



ENCAL S/A
ENGENHEIROS CONSULTORES
E AEROLEVANTAMENTOS

EMPREGO DE POSICIONAMENTO ELETRÔNICO
NAS PROVAS DE NAVIOS PELA ENCAL S/A

Autoria: Julio Gonzalez Fernan-
dez e Remo Zauli Macha
do Filho



ENCAL S/A
ENGENHEIROS CONSULTORES
E AEROLEVANTAMENTOS

1.

EMPREGO DE POSICIONAMENTO ELETRÔNICO NAS PROVAS DE NAVIOS PELA ENCAL S/A

Autoria: Julio Gonzalez Fernandez
Remo Zauli Machado Filho

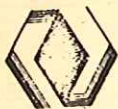
SUMÁRIO

A ENCAL S/A - ENGENHEIROS CONSULTORES E AEROLEVANTAMENTOS, empresa brasileira que nas suas atividades de pesquisa sísmica e batimétrica emprega equipamento para posicionamento eletrônico de embarcações, expandiu suas atividades para execução de provas de navios construídos em Estaleiros no Brasil, antes da sua entrega. Neste trabalho, desenvolvido por seus técnicos, procura-se mostrar o emprego do Range Positioning System - RPS em provas de navios de até 130.000 toneladas deadweight, bem como o método empregado, tendo-se ainda considerações sobre os possíveis erros e sua propagação nos resultados.

O equipamento RPS possui um alcance nominal de 50 milhas marítimas medindo distâncias a dois transponders com um erro provável de ± 3 metros, a esse alcance, conforme especificações de seu fabricante, a MOTOROLA MILITARY AND AEROSPACE ELECTRONICS INC. Nas medições de distância navegada, para cálculo de velocidade, apresenta por efeito das características do equipamento e balanço do navio, um erro possível de 0,5% para uma corrida de cerca de 3.000 metros; sobre ela se fossem computados os pontos extremos a precisão da velocidade calculada vai atingir 0,07 do nó. O método utilizado apresenta enormes vantagens de precisão, segurança e economia sobre os métodos visuais, na avaliação de velocidade e dados táticos dos navios acabados de construir.

1. INTRODUÇÃO

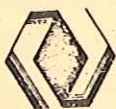
O desenvolvimento da construção naval, em estaleiros particulares, no Brasil, partindo de 1960, obrigou o estabelecimento de áreas ao largo de nossa costa, onde os navios construídos deveriam ser submetidos às provas de mar, para sua avaliação em relação às especificações de construção.



Nessa época foram instalados pela Diretoria de Hidrografia e Navegação da Marinha do Brasil, pares de balisas que definiam um comprimento igual a 1852 metros, ou seja, a "milha medida"; em relação a essa milha medida é que ainda são feitas as provas para navios de até 15.000 tons.

Com relação aos navios de maior porte, de 26.000 toneladas em diante, de vez que é necessária uma medição de velocidade a profundidades de cerca de oito a nove vezes o calado máximo, tem-se que procurar áreas mais afastadas da costa, para alcançar profundidades da ordem de 100 metros.

Nestas condições, para obter resultados confiáveis é que a ENCAL S/A passou a prestar serviços utilizando o Range Positioning System (RPS), de fabricação da MOTOROLA Military and Aerospace Electronics Inc, e com êle tem efetuado as provas de mar que constam de provas de velocidade, prova de giro, prova de zigue-zague e parada brusca com inversão em navios de 26.000, 52.000 e 130.000 toneladas.



2. EQUIPAMENTO

Nas provas de mar, num total de dez, em navios de tonelagem variando de 26.000, 52.000, 115.000 e 130.000 T, a ENCAL tem empregado para posicionamento, durante as provas, o RANGE POSITIONING SYSTEM (RPS), de fabricação da MOTOROLA MILITARY AND AEROSPACE ELECTRONICS INC., constituído das seguintes unidades, mostradas na Figura 1, a saber:

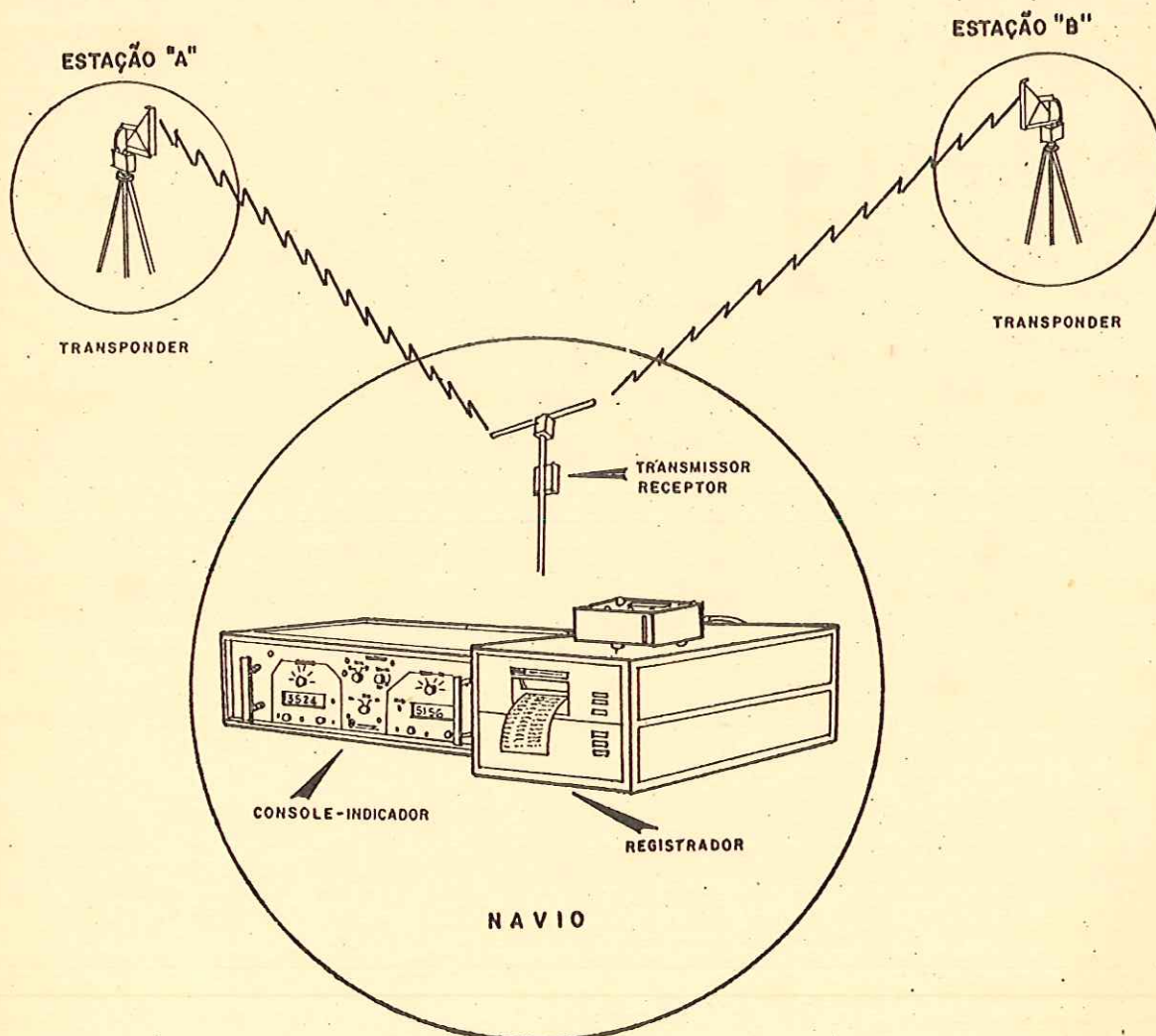


Fig. 1



Antena Rotativa
Transmissor - Receptor
Console - Indicador
Registrador Anadex
Transponders

Desses, em terra, sobre vertices de triangulação, são instalados os transponders, alimentados por corrente continua, 24 volts, fornecida por baterias.

A bordo são instalados a antena rotativa, o transmissor-receptor e o Console-Indicador e o registrador Anadex.

Emitidos em banda "X", através da antena rotativa, os impulsos radioelétricos ao atingir os transponders são amplificados e retransmitidos em código para bordo apresentando como produto final na Console a indicação de duas distâncias em metros, a cada um dos transponders, ou seja, a cada um dos vértices de triangulação, e no registrador, além das distâncias, o instante correspondente como se mostra na Figura 2.

T (seg)	D _a (m)	D _b (m)
00705.3	43717	43944
00704.5	43712	43963
00701.3	43731	43952
00696.3	43712	43957
00692.3	43707	43955
00694.0	43733	43970
00680.0	43724	43943
00679.1	43720	43935
00672.7	43749	43937
00671.1	43714	43951
00664.9	43720	43909
00653.7	43732	43920
00643.3	43720	43911

Fig. 2



3. PROCEDIMENTO

Durante as provas a que são sujeitos os navios antes de sua aceitação, o trabalho da ENCAL se resume em determinar as várias posições sucessivas do navio, a instantes determinados e na frequência requerida pela prova em causa.

Durante as provas, os navios são submetidos a provas de velocidade, provas de curva de giro, provas de zigue-zague e provas de parada brusca com inversão.

Nas provas de velocidade o navio se desloca segundo um rumo estabelecido e navega a uma potência de máquina constante, em local de profundidade compatível com as exigências em função do calado; a instantes determinados com intervalos regulares são determinadas as posições sucessivas do navio, que permitem calcular a distância percorrida e a velocidade.

Nas provas de giro para boreste e para bombordo, com o navio na velocidade estabelecida e no rumo considerado base, é colocado o leme para o bordo desejado e, mantendo-se assim, espera-se que o navio depois do giro retorne ao rumo base. Antes mesmo do início da guinada, mede-se a velocidade e determina-se a seguir as posições sucessivas do navio, para cada variação de 10 graus no rumo; essa prova tem por finalidade determinar dados táticos do navio, valores esses que para o futuro estarão à vista do Comandante no passadiço, e serão muito valiosos para o cálculo das manobras.

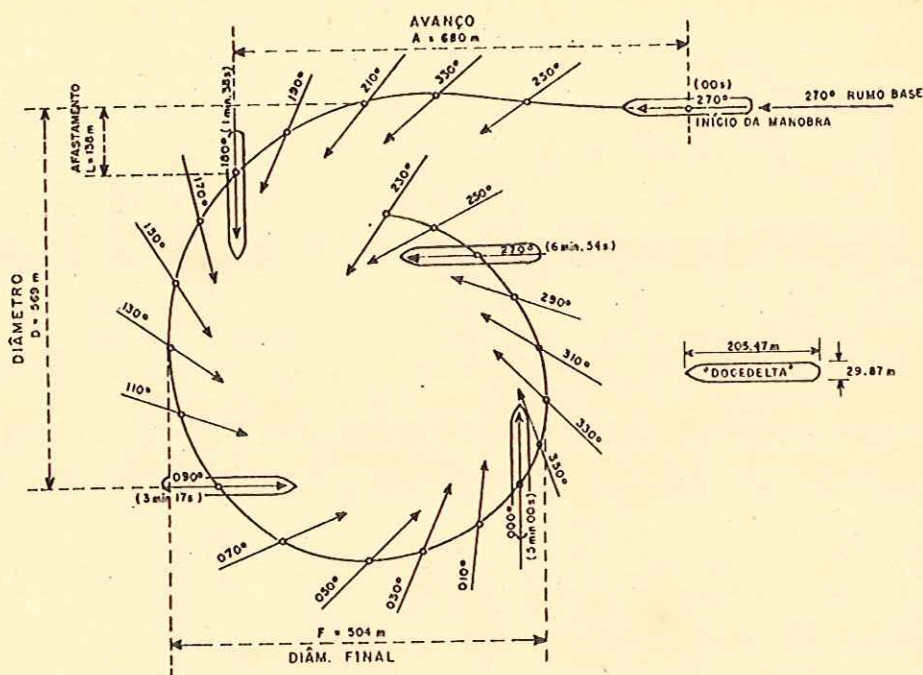
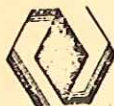
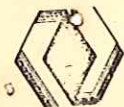


Fig. 3

Nas provas de zigue-zague, com o leme carregado, para um bordo e para outro, são determinadas as posições sucessivas para avaliar o tempo gasto entre a manobra de leme e o navio acusar o efeito que se deseja.

Já na prova de parada brusca com inversão iniciada com o navio com cerca de 90% da potência, procura-se medir distância e intervalo de tempo entre o ponto em que se deu ordem para parar e inverter a rotação da máquina, e aquele em que o navio realmente para; desde o início, utilizando o equipamento MOTOROLA vão sendo determinadas as sucessivas posições do navio, o que permite calcular-se a distância entre o início da manobra e a parada total do navio: o conhecimento desse valor é muito importante para manobras de emergência, haja visto que para navios de 26.000 toneladas, essa distância é de cerca de 1.500 metros.



A utilização do equipamento Range Positioning System (RPS), permitindo uma utilização contínua, e tendo a ele associado um registrador, garante uma superabundância de dados para determinação da posição e por consequência da velocidade e dos demais táticos mencionados.

baseando-se o sistema, RPS, na transmissão e recepção de impulsos, em banda "X", independe das condições de visibilidade, por isso mesmo a ENCAL já efetuou provas sob cerração e durante o período noturno, com notável economia e rendimento pois que normalmente as provas de mar de um navio petroleiro duram três (3) dias, durante os quais além das provas mencionadas, o navio é submetido a uma infinidade de outras, tais como, consumo de combustível, transferência de carga, governo automático, radar e radiogoniometro, automação e etc.

4. TRATAMENTO MATEMÁTICO DOS DADOS

Uma vez instalados os transponders em pontos de terra de posição perfeitamente determinada, o equipamento instalado a bordo permite o conhecimento da posição através da informação simultânea da medida a esses dois pontos de terra.

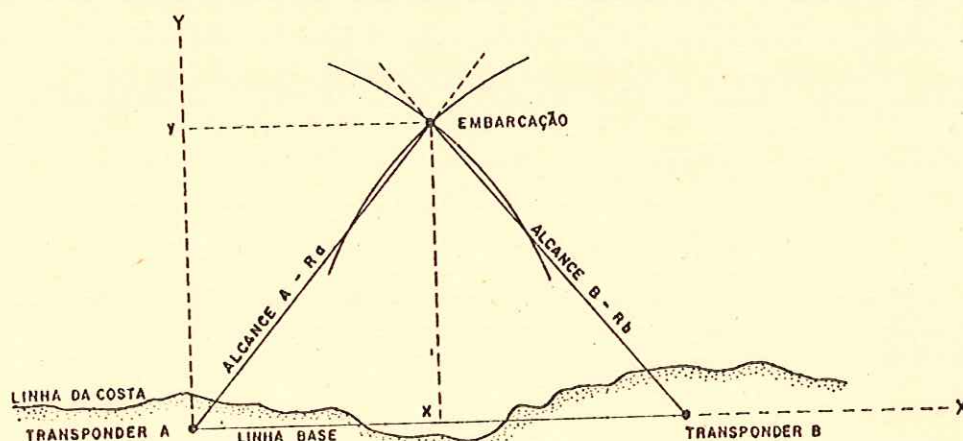
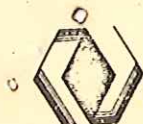


Fig. 4



Emprega-se como pontos de referência em terra, pontos de posição perfeitamente determinada pela geodésia, ou que tenham a distância entre si medida com grande precisão.

Esquemáticamente, para o tratamento matemático dos dados fornecidos pelo RPS, como se mostra na Figura 4, estabelece-se um sistema de coordenadas X e Y, em que A (X = 0, Y = 0) e B (X = B, Y = 0).

A linha Base é definida pela distância entre os pontos A e B.

As distâncias das estações à embarcação são respectivamente, Ra e Rb. A posição no referencial XY é determinada pela interseção dos círculos centro em A (0,0) e raio Ra e centro em B (B,0) e raio Rb.

Analiticamente:

$$x^2 + y^2 = Ra^2$$

$$(x - B)^2 + y^2 = Rb^2$$

, e

$$y^2 = Ra^2 - x^2$$

$$(x - B)^2 + Ra^2 - x^2 = Rb^2$$

$$x = \frac{B^2 + Ra^2 - Rb^2}{2B} \quad e$$

$$y = (Ra^2 - x^2)^{1/2}$$



5. CONSIDERAÇÕES SOBRE POSSÍVEIS ERROS DO METODO

De acordo com as especificações do equipamento MOTOROLA, o sistema RPS apresenta uma imprecisão de ± 3 metros, de acordo com suas características, isto é, cada uma das medidas tem uma precisão de ± 3 metros, que passamos a admitir como erro.

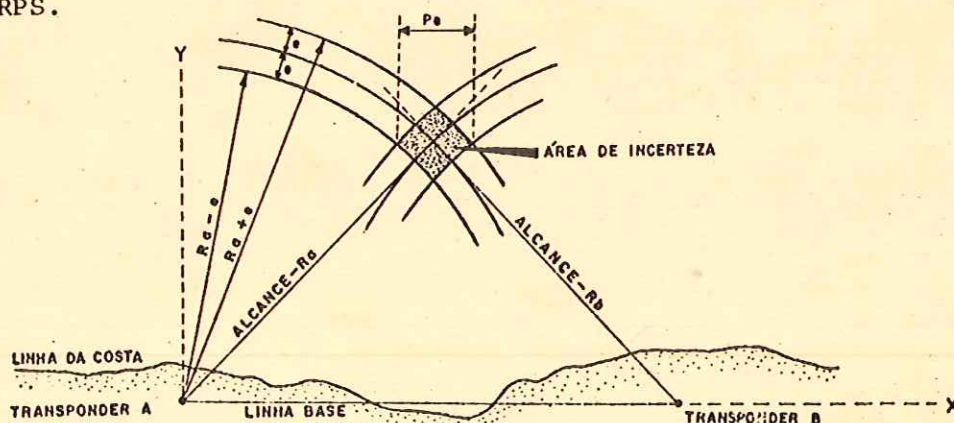
Aliado a isto, a posição relativa entre o navio e as estações de referência, instaladas em terra, pode concorrer para uma maior ou menor propagação desse erro.

Por ocasião das medições podem ainda ocorrer condições anômalas de propagação, as quais embora não mensuráveis, podem ser detetadas e consideradas como suspeitas.

Embora as provas de velocidade devam ser realizadas em boas condições de mar, nem por isso se pode esquecer que por efeito de onda, o navio pode apresentar balanço durante a corrida.

Também podem influir nos resultados, a diferença de altura, acima do nível do mar, entre a antena do equipamento instalado a bordo e as antenas das estações fixas, em terra.

Finalmente, outro ponto que pode afetar as medições é a medida do instante para cada posição determinada pelas leituras do equipamento RPS.





Imprecisão na determinação das distâncias

A propagação dos sinais de radio-frequência em uma atmosfera não homogênea, com diferentes velocidades de propagação, bem como envelhecimento dos circuitos podem acrescentar um êrrô à imprecisão do sistema; entretanto, como a propagação anormal é possível de deteção embora não mensurável não foi levada em conta no presente estudo.

Por outro lado, considerando que o sistema é capaz de produzir uma imprecisão, o posicionamento não mais definirá um ponto, e sim uma área limitada pelos círculos de raios ($R_a \pm e$), como se mostra na Figura 5; desse modo, a embarcação poderá estar em qualquer local da região definida pela interseção das duas coroas circulares.

Analiticamente, pode-se verificar a influência desta imprecisão sobre os valores das coordenadas x e y , derivando as fórmulas em R_a e R_b e desprezando os termos de 2a. ordem.

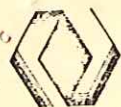
$$x = \frac{B^2 + R_a^2 - R_b^2}{2B}$$

$$y = (R_a^2 - x^2)^{1/2}$$

$$\frac{dx}{dR_a} = \frac{R_a}{B} \quad \therefore \Delta x_{R_a} = \frac{R_a}{B} \Delta R_a$$

$$\frac{dx}{dR_b} = -\frac{R_b}{B} \quad \therefore \Delta x_{R_b} = -\frac{R_b}{B} \Delta R_b$$

e, ainda



$$\frac{dy}{dRa} = R_a \left(\frac{1 - B^2 + Ra^2 - Rb^2}{2B^2} \right) \quad \therefore \Delta y = \frac{Ra}{y} \left(1 - \frac{x}{B} \right) \Delta Ra$$

$$\frac{dy}{dRb} = \frac{2}{y} \left(- \frac{B^2 + Ra^2 - Rb^2}{2B} \right) \left(- \frac{2Rb}{2B} \right) \quad \therefore \Delta y = \frac{x}{y} \frac{Rb}{B} \Delta Rb$$

O erro total em x e y devido a variações em Ra e Rb é

$$\Delta x = \sqrt{(\Delta x_{Ra})^2 + (\Delta x_{Rb})^2}$$

$$\Delta y = \sqrt{(\Delta y_{Ra})^2 + (\Delta y_{Rb})^2}$$

Diferença de altitude das antenas

O sistema RPS mede a distância entre a antena do equipamento de bordo e os transponders em terra, situados a diferentes altitudes; entretanto, como se pretende trabalhar um sistema x,y de coordenadas, é necessário aplicar as distâncias respectivas, ou correções necessárias para reduzi-las ao horizonte.

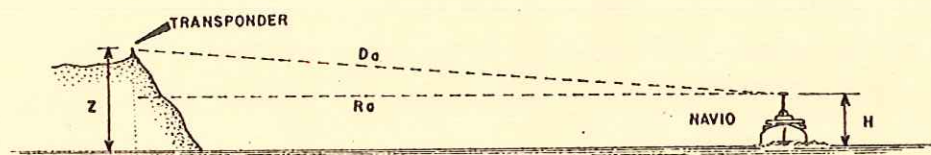


Fig. 6

Na Figura 6 verifica-se que a distância medida alcance-Ra, deve ser correta da diferença de altitudes para ser transformada em Da, pelas fórmulas a seguir:



$$Da^2 = Ra^2 - (Za - H)^2$$

$$Db^2 = Rb^2 - (Zb - H)^2$$

Por isso mesmo é que nos cálculos de posição já se entra com os valores de Da e Db , que são as distâncias corretas da inclinação, e, portanto, os valores que vão ser considerados no plano x,y .

Balanço do navio

Não se deve esquecer que mesmo procurando executar as provas em boas condições de mar, nem por isso se está livre de ter balanços no navio durante a sua execução; entretanto, é necessário ressaltar que, para navios de porte de 26.000 T um balanço de 5 graus é exagerado, em condições normais das provas.

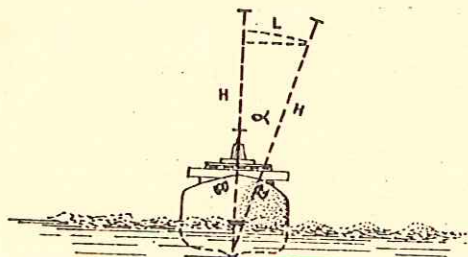


Fig.7

Considerando a Figura 7, o balanço afasta a antena de sua posição, por um curto prazo; entretanto, esse afastamento pode ser definido pela fórmula:

$$L = H \text{ sen } \alpha$$

Sendo normalmente o balanço no sentido transversal do navio e considerando que este se desloca, o resultante será um zigue-zague da antena sobre a trajetória do navio.



Se admitirmos o navio parado, o resultado do balanço iria afetar as coordenadas x e y, segundo uma componente correspondente ao ângulo entre a trajetória e o eixo do XX, de acordo com as fórmulas:

$$\Delta x = L \sin \beta$$
$$\Delta y = L \cos \beta$$

Com o navio em movimento e balançando, o ângulo, por consequência do zigue-zague mencionado anteriormente é maior ou menor que o ângulo entre a trajetória e o eixo de XX.

6. INFLUÊNCIA DOS ERROS NA MEDIÇÃO DE VELOCIDADE

Ao aplicar o posicionamento eletrônico com o equipamento MOTOROLA RPS, para medição de velocidade, durante uma corrida, determina-se posições sucessivas a intervalos de tempo conhecidos, calculando-se então a velocidade média, para os pontos extremos.

Assim, considerando dois pontos consecutivos, admitindo como "U" a variação de coordenadas no período considerado, a distância navegada e a velocidade são definidas, respectivamente, pelas fórmulas:

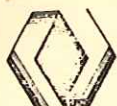
$$L = (U_x^2 + U_y^2)^{1/2}$$

$$V = \frac{L}{T}$$

nelas $U_x = x_{n+1} - x_n$

$$U_y = y_{n+1} - y_n$$

Por outro lado, um erro de posicionamento, resultante da imprecisão do equipamento influi na distância percorrida calculada e, por con-



sequência, na velocidade, como a seguir se demonstra:

$$L = \left[(x_{n+1} - x_n)^2 + (y_{n+1} - y_n)^2 \right]^{1/2}$$

$$\frac{dL}{dx_n} = \frac{x_{n+1} - x_n}{L} \quad \text{e portanto,}$$

$$\Delta L(x_n) = - \frac{x_{n+1} - x_n}{L} \Delta x_n \quad \text{e}$$

$$\Delta L(x_{n+1}) = \frac{x_{n+1} - x_n}{L} \Delta x_{n+1}$$

$$\Delta L(y_n) = - \frac{y_{n+1} - y_n}{L} \Delta y_n$$

$$\Delta L(y_{n+1}) = \frac{y_{n+1} - y_n}{L} \Delta y_{n+1}$$

$$\sum \Delta L = \Delta L(x_n) + \Delta L(x_{n+1}) + \Delta L(y_n) + \Delta L(y_{n+1})$$

Considerando ainda que a velocidade é $v = \frac{L}{T}$ a variação da velocidade em função do incremento da distância vem a ser:

$$\frac{\Delta v}{\Delta L} = \frac{1}{T} \quad \Delta v = \frac{\Delta L}{T}$$

Outro ponto a levar em conta no cálculo da velocidade é a medida do intervalo de tempo entre as posições consideradas. No nosso caso



a unidade de medida de tempo é de décimo de segundo, sendo a determinação do instante efetuada através de um gerador a cristal, de grande estabilidade, cujos sinais vão ao registrador ANADEx, onde são registradas as leituras de distância do equipamento RPS, correspondentes a esse instante.

7. CONSIDERAÇÕES SOBRE AS PROVAS DE NAVIOS

O breve estudo feito sobre o emprego do método de posicionamento eletrônico durante a execução de provas de navios para determinação de seus dados táticos, tem como propósito a divulgação do seu emprego no Brasil, utilizando o equipamento Range Positioning System (RPS), de fabricação da MOTOROLA Military and Aerospace Electronics Inc.

Durante as provas em questão, o dado considerado de maior relevância é o das velocidades máxima e econômica, que vem a ser fator da maior importância na futura utilização desses navios; por isso mesmo, procura-se na execução desses testes, verificar se o navio atinge a velocidade de projeto, para a potência de máquina desenvolvida e medida.

Para execução dessa verificação as condições ideais que o Estaleiro construtor alcançar, são as seguintes:

- casco do navio, notadamente as obras vivas, devidamente raspado, limpo e pintado com tinta auto-corrosiva poucos dias antes da prova;
- máquinas em perfeitas condições de funcionamento e devidamente ajustadas, podendo atingir sua potência máxima.



- calado, ou seja, a parte mergulhada, devidamente ajustado para as condições de projeto, lastrado ou todo carregado;
- trim, ou seja, diferença de calados avante e a ré, de aquilo de acordo com as condições de projeto;

Além destas, o Estaleiro, que entrega o navio e o Armador, que o recebe, escolhem data e local de execução das provas, considerando principalmente o seguinte:

- profundidade do local de provas, entre oito a dez vezes o calado máximo de prova;
- condições de mar tranquilo na área, durante a execução das provas de velocidade;
- condições de vento fraco durante as provas, de modo a influir pouco nos resultados;
- condição de pouco, ou nenhum tráfego na área de provas, de modo a que o navio tenha a maior liberdade de manobra.

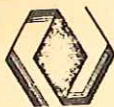
Por outro lado, antes das provas a ENCAL, depois de fazer uma verificação cuidadosa do equipamento em seus laboratórios, efetua testes de campo utilizando uma distância conhecida de cerca de 17.000 metros, para calibragem do equipamento, e a seguir toma as seguintes providências, depois de ouvir representante do Estaleiro, a saber:



- escolha dos pontos de terra, onde vão ser instalados os transponders;
- cálculo ou determinação do comprimento da linha base "B" entre os pontos escolhidos;
- instala as unidades do equipamento de posicionamento nos pontos de terra e no navio, e faz uma verificação final antes da prova; e
- durante as provas, executa os cálculos em máquina eletrônica, programável, para maior rapidez e precisão.

Na execução de medidas acima e do cuidado na escolha das condições, é claro que vão depender os resultados a serem alcançados na medição; assim, por exemplo: caso o mar não esteja tranquilo, mesmo satisfeitos os outros requisitos, durante a execução de provas, o navio estará sujeito a aceleração e desacelerações, que introduzirão erros na medida de velocidade; se o navio estiver com descompasso -- trim -- mesmo com as condições ideais de potência de máquina, a velocidade por ele alcançado não será a de projeto; se por outro lado, o equipamento eletrônico de posicionamento estiver descalibrado, as medições de velocidade, obviamente estarão erradas.

De qualquer modo, sempre há interesse do Estaleiro, do Armador e da ENCAL S/A em alcançar os melhores resultados nas provas; entretanto, pode ocorrer que apesar de todos os cuidados, as condições de mar e vento se modifiquem durante a execução, prejudicando a qualidade dos resultados.



8. APRECIÇÃO DOS RESULTADOS

A experiência adquirida na execução de provas em dez navios, de porte variando de 26.000 a 130.000 toneladas, com calados variando respectivamente, de 9 a 17 metros, e a análise cuidadosa dos resultados obtidos, permitem-nos adiantar, no que respeita à precisão do método, que com o navio seguindo uma trajetória paralela ao eixo dos XX, que os resultados são os seguintes:

- a) Erro da imprecisão do equipamento - a imprecisão na medida de distância de ± 3 m, acarreta valores de

$$\Delta x = 7,0m \quad e \quad \Delta y = 3,2m \quad \text{para a posição de cada ponto.}$$

- b) Erro consequente do balanço - a diferença máxima para balanço de 5 graus é de $y = 5,2m$.

A somação dos erros acima, nos pontos extremos da corrida leva a um erro de 17,93 metros na distância percorrida de cerca de 3.000 metros, ou seja, 0,5%.

Considerando essa corrida de 3.000 metros, na qual foram escolhidos instantes para o cálculo de velocidade, se fôr utilizada 1/4 da corrida, próxima do centro para medições, a precisão da velocidade é de aproximadamente 0,2 nós; entretanto, se forem adotados os pontos extremos da corrida, a precisão aumenta para 0,07 nós.

Sendo na realidade o cálculo da velocidade uma média, seria ideal, para maior precisão das medições, utilizar comprimentos maiores para as corridas, para diminuir os efeitos na medida da velocidade, consequentes do estado do mar ou de pequenas variações da potência desenvolvida pelas máquinas.



9. CONCLUSÃO

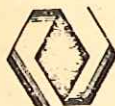
No presente estudo, procurou-se demonstrar a viabilidade do método eletrônico de posicionamento para determinação dos dados táticos dos navios, utilizando equipamento de fabricação MOTOROLA.

Sendo a ENCAL S/A uma empresa que tem como objetivo principal a execução de prospecção sísmica e batimétrica, sobre água, no mar e em rios, e nesses serviços também emprega o mesmo equipamento eletrônico de posicionamento, a experiência adquirida no dia a dia, vai sendo acrescida às provas de mar.

A ENCAL S/A acaba de lançar-se também no campo da prospecção sísmica utilizando aeronaves e, sem dúvida, o posicionamento eletrônico da aeronave, em trabalhos de precisão, dentro em pouco nos permitirá ampliar a experiência e aperfeiçoar o método.

Até a presente data, o método eletrônico de posicionamento vem apresentando as seguintes vantagens:

- a) sendo independente das condições de visibilidade, permite a execução das provas de dia ou de noite, com a mesma precisão, possibilitando o cumprimento do programa de provas com bastante economia em combustível e pessoal;
- b) embora dependente do alcance de estações instaladas em terra, permite a execução das provas a maiores profundidades, mantendo a mesma precisão;



- c) permitindo um posicionamento contínuo possibilita a escolha de qualquer rumo na área de provas, para atenuar os efeitos de mar ou vento sobre a velocidade do navio;
- d) dada a sua precisão e a grande quantidade de dados obtidos e registrados durante as provas, permite estudos por parte dos engenheiros navais para aprimorar seus projetos.