostrando o momento exato de recepção do sinal procurado.....	51
Figura 27 Gráfico de posição de referência para o transponder. Os eixos no plano horizontal representam a posição enquanto o vertical representa a densidade de observações.....	52
Figura 28 Gráfico demonstrando o histórico da função de correlação. Os pontos de pico representam o momento exato em que o sinal foi recebido pelo transponder.....	53
Figura 29 Gráfico comparando o desvio padrão do tempo de retorno dos sinais e a relação sinal ruído do ambiente para vários sistemas	53

Figura 30 Imagem demostando um sinal direto e um sinal proveniente de reverberação.....	54
Figura 31 Gráfico demonstrando a interferência construtiva entre o sinal direto e indireto.....	55
Figura 32 Gráfico demonstrando a interferência destrutiva entre o sinal direto e indireto. Neste caso, não há elevação suficiente do sinal para ser apreciado pelo software.....	55

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	16
1 TELEMETRIA ACÚSTICA	17
1.1 MODO TRANSPONDER	17
1.2 MODO DE OPERAÇÃO PINGER:	18
1.3 MODO DE OPERAÇÃO RESPONDER	18
1.4 APLICAÇÕES DO SISTEMA	19
1.4.1 POSICIONAMENTO DINÂMICO	19
1.4.2 PESQUISAS SÍSMICAS	20
1.4.3 USO MILITAR	21
1.4.4 PESQUISAS	21
1.4.5 INDÚSTRIA PESQUEIRA	22
1.4.6 REFERÊNCIA PARA MERGULHADORES.....	23
1.5 HISTÓRICO DE UTILIZAÇÃO DO SISTEMA.....	24
1.6 DEFINIÇÕES DE PRECISÃO:.....	24
1.6.1 PRECISÃO ABSOLUTA	24
1.6.2 PRECISÃO DE REPETIÇÃO	25
1.6.3 PRECISÃO RELATIVA.....	25
2 COMPONENTES DOS SISTEMAS ACÚSTICOS	25
2.1 MONITOR	25
2.2 PROCESSADOR	26
2.3 TRANSEPTOR	26
2.3.1 TRANSEPTORES DE DISTÂNCIA	26
2.3.2 TRANSEPTORES DE DISTÂNCIA E MARCAÇÃO	27

2.3.3 THROUGH HULL TRANSCIEVER DEPLOYMENT MACHINE.....	27
2.3.4-OVER THE SIDE POLE.....	28
2.4 HYDROFONE	29
2.5 PINGER	29
2.6 TRANSPONDER.....	29
2.7 RESPONDEDOR.....	29
2.8 TRANSDUTOR.....	30
3-TIPOS DE SISTEMAS ACÚSTICOS.....	31
3.1 LONG BASELINE SYSTEM.....	31
3.2 SHORT BASELINE SYSTEM.....	33
3.3 ULTRA-SHORT BASELINE SYSTEM E SUPER SHORT BASELINE SYSTEM	34
3.4 COMBINAÇÃO ENTRE DIFERENTES SISTEMAS:	36
3.5 SISTEMAS MULTI-USUÁRIO:.....	36
3.6 GPS INTELIGENT BUOYS (GIB).....	37
4-FONTES DE ERRO PARA UM SISTEMA ACÚSTICO DE POSICIONAMENTO. 38	
4.1 TEMPO DE RETORNO DOS EQUIPAMENTOS ELETRÔNICOS.....	38
4.2 DISPERSÃO E ABSORÇÃO DO SOM NA COLUNA DE ÁGUA	39
4.3 TRAJETO FEITO PELO SOM NA ÁGUA.	41
4.3.1 DIFICULDADE PARA SE ESTIMAR A VELOCIDADE DO SOM NA COLUNA DE ÁGUA.....	41
4.3.2 CDT: CONDUCTIBILITY DEPTH AND TEMPERATURE INSTRUMENT	41
4.3.3 SOUND VELOCITY PROFILER.....	42
4.4 RUÍDO	43
4.4.1 RUÍDOS DO AMBIENTE.....	44

4.4.2 RUÍDOS DE PROPULSÃO.....	44
4.4.3 RUÍDOS DA MÁQUINA	44
4.4.4 RUÍDOS DO ESCOAMENTO.....	44
4.5 FORMAS DE MINIMIZAR OS EFEITOS DO RUÍDO:	45
4.6 REVERBERAÇÃO DO SOM	46
4.6.1 REVERBERAÇÃO NAS ESTRUTURAS.....	47
4.7 LINHAS DE VISADA.....	47
4.8 ZONAS DE SOMBRA	48
5 WIDEBAND SIGNALS	49
5.1 TONE SIGNALS	49
5.2 WIDEBAND SIGNALS	49
5.3 DETECÇÃO DE SINAIS:	50
5.4 TÉCNICA DE CORRELAÇÃO DE CÓDIGOS	50
5.5 VANTAGENS EM UM AMBIENTE COM MUITA PROPAGAÇÃO DE RUÍDOS	52
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	56
7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	57

INTRODUÇÃO

Muito se fala dos atuais Sistemas GNSS utilizados pelos operadores de posicionamento dinâmico empregados no cenário contemporâneo de exploração de petróleo no mar. Uma importante questão levantada é a possibilidade de falha no GPS e a consequente falta de um referencial de posição para a embarcação. Dentro dos dispositivos utilizados para prover essa redundância estão o Radarscan, Funbean e os dispositivos acústicos de posicionamento. Este trabalho tem como objetivo se aprofundar nesse último recurso apresentado expondo as suas características, modo de funcionamento e principalmente a sua importância dentro dos sistemas de posicionamento.

Saindo da redundância dos sistemas DP, estão outras aplicações igualmente interessantes para estes dispositivos. Podem ser utilizados juntamente com ROVs ou até mesmo junto com mergulhadores em configurações especiais que serão explicadas mais a diante.

Sendo de suma importância para o desenvolvimento das atividades relacionadas à exploração de petróleo em vários de seus seguimentos, os sistemas acústicos não podem ser negligenciados por todos aqueles que estão de envolvidos nesta atividade. Sem entrar em conceitos muito técnicos, o intuito deste trabalho é proporcionar uma referência para o entendimento das várias modalidades de sistemas acústicos de posicionamento, seus empregos, seus usos, técnicas utilizadas e seus limites de utilização.



1 TELEMETRIA ACÚSTICA

Os sistemas acústicos de posicionamento medem posições relativas a equipamentos denominados transponders. Os transponders devem ser instalados anteriormente à operação que será realizada. Por exemplo, esses equipamentos devem ser posicionados antes da instalação de uma planta de exploração no fundo do mar, antes de se dar início a uma operação de busca por submarinos, antes da instalação de uma linha submarina, etc. As distâncias e marcações desses transponders em relação a um sistema global de referência ou mesmo entre eles devem ser marcadas com precisão, pois é justamente a partir dessas distâncias que serão tiradas as posições de todos os elementos que se utilizem desta referência. Alguns equipamentos realizam essa tarefa utilizando um sistema automático de busca ou mesmo um GPS.

O sistema como um todo possui um funcionamento bem simples. De uma forma geral, ele utiliza o tempo de viagem de um sinal acústico na água para determinar a distância do casco do navio até balizas localizadas no fundo do mar. O sistema pode ser operado em três modos de operação distintos:

1.1 MODO TRANSPONDER

Um sinal acústico de interrogação é emitido por um aparelho denominado transceptor (transducer) que é localizado no casco de uma embarcação ou montado sobre um ROV por exemplo. Esse sinal viaja pela coluna de água até chegar a dispositivos chamados transponders localizados no fundo do mar que irão responder a esse estímulo acústico e enviar um sinal para o mesmo transceptor localizado no casco da embarcação. O tempo que o som leva desde a emissão até a recepção é calculado através de uma técnica chamada em inglês de “time of flight” que nada mais é do que utilizar os princípios da cinemática para calcular a distância entre o aparelho localizado no casco da embarcação e cada um dos transponders localizados no fundo do mar. Para isso, é necessário que cada transponder responda com um som diferente para cada transceptor. Através da determinação das distâncias em relação a três transponders de referência ou à marcação e distância de somente um, podemos calcular a posição exata do navio. É o modo mais comumente empregado, porém, se trata do mais suscetível à interferências uma vez que depende do tempo de viagem do sinal na ida e na volta.

1.2 MODO DE OPERAÇÃO PINGER:

No modo de operação Pinger, a baliza localizada no fundo do mar se caracteriza por um pinger que emite pulsos sonoros a intervalos regulares com frequência e comprimentos conhecidos. No casco do navio, estará montado um equipamento transceptor com três receptores independentes que receberão o pulso do fundo do mar. A marcação deste transceptor em relação ao Pinger localizado no fundo será então calculada através de uma técnica conhecida como comparação de fase entre os três elementos receptores.

1.3 MODO DE OPERAÇÃO RESPONDER

Neste modo de operação, não se utiliza o tempo de retorno e envio do sinal acústico. É utilizado com dispositivos que possuem uma comunicação por cabo com o navio. Um sinal elétrico é enviado ao responder que então envia um sinal acústico para o navio. Somente o tempo em que o sinal leva para viajar entre o responder e o navio é calculado. Esta configuração é particularmente interessante quando se trata de dispositivos associados a muito ruído como ROVs, pois não existe o risco do estímulo acústico não ser detectado.

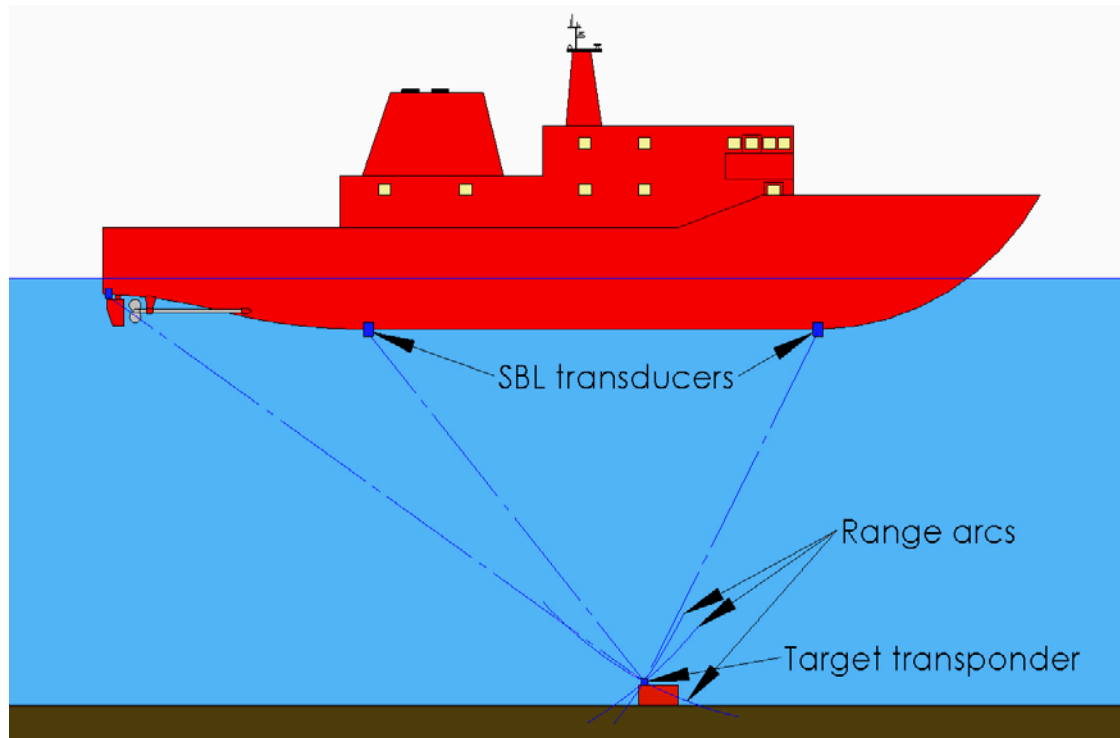


Figura 1: Transceptores operando em relação a somente um transponder em um sistema SBL

1.4 APLICAÇÕES DO SISTEMA

Já é conhecido de muitos que o som se propaga muito melhor na água. Esse simples fato físico explica onde estão praticamente todas as aplicações dos sistemas acústicos de posicionamento. Eles encontram uma infinidade de aplicações nos trabalhos submarinos que variam enormemente nos vários segmentos da indústria desde pesca passando por oceanografia, exploração de petróleo e até sistemas bélicos de guerra submarina.

1.4.1 POSICIONAMENTO DINÂMICO

Os sistemas acústicos geralmente são utilizados juntamente com os sistemas de posicionamento dinâmico. Podem auxiliar em diferentes funções como monitorar um submersível e acompanhá-lo no fundo do mar, servir como uma segunda fonte de referência para o sistema de posicionamento além do GPS ou proporcionar informações precisas sobre o posicionamento de ROVs, navios e outras estruturas na instalação de plantas submarinas como, por exemplo, linhas de transmissão, plantas de exploração de petróleo e levantamentos arqueológicos em cascos soçobrados.

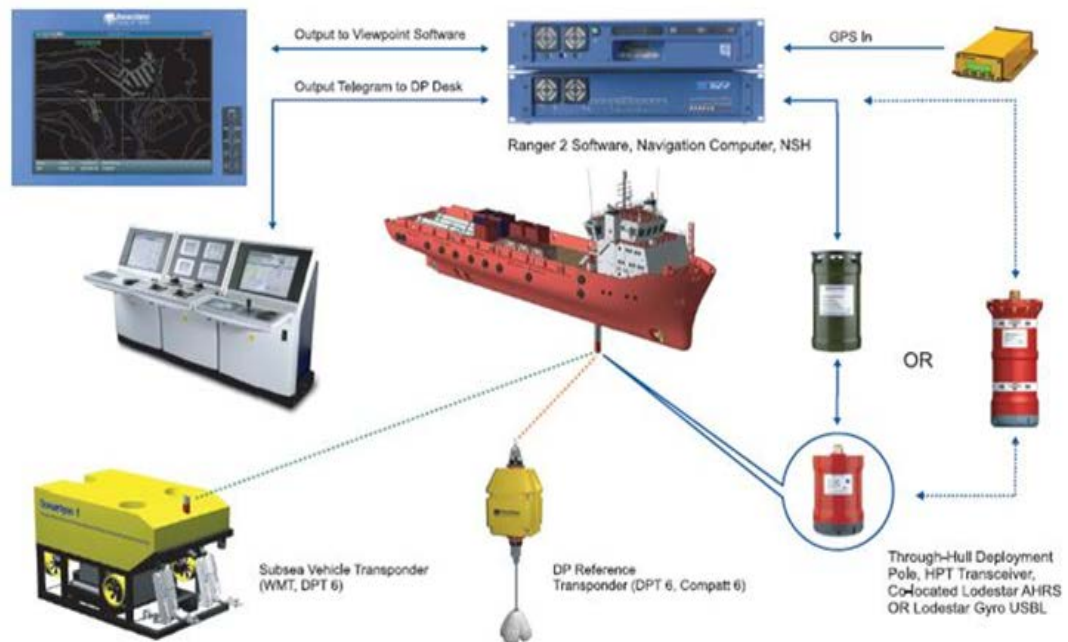


Figura 2 Sistema Range 2 da empresa Sonardyne. Exemplo de aplicação dos sistemas acústicos nas operações offshore

1.4.2 PESQUISAS SÍSMICAS

Explorações submarinas envolvem grandes arranjos de cabos e hidrofones que necessitam ser posicionados com precisão em ambientes caracterizados por grande quantidade de ruídos. Sondas são posicionadas na extremidade de cabos longos que muitas vezes não podem ser acompanhados visualmente do navio sísmico. Dispositivos acústicos são utilizados então para informar ao passageiro a posição exata das várias sondas empregadas pelo navio na água.



Figura 3 Navio sísmico realizando pesquisa com longa rede de cabos e hidrofones

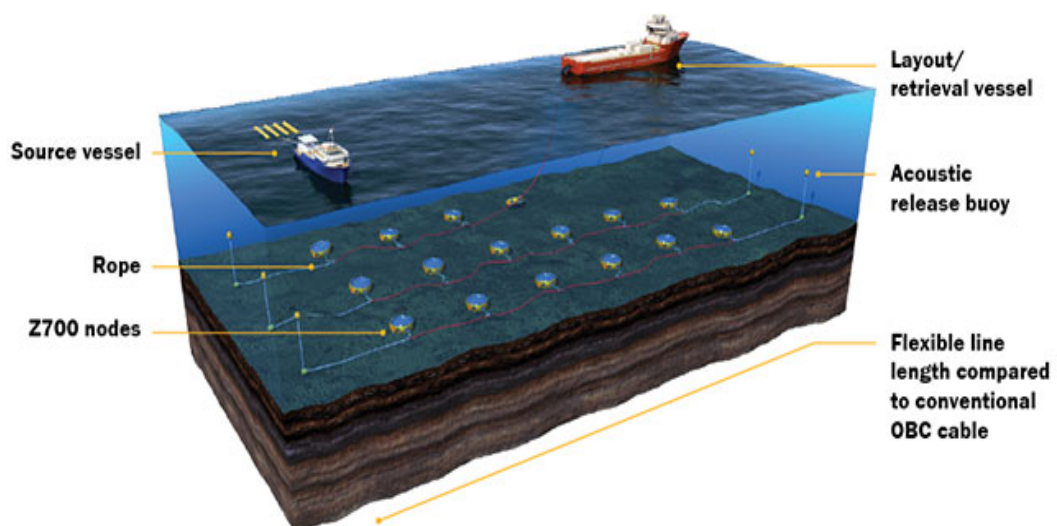


Figura 4 Dispositivos de pesquisa utilizando sistemas de posicionamento e transmissão acústica de comandos e informações

1.4.3 USO MILITAR

Assim como os navios offshore e plataformas de petróleo necessitam de um sistema sobressalente para se localizarem no mar, os submarinos nucleares lançadores de mísseis balísticos demandam uma posição precisa para a realização de suas atividades. Ao lançar um míssil, por exemplo, é necessário conhecer a posição precisa do lançamento para que se possa calcular corretamente a trajetória em direção ao alvo final. Sendo assim, os sistemas acústicos de posicionamento são empregados por dois motivos principais: o primeiro se refere à natureza da própria navegação realizada muitas vezes a grandes profundidades e sob espessas camadas de gelo. O segundo motivo se refere à própria natureza militar do navio, pois, o seu sistema GPS poderá ser inutilizado a qualquer momento deixando o navio sem meios para a operação.



Figura 5 Submarino também necessita de um sistema auxiliar de posicionamento para dar suporte às operações de lançamento de mísseis.

Os sistemas acústicos também são utilizados para testes de bombas guiadas no mar como será explicado mais a frente neste trabalho.

1.4.4 PESQUISAS

Identificar corretamente a posição de um objeto submerso é uma tarefa fundamental também para as pesquisas submarinas. Frequentemente, cuidadosos trabalhos de levantamento são realizados no solo marinho. Esses necessitam que todo o sítio de trabalho seja corretamente demarcado para que as etapas da tarefa sejam cumpridas em sucessivos

mergulhos. A melhor forma de se obter posição nesses casos é através dos dispositivos acústicos.

Um exemplo bem interessante desta aplicação acontece com ROVs empregados em pesquisas sob o gelo na Antártica em um sistema SBL. Uma rede de transceptores é instalada na camada de gelo acima do local onde ocorrerão as pesquisas. Desta forma, o equipamento de pesquisa submerso poderá ser facilmente detectado abaixo da espessa camada de gelo.

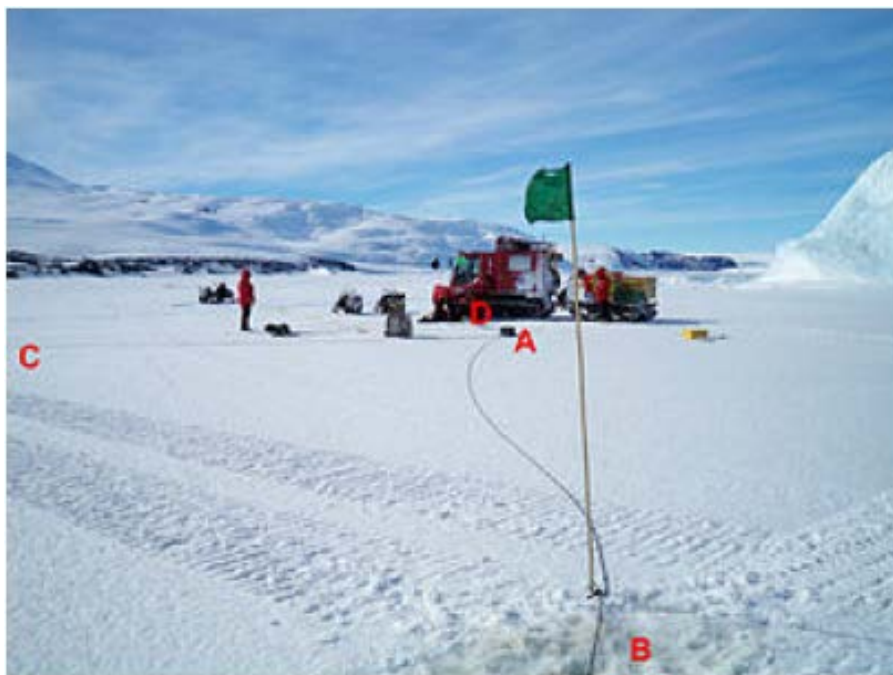


Figura 6 Exemplo do emprego de uma rede de transceptores na superfície do gelo. Os pontos representados pelas letras A, B e C formam uma disposição triangular cobrindo toda a área a ser pesquisada.

1.4.5 INDÚSTRIA PESQUEIRA

Os sensores acústicos de posição também podem ser empregados para se determinar o comportamento de uma rede de pesca depois de lançada na água. Sensores são posicionados em cada extremidade da rede e estes geram informações de posição que são enviadas para um monitor. Desta forma, o operador possui uma noção exata do comportamento da rede ao ser arrastada na água.



Figura 7 Uso dos sistemas de posicionamento na atividade pesqueira. Os pontos A, B, C e D representam as extremidades da rede de pesca.

1.4.6 REFERÊNCIA PARA MERGULHADORES

Existem situações em que os mergulhadores necessitam conhecer a sua posição no fundo por razões de segurança ou próprias do trabalho. Neste caso, são empregados sistemas de posicionamento mais simples, porém, eles utilizam a mesma configuração LBL.



Figura 8 Sistema de posicionamento LBL utilizado por mergulhador

De uma forma geral, os sistemas de posicionamento são empregados sempre que se deseja conhecer a posição precisa de um objeto localizado no fundo ou na superfície do mar. Esses sistemas são empregados frequentemente em longas operações no leito marinho, pois, desta forma é possível voltar à mesma posição em sucessivos mergulhos.

1.5 HISTÓRICO DE UTILIZAÇÃO DO SISTEMA.

A primeira utilização conhecida dos sistemas acústicos de posicionamento refere-se ao seu uso em uma operação de busca militar. Um sistema com a configuração SBL foi instalado em um minisubmarino de busca operado a partir do navio oceanográfico USNS Mizar em uma operação de resgate do submarino nuclear americano USS Thresher. Este foi perdido no dia 10 de abril de 1963 em águas com profundidade de 2560 metros. A bordo do USNS Mizar havia o minisubmarino Trieste 1. Entretanto, a tecnologia da época era ainda incipiente. Somente foi possível estabelecer contato visual um vez em dez mergulhos realizados pelo Trieste 1.



Figura 9 Minisubmarino Trieste 1 equipado com um sistema de posicionamento acústico tipo SBL

Outro sistema acústico foi utilizado posteriormente em 1966 como um auxílio para a busca e consequente recuperação de uma bomba nuclear perdida com a queda de um avião bombardeiro americano B-52 na costa espanhola. Esses foram os primeiros usos práticos relatados sobre os sistemas de posicionamento.

1.6 DEFINIÇÕES DE PRECISÃO:

As seguintes definições de precisão devem ser cuidadosamente entendidas para que se possa observar uma das principais qualidades em um sistema acústico: a precisão relativa.

1.6.1 PRECISÃO ABSOLUTA

A precisão absoluta refere-se à precisão de localização tendo como referência algum sistema fixo como as coordenadas cartesianas e o sistema geodésico da terra. Como os

sistemas acústicos não possuem referências globais ou em grandes áreas, a sua precisão absoluta dependerá sempre da precisão de outro sistema global de referência como o GPS.

1.6.2 PRECISÃO DE REPETIÇÃO

A precisão de repetição refere-se basicamente à precisão que um navegante obtém ao retornar a alguma posição anterior utilizando o mesmo sistema de navegação. Como por exemplo, um navegador sai de uma posição determinada, realiza manobras e volta para uma posição onde se lêem as coordenadas do ponto inicial. A diferença entre esta posição final e a posição inicial é que pode ser chamada de precisão de repetição.

1.6.3 PRECISÃO RELATIVA

A precisão relativa diz respeito à precisão da posição de um objeto em relação a outro objeto que esteja usando o mesmo sistema de referência de posição. Esta precisão é particularmente interessante nas zonas de exploração de petróleo, uma vez que ela representa exatamente a precisão na determinação das distâncias entre os elementos flutuantes. Os sistemas acústicos de posicionamento proporcionam uma precisão relativa muito boa, principalmente o Long Baseline System que será explicado mais a frente.

2 COMPONENTES DOS SISTEMAS ACÚSTICOS

2.1 MONITOR

O monitor serve como uma interface entre o operador DP e o Sistema. Nele são mostrados menus e informações com respeito à posição do navio.

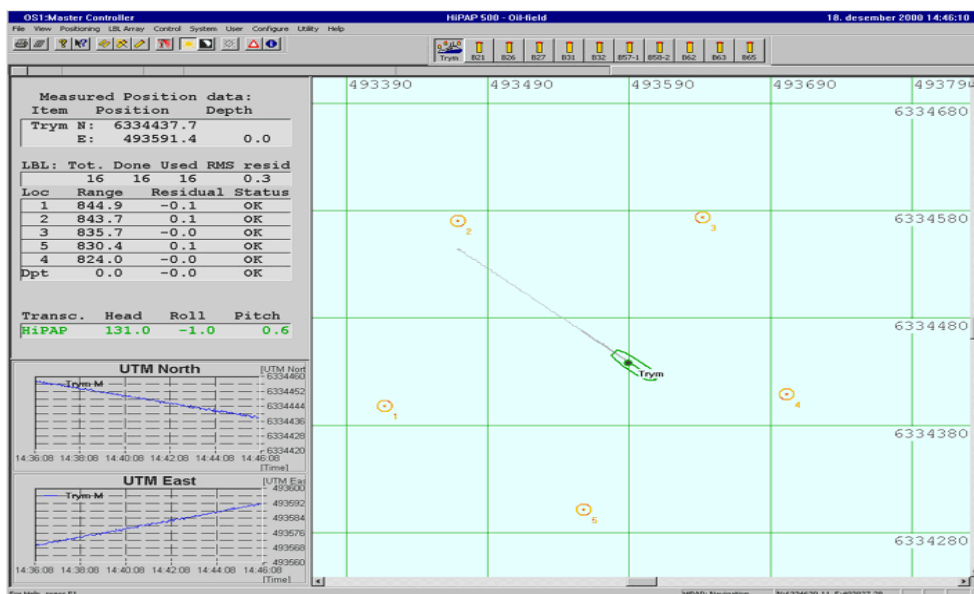


Figura 10 APOS Acoustic Positioning Operational Station. Software desenvolvido pela Kongsberg servindo de interface entre o sistema e seu operador.

2.2 PROCESSADOR

Unidade central de processamento que recebe os dados dos transeptores e envia as informações e comandos gráficos para o monitor. É também o processador que recebe a informação da agulha giroscópica e da unidade de referência vertical. É o processador que envia informações para o DP desk, a principal interface entre todo o sistema e o operador DP.

2.3 TRANSEPTOR

São os instrumentos localizados nos cascos dos navios. Estes recebem informações e energia do processador e as transmite através da coluna de água. Da mesma forma, é capaz de receber dados dos transponders localizados no fundo do mar. Os transeptores podem ser divididos em dois tipos principais:

2.3.1 TRANSEPTORES DE DISTÂNCIA

Transeptores de distância são utilizados nos sistemas LBL e SBL. São projetados somente para receber o sinal acústico dos transponders no fundo do mar.

2.3.2 TRANSCÉPTORES DE DISTÂNCIA E MARCAÇÃO

Utilizados nos sistemas USBL. São projetados para receber o sinal dos transponders em três pontos principais. A partir das informações coletadas nesses três pontos, é possível determinar a distância e marcação do transponder localizado no fundo do mar.

Os transceptores podem ser divididos em:

2.3.3 THROUGH HULL TRANSCÉIVER DEPLOYMENT MACHINE

É uma forma de instalação do transceptor em que este é posicionado sobre um bastão rígido que é movimentado através de uma válvula no casco do navio. A haste de metal é içada ou arriada através de mecanismos hidráulicos que são acionados através do interior do casco do navio ou dos controles do passadiço. O comprimento da haste para fora do casco depende fundamentalmente da velocidade do navio e vai depender também das características do transceptor. A haste utilizada deve ser de material muito resistente para suportar os vórtices gerados pelo seu deslocamento no interior da água.

Há projetos disponíveis em que existe uma caixa na parte de dentro do casco para onde o transceptor pode ser recolhido para inspeções. Esse sistema é particularmente interessante, pois, não há necessidade de docar o navio para inspeções e tarefas de manutenção.



Figura 11 Imagem mostrando uma válvula do duto do transceptor através do casco à esquerda e controle manual do mecanismo da haste de metal

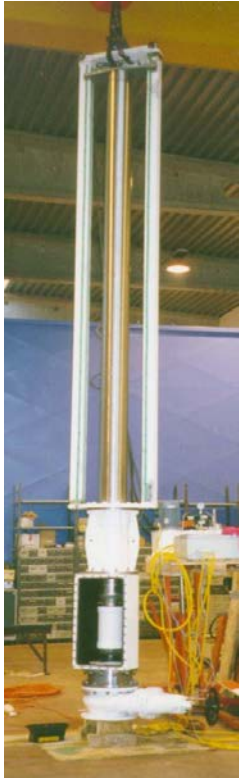


Figura 12 Haste de metal sobre a qual foi montado o transceptor. É possível observar o transceptor na parte de baixo da imagem em uma caixa especial para manutenção.

2.3.4-OVER THE SIDE POLE

Transceptor montado sobre uma estaca instalada em um dos bordos da embarcação. É empregado quando não é possível a instalação através do casco do navio.



Figura 13 Over the side pole. É arriado no mar quando o sistema acústico é utilizado.

2.4 HIDROFONE

Hidrophone é um equipamento utilizado somente na recepção de pulsos, logo é utilizado somente um sistema baseado em pulsos. Desta forma, hidrofones montados sob o casco da embarcação podem ser utilizados com sistemas SBL e USBL.

2.5 PINGER

O pinger é um instrumento que transmite pulsos em uma conhecida taxa de repetição, a uma determinada largura de pulso e a uma determinada frequência.

2.6 TRANSPONDER

O transponder responde a um sinal acústico vindo da superfície. A sua resposta é também em forma de um sinal acústico.

Existe ainda outro tipo de equipamento denominado transponder inteligente que contém um microprocessador inserido. O transponder mantém um link com a superfície por meio do qual seus parâmetros podem ser modificados.

Como o transponder necessita responder aos pulsos de interrogação provenientes da superfície, esse equipamento necessita de uma alimentação de energia. Essa energia provém de baterias que são instaladas junto ao transponder no fundo do mar. Por isso, é necessário que ele seja trazido à superfície do mar para manutenção periodicamente.

2.7 RESPONDEDOR

Dispositivo projetado para responder acusticamente a partir de um estímulo elétrico. Geralmente é utilizado com equipamentos que por si mesmo produzem algum tipo de ruído como ROVs. O ruído poderia dificultar a recepção do estímulo acústico como um transponder. Entretanto, é necessário que haja uma ligação física entre o ROV e o navio. Esta ligação ocorre através do cabo umbilical. Desta forma, um pulso elétrico é enviado ao robô através deste fio e o respondedor responde a esse estímulo elétrico na forma de uma onda acústica. O intervalo de tempo de viagem desta onda acústica até o casco do navio é então medido e a partir dele a distância é calculada. Neste caso, o sinal acústico viaja somente do respondedor até o casco do navio.

2.8 TRANSDUTOR

Elemento capaz de converter um sinal elétrico em um sinal acústico e vice-versa. Todo transdutor deve estar montado de acordo a oferecer um bom campo de visão para os outros transdutores que estejam operando com ele. Todo transmissor e transponder acústico tem um transdutor inserido.

3-TIPOS DE SISTEMAS ACÚSTICOS

Há basicamente três tipos diferentes de sistemas acústicos utilizados atualmente. Cada um apresenta as suas vantagens e desvantagens e a sua escolha está relacionada à aplicação final do projeto. A diferença entre estes sistemas está basicamente nas suas linhas de base.

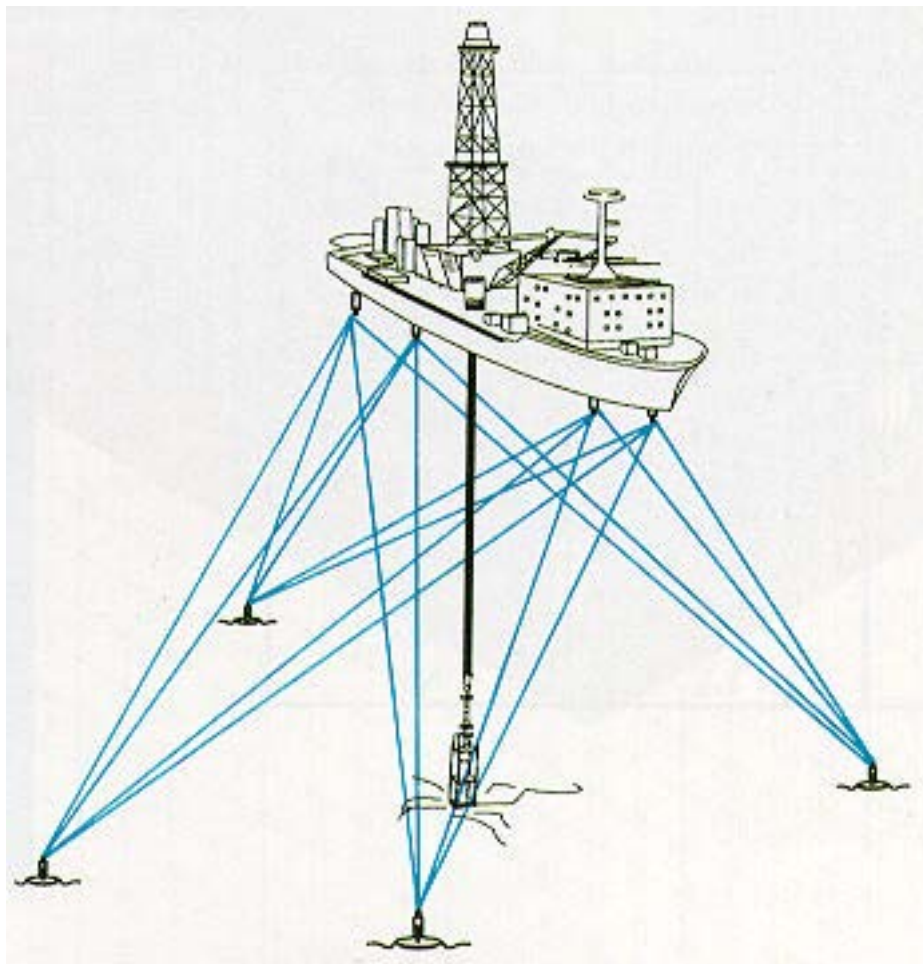


Figura 14: Uso de diferentes sistemas acústicos no mesmo navio

3.1 LONG BASELINE SYSTEM

O Sistema é composto por três ou mais transponders instalados no fundo do mar e um transceptor instalado na parte de baixo do casco do navio. O transceptor localizado no navio transmite um pulso sonoro que é refletido por cada um dos transponders no fundo do mar. Através da telemetria acústica, a distância entre o transceptor e cada transponder é calculada. Com a interseção das distâncias consideradas, se obtém a posição precisa do navio. O sistema pode operar nos modos responder ou transponder.

Como o sistema não necessita de nenhuma informação com relação ao ângulo em que o sinal é recebido, deformações no sinal como a refração e a difração tem menor interferência na determinação da posição que outros sistemas. Sendo assim, esta configuração é considerada a mais precisa entre as três apresentadas.

Vantagens do Long Baseline System:

- a) Boa precisão de posicionamento independentemente da profundidade
- b) Redundância de observação uma vez que são utilizados três ou mais transponders no fundo do mar
- c) O sistema necessita de somente um transdutor montado no casco da embarcação.
- d) O sistema pode promover boa precisão sobre grandes áreas de trabalho.

Desvantagens do Long Baseline System:

- a) São necessários operadores especializados para operar o Sistema.
- b) São necessárias estruturas de balizas no fundo do mar que requerem investimentos maiores que os outros esquemas de posicionamento.



Figura 15 Exemplo de aplicação de um Long Baseline System

3.2 SHORT BASELINE SYSTEM

O sistema é composto por uma baliza localizada no fundo do mar e três ou mais transceptores localizados na parte inferior do navio. A intervalos de tempo regulares, o transceptor emite pulsos de som. O processador determina a marcação da baliza localizada no fundo do mar através de intervalos de tempo de recepção dos pulsos refletidos em cada um dos receptores a bordo dos navios.

A posição medida é a posição de um transceptor localizado no casco da embarcação. Assim como ocorre nos sistemas receptores de GPS, a posição do sensor pode variar em relação à posição real do navio. Portanto, este sistema é afetado seriamente pelos movimentos do navio como o caturro (pitch) e o balanço (roll). Sendo assim, são necessários sensores do movimento vertical do navio.

Uma aplicação interessante para essa configuração ocorre com o emprego de ROVs. A baliza pode ser montada sobre o casco de um minisubmarino ao invés de ser posicionada no fundo do mar. Desta forma, a posição calculada é a do minisubmarino em relação ao casco do navio.

Aqui não se utilizou a denominação de transponder e simplesmente baliza para o equipamento localizado no fundo do mar. Isso acontece porque o sistema SBL pode operar em três modos principais: Pinger, Transponder, Responder

Vantagens do Short Baseline System:

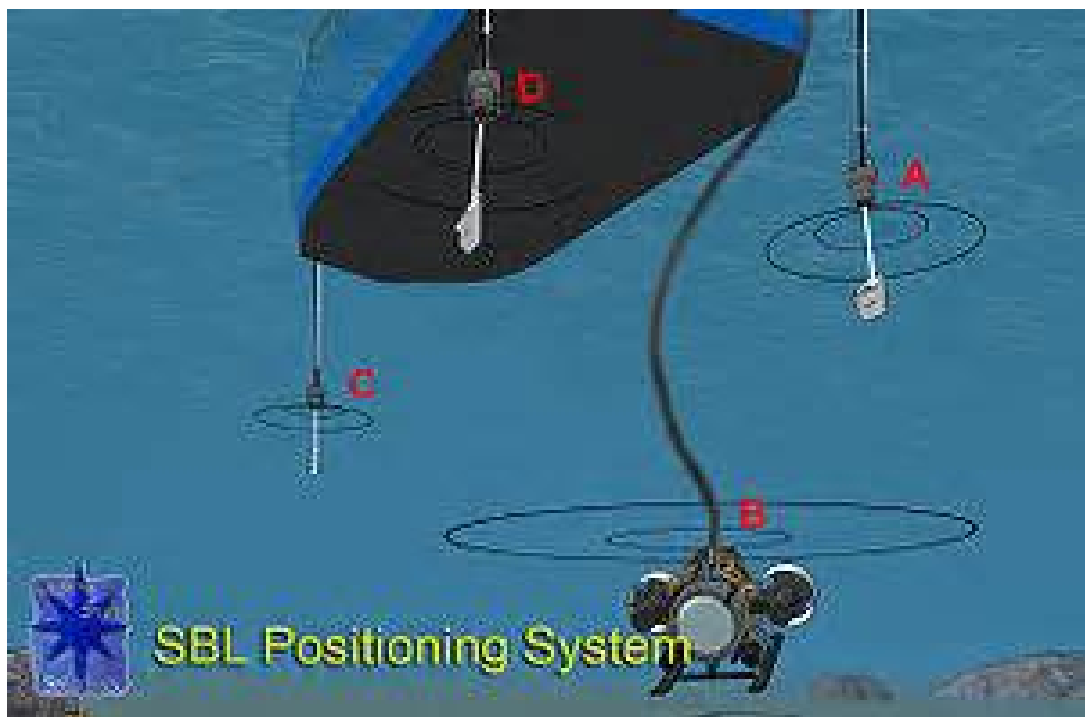
- a) Baixa complexidade do Sistema o torna uma ferramenta fácil para uso.
- b) Boa taxa de atualização quando utilizado com o sistema de pulso
- c) O sistema é baseado no navio. Há necessidade de se instalar somente um transponder no fundo do mar.
- d) O sistema apresenta boa redundância por sua própria natureza uma vez que possui mais de um transceptor localizado no casco do navio.

Desvantagens do Short Baseline System:

a) Quanto maior a distância entre os transceptores, maior será a precisão do sistema. Por isso, essa configuração é utilizada preferencialmente em navios com comprimento razoável.

b) O sistema necessita de uma estrutura de calibração muito boa durante as operações em dique seco.

c) Esta configuração requer outros dispositivos para garantir a sua precisão como a agulha giroscópica e o sistema vertical de referência



3.3 ULTRA-SHORT BASELINE SYSTEM E SUPER SHORT BASELINE SYSTEM

Sistemas de posição que possuem funcionamento similar ao SBL. Porém, nesta configuração temos todos os transceptores montados em um único equipamento. Todos os transceptores são montados sob uma haste no próprio casco da embarcação e no fundo do mar é instalado apenas um único equipamento. Isso contribui para um menor custo para a instalação do sistema. Como as distâncias entre os transceptores são muito pequenas, o erro na medição do tempo torna-se muito sensível. A distância é medida pelas técnicas de telemetria acústica convencional. Porém, a comparação da fase determina a marcação da baliza em relação ao navio. O sistema pode operar nos modos Pinger, Transducer e Responder.

Assim como o SBL, a posição marcada pelo sistema tem como referência um transceptor localizado na parte do casco da embarcação. Por isso, o sistema precisa de uma unidade de referência vertical (VRU), e agulha giroscópica.

Vantagens do Ultra Short Baseline System:

a) A sistema não é relativamente muito complexo, o que o torna uma ferramenta fácil de posicionamento

b) Há necessidade de somente uma estaca montada sobre o casco do navio.

Desvantagens do Ultra Short Baseline System:

a) O sistema deve ser detalhadamente calibrado

b) A precisão absoluta na determinação da posição do navio depende de outros dispositivos como a agulha giroscópica e o sistema de referência vertical

Apesar deste sistema apresentar o maior erro entre as três configurações, ele é frequentemente empregado devido à sua versatilidade. É particularmente interessante para aplicações mais simples como a determinação da posição de ROVs e mergulhadores.

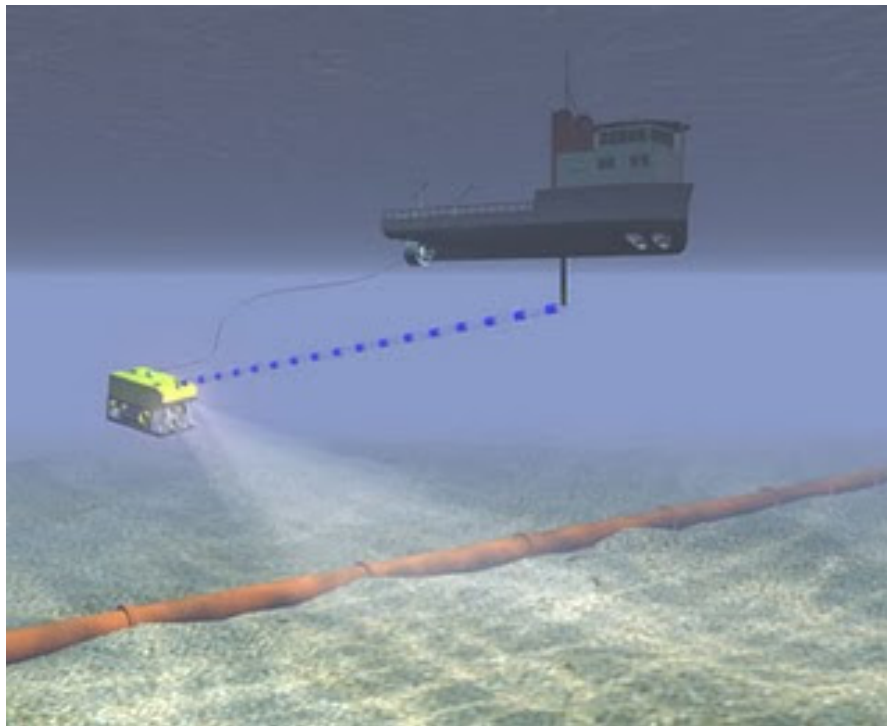


Figura 16 Exemplo de aplicação de um sistema tipo Ultra Short Baseline System

3.4 COMBINAÇÃO ENTRE DIFERENTES SISTEMAS:

A combinação entre os sistemas descritos acima pode incorporar os benefícios representados por cada um deles. Existem diferentes formas de se combinar esses sistemas:

- Long Baseline e Ultra Short Baseline
- Long Baseline e Short Baseline
- Short Baseline e Ultra short Baseline
- Long Baseline, short Baseline e ultra-short Baseline

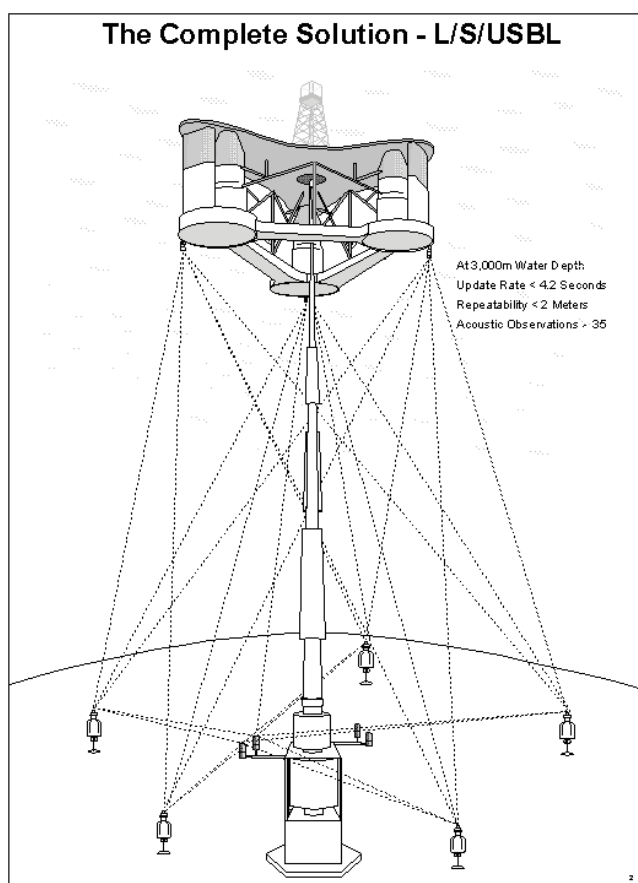


Figura 1 Exemplo de utilização de mais de um sistema acústico na mesma plataforma.

3.5 SISTEMAS MULTI-USUÁRIO:

Existem situações em que mais de um navio operam sistemas de posicionamento dinâmico ao mesmo tempo e na mesma zona de trabalho. Isso se torna comum em zonas de exploração de petróleo onde podem ser encontrados navios lançadores de linha, navios sonda e ROVs. Quando muitos navios operam na mesma zona, podem ser geradas interferências

entre os sistemas uma vez que os canais de informação não provêm larguras de banda suficientes para que todos os sistemas operem sem interferências. Algumas técnicas foram desenvolvidas para solucionar esse problema:

- única baliza localizada no fundo do mar para se comunicar com todos os navios.
- único navio na superfície usando o sistema acústico e outros navios utilizando rádio-telemetria com relação a este para se posicionar.
- mais canais com uma mesma banda utilizando métodos diferentes de processamento de sinal. Conhecido atualmente como processamento digital de sinal. Será explicado no último capítulo deste trabalho.
- uso de diferentes bandas para transmissão de sinal

3.6 GPS INTELLIGENT BUOYS (GIB)

As boias inteligentes de posicionamento são equipadas com um receptor GPS e com transceptores na sua parte inferior. São empregadas para o acompanhamento de sistemas de armas em alto mar. Primeiramente, é posicionada uma rede de bóias inteligentes ao redor da área onde serão realizados os testes com o armamento. Um torpedo utilizando um dispositivo do tipo pinger, ou até mesmo uma bomba de queda livre, poderá ser localizado partir do seu impacto com a superfície do mar gerando um sinal sonoro característico. O tempo de recepção deste sinal em cada uma das bóias é medido e em seguida é enviado para uma unidade central de controle onde a posição exata e o instante do impacto serão calculados.

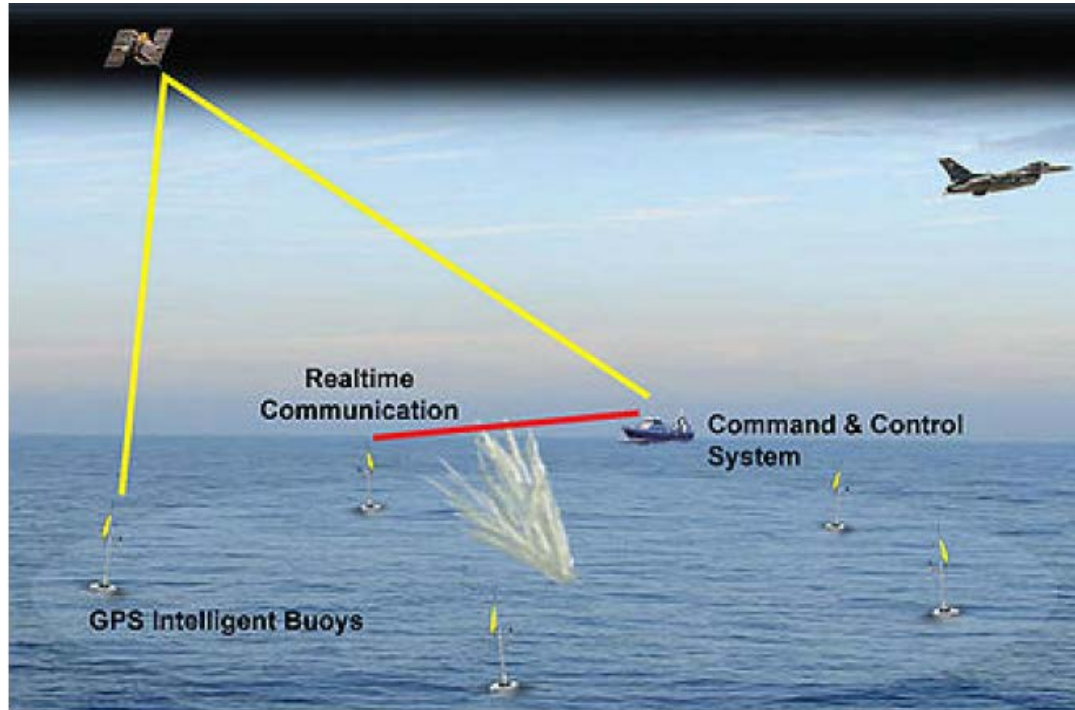


Figura 17 Uma rede de bóias inteligentes empregadas para detectar o local de impacto de um artefato na água.

4-FONTES DE ERRO PARA UM SISTEMA ACÚSTICO DE POSICIONAMENTO.

A seguir serão apresentados alguns fatores mais determinantes para a ocorrência de falha de posicionamento.

4.1 TEMPO DE RETORNO DOS EQUIPAMENTOS ELETRÔNICOS

Como já explicado anteriormente, os sistemas acústicos funcionam a partir da determinação precisa do tempo que um sinal acústico de um objeto submerso ou navio leva para alcançar as balizas localizadas no fundo do mar. Para que a determinação da distância e conseqüentemente a determinação da posição sejam precisas, é necessário que se empregue outros sistemas avançados para que se determine com a máxima acurácia possível o intervalo de tempo considerado. Portanto, a confiabilidade e a precisão de um sistema acústico dependem principalmente da sua capacidade de determinar pequenos intervalos de tempo. Entretanto, o tempo que uma onda sonora leva para ir de um equipamento ao outro não é puramente o tempo entre a emissão do sinal e a sua resposta. São necessários alguns

milissegundos deste intervalo para que o sinal seja gerado, interpretado pela baliza de referência e finalmente seja detectado pelo transceptor do navio. Este tempo subtraído do tempo de viagem do sinal acústico é denominado em inglês de “turn around times”.

Na prática, não é a quantidade de tempo decorrida para essas operações que determinam a qualidade de um sistema. Os aparelhos podem ter um grande “turn-around time” desde que sejam corretamente medidos e determinados pelas operações de calibração.

4.2 DISPERSÃO E ABSORÇÃO DO SOM NA COLUNA DE ÁGUA

Toda onda viajando por um meio sofre a influência de dois fenômenos: a absorção e a dispersão. Com o som na água não é diferente. À medida que o som se propaga na água, a sua intensidade sonora vai diminuindo. Isso acontece porque a potência da fonte inicial vai se dispersando pela superfície de uma esfera imaginária com raio r a partir da fonte pontual de som (transponder ou transceiver). A equação da intensidade do som segue então:

$$I = \frac{P_s}{4\pi r^2},$$

Esta equação nos mostra claramente que a intensidade sonora é inversamente proporcional ao quadrado do raio entre o receptor (transceptor) e o emissor (Transponder).

O segundo fenômeno muito importante para o entendimento dos sistemas acústicos está na absorção do som. Trata-se da simples absorção sofrida pela energia que acompanha o som quando este viaja através da coluna de água. É diretamente proporcional à distância entre o emissor e o receptor. O seu coeficiente tem relação com a frequência do sinal. Os valores mudam dependendo das condições da água, porém, a tabela abaixo exemplifica esta relação:

Frequency (kHz)	10	30	50	70	90
(dB/Km)	1	7	15	22	30

Figura 18 Tabela demonstrando a relação entre a frequência utilizada e o coeficiente de atenuação do sinal.

Esse coeficiente explica a limitação que os sinais acústicos têm em relação ao alcance dentro da água. A tabela a seguir demonstra bem essa relação:

	Frequency Range	Maximum range*
Low Frequency (LF)	8 kHz to 16 kHz	>10km
Medium Frequency (MF)	18 kHz to 36 kHz	2km to 3.5km
High Frequency (HF)	30 kHz o 60 kHz	1,500m
Extra High Frequency (EHF)	50 kHz to 110 kHz	<1,000m
Very High Frequency (VHF)	200 kHz to 300 kHz	<100m

*This assumes in band noise on the surface vessel, at the transceiver, to be less than 95 dB and the source level of the beacon to be >195 dB re 1µPa @ 1m.

Figura 19 Tabela demonstrando as relações entre raios máximos e as diferentes faixas de frequência do sinal.

“Low Frequency”: operação em grandes profundidades

“Medium Frequency”: problemas de recepção além de 3500 metros de profundidade

“Extra High Frequency”: problemas além de 800 metros de profundidade

“Very High Frequency”: problemas além de 100 metros de profundidade

Como se conclui da tabela acima, uma frequência de operação mais baixa possibilita um alcance maior. Entretanto, quanto menor a frequência de operação, menor será a precisão na medição das distâncias. Uma medição precisa em princípio seria condizente com o emprego de uma frequência mais alta na faixa de EHF. Porém, como a própria tabela demonstra, essa frequência não alcança grandes profundidades. Por isso seria difícil alcançar uma medição tão precisa em águas profundas. Com a tecnologia de modulação digital empregada atualmente, já é possível garantir grande precisão para o sistema utilizando-se frequências na faixa de LF, alcançando grandes profundidades. O conceito desta tecnologia será explicado no próximo capítulo. O resultado fica então:

$$PT = 20 \log D + KD$$

Onde:

PT: perda total do sinal

D: distância entre a fonte emissora e a receptora

K: coeficiente de atenuação em decibéis por quilômetro.

4.3 TRAJETO FEITO PELO SOM NA ÁGUA.

A ideia que muitos fazem de que o som percorre um caminho reto em um meio diferente do vácuo é fisicamente incorreta. Na verdade, a velocidade do som na água não é constante devido a fatores como a pressão, a salinidade de água e a temperatura. Sendo assim, para cada profundidade haverá uma velocidade diferente do som na coluna de água. Assim, é formado o gradiente de velocidade. É bem verdade que essa pequena variação não interfere significativamente nos sistemas de posicionamento utilizados em baixas profundidades. Porém, em profundas colunas de água onde a velocidade do som pode variar consideravelmente, o gradiente de velocidade pode interferir na precisão do sistema. Este tipo de erro é particularmente importante em sistemas SBL e USBL que trabalham com determinação de fase do sinal ou medições de ângulos.

4.3.1 DIFICULDADE PARA SE ESTIMAR A VELOCIDADE DO SOM NA COLUNA DE ÁGUA.

A velocidade do som na água não é constante como muitos pensam. De acordo com o livro Halliday, a velocidade de uma onda em um meio depende fundamentalmente de duas características que são a sua propriedade elástica e sua propriedade inercial. Tendo a água como meio de propagação da onda sonora, teremos a propriedade inercial representada pela massa específica da água. Já a propriedade elástica é representada por uma grandeza denominada módulo de elasticidade volumétrico. Esta grandeza nada mais é do que a relação entre a variação na pressão pela variação do volume de um meio. No caso da água, ambas as grandezas irão variar e conseqüentemente a velocidade do som na água não será constante.

4.3.2 CDT: “CONDUCTIBILITY DEPTH AND TEMPERATURE INSTRUMENT”

Não sendo a velocidade do som na água constante, necessita-se de meios para determiná-la com precisão no local do posicionamento das embarcações. Um aparelho utilizado é o CDT. Este equipamento é projetado para medir a condutibilidade da água, a sua temperatura e profundidade. Como esses dados podem variar com a profundidade, o CDT coleta-os à medida que vai sendo arriado através da coluna de água. Há equipamentos que podem coletar informações em até vinte e quatro vezes por segundo. Esses dados podem ser armazenados no próprio equipamento e coletados quando este retornar à superfície ou os dados podem ser transmitidos instantaneamente através de um cabo umbilical para a

superfície. Desta forma podem ser obtidas as características importantes da água em cada fração da coluna abaixo do navio. Assim, determina-se com precisão o gradiente de velocidade em toda a sua extensão.



Figura 20 CDT Conductivity Depth and temperature instrument

4.3.3 SOUND VELOCITY PROFILER

O Sound Velocity Profiler é um equipamento também utilizado para medir a velocidade do som na água. Porém, se utiliza de um princípio mais simples e direto do que o utilizado pelo CDT. O sound profiler utiliza um princípio conhecido como “sing-around” utiliza um conjunto composto de um transceptor e um prato refletor posicionados a uma distância conhecida. O transceptor emite um pulso acústico que é refletido no prato e volta para o transceptor. O equipamento mede o tempo necessário para o som percorrer esse caminho conhecido e calcula-se a velocidade do som na região onde o aparelho se encontra. A partir de sucessivas medidas ao longo da coluna de água é possível determinar com boa precisão o gradiente de velocidade do som na água.

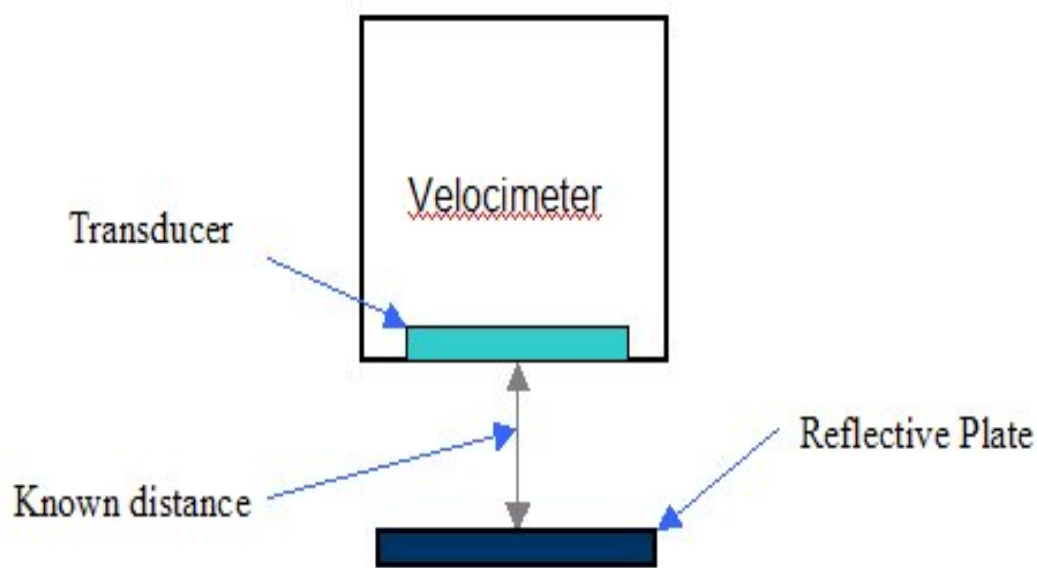


Figura 21 Princípio de funcionamento do velocímetro baseado no “sing-around principle”



Figura 22 Exemplo de velocímetro utilizado para medir a velocidade do som na água.

4.4 RUÍDO

Quanto maior ruído nos aparelhos de recepção, maior será a dificuldade para distinguir entre os sinais oriundos dos transponders no fundo do mar.

Os ruídos se distinguem em cinco grupos:

4.4.1 RUÍDOS DO AMBIENTE

São ruídos provenientes de fatores externos como chuvas, ondas, vento, tráfego de outras embarcações ao redor e elementos da vida marinha.

Geralmente, a relação entre esses tipos de ruídos na superfície e em águas profundas, onde teoricamente o ruído é bem menor, é de aproximadamente 9db. Porém, nas zonas de exploração de petróleo, esse valor pode crescer para 25 dbs.

4.4.2 RUÍDOS DE PROPULSÃO

Os ruídos provenientes da propulsão são causados principalmente pela cavitação nos propulsores da superfície. Os ruídos por propulsão são muito comuns nos ambientes de exploração do petróleo. Os propulsores de passo controlável produzem mais ruído que os de passo fixo normalmente. Os ruídos provenientes de propulsão aumentam de acordo com a velocidade da embarcação. Como medida de prevenção, é interessante que os transceptores fiquem o mais afastado possível dessas fontes de ruído

4.4.3 RUÍDOS DA MÁQUINA

Esses são os ruídos associados às máquinas propriamente ditas da embarcação. São os ruídos provenientes dos geradores, guinchos, motores principais ou dos sistemas hidráulicos de Rovs e AUV's. Normalmente este tipo de ruído é mais difícil de ser calculado, ficando a determinação confiável da intensidade do som produzido a cargo das experiências em tanques de prova. Experiências mostram que o ruído proveniente dos sistemas hidráulicos dos ROVs como bombas, válvulas de pressão e etc são as maiores interferências nos sistemas acústicos de posicionamento.

Experiências mostram também que a espuma sintética contida em alguns ROVs pode atenuar o ruído produzido por esses equipamentos.

4.4.4 RUÍDOS DO ESCOAMENTO

Ruídos de escoamento são causados por linhas turbulentas de escoamento. Geralmente esta fonte de ruídos não causa grandes interferências nos sistemas de posicionamento. Porém, com transceptores montados externamente ao casco do navio e a velocidades consideráveis, os ruídos podem se tornar significantes.

4.5 FORMAS DE MINIMIZAR OS EFEITOS DO RUÍDO:

Muitos fatores podem influenciar significativamente o desempenho de um sistema acústico. O mais importante deles é a relação sinal-ruído. Esta relação tem como base a razão entre a potência do sinal proveniente dos transponders e o somatório de todos os ruídos provenientes do navio. Quanto maior a razão, mais sinal e menos ruído estarão presentes. Esta pode ser expressa tanto em decibéis quanto por uma relação direta. De uma forma geral, quanto maior a relação sinal ruído, mais precisa será a posição tirada pelo sistema. A tabela abaixo demonstra a relação desta razão e a precisão do sistema acústico.

HiPAP 500 Single System	S/N (dB rel.1 micro Pa)		
	20dB	10dB	0dB
Range Accuracy (m)	0.10m	0.15m	0.20m
Receiver Beam	10 Degrees		
Coverage	±100 Degrees		

A relação sinal ruído pode determinar a quantidade de informação que será recebida e corretamente interpretada pelos transceptores. Existe um teorema denominado teorema de shannon-hartley que descreve a relação entre a largura de banda utilizada para a transmissão do sinal e quantidade de informação que poderá ser transmitida.

Matematicamente a relação é descrita como:

$$C = \int_0^B \log_2 \left(1 + \frac{S(f)}{N(f)} \right) df$$

Onde c representa a quantidade de informações que poderá ser transmitida, o intervalo de integração é representado pela menor frequência do canal e maior frequência do canal, S e N representam o sinal e o ruído em função da frequência utilizada.

Em outras palavras, o teorema diz que quanto maior for a largura de banda do canal de transmissão, mais informação poderá ser recebida pelo transceptor do navio. Assim, maior será a precisão da posição calculada.

Portanto, uma forma muito eficiente de otimizar a precisão dos dispositivos acústicos é escolher bandas de frequência de sinal diferentes das bandas dos ruídos do navio.

Um segundo método é direcionar ou restringir o recebimento de sinal para uma direção oposta à direção das principais fontes de ruído como thrusters, azimutais, propulsores e etc. É utilizada uma proteção para que os transceptores não recebam diretamente os ruídos e possam assim identificar melhor o sinal acústico. Esta solução logicamente depende da fase de planejamento do navio.

USBL Transducer Array Polar Plot (Element A)

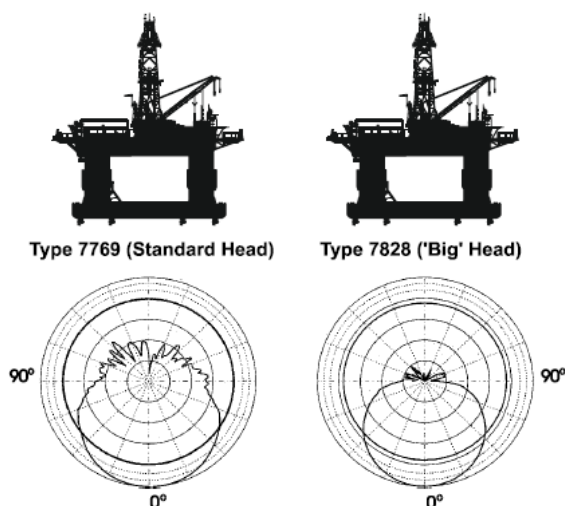


Figura 23 Esquema demonstrando um gráfico polar selecionando uma direção específica para a recepção de sinais.

Porém, esta solução não é tão eficaz em águas rasas, ou seja, águas em que a profundidade não ultrapasse os seiscentos metros. Isso porque ocorre a reverberação do som no fundo do mar. Sendo assim, o ruído alcança os transceptores em outras direções para as quais o equipamento não esteja protegido.

4.6 REVERBERAÇÃO DO SOM

Quando uma onda sonora propaga-se em um fluido, ela pode percorrer diferentes caminhos até chegar a um transceptor. Ela pode ser refletida por estruturas flutuantes como o casco da embarcação, propulsores e até mesmo o próprio fundo do mar. A reflexão das ondas sonoras causa então um fenômeno chamado de reverberação.

Este fenômeno se relaciona com os dispositivos acústicos por dois motivos. O primeiro se refere ao instante em que um transceptor irá receber o sinal do fundo do mar visto que este receberá sinais idênticos em tempos diferentes. O segundo ocorre com sistemas USBL em que são medidas as marcações das balizas de referência. Como o som é refletido

em muitos objetos e não somente na baliza, são calculadas mais de uma marcação. As reverberações podem ocorrer na superfície do mar, nas estruturas ou então no próprio fundo do oceano.

4.6.1 REVERBERAÇÃO NAS ESTRUTURAS

Ocorre quando o som é refletido em estruturas como cascos dos navios que estejam operando na área. Esse problema pode ser minimizado através da correta escolha do local onde serão montados os dispositivos de posicionamento acústico. Devem ser evitadas superfícies lisas onde os sinais podem ser refletidos com muito pouca perda de energia. A frequência de transmissão também deve ser observada. Quanto mais alta a frequência de transmissão, menor será o efeito causado pelas reverberações nas estruturas do navio.

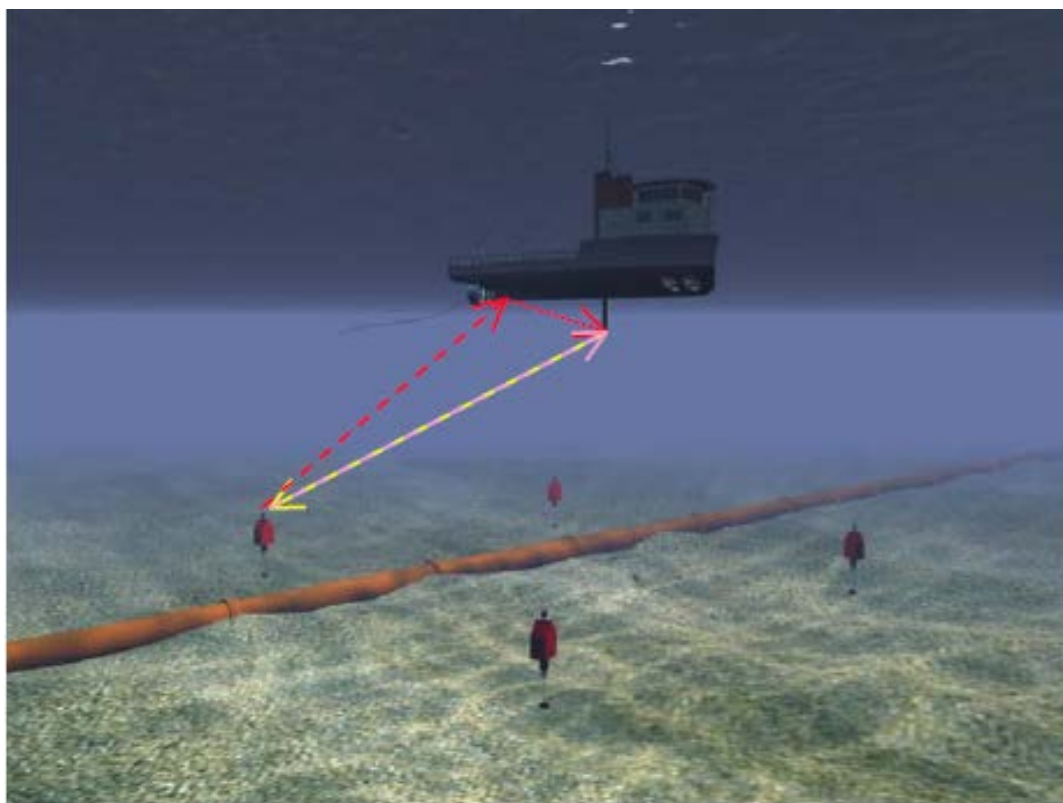


Figura 24 Esquema representando a reverberação na estrutura do casco do navio

4.7 LINHAS DE VISADA

Além dos ruídos que atrapalham e confundem os sistemas acústicos, outro problema também muito importante são as linhas de visada. Um transponder deve estar bem posicionado em relação à baliza para que possa receber corretamente o seu sinal. Anomalias na topografia submarina podem dificultar essa recepção. Outro exemplo de dificuldade devido

ao posicionamento das balizas são as famosas “árvores de natal” utilizadas na exploração de petróleo no fundo do mar. Se a baliza for localizada próximo a alguma dessas estruturas, elas poderão obstruir o sinal e interromper a troca de dados com os transponders localizados nas embarcações.

A topografia do fundo do mar se torna um problema principalmente para os usuários dos sistemas Long Baseline Systems, pois, necessitam contato com mais de uma baliza no fundo. Por isso, a rede de balizas deve estar muito bem posicionada no fundo do oceano para que sejam evitadas as zonas de sombra. Ao se planejar a instalação de uma rede de balizas, é fundamental que se tenha um mapa detalhado da topografia do fundo do mar. Quanto mais balizas forem usadas e quanto mais espaçadas estiverem, melhor será a performance do sistema. Porém, mais balizas significam maiores custos e tempo empregados nas operações de manutenção.

4.8 ZONAS DE SOMBRA

A variação na velocidade de propagação do som acima da profundidade de 1500 metros ocorre principalmente devido à variação na pressão. Além dos 1500 metros de profundidade, a salinidade da água e a sua temperatura são consideradas constantes, sem grandes variações. Acima desta região, 1000 a 1500 metros, boa parte da energia transmitida será refratada para cima. Isto resulta em um efeito conhecido como zona de sombra. Estas zonas de sombra não impedem o posicionamento na superfície, mas, podem atrapalhar operações de calibração dos transponders. Sempre que se for posicionar os transponders no fundo do mar, é necessário que se calcule muito bem o gradiente de velocidade na água e que sejam empregados programas para calcular a real trajetória do som na água. Assim, estas zonas de sombra podem ser evitadas.

5 WIDEBAND SIGNALS

Ao contrário dos primeiros sistemas de posicionamento acústicos que empregavam os tradicionais métodos de separação de canais somente por diferentes frequências, os equipamentos atuais empregam modelos digitais para a detecção e análise de sinais. Esta é hoje conhecida como “digital signal processing DSP” e já havia sido incorporada aos sistemas de telefonia e foi o que permitiu o emprego de um número gigantesco de aparelhos operando simultaneamente e praticamente sem interferência de sinal uns com os outros.

Os sistemas digitais têm a função de gerar e processar sinais digitais e analógicos. Sinais acústicos digitais são gerados por processadores e em seguida são inseridos em um sinal analógico comum para serem transmitidos pelos meios usuais através da coluna de água. Após encontrarem os transceptores, esses são então convertidos em voltagem analógica e analisados em comparação com um padrão de sinal procurado.

5.1 TONE SIGNALS

Os “tone signals” são pulsos de uma única frequência e sem modulação. Uma diferença mínima de frequências é necessária para que sejam criados os diferentes canais de interrogação e resposta. Estas frequências têm de ser bem espaçadas para que sejam evitadas interferências entre os canais. Isso resulta em um pequeno número de canais disponíveis dentro do aspecto de frequências. Portanto, em áreas de exploração onde se podem encontrar diferentes sistemas de diferentes embarcações, a quantidade total de canais disponíveis pode ser tornar pequena, podendo haver interferência entre os sinais.



Transmitted Acoustic Tone Pulse

5.2 WIDEBAND SIGNALS

Wideband signals é uma tecnologia que utiliza a modulação por chaveamento para inserir uma informação em um pulso acústico. A modulação empregada neste caso é conhecida como PSK ou modulação de fase por chaveamento. Nesta técnica de modulação, a fase muda de acordo com o pulso de sinal. A posição de cada fase e o número delas definem

um código de comunicação que será utilizado para distinguir um determinado canal de comunicação. Portanto, vários canais podem ser definidos utilizando-se diferentes códigos de sinais em uma mesma frequência. Contemplando todo o aspecto de frequências disponíveis, é possível estabelecer um grande número de canais que permitiram praticamente eliminar a interferência entre os dispositivos.



Figura 25 Modelo de sinal modulado por chaveamento.

5.3 DETECÇÃO DE SINAIS:

Os benefícios da modulação por chaveamento não param no incrível número de canais disponíveis. Outro grande benefício gerado por esta técnica é a maneira como os sinais são detectados e decodificados, gerando grande melhora na performance com relação ao ruído e à reverberação de sinal.

5.4 TÉCNICA DE CORRELAÇÃO DE CÓDIGOS

Primeiramente, uma réplica do código procurado é gravada no transceptor. Se o transceptor trabalhar com mais de um código, cada padrão deverá ser gravado para posterior comparação. Cada sinal recebido é confrontado com a réplica contida no receptor para que seja encontrado o padrão procurado. O processo detalhado é executado como o que se segue:

1- A onda recebida pelo transceptor é convertida em uma série de pulsos elétricos. Cada pulso elétrico é então convertido em um número binário que corresponde à amplitude da onda naquele instante.

2- As réplicas são arquivadas sempre no mesmo formato de arquivo.

3- A onda recebida é então comparada com o primeiro padrão de sinal arquivado. Isto é feito movendo-se a onda recebida sobre o padrão de sinal, respeitando-se a mesma velocidade em que os pulsos foram incrementados. Uma pontuação denominada "score" mede então a quantidade de pulsos elétricos que encontraram uma similaridade significativa com o padrão procurado.

4- O código padrão percorre todo o sinal recebido. Quando não se encontra similaridade entre os níveis de amplitude, o “score” se mantém em níveis baixos durante todo o percurso. Porém, quando o código recebido se aproxima do padrão gravado no equipamento, o “score” aumenta abruptamente indicando que neste momento foi recebido o padrão de referência.

5- Assim que as duas formas de onda deixam de encontrar similaridade, o “score” volta a ficar em níveis baixos e o processo continua.

6- O histórico do “score” fica então conhecido como uma função de auto-correlação que expressa informações importantes. O momento de pico da função mostra exatamente o instante em que o sinal foi recebido, sendo possível determinar o tempo de viagem do sinal. Além disso, pode-se afirmar com segurança que naquele momento se recebeu o correto sinal, uma vez que o ‘score’ somente atinge níveis elevados quando o sinal recebido encontra grande similaridade com o código procurado.

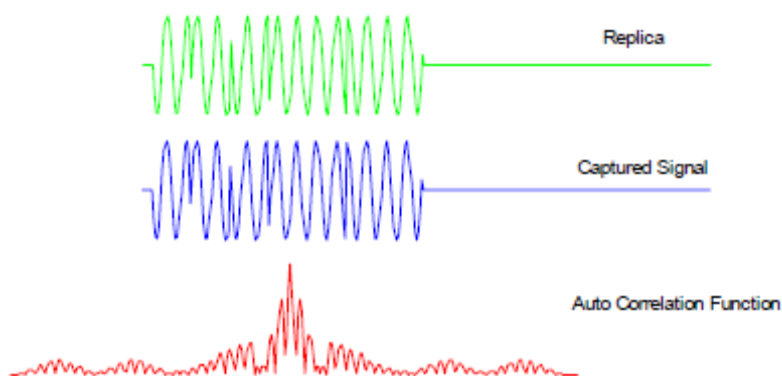
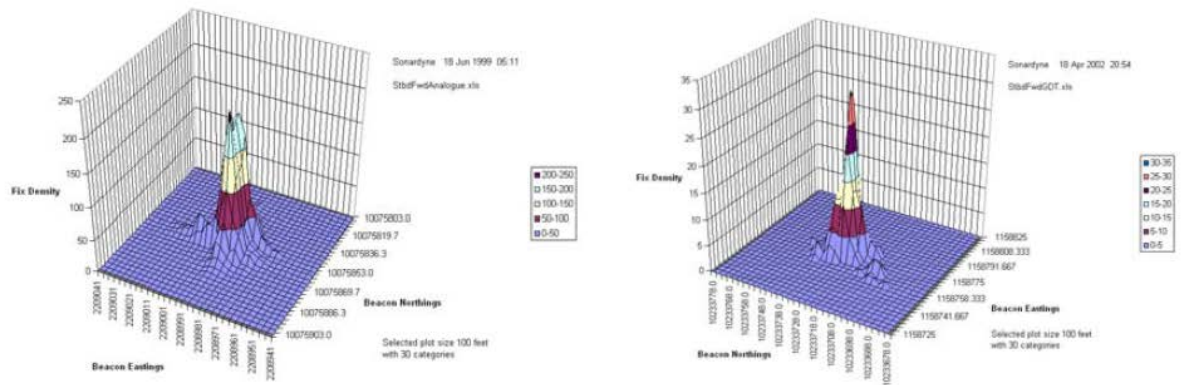


Figura 26 Exemplo de um gráfico da função de auto-correlação mostrando o momento exato de recepção do sinal procurado

7-Uma função de auto-correlação é determinada para cada sinal procurado. O resultado final do processo é uma medição exata e confiável dos instantes de recepção do sinal e conseqüente confiabilidade e precisão no posicionamento final da embarcação.



Analogue Transceiver

Digital Transceiver

Figura 27 Gráfico de posição de referência para o transponder. Os eixos no plano horizontal representam a posição enquanto o vertical representa a densidade de observações.

A figura acima descreve uma experiência realizada com dois transceptores. No primeiro caso, um navio utilizando um sistema sem a detecção digital de sinais e no segundo o transceptor foi trocado por outro com a tecnologia de correlação digital. Conforme o navio realiza giros ao redor do transponder de referência, a posição estimada da baliza vai variando no caso da tecnologia convencional e no outro caso, a posição informada para o transponder continua a mesma. Esta experiência comprova principalmente a confiabilidade desta tecnologia.

5.5 VANTAGENS EM UM AMBIENTE COM MUITA PROPAGAÇÃO DE RUÍDOS

Os benefícios do processamento digital de sinais não incluem a fase da detecção. Para uma mesma relação sinal ruído, o sinal proveniente das balizas localizadas no fundo do mar tem de ter uma intensidade maior do que os ruídos presentes no ambiente. Entretanto, a grande vantagem do processamento digital é a determinação do momento exato em que o sinal foi recebido mesmo operando em condições extremas de ruído. Como o sinal é enviado em um código, não há perigo caso o som ambiente se sobreponha ao sinal acústico proveniente da baliza de localização. Isso permite que ele mantenha a sua confiabilidade mesmo em ambientes com relação sinal ruído baixa. O gráfico abaixo compara a função de autocorrelação entre três sinais digitais e um sinal analógico. Como a base do sinal analógico é mais aberta, fica mais difícil estabelecer o momento exato de recepção do sinal enquanto o perfil estreito da modelação digital mostra exatamente este instante.

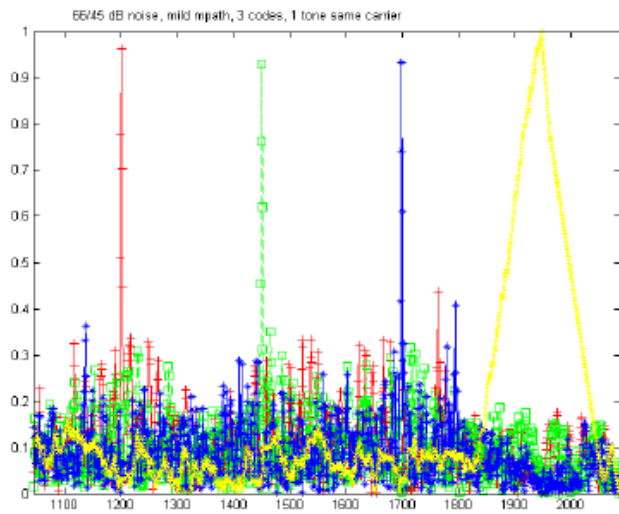


Figura 28 Gráfico demonstrando o histórico da função de correlação. Os pontos de pico representam o momento exato em que o sinal foi recebido pelo transponder.

O gráfico seguinte também compara o desempenho entre modelos digitais e analógicos. Agora o desvio padrão do tempo de recepção dos sinais, variável fundamental para a determinação da precisão do sistema, é analisada no eixo vertical. Quanto menor a relação sinal ruído, maior será o desvio padrão do tempo de retorno do sinal. Entretanto, é perceptível que a curva dos sistemas digitais se mantém bem abaixo do sistema analógico.

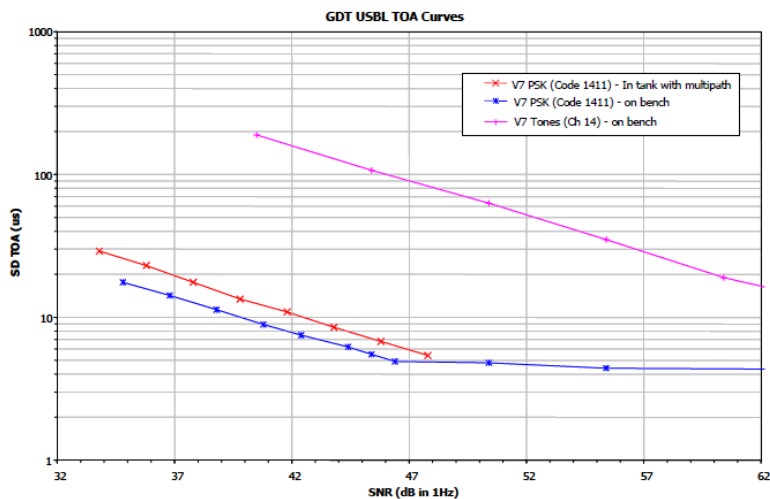


Figura 29 Gráfico comparando o desvio padrão do tempo de retorno dos sinais e a relação sinal ruído do ambiente para vários sistemas

Outra vantagem para os sistemas digitais está na reverberação do som. Com esta nova tecnologia, a função de correlação consegue diferenciar perfeitamente o sinal direto e o sinal indireto. Portanto, fica fácil para o software distinguir entre o sinal proveniente do caminho

direto e o sinal proveniente do caminho indireto. É o exemplo do gráfico abaixo. Os dois picos representam sinais recebidos, porém, o pico mais alto representa o sinal direto e o menor, representa o sinal indireto. Um caso como este só seria resolvido em um sistema digital. Em um sistema analógico comum iria ocorrer um “overlap”, ou seja, a posição de referência não aparece no monitor até que o sinal direto possa ser claramente recebido.

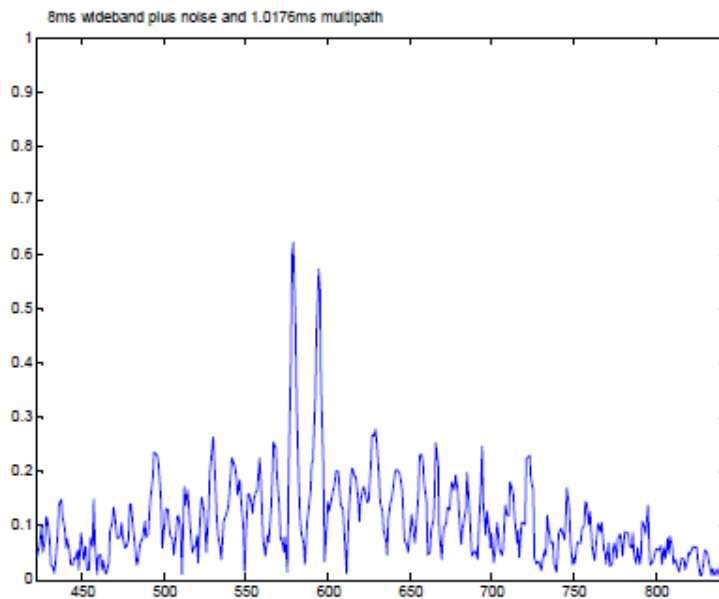


Figura 30 Imagem demonstrando um sinal direto e um sinal proveniente de reverberação.

Os sistemas analógicos são mais sensíveis às interferências entre os sinais diretos e indiretos. No caso de interferência construtiva, os sinais se somam e geram um período de tempo em que o sinal fica em alta. No caso de uma interferência destrutiva, não há elevação suficiente para ser comparada pelo sistema. Em ambos os casos, o processador não é capaz de identificar o momento exato de recepção do sinal e então ocorre o “overlap”.

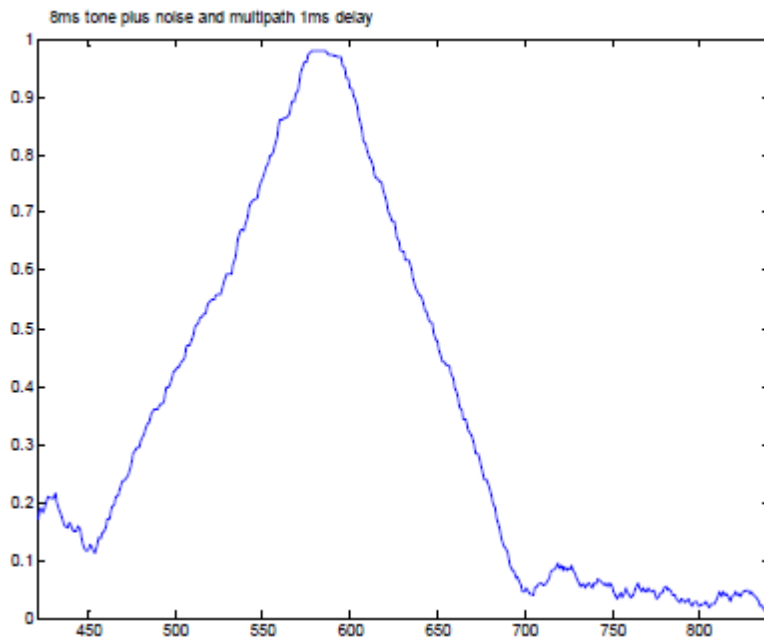


Figura 31 Gráfico demonstrando a interferência construtiva entre o sinal direto e indireto.

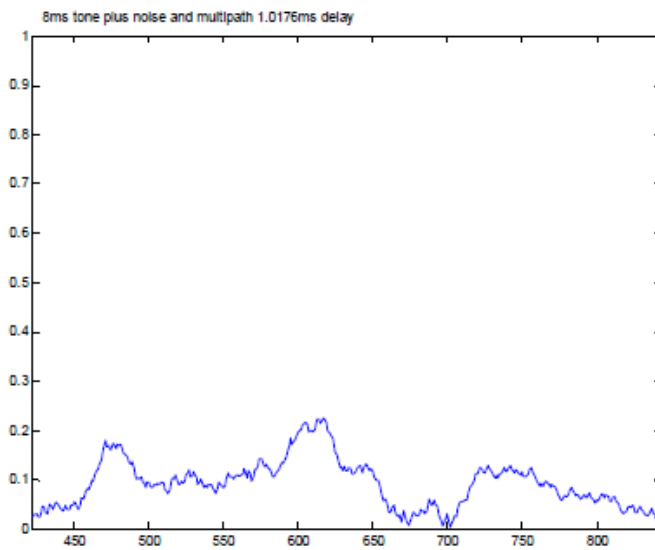


Figura 32 Gráfico demonstrando a interferência destrutiva entre o sinal direto e indireto. Neste caso, não há elevação suficiente do sinal para ser apreciado pelo software

Outra possibilidade para a implantação desta tecnologia é de se estabelecer uma comunicação acústica entre o transponder localizado no fundo do mar e o operador do sistema na superfície. Desta forma, este pode controlar a quantidade de energia gasta na emissão de pulsos acústicos para a superfície e otimizar o tempo de vida útil das baterias do transponder, entre outras aplicações industriais.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Atualmente, um dos maiores temores que cercam os projetistas de sistemas acústicos de posicionamento é a falha ou a perda do sistema de referência de posição. Por isso, são utilizados mais de um sistema de referência. No atual cenário em que se encontram as operações offshore, os sistemas acústicos de posicionamento surgem como excelentes sistemas sobressalentes, pois, garantem boa precisão relativa entre os elementos da zona de exploração.

Durante toda a confecção do trabalho foi possível também observar o tamanho da empregabilidade desta tecnologia, sendo de fundamental importância para praticamente todas as operações submarinas desde pesquisas, passando pela produção de petróleo, até o próprio uso militar. Foi igualmente prazeroso observar o uso prático de tantos conceitos físicos estudados anteriormente em sala de aula que muitos afirmavam não ser importantes para o dia a dia do oficial de náutica. Este é um exemplo do vasto campo de conhecimentos que esta importante profissão envolve.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

VICKERY, Keith. **Acoustic Positioning Systems “A practical overview of the current systems”**. Disponível em: <http://www.dynamic-positioning.com/dp1998/SVickery.pdf>. Acesso em 5 Junh. 2014

VICKERY, Keith. **Acoustic Positioning/Measuring Systems and Associated Redundancy and Failure Modes**. Disponível em: http://www.dynamic-positioning.com/dp1997/sensors_vickery_pp.pdf. Acesso em 10 Junh. 2014

FRICS, Philip e Associados. **An evaluation of USBL and SBL Acoustic Systems and the optimization of methods of calibration-Part 1**. Disponível em: <http://download.eiva.dk/online-training/USBL%20Comparison%20Journal-109-Article1.pdf>. Acesso em 15 Junh. 2014

APOMAB, Academy of positioning marine and bathymetry. **Scientific Manifest 2 Underwater Acoustic Positioning System**. Disponível em: http://apomabdoc.altervista.org/doc/ScientificManifest2_UnderwaterAcousticPositioningSystem.pdf. Acesso em 16 Junh. 2014.

JONATHAN, Davis. **Acoustic – Digital, Spread Spectrum, DSP, Wideband...What does this mean for real world DP operations?** Disponível em : http://www.dynamic-positioning.com/dp2004/acoustics_davis.pdf. Acesso em 20 Junh. 2014.

THOMSON, Donald. **Improved Acoustic Positioning for DP operations**. Disponível em: http://www.dynamic-positioning.com/dp2002/acoustics_improved_acoustics.pdf. Acesso em 15 Junh. 2014.

NAUTRONIX. **SBL/LBL deep water acoustic positioning system using ADS² technology**. Disponível em: <http://www.nautronix.com/media/products/downloads/nasdrill-rs925-specification-sheet.pdf?v587096385>. Acesso em 20 Julh. 2014.

SONARDYNE. **LBL, USBL and LUSBL**. Disponível em: <http://www.sonardyne.com/products/positioning.html>. Acesso em 20 Julh. 2014.

KONGSBERG MARITIME. Acoustic underwater positioning and navigation systems HIPAP and HPR. Disponível em: <http://www.km.kongsberg.com/ks/web/nokbg0240.nsf/AllWeb/FF57C18363FAD917C1256A7E002B9F2F>. Acesso em 20 Julh. 2014.

BERGMAN, Jennifer. CTD Instrument. Disponível em: <http://www.windows2universe.org/earth/Water/CTD.html>. Acesso em 20 Julh. 2014.

SALISBURY, Rita. Science and technology log. Disponível em: <http://teacheratsea.wordpress.com/tag/cdt/>. Acesso em 20 Julh. 2014.

GLOBALSPEC. Underwater acoustic transducers information. Disponível em: http://www.globalspec.com/learnmore/sensors_transducers_detectors/acoustic_sensing/underwater_acoustic_transducers. Acesso em 25 Julh 2014.

SONARDYNE. Datasheet Through-Hull Transceiver Deployment Machine. Disponível em: http://www.sonardyne.com/images/stories/datasheets/Sonardyne_7950_through_hull_deployment_machine.pdf. Acesso em 29 Julh. 2014.

WIKIPEDIA. Underwater acoustic positioning system. Disponível em : http://en.wikipedia.org/wiki/Underwater_acoustic_positioning_system. Acesso em 04 Ago. 2014.