

**INSTITUTO TECNOLÓGICO DE
AERONÁUTICA**



Marcelo da Silva Matias

**ESTUDO DAS POTENCIALIDADES DO ACOUSTIC
SYSTEMS TRAINER SONAR NO ENSINO DE
GUERRA ANTISSUBMARINO NO CEAAE**

*Trabalho de Conclusão de Curso em Análise do
Ambiente Eletromagnético - CEAAE
2012*

***Pró-Reitoria de Extensão e
Cooperação***

CT Marcelo da Silva Matias

**ESTUDO DAS POTENCIALIDADES DO *ACOUSTIC
SYSTEMS TRAINER SONAR* NO ENSINO DE GUERRA
ANTI-SUBMARINO NO CEAAE**

Orientador
Cap QOECOM Elcio Jeronimo de Oliveira, IAE

*Curso de Especialização em Análise do Ambiente
Eletromagnético – CEAAE*

SÃO JOSÉ DOS CAMPOS
INSTITUTO TECNOLÓGICO DE AERONÁUTICA

2012

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)
Divisão de Informação e Documentação

Matias, Marcelo da Silva
Estudo das potencialidades do *acoustic systems trainer sonar* no ensino de guerra antissubmarino no CEAAE/ Marcelo da Silva Matias.
São José dos Campos, 2012.
70f.

Trabalho de Conclusão de Curso – Curso de Especialização em Análise de Ambiente Eletromagnético – CEAAE – Instituto Tecnológico de Aeronáutica, 2012. Orientador: CapQOECOM Elcio Jeronimo de Oliveira

1. Sonar. 2. Ensino. 3. Guerra Antissubmarino. I. Instituto Tecnológico de Aeronáutica. II. Título.

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

MATIAS, Marcelo da Silva. **Estudo das potencialidades do *acoustic systems trainer sonar* no ensino de guerra antissubmarino no CEAAE**. 2012. 70f. Trabalho de Conclusão de Curso. (Lato Sensu) – Instituto Tecnológico de Aeronáutica, São José dos Campos.

CESSÃO DE DIREITOS

NOME DO AUTOR: Marcelo da Silva Matias

TÍTULO DO TRABALHO: Estudo das potencialidades do *acoustic systems trainer sonar* no ensino de guerra antissubmarino no CEAAE.

TIPO DO TRABALHO/ANO: Trabalho de Conclusão de Curso / 2012

É concedida ao Instituto Tecnológico de Aeronáutica permissão para reproduzir cópias deste trabalho de conclusão de curso e para emprestar ou vender cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva outros direitos de publicação e nenhuma parte deste trabalho de conclusão de curso pode ser reproduzida sem a autorização do autor.


Marcelo da Silva Matias

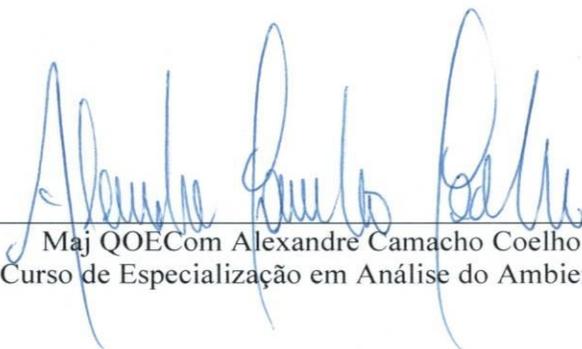
Rua Primeiro de Março nº118, 20º andar, Centro, Rio de Janeiro-RJ – CEP. 20010-000

**ESTUDO DAS POTENCIALIDADES DO ACOUSTIC SYSTEMS
TRAINER SONAR NO ENSINO DE GUERRA ANTISUBMARINO NO
CEAAE**

Essa publicação foi aceita como Relatório Final de Trabalho de Conclusão de Curso de
Especialização em Análise do Ambiente Eletromagnético – CEAAE



Cap QOECOM Elcio Jeronimo de Oliveira
Orientador



Maj QOECOM Alexandre Camacho Coelho
Coordenador do Curso de Especialização em Análise do Ambiente Eletromagnético



Dr. Anderson Ribeiro Correia
Pró-Reitor de Extensão e Cooperação

ITA

São José dos Campos, 26 de Novembro de 2012

DEDICATÓRIA

Ao pai celestial por ter me oferecido a oportunidade dessa existência.

À minha amada esposa Isabel, pelo companheirismo e abnegação.

Aos meus pais, José e Shirley pelas lições de perseverança e tenacidade.

Ao irmão Roberto e Família pelo apoio incondicional.

AGRADECIMENTOS

À Força Aérea Brasileira e à Diretoria de Sistemas de Armas da Marinha pela oportunidade de fazer tão almejado curso.

Aos companheiros de especialização pela união e companheirismo demonstrados desde o início do curso. Foi uma honra trabalhar com os senhores. Bravo Zulu!

A todos os funcionários civis e militares do Laboratório de Guerra Eletrônica e do ITA, pelo apoio irrestrito às minhas atividades experimentais.

Ao Orientador Cap QOECOM Élcio minha gratidão pelo apoio e confiança demonstrados durante a realização desse trabalho.

Ao Professor Doutor Edimar, Ten Cel Av Faria Pires e ao 1S Newton minha gratidão pela maneira ímpar de tornar assuntos extremamente complexos em algo tão frugal e interessante.

“Os que se encantam com a prática sem a ciência são como os timoneiros que entram no navio sem timão nem bússola, nunca tendo certeza do seu destino”.

Leonardo da Vinci

RESUMO

Este trabalho buscou realizar a análise do *Acoustic System Trainer Sonar-AST SONAR MkX* adquirido recentemente pelo Instituto Tecnológico de Aeronáutica – ITA para equipar seu Laboratório de pesquisa em Guerra Eletrônica-LabGE. Esta análise está pautada na determinação das qualidades e deficiências desse sistema no ensino da guerra antissubmarino no Curso Especialização de Análise do Ambiente Eletromagnético – CEAAE.

Desenvolveu-se nesse trabalho uma proposta pedagógica para o uso do equipamento como ferramenta instrucional para as aulas de guerra antissubmarino no CEAAE. Essa proposta visa potencializar o processo ensino-aprendizagem através da realização prática de diversos experimentos possibilitando ao discente o estabelecimento de um grande número de relações cognitivas com os fatos e assuntos ensinados nas disciplinas de matemática, física e processamento de sinais do curso. Conclui-se ao fim do estudo que o simulador proporciona um excelente conjunto de funcionalidades para os fins que se propõe.

ABSTRACT

This work attempts to analyse the *Acoustic System Trainer Sonar Mk X-AST SONAR Mk X* acquired by the Instituto Tecnológico de Aeronáutica-ITA, to equip the laboratory of electronic warfare. This analysis aims at the determination of the qualities and deficiencies of available system in ITA during its employment on teaching anti-submarine warfare-ASW.

It has developed during this work, a pedagogical proposal for use of AST SONAR Mk X as an instructional tool to be employed in ASW classes during the Curso de Especialização em Análise de Ambiente Eletromagnético-CEAAE.

This proposed addresses focus on the increase of knowledge on each student in a way of doing comparisons between what's the experiment of AST SONAR Mk X shows and what has thought on several disciplines whose knowledges in mathematics, physics and signal processing interlace. It concludes that the equipment introduces a satisfactory revenue for the practice instruction during CEAAE course.

SUMÁRIO

1.INTRODUÇÃO	13
1.1 DEFINIÇÃO DO PROBLEMA	13
1.2 SOLUÇÃO DO PROBLEMA	13
1.3 MOTIVAÇÃO	14
1.4 OBJETIVOS	14
2.CONCEITOS BÁSICOS	15
2.1 FUNDAMENTOS DE PROPAGAÇÃO DA ONDA ACÚSTICA	16
2.1.1 Onda Mecânica	16
2.1.2 Onda Acústica	16
2.1.3 A velocidade da onda acústica na água	17
2.1.4 O efeito <i>Doppler</i>	19
2.1.5 Perdas de Propagação da Onda Acústica na água	19
2.1.5.1 Refração	20
2.1.5.2 Atenuação	20
2.1.5.2.1 Absorção	20
2.1.5.2.2 Espalhamento Esférico	22
2.1.5.3 Reflexão e Reverberação	23
2.1.5.4 Difração	23
2.1.6 Condições de propagação encontradas no <i>AST SONAR Mk X</i>	24
2.2 SISTEMA SONAR BÁSICO	25
2.2.1 Sistema Sonar Ativo	25
2.2.2 Sistema Sonar Passivo	28
2.3 A EQUAÇÃO SONAR	29
2.3.1 Equação Sonar Ativo	29

2.3.2 Equação Sonar Passivo	30
3 ACOUSTIC SYSTEMS TRAINER SONAR Mk X	31
3.1 APRESENTAÇÃO	31
3.2 COMPOSIÇÃO	32
3.2.1 <i>AST Console</i>	32
3.2.2 Sistema Computacional de apoio ao console do AST	34
3.2.3 <i>Tie Pie Engineering@Handyscope HS3 Multichannel software</i>	35
3.2.4 <i>Acoustic Tank</i>	36
3.2.5 <i>AST Target Transportation System</i>	37
3.2.6 Transdutores	38
3.2.7 Alvos	39
3.2.7.1 Alvos para o experimento em sonar ativo	39
3.2.7.2 Fonte de sinais para o experimento em sonar passivo	39
3.2.8 Acessórios do <i>AST SONAR Mk X</i>	40
4 LABORATÓRIO SONAR NO CEAAE	42
4.1 EMPREGO DO AST SONAR Mk X NO ENSINO DA GUERRA ANTISUBMARINO	42
4.1.1 Experimento Sonar em Continuous Waves(CW)- Familiarização com o <i>AST SONAR Mk X</i>	42
4.1.2 Experimento Sonar Ativo(<i>Active Sonar</i>)	44
4.1.3 Experimento para a determinação do doppler de um alvo	46
4.1.4 Experimento Analisador Acústico(<i>Underwater Sound Analysis</i>)	49
4.1.5 Demais experimentos que o <i>AST SONAR Mk X</i> pode realizar	50
4.1.5.1 Experimento Sonar Passivo em Continuous Waves(CW)	50
4.1.5.2 Experimento Sonar Passivo em modo Pulsado	52

4.1.5.3 Experimento <i>Range Resolution</i>	54
4.1.5.4 Experimento <i>Beam Steering</i>	56
4.1.5.4.1 Experimento <i>Single Transducer Beam Width(BW)</i>	56
4.1.5.4.2 Experimento <i>Single Transducer Beam Plot</i>	60
4.1.5.5 Experimento <i>Volume Scattering</i>	63
5 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	66
5.1 SUGESTÃO PARA TRABALHOS FUTUROS	67
REFERÊNCIAS	69

1 INTRODUÇÃO

1.1 DEFINIÇÃO DO PROBLEMA

Dada a reinserção da FAB nas ações de Guerra Antissubmarino-GAS com a aquisição da aeronave P3-AM, há uma crescente demanda na formação de militares no emprego de modernos sensores acústicos, haja vista que somente sendo tripulada por militares qualificados no emprego desses sistemas, a referida aeronave poderá ser utilizada na plenitude de suas capacidades gerando os resultados que se esperam quando de sua aquisição.

1.2 SOLUÇÃO DO PROBLEMA

Diversas soluções para o problema foram discutidas no entanto as linhas de ação possíveis foram as seguintes:

a) Treinar a tripulação da aeronave na própria aeronave utilizando-se de seus recursos de simulação;

b) Treinar a tripulação da aeronave realizando o lançamento de bóias radiossônicas em exercícios com o emprego de submarinos quando oportuno em missões conjuntas com a Marinha do Brasil;

c) Treinar a tripulação da aeronave empregando o simulador tático existente na unidade aérea;

d) Treinar a tripulação da aeronave empregando-se um simulador de sistemas acústicos de forma que esse servisse de recurso instrucional ao ensino da GAS a ser realizado em Organização Militar de ensino.

Ciente de suas responsabilidades, o ITA como elo do Sistema de Guerra Eletrônica da Aeronáutica-SISGEA responsável de prover o ensino e pesquisa de guerra antissubmarino no nível de pós-graduação(Latu Sensu e Strictu Sensu), tendo em vista as demandas de formação de recursos humanos no emprego de sensores acústicos surgidos com a operacionalização da aeronave P3-AM passou a incluir conteúdos de GAS no currículo do CEAAE e realizou a

aquisição de um equipamento para o treinamento de operadores de sistemas acústicos, o *Acoustic Systems Trainer Sonar Mk X – AST SONAR MK X*, fabricado pela *Innovative Technology Projects –ITP*, para servir como ferramenta instrumental ao referido curso.

1.3 MOTIVAÇÃO

A busca pela obtenção de conhecimento técnico especializado em GAS e a experiência de uso de um simulador desta ordem, seja no âmbito do ensino ou da pesquisa, motiva esse estudo, de forma a que se possa operacionalizar o referido equipamento como suporte instrumental as atividades de ensino e pesquisa.

1.4 OBJETIVOS

O objetivo geral deste trabalho é fornecer subsídios para o planejamento de ensino e pesquisa em GAS na área de acústica submarina e emprego de dispositivos acústicos passivos e ativos usando o *AST SONAR MK X*, permitindo seu aproveitamento de forma sistêmica e racional.

Este objetivo geral pode ser desmembrado nos seguintes objetivos específicos:

a) Identificar as qualidades e restrições do *AST SONAR Mk X*, no ensino da disciplina de GAS durante o CEAAE; e

b) Realizar a seleção de quais os experimentos devem ser empregados como recurso instrucional de apoio às aulas de GAS durante o CEAAE.

1.5 ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO

O presente trabalho foi dividido da seguinte forma: no Capítulo 1, referente à introdução, é apresentado o contexto da aquisição do *AST SONAR Mk X* para o laboratório de guerra eletrônica; no Capítulo 2, referente à apresentação de conceitos básicos, são mostrados em aspecto de diagramas de blocos os sistemas sonar ativo e passivo; no Capítulo 3, são explicitados os recursos de *hardware* e *software* pertencentes ao *AST SONAR Mk X*; no Capítulo 4, é feita uma proposta pedagógica para uso do equipamento no CEAAE, consistindo de um conjunto de experimentos selecionados para aplicação nas aulas práticas do referido curso. No Capítulo 5, são apresentadas as conclusões obtidas com o trabalho e sugestões para trabalhos futuros.

2 CONCEITOS BÁSICOS

A modelagem e a compreensão dos fundamentos de detecção de alvos submersos por meio de onda acústica exige estudos aprofundados sobre as diversas características de propagação desse tipo de onda. Neste contexto uma breve revisão desses fundamentos é apresentada:

2.1 FUNDAMENTOS DE PROPAGAÇÃO DA ONDA ACÚSTICA

2.1.1 Onda Mecânica

Conceituam-se como Ondas Mecânicas aquelas que além de serem governadas pelas Leis de Newton, necessitam de um meio físico para se propagarem.[1]

2.1.2 Onda Acústica

O termo Onda Acústica é conferido às ondas mecânicas que se propagam num espectro de frequência que pode ser dividido em três intervalos [1]:

- a)Infra-som: Ondas mecânicas que se propagam com frequências de 0 a 20Hz.
- b)Onda Audível: Ondas mecânicas que se propagam com frequências de 20 a 20kHz e
- c)Ultrassom: Ondas mecânicas que se propagam com frequências acima de 20kHz.

As Ondas Acústicas podem se propagar em diversos meios. Quando se propagam em meio fluido, deslocam-se somente na direção longitudinal (apresentam propagação de forma a que suas partículas se desloquem na direção paralela à direção de propagação da onda mecânica que a atravessa). A principal causa para isso é a característica intrínseca dos fluídos de fluírem ou escoarem quando submetidos a ação de esforços de cisalhamento, dessa forma impossibilitando a indução de forças restauradoras de movimento que dariam origem às forças de cisalhamento de reação que são necessárias à conservação do movimento das ondas transversais haja vista não possuírem a rigidez ou alta agregação de moléculas necessárias para tal. [1]

As ondas acústicas também são chamadas de ondas de compressão e rarefação em virtude das variações de pressão que essas geram quando de suas ocorrências. O valor da intensidade dessas compressões e rarefações pode ser dado pela seguinte expressão[1]:

$$p = (\rho c)u = Zu \quad (2.1)$$

Onde: p é pressão por compressão ou rarefação da onda acústica em Pascal(Pa) ou N/m^2 , u é módulo da velocidade da partícula do meio que propaga a onda acústica em m/s, ρ é a densidade de massa do meio em que a onda se propaga em Kg/m^3 , Z é a impedância característica do meio em $Kg/m^2.s$ e c é a velocidade da onda acústica no meio em m/s.

A Onda Acústica porta energia mecânica em forma de energia cinética pelo movimento de suas partículas, e em formato de energia potencial pelas compressões ocorridas no meio, quando de sua propagação. A intensidade da potência acústica dado pela quantidade de energia que flui através de uma determinada área por um determinado período de tempo é dado pela expressão [1]:

$$I = \frac{p^2}{\rho c} = \frac{p^2}{Z} \quad (2.2)$$

Onde: p é pressão por compressão ou rarefação da onda acústica em Pascal(Pa) ou N/m^2 , ρ é a densidade de massa do meio em que a onda se propaga em Kg/m^3 , Z é a impedância característica do meio em $Kg/m^2.s$ e c é a velocidade da onda acústica no meio em m/s.

2.1.3 A Velocidade da Onda Acústica na água

O pioneiro na realização de um experimento no qual se obteve sucesso em ouvir a aproximação de navios que estavam a grandes distâncias foi Leonardo da Vinci em 1490. Dado o sucesso dessa iniciativa, as diversas mentes brilhantes que o sucederam passaram a buscar respostas não só para as causas esse fenômeno, como também para a obtenção do valor da velocidade da onda acústica na água.

Desse grupo seletivo de indivíduos, o mais bem sucedido nesse objetivo foi Isaac Newton que conseguiu chegar, na obra Os Princípios Matemáticos da Filosofia Natural [3] a uma

notação literal da expressão da velocidade da onda mecânica em um meio qualquer, cuja notação matemática moderna obedece à seguinte relação matemática [4].:

$$C = \sqrt{\frac{E}{\rho}} \quad (2.3)$$

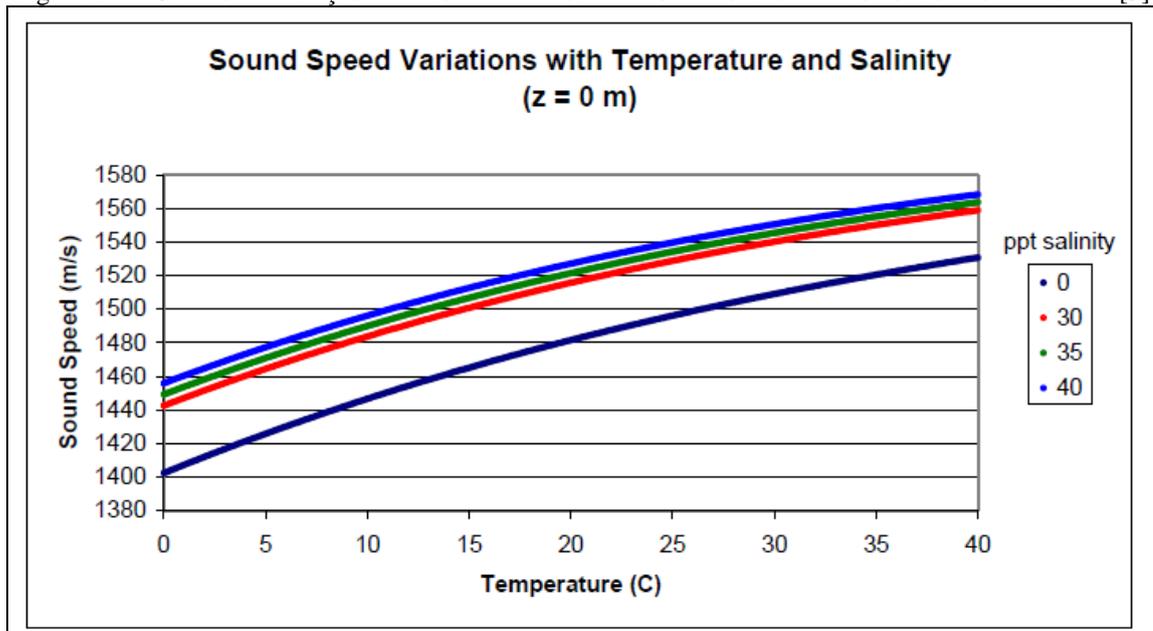
Onde: C é velocidade de propagação da onda mecânica em um meio qualquer em m/s, E é módulo de elasticidade volumétrica do meio em Pascal(Pa) e ρ é a densidade de massa do meio em que a onda se propaga em Kg/m³.

Porém com o passar dos anos, ferramentas melhores foram providas aos cientistas para que se obtivesse de maneira mais acurada, o valor da velocidade da onda acústica na água, e foi em 1975 que Medwin a partir de resultados experimentais e considerações teóricas chegou a seguinte expressão matemática [5]:

$$C = 1449 + 4.6T - 0,055T^2 + 0,0003T^3 + (1,39 - 0,0012T)(S - 35) + 0,0017z \quad (2.4)$$

onde: C é a velocidade da onda acústica na água (em m/s) em função da temperatura(T em graus Celsius, limitada a valores entre 0° e 35°C), salinidade(S na unidade adimensional practical salinity units, que relaciona a condutividade elétrica da água do mar às quantidades de sais obtidas num determinado volume de água, limitada a valores entre 0 e 45 p.s.u) e a profundidade (z em metros, limitada a valores entre 0 e 1000 metros).

Figura 2.1 – Gráfico da variação da Velocidade da onda acústica no mar através do modelo de Medwin[5]

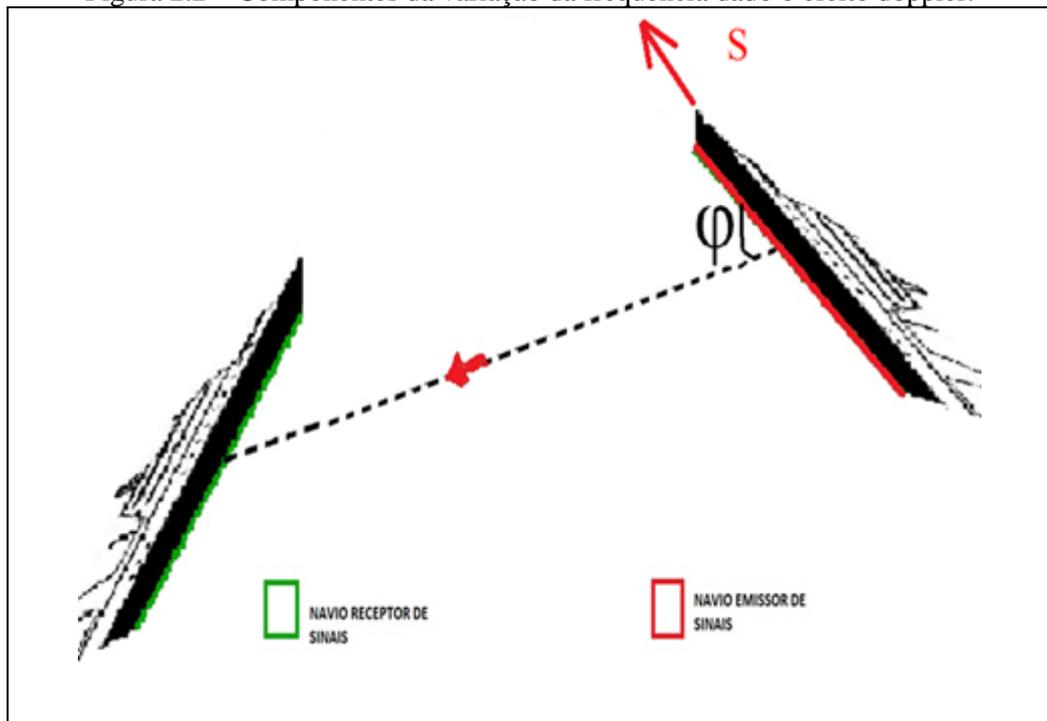


Fonte: H.Medwin

2.1.4 O efeito Doppler

Se uma fonte de ondas acústicas está se movendo num meio com uma velocidade S em relação a um receptor então a frequência do sinal recebido em seus transdutores variará de acordo com a razão da aproximação ou afastamento entre ambos atendendo à seguinte expressão[2]:

Figura 2.2 – Componentes da variação da frequência dado o efeito doppler.



Fonte: O autor

$$\Delta f = \frac{2S \cos \varphi}{f/c} \quad (2.5)$$

Onde: Δf é a variação da frequência do sinal recebido pelo transmissor em Hz, S é módulo da velocidade de deslocamento da fonte emissora de Ondas Acústicas em m/s, φ é o ângulo formado entre a direção de movimentação da fonte sonora e o receptor em graus, f é a frequência de transmissão das ondas acústicas em Hz e c é a velocidade de propagação da onda acústica no meio em m/s [2].

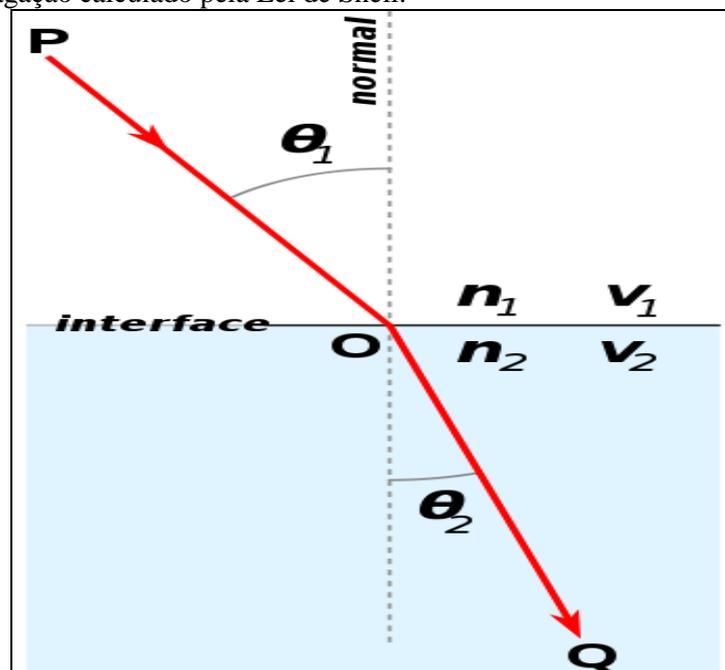
2.1.5 Perdas de propagação da onda acústica na água

Vamos neste tópico debater quais aspectos geram perdas de intensidade da propagação da onda acústica na água no que for aplicável ao ambiente encontrado no *AST SONAR Mk X*:

2.1.5.1 Refração

É observada a refração de ondas acústicas quando um desvio angular do eixo de propagação de uma onda mecânica transversal ocorre quando essa passa a se propagar por uma camada de água com densidade distinta a qual estava percorrendo em virtude de variações de temperatura, pressão e salinidade. O referido fato pode ser explicado pela Lei de Snell conforme ilustrado na figura 2.3 [1] :

Figura 2.3 – Desvio angular do eixo de propagação de uma onda transversal dado a variação da velocidade de propagação calculado pela Lei de Snell.



Fonte:O autor

$$\frac{v_1}{v_2} = \frac{\sin \theta_1}{\sin \theta_2} \quad (2.6)$$

2.1.5.2 Atenuação

É a perda de energia sofrida por uma determinada onda quando de sua propagação por um determinado meio. No caso das ondas acústicas que propagam-se na água, está associada aos seguintes fatores:

2.1.5.2.1 Absorção

Decorre da dissipação ou perda de energia cinética por parte da onda transversal acústica através dos seguintes mecanismos[1]:

Variação de Viscosidade: Durante seu processo de propagação realizando compressões e rarefações, as ondas mecânicas perdem energia na forma de calor, para as moléculas da água.

Estas perdas são estimadas pela seguinte relação matemática[6]:

$$\text{Perdas por Absorção} = \alpha \cdot R \cdot 10^{-3} \quad (2.7)$$

Onde: R é a distância da fonte ao alvo em jardas e α é o coeficiente de Absorção em dB/Kilojardas dado por [7]:

$$\alpha = 0,106 \frac{f_1 f^2}{f_1^2 + f^2} e^{\frac{pH-8}{0,56}} + 0,52 \left(1 + \frac{T}{43}\right) \frac{S}{35} \frac{f_2 f^2}{f_2^2 + f^2} e^{-z/6} + 4,9 \times 10^{-4} f^2 e^{-\left(\frac{T}{27} + \frac{Z}{17}\right)} \quad (2.8)$$

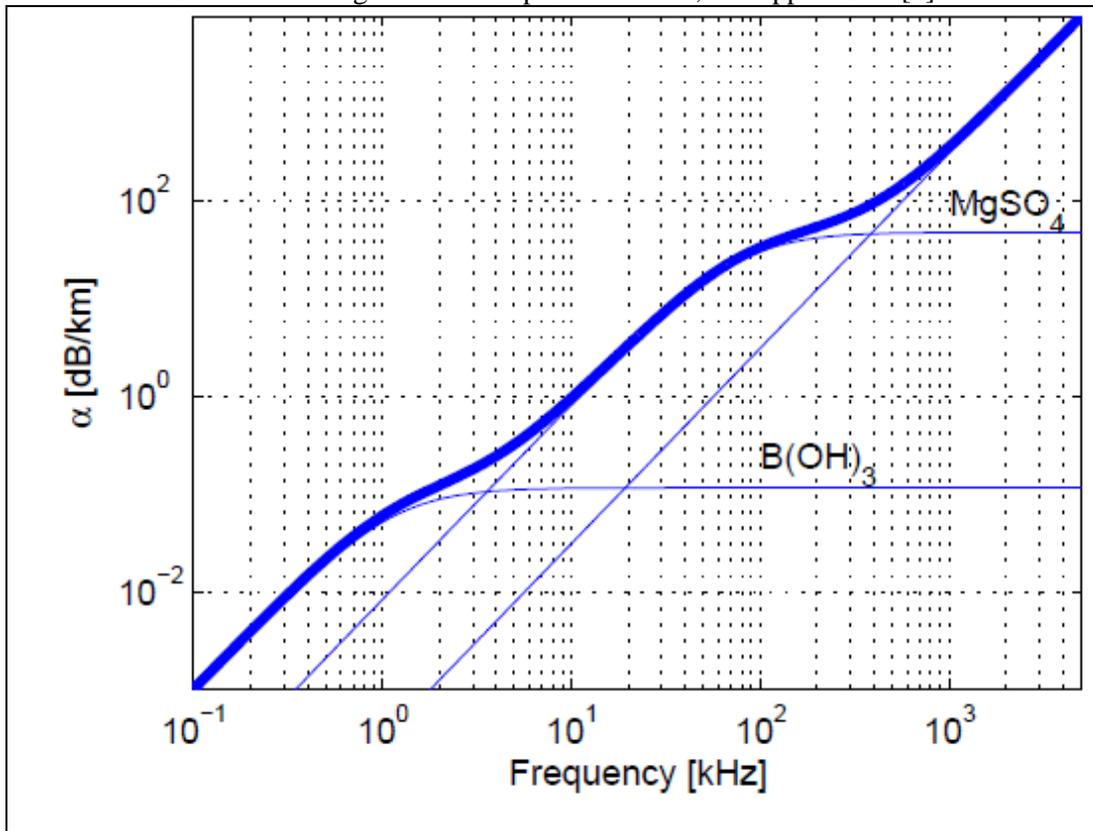
Onde: f1 para influência de relaxação do MgSO₄: $f_1 = 0,78(S/35)^{1/2} e^{T/26}$ e
f2 para influência de relaxação do B(OH)₃: $f_2 = 42e^{T/17}$ f em kHz

Válido para: T temperatura em Celsius: $-6 < T < 35^0C$ (S=35 psu, pH=8, z=0)
pH acidez do meio: $7.7 < pH < 8.3$ (T=100C, S=35 psu, z=0)
S salinidade do meio em psu: $5 < S < 50$ ppu (S=35 psu, pH=8, z=0)
Z Profundidade em metros: $0 < z < 70000$ m (S=35 psu, pH=8, z=0)

Relaxação Molecular : As moléculas da água do mar são dissociadas em componentes íons quando a onda acústica as atravessa. Por consequência disso a densidade do meio aumenta fazendo com de acordo com a Lei de Snell, a velocidade da onda mecânica que se propaga no meio seja reduzida. Esse fenômeno é pontual, ocorrendo em frequências acima de 100kHz quando da ocorrência, no meio marinho ou na água doce, de grandes concentrações de MgSO₄(sulfato de magnésio) ou em frequências acima de 1kHz quando da ocorrência de grandes concentrações de B(OH)₃ (hidróxido de boro) .

Baseado na realização de experimentos e na obtenção de dados em campo, obteve-se empiricamente o gráfico da figura 2.4 que relaciona a atenuação de sinal à frequência da onda acústica transmitida.

Figura 2.4 – As perdas por absorção são fortemente influenciadas por altas concentrações de $B(OH)_3$ para frequências menores que 5kHz e por altas concentrações de $MgSO_4$ para frequências entre $5 < f < 500$ kHz. Os Dados do gráfico valem para $T=1000C, S=35$ ppu e $Z=0$ [7]



Fonte: P. Hodges

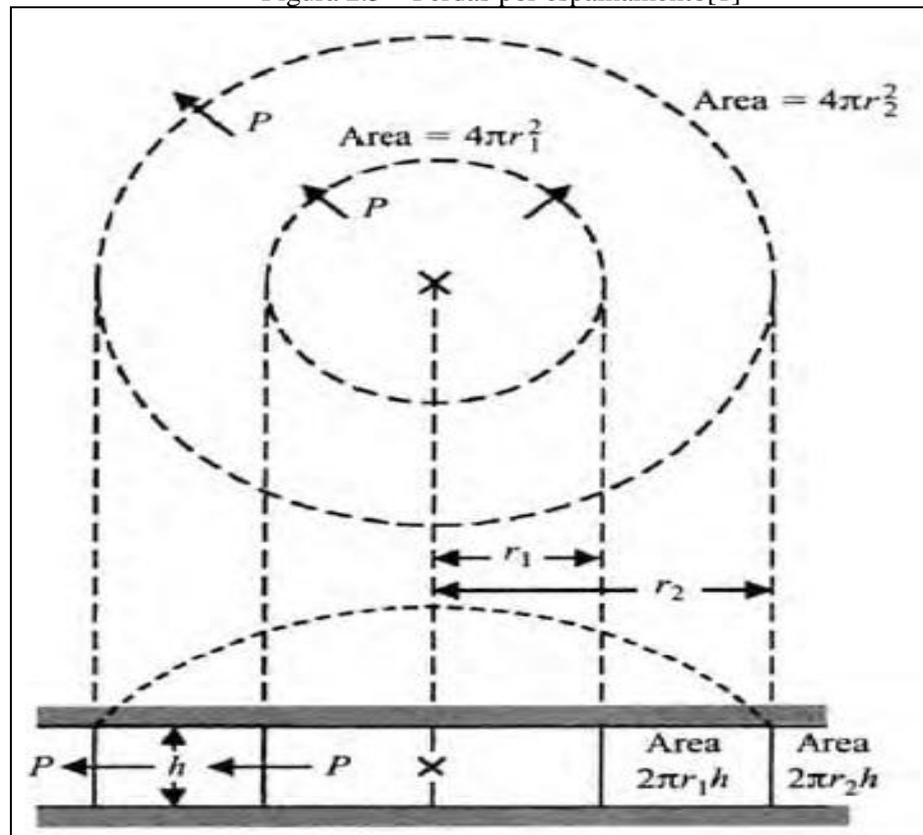
2.1.5.2.2 Espalhamento Esférico

Decorre da redução da intensidade acústica da onda mecânica emitida na forma de esferas concêntricas em virtude do aumento da área do feixe acústico conforme sua frente de onda se afaste de sua fonte (conforme ilustrado na figura 2.4). É dada matematicamente pela lei do quadrado inverso[6]:

$$PL = 20 \log r \quad (2.8)$$

Onde : r é a distância entre a fonte e a frente de onda em jardas.

Figura 2.5 – Perdas por espalhamento[1]



Fonte:A.D.Waite

2.1.5.3 Reflexão e Reverberação

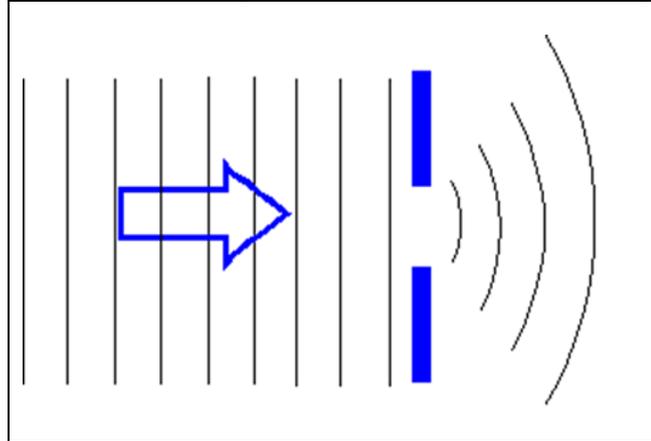
Ocorre a Reflexão quando a onda sonora se re-irradia ao atingir o fundo do mar, a superfície do mar ou um corpo que transita entre essas superfícies como as baleias, alvos submarinos e etc...Quando este pulso que reflete em uma superfície é re-irradiado de volta a sua fonte, a esse fenômeno é dado o nome de reverberação. Já os corpos que transitam no mar e tem essa característica de re-irradiação são chamados de "scatters" [8]

2.1.5.4 Difração

Fenômeno que permite com que uma onda atravesse fendas ou contorne obstáculos, atingindo regiões onde, segundo a propagação longitudinal da onda acústica, não conseguiria alcançar. A difração é explicada pelo princípio de Huygens que afirma que quando os pontos de uma abertura ou obstáculo são atingidos pela frente de onda, eles tornam-se fontes de ondas secundárias que mudam a direção de propagação da onda principal, atravessando a

abertura e contornando o obstáculo. As ondas acústicas são fortemente difratadas quando o comprimento de onda do sinal emitido por uma fonte acústica possui a mesma medida do obstáculo ou fenda do meio que essa onda irá difratar[1]:

Figura 2.6 –Difração de onda acústica com comprimento de onda da mesma medida que a do obstáculo.



Fonte:O autor

2.1.6 Condições de propagação encontradas no Acoustic System Trainer

As seguintes condições de propagação são encontradas quando operamos o AST SONAR Mk X [9]:

a)As propagações sonoras se dão no meio homogêneo da água doce. Não haverá influência de gradientes de salinidade na propagação sonora durante o emprego do equipamento

b)Há um bom contato acústico entre os transdutores e a água

c)O espalhamento da energia do som seguirá a lei do quadrado inverso

d)Os efeitos de refração causados pelos gradientes de pressão e temperatura horizontal e vertical serão considerados infinitesimais e desprezíveis

e)As bordas do Acoustic Tank constituem-se de material refletor de onda acústica

Concluindo, dadas as condições de contorno supracitadas, a variação de temperatura será o único parâmetro considerado variável no *AST SONAR Mk X* para efeitos de cômputo da velocidade do som quando o referido dado for necessário à conclusão de algum experimento.

Será descrito no Capítulo seguinte as características do *Acoustic Tank*.

2.2 SISTEMA SONAR BÁSICO

O *SONAR* é um equipamento que utilizando-se de pulsos acústicos visa determinar a posição e a existência de alvos que reflitam a onda mecânica no meio fluído da água [10].

Porém conforme vamos nos interando sobre o assunto, descobrimos que há mais aplicações para o sonar do que simplesmente detectar a presença de alvos ou verificar a sua distância quais sejam [11]:

emprego na segurança da Navegação por Submarinos e Navios (Ecobatímetro);

determinação de posicionamento de minas submarinas e poços de petróleo *Offshore*;

comunicação entre Navios e Submarinos;

pesquisa e cartografia do relevo submarino;

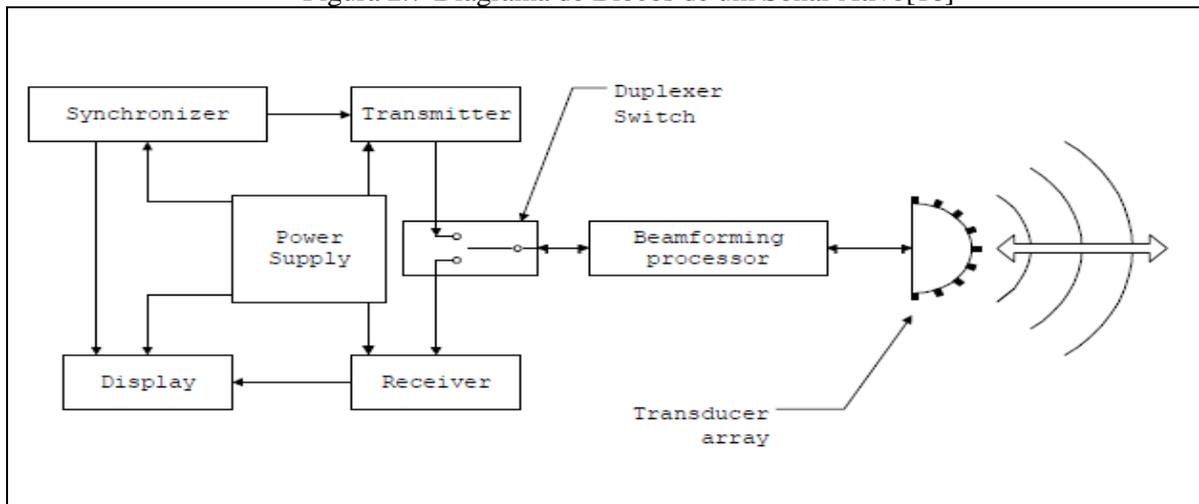
emprego na Pesca para localização de cardumes de peixes; e

sensor para determinação de alarmes de torpedo na água.

2.2.1 Sistema Sonar Ativo

Num sistema *sonar* ativo a energia elétrica do transmissor é convertida em energia acústica por um transdutor. Da mesma forma que um radar, a energia acústica (e não eletromagnética) atravessa a água (ao invés do ar) indo de encontro à um alvo submarino. Uma vez que o mesmo reflita energia mecânica suficiente para que essa possa ser captada pelos hidrofones (ao invés do *feeder* de uma antena) a mesma é transformada novamente em sinais elétricos os quais serão processados e convertidos em sinal de vídeo para obtenção das mais diversas informações dependendo da aplicação do equipamento. A figura 2.8 mostra um diagrama de blocos de referente a um sonar ativo típico[10]:

Figura 2.7-Diagrama de Blocos de um Sonar Ativo[10]



Fonte: CDR HALL

Segue abaixo a explicação do funcionamento de um *sonar* ativo sob o aspecto do diagrama de blocos:

Power Supply

Supre os Transmissor, Receptor, Sincronizador e *Display* com voltagens adequadas ao seu funcionamento.

Transmissor

Com a energia recebida pela *Power Supply*, gera e atribui o tipo de modulação (geralmente *Continuous Waves-CW* ou *Frequency Modulated-FM* ou uma combinação de ambas) para os pulsos de transmissão e determina a FRP necessária a geração da frequência da portadora.

Duplexer

Recebe os sinais provenientes do Transmissor fazendo o chaveamento dos mesmos determinando dessa forma os instantes de transmissão e a recepção.

Conjunto *Transducer Array* e *Beam Forming Processor* (Processador de formação do Feixe Acústico)

O *Beam Forming Processor* atua em cada transdutor componente do *Transducer Array* gerenciando processos de formação do Feixe Acústico, seja na transmissão aplicando

mudanças de fase ou atrasos no tempo a um feixe principal criado numa direção particular, seja na recepção realizando a interpretação das correntes obtidas pela transdução das perturbações mecânicas obtidas quando da reflexão do pulso no “Scatter” antes do envio deste sinal ao receptor.

Synchronizer

Provê toda a sincronização e coordenação em tempo para o sistema. Ele reseta o display a cada novo pulso para realizar novas medições de distâncias.

Receiver

Compara o nível de sinal com o nível de ruído, de maneira determinar se o sinal de um determinado feixe será apresentado caso ele possua amplitude maior que o *threshold* de detecção ou o *threshold* de nível sinal-ruído.

Display

O *display* disponibiliza todas as informações da detecção num formato visual. Existem dois tipos principais de display, o *A-scope* e o *Plan Position Indicator-PPI* (figuras 2.9 e 2.10).

Figura 2.8- *Display* tipo A-SCOPE[10]

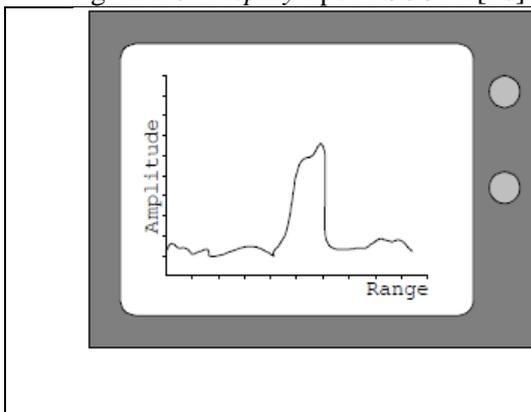
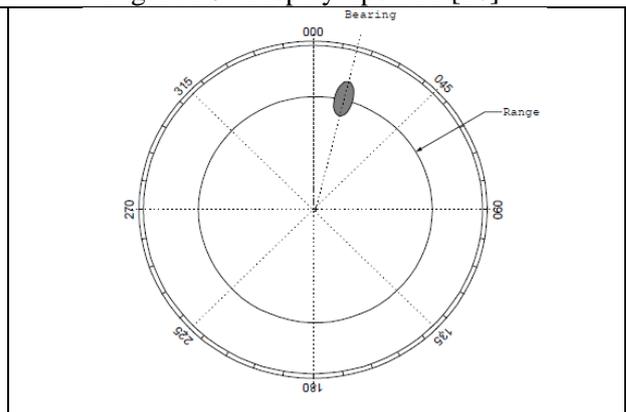


Figura 2.9- *Display* tipo PPI [10]



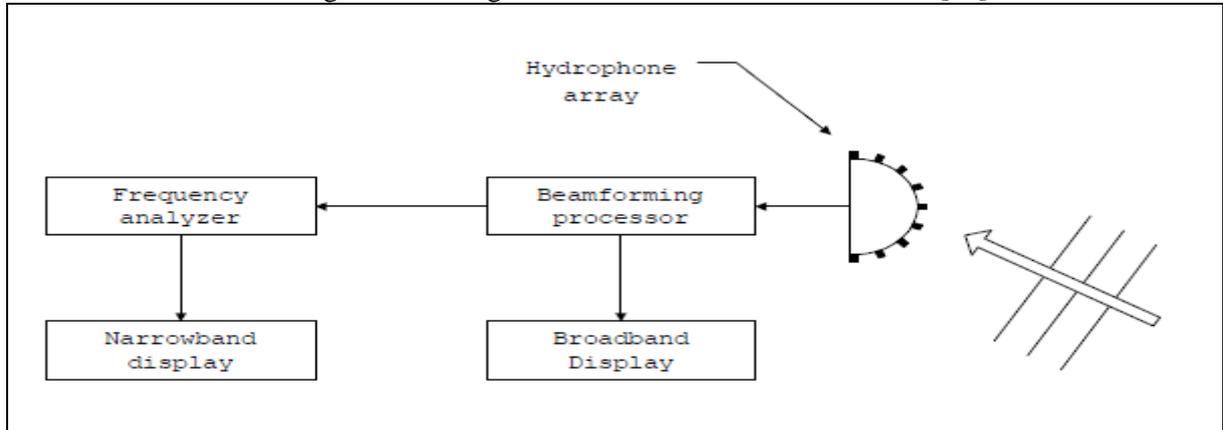
Fonte: CDR HALL

2.2.2 Sistema Sonar Passivo

No Sistema *Sonar* Passivo, um objeto para ser considerado um alvo, necessita irradiar ondas acústicas com tal magnitude que excitem os hidrofones componentes do Transducer

Array. Este sinal recebido é processado no receptor de forma a gerar uma apresentação de vídeo a um operador. Segue na figura 2.11 um diagrama esquemático de um Sonar Passivo típico[10]:

Figura 2.10-Diagrama de Blocos de um Sonar Passivo[10]



Fonte:CDR HALL

Segue abaixo a explicação para o funcionamento de um Sonar passivo sob o aspecto do diagrama de blocos:

Hydrophone Array

É um conjunto de elementos de hidrofones que detectam a energia acústica vindo dos contatos e as converte em sinal elétrico.

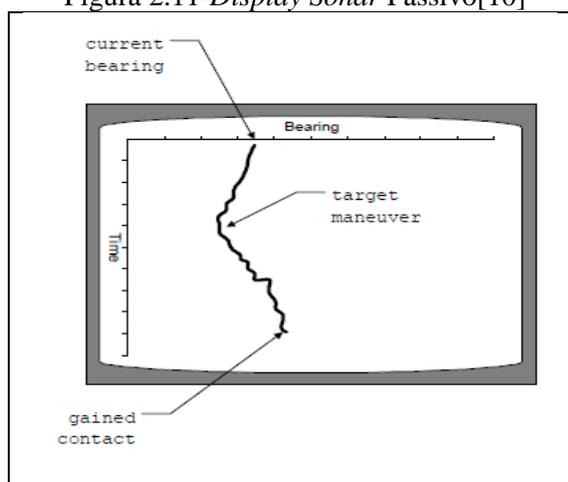
Beamforming processor

É o dispositivo que faz o chaveamento para a recepção de ondas acústicas de feixe largo ou curto dependendo da espécie dos sinais recebidos.

Display

Obtém as apresentações de vídeo dos sinais detectados conforme a figura 2.12:

Figura 2.11-Display Sonar Passivo[10]



Fonte:CDR HALL

Frequency Analiser

Distribui o sinal em diversas frequências separadas de forma a facilitar o seu processamento.

2.3 Equação Sonar

Existem dois tipos de equações que modelam o funcionamento dos Sonares e o quanto os mesmos são influenciados pelo meio, por sua própria plataforma e pelo seu alvo de interesse[2].

2.3.1 Equação Sonar Ativo:

O sonar ativo ao emitir seu pulso gera, o Nível da Fonte (*Source Level-SL*), mesmo com o revés das Perdas na Propagação (*Propagation Losses- PL*), transformando energia em ondas mecânicas gerando assim vibrações moduladas ao meio fluído. Uma vez que essas ondas atinjam um alvo com uma intensidade de pressão suficiente para gerar a reflexão de volta a sua origem, a Força de Aquisição do Alvo (*Target Strength-TS*) é obtida. Porém esse eco sonoro antes de retornar à sua origem, sofre mais uma vez perdas na propagação por atenuação e espalhamento (*Propagation Losses- PL*), perdas devido aos ruídos internos da plataforma e externos do meio (*Noise-N*). Para que o sinal recebido seja considerado uma detecção o mesmo é comparado ao Nível de Detecção (*Detection Threshold-DT*) setado

internamente pelo operador do equipamento e caso esse sinal recebido exceda esse valor o Excesso de Sinal (*Signal Excess-SE*) ocorre obtendo-se uma detecção sonar. Resumindo [2]:

$$SE = (SL + TS - 2PL) - N - DT \quad (2.9)$$

2.3.2 Equação Sonar Passivo

Com relação ao sonar passivo, o Nível da Fonte (*Source Level-SL*), manifesta-se através da pressão da onda acústica que carrega as irradiações próprias do alvo captados pelos hidrofones do *Transducer array* sob a forma de Excesso de Sinal (*Signal Excess-SE*) uma vez que este tenha tido intensidade o suficiente para estar acima do Nível de Detecção (*Detection Threshold-DT*) e desde que não tenha sido anulado por ruídos internos da plataforma, externos do meio (*Noise-N*) ou pela atenuação/espalhamento do meio (*Propagation Losses-PL*) . Resumindo[2]:

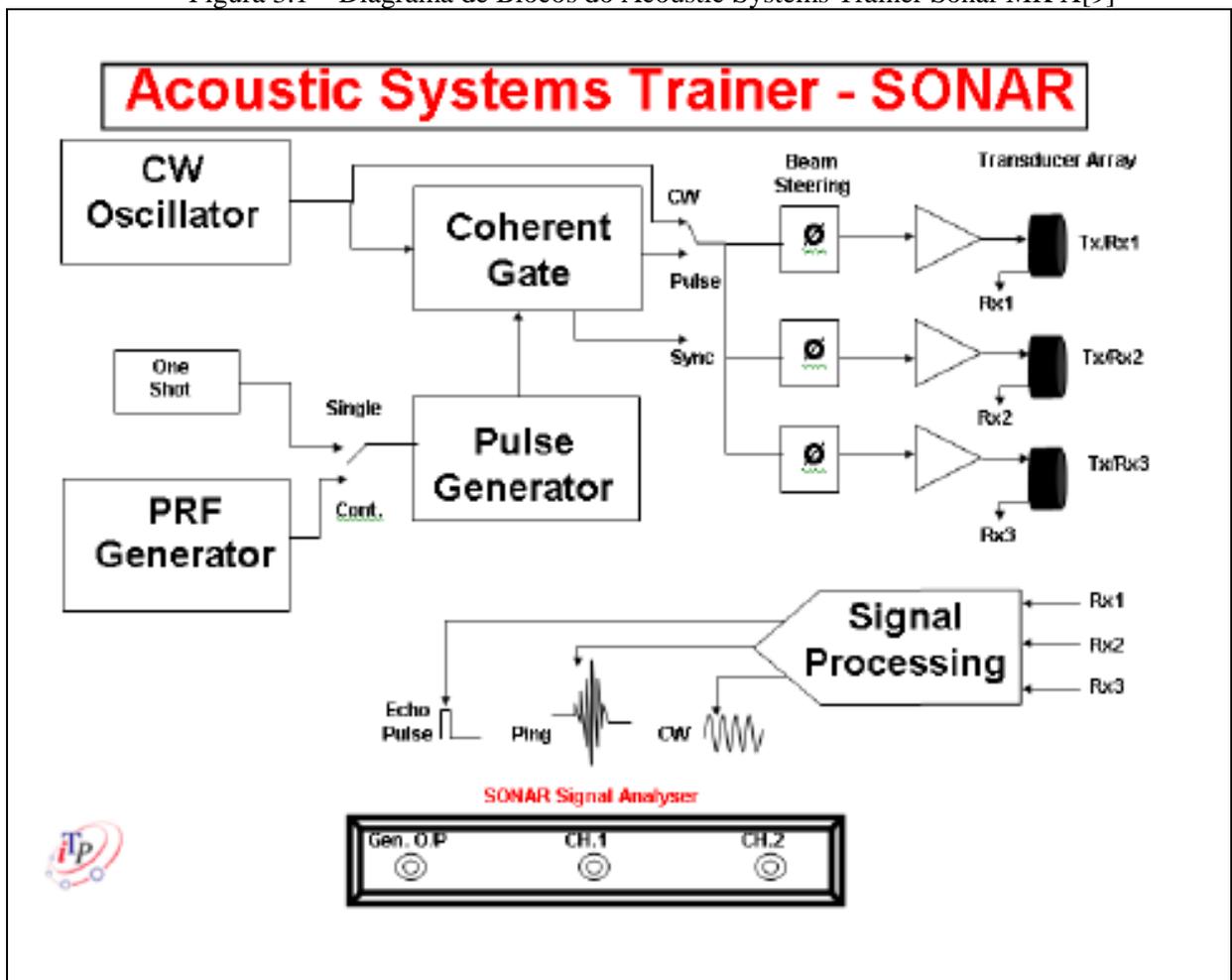
$$SE = (SL - PL) - N - DT \quad (2.10)$$

3 ACOUSTIC SYSTEM TRAINER SONAR

3.1 APRESENTAÇÃO

O *AST SONAR MK X* é capaz de gerar sinais acústicos nos moldes dos sonares passivos e ativos cuja teoria foi apresentada anteriormente. Seu diagrama de blocos é apresentado na figura 3.1[9]:

Figura 3.1 – Diagrama de Blocos do Acoustic Systems Trainer Sonar MK X[9]



Fonte: ITP

CW OSCILATOR

Opera como o transmissor do equipamento. O *CW Oscilator* quando operando no modo *Calibrated - CAL* produz aos transdutores uma senóide de amplitude de 18V pico a pico e frequência de 192KHz a partir das saídas *CW, TX1 O/P, TX2 O/P* ou *TX3 O/P*. A frequência

do oscilador pode ser mudada entre escalas de baixa e alta frequência, quando no modo *Variable-VAR* uma vez que os ganhos de TX1, TX2 e TX3 O/P estejam ajustados.

PRF GENERATOR

Opera como um Sincronizador. Produz a periodicidade de repetição de pulsos através do *Pulse Generator* que atua temporizando a atuação de chaveamento do *CW OSCILLATOR* uma vez que o sistema esteja operando no modo *TX PULSE*.

Pulse Generator

O gerador de pulsos pode ser operado no Modo *Continuous-CONT* ou Modo de pulso singelo-*SINGLE*, a largura de pulso (*Pulse Width-PW*) pode ser mudada entre *Calibrated-CAL* e *Variable-VAR*. Um circuito de geração de pulsos singelos, comanda o Gerador de pulsos a emitir um único pulso seguido de um som “*ping*” a cada vez que a tecla *SINGLE PULSE* é pressionada. Esta tecla inibe o *oscilador CW*, permitindo que o único pulso gerado seja enviado ao transdutor para emissão.

Coherent Gate

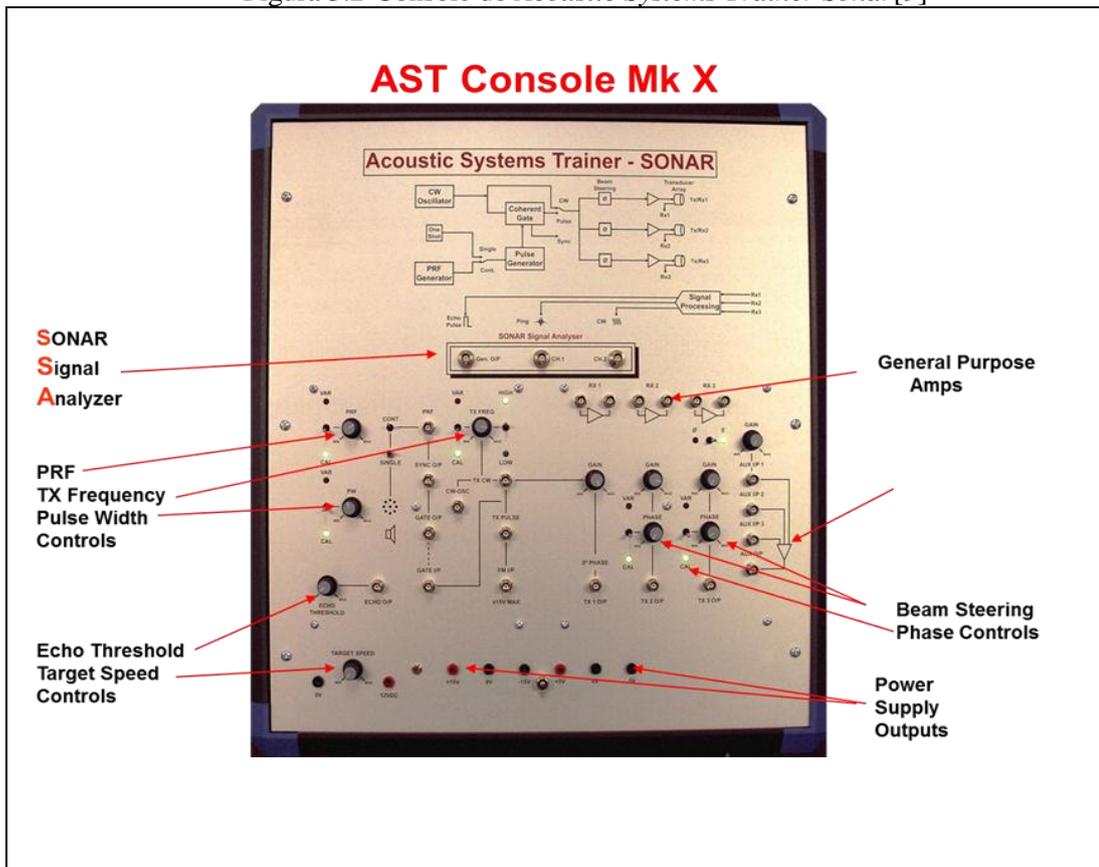
Opera como uma chave *duplexer*, chaveando o equipamento para a transmissão e recepção.

3.2 COMPOSIÇÃO

O *Acoustic System Trainer Sonar Mk X* é composto das seguintes unidades[9]:

3.2.1 *AST console*

O *AST Console*, cujo painel frontal possui 48 cm de lado pode ser visto na figura 3.2. Dado a existência de um extenso número de circuitos internos, é responsável pela geração dos sinais de *CW*(onda contínua), *FM-CW* (modulados em frequência) e modulados por pulsos que são enviados aos transdutores[9].

Figura 3.2-Console do *Acoustic Systems Trainer Sonar*[9]

Fonte: ITP

Especificações do *AST Console*:

Voltagem: 110/220/240v 1 amps 50/60Hz

Interface com o computador: Via porta USB

Saídas de alimentação externas: 0-12V / +5V, -5V/+15V/-15V D.C.

Frequências: TX CW@ 192 kHz-CAL/VAR

PRF@714Hz-CAL/VAR

PW@ 10useg (em ciclos de 20W)

Canais TX2,TX3-Variam em fase até 120 graus

Externamente possui diversos controles:

Echo Threshold - No modo sonar ativo o eco recebido é comparado num circuito comparador ao nível de Threshold que é setado através deste controle.

Aux.Amps -Estas três entradas amplificam os sinais que são interligados por eles via cabos e conectores BNC quando da realização dos experimentos de determinação de Doppler e Plotagem do Feixe.

Target Speed Controls - É usado para gerar a alimentação de 0 a 12V, controlada por um potenciômetro para que através dessa variação em voltagem o *Target Transportation System* componente do *AST* possa atender as diversas demandas de velocidades usadas nos experimentos. Esta fonte pode gerar até um Ampere, podendo ser usada em experimentos de desenvolvimento quando não se esteja empregando o *Target transportation System*.

DC Supplies-Cada entrada compreende as tensões respectivamente de +15,-15,+5 e -5 volts disponíveis no painel frontal para projetos de desenvolvimento.

Sonar Signal Analyser – É um instrumento de aquisição de dados via Computador associado ao *AST* controlado por software padrão. Os *Channel.1* e *Channel.2* , são os canais de entrada e o *Gen.O/P* gera as fontes de sinal da provenientes do *Software* Gerador de Formas de Ondas Arbitrárias proveniente do Sistema Computacional associado ao *AST*.

3.2.2 Sistema computacional de apoio ao console do *AST*

Figura 3.3 -Computador associado ao *AST Sonar MK X*



Fonte: Dell Computers

Descrição Técnica:

Processador: Intel® Core™ i7-3630QM (6MB Cache de 3.4GHz)

Hard Disk: 1TB RAID 0 (2x 500GB SATA 3B/s 7,200 RPM)

Memória RAM: 8GB (2 X 4GB) Dual Channel DDR3 de 1600MHz

Placa de Vídeo: 2GB GDDR5 AMD Radeon™ HD 7970M

Placa de Rede: Intel® Centrino® Wireless-N 2230 With Bluetooth 4.0

Interliga-se ao Console do *AST* via cabo *USB* fim obter informações de processamento de sinais que terão sua interface homem-máquina realizada via apresentação na tela de computador dos dados processados obtidos no formato de instrumentos virtuais como osciloscópio, analisador de espectro e frequencímetros obtidos pelo *Tie Pie Engineering @ Handyscope HS 3 Multi Channel Software*.

3.2.3 Tie Pie Engineering@ Handyscope HS 3 Multi Channel Software

O *Software* padrão instalado no Sistema Computacional associado ao *AST* provê além das funções supracitadas os seguintes instrumentos/aplicativos[9]:

Osciloscópio Digital;

Analisador de Espectro/Harmônicas;

Voltímetro;

Frequencímetro;

Gravador de Transiente (*Transient recorder*);

Gerador de Formas das Ondas Arbitrárias: Senóide, Cossenóide, Onda Triangular e Ruído; e

Spectrogram Software.

3.2.4 Acoustic Tank

Figura 3.4- Tanque Acústico do *Acoustic Systems Trainer*[9]



Fonte:ITP

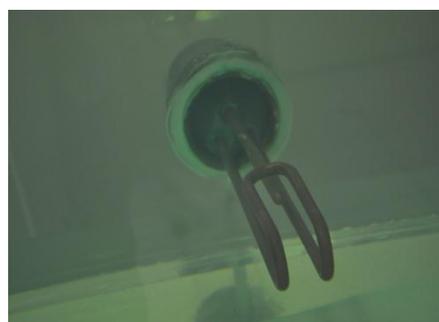
O Tanque acústico possui um formato retangular sendo constituído por lâminas de acrílico de 12 e 15mm, com réguas de alumínio graduadas em centímetros em ambas as extremidades laterais. As dimensões do tanque são 1200mm(comprimento), 600mm(largura) e 600mm(profundidade) abrigoando um volume de água de 450 litros.

O tanque possui internamente um Aquecedor(*heater*) de 3kw controlado termostaticamente posicionado ao centro no fundo da face traseira do tanque. Externamente há um termômetro com seu respectivo sensor para a medição da temperatura da água do tanque.

Figura 3.5 - Termômetro



Figura 3.6 - Aquecedor de 3kw

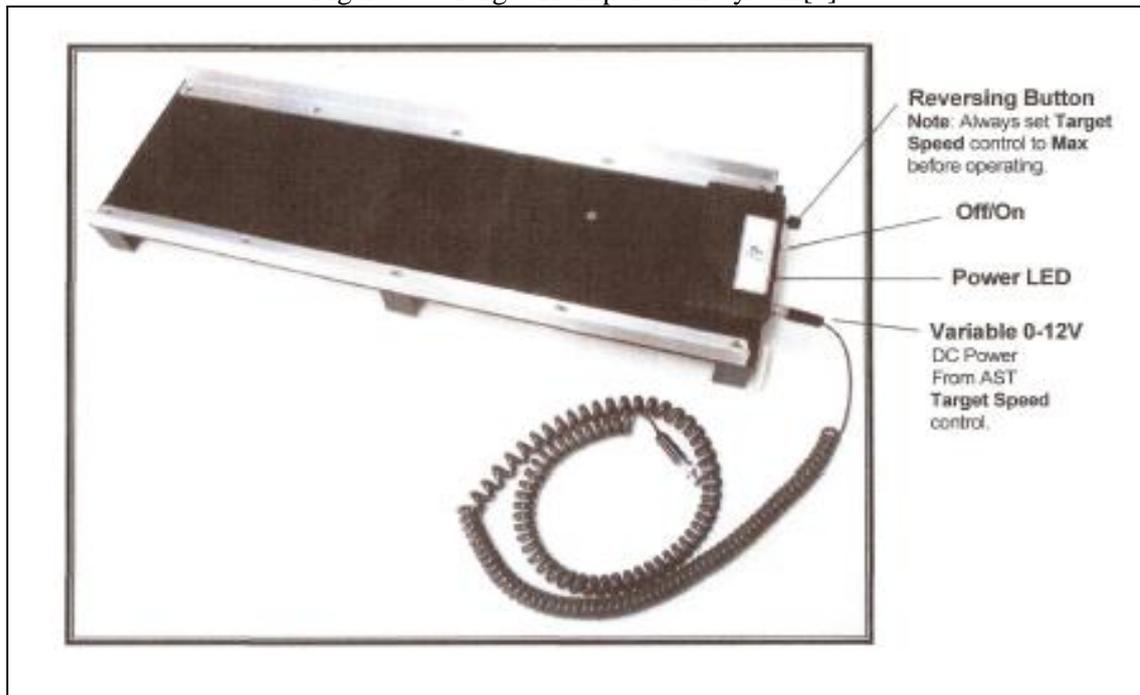


Fonte: O autor

Existem ainda dois suportes para transdutores posicionados nas extremidades direita e esquerda do tanque e duas guias de trilhos para o passeio das rodas do *Target Transportation System*.

3.2.5 AST - Target Transportation System

Figura 3.7- Target Transportation System[9]



Fonte:ITP

Este sistema de transporte do alvo possui velocidade variável controlada por um potenciômetro componente do painel do *AST*. Este sistema está apto a transportar dois alvos para sonar ativo ou um transdutor para experimento em sonar passivo (com o *beam plot transducer* somente) ou um transdutor para determinação da plotagem do feixe (*beam plot transducer*). O motor elétrico que move este dispositivo possui um dispositivo de reversão de demanda automático para quando o mesmo alcança o limite da borda do tanque acústico ou no modo manual para quando houver a necessidade de mudar a direção de deslocamento do mesmo.

3.2.6 Transdutores

Figura 3.8 - *Beam Plot Transducer*



Figura 3.9 - Transdutor Fixo



Fonte: O autor

O AST Sonar Mk X possui três transdutores sonar. Dois deles são fixos, só podem ser instalados nas extremidades esquerda e direita do tanque, não sendo compatíveis para instalação no *Target Transportation System*. O terceiro é usado para a determinação do Feixe sonoro, possuindo diferente dos demais uma cabeça móvel rotativa e um suporte apropriado tanto para ser sustentado nas extremidades esquerda e direita do tanque, quanto para ser sustentado pelo *Target Transportation System*. Todos os três possuem as seguintes características técnicas[9]:

Frequência: 192kHz

Largura de feixe: 8° @ -3dB

Formato do Transdutor: Tipo Feixe Cônico (*Conical Beam Shape*)

Diâmetro dos Elementos: 2.5"/6cm

Modo de Operação: reversível (podendo funcionar com transdutor ativo ou passivo)

3.2.7 Alvos

3.2.7.1 Alvos para experimentos em Sonar Ativo

Figura 3.10-Alvo quadrado plano de 20cm

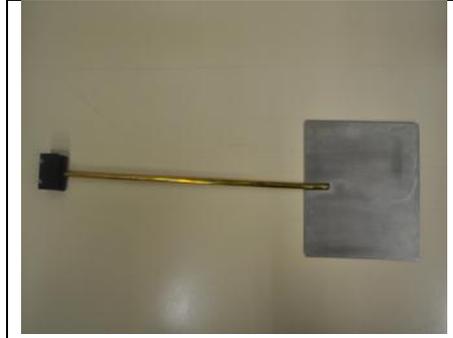


Figura 3.11- Alvo quadrado plano de 10cm Figura 3.12- Alvo aerado quadrado plano de 10cm
(*"See through grill Target"*)

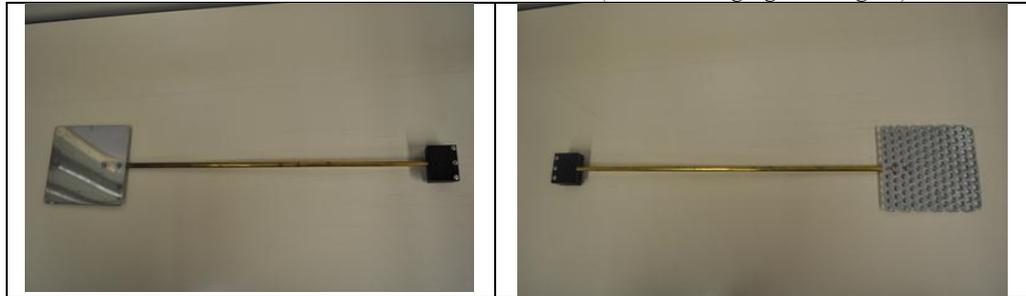
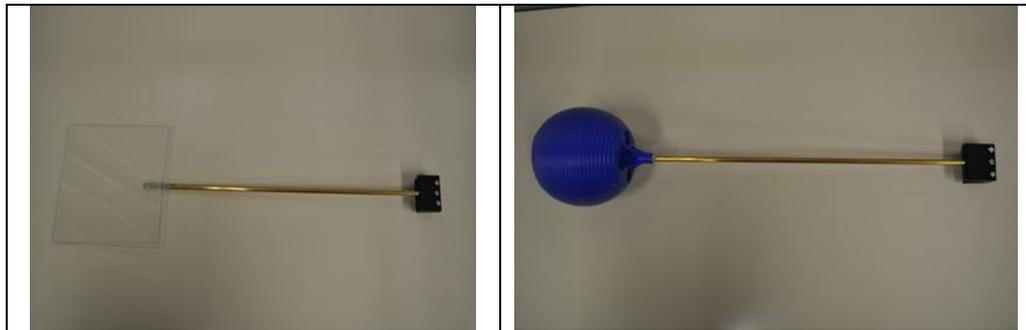


Figura 3.13- Alvo acrílico quadrado plano de 20cm Figura 3.14-Alvo esférico de 11,5cm de diâmetro



Fonte:O autor

3.2.7.2 Fonte de Sinais para o experimento em Sonar Passivo

Figura 3.15 - Motor elétrico do eixo de hélices e hélices de respectivamente da esquerda para direita, cinco, quatro e três pás.

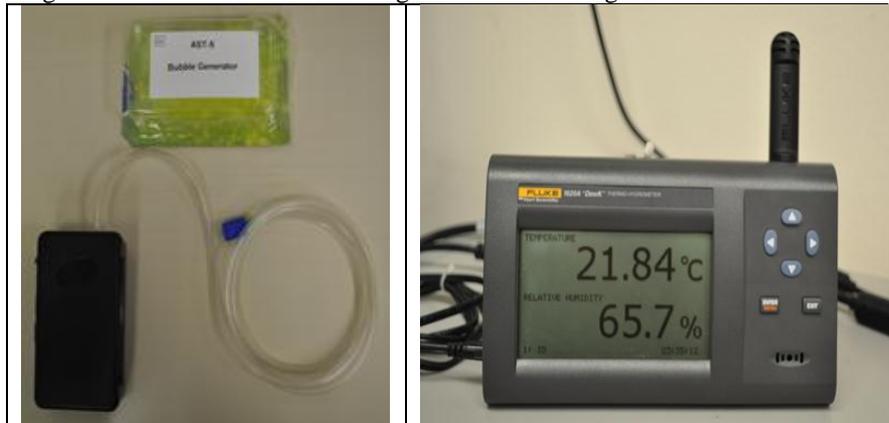


Fonte: O autor

Para os experimentos em Sonar Passivo, após conectar-se um hélice ao eixo do motor elétrico, conecta-se o motor elétrico a fonte de 12V do console do AST para simular um hélice propulsor gerando torque na água.

3.2.8 Acessórios do AST Sonar MK X

Figura 3.17-Gerador de Bolhas Figura 3.18- Termohigrometro Fluke 1620A



Fonte: O autor

Figura 3.19-Ampola de Sal Figura 3.20- Hidrofone "H2"



Fonte: O autor

Esses acessórios tem utilidades múltiplas para emprego específico em diversos experimentos. A ampola de sal $MgSO_4$ e o gerador de bolhas são empregados no experimento de espalhamento volumétrico (“*Volume Scattering Experiment*”), o Termohigrometro Fluke 1620A é usado para monitorarmos as condições atmosféricas do laboratório Sonar e o Hidrofone “H2” serve para ser empregado no Experimento do Analisador Acústico (*Underwater Sound Analysis*).Segue abaixo suas principais características técnicas[9]:

Sensibilidade:-180dB re:1V/ μ Pa;

Faixa útil:10Hz a 100kHz(Sensibilidade aproximada a 100kHz=-220dB re:1V/ μ Pa);

Resposta Polar:Omni Direcional;

Limite de Profundidade de Operação:80m;

Impedância de Saída: 2000 Ohm.

4 LABORATÓRIO SONAR NO CEAAE

4.1 EMPREGO DO AST SONAR MK X NO ENSINO DE GUERRA ANTISUBMARINO

Neste capítulo será desenvolvida uma proposta para implementação de práticas laboratoriais durante a disciplina GE 910 Tópicos de Análise do Ambiente Eletromagnético usando os recursos do *AST SONAR MK X*.

O critério para a escolha dos experimentos sugeridos para implantação no CEAAE baseou-se em seu correlacionamento com os assuntos que são peculiares a cada aula. Considerando-se que a disciplina GE 910 Tópicos de Análise do Ambiente Eletromagnético-Guerra Antissubmarino, em sua atual grade curricular compreende quatro dias de aulas, perfazendo a abordagem de quatro assuntos atinentes a guerra antissubmarino, sugere-se a realização dos seguintes experimentos empregando-se um tempo de quarenta e cinco minutos de aula prática após a realização das aulas teóricas destinadas àquele dia:

- a) Experimento Sonar em *Continuous Waves(CW)*- Familiarização com o *AST SONAR MK X*
- b) Experimento Sonar Ativo (*Active Sonar*)
- c) Experimento para determinação do doppler de um Alvo (*The Doppler Effect*) e
- d) Experimento do Analisador Acústico (*Underwater Sound Analysis*)

4.1.1 Experimento Sonar em *Continuous Waves(CW)*- Familiarização com o *AST SONAR MK X*

Este experimento auxilia os alunos a aprender a empregar os instrumentos virtuais instalados no computador associado ao *AST SONAR MK X* de forma a obter diversos parâmetros de sinais gerados pelo *AST CONSOLE* empregando os seguintes instrumentos:

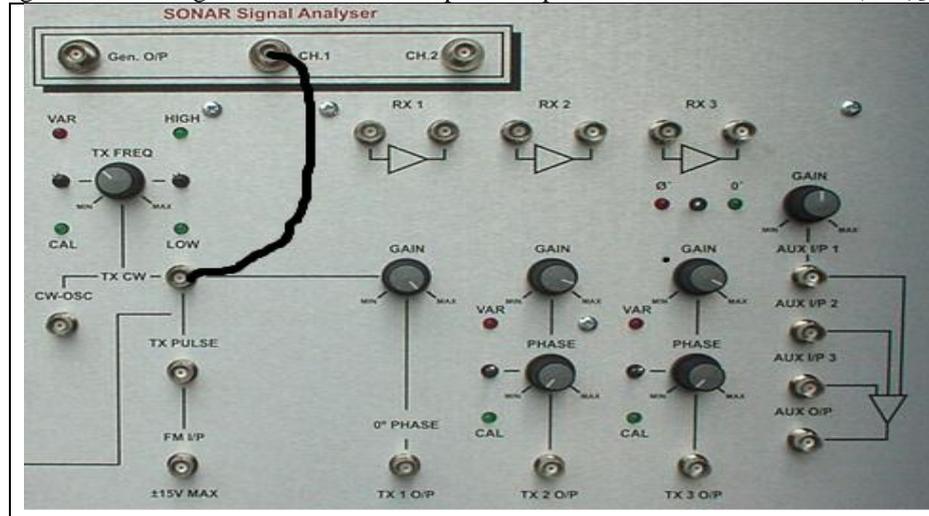
Osciloscópio

Voltímetro

Analisador de Espectro

Em todos os experimentos os alunos realizam a montagem do *AST Console* e dos Transdutores no *Acoustic Tank* antes do seu início. Para o caso desse experimento as montagens são realizadas de acordo com as figuras 4.1 e 4.2:

Figura 4.1- Montagem do Painel do AST para o experimento *Continuous Waves(CW)*[9]



Fonte:ITP

Figura 4.2- Montagem dos Transdutores para o experimento *Continuous Waves(CW)*[9]



Fonte:ITP

Ao término da montagem o equipamento é posto para operar no modo *CW* e através do CPU associado ao *AST SONAR MK X*, os alunos vão seguindo o tutorial pertencente aos manuais do equipamento de forma a irem obtendo familiaridade com os instrumentos virtuais componentes do *software Tie Pie Engineering@Handyscope HS3*.

Na continuidade do experimento é proposto um questionário que insere os alunos na análise de sinais *CW*. Os alunos tem acesso a conhecimentos sobre a utilidade e configuração do osciloscópio, analisador de frequências e do voltímetro na análise de sinais *CW*.

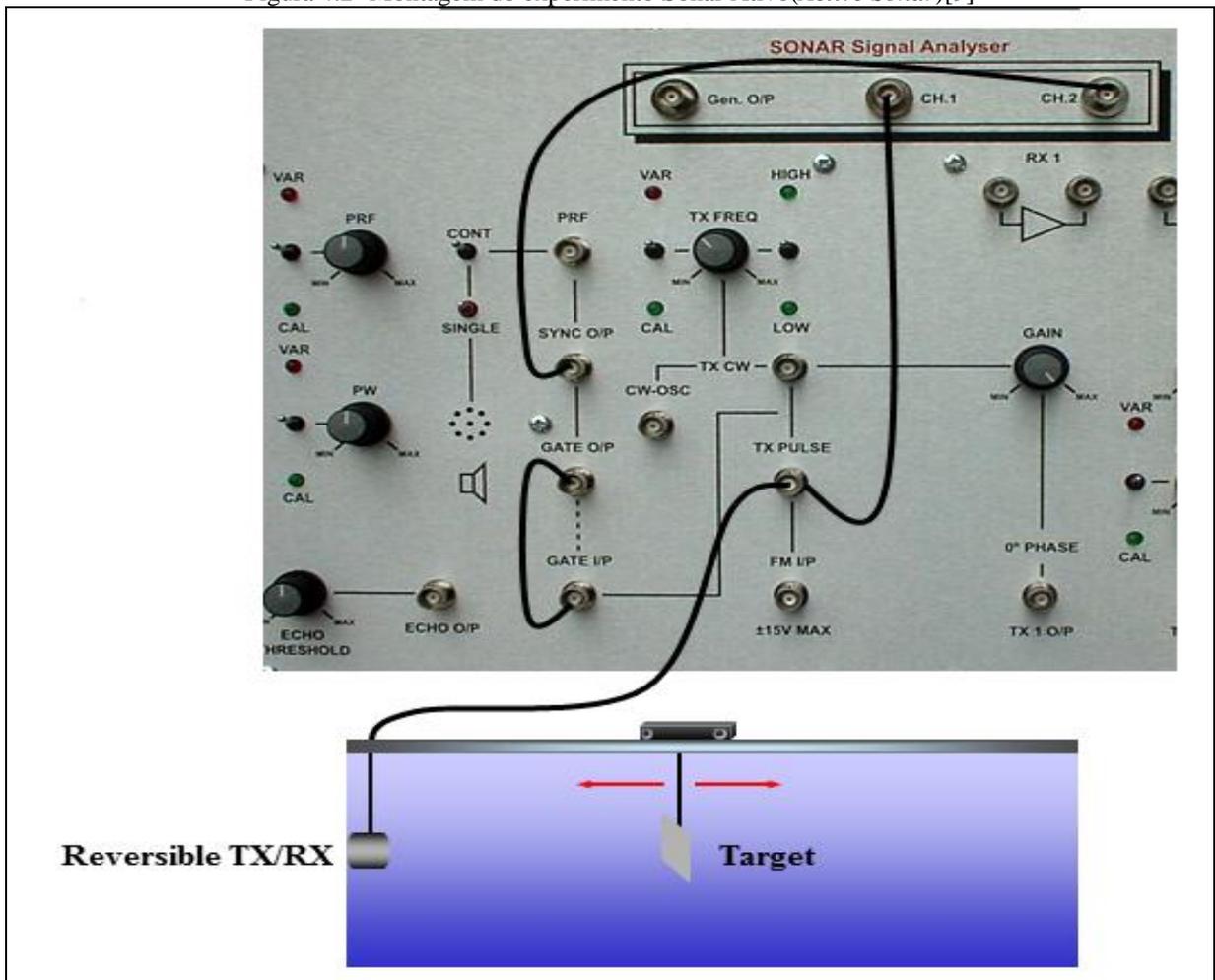
Outras atividades de suma importância desenvolvidas durante o experimento são as medições da amplitude de voltagem pico a pico de um sinal *CW* detectado, das medições de período de uma senóide e da determinação da frequência fundamental e suas harmônicas de uma transmissão de sinal *CW* nas apresentações gráficas do osciloscópio e analisador de espectro.

Este experimento foi selecionado para ter sua implantação sugerida como complemento ao conteúdo programático do curso de GAS, em virtude de sua grande afinidade com os assuntos introdutórias que são proferidos na primeira aula da disciplina GE-910 quais sejam o ensino de acústica básica e dos principais parâmetros da onda acústica.

4.1.2 Experimento Sonar Ativo(*Active Sonar*)

Este experimento exemplifica o funcionamento de equipamento *Sonar* operando em Modo Ativo. Para sua realização os alunos montam numa das extremidades do tanque um transdutor para cumprir a função de transmissor e receptor de sinal no modo reversível. Sobre o *Target Transportation System* instalam um alvo metálico plano de forma que o mesmo esteja alinhado com o transdutor posicionado anteriormente e configuram o painel do console do *AST console* de acordo com a figura 4.2:

Figura 4.2- Montagem do experimento Sonar Ativo(Active Sonar)[9]



Fonte:ITP

Ao término da montagem o equipamento é posto para operar no modo *TX PULSE MODULATION* e o alvo é posto para se movimentar revertendo seu deslocamento de modo automático a cada vez que atinja o fim dos trilhos posicionados nas extremidades do tanque. Nesse momento os alunos realizam, a partir da identificação do contato sonar, as medições dos dados apresentados no osciloscópio para o sinal recebido. Da mesma forma é exemplificado aos alunos quais os efeitos da variação da *PRF*, Largura do Pulso e Frequência de transmissão na apresentação do osciloscópio e analisador de espectro de um sinal acústico segundo instruções atinentes ao questionário pertencente à documentação do equipamento.

A critério do instrutor o alvo pode ser parado e substituído por outro alvo de diferente material e geometria para que os alunos possam visualizar as diferentes amplitudes das ondas

acústicas recebidas no osciloscópio quando da reverberação de um sinal transmitido em diferentes alvos.

Este experimento foi selecionado para ter sua implantação sugerida como complemento ao conteúdo programático do curso de GAS por dois motivos: Primeiramente pela afinidade existente com os assuntos atinentes à propagação acústica e funcionamento de sonares ativos que são proferidos na segunda aula da disciplina GE-910. E em segundo plano pela estimativa de ganho na formação do aluno no que tange a configuração dos parâmetros de operação de um sensor acústico de forma a ser obter o melhor rendimento do equipamento dadas as existentes condições de propagação no meio aquático.

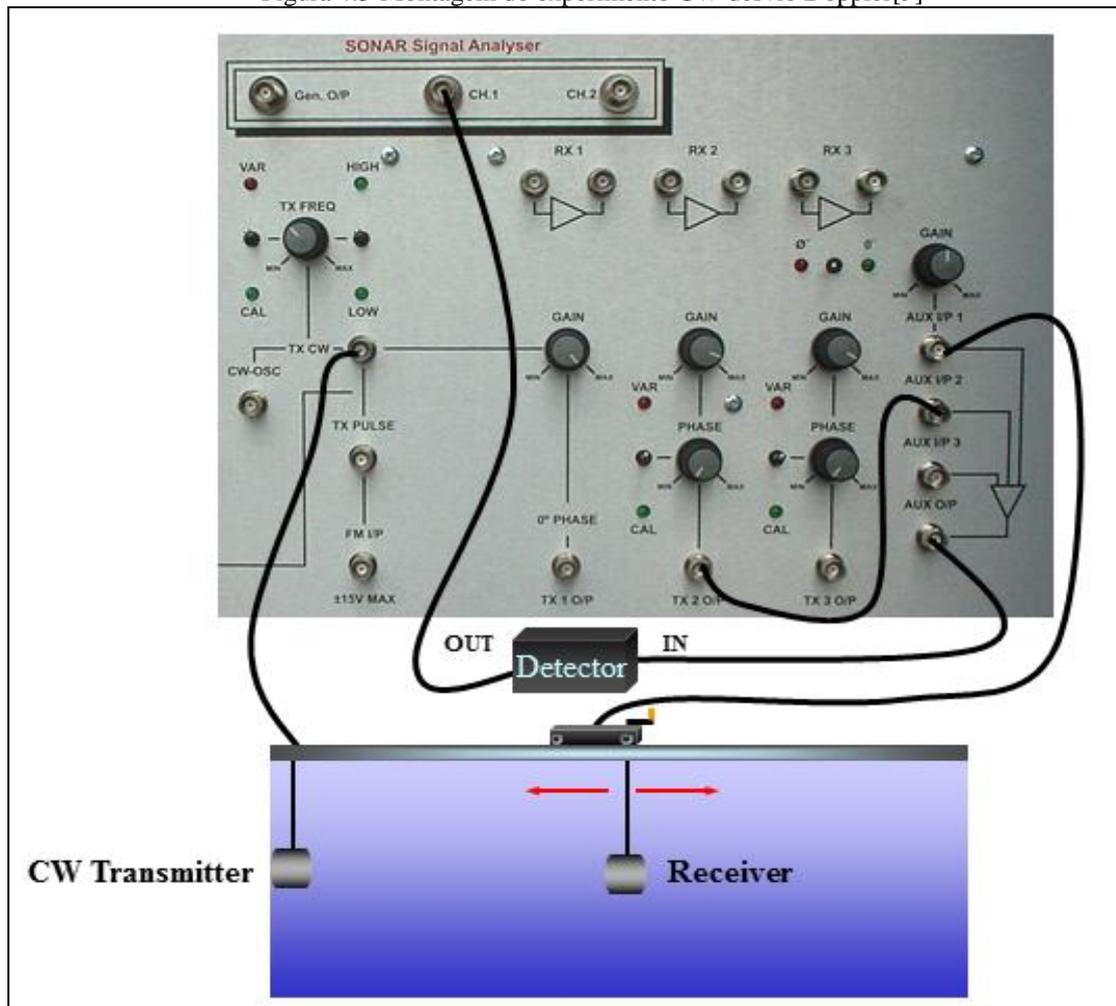
4.1.3 Experimento para determinação do doppler de um alvo(*Doppler Effect*)

Este experimento visa apresentar ao aluno um método de detecção do efeito Doppler dada a variação de frequência obtida quando um sinal CW é recebido por uma unidade que possui um sonar em modo restrito à recepção de sinais, uma vez que o mesmo é irradiado por pulsos acústicos oriundos de uma plataforma transmissora em movimento relativo à plataforma receptora.

Para a realização do experimento os alunos instalam um transdutor em uma das extremidades do tanque para cumprir a função de transmissor de sinais CW .

Sobre o Target Transportation System os alunos instalam um transdutor configurado somente para ser receptor de sinais de CW de forma que o mesmo esteja alinhado com o transdutor posicionado anteriormente e configuram o painel do AST console conforme a figura 4.3:

Figura 4.3-Montagem do experimento CW desvio Doppler[9]

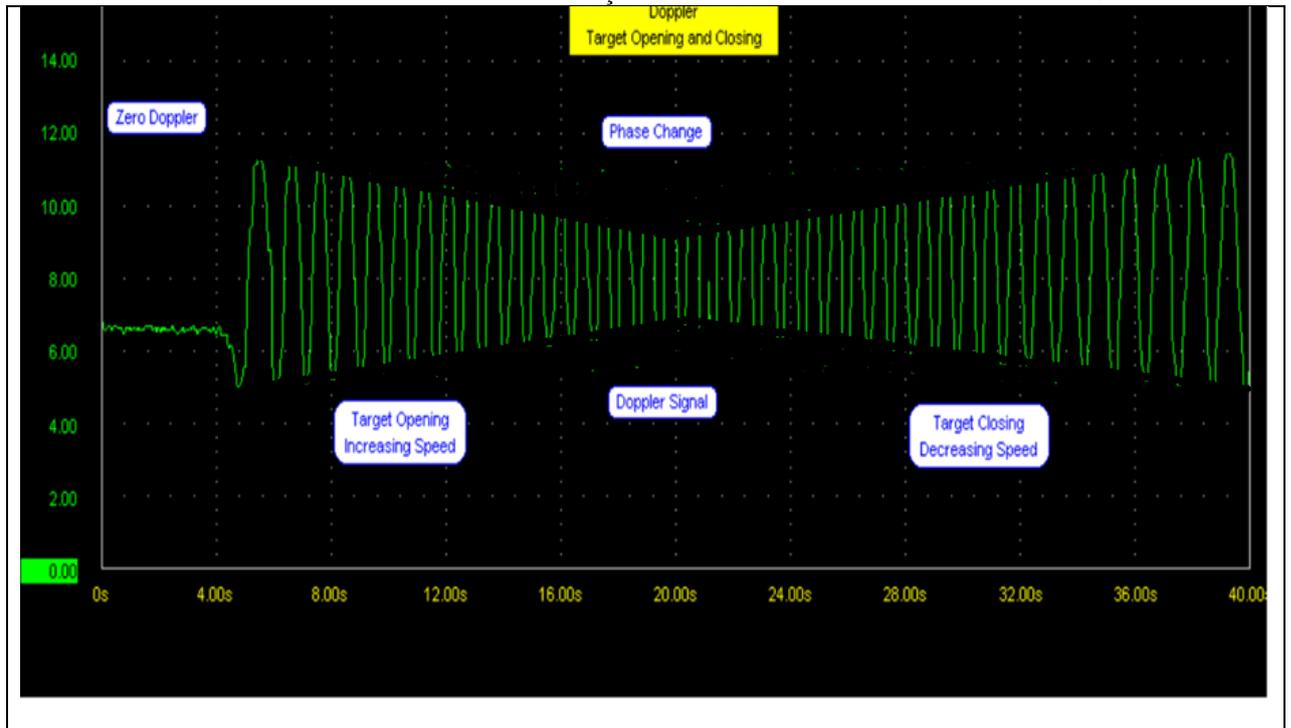


Fonte:ITP

Ao término da montagem do experimento o equipamento é posto a operar no modo TX CW e o receptor de sinal CW é posto para mover-se com diversas variações de velocidade e direção através do *Target Transportation System*.

Os alunos seguindo o roteiro componente da documentação do equipamento, obtém uma apresentação do gráfico obtido pelo *Transient Recorder* para o desvio Doppler existente entre uma fonte de CW estacionário e um receptor de ondas CW em movimento harmônico simples a partir do qual são realizadas medidas das variações de frequência das irradiações de ondas acústicas de acordo com a figura 4.4:

Figura 4.4- Apresentação do "Transient Recorder" obtido para o desvio Doppler de um receptor de Ondas Acústicas em movimento harmônico em relação a uma fonte estacionária transmissora de CW



Fonte: O autor

Este experimento foi selecionado para ter sua implantação sugerida como complemento ao conteúdo programático do curso de GAS, por dois motivos. Primeiramente pela afinidade existente com os assuntos atinentes à ações desenvolvidas pelos submarinos que é o assunto proferidos na terceira aula da disciplina GE-910. E em segundo plano pela estimativa de ganho na formação do aluno no que tange ao entendimento dos meios pelos quais os sonares estimam a velocidade, ou a "rate" de aproximação ou afastamento que um determinado alvo de interesse esteja apresentando, uma vez que é a partir desse dado fundamental que os submarinos obtêm subsídios para o cálculo de sua solução de tiro.

4.1.4 Experimento Analisador Acústico(*Underwater Sound Analysis*)

Esse experimento apresenta ao aluno a principal funcionalidade de um Sonar Passivo: A Análise de Sinais acústicos para a determinação das principais características de identificação de um alvo de interesse. Para a sua realização os alunos instalam um hidrofone "H2", conectado a placa de som do computador associado ao *AST SONAR MK X*, no centro do *Acoustic Tank* a meia distância do fundo. No computador do *AST SONAR MK*, o *Spectrogram Software* é inicializado e configurado conforme as instruções do manual do equipamento.

O experimento Analisador Acústico pode ser realizado de duas formas:

a) Quando geramos no tanque ruídos através do movimento de um dos hélices acoplados ao Motor elétrico componente do *AST SONAR Mk X* conforme ilustrado na figura 4.5 e 4.6; ou

b) Quando geramos a análise de sinais de virtualmente (sem a geração de ruídos no *Acoustic Tank*) através da geração e decodificação na própria placa de vídeo do computador associado ao *AST SONAR MK X* dos ruídos sonoros dos arquivos executáveis constantes da biblioteca de Sons do *Underwater Sound Analysis*.

Figura 4.5- Hidrofone "H2" captando sinais de um hélice de quatro pás

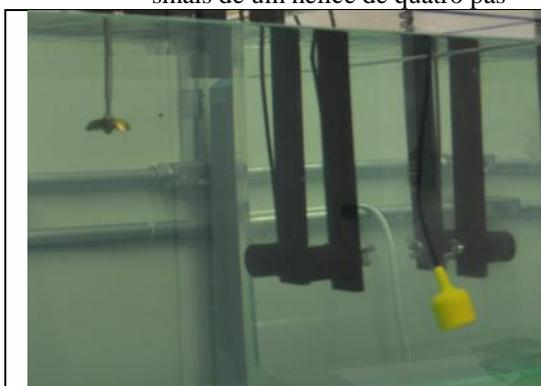
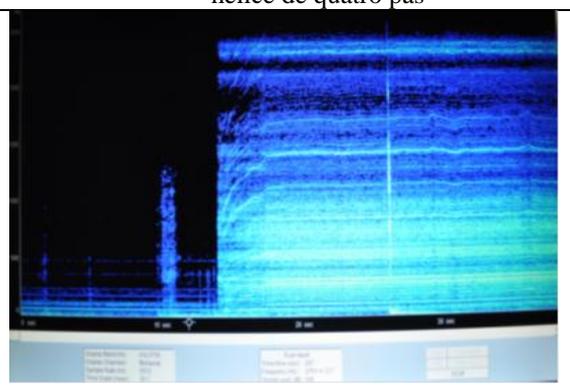


Figura 4.6 -Espectro acústico de um hélice de quatro pás



Fonte: O autor

Este experimento foi selecionado para ter sua implantação sugerida como complemento ao conteúdo programático do curso de GAS, por dois motivos. Primeiramente pela afinidade

existente com os assuntos atinentes às ações desenvolvidas pelos operadores de bóias radiofônicas passivas constante da dotação de armamentos da aeronave P3AM que é o assunto proferido na quarta aula da disciplina GE-910. E em segundo plano, pela estimativa de ganho na formação do aluno, no que tange ao entendimento de que os sons detectados por um hidrofone de um sensor acústico passivo são compostos por diversas de frequências discretas que são ouvidas por nós como se fossem um único som e que a partir desses dados operadores de sensores acústicos passivos empregando softwares de comparação com uma biblioteca de assinaturas acústicas podem estimar a identidade de um contato de interesse.

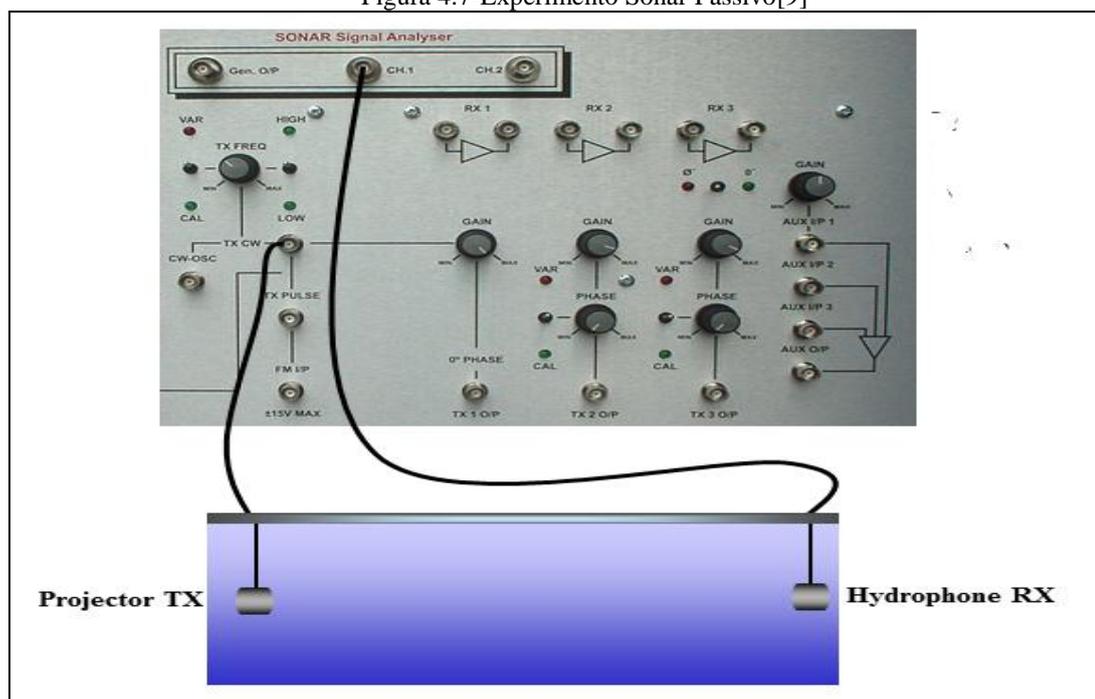
4.1.5 Demais Experimentos que o *AST SONAR MK X* pode realizar

4.1.5.1 Experimento Sonar Passivo em modo *Continuous Waves(CW)*

Este experimento exemplifica ao aluno o funcionamento do sonar em modo CW passivo.

Para sua realização os alunos montam em extremidade opostas do *Acoustic tank* dois transdutores alinhados entre si, sendo um deles configurado como transmissor e o outro configurado como receptor de sinais, o painel do *AST* é configurado conforme a figura 4.7:

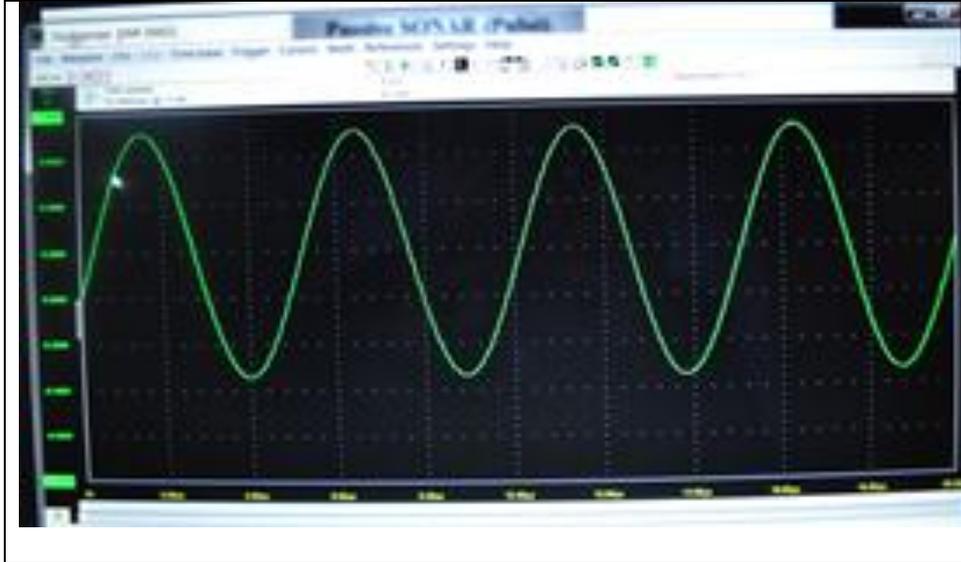
Figura 4.7-Experimento Sonar Passivo[9]



Fonte:ITP

Ao finalizar-se sua montagem, o sonar é posto para operar em *CW* e os sinais passam a ser recebidos no transdutor receptor, uma vez que os mesmo estão alinhados. Obtendo-se a seguinte indicação do osciloscópio constante da figura 4.8:

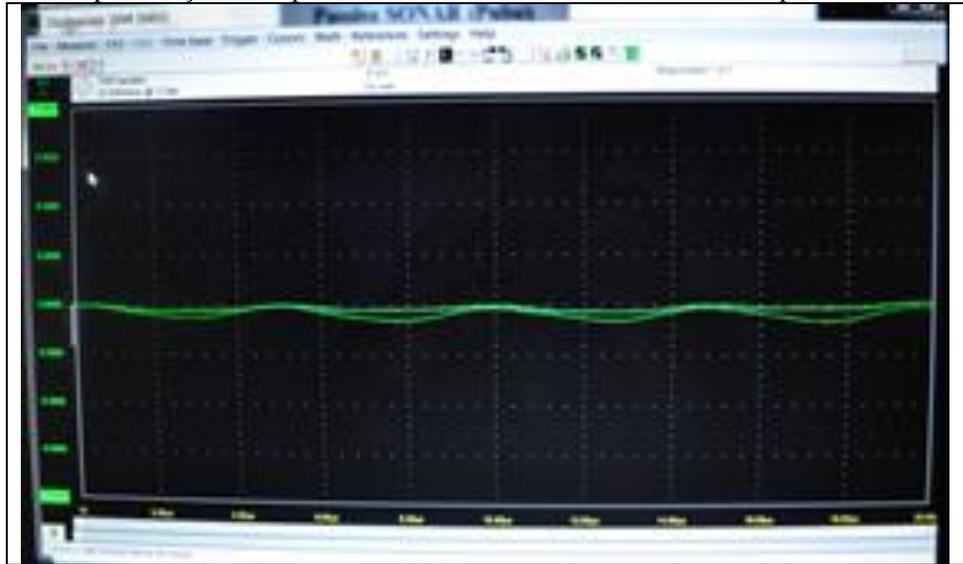
Figura 4.8 -Obtenção do sinal em *CW* do Transdutor receptor pelo projetor.



Fonte: O autor

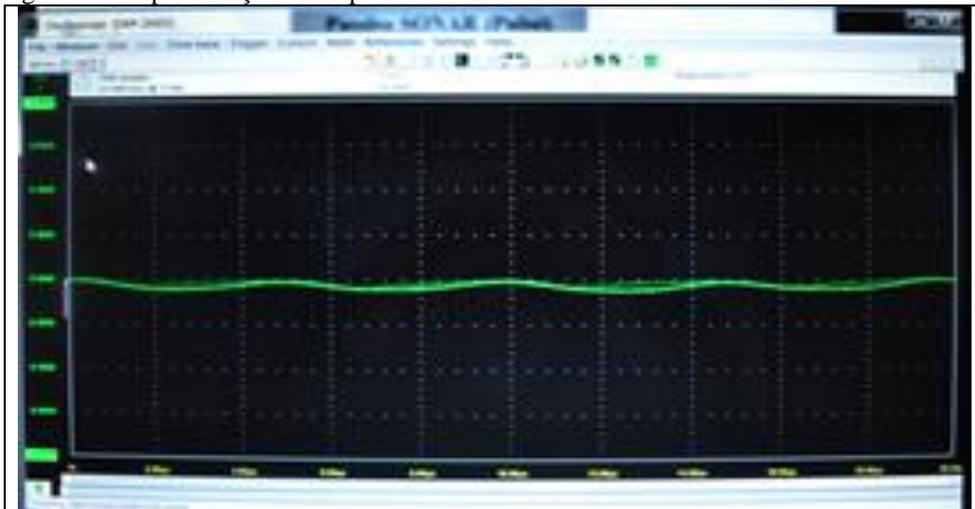
Seguindo as instruções do manual do equipamento é solicitado aos alunos que os transdutores reduzam a escala do osciloscópio após ter se obtido o contato *CW*, registrem o sinal obtido quando os transdutores alinhados e na sequência movam os transdutores de recepção de forma a que esse atinjam as extremidades esquerda e direita do *Acoustic Tank*, registrando-se também esses resultados. Todos os resultados do experimento constam das figuras 4.9 e 4.10:

Figura 4.9-Apresentação da amplitude de sinal obtida com os transdutor receptor desalinhado à esquerda



Fonte: O autor

Figura 4.10-Apresentação da amplitude de sinal obtida com os transdutores desalinhados à direita



Fonte: O autor

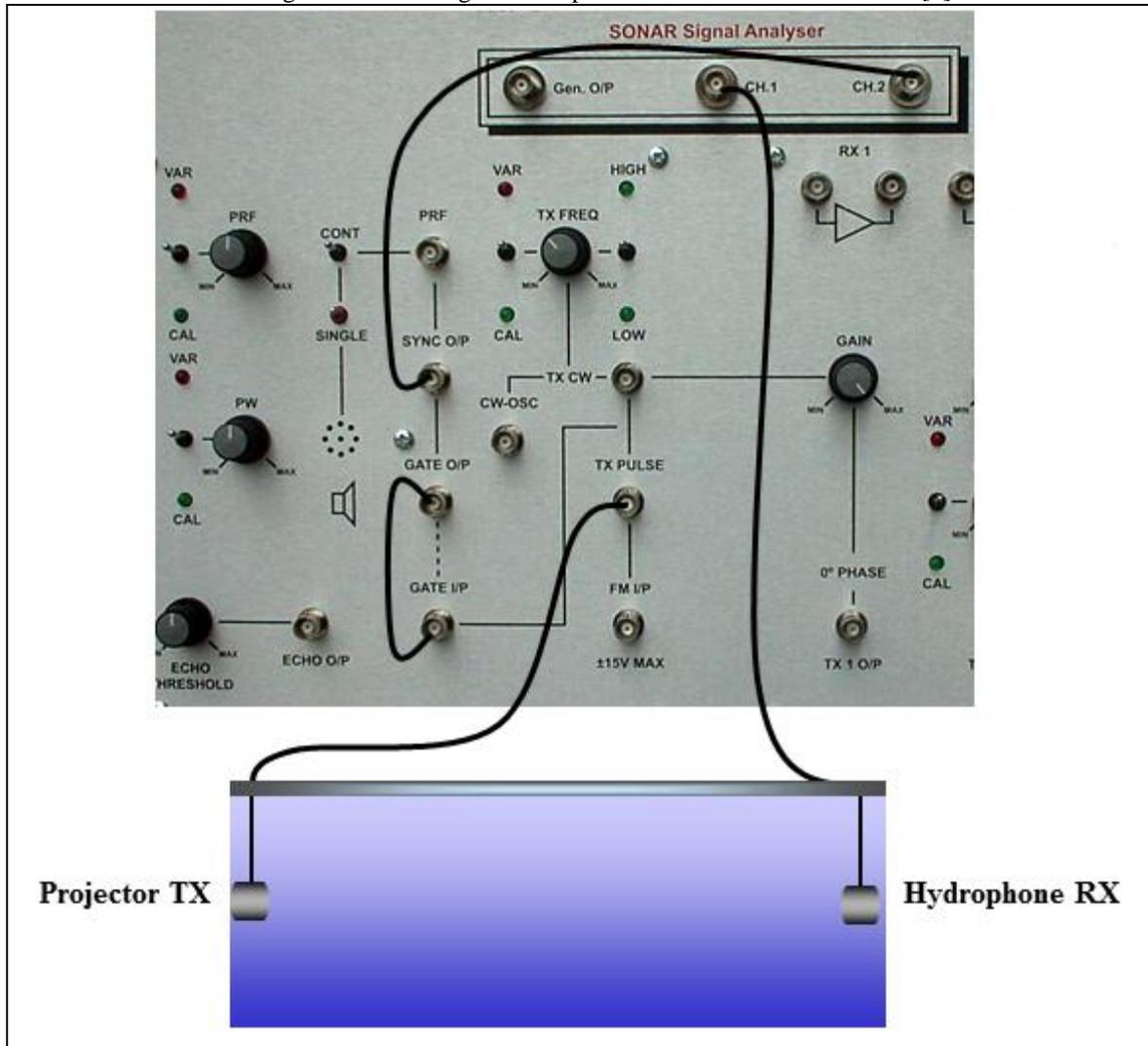
Ao término do exercício o equipamento possibilita ao aluno perceber que a propagação de ondas acústicas em CW é direcional. Ou seja, o transdutor de recepção de sinais só poderia detectar os pulsos emitidos pelo Transdutor se tivesse dentro do feixe de transmissão do mesmo, que para o caso dos transdutores disponíveis é de 8° graus.

4.1.5.2 Experimento Sonar Passivo em modo Pulsado:

Este experimento exemplifica a detecção passiva de sinais pulsados. Para sua realização os alunos montam dois transdutores alinhados em lados opostos do Acoustic Tank, sendo um

com função de transmissão e o outro com função de recepção, configuram também o painel do AST conforme figura 4.12.

Figura 4.12-Montagem do Experimento Sonar Passivo Pulsado[9]



Fonte: ITP

Ao término da montagem o *AST SONAR MK X* é posto para transmitir no modo pulsado. É obtido pelo osciloscópio o eco sonar do sinal pulsado conforme figura 4.13:

Figura 4.13-Contato do alvo obtido pelo Sonar Passivo Pulsado



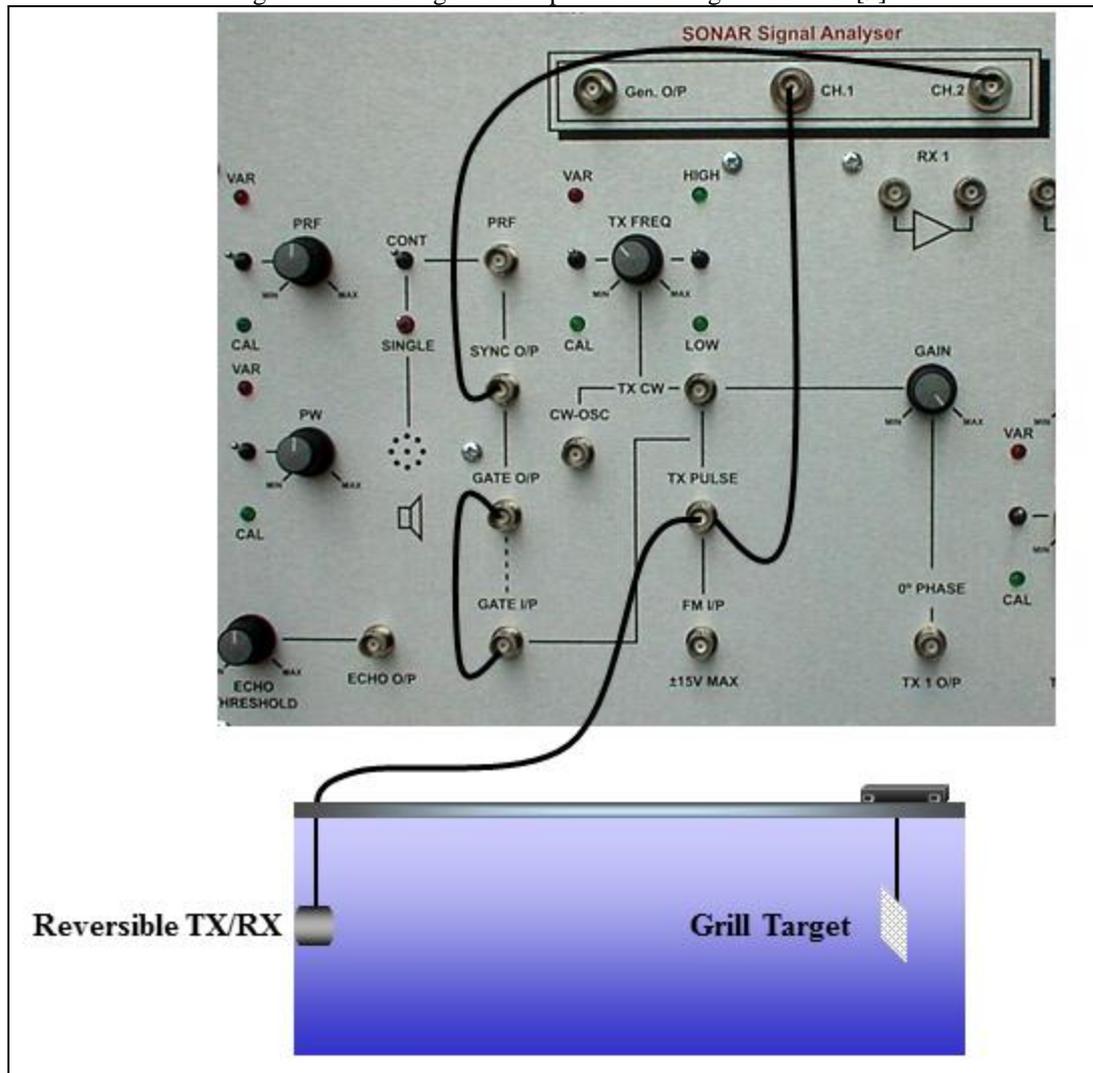
Fonte: O autor

Logo através das instruções dos manuais do equipamento o AST SONAR MK X os alunos têm acesso ao conhecimento das fórmulas a partir das quais um SONAR obtém a distância de um alvo, apresentando também a possibilidade do aluno verificar como se realiza a medição da Frequência de Repetição de Pulsos e a Largura de Pulso de um sinal pulsado recebido.

4.1.5.3 Experimento *Range Resolution*

Este experimento exemplifica a obtenção do valor de resolução em distância por um *sonar ativo* quando se varia a largura de pulso emitida pelo equipamento. Para sua realização os alunos montam na extremidade esquerda do *Acoustic Tank* um transdutor com função de transmissão e recepção de sinais, no lado oposto é montado sobre o *Target Transport System* o alvo metálico quadrado plano aerado de 10cm (“*See Through Target*”) mantendo-o alinhado e estaticamente posicionado entre 20 a 25 cm de distância da parede direita do *Acoustic Tank*. Para finalizar essa montagem os alunos configuram o *AST console* conforme a figura 4.14:

Figura 4.14-Montagem do Experimento Range Resolution[9]

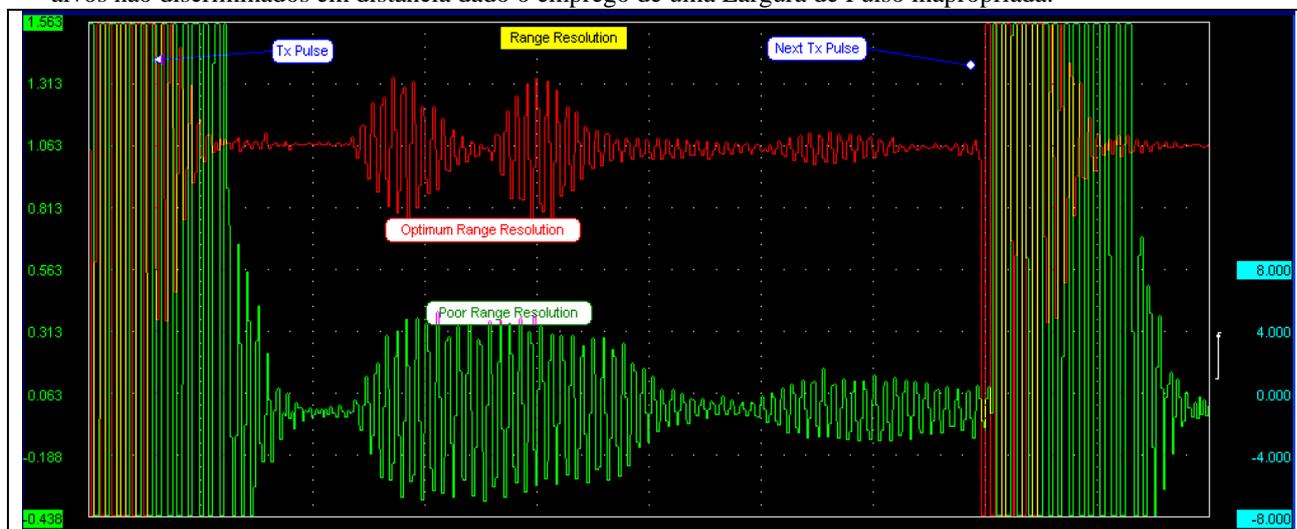


Fonte:ITP

Ao término da montagem do experimento o AST SONAR MK X é posto para transmitir no modo pulsado. A partir desse instante os alunos passam a observar no osciloscópio a presença de dois ecos sonar que se distinguem ou se misturam de acordo com as setagens que são feitas da Largura de Pulso do sinal emitido pelo equipamento. Um desses ecos corresponde ao eco sonar dos pulsos acústicos que foram reverberados pela superfície metálica maciça do alvo, o outro contato é gerado pelas frentes de onda acústica que por possuírem comprimento de onda igual ou inferior aos orifícios do alvo, sofreram difração, transpassando o alvo que deveria servir-lhe de obstáculo, de forma que ao se chocarem com as paredes refletivas do *Acoustic Tank* formassem frentes de onda com intensidade acústica

suficiente pra gerar um segundo eco *sonar* no *display*. A representação do *display* está representada na figura 4.15:

Figura 4.15- Experimento *Range Resolution*. Em vermelho a apresentação de dois alvos próximos com correta discriminação em virtude da correta setagem de Largura de Pulso. Já em verde a apresentação de dois alvos não discriminados em distância dado o emprego de uma Largura de Pulso inapropriada.



Fonte: ITP

Ao término do experimento o equipamento possibilitará ao aluno observar que a discriminação de dois alvos próximos melhora quando o operador sonar emprega uma Largura de Pulso menor na setagem do pulso a ser transmitido.

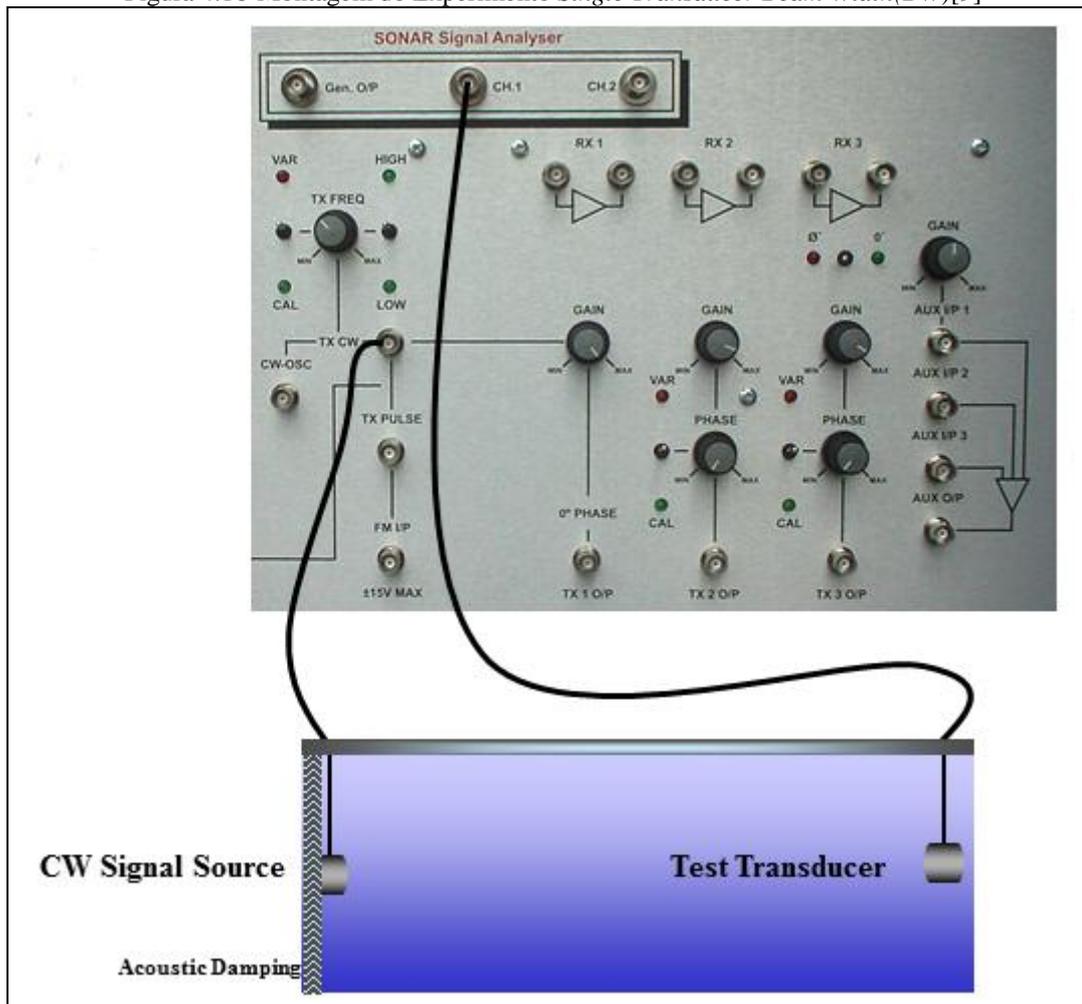
4.1.5.4 Experimentos *Beam Steering*

Nomeia os experimentos que tratam sobre os métodos para a determinação dos parâmetros do feixe dos Transdutores do *AST SONAR Mk X*. São dois os experimentos dessa natureza:

4.1.5.4.1 Experimento *Single Transducer Beam Width(BW)*

Este exercício exemplifica os procedimentos a serem adotados para a determinação da largura angular de feixe do lóbulo principal de um elemento transdutor em pontos de -3dB(50% de potência de sinal). Para a realização do experimento os alunos montam em lados opostos do *Acoustic Tank* dois transdutores alinhados entre si, sendo um configurado para servir como fonte de emissão de *CW* e o outro para servir como um transdutor receptor de sinais de teste, o painel do *AST console* é configurado conforme a figura 4.16:

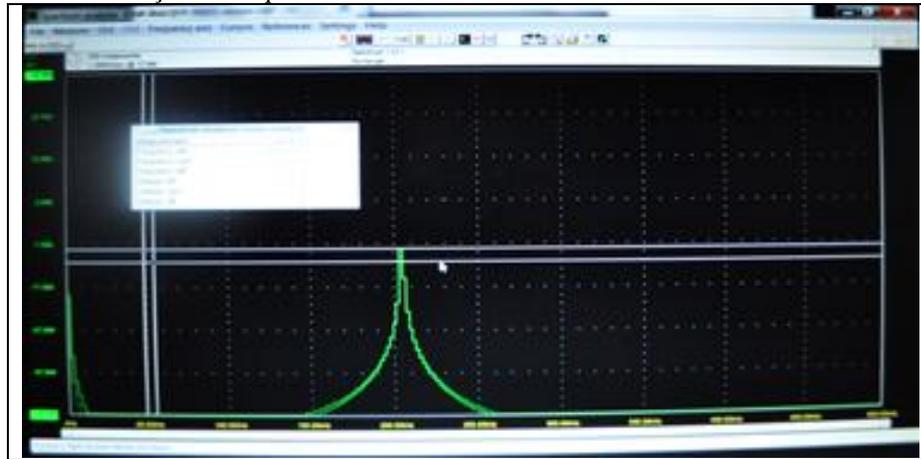
Figura 4.16-Montagem do Experimento *Single Transducer Beam Width(BW)*[9]



Fonte:ITP

Estando montado o experimento o *AST SONAR MK X* é posto para operar no modo *CW*. Seguindo as instruções do manual do equipamento os alunos são orientados a registrar a informação de frequência recebida com o *Spectrum Analyser* empregado em escala logarítmica conforme a figura 4.17:

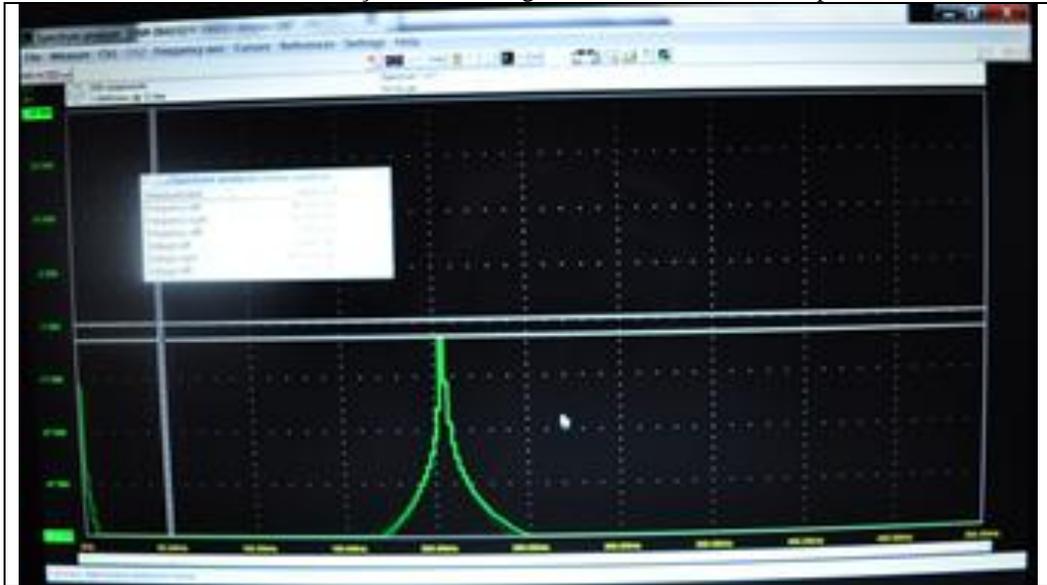
Figura 4.17- Indicação da frequência recebida com os Transdutores alinhados ao início do experimento



Fonte: O autor

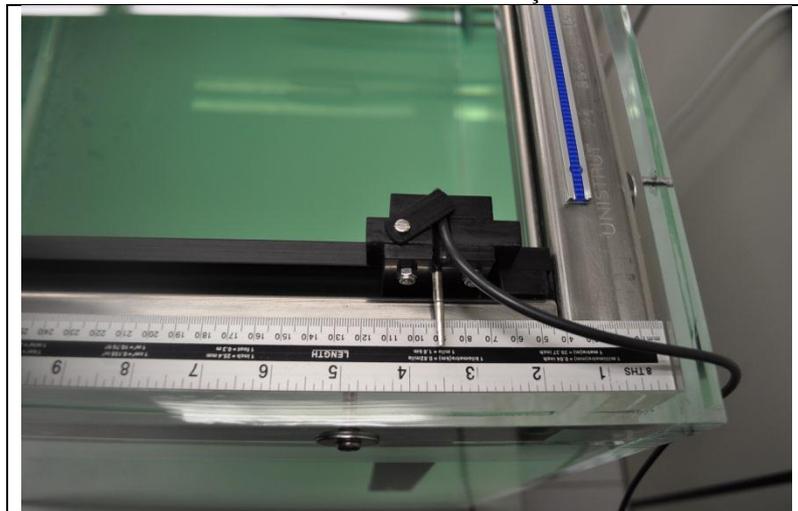
Na sequência do experimento é solicitado que os alunos gerem dois cursores no analisador de espectro para o registro de duas posições do espectro de frequências obtido. Um deles colocado na posição de 0dB (ou seja na posição de pico do gráfico obtido no analisador de espectro) e um outro na posição de -3dB em relação a intensidade de pico do sinal obtido inicialmente. Feito isso, seguindo ainda recomendações do manual, o transdutor teste é movido cuidadosamente para a esquerda, fazendo-se que a indicação de pico do sinal de frequência no analisador de espectro vá decaindo até que se obtenha uma amplitude máxima do sinal obtido pelo analisador de espectro igual ao valor obtido nos cursores do sinal na posição inicial de -3dB, é registrado o valor do deslocamento lateral em centímetros do transdutor conforme a figura 4.18 e 4.19:

Figura 4.18- Transdutores desalinhados até a obtenção do pico do sinal recebido de -3dB em relação ao sinal original obtido ao início do experimento



Fonte: O autor

Figura 4.19- Registro do valor de deslocamento linear obtido com os Transdutores desalinhados até a obtenção do sinal de -3dB



Fonte: O autor

Na sequência é feito o mesmo procedimento para o transdutor se deslocando em outro sentido até que se obtenha os resultados conforme anteriormente realizados.

Ao término do experimento o equipamento permite aos alunos realizar a demonstração do cálculo empregado para realizar-se a obtenção da Largura de Feixe de um transdutor Sonar a partir do cumprimento dos seguintes passos:

- a) Primeiramente se determina a distância linear entre o ponto inicial do experimento e o ponto onde se atinge a amplitude de frequência em decibéis no ponto de -3dB denominando essa variável de O. Para o caso do exercício atual o valor dessa variável corresponde ao valor de 6cm.
- b) Realiza-se a medida da compreendida entre a face do transdutor de teste e o receptor desse sinal, denominando essa variável como o valor A. Para o caso do exercício atual o valor dessa variável corresponde ao valor de 97cm
- c) Usando os valores das variáveis O e A na relação trigonométrica constante da fórmula 4.1, obtêm-se o valor do ângulo da largura de feixe:

$$\tan \frac{\theta}{2} = \frac{\text{Distância (O)}}{\text{Distância (A)}} = \frac{6\text{cm}}{97\text{cm}} \quad (4.1)$$

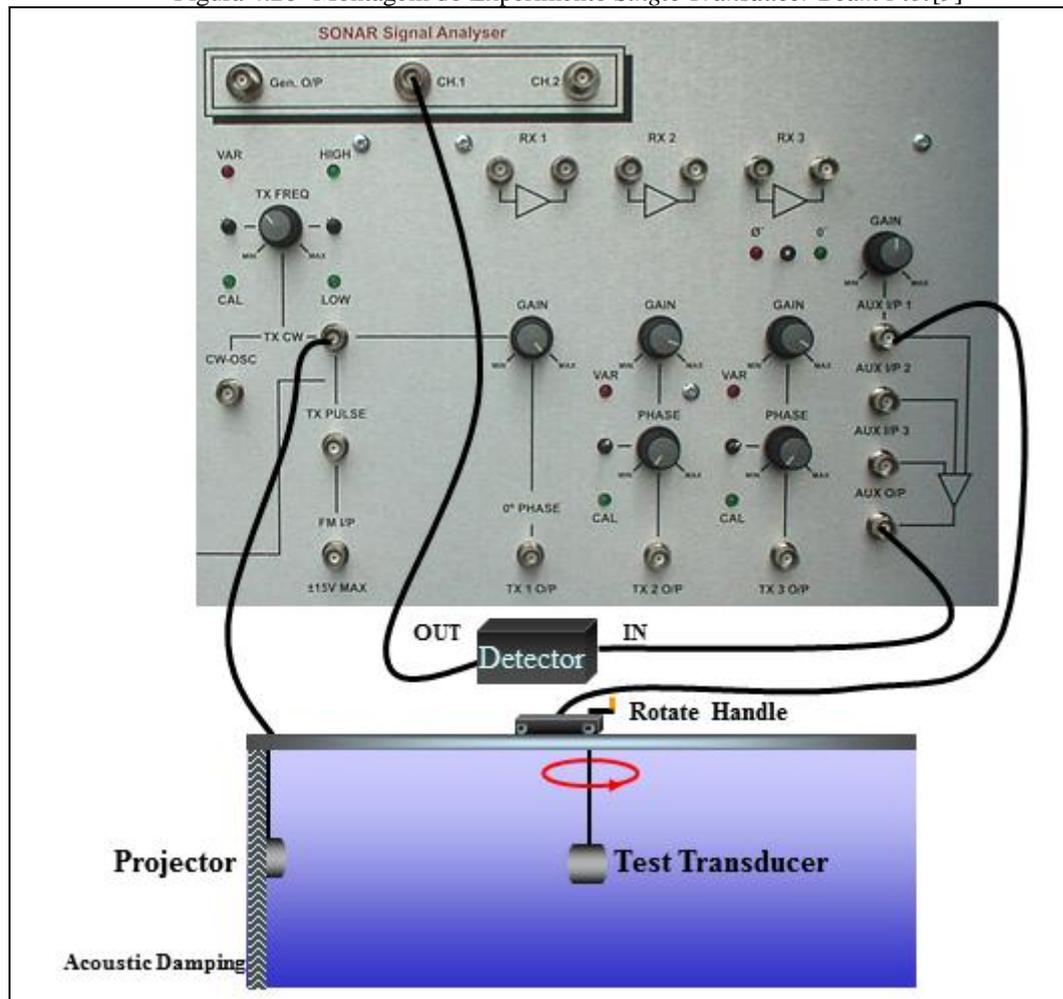
Logo calculou se o valor de teta de:

$$\theta = 7,22^\circ (\text{Largura do Feixe}) \quad (4.2)$$

4.1.5.4.2 Single Transducer Beam Plot

Neste exercício o equipamento possibilita aos alunos realizar uma plotagem cartesiana do diagrama de irradiações do transdutor sonar componente do *AST SONAR MK X*. Para sua realização é montado no *Acoustic Tank* dois transdutores alinhados, ficando um na extremidade esquerda configurado como transmissor de sinal *CW* e o outro transdutor do tipo *Transducer Beam Plot* sendo configurado como receptor de sinais para teste, posicionado sobre o *Target Transportation System* no centro do *Acoustic Tank*. O painel do *AST console* é configurado conforme a figura 4.20:

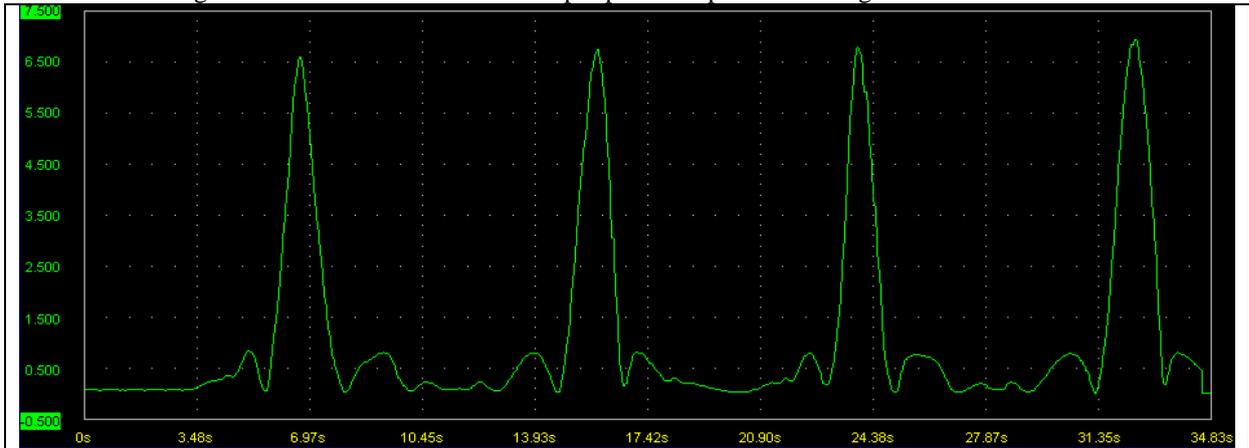
Figura 4.20- Montagem do Experimento *Single Transducer Beam Plot*[9]



Fonte: ITP

Ao término da montagem do equipamento é posto para transmitir em modo *CW*. Seguindo instruções do manual do equipamento os alunos empregando o computador do *AST SONAR MKX* inicializam e configuram o programa *Transient Recorder* a partir do qual os alunos começam a ter assinalados em coordenadas cartesianas os dados de valores médios de intensidade acústica recebida do transmissor de *CW* pelo transdutor de teste quando se gira lentamente a manivela do transdutor *Beam Plot* conforme o diagrama obtido na figura 4.21:

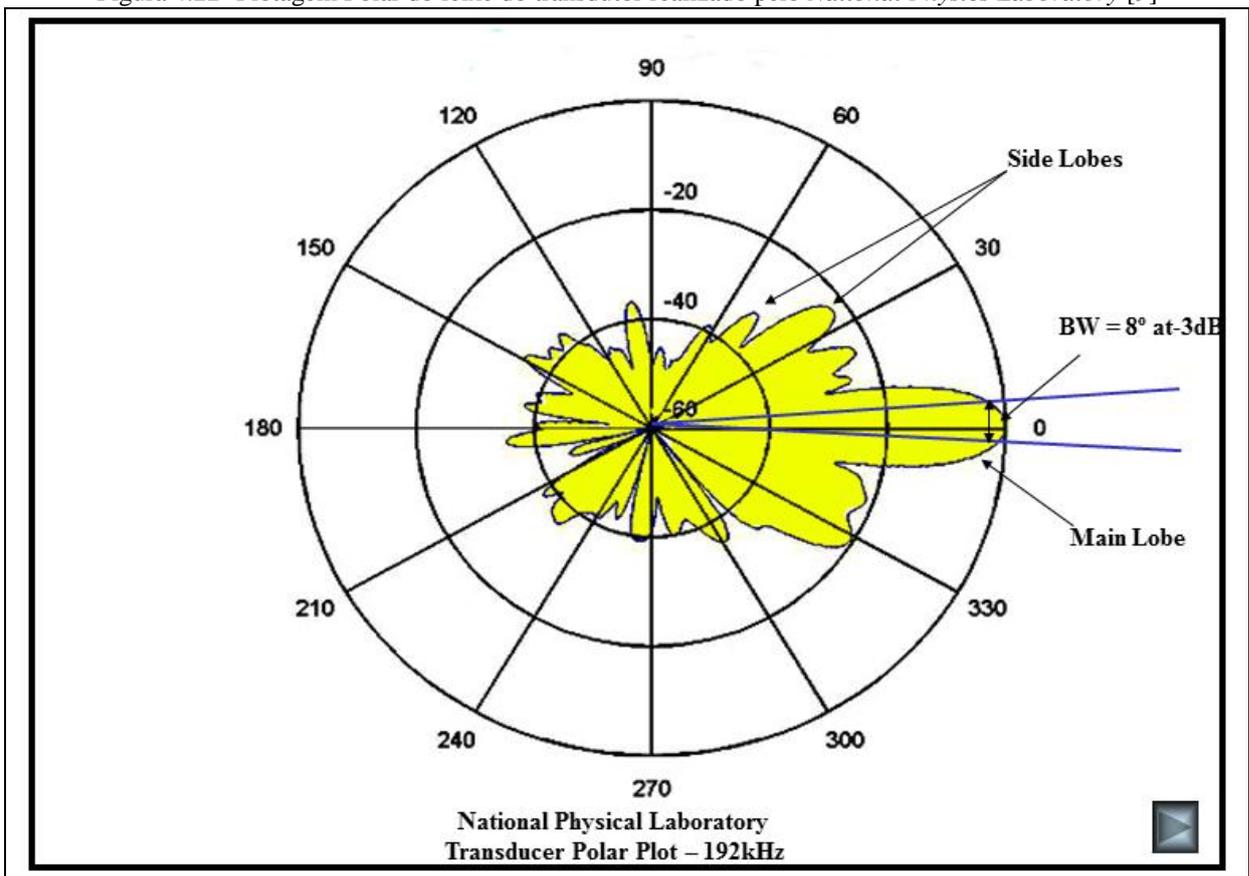
Figura 4.21- Resultado no Osciloscópio para o Experimento Single Transducer Beam Plot



Fonte: O autor

Ao término do experimento o equipamento possibilita aos alunos a comparação de seus dados obtidos com o diagrama de irradiação obtido do mesmo transdutor operando sob condições ideais nas instalações no Laboratório Nacional de Física em Londres(Figura 4.22):

Figura 4.22- Plotagem Polar do feixe do transdutor realizado pelo *National Physics Laboratory* [9]



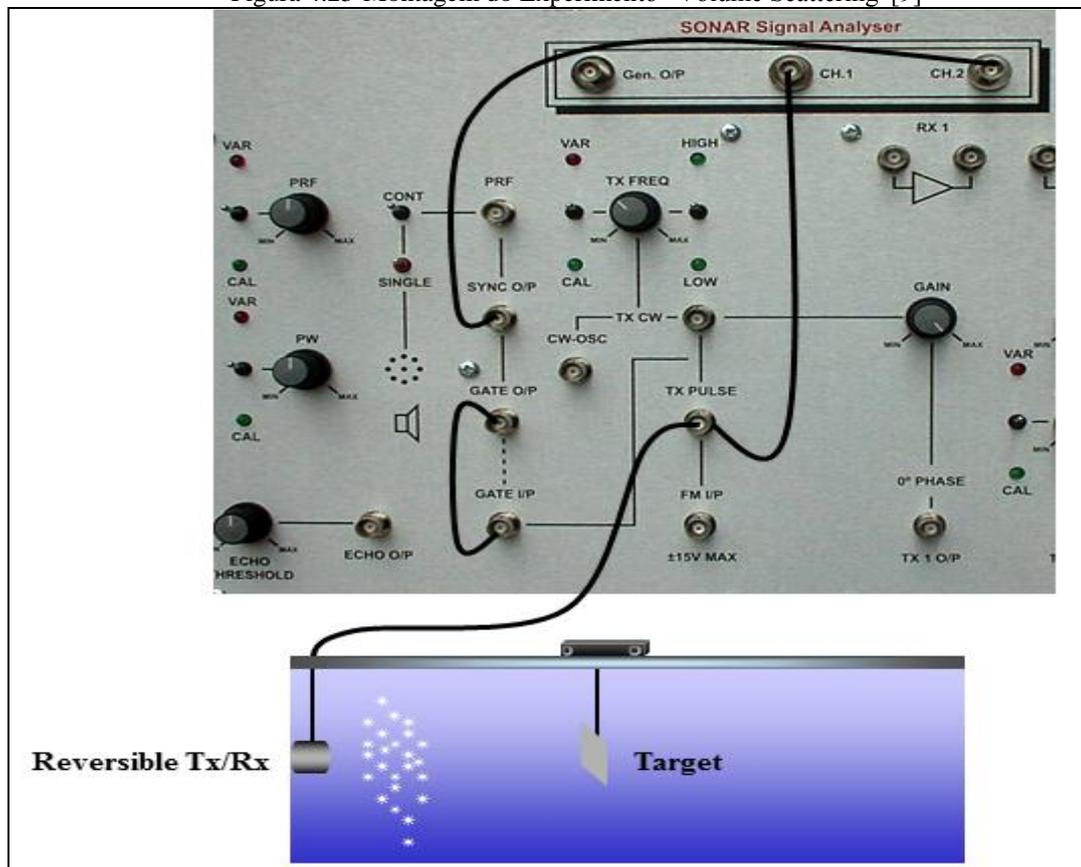
Fonte: National Physical Laboratory

Dessa comparação os alunos podem ser apresentados aos elementos associados a um feixe de emissão sonora de um transdutor como os lóbulos principais, lóbulos secundários, os pontos de meia potência e a largura de feixe .

4.1.5.5 Experimento *Volume Scattering*

Nesse experimento o equipamento viabiliza aos alunos a possibilidade de presenciar a ocorrência do espalhamento da onda acústica que resulta na diminuição da intensidade de um sinal eco quando ocorre nas proximidades do transdutor ou dos alvos grandes quantidades de sal $MgSO_4$ conforme mencionado no capítulo 2 item 2.1.5.2.2. Para o início do experimento os alunos montam numa das extremidades do *Acoustic Tank* um transdutor com função de transmissão e recepção de sinais, do lado oposto a ele será afixado sobre o *Target Transportation System* um alvo quadrado metálico liso de 20cm a ser mantido estacionado a 45cm do transdutor durante todo o experimento. Por fim os alunos configuram o AST console conforme a figura 4.23:

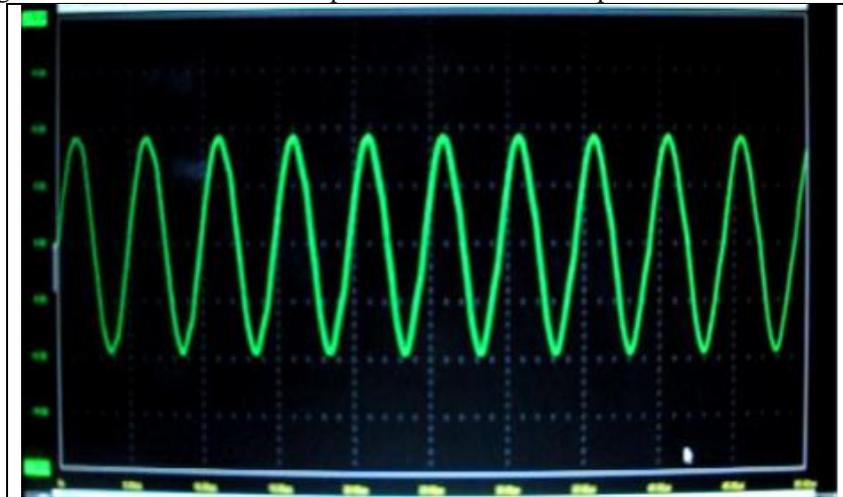
Figura 4.23-Montagem do Experimento “Volume Scattering”[9]



Fonte:ITP

Logo na sequência do exercício, seguindo as instruções do manual do equipamento, os alunos alimentam o AST SONAR MK X no modo pulsado e uma vez obtido um contato consistente no Osciloscópio, os alunos lançam uma quantidade grande do sal $MgSO_4$ contido na Ampola de Sal (AST 22 – *Volume Scattering Salt*) sobre o transdutor reversível(projektor/receptor) ou sobre o alvo de forma que passa-se a observar que a amplitude do sinal recebido do alvo vai se esmaecer ou até mesmo se anular em momentos instantâneos conforme registrado nas figuras 4.24 e 4.25:

Figura 4.24-Leitura do Osciloscópio antes do início do Experimento “*Volume Scattering*”



Fonte: O autor

Figura 4.25-Leitura do Osciloscópio após o lançamento de grandes quantidades de sal $MgSO_4$ sobre o transdutor durante o Experimento “*Volume Scattering*”



Fonte: O autor

Observa-se que pode-se obter o mesmo efeito de espalhamento ocorrido no experimento supracitado substituindo-se o Sal $MgSO_4$ pelo emprego do gerador de ar gerando-se uma grande quantidade de bolhas de ar ao redor do transdutor.

5 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Concluimos esse trabalho destacando a sequência usada para fornecer subsídios para o planejamento de ensino e pesquisa em GAS no CEAAE usando o AST SONAR MK X:

Primeiramente realizamos a avaliação das restrições e qualidades do equipamento AST SONAR MK X como uma ferramenta instrucional para o ensino da Guerra Antissubmarino e da propagação sonora na água:

Sob o aspecto das restrições observadas podemos citar a indisponibilidade de experimentos que demonstrem a variação da velocidade do som dada a alteração de gradientes de salinidade em virtude de não ter sido previsto no Acoustic Tank o emprego de superfícies que pudessem separar o tanque em duas ou mais camadas de água, de forma que pudessemos variar a salinidade de cada uma delas individualmente fazendo com que existissem camadas de água com diferentes gradientes de salinidade. A inexistência dessa possibilidade restringe ao aluno a visualização de um modelo mais próximo à propagação sonora ocorrida no ambiente marinho real na qual os alcances de detecção de um sensor acústico variam constantemente quando da refração do eixo de propagação das frentes de ondas acústicas em função da passagem dos mesmos por diversas camadas de coluna de água com distintos gradientes de salinidade.

Uma outra restrição do equipamento é a indisponibilidade de experimentos que possam demonstrar a influência do aumento da profundidade (pressão) no aumento da velocidade da propagação sonora na água. Este fato se dá pelas limitadas dimensões do Acoustic Tank que impossibilitam a adaptação do equipamento de forma a que se realizem experimentos que demonstrem ao aluno a influência do aumento da velocidade do som na água, dada a variação de pressão decorrente do aumento da profundidade de uma área marítima.

Uma terceira e não menos importante restrição do equipamento é a indisponibilidade de circuitos que habilitem o AST SONAR Mk X a operar em modo pulsado empregando

técnicas de compressão de pulsos. A implementação de experimentos empregando o equipamento nesse modo de operação seriam muito úteis para facilitar o entendimento por parte dos alunos de uma das principais técnicas para a resolução de ambiguidades em distância de alvos sonares, bem como o entendimento do funcionamento de sonares de última geração que vem sendo desenvolvidos atualmente como os Syntetic Aperture Sonars.

Por outro lado foram observadas como qualidades do equipamento, a rapidez de montagem dos seus experimentos, a acurácia dos seus transdutores e as extremamente amigáveis interface computacional para geração de sinais para os transdutores e interface computacional para geração de instrumentação virtual de Osciloscópios e Analisadores de espectro via software *Tie Pie Engineering@Handyscope HS3*.

Independente das qualidades e restrições observadas, podemos asseverar que o emprego do AST SONAR MK X como recurso instrucional de apoio às aulas de GAS durante o CEAAE é muito importante para a formação de pessoal devidamente qualificado para operar os modernos sensores acústicos da aeronave P3AM de maneira rápida, segura, e econômica. Tal argumento ganha força quando pudemos verificar a vasta quantidade de conhecimento que é fornecido ao aluno quando o mesmo emprega o AST SONAR MK X para a realização em especial dos experimentos para a determinação do doppler de um alvo(Doppler Effect) e o do analisador acústico (Underwater Sound Analysis).

Resumindo os fatos supracitados, o Acoustic Systems Trainer Sonar Mk X cumpre de maneira exemplar os propósitos aos quais fez-se a decisão por sua aquisição pelo ITA .

5.1 SUGESTÃO PARA TRABALHOS FUTUROS:

Estudando-se o vasto material didático adquirido junto ao Acoustic Systems Trainer Sonar Mk X, percebe-se que a grande potencialidade do emprego desse equipamento no Ensino da Guerra Antissubmarino reside na vasta gama de experimentos que podem ter seus procedimentos desenvolvidos quais sejam:

experimento sobre comunicações submarinas;
experimento sobre o funcionamento de determinadores de profundidade (ecobatímetros);
investigação de geração de cavitação de eixos;
investigação de atividades de Vortex;
investigação de Perfil de Fundo;
experimento Sonar CTFM;
experimento de Refração de Luminosa e Acústica;
experimentos de análise de assinatura acústica;
experimento de Sonar Paramétrico (Ou não linear);
experimento Detecção Sonar em Marcação;
experimento de aquisição de alvo submarino;
experimento Detector de Anomalia Magnética; e
experimento Espalhamento por reflexão de ondas acústicas à baixa profundidade.

Além desses vislumbra-se também a possibilidade de realização de um estudo sobre a potencialidade deste sistema na confecção de algoritmos para identificação passiva de contatos submarinos usando o módulo Underwater Sound Analysis.

REFERÊNCIAS

- [1] HALLIDAY, D., RESNICK, R., WALKER, J., **Fundamentals of Physics**. 4th ed. Maryland: Wiley, 1993. 356p.
- [2] WAITE, A.D. **Sonar for practising Engineers**. 3rd ed. West Sussex: Wiley, 2001. 256p.
- [3] NEWTON, I. **The Mathematical Principles of Natural Philosophy**. vol.2, London: Cambridge. 1729. 546p.
- [4] SHUTILOV, V. **Fundamental Physics of Ultrasound**. New York: Gordon and Breach, 1988. 266p.
- [5] CLAY, C.S.; MEDWIN, H. **Acoustical Oceanography: Principles and Applications**. New York: Wiley, 1977. 544p.
- [6] LURTON, X. **An Introduction to Underwater Acoustics**, 1st ed. London: Praxis Publishing LTD, 2002. 537p.
- [7] HODGES, P. **Underwater Acoustics: Analysis, design and performance of Sonar**, 1st ed. London: John Wiley and Sons LTD, 2010. 373p.
- [8] COX, A.W. **Sonar and Underwater Sound**. New York: Lexington Books, 1974. 144p.
- [9] **Manual do Acoustic Systems Trainer - SONAR: Guia do AST LAB** versão 2011.
- [10] CDR USN HALL, J.B. **Principles of Naval Weapon Systems**. Dubuque, IA: Kendall/Hunt Publishing Co, 2000. 179p.
- [11] ANÔNIMO. **Acoustic Measurements for Sonar Transducer Test Personnel**. New London: Naval Underwater Systems Center, 1990. 198 p.
- [12] RAYLEIGH, M.A.; STRUTT, J.W. **The Theory of Sound**, vol 1, London: Macmillan and Cox, 1877, 340p.

[13] RAYLEIGH,M.A; STRUTT,J.W. **The Theory of Sound**, vol 2 London: Macmillian and Cox, 1878,316p.

FOLHA DE REGISTRO DO DOCUMENTO

1. CLASSIFICAÇÃO/TIPO TC	2. DATA 07 de novembro de 2012	3. REGISTRO N° DCTA/ITA/TC-048/2012	4. N° DE PÁGINAS 70
5. TÍTULO E SUBTÍTULO: Estudo das potencialidades do acoustic systems trainer sonar no ensino de guerra antissubmarino no CEAAE.			
6. AUTOR(ES): Marcelo da Silva Matias			
7. INSTITUIÇÃO(ÕES)/ÓRGÃO(S) INTERNO(S)/DIVISÃO(ÕES): Instituto Tecnológico de Aeronáutica – ITA			
8. PALAVRAS-CHAVE SUGERIDAS PELO AUTOR: Sonar; Ensino; Guerra Antissubmarino; Acústica; Transdutores; Experimentos; Sonar Ativo; Sonar Passivo; Efeito Doppler; Hidrofone; Analisador Acústico; Range Resolution; Beam Steering; Transducer Beam Width; Transducer Beam Plot			
9. PALAVRAS-CHAVE RESULTANTES DE INDEXAÇÃO: Sonar; Instrumentos de navegação; Acústica; Navegação; Guerra eletrônica; Efeito Doppler; Transdutores; Submarinos; Guerras; Engenharia eletrônica.			
10. APRESENTAÇÃO: <input checked="" type="checkbox"/> Nacional <input type="checkbox"/> Internacional ITA, São José dos Campos. Curso de Especialização em Análise de Ambiente Eletromagnético. Área de Guerra Eletrônica. Orientador: Cap QOECOM Elcio Jeronimo de Oliveira. Apresentação em 26 de novembro de 2012. Publicada em 2012.			
11. RESUMO: Este trabalho buscou realizar a análise do Acoustic System Trainer Sonar adquirido recentemente pelo Instituto Tecnológico de Aeronáutica – ITA para equipar seu Laboratório de pesquisa em Guerra Eletrônica-LabGE. Esta análise está pautada na determinação das qualidades e deficiências desse sistema no ensino da guerra antissubmarino no Curso Especialização de Análise do Ambiente Eletromagnético – CEAAE. Desenvolveu-se nesse trabalho uma proposta pedagógica para o uso do equipamento como ferramenta instrucional para as aulas de guerra antissubmarino no CEAAE. Esta proposta visa potencializar o processo ensino-aprendizagem do aluno através da realização prática de diversos experimentos possibilitando ao discente o estabelecimento de um grande número de relações cognitivas com os fatos e assuntos ensinados nas disciplinas de matemática, física e processamento de sinais do curso. Conclui-se ao fim do estudo que o simulador proporciona um excelente conjunto de funcionalidades para os fins que se propõe.			
12. GRAU DE SIGILO: (X) OSTENSIVO () RESERVADO () CONFIDENCIAL () SECRETO			