

ANÁLISE DE VIBRAÇÕES EM ELEMENTOS FINITOS NO SOFTWARE SAP2000 NA ESTRUTURA DE UM CONVÉS PRINCIPAL DE UM EMPURRADOR FLUVIAL DA REGIÃO AMAZÔNICA

Arlen Gomes da Silva – arlen_gomes@hotmail.com

Katlen Anne Lima de Melo – katlenmeloo@gmail.com

Instituto Superior de Ensino Leanorte – ISEL

Av. João Valério, 250 – São Geraldo, 69053-140 – Manaus – AM, Brasil.

José Venicius da Costa Barbosa – venicius_costaeng@hotmail.com

Universidade do Estado do Amazonas – UEA, Coordenação de Engenharia Naval

Av. Darcy Vargas nº 1200, Parque 10, 69065-020 – Manaus – AM, Brasil.

Paulo Vinicius Silva Brilhante – pvsbrilhante96@gmail.com

Netuno Engenharia Naval LTDA

R. Bernardo Ramos – Centro, 69005-310 – Manaus – AM, Brasil.

Resumo: Com o intuito de auxiliar no aprendizado acadêmico, buscou-se neste trabalho realizar um estudo e análise de vibração no convés principal de um empurrador por meio da utilização de elementos finitos. A modelagem e análise em software feita neste trabalho pode ser aplicada por estudantes da área de Engenharia Naval e demais áreas afins na disciplina de Métodos Computacionais Aplicados. Existem ao nosso dispor diversos programas de elementos finitos capacitados para caracterizar corretamente estruturas. Neste artigo foi utilizado um programa comercial designado por SAP2000. O empurrador escolhido como padrão para os cálculos realizados foi de um empurrador típico construído na região amazônica. Com o estudo é possível verificar a aplicabilidade do programa, variação do comportamento estrutural, bem como auxiliar na compreensão do assunto.

Palavras-chave: Vibração. Elementos Finitos. Convés Principal. Empurrador Fluvial. SAP2000.

1 INTRODUÇÃO

1.1 Empurrador

Um empurrador fluvial é um barco projetado para empurrar e manobrar grandes comboios formados por diversas barcaças (Embarcação de fundo chato, reforçada, usada para transportar grandes quantidades de cargas).

Os empurradores são caracterizados por serem de pequeno porte, porém possuem motores potentes e alta capacidade de manobrabilidade. Eles são vistos geralmente em vias navegáveis onde podem ser identificados por transportarem muitas barcaças atadas ou amarradas juntas por cabos de aço.

Os comboios precisam estar sempre em uma navegação de forma contínua, sem interrupções. É de grande responsabilidade da tripulação ou pessoal embarcado, pessoal das oficinas e da manutenção preventiva adquirir a movimentação e o transporte de forma continuada.

1.2 Convés

O convés de uma embarcação é qualquer parte que atende como cobertura ou teto de seu próprio casco, que o reforça e serve como estrutura ou superfície principal de trabalho. Também pode ser descrito como qualquer piso ou pavimento de uma embarcação.

O chapeamento do convés e das cobertas dividem o espaço do interior do casco em certos pavimentos, permitindo a utilização adequada desses espaços. Além disto eles contribuem para estrutura resistente da embarcação no sentido longitudinal.

2 SOFTWARE DE MODELAGEM

Na definição de estruturas consideradas complexas no ramo da engenharia é conveniente o estudo por métodos numéricos, principalmente pelo MEF – Método dos Elementos Finitos, este é capaz de refinar a estrutura gerando resultados mais precisos. Um dos programas responsáveis por análises de elementos finitos é o SAP2000.

No MEF toda a estrutura a ser analisada é substituída por elementos que se comportam de tal maneira que são ligados por nós. É obtido um resultado aproximado para os elementos. Com simulações é possível analisar se a estrutura analisada atende aos requisitos exigidos por suas normas.

O nome SAP tem sido sinônimo de estado da arte de métodos analíticos, desde o seu surgimento, há mais de 30 anos. O SAP2000 segue a mesma tradição, com uma interface, sofisticada, intuitiva e versátil proporcionada por um sistema de análise estrutural e ferramentas de auxílio ao projeto, para engenheiros que trabalham com infraestrutura de transporte, obras, industriais, públicas, instalações, geração de energia, etc.

3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

A embarcação em geral está sujeita a diversos esforços tanto externos quanto internos, consideramos desde as ondas que influenciam em sua estabilidade a vibrações causadas pelo seu motor.

As embarcações apresentam características únicas se comparadas a outras grandes construções feitas pelo homem, pois além de serem estruturas complexas e de grande porte, ainda necessitam navegar sobre as águas, sofrendo também com cargas dinâmicas.

Desta forma, cargas aleatórias agem sobre a estrutura, tornando difícil a identificação das forças externas atuando sobre a embarcação, e de qual forma elas são transferidas internamente entre os vários componentes estruturais (RAWSON; TUPPER, 2001).

Sendo assim, a escolha de um arranjo estrutural que satisfaça bem sua função e também apresente o menor peso de material possível torna-se um grande desafio. Várias combinações de diferentes componentes podem servir como solução para um mesmo projeto, porém sempre se busca o arranjo que apresente a maior relação entre capacidade de carga e peso de material (MORETTO, 2016).

Importante saber que as vibrações e ruídos sempre estão presentes nas embarcações. O resultado é grave quando passa a influenciar em problemas de saúde nos passageiros e/ou tripulantes. Contudo, não só problemas de saúde, mas problemas estruturais associados nas embarcações.

Estes fenômenos são resultantes da excitação estrutural que provém do feito dinâmico do hélice, eixo propulsor, motores ou turbinas e máquinas auxiliares. De todas estas, as que prevalecem são os hélices e motores de combustão principal como sendo as origens mais frequentes de problemas de vibrações a bordo.

Durante a fase de desenvolvimento do projeto de qualquer embarcação é conveniente um estudo de análise em elementos finitos dos pavimentos, perfis estruturais, chapas, etc. Para que sejam previstas futuras fadigas e outros efeitos adversos que possam surgir futuramente.

Um dos métodos mais utilizados na engenharia naval consiste em dividir a estrutura e as tensões em estrutura primária, secundária e terciária (RAWSON; TUPPER, 2001). Cada parte da estrutura apresenta um nível de hierarquia e tensões que as correspondem. No fim as tensões supracitadas são então compostas para se descobrir a tensão total que age sobre cada parte da embarcação. O Quadro 1 apresenta um resumo dos elementos que constituem cada nível da estrutura de um navio, e os apoios para cada nível.

Quadro 1 – Níveis estruturais

Nível Estrutural	Elementos		Apoios
Estrutura Primária	Viga-navio	Chapeamento do convés, costado e fundo, anteparas longitudinais, sicordas, travessas longitudinais	Extremidades Livres
Estrutura Secundária	Painéis reforçados	Painéis reforçados do convés, costado e fundo, anteparas reforçadas	Anteparas transversais longitudinais e pés-de-carneiro
Estrutura Terciária	Unidades de Chapeamento	Chapas	Longitudinais, vaus, sicordas, hastilhas

Fonte: MORETTO (2016)

Analisando o Quadro 1 podemos perceber que a estrutura de estudo deste trabalho encontra-se no nível estrutural terciário.

3.1 Estrutura terciária

Segundo MORETTO (2016), esta compreende numa menor porção de chapeamento que é limitada por reforçadores. No chapeamento do fundo e do costado da embarcação existe esforços provocados pela hidrostática da água. Já no convés principal existem os pesos dos equipamentos, passageiros e das cargas. Consideram-se os reforçadores longitudinais ou transversais como apoios indeslocáveis com rigidez superior à da chapa (AUGUSTO, 2007).

Segundo AUGUSTO (2007), utilizam-se no cálculo das tensões terciárias a teoria de placas em pequenas deflexões:

$$\sigma_3 = K \cdot p \cdot \left(\frac{b}{t}\right)^2 \quad (1)$$

Onde: σ_3 - Tensão de flexão na chapa; k - Constante dependendo da razão entre os lados da chapa e das condições de contorno; p - Pressão normal sobre a chapa; b - Medida do menor lado da chapa; t - Espessura da chapa.

3.2 Análise dinâmica linear

A análise dinâmica de estruturas utiliza-se de métodos de cálculo que permite ter em consideração alguns efeitos dinâmicos, que é de grande interesse para a chapa do convés.

A fórmula que representa o equilíbrio em um determinado período de tempo t entre as forças exteriores, que são a de massa, amortecimento e elásticas. Apresenta-se a fórmula que pode ser representada sob forma matricial e de vetores, dependendo dos seus graus de liberdade.

$$Mat + Cvt + Kt.dt = ft \quad (2)$$

Onde: M – Matriz de massa; C – Matriz de amortecimento; Kt – Matriz de rigidez; ft – Vetor de forças externas dependentes do tempo; (at, vt, dt) – Vetor aceleração, velocidade e deslocamento.

3.3 Vibração n graus de liberdade

A existência de um sistema com n graus de liberdade possui n frequências naturais, estas que se associam as suas formas modais. A equação geral do movimento pode ser descrita de forma matricial como:

$$[m]\ddot{x} + [c]\dot{x} + [k] = F(\text{vetor}) \quad (3)$$

Considerando-se m sendo uma matriz correspondente a massa, c uma matriz correspondente a amortecimento e k uma matriz de rigidez. Temos:

$$[m] = \begin{bmatrix} m_1 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 \\ 0 & m_2 & 0 & \dots & 0 & 0 \\ 0 & 0 & m_3 & \dots & 0 & 0 \\ \vdots & & & & & \\ 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & m_n \end{bmatrix} \quad (4)$$

$$[c] = \begin{bmatrix} (c_1 + c_2) & -c_2 & 0 & \dots & 0 & 0 \\ -c_2 & (c_2 + c_3) & -c_3 & \dots & 0 & 0 \\ 0 & -c_3 & (c_3 + c_4) & \dots & 0 & 0 \\ \cdot & \cdot & \cdot & \dots & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \dots & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \dots & \cdot & \cdot \\ 0 & 0 & 0 & \dots & -c_n & (c_n + c_{n+1}) \end{bmatrix} \quad (5)$$

$$[k] = \begin{bmatrix} (k_1 + k_2) & -k_2 & 0 & \dots & 0 & 0 \\ -k_2 & (k_2 + k_3) & -k_3 & \dots & 0 & 0 \\ 0 & -k_3 & (k_3 + k_4) & \dots & 0 & 0 \\ \cdot & \cdot & \cdot & \dots & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \dots & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \dots & \cdot & \cdot \\ 0 & 0 & 0 & \dots & -k_n & (k_n + k_{n+1}) \end{bmatrix} \quad (6)$$

Onde \ddot{x} , \dot{x} , x e F (vetor) são respectivamente vetores que representam o deslocamento, velocidade, aceleração e força, que podem ser representados por:

$$\vec{x} = \begin{Bmatrix} x_1(t) \\ x_2(t) \\ \vdots \\ x_n(t) \end{Bmatrix}, \quad \dot{\vec{x}} = \begin{Bmatrix} \dot{x}_1(t) \\ \dot{x}_2(t) \\ \vdots \\ \dot{x}_n(t) \end{Bmatrix}, \quad \ddot{\vec{x}} = \begin{Bmatrix} \ddot{x}_1(t) \\ \ddot{x}_2(t) \\ \vdots \\ \ddot{x}_n(t) \end{Bmatrix}, \quad \vec{F} = \begin{Bmatrix} F_1(t) \\ F_2(t) \\ \vdots \\ F_n(t) \end{Bmatrix} \quad (7)$$

É fundamentalmente importante determinar as frequências naturais de um navio ou qualquer embarcação em projeto, para que sejam evitados o fenômeno da ressonância, que é responsável por causar defeitos e danos estruturais da embarcação.

Para este trabalho será feito um estudo para encontrar as frequências naturais dos quatro primeiros modos de vibração de um empurrador fluvial de características padrões amazônicos.

4 APLICAÇÃO NUMÉRICA E DISCURSÃO DOS RESULTADOS

O estudo começou a partir da análise da estrutura do convés principal de um empurrador de duas máquinas (bi hélice propulsor). A chapa em análise possui 23 x 7m. Abaixo na Figura 1 pode se visualizar a vista do convés modelado.

Figura 1 – Vista superior do convés da embarcação



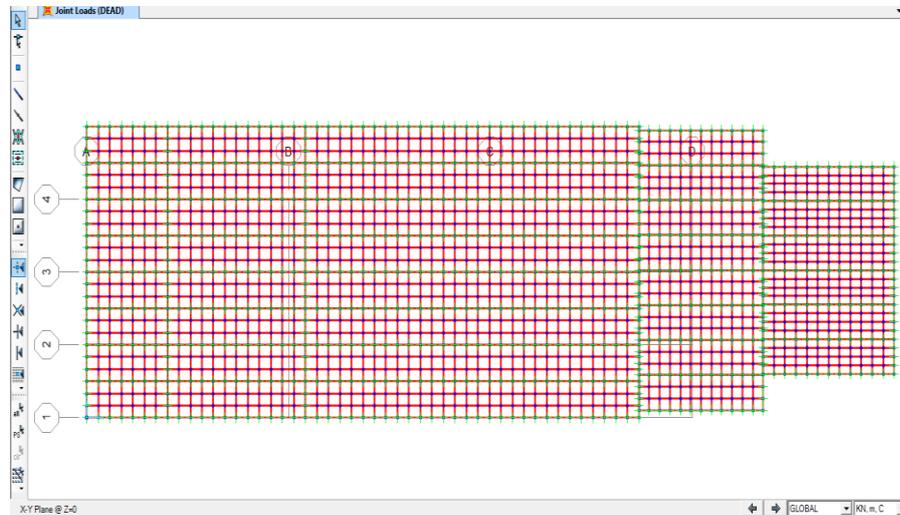
Fonte: O autor (2016)

A análise foi iniciada com a modelação da chapa do convés principal no SAP2000, de tal maneira que as coordenadas (pontos de referência do convés) pudessem ser criadas no software de modelagem. Utilizou-se a vista superior para retirada dos pontos do software AUTOCAD para construção da malha de elementos finitos.

Procurou-se fazer um estudo comparativo das frequências de vibração da chapa. A comparação realizada foi a partir de duas modelagens: A primeira com reforçadores longitudinais, contornos e apoios transversais a chapa do convés, a segunda sem reforçadores longitudinais, permanecendo os demais.

A modelagem e o refinamento das malhas do convés principal no SAP2000 pode ser visualizada na figura a seguir:

Figura 2 – Construção da malha de elementos finitos



Fonte: O autor (2016)

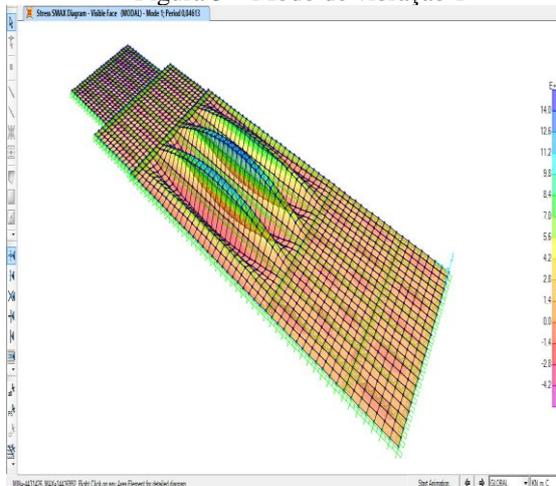
Nota-se que o modelo não corresponde exatamente à geometria do convés principal do empurrador fluvial analisado, principalmente na parte da modelação da geometria dos detalhes estruturais (perfis longitudinais), que fazem a ligação com o convés, de forma a reforçá-lo. A geometria real também possui raios de curvatura em suas extremidades, enquanto que na modelação utilizou-se da divisão em pequenos retângulos.

Foi necessário fazer uma aproximação dos pontos e do tamanho da chapa no momento da modelagem, devido esta possuir curvas, ou seja, optou-se por aproximar de tal forma que fossem construídas três formas retangulares.

Utilizou-se apoios de segundo gênero para substituir os reforços longitudinais e apoios engastados para substituir os demais (contornos e reforçadores transversais).

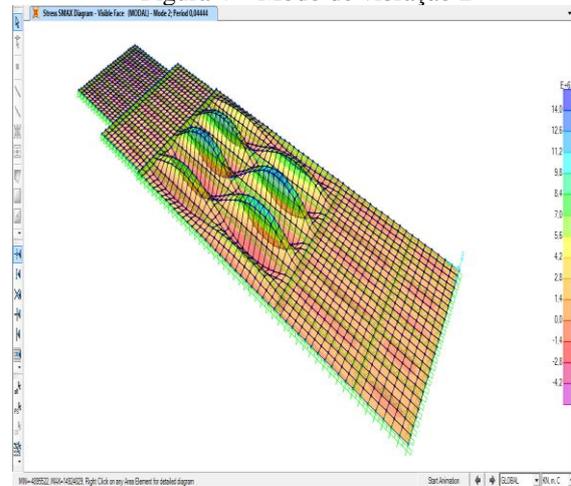
Posteriormente foi possível obter os quatros primeiros modos e frequências de vibrações da chapa. As figuras 3-6 mostram os deslocamentos e tensões dos modos.

Figura 3 – Modo de vibração 1



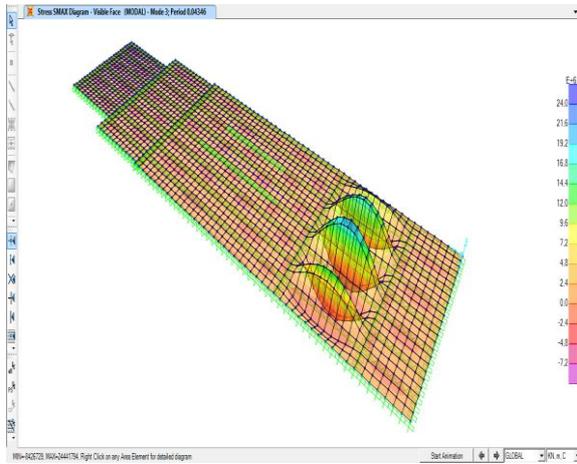
Fonte: O autor (2016)

Figura 4 – Modo de vibração 2



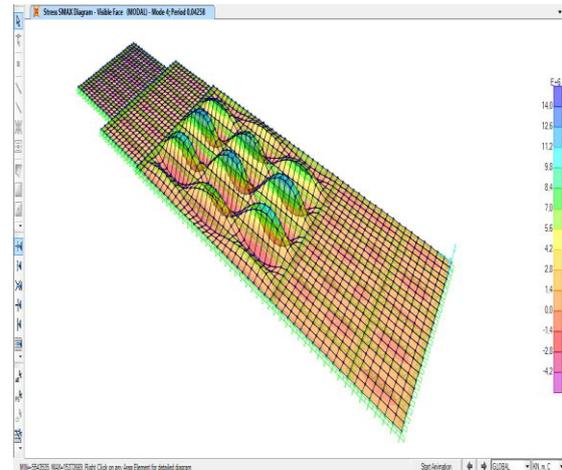
Fonte: O autor (2016)

Figura 5 – Modo de vibração 3



Fonte: O autor (2016)

Figura 6 – Modo de vibração 4



Fonte: O autor (2016)

Observa-se nas Figuras 3-6 o deslocamento de todos os modos de vibrações realizados com a modelagem da chapa. As frequências e períodos associados a cada modo se encontram na Tabela 2 para uma melhor compreensão.

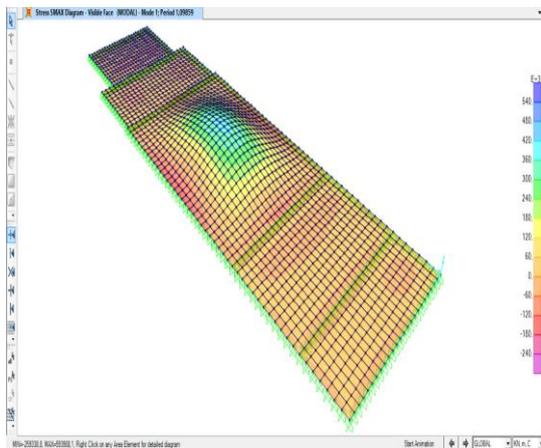
Tabela 1 – Frequências (1-4) de vibração

	Frequência (Hz)	Período (s)
Modo 1	21,68	0,047
Modo 2	22,51	0,045
Modo 3	23,01	0,044
Modo 4	23,49	0,043

Fonte: O autor (2016)

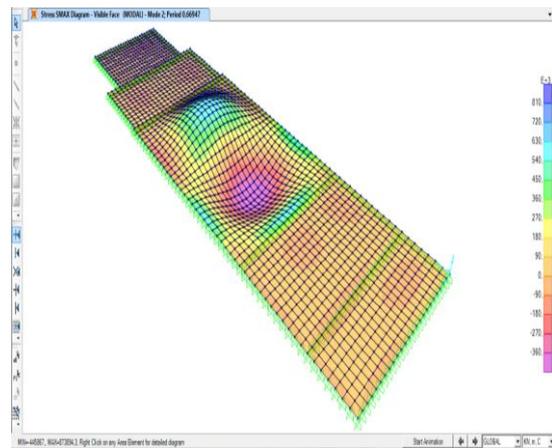
Retirando os reforçadores longitudinais da chapa modelada, ou melhor, retirando os apoios de segundo gênero foi possível obter os quatros primeiros modos e frequências de vibrações. As figuras 7-10 mostram os deslocamentos e tensões dos modos.

Figura 7 – Modo de vibração 1 sem reforçadores longitudinais



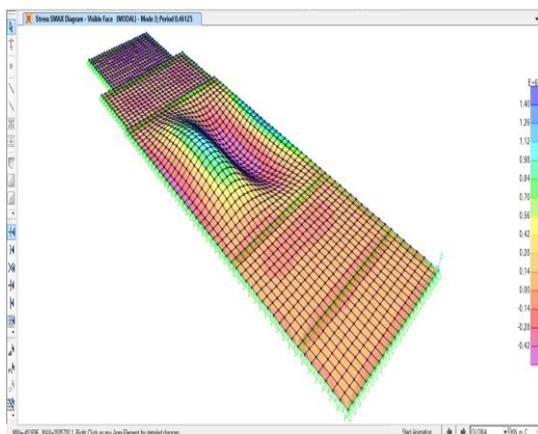
Fonte: O autor (2016)

Figura 8 – Modo de vibração 2 sem reforçadores longitudinais



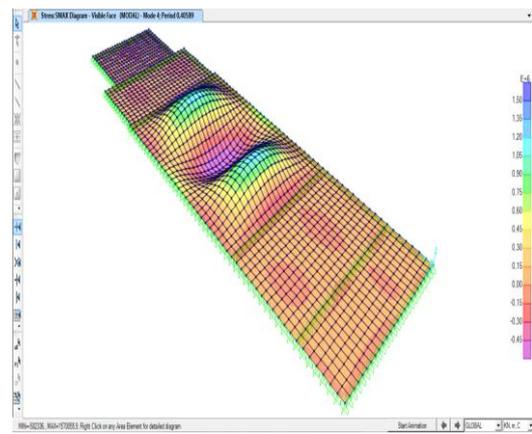
Fonte: O autor (2016)

Figura 9 – Modo de vibração 3 sem reforçadores longitudinais



Fonte: O autor (2016)

Figura 10 – Modo de vibração 4 sem reforçadores longitudinais



Fonte: O autor (2016)

As frequências e períodos associados a cada modo seguem conforme a tabela 2.

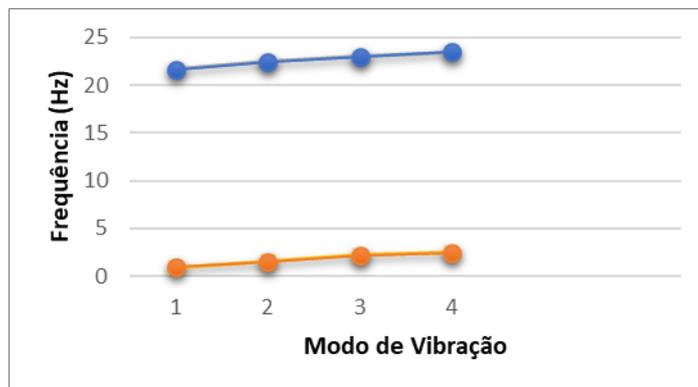
Tabela 2 – Frequência (1-4) de vibração sem reforçadores longitudinais

	Frequência (Hz)	Período (s)
Modo 1	0,92	1,10
Modo 2	1,50	0,67
Modo 3	2,17	0,47
Modo 4	2,47	0,41

Fonte: O autor (2016)

Para melhor visualização e comparação, os resultados obtidos com as duas análises são apresentados no Gráfico 1.

Gráfico 1 – Comparação das análises de vibração



Fonte: O autor (2016)

Na primeira análise podemos observar uma frequência relativamente bem alta em relação a segunda análise. A partir disto podemos dizer que os resultados são satisfatórios devido o que era esperado, pois na primeira análise temos uma estrutura da chapa do convés principal mais rígida, engastada e segura devido estarem presentes todos os perfis e reforçadores necessários para uma estrutura firme.

Na segunda análise podemos verificar uma frequência bem baixa de modo a observar que o período da oscilação da vibração é alto, contudo ela está menos rígida e mais instável em comparação a primeira análise. Sabe-se então com a análise dos resultados que é fundamental que a estrutura do convés contenha os reforçadores longitudinais, transversais e que esteja bem apoiada em seus contornos. Qualquer elemento deste retirado pode causar com o tempo uma fadiga e falha na estrutura, devido a vibrações causadas por motores e demais componentes já citados anteriormente.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O desenvolvimento deste trabalho possibilitou o estudo e compreensão da interferência que a frequência da operação dos equipamentos da embarcação possa causar na sua estrutura. Qualquer movimento em um determinado período de tempo se denomina como vibração ou oscilação, sabe-se que deve ser levado em conta a importância deste fenômeno, pois essa em excesso acaba causando ruídos, desconforto na tripulação e falhas estruturais.

Ao comparar os resultados obtidos com o desenvolvimento da análise pode-se concluir que cada elemento de apoio, reforçadores, dentre outros meios de fixação e segurança da estrutura são importantes para manter tudo em equilíbrio, de modo a reduzir forças e/ou fenômenos causados por demais agentes externos.

O uso de softwares possibilita uma interação em tempo real com o estudo em análise, este proporciona a previsão de possíveis falhas ou futuros imprevistos nas embarcações e sua estrutura em geral. Caso exista imperfeições é possível através dele saber se deve ou não haver mudanças no projeto antes da sua aplicação real.

REFERÊNCIAS

AUGUSTO OSCAR, 2007. Módulo 4: Análise Estrutural de Navios, Especialização em Engenharia Naval. Material de Apoio ao Curso Oferecido na Universidade de PERNAMBUCO – PE.

AZEVEDO, A. F. M. Métodos dos elementos finitos. 1. Ed. Portugal, 2003. 248 p.

FONSECA, Maurílio Magalhães, 1912- Arte Naval / Maurílio Magalhães Fonseca. – 6.ed. – Rio de Janeiro: Serviço de Documentação da Marinha, 2002.

GUEDES, Patrice London. Resistência Estrutural de Embarcações Fluviais. FATEC – JH, 2001.

RAWSON, K. J.; TUPPER, E. C.. Basic Ship Theory: Hydrostatics and Strength. 5. ed. Oxford: Butterworth-heinemann, 2001. 400 f.

Troyman, Antonio Carlos R.; Lopes, Tiago Alberto P. – “Apostila de Vibrações do Navio” – Laboratório de Estruturas Navais, COPPE/UFRJ.

MORETTO, N. UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA, Centro de Joinville - Curso de Engenharia Naval. Análise estrutural de Embarcações tipo Ferry-Boat da Região Amazônica. Trabalho de Conclusão de Curso, 2016.

VALERO, C. UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO, Escola Politécnica. Efeito da Superestrutura Sobre a Resistência Longitudinal de Embarcações de Pequeno Porte. Aplicação e análise estrutural para um navio da Marinha Colombiana. Dissertação de Mestrado, 2008.

American Bureau of Shipping - ABS, Guidance Notes on Ship Vibrations, 2006.

ANALYSIS OF VIBRATIONS IN FINITE ELEMENTS IN THE SAP2000 SOFTWARE ON THE STRUCTURE OF A MAIN DECK OF A FLUVIAL PUSHER OF THE AMAZON REGION

Abstract: *In order to help the academic learning, this article aimed to do a study and analysis of vibration on the main deck of a pusher by using finite elements. The modeling and analysis in software made in this work can be applied by students of the area of Naval Engineering and other related areas in the discipline of Applied Computational Methods. We have at our disposal several finite element programs capable of correctly characterizing structures. In this article we used a commercial program called SAP2000. The pusher chosen as the standard for the calculations was a typical pusher built in the Amazon region. With the study it is possible to verify the applicability of the program, variation of the structural behavior, as well as help in the understanding of the subject.*

Key-words: *Vibration. Finite Elements. Main Deck. Fluvial Pusher. SAP2000.*