

TUTORIAL DE ANÁLISE DO MODO DE VIBRAÇÃO DA ANTEPARA ESTANQUE DE UMA Balsa DE CARGA GERAL

Resumo: O seguinte artigo foi realizado com o objetivo de analisar os modos de vibração de uma estrutura, como a antepara, tendo como embarcação escolhida, uma balsa de carga geral. O software escolhido foi o SAP2000, devido a maior facilidade de entendimento para a interação entre aluno e programa, sendo este um artigo com teor tutorial educacional. Com a análise via tutorial, é possível que favoreça outras pessoas que possuem dificuldade com o software selecionado, não só na vida acadêmica, mas atingindo também a vida profissional, visto que, o programa é utilizado em diversas áreas da Engenharia.

Palavras Chaves: Antepara. Análise. SAP2000.

1. INTRODUÇÃO

1.1. Antepara

Os membros estruturais como os reforçadores devem suportar as cargas na estrutura e as transmitirem aos membros adjacentes sem lhes gerar mudanças abruptas nos níveis de tensões. (AUGUSTO, 2007).

As anteparas têm como função original subdividir o espaço interno de cada pavimento, em compartimentos, paióis e tanques, elas podem ser transversais ou longitudinais. Algumas anteparas adquirem maior importância na estrutura dos navios, são as anteparas estanques, que têm por fim dividir o volume interior do casco em certos números de compartimentos estanques à água.

Nos navios de aço, as anteparas, particularmente as transversais, constituem um meio eficiente de proteção em caso de veio d'água; para isto elas recebem reforços, são tornadas impermeáveis as águas, e chamam-se anteparas estanques (FREITAS).

1.2. Software utilizado: SAP2000

Introduzido no Brasil pela Multiplus, o SAP2000 é um programa de análise estrutural e dinâmica, linear e não-linear realizado por meio de elementos finitos. É uma ferramenta utilizada por diversos engenheiros devido a sua flexibilidade quanto ao tipo de estrutura, a confiabilidade e a capacidade do programa de analisar, dimensionar e modelar. O Método dos Elementos Finitos é um procedimento numérico para a análise de estruturas e meios contínuos, e é baseado no conceito de discretização. A ideia consiste em transformar um problema complexo na soma de diversos problemas simples.

De um número infinito de configurações de deslocamentos dos nós, apenas um representa a situação de menor energia potencial. Esta configuração é conhecida como o estado de equilíbrio do sistema. A aplicação do conceito de mínima energia potencial leva a equação fundamental dos modelos de elementos finitos na Equação (1) (Zienkiewicz, 2005).

$$[F] = [K] * [d] \quad (1)$$

Na fórmula descrita acima tem-se o vetor de carregamentos nodais conhecidos (F), a matriz de rigidez conhecida (K) e o vetor de deslocamentos nodais desconhecidos (u). Tendo sua forma matricial representada na Figura 2:

Figura 1 - Representação matemática da fórmula de elementos finitos

$$\begin{bmatrix} k_{11} & k_{12} & k_{13} & \dots & k_{1n} \\ k_{21} & k_{22} & k_{23} & \dots & k_{2n} \\ k_{31} & k_{32} & k_{33} & \dots & k_{3n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ k_{n1} & k_{n2} & k_{n3} & \dots & k_{nn} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} u_1 \\ u_2 \\ u_3 \\ \dots \\ u_n \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} F_1 \\ F_2 \\ F_3 \\ \dots \\ F_n \end{Bmatrix}$$

Fonte: GESUALDO, 2010.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1. Estrutura Secundária

A proposta de St. Denis admite que inicialmente o navio se deforma como um todo, semelhante a uma viga, a deformação primária. A partir dessa se dava a outra deformação, composta de duas parcelas: deformação de painéis entre anteparas e depois de a deformação dos longitudinais leves entre dois elementos transversais adjacentes, deformação secundária. O conjunto de perfis leves e perfis pesados é o que se chama de estrutura secundária, as tensões aplicadas a essas estruturas são determinadas deformações secundárias. A principal função da estrutura secundária é reforçar o chapeamento e conferir estanqueidade à embarcação.

2.2. Estrutura terciária

Para estrutura terciária, entende-se o chapeamento reforçado. A estrutura terciária tem a função dupla de contribuir para a resistência primária e na resistência à pressão lateral sobre o casco. Sua continuidade estrutural garante a estanqueidade do casco e sua área transversal contribui significativamente para a inércia da viga navio. A estrutura terciária é composta pelas anteparas, reforços no nível secundário, reforços transversais, reforços longitudinais e chapeamento (PINTO, Samara, 2011).

2.3. Análise Dinâmica: Vibrações

A análise dinâmica pode ser caracterizada através de três propriedades fundamentais: os modos naturais de vibração, os fatores de amortecimento, e as frequências naturais da estrutura. HANSEN e SKAAR, apresentam um método de análise para previsão da resposta do casco e da superestrutura baseado no Método dos Elementos Finitos. São feitos cálculos de frequência natural, modos de vibração e resposta da estrutura à excitação forçada. Os resultados são comparados com medições, indicando a aplicabilidade do método.

As vibrações locais são as que ocorrem num elemento estrutural: chapas e painéis (Anteparas, partes de pavimentos, chapas de pavimentos entre reforços, balizas, sicordas, longitudinais), vigas (mastos, veio, gruas), sistemas elásticos com massas concentradas (auxiliares, caldeiras, condensadores). O nível destas vibrações pode ser bastante elevado e, quando este fenômeno ocorre numa zona de passageiros e/ou tripulação, pode ser uma causa de problemas (GORDO; ESTEVES, 2004).

As vibrações estão presentes em toda a embarcação e afetam a sua estrutura. A vibração em navios pode ser classificada em dois tipos. O primeiro é a vibração local em estruturas como conveses e anteparas, que pode ser reduzida a níveis aceitáveis através de simples modificações na rigidez do painel, evitando ressonância (PICORELLI, 1991).

Atualmente, a análise de vibrações nesta fase é realizada utilizando-se métodos semi-empíricos desenvolvidos a partir de medições. Eles só podem ser aplicados a um número pequeno de

problemas de vibração e tipos de navio. Seus resultados limitam-se aos três primeiros modos e sua precisão possibilita apenas a indicação da necessidade ou não de estudos mais detalhados, utilizando-se outros métodos (PICORELLI, 1991).

As vibrações são eventos dinâmicos que ocorrem na embarcação. Para solução de problemas dinâmicos utiliza-se a Equação (2) do movimento (BATHE, 1996):

$$[M]\{\ddot{u}\} + [C]\{\dot{u}\} + [K]\{u\} = \{F^a\} \quad (2)$$

Na fórmula descrita acima tem-se a matriz de massa (M), a matriz de amortecimento (C), a matriz de rigidez (K), o vetor aceleração $\{\ddot{u}\}$, o vetor velocidade $\{\dot{u}\}$, o vetor deslocamento $\{u\}$, o vetor de forças aplicadas $\{F^a\}$.

Sabe-se que as frequências naturais indicam o quanto a estrutura vibra quando não há força aplicada sobre ela e, os modos de vibração são a forma como a estrutura vibra, relacionada a cada frequência natural referente.

2.4. Análise não-linear

Um diagrama de relação não-linear entre tensões e deformações, em que as suas características mecânicas variam ao longo do tempo, e em que a fendilhação modifica bastante a resistência das seções. Também os solos, por exemplo, não recuperam totalmente as deformações provocadas por carregamentos temporários, e a sua resposta não é normalmente elástica. Ainda os metais, que não se comportam elasticamente para grandes tensões, além de que a deformação depende de vários fatores como temperatura, tempo, tipo de estrutura e de carregamento, história do processo de deformação (LAPA, 1987).

Quando a matriz de rigidez [K] é dependente do deslocamento $\{u\}$ ou de suas derivadas, torna a equação não-linear, permanecendo na forma da Equação (3) abaixo:

$$[M]\{u''(t)\} + [C]\{u'(t)\} + [K]\{u(t)\} = \{F(t)\} \quad (3)$$

3. ESTUDO DE CASO PARA APLICAÇÃO NUMÉRICA

Para aplicação numérica do presente artigo foi escolhida uma antepara estanque. Referenciando a embarcação e antepara utilizada por Cavalcante *et al.*, uma balsa de carga geral de 40 metros de comprimento, boca de 10 metros e pontal de 2 metros. A antepara referida possui os seguintes pontos para modelagem:

Tabela 1 - Tabela de coordenadas no plano cartesiano

Ponto	X	Y
1	0.0	0.0
2	4.7	0.0
3	4.91	0.087
4	5.0	0.30
5	5.0	2.0
6	0.0	2.0

Fonte: CAVALCANTE *et al.*, 2016, adaptado pelo autor.

Tem-se a tabela abaixo com as propriedades do material escolhido, sendo este o aço A36:

Tabela 2 - Tabela das propriedades do material

Módulo de elasticidade (E)	199948,141 Mpa
Módulo de rigidez (G)	77910,826 Mpa
Coefficiente de Poisson (ν)	0,3
Massa específica (ρ)	7849,128 kg/m ³
Tensão de escoamento (σ)	248,211 MPa

Fonte: CAVALCANTE et al., 2016, adaptado pelo autor.

Referenciando Nadson Cavalcante, 2016, tem-se que a espessura da chapa utilizada é de ¼”. A partir desses dados é possível realizar a modelagem no software escolhido para que a mesma seja analisada, a partir da aplicação de esforços verticais. Demonstrando um tutorial de como realizar tal análise.

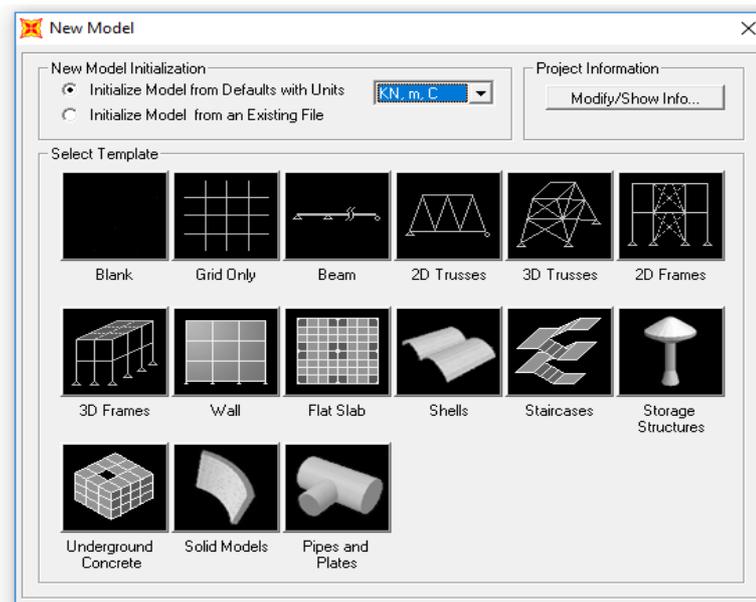
4. TUTORIAL PARA APLICAÇÃO NUMÉRICA

4.1. Criação do grid

Para criação de um grid, segue-se o passo: **FILE – NEW MODEL- GRID ONLY**. Escolhe-se as unidades **KN, m, C**.

Escolhe-se os valores para grid em x, y e z de acordo com os valores de meia boca, pontal e comprimento da balsa.

Figura 2 - Criação do grid



Fonte: SAP2000, 2016.

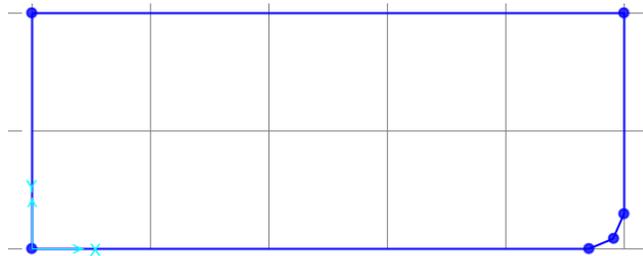
4.2. Modelagem geométrica da antepara

Para realizar a modelagem da antepara primeiramente deve-se entrar com os pontos selecionando **DRAW SPECIAL JOINT** no menu do lado esquerdo do software, aplica-se os pontos em qualquer lugar do grid, clica no mesmo com o botão direito do mouse, e em



LOCATION informa os valores dos pontos. Já com os pontos, utiliza-se o comando **DRAW FRAME/CABLE** para fazer as ligações dos pontos.

Figura 3 - Inserção de pontos

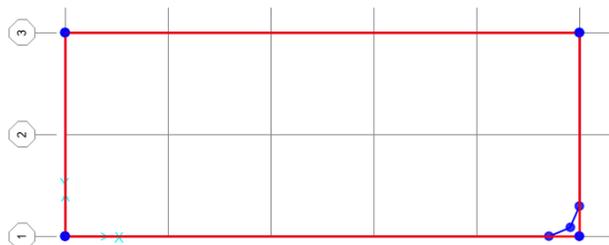


Fonte: SAP2000, 2016.

4.3. Definição da malha

Deve-se formar uma malha para que a mesma seja refinada posteriormente e assim, gerar a ocasião para a análise. A formação da área será de modo retangular, para simplificar o problema, a simplificação é válida, visto que, será analisada a situação mais crítica, já que o formato retangular ocasiona maiores concentrações de tensão. Seguindo os passos: **DRAW RECTANGULAR AREA**.

Figura 4 - Criação de malha

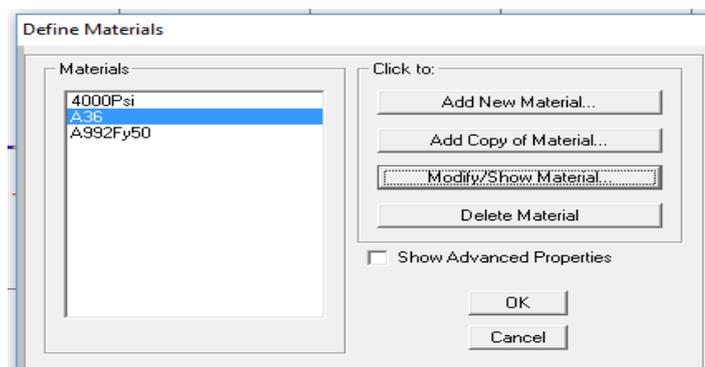


Fonte: SAP2000, 2016.

4.4. Definição do material

O material já havia sido definido e caracterizado acima, então nessa etapa, deve imputar tais valores no software. Sabendo que o material utilizado foi o aço A36, deve-se adicioná-lo à lista de materiais caso o mesmo falte, como os passos: **DEFINE – MATERIALS – ADD NEW MATERIAL** – encontrar na lista o aço que deve ser adicionado.

Figura 5 - Inserção do material utilizado



Fonte: SAP2000, 2016.



As características do ali devem ser mudadas para as utilizadas na embarcação, como já prescritas. Seguindo os passos: **ADD NEW MATERIAL** (caso o material trabalhado não esteja representado na listagem MATERIALS) – **MODIFY/SHOW MATERIAL** – realizar alterações.

Figura 6 - Aplicação de informações do material

Fonte: SAP2000, 2016.

4.5. Definição de seção

Define-se a seção da modelagem da antepara, seguindo os passos: **DEFINE – SECTION PROPRITES – AREA SECTIONS – MODIFY/SHOW SECTION**.

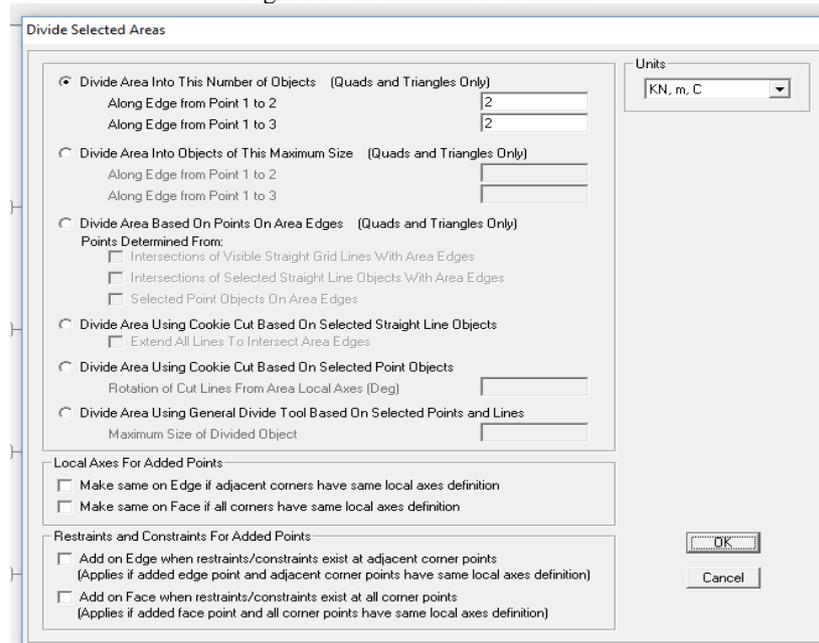
Figura 7 - Características da chapa

Fonte: SAP2000, 2016.

4.7. Refinamento das malhas

A malha criada deve ser refinada, dessa forma, a análise pelo método de elementos finitos é realizada com os seguintes passos: **EDIT – EDIT AREAS – DIVIDE AREAS**.

Figura 8 - Refinamento da malha



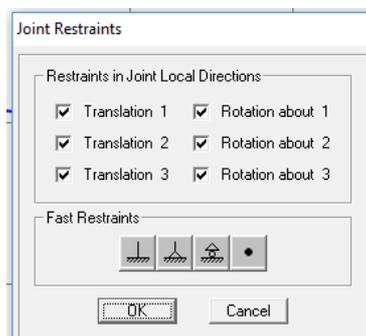
Fonte: SAP2000, 2016.

A discretização foi realizada até 16x32, para análise de acordo com o número de elementos.

4.8. Engastamento da antepara

O engastamento em todo o entorno da estrutura é justificado pois a inércia da antepara é muito inferior a inércia da embarcação. Segundo Cavalcante *et al.*, sendo a todos os nós das extremidades da antepara foram engastados, visto que a presença das borboletas (elemento de ligação para ligação de dois perfis) e outros elementos impede a rotação.

Figura 9 - Esgatamento



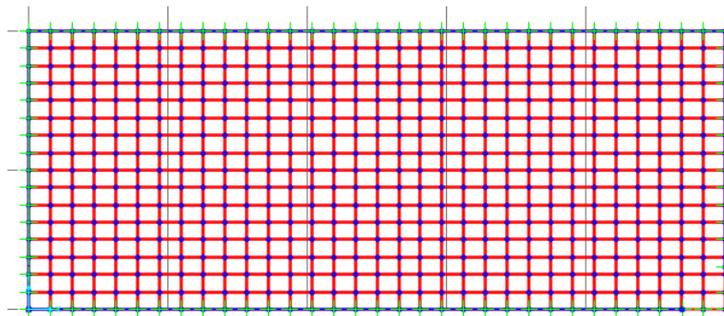
Fonte: SAP2000, 2016.

Deve-se selecionar o ponto que se deseja engastar e seguir os passos: **ASSING – JOINT – RESTRAINTS** - selecionar o apoio engastado.

4.9. Análise dos modos de vibração

Para realizar a análise dos modos de vibração precisou-se da malha por fim engastada e discretizada. Seguindo os passos: **SHOW FORCES/STRESS – SHELLS – MODE NUMBER** (selecionar o número de modos de vibrações) – **COMPONENT** (selecionar Mmax).

Figura 10 - Refinamento da malha



Fonte: SAP2000, 2016.

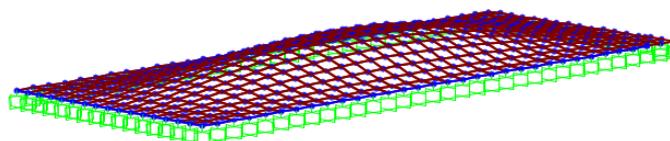
Resultado do modo de vibração (n=1):

Tabela 3 - Resultado modo de vibração 1

Modo de Vibração 1	
Período (T)	0,10970
Frequência (f)	9,11537

Fonte: SAP2000, adaptado pelo autor, 2016.

Figura 11 - Modo de vibração 1



Fonte: SAP2000, 2016.

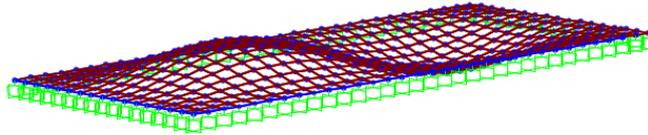
Resultado do modo de vibração (n=2):

Tabela 4 - Resultado modo de vibração 2

Modo de Vibração 1	
Período (T)	0,09347
Frequência (f)	10,69853

Fonte: SAP2000, adaptado pelo autor, 2016.

Figura 12 - Modo de vibração 2



Fonte: SAP2000, 2016.

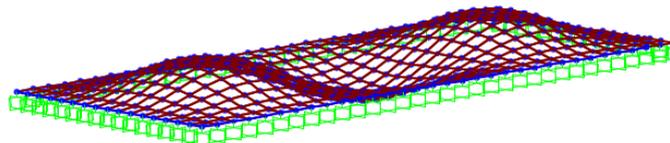
Resultado do modo de vibração (n=3):

Tabela 4 - Resultado modo de vibração 3

Modo de Vibração 1	
Período (T)	0,07350
Frequência (f)	13,60552

Fonte: SAP2000, adaptado pelo autor, 2016.

Figura 23 - Modo de vibração 3



Fonte: SAP2000, 2016.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este artigo realizou o método de análise modal de sistemas mecânicos apresentando 3 graus de liberdade, sem amortecimento, onde foi possível identificar as frequências naturais e os correspondentes modos de vibração. Na seção acima, foram apresentados os comportamentos dos deslocamentos causados, e a frequência com que ocorrem. Sabendo assim, o comportamento da antepara estanque quando já passada a influência do carregamento.

A confecção desse tutorial tem a tendência de auxiliar alunos, não somente de engenharia naval, que queiram realizar a análise modal de uma certa placa, e possuam dificuldade na interação com softwares. O presente artigo serve como base para trabalhos futuros, para que outras situações possam também ser analisadas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AUGUSTO Oscar, 2007. **Módulo 4: Análise Estrutural de Navios, Especialização em Engenharia Naval**. Material de Apoio ao Curso Oferecido na Universidade de Pernambuco – UPE.
- FREITAS Élcio de Sá. **Análise Estrutural do Navio**. Vol. 2. Capítulo 6: Estrutura Transversal. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia Naval.
- SAP 2000. Disponível em: < <https://www.csiamerica.com/products/sap2000>>. Acessado em: 09/09/2016.
- GRUPO DE MECÂNICA APLICADA (GMA) – UNICAMP. **Elementos finitos**. Cap 2.
- PICORELLI, Luiz Octávio Paletta. **Análise da Vibração de Navios Aplicando Modelação por Elementos Finitos em Duas Dimensões**. Rio de Janeiro. 1991.
- LAPA, José Alberto Marques. **Análise Dinâmica Linear e Não-Linear de Estruturas**. Departamento de Engenharia Mecânica. Faculdade de Engenharia. Universidade do Porto. 1987.
- PINTO, Samara. **Elementos estruturais de navios**. Centro universitário estadual da zona norte. Rio de Janeiro. 2011.
- CAVALCANTE, Nadson; JÚNIOR, José Adalberto; LOPES, Arlindo. **Elaboração de um tutorial do multiframe para análise estrutural da antepara de uma balsa de carga geral**. XLIV Congresso Brasileiro De Educação Em Engenharia. UFRN. 2016.
- SANTOS, Adriana; NETO, Gustavo; JÚNIOR, Francisco Souza; LOPES, Arlindo. **Modelagem Computacional De Uma Viga Com Abertura Na Alma Utilizando o Sap2000**. 2011.

TUTORIAL OF ANALYSIS OF THE VIBRATION MODE OF THE BULKHEAD WATERTIGHT OF A BARGE OF GENERAL LOAD

Abstract: *The following article with the objective of analyze the vibration modes of a structure, such as a bulkhead, having as a chosen vessel a barge of general load. The selected software was used in the subject, SAP2000, due to ease of understanding to the interaction between student and program, been this an article with educacional tutorial contente. With the tutorial analysis, it is possible that it favors other people who have difficulty with the selected software, not only in the academic life, but also a professional life, since, or the program is used in several areas of Engineering.*

Keywords: Bulkhead. Analysis. SAP2000.