

# ANÁLISE MODAL NUMÉRICO-EXPERIMENTAL DOS HÉLICES NAVAIS MODELO NS 18 E B9 PRODUZIDOS EM BELÉM-PARÁ

**Newton Sure Soeiro\*** – e-mail: nsоеiro@ufpa.br

**Alan Rafael Menezes do Vale\*** – e-mail: alanvale@bol.com.br (1)

(\*) Universidade Federal do Pará – UFPA – Departamento de Engenharia Mecânica – Campus  
Universitário do Guamá – CEP: 66075-900 – Belém – Pará – Brasil

*Resumo: Os propulsores navais B9 e NS18 utilizados pelas embarcações amazônicas de pequeno porte (predominantes na região amazônica) são fabricados em pequenas oficinas de fundição, sendo o objeto de estudo, as produzidas em Belém-Pará. Tais fundições utilizam procedimentos de fabricação não muito rígidos, baseados em experiências passadas de geração para geração. Isto ocasiona diferenças entre os hélices produzidos e os projetados de acordo com teorias de propulsores, o que proporciona baixo desempenho e vida útil reduzida quando estes rotores são postos em funcionamento. Face o exposto, iniciou-se um procedimento para análise modal experimental dos modelos de hélices navais B9 e NS18, citados anteriormente, através de teste de impacto com martelo. Os resultados deste ensaio foram comparados aos valores obtidos na análise modal numérica com a utilização do método de elementos finitos, onde se obtiveram os modelos modais das geometrias dos hélices (frequências de ressonância, fatores de amortecimento e formas deformadas), com o objetivo de se verificar a possibilidade de ressonância durante o funcionamento dos mesmos, sem a influência da massa agregada do fluido de trabalho (água doce) e obter dados comparativos entre os métodos numérico e experimental.*

**Palavras-chave:** *Análise modal, hélices navais, análise numérica, método experimental.*

## 1. INTRODUÇÃO

Grande parte dos propulsores navais utilizados por embarcações na Amazônia é fabricada em oficinas de fundição situadas na região que utilizam técnicas passadas de geração para geração sem um controle rígido do processo, levando dessa forma, frequentemente, a hélices com propriedades mecânicas inferiores a valores aceitáveis durante a utilização do mesmo (Moreira, 2000), tornando-os suscetíveis a solicitações que possam provocar fraturas e empenamentos com um baixo tempo de uso nas embarcações. Isto gera prejuízos consideráveis em função do período em que os barcos permanecem parados à espera da reposição do hélice (Coelho et al, 1999 e Moreira, 2000).

As deficiências dos hélices estão geralmente associadas ao controle de qualidade na fabricação, que não é rígido o suficiente, permitindo a produção destes rotores com ligas metálicas de composição química inadequada à sua fabricação e o processo de fundição não controlado da maneira ideal para fornecer às ligas metálicas a resistência necessária para as exigências durante o funcionamento dos hélices.

Devido a este e outros problemas, procurou-se verificar a presença de vibrações no hélice em sua faixa de frequência de trabalho, para isto, realizou-se a análise modal numérica de dois propulsores navais muito utilizados na região através do método dos elementos finitos, onde se obteve o modelo modal da geometria do hélice (constantes modais e frequências naturais).

Foi também realizada nos hélices a análise modal experimental, desenvolvida em laboratório, com o intuito de se validar os resultados numéricos, obtidos via software ANSYS, versão 6.0 e, caso sejam encontradas diferenças, sugerir meios de tornar os resultados da análise numérica via método de elementos finitos os mesmos dos valores experimentais. Na análise modal experimental, foi utilizado o programa, versão ICATS 3.8 para processamento e análise dos resultados.

Ambas as metodologias aplicadas têm o objetivo de verificar se há ocorrência de ressonância nos hélices em funcionamento. Caso isto seja verificado, deve ser sugerido aos produtores envolvidos na fabricação do conjunto propulsor das embarcações que alterem a rotação no eixo dos hélices para que a região de trabalho dos rotores não coincida com a região de ressonância dos mesmos, ou modifiquem a geometria dos hélices para que suas frequências naturais possam se diferenciar da região de trabalho dos mesmos. As possíveis diferenças encontradas entre os dois métodos ajudam a validar os ensaios computacionais realizados no propulsor.

## 2. MATERIAIS E MÉTODOS

### 2.1. Levantamento da Composição Química dos Hélices Navais da Cidade de Belém do Pará

A matéria-prima utilizada nos propulsores navais da região foi analisada com o intuito de serem obtidas as composições químicas das amostras coletadas em Belém. Inicialmente, este estudo englobou a região amazônica, porém, para este trabalho, apenas a região metropolitana de Belém foi considerada, pois os hélices em estudo são oriundos desta cidade. Na Tab. (1), nota-se que a maioria das amostras são constituídas de latão, ou seja, ligas de cobre-zinco (Cu e Zn). A partir destes dados pôde-se estimar as propriedades mecânicas dos hélices navais em estudo.

Tabela 1. Composições químicas (%) de hélices produzidos na área metropolitana de Belém (Moreira, 2000).



| Amostra | Cu    | Zn    | Sn   | Al | Si | Fe   | S    | P |
|---------|-------|-------|------|----|----|------|------|---|
| Belém 1 | 81,72 | 15,02 | 2,27 | -  | -  | 0,79 | 0,21 | - |
| Belém 2 | 81,26 | 15,35 | 2,31 | -  | -  | 0,84 | 0,25 | - |
| Belém 3 | 77,91 | 19,92 | 1,45 | -  | -  | 0,59 | 0,13 | - |
| Belém 4 | 77,47 | 20,50 | 1,50 | -  | -  | 0,48 | 0,06 | - |

### 2.2. Os Hélices Navais B9 e NS18

Os hélices navais NS18 e B9 são utilizados na propulsão de pequenas embarcações de passageiros, típicas da região costeira de cidades e vilarejos populosos como Belém, Icoaraci, Breves, Santarém, Soure, Bragança, Vigia, dentre outras da região Amazônica. Estas embarcações, feitas com casco de madeira, possuem dimensões reduzidas (comprimento entre proa e popa, boca e calado) requerendo hélices navais pequenos para a sua propulsão, pois em geral, estes propulsores são menores que o calado do barco.

As características principais dos propulsores B9 e NS18 são apresentadas a seguir, na Tab. (2):

Tabela 2. Características principais do hélice B9, à esquerda e NS18 à direita.

| <b>Hélice B9</b><br> | Numero de Pás | 3           | <b>Hélice NS18</b><br> | Numero de Pás           | 3           |
|---|---------------|-------------|---|-------------------------|-------------|
|   | Passo (m)     | 0,278       |   | Passo (m)               | 0,278       |
|   | Diâmetro (m)  | 0,264       |   | Diâmetro (m)            | 0,270       |
|   | Peso (Kg)     | 1,278       |   | Peso (Kg)               | 1,252       |
|   | Liga Metálica | Cobre-Zinco |   | Liga Metálica do Hélice | Cobre-Zinco |

As propriedades mecânicas dos propulsores navais coletados na região, de acordo com o levantamento feito na Tab. (1), são listadas a seguir:

- Massa Específica (?) – 8000 a 8600 Kg/m<sup>3</sup>;
- Módulo de Elasticidade Longitudinal (E) – 75,8 a 103,5 GPa; (Ferreira e Lima, 1999);
- Coeficiente de Poisson ( $\nu$ ) – 0,3 a 0,36

As características do motor marítimo utilizado para fornecer a potência a estes hélices navais são descritas na Tab. (3).

Tabela 3. Características do motor utilizado no sistema propulsivo analisado.

| Fabricante - Yanmar | Modelo               | NSB18  | NSB18R | NSB18RE |
|---------------------|----------------------|--|--------|---------|
|                     | Número de cilindros  | 1  |        |         |
|                     | Potência KW (CV) RPM | Contínua - 8,8(12,0)/1800-11,0(15,0)/2200<br>Intermitente - 9,5(13,0)/1800-12,0(16,5)/2200 |        |         |
|                     | Tipo                 | Motor Diesel, Horizontal a 4 tempos  |        |         |
|                     | Peso líquido (kg)    | 175  | 165    | 199     |

## 2.3. Conceitos Importantes Sobre Análise Modal Experimental

Este procedimento experimental visa a medição e análise da vibração estrutural a partir da obtenção do modelo modal da estrutura sob análise. Esse modelo fica perfeitamente caracterizado pela obtenção dos seguintes parâmetros: frequências naturais, amortecimentos e formas modais. Nessa técnica, discretiza-se a estrutura em uma certa quantidade de pontos e mede-se um conjunto de funções resposta em frequência (FRF), que são a base para a determinação do modelo modal.

Determinam-se tais parâmetros pela técnica sDOF (*single Degree Of Freedom*), no caso de modos espaçados e pouco amortecidos, ou através da técnica mDOF (*multiple Degree Of Freedom*), quando os modos próximos interferem um nos outros, o que é o caso da maioria dos sistemas reais.

A primeira etapa da análise modal experimental é a medição de um conjunto de funções resposta em frequência (FRFs). Posteriormente, define-se um modelo modal viscoso ou histerético para se descrever estes dados e então, usam-se técnicas de estimação de parâmetros (ajuste de curvas) para se ajustar o modelo com os dados medidos e, assim, chegar aos valores dos parâmetros modais. Uma vez estes valores estimados, os mesmos podem ser verificados através de visualização gráfica ou através do uso de uma série de técnicas de validação do modelo modal (Soeiro, 2001).

A Fig. (1) resume o procedimento descrito acima, onde a excitação do modelo foi feita via martelo de impacto e o ajuste no domínio da frequência.

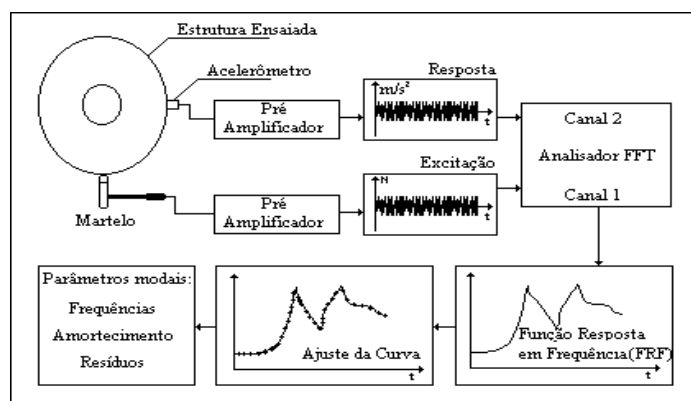


Figura 1. Análise modal com martelo de impacto.

Denotando pelos índices  $k$  e  $i$ , respectivamente, as posições na estrutura onde se aplica a excitação e se mede a resposta, usando-se a frequência natural ( $\omega_r$ ), massa ( $m_r$ ) e razão do amortecimento modal ( $\xi_r$ ), como (Soeiro, 2001):

$$H_{ik}(j\omega) = -\omega^2 \sum_{r=1}^r \frac{\Psi_i^r \Psi_k^r}{m_r [-\omega^2 + j^2 \xi_r \omega \omega_r + \omega_r^2]} \quad (1)$$

Uma forma de frações parciais é frequentemente preferida, resultando em:

$$H_{ik}(j\omega) = -\omega^2 \sum_{r=1}^{n/2} \left[ \frac{A_{ik}^r}{S - S_r} + \frac{A_{ik}^{r*}}{S - S_r^*} \right] \quad (2)$$

onde  $A_{ik}^r$  é o resíduo e  $S_r$  é:

$$S_r = -\xi_r \omega_r \pm j \omega_r \sqrt{1 - \xi_r^2} \quad (3)$$

Os resultados apresentados neste artigo referem-se a parâmetros modais extraídos no domínio do tempo, assim, utiliza-se a função resposta impulsiva que é obtida a partir da aplicação da transformada inversa de Fourier à Eq. (2), resultando em (Soeiro, 2001):

$$h(t) = \mathcal{F}^{-1}[H(j\omega)] = \sum_{r=1}^{n/2} A_r e^{(S_r t + \phi)} \quad (4)$$

A identificação dos parâmetros  $A_r$ ,  $S_r$ , e  $\phi$  é feita ajustando-se uma função a cada  $h(t)$  medida, resultando assim, uma função resposta impulsiva analítica, no domínio do tempo  $h_a(t)$ . A qualidade do ajuste feito é comprovada pela inspeção visual das funções de transferência analítica  $H_a(j\omega) = \mathcal{F}[h_a(t)]$ .

## 2.4 Procedimentos Experimentais

Este ensaio tem como objetivo medir diversas Funções Resposta em Frequência (de transferência e pontual) dos hélices navais B9 e NS18.

As medições foram realizadas no analisador dinâmico de sinais Hewlett Packard-HP 35665A. Este equipamento é capaz realizar análises utilizando a Transformada Rápida de Fourier (FFT) de espectro com um e dois canais dentro de uma faixa de frequência que vai de 0,097656 até 51,2 kHz no modo de dois canais. O analisador em questão, o acelerômetro fixado aos hélices para aquisição da resposta do sistema e o martelo de impacto, com célula de carga acoplada, ambos utilizados no ensaio, são apresentados na Fig. (2) (Rodrigo et al, 2001).

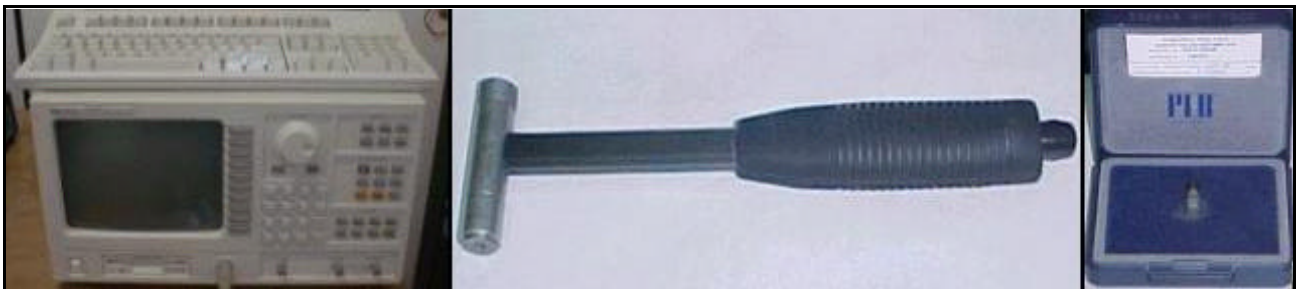


Figura 2. Analisador de sinais (esquerda), martelo (centro) e acelerômetro (direita) utilizados nos testes.

Capturadas as FRF's, devem ser extraídos os parâmetros modais dos hélices em um software específico, no caso o ICATS, versão 3.8. As medições foram realizadas colocando-se o sinal do acelerômetro posicionado em um ponto da pá do hélice tal que nenhuma frequência natural dos rotores seja atenuada pelo fato do acelerômetro encontrar-se em próximo ou em algum ponto nodal. Para isto, adotou-se um ponto situado no centro geométrico da nona estação linear da pá dos hélices. Este ponto foi adotado, pois quanto mais distante do bojo da pá (raiz ou eixo), maior será o sinal que o acelerômetro receberá através do impacto do martelo com as pás dos rotores.

Foram escolhidos 46 pontos de variação do impacto do martelo com os hélices, ou seja, para o cálculo experimental das formas modais e frequências naturais da viga serão consideradas 45 funções de resposta em frequência de transferência e uma pontual.

A Figura (3), a seguir demonstra a divisão dos hélices com uma malha de 46 pontos onde cada ponto local de impacto do martelo com cada um dos hélices.

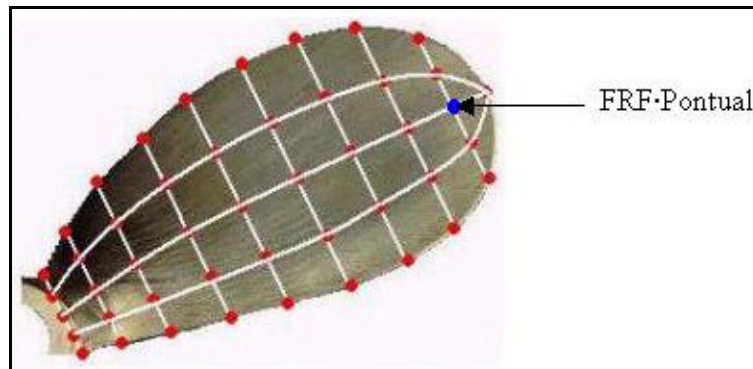


Figura 3. Definição dos pontos de coleta de dados experimentais dos hélices navais.

## 2.5 Análise Modal Numérica Através do Método de Elementos Finitos (MEF)

A análise de vibrações de sistemas estruturais simples, através de métodos analíticos é uma ótima maneira de compreender e se familiarizar com o fenômeno real, mas apenas do ponto de vista acadêmico. Na prática, todavia, torna-se impossível qualquer tratamento analítico de estruturas mais complexas, como no caso de um hélice. Neste contexto, o MEF constitui uma ótima alternativa de se solucionar problemas dinâmicos com muitos graus de liberdade (Soeiro et al, 2000).

A utilização do MEF, juntamente com o princípio de Hamilton leva, no caso de um sistema livre, a um sistema matricial do tipo mostrado na Eq. (5).

$$[M]\{u''\} + [K]\{u\} = 0 \quad (5)$$

sendo  $[M]$  e  $[K]$  as matrizes de massa e rigidez, respectivamente.

Com base no comportamento real da estrutura, assume-se que as respostas do sistema são harmônicas e a Eq. (5) é transformada para:

$$([K] - \Omega^2[M])\{u\} = 0 \quad (6)$$

que representa um problema generalizado de autovalores e autovetores. Os autovalores  $\Omega$  são as frequências naturais e os autovetores  $\{u\}$  as formas modais associadas a cada frequência natural.

O método utilizado para a extração das frequências naturais e formas modais, no software ANSYS 6.0, foi o *Block Lanczos*, pelo fato de o mesmo servir para se encontrar muitas formas modais. Este método é recomendado quando o modelo consiste de um sólido irregular, podendo trabalhar rápido, porém requerendo nos seus cálculos cerca de 50% a mais de memória do que outros métodos utilizados pelo ANSYS.



## 2.6. Construção dos Modelos Computacionais

Na criação do modelo, utilizaram-se 10 estações lineares das pás, onde as coordenadas X e Y dos perfis foram medidas através do software Markgraf, escrito em linguagem Borland C, e as coordenadas Z obtidas com um traçador de altura de resolução de 0,02 mm apoiado sobre um desempenho de granito com superfície lapidada. Os planos de medição são apresentados na Fig. (4).

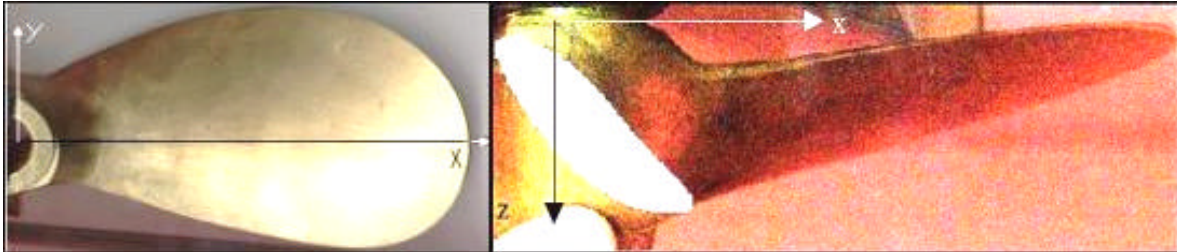


Figura 4. À esquerda, o plano xy e à direita, o plano yz de uma pá de hélice naval.

A modelagem do hélice foi feita através da inserção das cotas em uma matriz de coordenadas que é mostrada abaixo (Swanson Analysis Systems, Inc, 2001).

```
nmax=10 , *dim,cox,array,(2*nmax*10)
```

Onde “nmax” é o número de perfis que constituem a pá do hélice. Os comandos “dim”, “cox”, “coy” e “coz” compõem a matriz de 200 coordenadas tridimensionais, sendo que destas, 10 pontos por estação são destinados à face de sucção e os outros 10 à face de pressão (Vale, 2003).

Os rotores nos quais a malha foi aplicada para análise via método dos elementos finitos, são mostrados na Fig (6), onde foi utilizado o elemento hexaédrico (*SOLID 95*), composto de 20 nós por elemento, respectivamente (Swanson Analysis Systems, 2001). O número de elementos para os modelos B9 e NS18 foi definida com base no nível de convergência dos resultados e no tempo computacional requerido para a efetuação dos cálculos. Os modelos malhados utilizados possuem 641 elementos e 6013 nós, para o modelo NS18 e 1089 elementos e 2891 nós para o modelo B9.

A construção e malhagem dos modelos de hélices navais são mostradas, em resumo, na Fig (5).

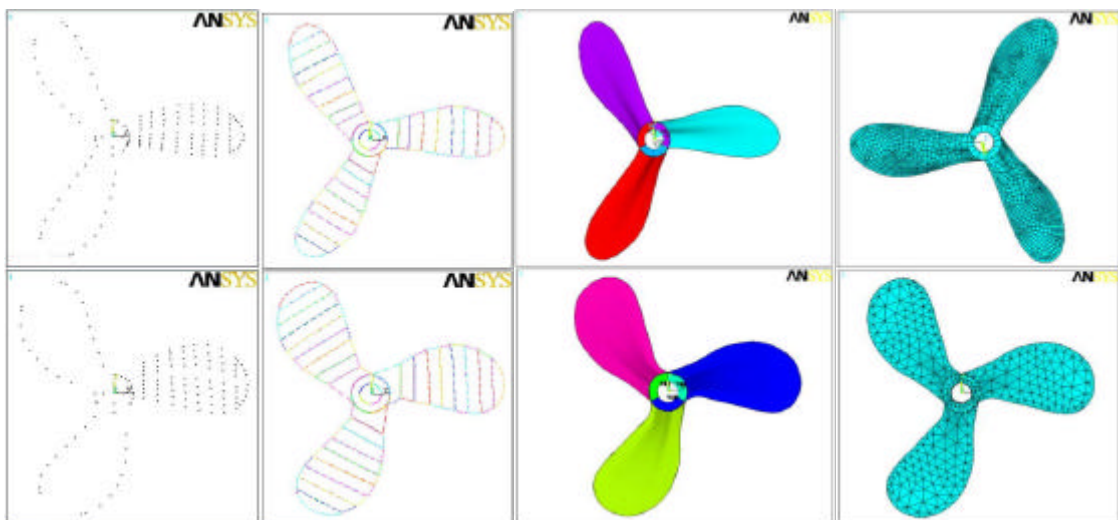


Figura 5. Na linha superior, geração numérica do hélice NS18 e na inferior, do hélice B9.

Para a geração dos modelos completos dos hélices navais utilizou-se a axissimetria existente nos rotores, e a partir de um setor básico, composto por um terço do bojo dos hélices e uma pá. A Figura (6) ilustra o setor básico utilizado na criação dos rotores completos mostrados na Fig (5).

Com a utilização destes volumes, consegue-se uma economia em tempo de processamento e ainda se pode aproveitar, se necessário, este ganho para tornar se refinar o modelo, aperfeiçoando-o.

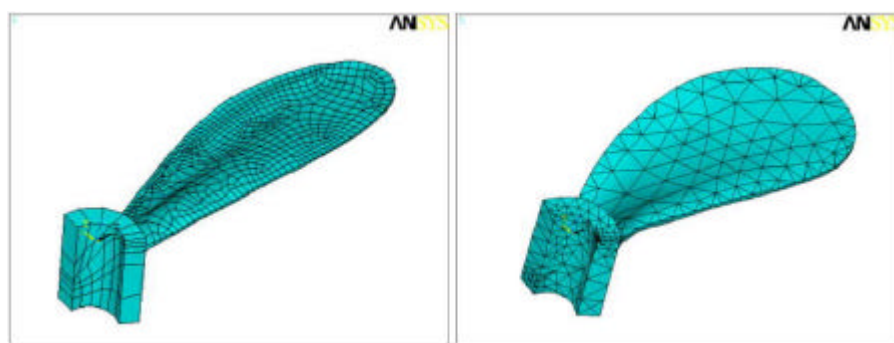


Figura 6. Setores básicos utilizados na construção dos modelos da Fig. (5). NS18 (esquerda) e B9 (direita).

### 3. RESULTADOS OBTIDOS

#### 3.1 Na Análise Modal Experimental

O método escolhido para o tratamento dos dados no ensaio do martelo foi o GLOBAL-M, que utiliza as 46 FRF's colhidas dos hélices B9 e NS18, pois o mesmo soluciona de maneira simples e rápida o problema de autovalor e autovetor para o sistema sob análise.

São apresentados neste trabalho, os resultados das três primeiras formas modais, frequências naturais e amortecimentos modais dos referidos hélices são expressas na Fig. (7). A forma deformada da pá de cada modelo aparece em preto na Fig (7).

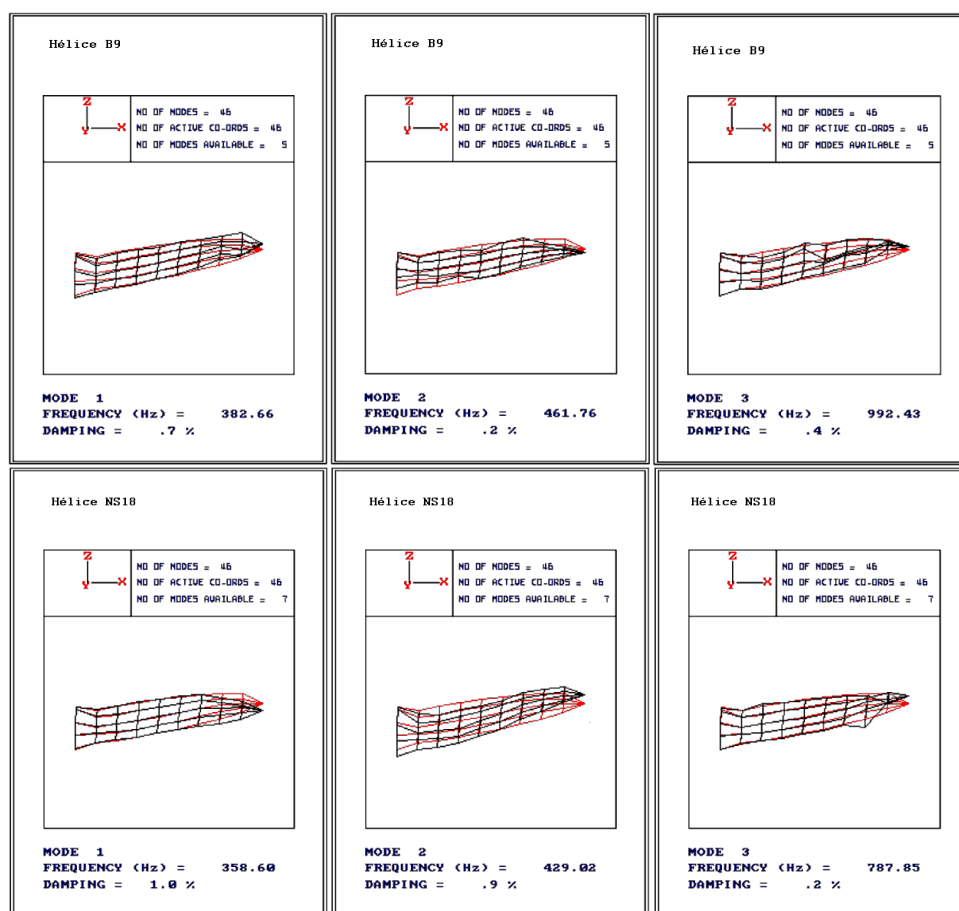


Figura 7. Frequências naturais e constantes modais obtidas: hélices B9 (linha superior) NS18 (linha inferior).

### 3.2 Na Análise Modal Numérica

Abaixo, nas Figs. (8) (9) e (10), são apresentadas as formas modais e frequências naturais obtidas para o hélice B9 e nas Figs. (11) (12) e (13) estes mesmos dados, porém para o NS18.

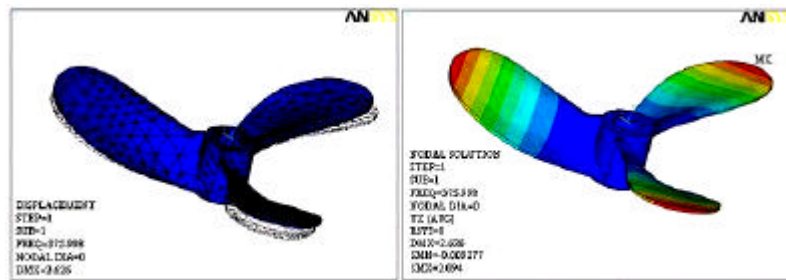


Figura 8. À esquerda, forma deformada (em azul) e, à direita, deslocamento em Z da 1ª forma modal.

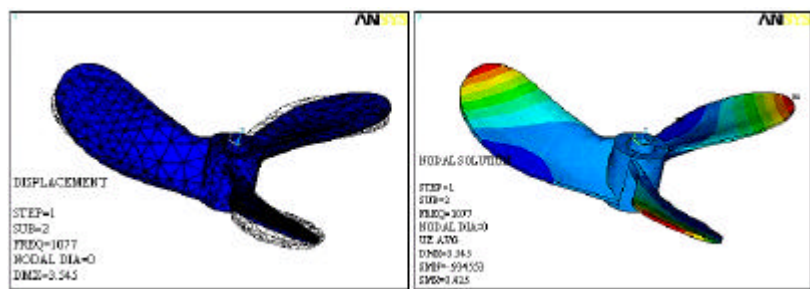


Figura 9. À esquerda, forma deformada (em azul) e, à direita, deslocamento em Z da 2ª forma modal.

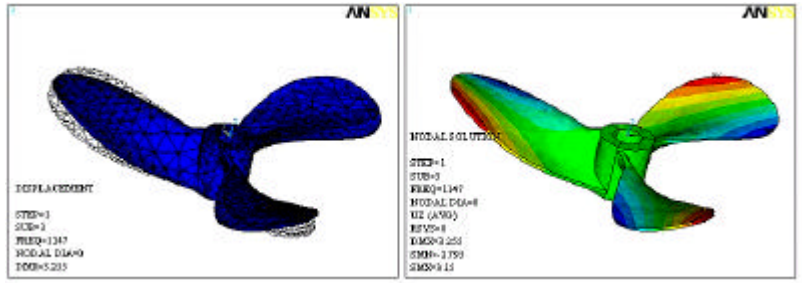


Figura 10. À esquerda, forma deformada (em azul) e, à direita, deslocamento em Z da 3ª forma modal.

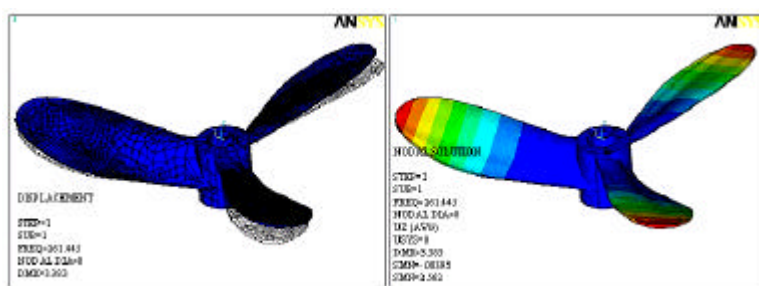


Figura 11. À esquerda, forma deformada (em azul) e, à direita, deslocamento em Z da 1ª forma modal.



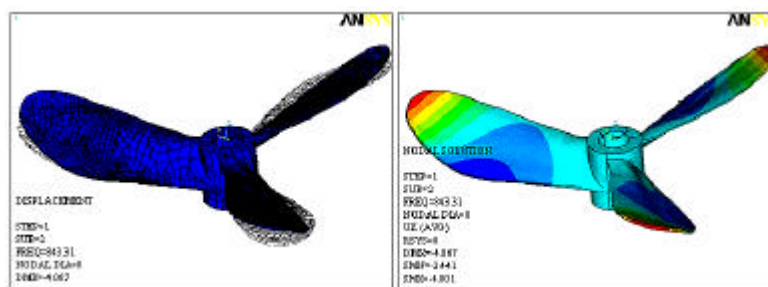


Figura 12. À esquerda, forma deformada (em azul) e, à direita, deslocamento em Z da 2ª forma modal.

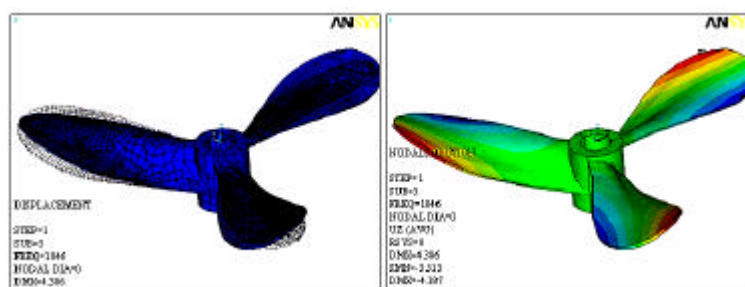


Figura 13. À esquerda, forma deformada (em azul) e, à direita, deslocamento em Z da 3ª forma modal.

#### 4. CONCLUSÕES E DISCUSSÕES

Como pôde ser visto nos resultados das figuras do item 3.2, o valor das primeiras frequências naturais (por volta de 300 Hz) são muito superiores às frequências de trabalho do propulsor (15,53 Hz), (esta frequência é calculada através da divisão da rotação do motor pelo fator de redução do eixo do motor para o eixo do hélice), tanto na análise experimental quanto na numérica, o que indica que, a possibilidade de ocorrer ressonâncias no conjunto motor-propulsor é nula.

A partir dos resultados, verificou-se que, se os propulsores estão com uma vida útil reduzida, isto se deve ao fato dos mesmos não serem submetidos a um rígido controle de qualidade no decorrer de sua produção, que vai desde a seleção de matéria-prima, terminando no transporte e entrega do produto. A especificação inadequada do material constituinte do propulsor contribui para a anisotropia do mesmo, devido à presença de inclusões e vazios no hélice. Foi verificado também, que a padronização na produção dos rotores não é levada em consideração, visto que se adquiriu para os estudos dois hélices modelo NS18, que possuíam muitas diferenças no que concerne aos perfis de origem e a larguras das pás, sendo que por este motivo, apenas um rotor foi utilizado nos estudos.

As diferenças verificadas entre os dois tipos de análises realizadas, no que diz respeito aos valores das frequências naturais, podem ser justificadas pela impossibilidade do modelo de elementos finitos considerar a anisotropia e as descontinuidades existentes no objeto de estudo, que acarretam divergências tanto na rigidez quanto na massa do material, e, portanto, nos valores de suas frequências naturais que dependem basicamente destes dois parâmetros.

Demais análises de erro mais apuradas, como a utilização de análises de MAC e COMAC não foram necessárias já que este estudo se trata de uma avaliação inicial das propriedades dinâmicas naturais dos hélices navais em comparação aos seus parâmetros operacionais.

Outras influências negativas para que houvesse uma proximidade dos valores das frequências naturais numéricas e experimentais para os dois hélices se deve ao fato das geometrias criadas em computador não representarem perfeitamente os modelos reais, devido a fatores como erros sistemáticos na aquisição das coordenadas, utilizadas na construção dos modelos. A adaptação das malhas às geometrias também constitui fator importante para justificar as diferenças encontradas, visto que, as geometrias dos dois hélices navais, pós-malhagem, apresentaram desvios de forma. Estes desvios, mesmo mínimos, contribuem para atenuar as diferenças encontradas.

Desvios nas propriedades mecânicas do material constituinte dos hélices (ligas de cobre-zinco) também são fator determinante para a geração das diferenças encontradas, visto que, se houverem diferenças entre o módulo de elasticidade transversal real e o coeficiente de Poisson real dos rotores e os valores utilizados no trabalho, proveniente de publicações anteriores, acarretam também na contribuição do afastamento dos resultados numéricos dos experimentais.

Para futuros trabalhos, baseados neste, sugere-se uma análise modal numérica e experimental do hélice em condições reais de operação, ou seja, imerso em água. Para tal, será necessário realizar-se o teste com os hélices dentro da água e, na análise numérica, simular o hélice dentro de um volume com condições de contorno simulando o mar aberto. Análises mais apuradas do tipo MAC e COMAC também são recomendadas para se verificar a origem do problema pelo método de elementos finitos.

## **5. AGRADECIMENTOS**

A equipe deste trabalho agradece primeiramente a Deus, não esquecendo de citar o apoio do Grupo de Vibrações e Acústica, do Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade Federal do Pará e o CNPq pelo apoio à pesquisa e as bolsas de Iniciação Científica.

## **6. REFERÊNCIAS**

Moreira, A. L. S., 2000, “Otimização do Projeto de Propulsores Navais do Tipo Hélices Utilizados por Embarcações nas Condições Amazônicas”, UFPA, Pará, Brasil.

Coelho, C.A., Ferreira, E.L.S. e Lima, L.M.B., 1999, “Uma Alternativa para a Produção de Propulsores Navais Tipo Hélice na Amazônia”, Anais em CD-ROM do XV Congresso Brasileiro de Engenharia Mecânica, Águas de Lindóia, Brasil.

Soeiro, N. S., Gerges, S. N. Y., Futatsugi, S., 2000, “Determinação numérica de parâmetros vibro-acústicos modais do alojamento de uma caixa de engrenagem de uso veicular.”, XIX Encontro da Sociedade Brasileira de Acústica, Minas Gerais, Brasil.

Ferreira, E. L. S. e Lima, L. M. B., 1999, “Projeto e Produção de Propulsores Navais nas Microempresas de Fundição do Município de Belém”, (TCC), UFPA, Pará, Brasil, pp 1-33.

Sena, M. J. S., Reynaud, G. & Kueny, J. L., 1999, “Calcul de deformations - contraintes de roues de machines avec le code ANSYS”, Intitut National Polytechnique de Grenoble, França.

Swanson Analysis Systems Ansys, 2001, User's Manual Theory, Revision 6.0, Inc.

Swanson Analysis Systems Ansys, 2001, User's Manual Vol. 1 – Procedures, Revision 6.0, Inc.

Vale, A.R. M., 2003, “Análise Modal Numérico-Experimental de Propulsores Navais do Tipo Hélice Produzidos na Amazônia”, Tese de Conclusão de Curso, UFPA, Pará, Brasil.

Vieira, R. J. A., Yedo, G. & Mourão, R. G., 2001, “Relatório de Análise Modal Experimental Utilizando o Analisador Dinâmico de Sinais HP 35665A”, UFPA, Pará, Brasil, 2001.

Soeiro, N.S., 2001, “Apostila do Curso de Análise Modal Experimental”, UFPA, Pará, Brasil.

ICATS, 1993, “ICATS 3.8, *Users Guide*.”

Hewlett Packard, 1996, HP 35665A, *Users Guide*.

# NUMERICAL-EXPERIMENTAL ANALYSIS OF THREE-BLADED PROPELLERS MODEL NS 18 AND B9 MANUFACTURED IN BELÉM – PARÁ

**Newton Sure Soeiro\*** – e-mail: [nsoeiro@ufpa.br](mailto:nsoeiro@ufpa.br)

**Alan Rafael Menezes do Vale\*** – e-mail: [alanvale@bol.com.br](mailto:alanvale@bol.com.br) (1)

(\*) Federal University of Pará – UFPA – Mechanical Engineering Department – CEP: 66075-900 – Belém – Pará – Brazil

**Abstract.** *The naval propellers B9 and NS18, used by most (small) embarkations in the Amazon region, are commonly manufactured at small and rustic workshops, being the object of study here, those produced in Belém-Pará. These workshops don't follow rigid manufacturing processes, basing their techniques rather on experiences from their antecessors. This practice results in helixes significantly different from those produced according to the classical theory of propellers, leading to low performance and working life equipments. A procedure for the experimental modal analysis of three-bladed propellers type B9 and NS18 has been developed, through the use of impact tests. The results were compared to those obtained in a numerical modal analysis of the helixes, using the Finite Element Method, which allowed the extraction of modal parameters such as: resonance frequencies, damping factors and modal shapes, in order to verify the probability of resonances in the blades, while functioning, and without the influence of the surrounding fluid mass, giving rise to comparison data between the experimental and numerical models.*

**Keywords:** *Modal Analysis, naval propellers, numerical analysis, experimental method.*