

**ESCOLA DE GUERRA NAVAL**

**ETM CLÁUDIA REIS DE ARAUJO**

**NOVA METODOLOGIA PARA A REALIZAÇÃO DO *TILT TEST* NOS NAVIOS DA  
ESQUADRA DA MARINHA DO BRASIL**

Rio de Janeiro

2023

## INTRODUÇÃO

Este trabalho apresenta a experiência vivida, por mim, durante um estudo realizado há aproximadamente doze anos e durante a tentativa do CASOP para homologação de um novo procedimento a ser realizado pela Marinha do Brasil (MB) em seus navios da Esquadra. Ambos os assuntos tratam de uma nova metodologia para a realização do *Til Test*.

O objetivo deste estudo era criar uma metodologia alternativa ou uma nova metodologia para a realização do *Tilt Test* (Teste de Inclinação das Bases) em navios da Marinha do Brasil (MB) sem a necessidade de docagem.

O sistema de armas de um navio de guerra possui radares, canhões, plataformas com sistemas óticos e optrônicos, lançadores de mísseis, entre outros. Para que este sistema localize, identifique, acompanhe e destrua um alvo inimigo, é necessário que os seus elementos, instalados na parte externa do navio, estejam alinhados com a máxima precisão possível. Essa necessidade é devida à evolução tecnológica dos armamentos e sistemas eletrônicos. O sistema de armas de um navio de guerra integra sistemas e subsistemas. Portanto, para que ele tenha um bom desempenho, é necessária uma correta troca de dados entre os seus componentes. Para garantir essa correta troca de dados, os sistemas e subsistemas devem estar alinhados em relação a uma referência comum. Dessa forma, o alinhamento do sistema de armas de um navio de guerra faz com que todos os seus elementos, quando direcionados, apontem para um mesmo ponto no espaço.

A realização do *Tilt Test* tem o propósito de verificar as inclinações das bases dos armamentos em relação ao *Master Level*, o qual representa o nível mestre de referência do navio. Deverá ser observado se essas bases estão paralelas ao *Master Level*.

Com a construção das Fragatas Classe “Niterói” na década de 70, trazendo sistemas mais modernos e sofisticados tecnicamente, a Marinha do Brasil (MB) foi obrigada a rever os procedimentos de alinhamento, até então, executados por ela. O *Tilt Test* representa uma das etapas do alinhamento do navio.

A grande motivação desse estudo era a vantagem do navio não precisar estar dentro do dique para a realização do *Til Test*, como é realizado no modo tradicional. O navio pode estar atracado no cais ou flutuando sem restrição de movimentos, bem como da presença de pessoas a bordo. Um outro fato a ser observado é que essa nova metodologia proporcionará

uma maior independência para a própria tripulação do navio, a qual, devidamente treinada, poderá realizar o *Tilt Test* quando houver necessidade.

Essa proposta se justifica devido aos custos envolvidos na atividade do *Tilt Test* tradicional. Os custos são altos, pois englobam a docagem do navio, o aluguel do dique, rebocadores e a mão de obra do pessoal envolvido no evento. Além disso, a nova metodologia evita uma grande restrição das principais atividades do navio, já que ele não precisa estar no dique, proporcionando economia de gastos e otimização de tempo.

### **TILT TEST TRADICIONAL**

O *Tilt Test* tradicional é realizado com o navio dentro de um dique (docagem). O peso a bordo, referente à quantidade de óleo, munição e aguada, é mantido em condições normais. A máxima estabilidade é obtida, eliminando-se fontes que possam causar oscilações e movimentos do navio, como por exemplo, o excesso de trânsito de pessoal a bordo e máquinas operando. O *Tilt Test* é executado à noite para eliminar interferências que causem vibrações nos clinômetros analógicos e alterações estruturais devido às oscilações térmicas. Os clinômetros analógicos de bolha são instalados nas bases dos armamentos externos e no *Master Level*. Alguns membros da tripulação e técnicos especializados participam do evento e todos são orientados pelo chefe da equipe. Duas pessoas, em média, são posicionadas em cada base ou posto. Os postos devem ter comunicação entre si e iluminação adequada. São realizadas leituras a cada 10 graus de conteira (0 à 350 graus) e, sequencialmente, são coletadas e anotadas as leituras dos clinômetros. Os valores dessas leituras de inclinação são introduzidos em um programa desenvolvido pelo Centro de Apoio a Sistemas Operativos (CASOP) – Programa *Tilt Test*. Essas leituras servem de base para os cálculos do Ponto Alto da base de cada elemento em relação ao Plano Horizontal. O Ponto Alto é representado pelo valor da máxima inclinação do plano da base do elemento e da conteira (ou azimute) correspondente, conforme Figura 1. Na Figura 1, o Plano de Passeio dos Roletes (PPR) representa a base de um armamento. A inclinação relativa de cada equipamento é representada pela subtração entre as inclinações absolutas das bases dos armamentos e o valor da inclinação medida no *Master Level*. O programa calcula as

correções a serem implementadas no sistema operacional do navio, caso os valores de inclinação encontrados excedam as tolerâncias especificadas para cada armamento.

O CASOP é uma Organização Militar (OM) da Marinha do Brasil (MB) que tem a missão de contribuir para o aprestamento dos meios operativos incorporados à MB. Dentre as suas atribuições, destaca-se o alinhamento de Sistemas Navais (armamentos e sensores). Quanto à periodicidade, o *Tilt Test* é realizado após a ocorrência de pequenas deformações, desgastes e avarias que geralmente alteram o paralelismo entre as bases dos armamentos, comprometendo a eficácia do sistema de armas. Ele também é executado após grandes reparos e quando houver indícios de que os valores atuais das inclinações estão fora das tolerâncias, comprometendo o desempenho do sistema de armas.

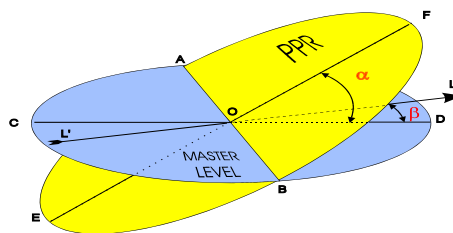


Figura 1: Inclinação relativa entre dois planos

## METODOLOGIA ALTERNATIVA OU NOVA METODOLOGIA PARA O TILT TEST

A nova metodologia inicialmente propunha a instalação de dois clinômetros eletrônicos uniaxiais em cada base de armamento e no *Master Level*, detectando, dessa forma, a inclinação em dois eixos, os quais formam um plano, de acordo com a Figura 2. Os dois clinômetros uniaxiais podem ser substituídos por um clinômetro biaxial ou triaxial. Os pares de clinômetros uniaxiais, formando ângulos de  $90^\circ$  entre si, são interligados a um computador, o qual recebe várias medidas de inclinação, oriundas dos clinômetros, durante um determinado intervalo de tempo. As leituras dos clinômetros são simultâneas, contínuas e realizadas em tempo real. Nesse caso, o sincronismo é de extrema importância para que as leituras de todos os equipamentos sejam realizadas no mesmo instante de tempo. Como são realizadas várias leituras ao longo de um determinado tempo, haverá uma maior estabilidade dos valores, fazendo com que haja uma convergência nas medidas. Como ocorre no *Tilt Test*

tradicional, o programa *Tilt Test* realiza os cálculos das correções a serem implementadas no sistema operacional do navio, caso necessário.

A diferença entre o *Tilt Test* tradicional e a metodologia proposta é a forma com que as leituras das inclinações são obtidas em conjunto com a utilização de clinômetros digitais.

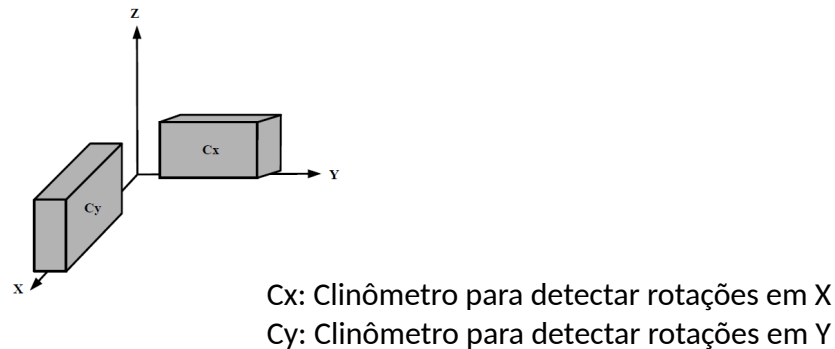


Figura 2: Disposição dos clinômetros uniaxiais nos eixos X e Y

## SIMULAÇÕES COM OS VALORES OBTIDOS NO *TILT TEST* TRADICIONAL

Inicialmente, para se entender a metodologia de cálculo adotada no *Tilt Test* tradicional, foi realizado o desenvolvimento matemático para se calcular a inclinação de cada base, inclusive do *Master Level*, em relação ao plano horizontal, utilizando-se as projeções da inclinação do plano e calculando o seno e o cosseno dos ângulos formados por essas projeções. Para obter a inclinação da base em relação ao nível mestre de referência, eram subtraídos os valores absolutos da inclinação de cada base e do *Master Level*.

Para que houvesse uma aceitação da nova metodologia, logicamente deveria ser realizada a análise e a comparação de resultados entre a metodologia tradicional e a proposta pelo estudo. Dessa forma, encontrando-se conclusões positivas, a nova metodologia teria a possibilidade de ser homologada, trazendo uma grande economia de custos, assim como, a otimização do tempo gasto na atividade de *Tilt Test*.

Em setembro/2009, foram utilizados os dados obtidos no *Tilt Test* da Corveta Barroso, recém construída, na época, pelo Arsenal de Marinha do Rio de Janeiro (AMRJ). Em seguida

foram elaboradas planilhas de cálculos, usando-se o desenvolvimento matemático citado anteriormente.

Foi observado, então, que os valores obtidos pela planilha de cálculos e pelo Programa *Tilt Test* estavam muito próximos, sendo que alguns até idênticos.

## **SIMULAÇÕES APLICANDO A NOVA METODOLOGIA**

Conforme foi realizado em relação ao *Tilt Test* tradicional, também foi elaborado o desenvolvimento matemático para se calcular a inclinação das bases para a nova metodologia.

Nas primeiras simulações, aplicando a metodologia alternativa, foram utilizados dados de três *Tilt Tests* realizados pela Marinha. Um deles foi o executado na Corveta Barroso e os outros dois foram em duas Fragatas Classe “Niterói”, ambos realizados em 2007. A proposta da nova metodologia era a modelagem a partir de dois eixos ortogonais com a instalação de dois clinômetros uniaxiais, formando um ângulo de  $90^\circ$  entre eles, em cada base de armamento e no *Master Level*. Após a realização desses três *Tilt Tests* tradicionais, tinha-se disponível, para cada navio, os dados relativos às 36 leituras de conteira, de  $0^\circ$  à  $350^\circ$ , de  $10^\circ$  em  $10^\circ$ , correspondentes a uma varredura completa do círculo. Levando-se em consideração esse conjunto de observações, foram formados 36 pares com leituras em posições ortogonais, por exemplo:  $0^\circ / 90^\circ$ ;  $10^\circ / 100^\circ$ ;  $20^\circ / 110^\circ$  e assim por diante. Cada par ortogonal gerava um plano e, em seguida, era calculado o Ponto Alto para esse plano em relação ao plano horizontal. Portanto, para cada elemento disponível foram gerados 36 planos. Foi calculado, então, o Ponto Alto em relação ao Plano Horizontal de cada um dos 36 planos gerados para cada elemento. A seguir, foi realizada a diferença entre cada um desses 36 Pontos Altos e o resultado encontrado pela Marinha. Depois, para cada elemento, foi calculada a média dessas 36 diferenças, tanto para os valores de conteira quanto para os de elevação.

O objetivo dessa organização era mostrar que o método proposto produziria os mesmos resultados do método seguido, até então, pela Marinha do Brasil.

## EXPERIMENTOS COM SENSORES INERCIAIS

Em março de 2011, foram realizados alguns experimentos em bancada com dois sensores inerciais. Esses sensores são uma combinação de, entre outros dispositivos, um acelerômetro e uma giro triaxiais.

Inicialmente, para possibilitar a familiarização com o equipamento, foram realizadas algumas leituras com o sensor em duas bases, uma inclinada e outra na posição horizontal. Essas leituras foram feitas posicionando-se o sensor de  $0^\circ$  à  $360^\circ$ , de  $45^\circ$  em  $45^\circ$ . Como se trata de um equipamento triaxial, foram obtidas leituras nos três eixos: X, Y e Z. As variações em torno dos eixos X e Y davam origem à inclinação do plano e a variação em torno do eixo Z originava o valor da conteira (ângulo) na qual se encontrava o ponto alto. Dessa forma, não havia a necessidade da utilização de dois clinômetros uniaxiais, pois um clinômetro já fornecia todos os dados necessários para o ponto alto e para a conteira.

Para a realização do teste propriamente dito, primeiramente, o sensor foi posicionado, de  $0^\circ$  à  $350^\circ$ , de  $45^\circ$  em  $45^\circ$ , em cima de uma base de madeira, sem inclinação alguma, representando o plano horizontal. O manual do sensor informava que deveria ser aguardado um tempo em torno de 40 segundos para a estabilização do mesmo naquela determinada posição. Somente após a estabilização do sensor eram registradas as leituras realizadas. Essas leituras eram transferidas para um computador, sendo que para cada marcação, de  $45^\circ$  em  $45^\circ$ , eram computados em torno de 1.000 registros.

Na segunda fase desse teste, foi introduzida uma inclinação conhecida à base de madeira. Em seguida, foram, então, realizadas leituras com o sensor inercial posicionado em cima dessa base de madeira. Essas leituras foram registradas, manualmente, de  $0^\circ$  à  $350^\circ$ , de  $45^\circ$  em  $45^\circ$ . Conforme a primeira fase do teste, antes do registro de cada leitura, eram aguardados em torno de 40 segundos para que o equipamento se estabilizasse. Depois, foi aplicado o desenvolvimento matemático para a nova metodologia com o objetivo de obter o valor de inclinação da base em relação ao plano horizontal.

Foi realizado um terceiro experimento exatamente igual ao segundo, sendo que dessa vez foi introduzido um outro valor de inclinação, também conhecido, à base de madeira.

Percebe-se que para esse experimento não foi necessário realizar a varredura dos 360°, de 10° em 10°, como no *Tilt Test* tradicional. Tal fato proporciona dinamismo ao procedimento e, conseqüentemente, otimiza a sua duração.

### **NOVA METODOLOGIA PROPOSTA PELO CASOP PARA A REALIZAÇÃO DO *TILT TEST***

Na mesma época em que esse estudo, para criar uma metodologia alternativa ou uma nova metodologia para a realização do *Tilt Test*, estava em andamento, o CASOP também realizava pesquisas com clinômetros digitais uniaxiais com o mesmo objetivo. Ou seja, criar uma nova metodologia para a realização do *Tilt Test* sem a necessidade da docagem do navio. O estudo do CASOP foi denominado “Projeto de Automação das Medidas dos Ângulos de *Tilt Test*”. A diferença entre o estudo e a nova metodologia proposta pelo CASOP consistia no modo pelo qual se realizava a coleta dos valores de inclinação das bases, utilizando-se os clinômetros digitais. A proposta do estudo era coletar os dados de 45° em 45°, diminuindo dessa maneira o tempo para a realização do procedimento. A proposta do CASOP continuava com a coleta das inclinações das bases, de 10° em 10°, em toda a varredura (0° a 350°). Para que esse projeto do CASOP fosse implementado na Marinha, era necessário que a Diretoria de Sistemas de Armas da Marinha (DSAM) homologasse o novo procedimento para a realização do *Tilt Test*.

Em maio/2011, o CASOP elaborou um relatório sobre o “Projeto de Automação das Medidas dos Ângulos de *Tilt Test*” ou “*Tilt Test* Eletrônico”. Esse relatório preliminar apresentava os resultados obtidos, até aquele momento, na implementação de um protótipo do sistema de automatização para a execução do *Tilt Test* em navios atracados. A DSAM analisou esse documento com vistas à aprovação futura do referido projeto. Após a análise, a DSAM informou que via com satisfação a iniciativa do CASOP, mas teria muita cautela em aprovar uma mudança tão radical nos conceitos básicos e físicos do procedimento de alinhamento das armas e sensores de sua jurisdição, pois este processo era resultado de uma longa, custosa e bem realizada Avaliação Operacional das Fragatas Classe “Niterói”. Dessa forma, a DSAM sugeriu que o CASOP mantivesse o processo tradicional de alinhamento dos sensores de armas nos navios da Esquadra, procurando aprimorar e testar o processo, de tal



forma que fossem alcançadas mudanças tanto em custo como em eficiência relacionada à precisão, a qual é a grande finalidade do alinhamento.

Em março/2012, o CASOP fez uma apresentação para a DSAM, objetivando levantar os aspectos relacionados ao desenvolvimento de uma possível metodologia para homologação do referido projeto. Nessa apresentação, foi mostrada toda a evolução do procedimento do *Tilt Test* tradicional desde os primórdios até a utilização do “programa *Tilt Test*”. O CASOP também apresentou alguns resultados obtidos com a utilização de clinômetros digitais uniaxiais na CV “Barroso” e em uma Fragata Classe “Niterói”.

Dando continuidade à tentativa de homologação do procedimento, em novembro/2012, o CASOP realizou uma outra apresentação, mostrando outros testes realizados com os clinômetros digitais. Nessa ocasião, a DSAM observou a necessidade do aprofundamento sobre o desempenho/confiabilidade dos sensores empregados no *Tilt Test* Eletrônico, por meio de testes laboratoriais. A OM sugerida para testar e analisar os sensores foi o Instituto de Pesquisas da Marinha (IPqM). Nessa apresentação, a DSAM também sugeriu que fossem realizadas comparações entre o método tradicional para a realização do *Tilt Test* e o método proposto pelo CASOP. Essas comparações seriam fundamentais para a homologação do novo procedimento e deveriam ser realizadas, inclusive, para classes diferentes de navios como fragatas e corvetas.

Em março/2015, o CASOP encaminhou uma documentação que apresentava os testes de desempenho e calibração, realizados no IPqM, em dois modelos de clinômetros digitais uniaxiais, sendo que um de fabricação norte-americana e outro de fabricação chinesa. Além dos testes dos clinômetros, o IPqM também avaliou o procedimento de alinhamento dinâmico proposto pelo CASOP. Foram realizados testes laboratoriais estáticos e dinâmicos com os dois modelos de clinômetros. Ambos os modelos obtiveram resultados coerentes com as suas especificações técnicas, as quais atendiam às tolerâncias exigidas para o *Tilt Test*. Além disso, foram descritos os testes dinâmicos dos clinômetros digitais (método proposto pelo CASOP) e dos clinômetros de bolha (método tradicional) por meio de uma simulação de *Tilt Test* em laboratório. Esse experimento simulou o ambiente de um navio com seus movimentos característicos. Após a análise dos resultados desses experimentos, concluiu-se que os clinômetros eletrônicos ou digitais podem substituir os clinômetros de bolha no método convencional com o navio docado, como também podem ser usados no

método proposto pelo CASOP. Entretanto, o CASOP não apresentou a comparação de resultados entre o método tradicional do *Tilt Test*, com o navio docado, e o método proposto com o navio atracado ou em movimento. Essa comparação deveria ter como base as medidas das inclinações das bases dos armamentos coletadas com o navio docado e, logo em seguida, assim que ele saísse do dique para atracar no cais, de modo que o tempo entre as duas coletas fosse reduzido ao máximo. Para a DSAM, esses experimentos eram fundamentais para a homologação do novo procedimento e deveriam ser realizados para classe de navios diferentes.

Em 2016, o CASOP elaborou um documento, contendo as comparações entre as duas metodologias. Porém, essas comparações não foram executadas da forma que a DSAM havia orientado, já que o *Tilt Test* Eletrônico, com o navio atracado ou flutuando, não havia sido realizado logo em sequência ao *Tilt Test* tradicional com o navio docado. Devido à própria vida operativa do navio, podem ocorrer deformações, desgastes e avarias na estrutura do meio, cooperando para alterar as condições desejáveis de paralelismo e, dessa forma, passando a comprometer a eficácia do sistema. Por esse motivo, o intervalo entre uma verificação e outra deveria ser o mais curto possível.

Finalmente, em 2020, o CASOP elaborou um relatório, apresentando os resultados obtidos após a comparação entre os dois métodos, seguindo as orientações da DSAM. Além disso, o CASOP utilizou os clinômetros digitais também na execução do *Tilt Test* tradicional com o objetivo de comparar os resultados obtidos pelos dois clinômetros, ou seja, o analógico de bolha e o digital. Sendo assim, os resultados das medições com o navio docado e atracado, associados aos resultados dos testes laboratoriais realizados nos clinômetros digitais pelo IPqM, permitiram avaliar o “Projeto de Automação das Medidas dos Ângulos de *Tilt Test*” em duas vertentes: a substituição do clinômetro de bolha pelo digital e o emprego da nova metodologia de alinhamento, com o navio atracado.

## **CONSIDERAÇÕES FINAIS**

Em relação ao estudo, comparando-se os resultados das simulações utilizando-se os dados oriundos dos *Tilt Tests* realizados pela Marinha, concluiu-se que os valores das médias

encontrados para o Ponto Alto, principalmente para o *Master Level*, foram praticamente os mesmos ou muito próximos aos valores calculados pelo método da Marinha. O mesmo ocorreu em relação aos valores de coneteira. Portanto, esses resultados indicam que a metodologia proposta alcançou o seu objetivo. Com relação aos experimentos realizados com os sensores inerciais, os valores das médias encontrados para o Ponto Alto estão muito próximos aos valores das inclinações introduzidas na base de madeira. Logo, conclui-se que todo o procedimento realizado para se obter as leituras reais de inclinação, em relação ao plano horizontal, está correto. Para a realização desse experimento, o sensor foi posicionado de 0° à 350°, de 45° em 45°, não necessitando realizar a varredura dos 360°, de 10° em 10°, gerando uma diminuição do tempo gasto para a realização das medidas. Levando-se em consideração esses experimentos, provou-se que é possível a determinação da posição relativa entre a base de um armamento qualquer e o *Master Level* através da instalação de dois clinômetros uniaxiais, formando um ângulo de 90° entre eles. Sendo que esses dois clinômetros uniaxiais poderão ser substituídos por um clinômetro biaxial ou triaxial em cada base. Caso um sistema com essas características seja instalado permanentemente a bordo de um navio de guerra, haverá repetibilidade ao longo do tempo, fazendo com que haja uma convergência para valores mais exatos. Em termos financeiros, essa nova proposta poderia trazer uma economia de gastos significativa para a Marinha.

Com referência à metodologia proposta pelo CASOP, a substituição do instrumento de medição analógico por um digital proporciona maior precisão instrumental, maior agilidade na coleta de dados, redução da equipe envolvida na atividade e a eliminação de erros humanos, tais como: os decorrentes da acuidade visual durante a leitura no clinômetro analógico; a má compreensão da fonia entre os operadores; e, até mesmo, a qualidade da caligrafia do registrador na hora da anotação das medidas das inclinações. Diante das informações apresentadas nos relatórios do CASOP, concluiu-se que, independente da metodologia de alinhamento utilizada, os clinômetros digitais possuem justificativas técnicas e operativas para substituir os clinômetros de bolha. Por essa razão, a DSAM sugeriu o seu emprego nos procedimentos de *Tilt Test*. A adoção da nova metodologia apresentada pelo CASOP somente é possível com a utilização dos clinômetros digitais, os quais permitem o sincronismo durante as medições, neutralizando os movimentos do navio mesmo quando atracado no cais. A adoção da nova metodologia permite a realização do *Tilt Test* com maior

periodicidade, mantendo as plataformas alinhadas no decorrer do ciclo operativo do navio. A nova metodologia também permite a realização das medições com o navio em condições mais próximas das reais de operação. Nessas condições, as tensões e torções do casco com a pressão da água influenciam no alinhamento das plataformas. Em face do exposto, a DSAM recomendou a substituição dos clinômetros analógicos de bolha por clinômetros digitais em todos os procedimentos de *Tilt Test*. Além disso, sugeriu a adoção da metodologia proposta pelo CASOP para alinhamento do sistema de armas - *Tilt Test* Eletrônico, homologando o procedimento.