



2010

**Método dos
Elementos
Finitos Aplicados à
Engenharia de
Estruturas**



Prof^a. Mildred B. Hecke
Universidade Federal do Paraná
Versão 1.0.0.0



**VIGA - ANÁLISE MODAL,
HARMÔNICA E TRANSIENTE**

VIGA – ANÁLISE MODAL, HARMÔNICA E TRANSIENTE

INTRODUÇÃO

Este tutorial serve como um breve guia para a utilização do software ANSYS de elementos finitos.

Nos próximos itens serão apresentados um problema e os passos necessários à sua implementação e solução com auxílio do software.

Serão apresentadas na seqüência as análises: modal, harmônica e transiente para um problema envolvendo vigas.

Problema Proposto

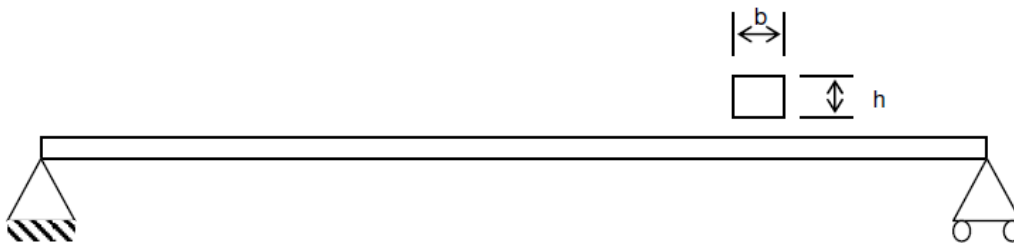


Figura 1 – Viga bi-apoiada.

PROPRIEDADES GEOMÉTRICAS

- $L = 1 \text{ m}$;
- $A = 25 \text{ cm}^2 = 2.5\text{E-}3 \text{ m}^2$;
- $I = 5.21\text{E-}7 \text{ m}^4$;
- $h = b = 5 \text{ cm}$;

PROPRIEDADES DOS MATERIAIS

- Módulo de elasticidade: $21000 \text{ [N/m}^2\text{]}$;
- Coeficiente de Poisson: 0.3 ;
- Densidade volumétrica: 7800 Kg/m^3 .

São pedidas, as análises modal, harmônica e transiente para esta estrutura. Para as duas últimas análises uma força, $F(t)$ será aplicada no ponto central da viga.

A

1. INÍCIO DA ANÁLISE

1.1. *Introduz o título do problema a ser resolvido:*

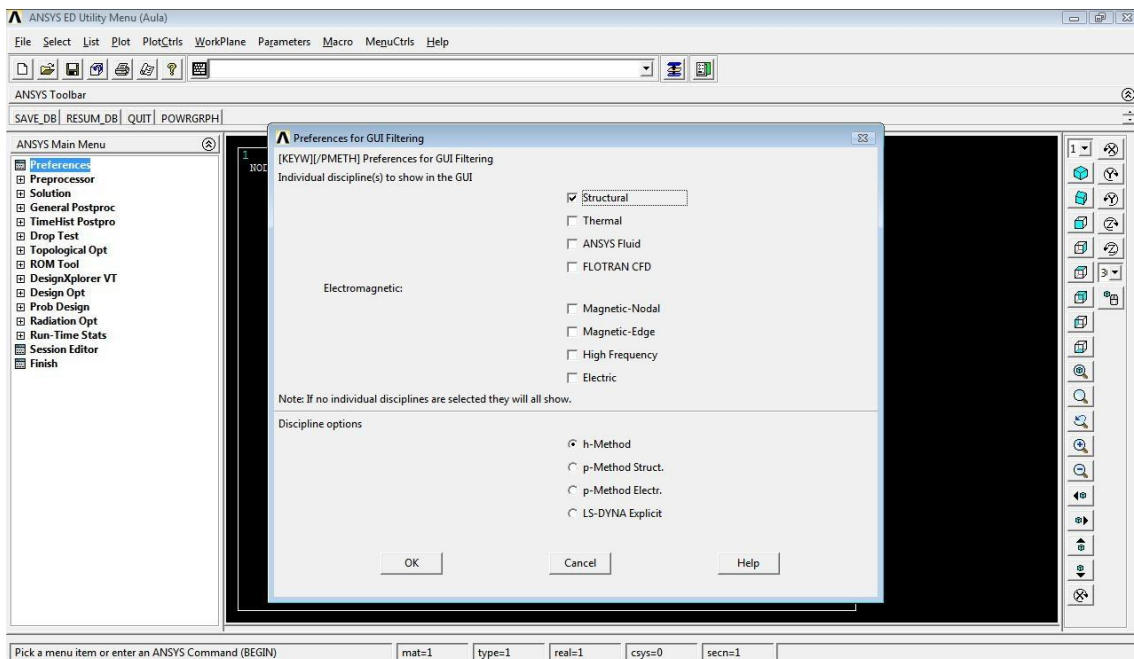
- ✓ No ANSYS Utility Menu clicar em file e acessar a opção “Change Title...”;
- ✓ Na nova janela que aparecer, digitar novo título: “**Viga – Modal Harm Trans**”;
- ✓ Clicar em OK.

1.2. *Altera o nome dos arquivos:*

- ✓ No ANSYS Utility Menu clicar em file e acessar a opção “Change Jobname...”;
- Na nova janela que aparecer, digitar novo nome do arquivo: “**vigamht**”;
- ✓ Clicar em OK.

1.3. *Escolhe o tipo de análise que se pretende executar, visando filtrar comandos a serem apresentados na telas de entrada:*

- ✓ No ANSYS Main Menu clicar em “Preferences”;
- ✓ Na nova janela que aparecer, em “Discipline for filtering GUI Topics”, selecionar a opção “**Structural**”;
- ✓ Clicar em OK.



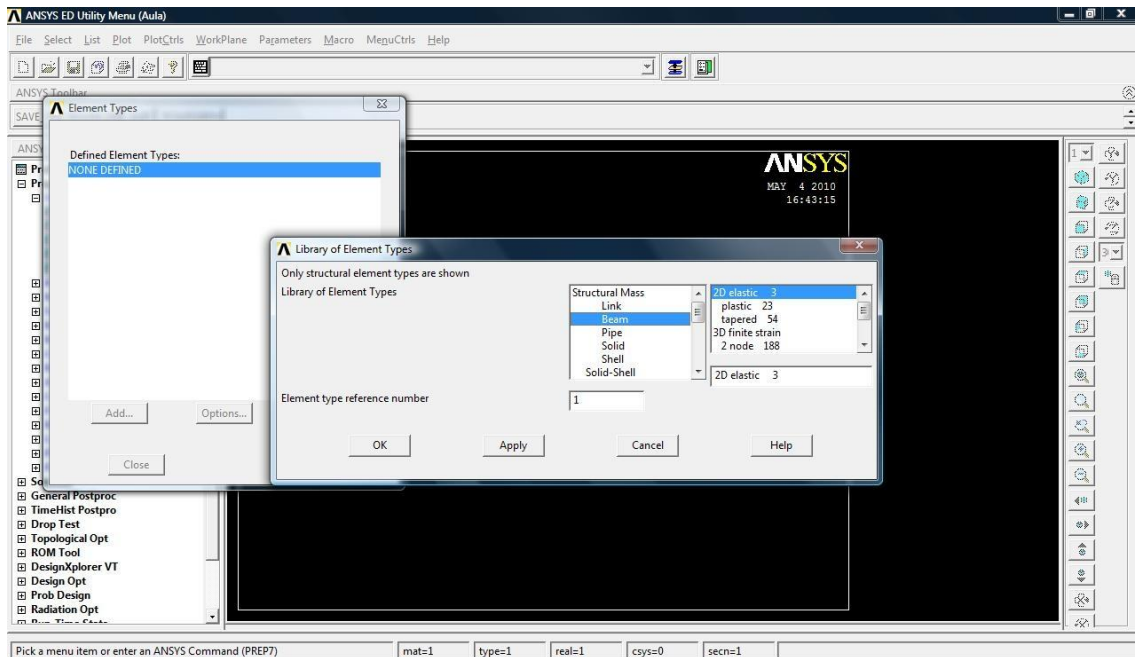
2. ENTRA NA FASE DE PRÉ-PROCESSAMENTO

- ✓ No ANSYS Main Menu, clicar em “Preprocessor”.

B

2.1. Escolhe o tipo de elemento finito que será usado:

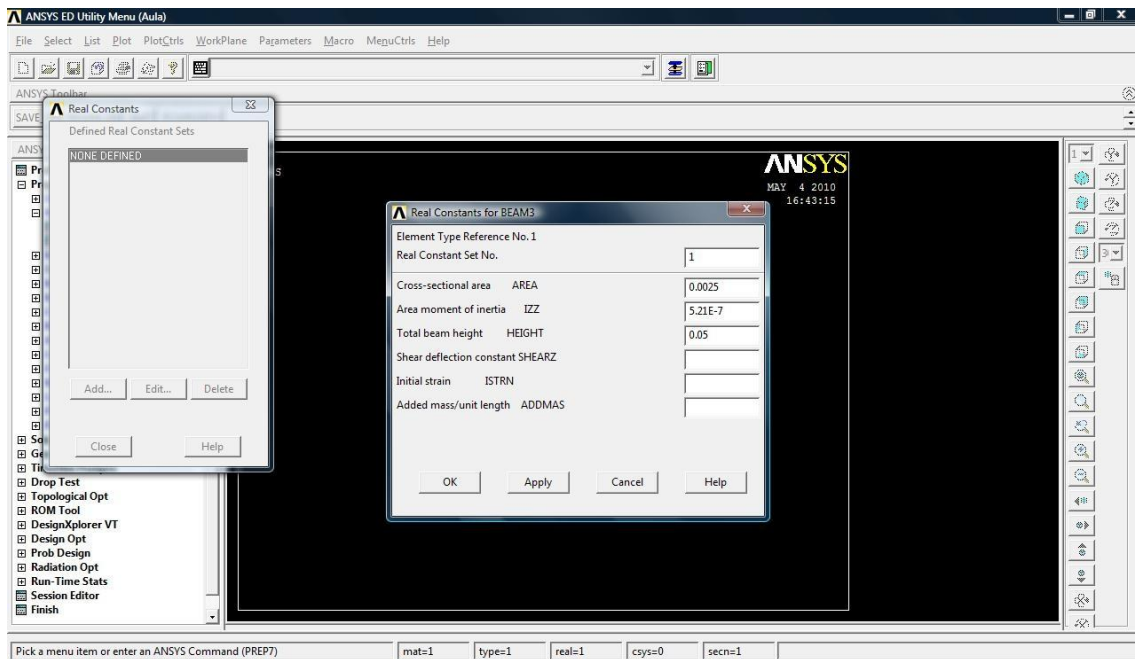
- ✓ Dentro do “Preprocessor”, selecionar “Element Type”;
- ✓ Dentro do “Element Type”, selecionar “Add/Edit/Delete”;
- ✓ Na nova janela que abrir, clicar em “Add...” para selecionar um novo elemento;
- ✓ Outra janela se abrirá, então no “Library of Element Types” selecionar o elemento “Beam”, “2D elastic 3” e clicar em OK.



C

2.2. Define as constantes geométricas do modelo:

- ✓ Dentro do “Preprocessor”, selecionar “Real Constants”;
- ✓ Dentro do “Real Constants”, selecionar “Add/Edit/Delete”;
- ✓ Na nova janela que abrir, clicar em “Add...” para adicionar uma nova área de seção transversal;
- ✓ Uma nova janela se abrirá então selecionar o tipo de elemento em “Choose element type” (no caso, haverá o elemento BEAM3) e clicar em OK;
- ✓ A janela “Real Constants Set Number 1, for BEAM 3” irá aparecer. Deve-se inserir:
 - Real Constant Set No. = **1**
 - Cross-sectional Area AREA = **0.0025**
 - Area Mom of Inertia IZZ = **5.21E-7**
 - Total Beam Height HEIGHT = **0.05**
- ✓ Clicar em “OK”;



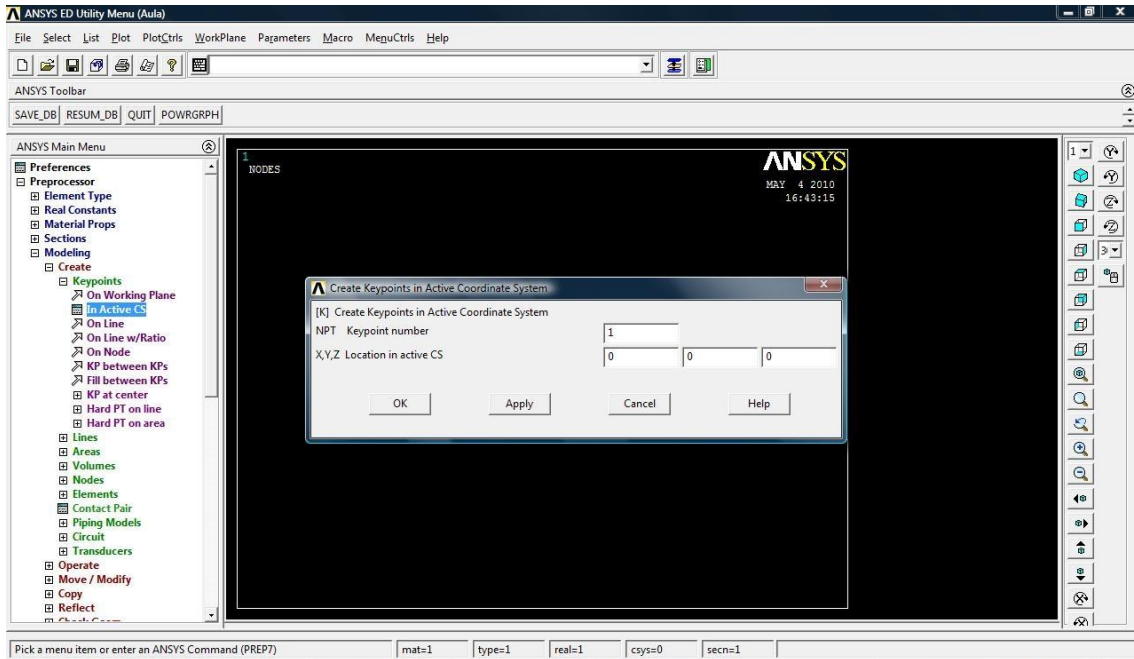
- ✓ Clicar em “CLOSE”.

D

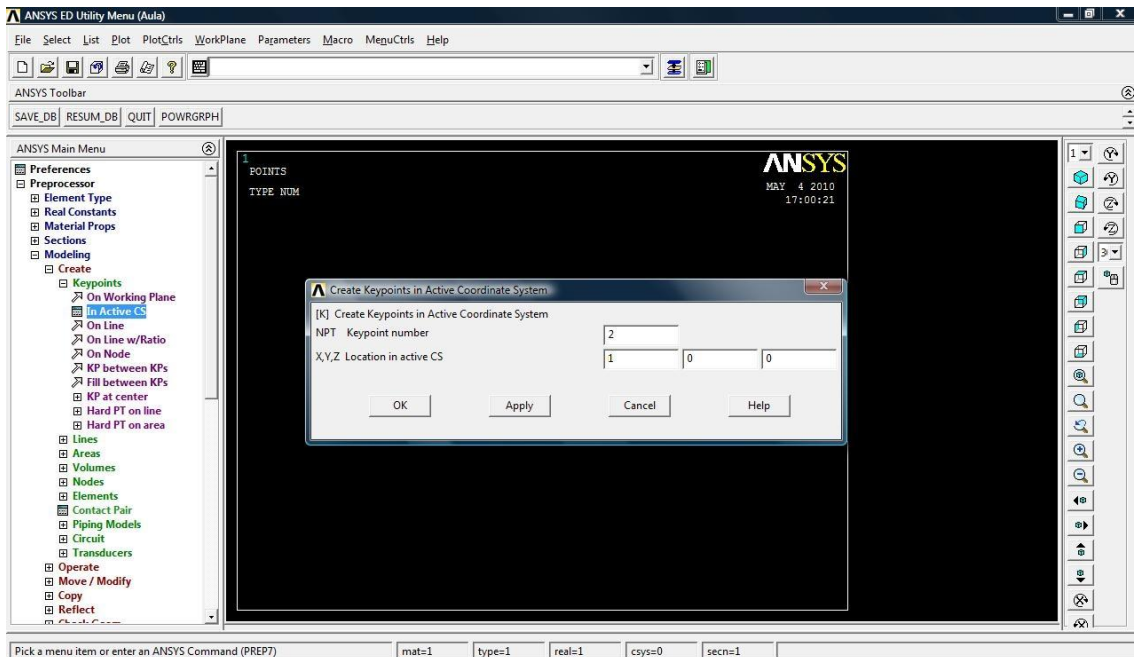
2.3. *Define as propriedades do material:*

- ✓ Dentro do “Preprocessor”, selecionar “Material Props”;
- ✓ Dentro do “Material Props”, selecionar “Material Models”;
- ✓ Na nova janela que abrir, para o “Material Model Number 1”, no quadro “Material Models Available” selecionar: “Structural>Linear>Elastic>Isotropic”;
- ✓ Dar um duplo clique em “Isotropic”;
- ✓ A janela “Linear Isotropic Material Properties for Material Number 1” irá abrir. Inserir na lacuna “EX” o valor referente ao Módulo de Elasticidade do material e clicar em “OK”:
 - EX = **21000**;
 - PRXY = **0.3**;

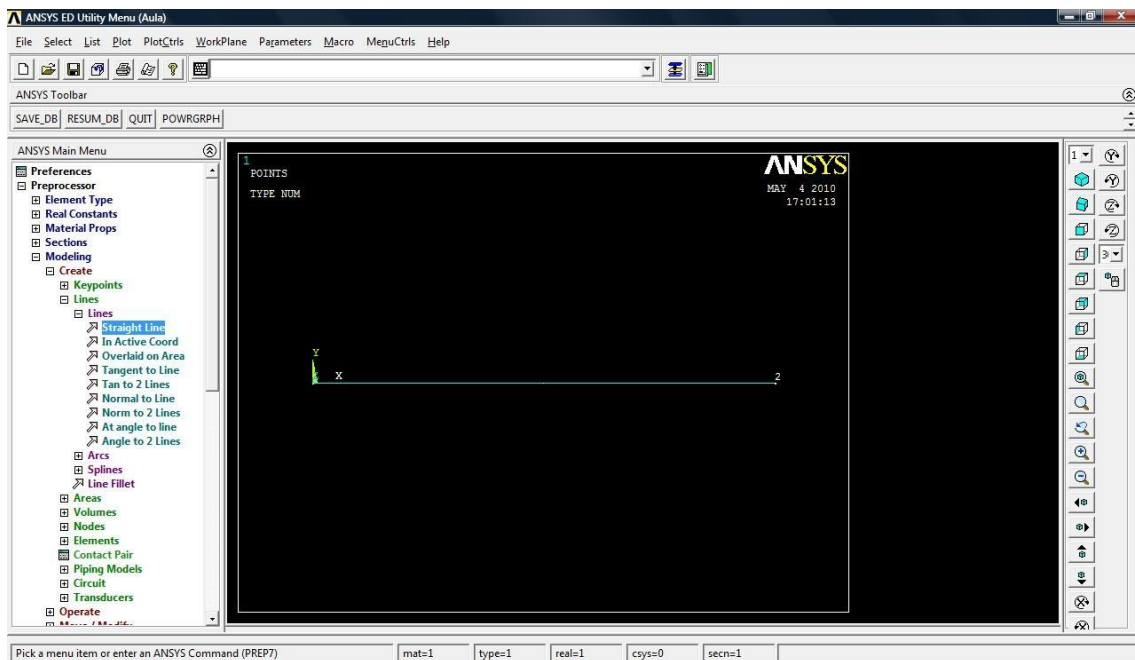
- ✓ Na nova janela que abrir, inserir um número para o keypoint que será criado em “NPT Keypoint Number” e as coordenadas X e Y;
- ✓ Para criar o primeiro keypoint:
 - NODE Node Number : **1**;
 - X,Y,Z Location in active CS : **X = 0** **Y = 0**;
- ✓ Clicar em “APLY”;



- ✓ Para criar o próximo keypoint:
 - NODE Node Number : **2**;
 - X,Y,Z Location in active CS : **X = 1** **Y = 6**;
- ✓ Clicar em “OK”;

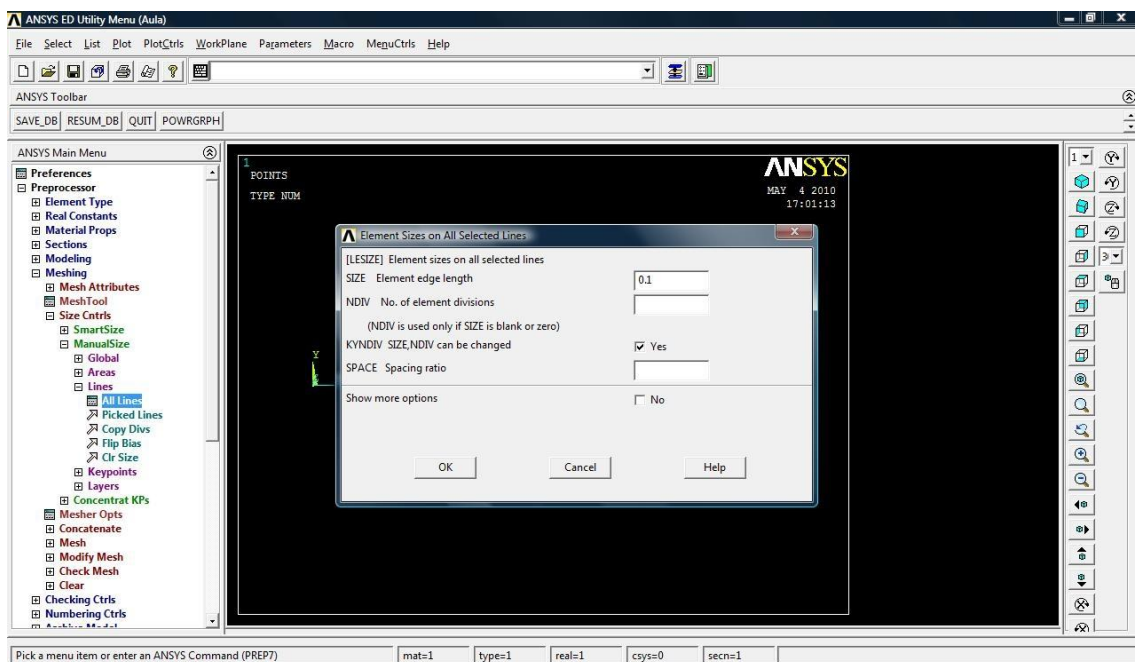


- ✓ Dentro do “Preprocessor” selecionar “Modeling”, “Create”, “Lines”, “Straight Line”;
- ✓ Apontar os nós 1 e 2 e clicar em “OK”;

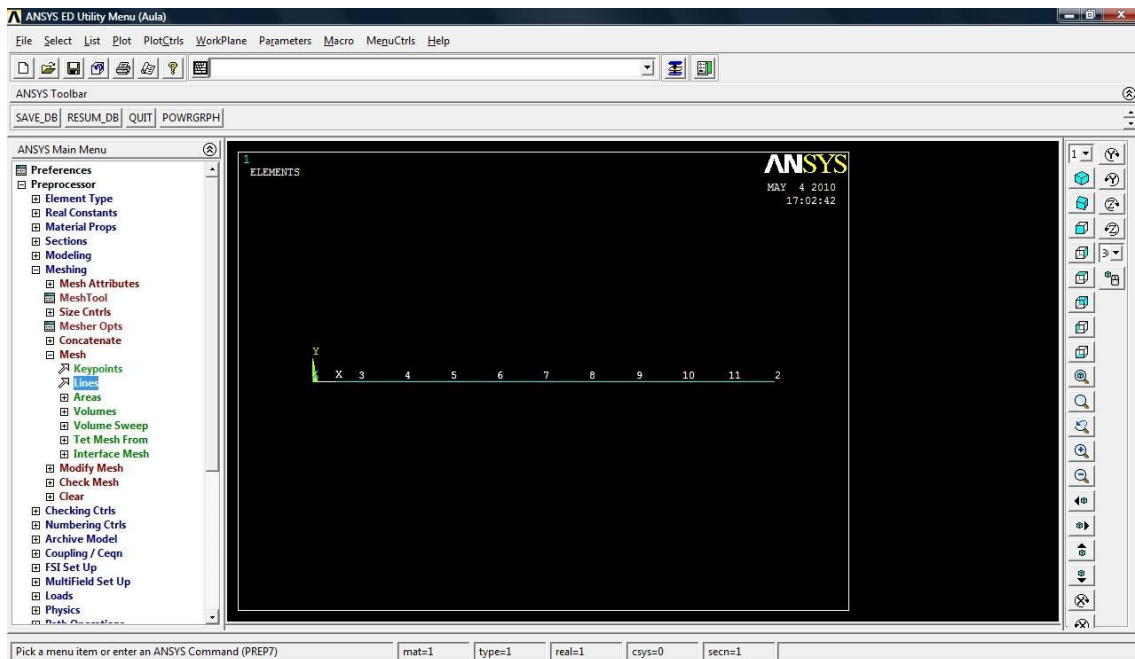


2.4.2. Cria os elementos:

- ✓ Dentro do “Preprocessor” selecionar “Meshing”, “SizeCtrls”, “Manual Size”, “All Lines”;
- ✓ Na nova janela inserir:
 - SIZE = 0.1;
- ✓ Clicar em “OK”;



- ✓ Para definir a malha de elementos finitos: dentro do “Preprocessor” selecionar “Meshing”, “Mesh”, “Lines”;
- ✓ Na nova janela, clicar em “PICK ALL” e a malha será gerada;
- ✓ Deve-se então plotar a numeração dos nós para melhor visualização no passo seguinte;

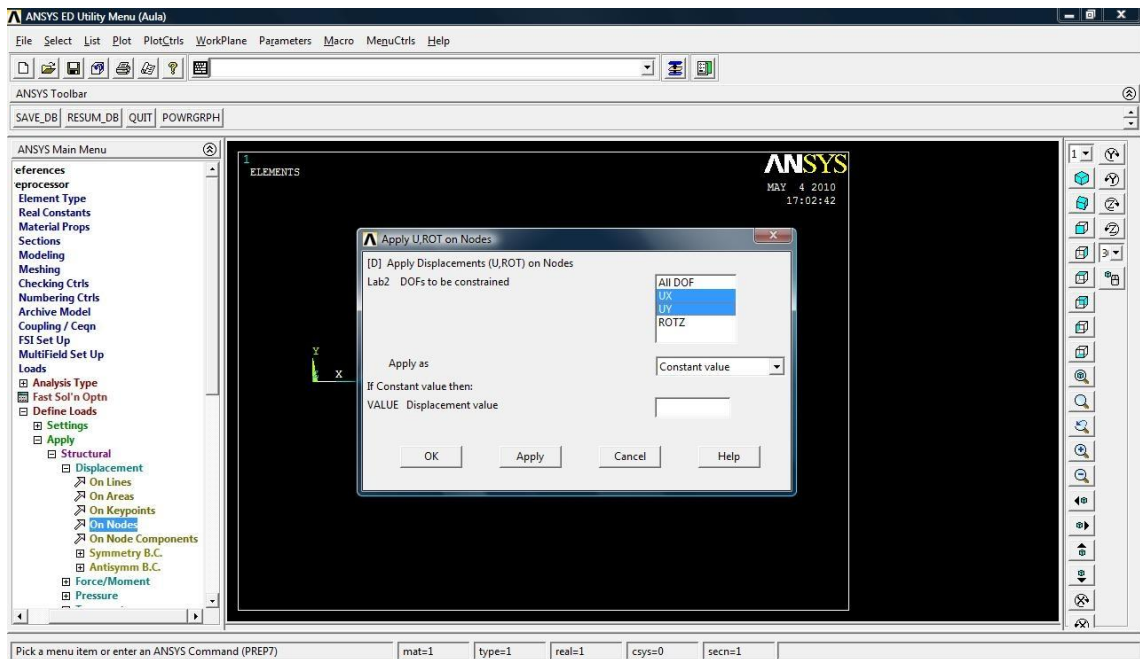


F

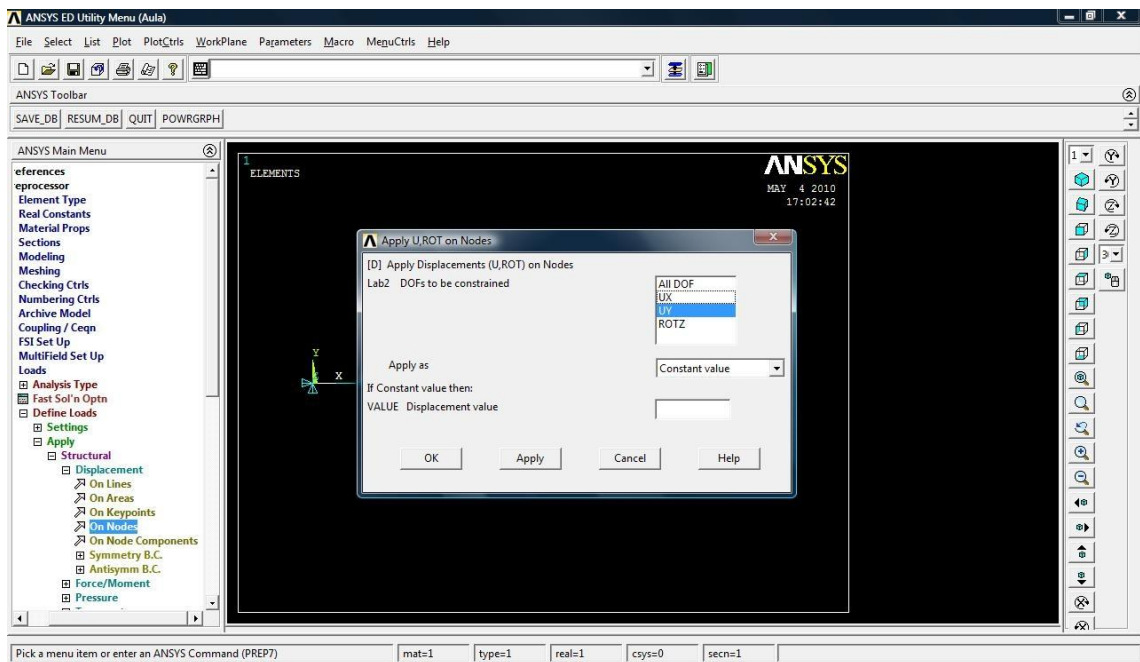
2.5. Aplicar as condições de contorno:

2.5.1. Aplicar apoios:

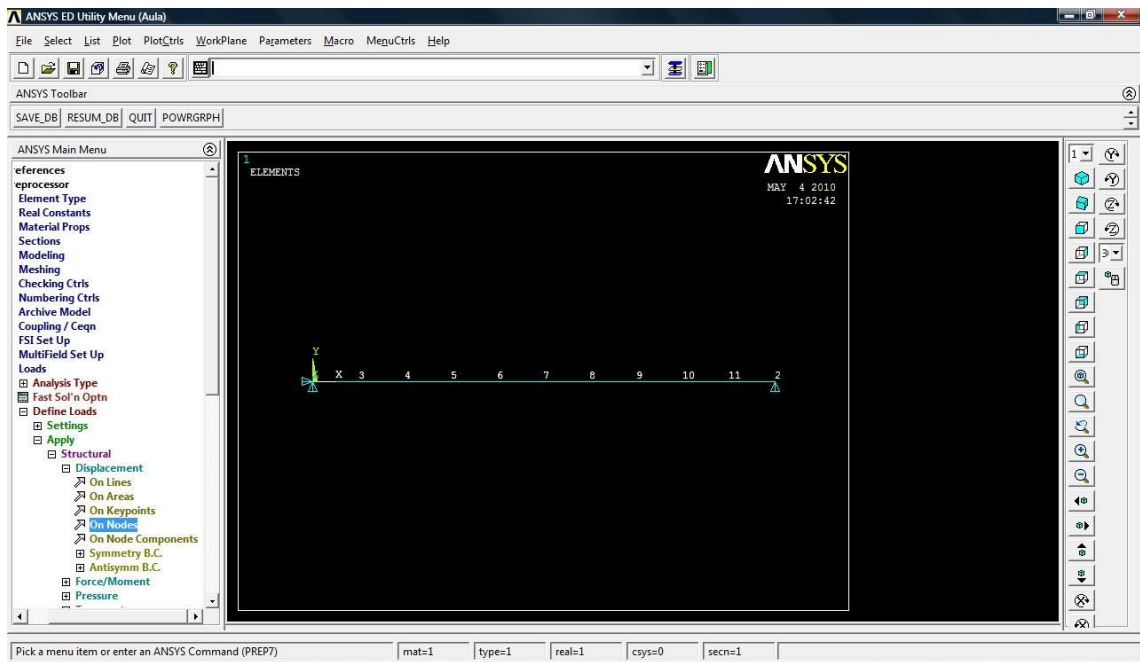
- ✓ Dentro do “Preprocessor” selecionar “Loads”, “Define Loads”, “Apply”, “Structural”, “Displacement”, “On Nodes”;
- ✓ Na nova janela que abrir apontar o nó **1** e clicar em “APPLY”;
- ✓ Outra janela irá aparecer então selecionar no campo “DOFs to be constrained” a opção “**UX e UY**” e clicar em “APPLY”;



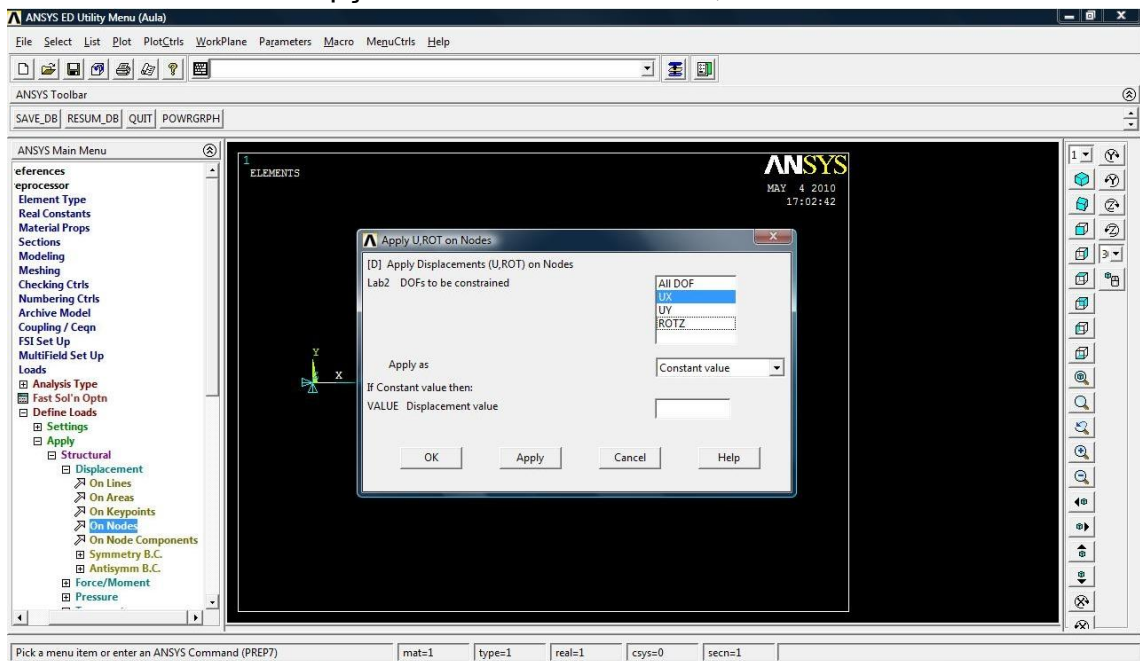
- ✓ Da mesma forma, apontar o nó 2 e clicar em “APPLY”;
- ✓ Outra janela irá aparecer então selecionar no campo “DOFs to be constrained” a opção “UY” e clicar em “APPLY”;

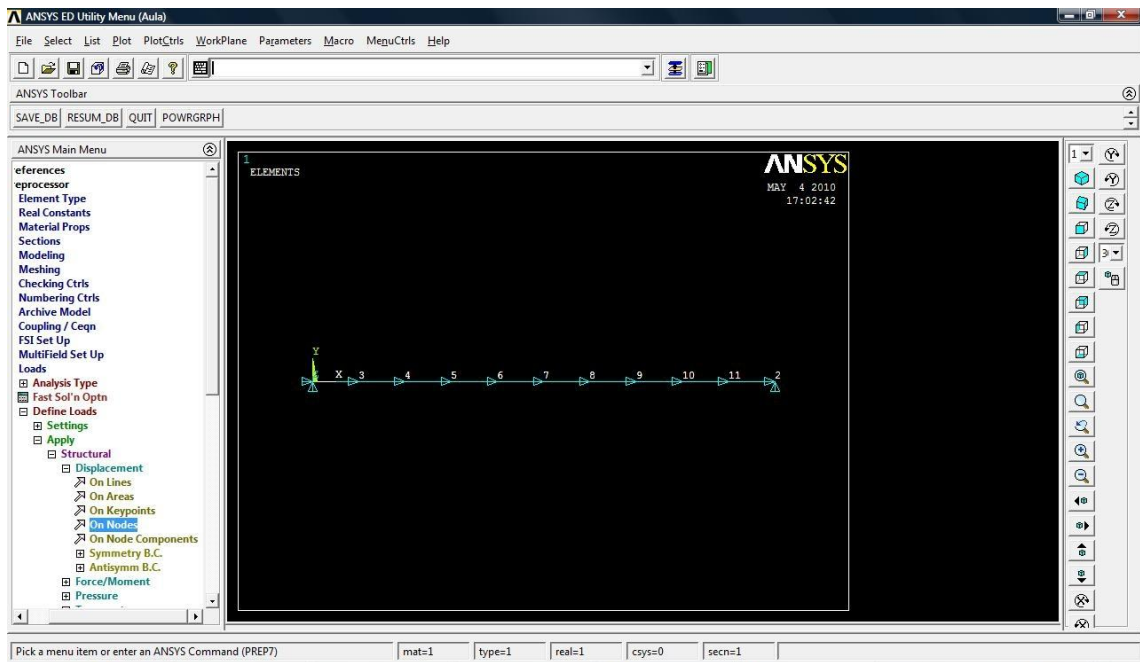


- ✓ A figura a seguir mostra as restrições nas duas extremidades da estrutura. Nos nós internos, todos os graus de liberdade estão livres, o que levará o software a calcular modos de vibração axial (no caso da análise modal). Para eliminar esses modos indesejados deve-se restringir em todos os nós, o deslocamento na direção horizontal;



- ✓ Na nova janela que abrir apontar os nós 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10 e 11 e clicar em “OK”;
- ✓ Outra janela irá aparecer então selecionar no campo “DOFs to be constrained” a opção “UX” e clicar em “OK”;





2.5.2. Salvando dados no arquivo vigamht.db

- ✓ No ANSYS Toolbar clicar em “SAVE_DB”.

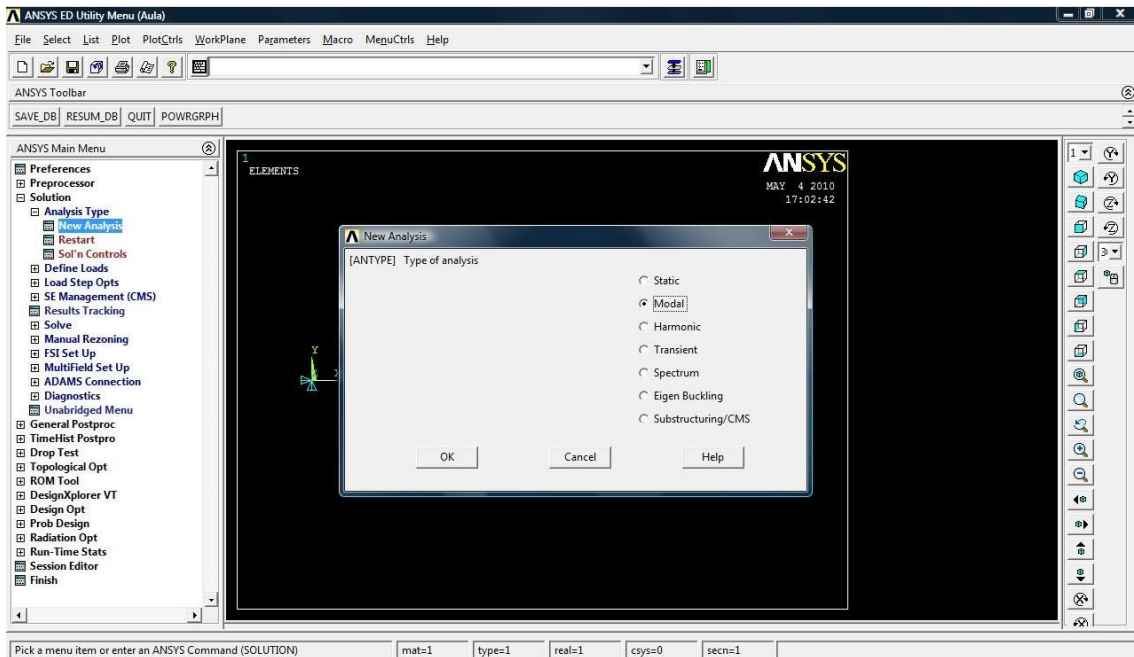
ANÁLISE MODAL

G

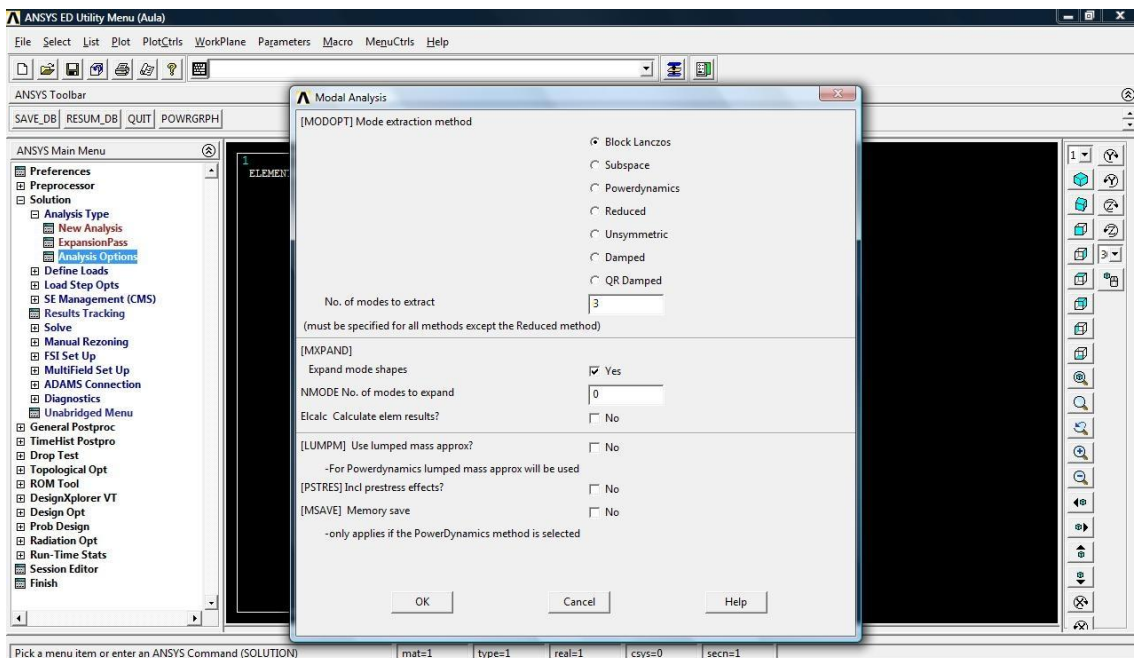
3. SOLUÇÃO

3.1. Escolha dos parâmetros da análise modal:

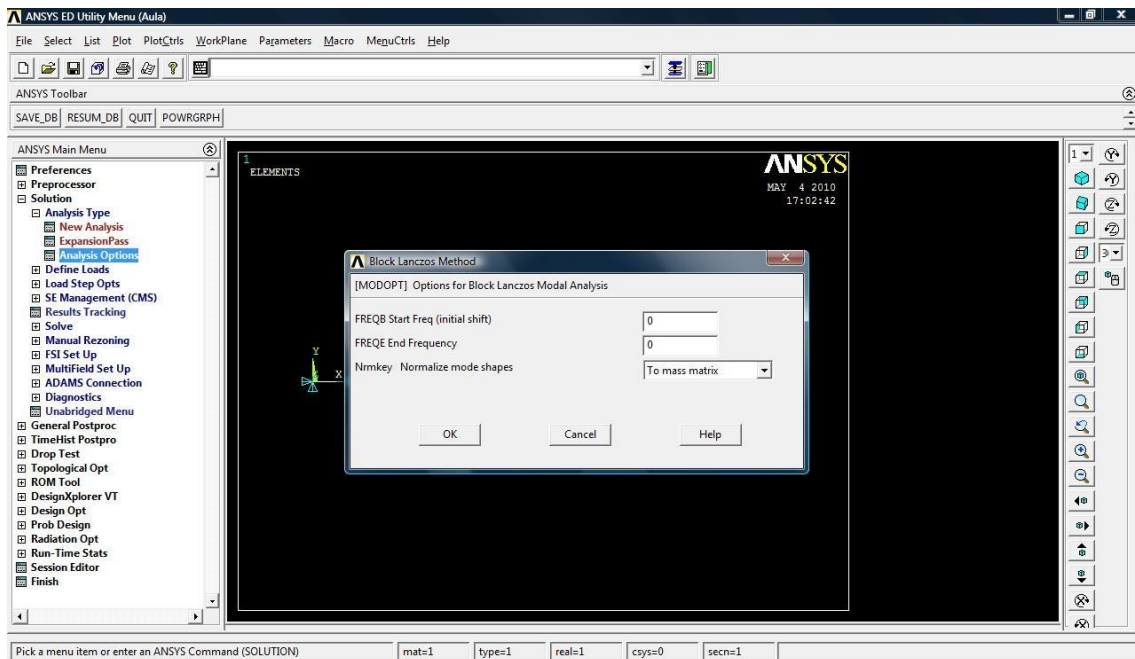
- ✓ No ANSYS Main Menu dentro do “Solution” clicar em “Analysis Type”, “New Analysis”;
- ✓ Na nova janela selecionar a opção “Modal e clicar em “OK”;



- ✓ No ANSYS Main Menu dentro do “Solution” clicar em “Analysis Type”, “Analysis Options”;
- ✓ Na nova janela selecionar:
 - [MODOPT] **Block Lanczos**
 - No. of modes to extract **3**
- ✓ Clicar em “OK”;



- ✓ Uma nova janela irá abrir [MODOPT]. Clicar em “OK”;



3.2. Executa a solução:

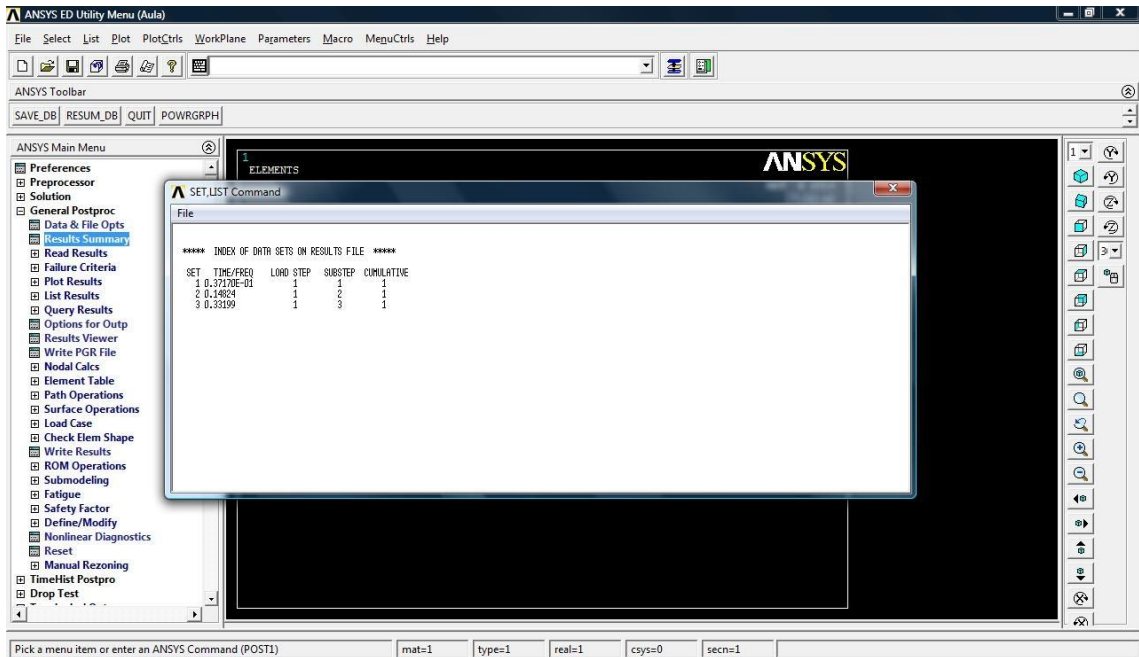
- ✓ No ANSYS Main Menu dentro do “Solution” clicar em “Solve”, “Current LS” (Resolve o LS atual);
- ✓ Clicar em “OK” (information: solution is done).
- ✓ Na janela “Information: Solution is done” clicar em “CLOSE”.
- ✓ No ANSYS Toolbar clicar em “SAVE_DB”.

H

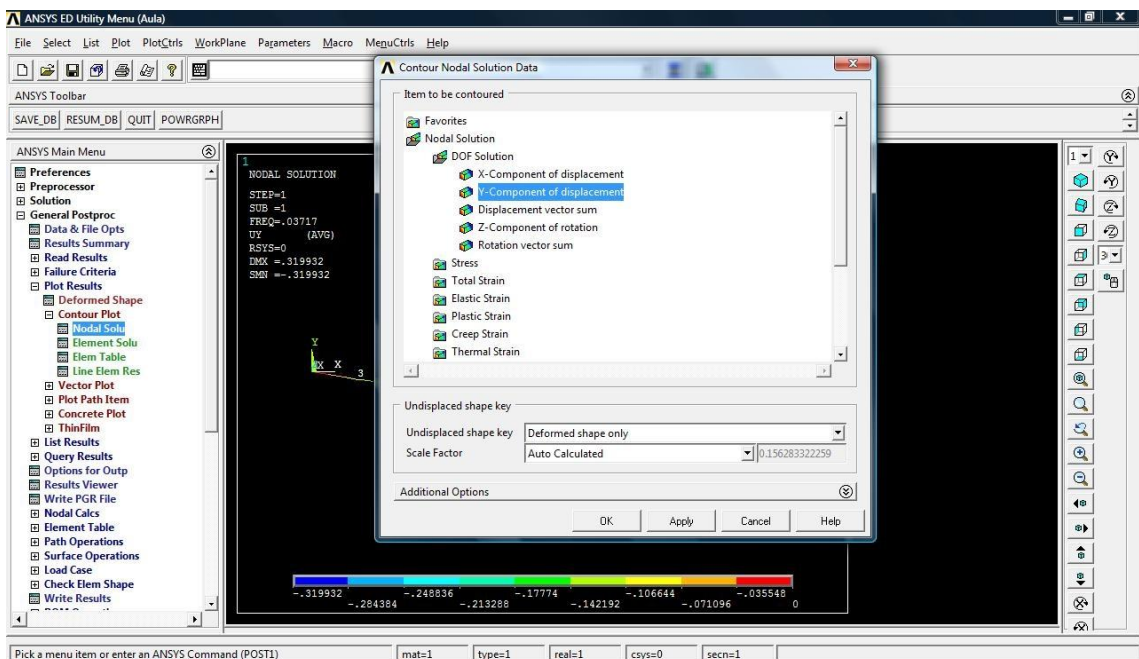
4. PÓS PROCESSAMENTO

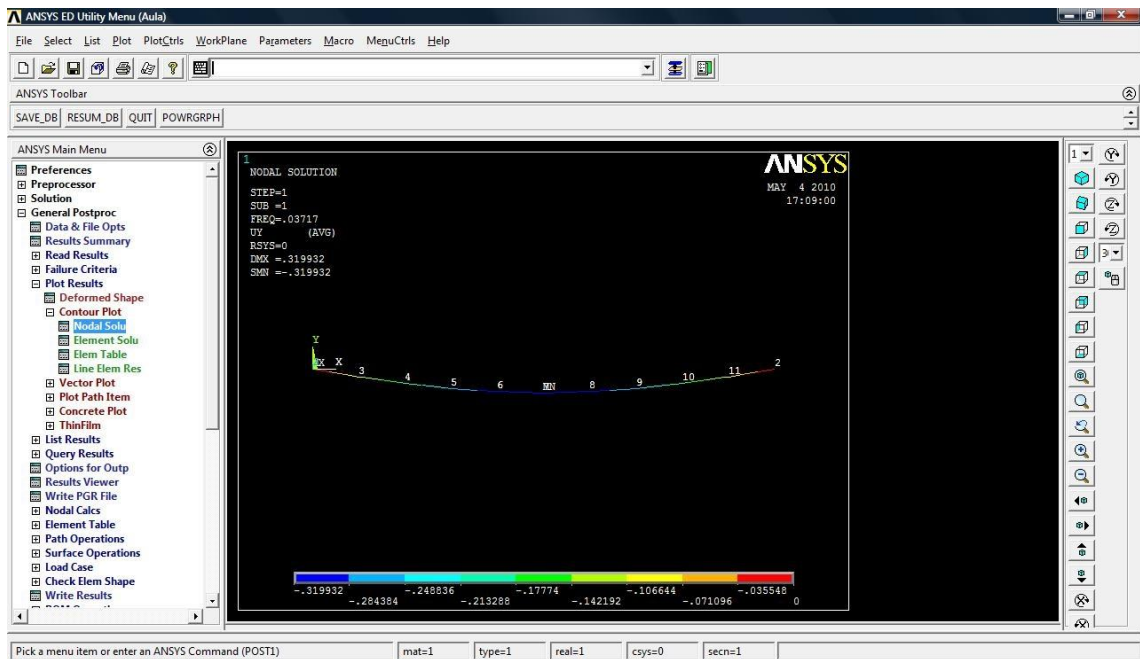
4.1. Gera, lista e plota os resultados para o primeiro tipo de contraventamento:

- ✓ No ANSYS Main Menu dentro do “General Postproc” clicar em “List Results”, “Detailed Summary” para listar as frequências naturais calculadas;

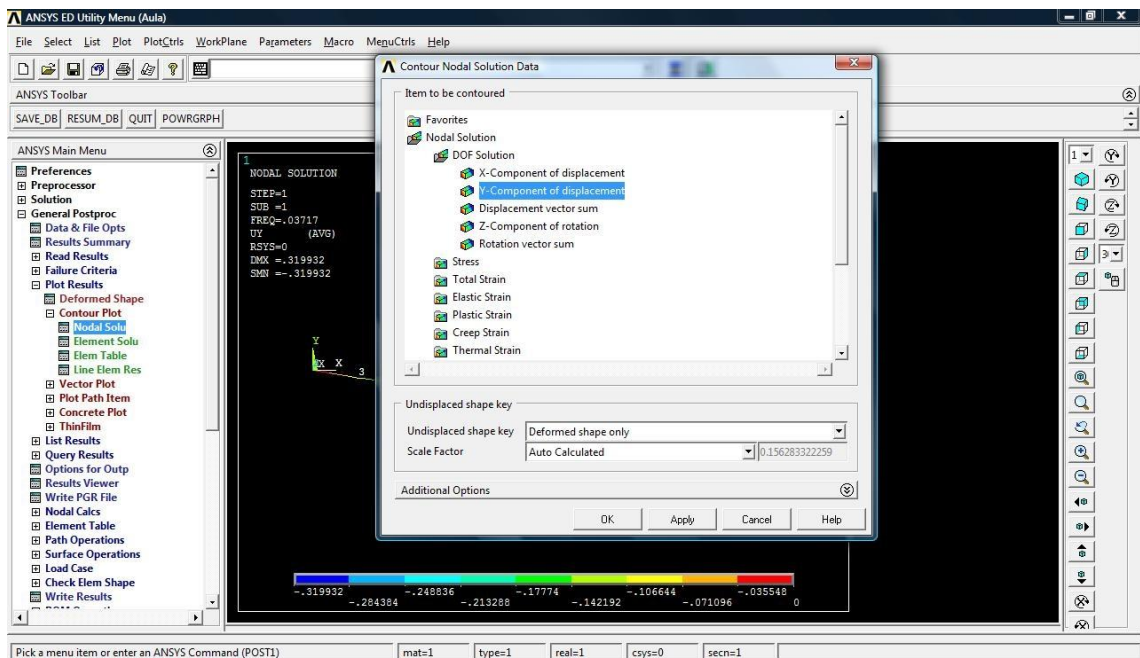


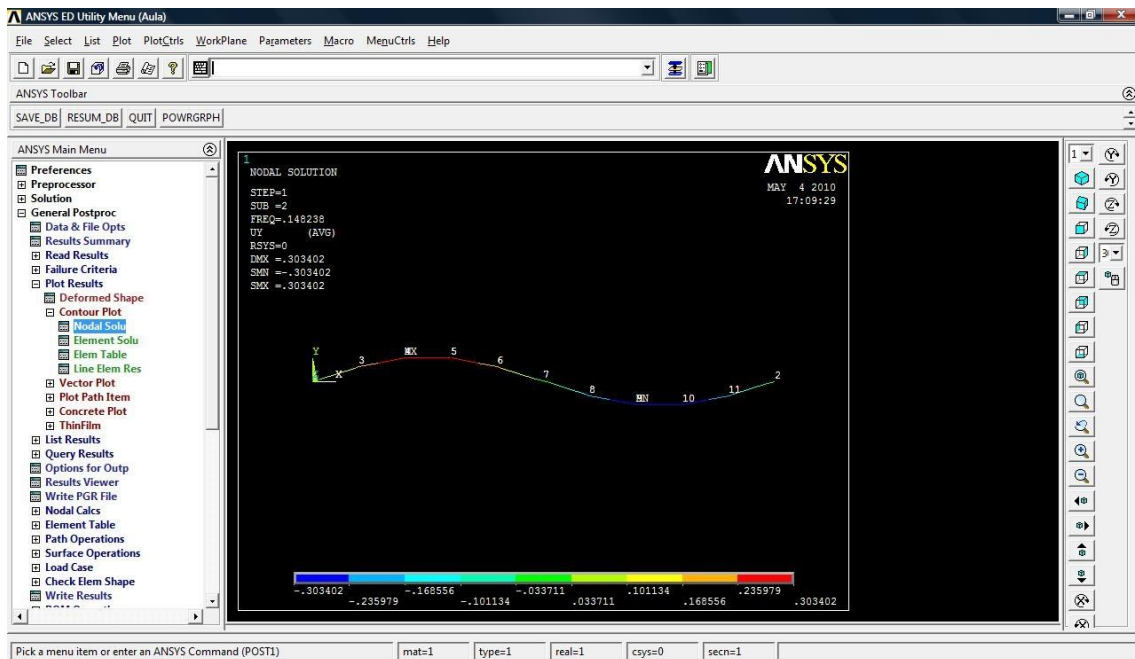
- ✓ Cada modo de vibração é armazenado como um caso de carga independente;
- ✓ No ANSYS Main Menu dentro do “General Postproc” clicar em “Read Results”, “First Set” para carregar o primeiro caso de carga;
- ✓ No ANSYS Main Menu dentro do “General Postproc” clicar em “Plot Results”, “Contour Plot”, “Nodal Solution” para visualizar a deformação da estrutura no sentido de “Y”;
- ✓ Selecionar “DOF Solution”, “Y – Component of displacement” e clicar em “OK”;





- ✓ No ANSYS Main Menu dentro do “General Postproc” clicar em “Read Results”, “Next Set” para carregar o próximo caso de carga;
- ✓ No ANSYS Main Menu dentro do “General Postproc” clicar em “Plot Results”, “Contour Plot”, “Nodal Solution” para visualizar a deformação da estrutura no sentido de “Y”;
- ✓ Selecionar “DOF Solution”, “Y – Component of displacement” e clicar em “OK”;





ANÁLISE HARMÔNICA

Os passos seguintes mostram como realizar uma análise harmônica na estrutura proposta. Para tanto, será considerada uma força aplicada no centro da viga em questão, como mostra a figura abaixo:

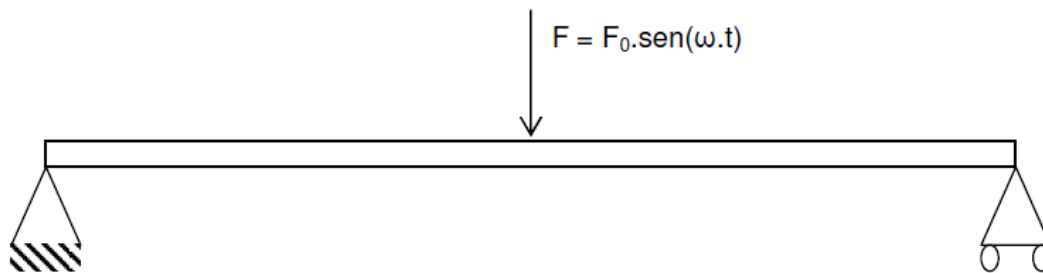


Figura 2 – Aplicação de carga na viga.

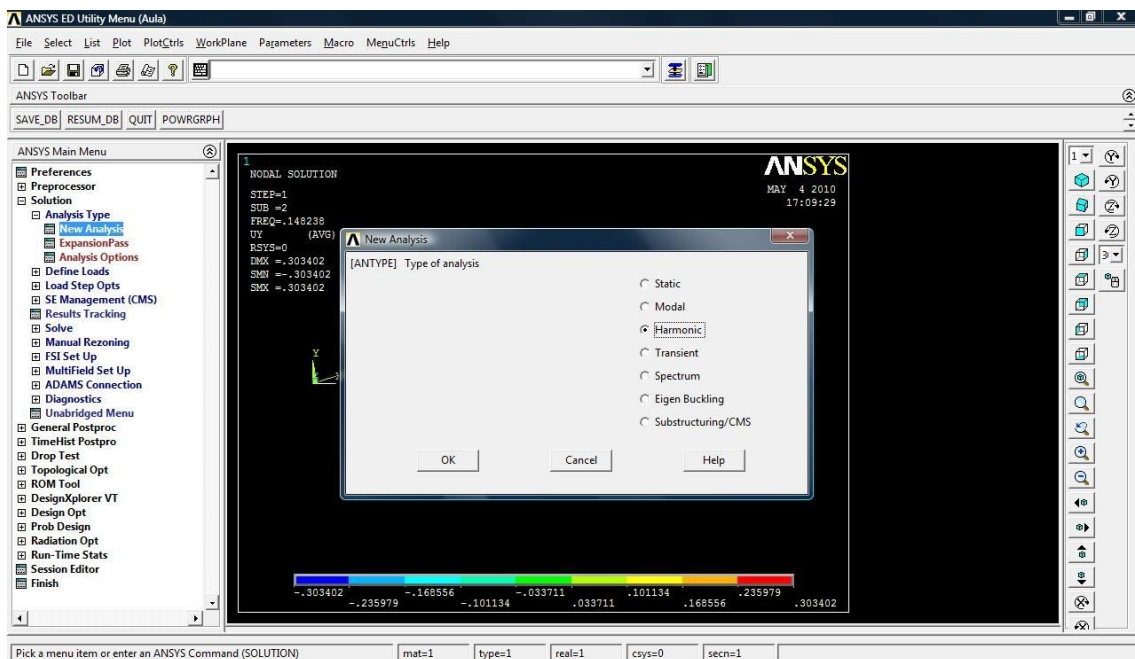
Para iniciar uma análise harmônica no ANSYS:

I

5. SOLUÇÃO

5.1. Escolha dos parâmetros da análise harmônica:

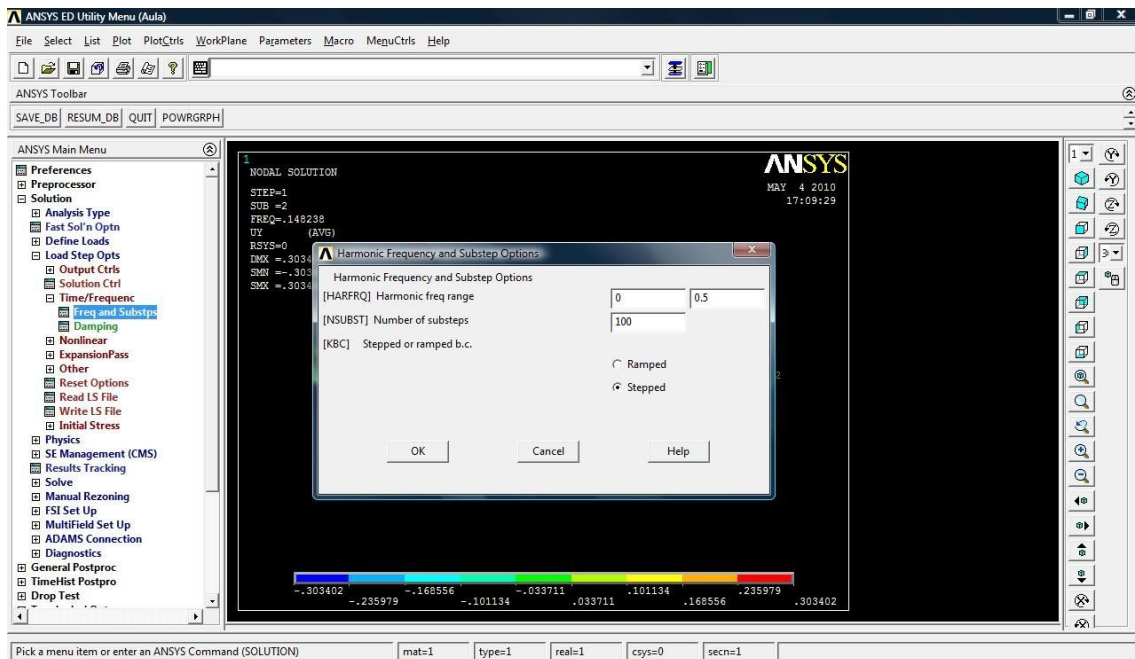
- ✓ No ANSYS Main Menu dentro do “Solution” clicar em “Analysis Type”, “New Analysis”;
- ✓ Na nova janela selecionar a opção “Harmonic” e clicar em “OK”;



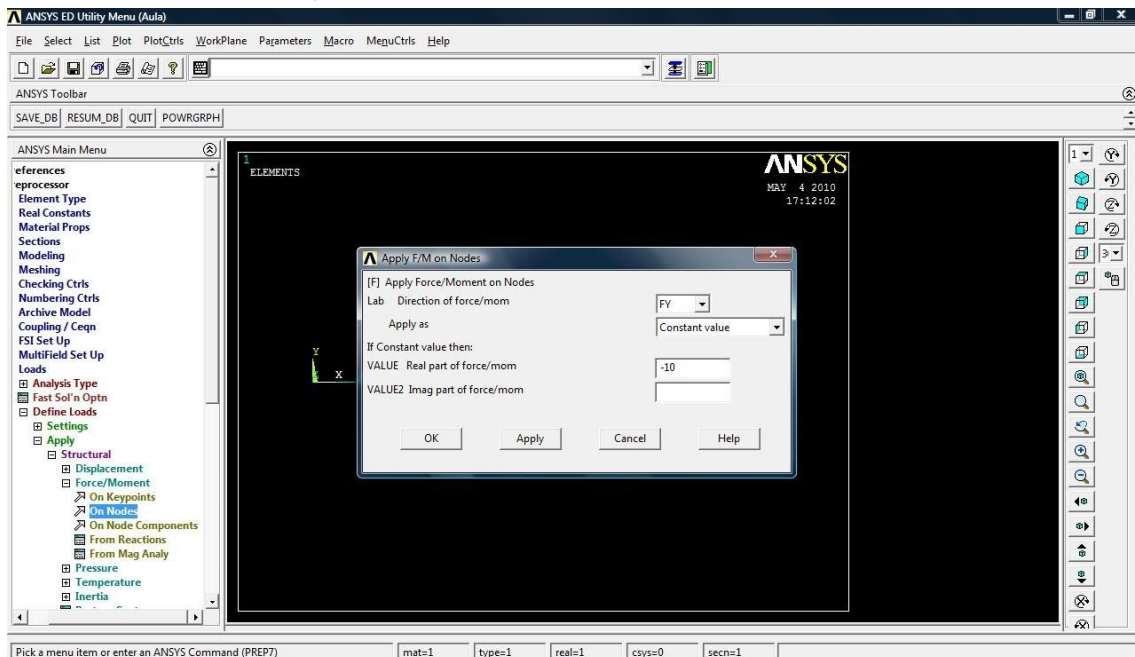
- ✓ Há opções em “Analysis Options” que podem ser alteradas, como por exemplo, o método de solução, tolerâncias e formato dos resultados, mas neste caso, as opções padrão serão mantidas.
- ✓ O passo seguinte consiste em definir os valores no domínio da frequência que se deseja avaliar. Da análise harmônica pode ser visto que as frequências naturais para a estrutura são da ordem de 0,33Hz, pode ser considerado então, um domínio de 0 a 0,5Hz, por exemplo.

- ✓ No ANSYS Main Menu dentro do “Solution” clicar em “Load Step Options”, “Time/Frequenc”, “Freq and Substeps”;
- ✓ Na nova janela selecionar:

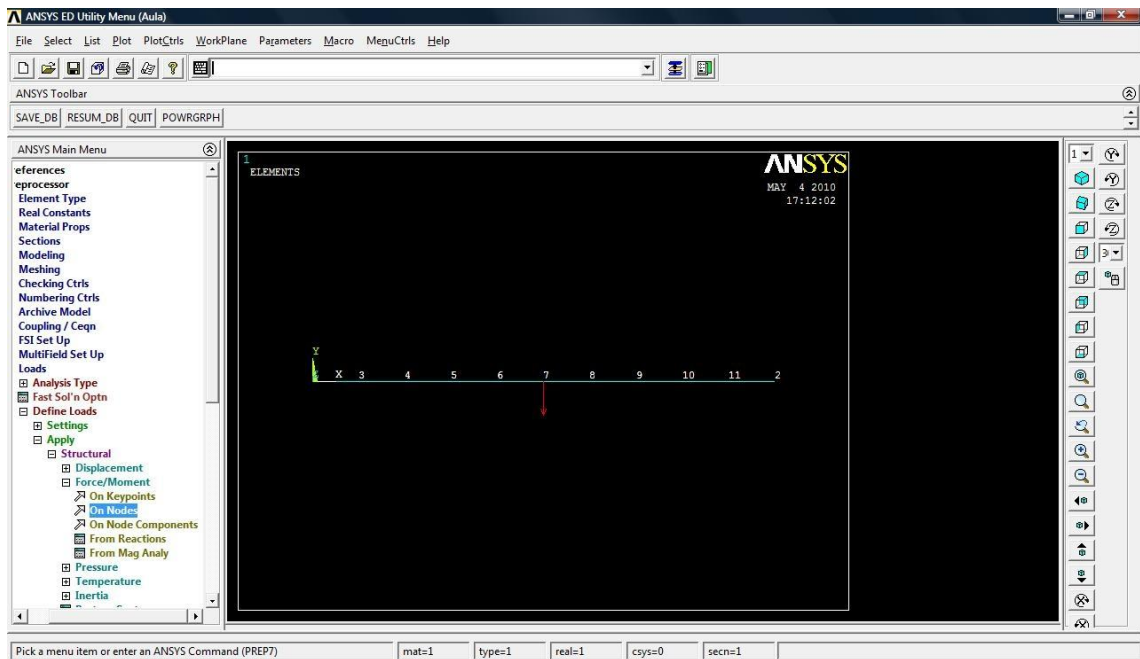
○ [HARFRQ]	0	0.5
○ [NSUBST]	100	
○ [KBC]	Stepped	
- ✓ Clicar em “OK”;



- ✓ Dentro do “Preprocessor” selecionar “Loads”, “Define Loads”, “Apply”, “Structural”, “Force/Moment”, “On Nodes”;
- ✓ Apontar o nó 7 e clicar em “OK”;
- ✓ Na nova janela, inserir:
 - LAB **FY**
 - Value **-10**
- ✓ Clicar em “OK”;



- ✓ A opção de parte real e imaginária da informação sobre a fase da força sendo aplicada, sendo útil no caso em que há mais de uma força agindo fora de fase;



5.2. Executa a solução:

- ✓ No ANSYS Main Menu dentro do “Solution” clicar em “Solve”, “Current LS” (Resolve o LS atual);
- ✓ Clicar em “OK” (information: solution is done).
- ✓ Na janela “Information: Solution is done” clicar em “CLOSE”.
- ✓ No ANSYS Toolbar clicar em “SAVE_DB”.

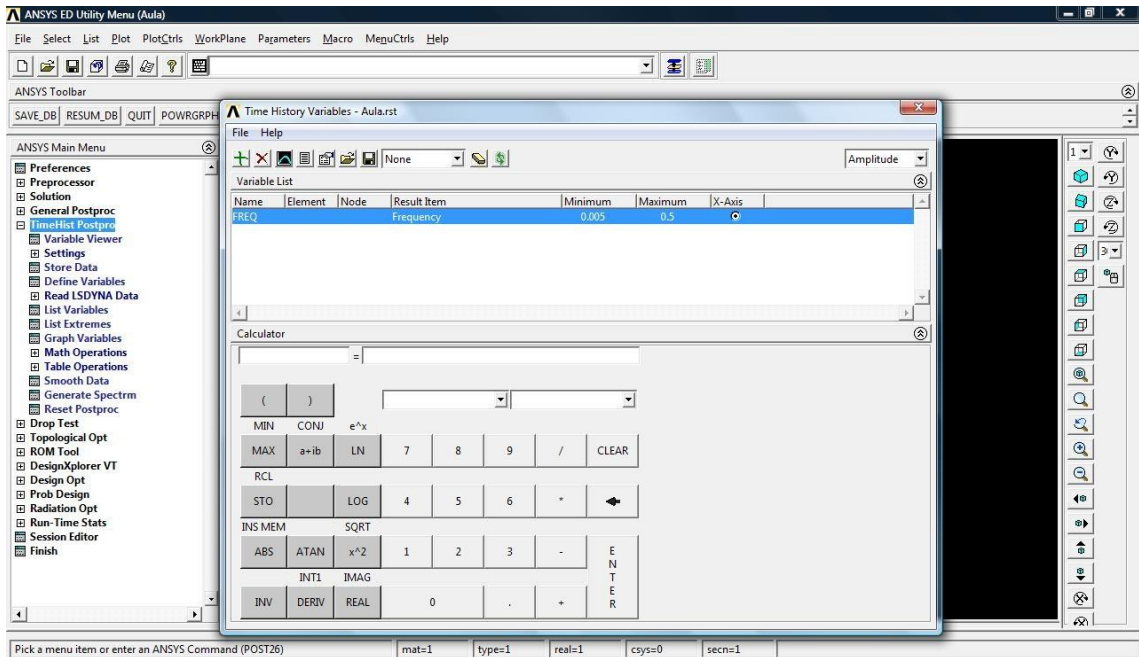
- ✓ Após realizados os cálculos pode-se analisar os resultados na etapa de pós-processamento. Para avaliar a variação da amplitude do nó central da estrutura em função da frequência, através do menu lateral deve-se selecionar as seguintes opções:

J

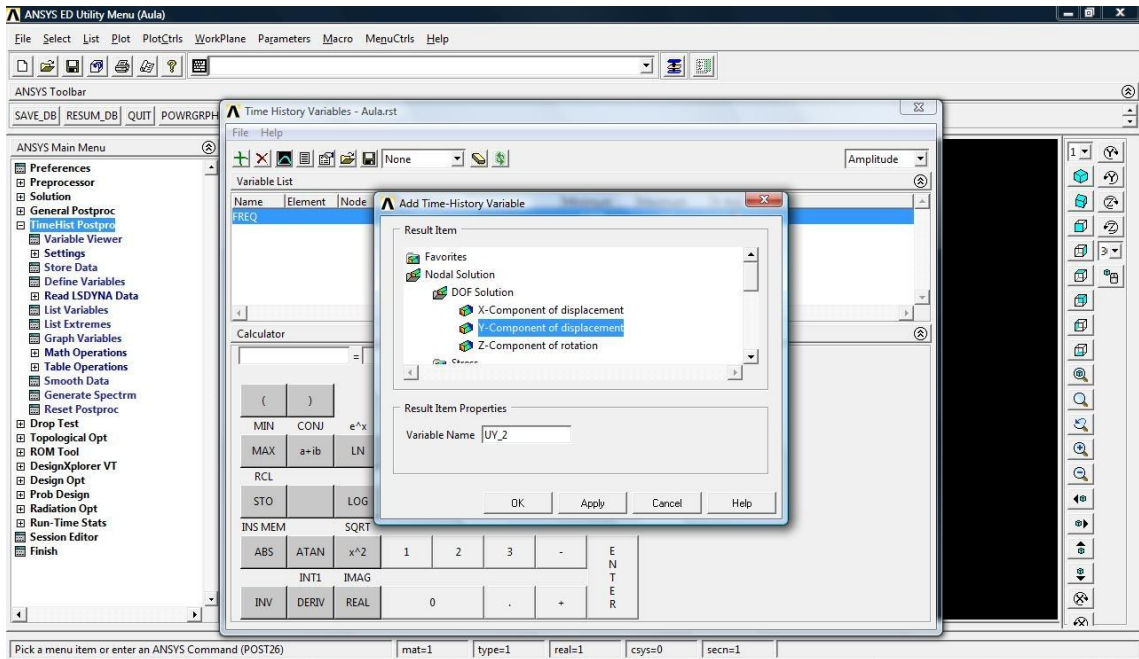
6. PÓS PROCESSAMENTO

4.1. Gera, lista e plota os resultados:

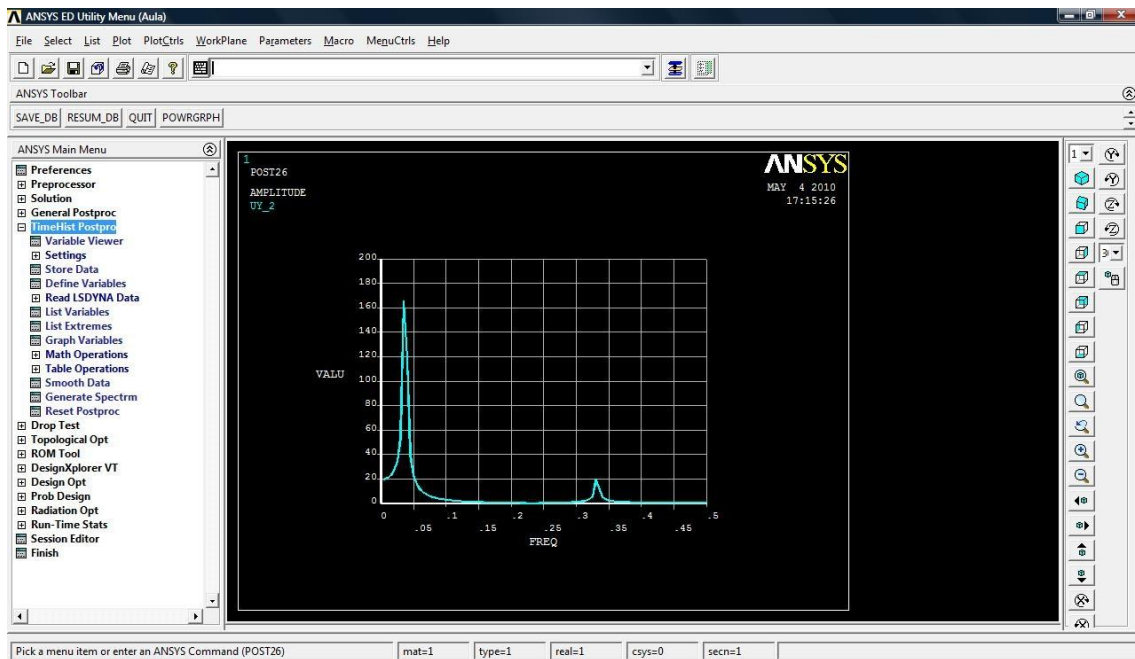
- ✓ No ANSYS Main Menu dentro clicar em “TimeHist Postpro”;
- ✓ Na janela que abrir, clicar no botão verde com sinal “+”;



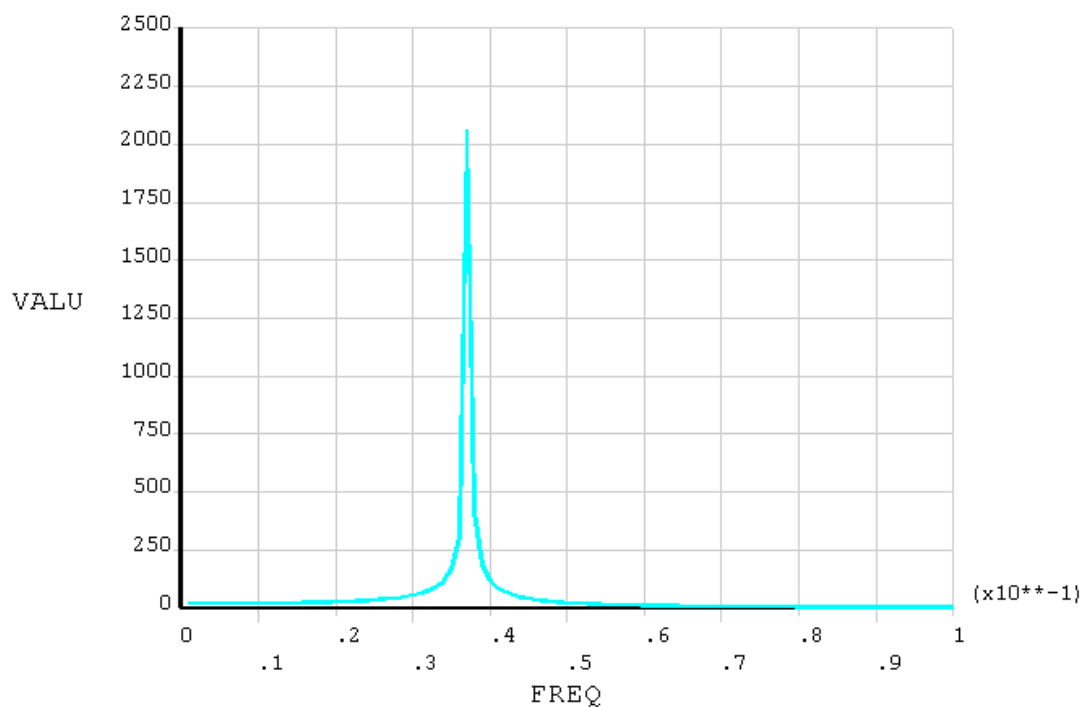
- ✓ Na nova janela selecionar o grau de liberdade desejado, no caso:
 - **NODAL SOLUTION > DOF Solution > Y- Component of displacement;**
- ✓ Clicar em “OK”;



- ✓ Deve-se selecionar o nó que se deseja avaliar o deslocamento, no caso, o nó 7;
- ✓ Clicar em “OK”;
- ✓ Fechar a janela “Time History Variables” para visualizar o gráfico;



- ✓ Comparando o gráfico com os resultados das freqüências naturais de análise modal, vêem-se claramente os dois picos correspondentes ao segundo e terceiro modos de vibrar. Para avaliar o primeiro modo de vibrar, o passo de definição de limites da freqüência pode ser repetido, considerando, por exemplo, um novo domínio de 0 a 0,1Hz, obtém-se o seguinte resultado:



- ✓ É interessante também observar a deformação da estrutura para uma determinada freqüência de excitação. Por exemplo, podem-se

considerar as freqüências obtidas pela análise modal: 0,03717Hz, 0,14824Hz e 0,33199Hz;

- ✓ Anteriormente foram definidos os limites para a análise harmônica bem como o número de passos que o programa deverá utilizar para subdividir este domínio, como foram utilizados 100 passos entre 0 e 0,5Hz, os cálculos foram feitos com passos de 0,005Hz. É com este valor de passo que poderão ser observadas as deformações da estrutura;
- ✓ O ANSYS considera cada incremento desses como um 'substep', desta forma, os 'substeps' que mais se aproximam dos valores das freqüências naturais são: 7, 30 e 70, que, respectivamente correspondem às freqüências de 0,035Hz, 0,15Hz e 0,35Hz;

ANÁLISE TRANSIENTE

Os passos seguintes mostram como realizar uma análise transiente para a estrutura de viga proposta. Será aplicada uma força em função do tempo no ponto central da viga.

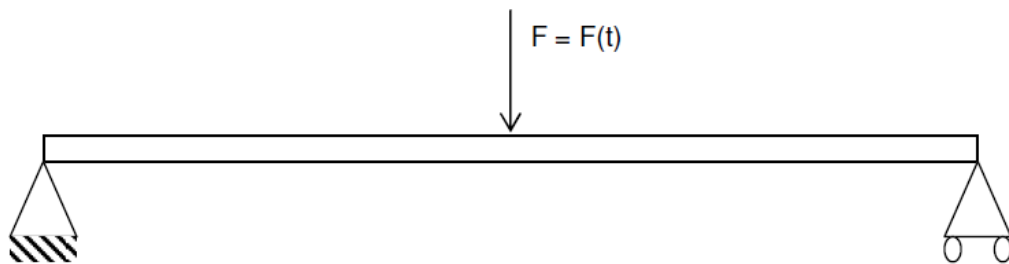


Figura 3 – Estrutura de análise transiente.

O gráfico da função $F(t)$ é mostrado a seguir:

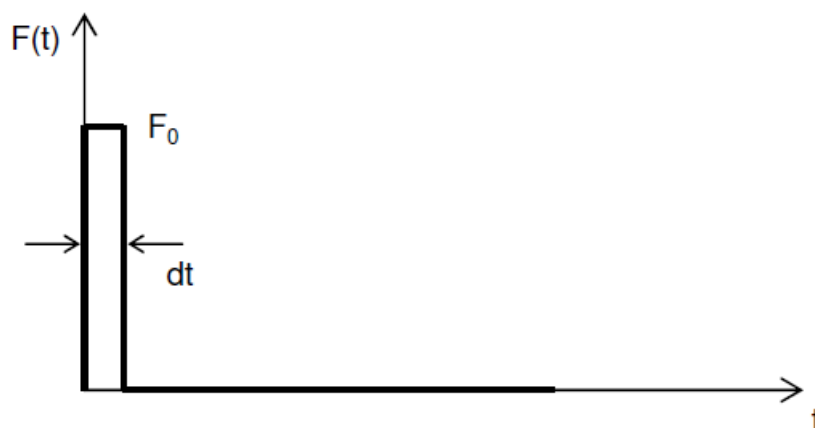
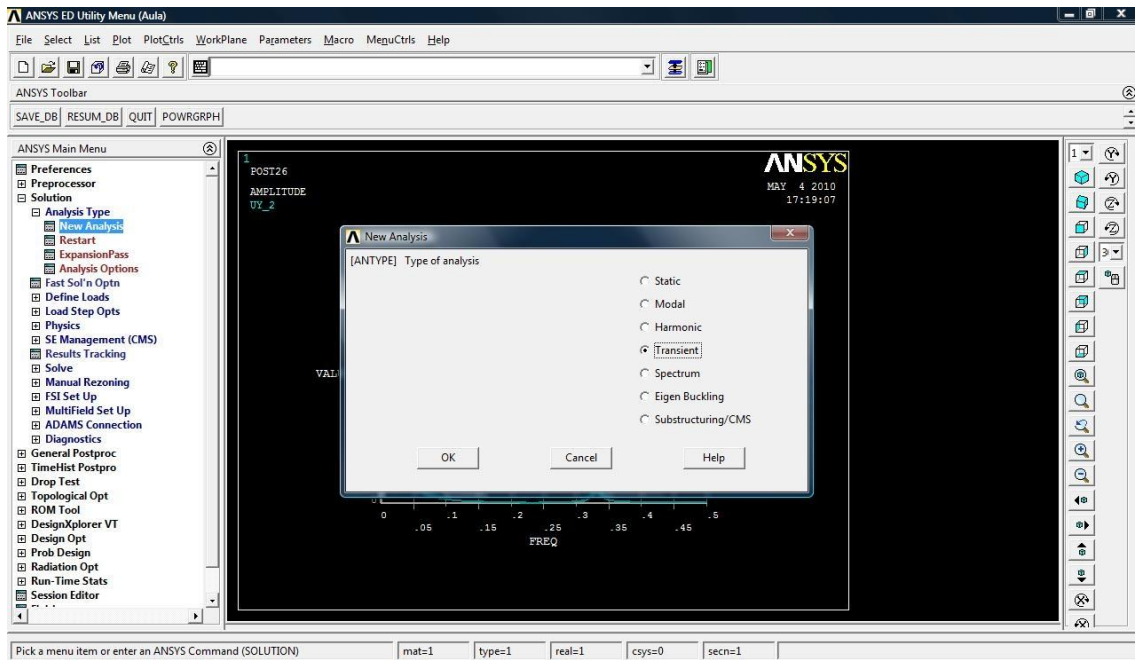


Figura 4 – Função $F(t)$.

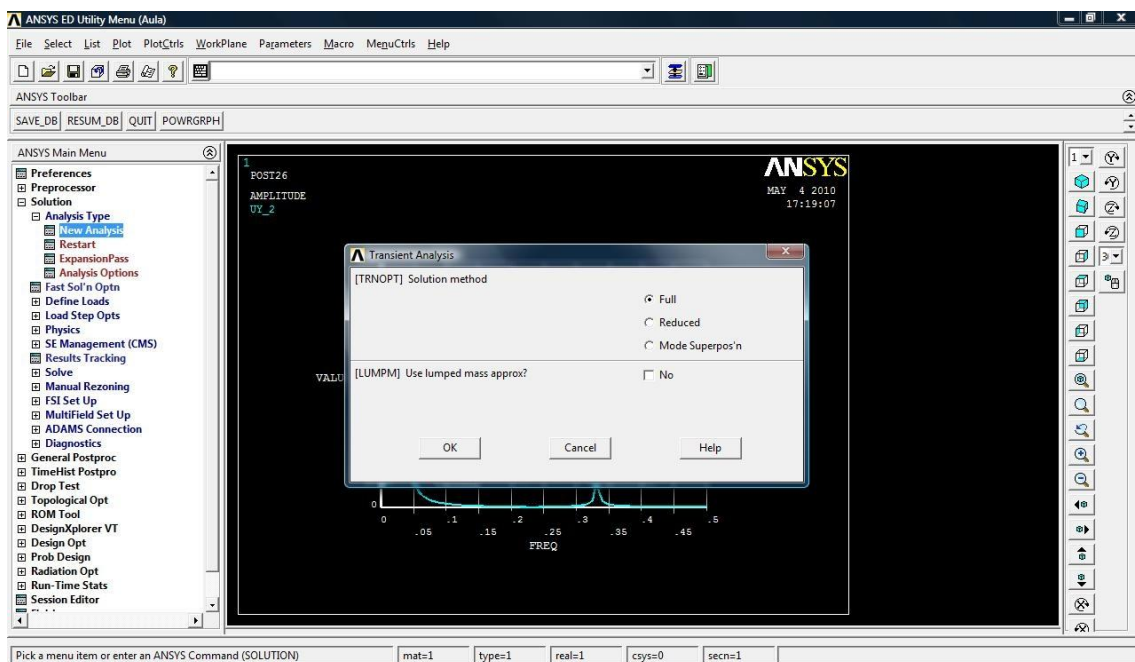
7. SOLUÇÃO

7.1. Escolha dos parâmetros da análise transiente:

- ✓ No ANSYS Main Menu dentro do “Solution” clicar em “Analysis Type”, “New Analysis”;
- ✓ Na nova janela selecionar a opção “Transient” e clicar em “OK”;

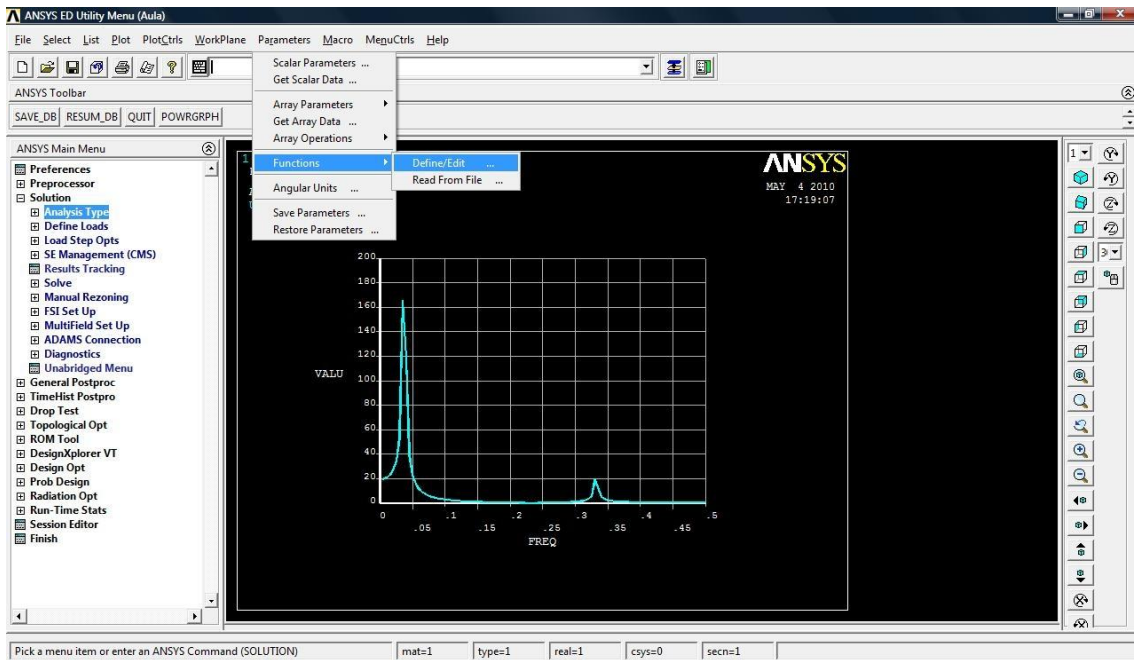


- ✓ Na nova janela selecionar “FULL” em [TRNOPT] e clicar em “OK”;

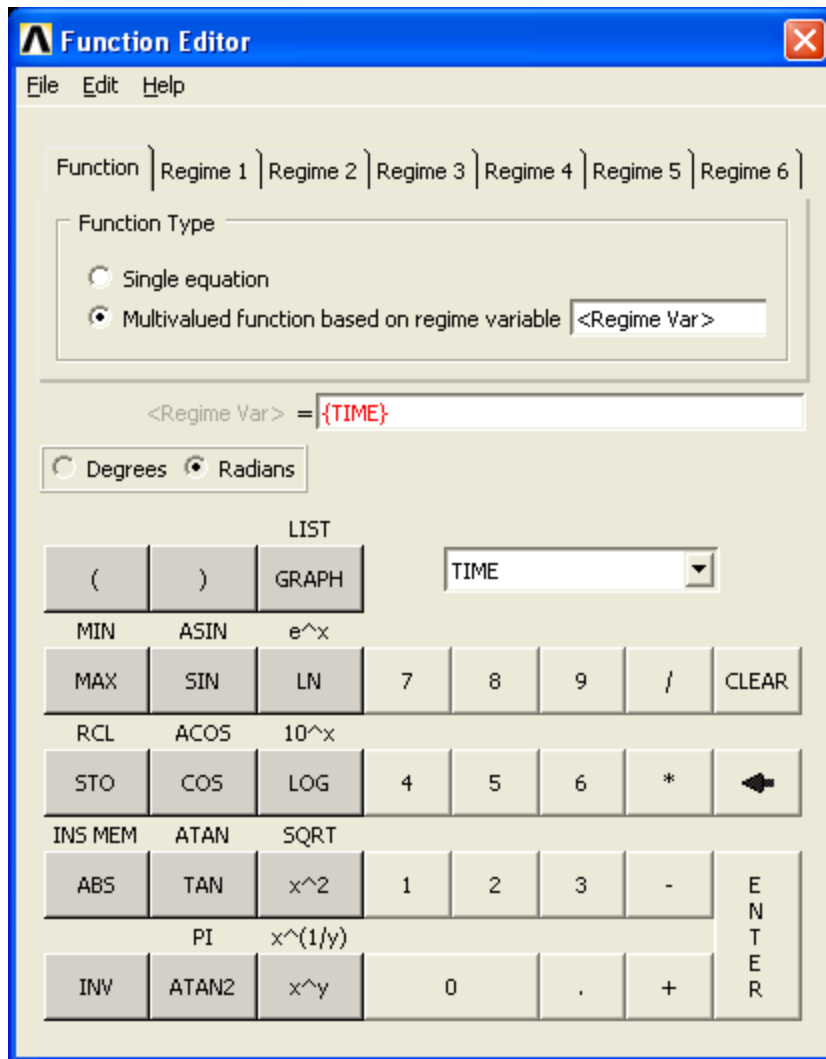


- ✓ A análise considerará um período de 50s, suficiente para a observação de um período de oscilação da estrutura. Será aplicado um impulso com largura de 1s e magnitude de 10N, o qual será definido como uma função, que deverá ser aplicada como carregamento no ponto desejado da estrutura.

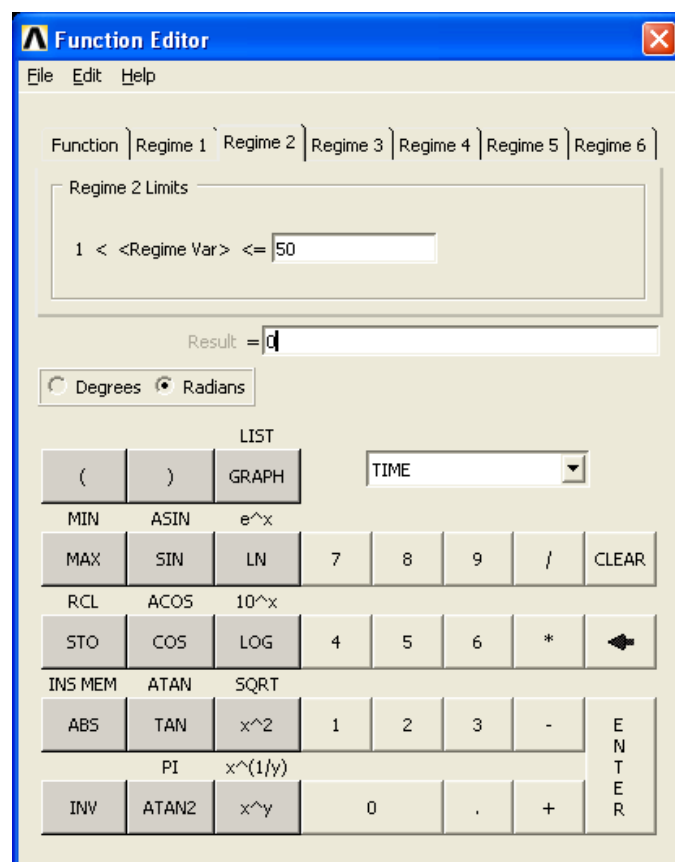
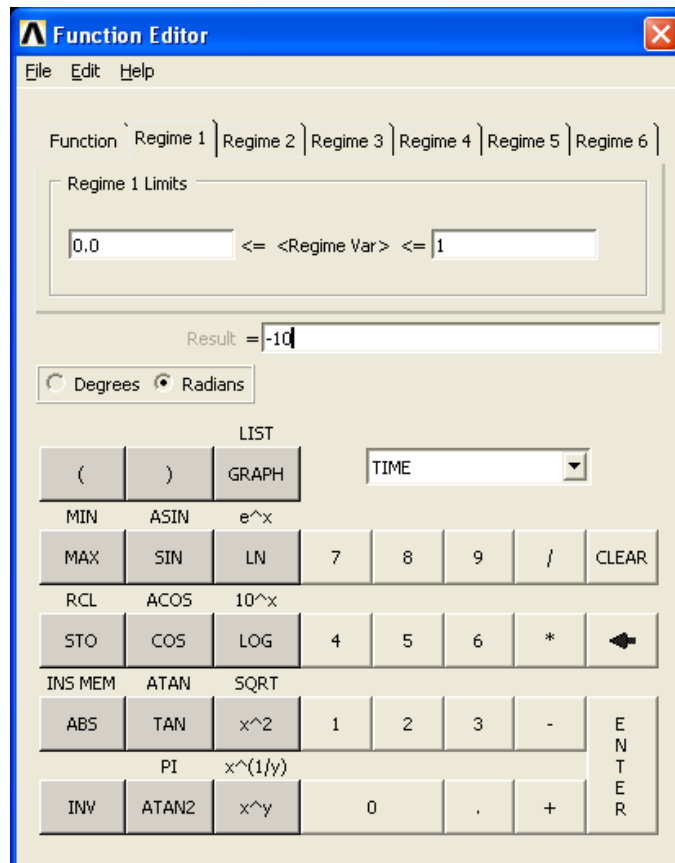
- ✓ Para definir uma função, ir no “Utility Menu”, “Functions”, “Define/Edit”;



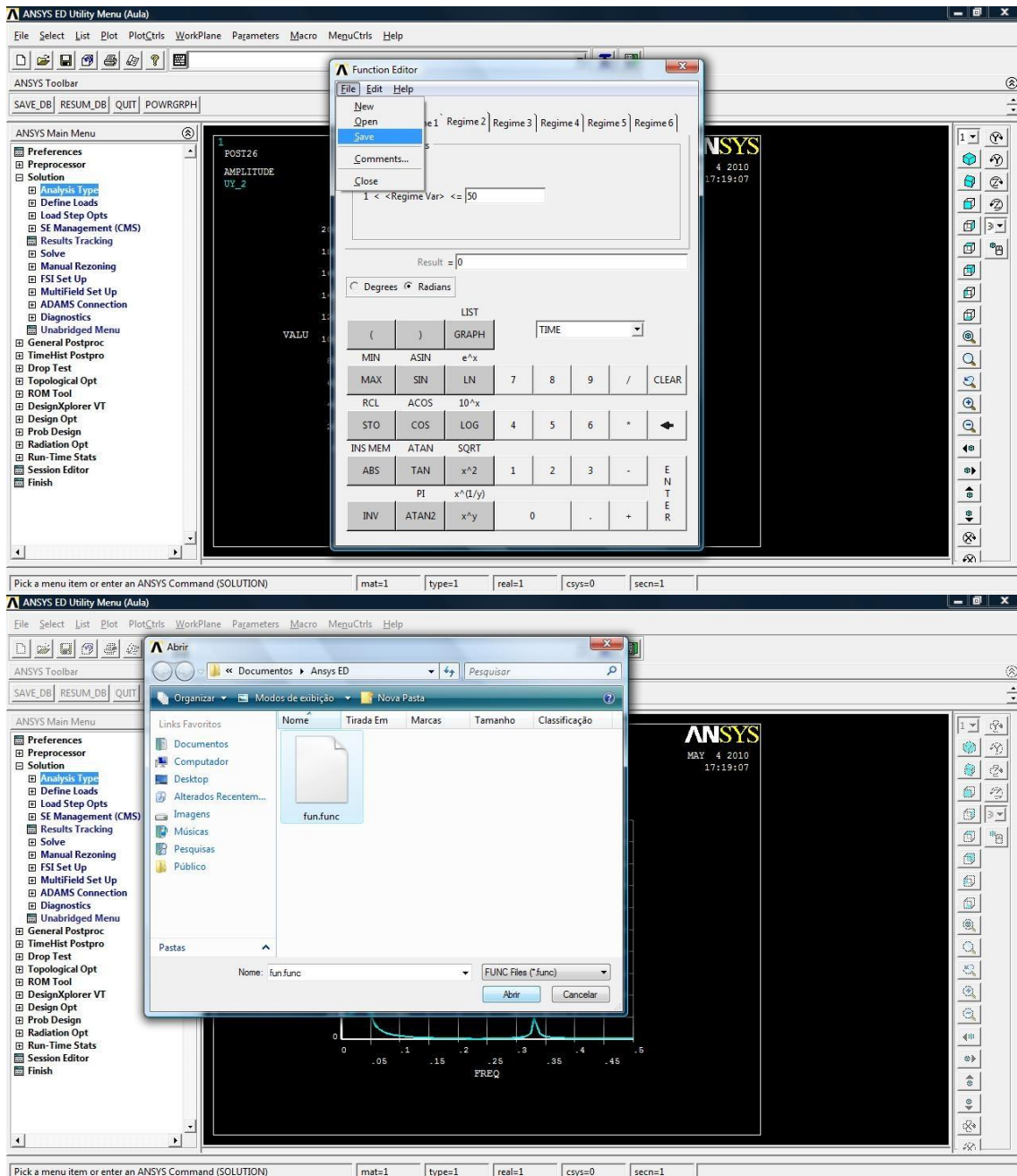
- ✓ A função impulso é descontínua, valendo -10N durante um pequeno período de tempo e 0 no período restante, desta forma, na janela que aparece, deve-se selecionar: “**Multivalued function based on regime variable**”. A variável da função será o tempo, deve-se então selecioná-lo como “**Regime Var**”, da forma que aparece na figura seguinte.



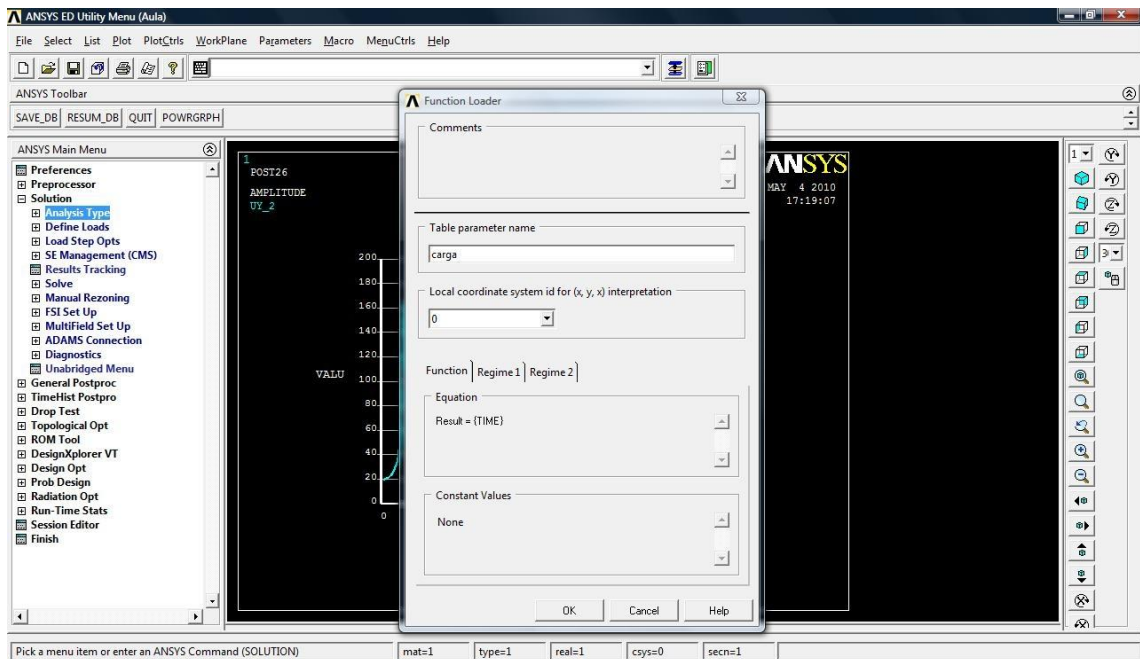
- ✓ A seguir, deve-se definir o valor da função para nos intervalos desejados, como na figura:



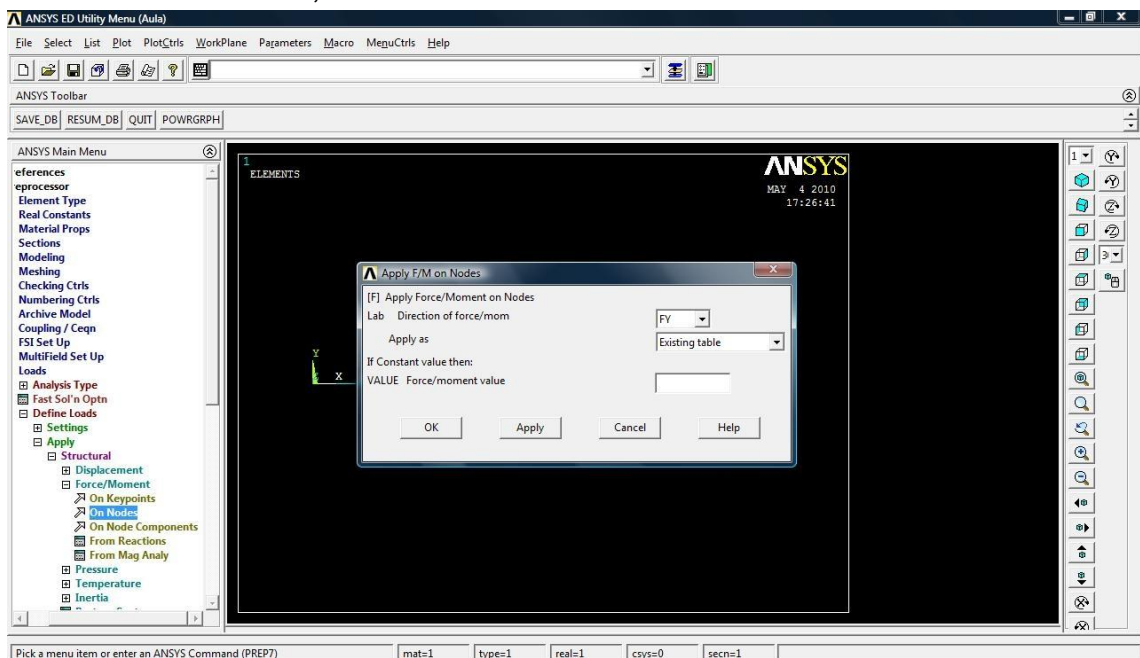
- ✓ Salva-se então a função criada, como padrão, a extensão do arquivo deve ser “.func”;



- ✓ Esta função será agora carregada no programa para que seja aplicada como condição de contorno a seguir. Para tanto, deve-se seleccionar no “Ansys Utility Menu”:
 - **Parameters<Functions<Read From File...**
- ✓ Na janela que aparece deve-se seleccionar o arquivo previamente salvo. Surgirá então uma nova janela, na qual deve-se definir um nome para esta função. O ANSYS trabalha com essa função como sendo uma tabela de parâmetros (‘table parameter’).

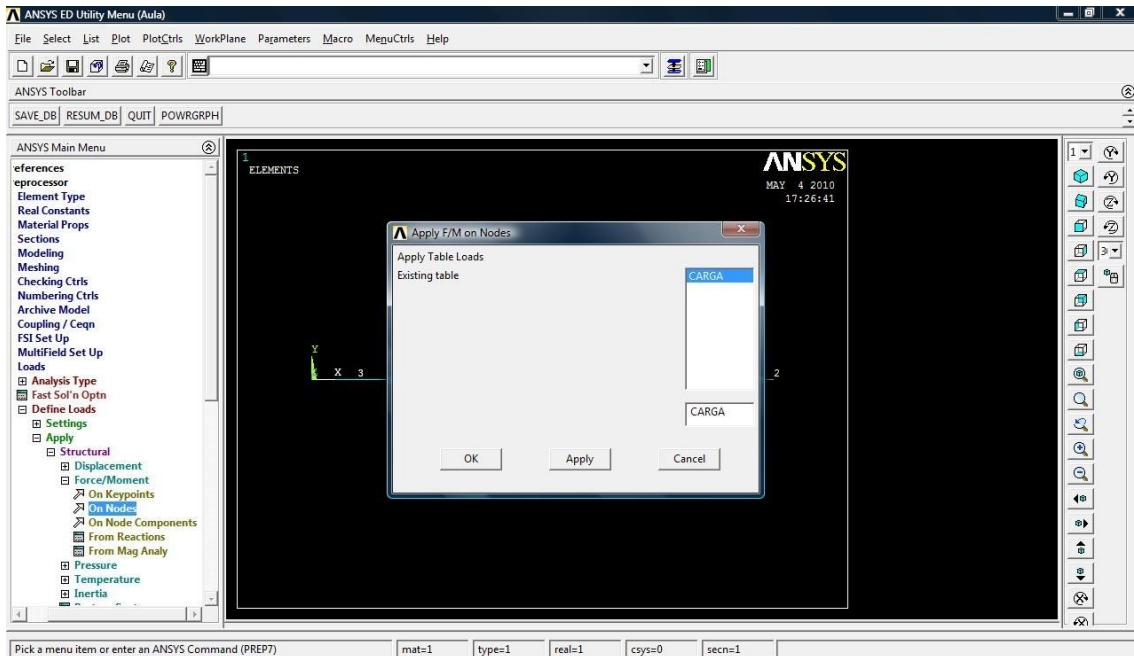


- ✓ Dentro do “Preprocessor” selecionar “Loads”, “Define Loads”, “Apply”, “Structural”, “Force/Moment”, “On Nodes”;
- ✓ Apontar o nó 7 e clicar em “OK”;
- ✓ Na nova janela, inserir:
 - LAB **FY**
 - Apply as **Existing Table**
- ✓ Clicar em “OK”;



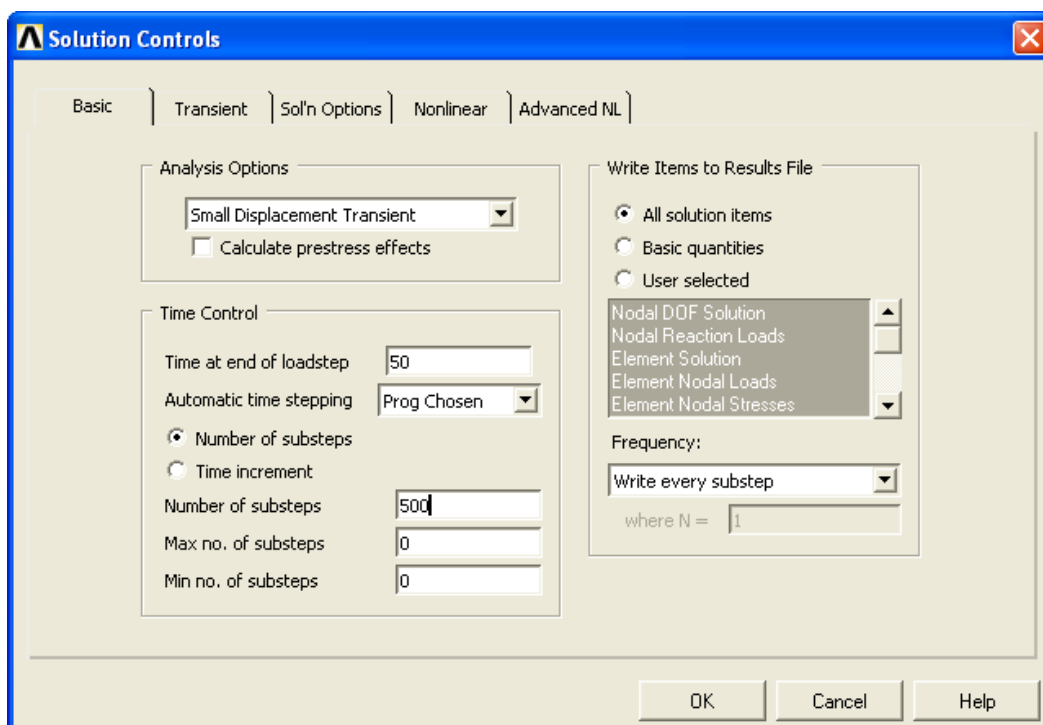
- ✓ Neste caso, ao invés de aplicar um valor constante, a função criada deverá ser aplicada como carregamento, para isso, deve-se selecionar “Existing table” no menu ‘drop-down’ desta janela;

- ✓ Na janela que surge aparecem as tabelas disponíveis, neste caso, somente a tabela recém-carregada deverá aparecer. Confirma-se então esta janela. A carga desejada está agora devidamente aplicada;
- ✓ Selecionar “**CARGA**” e clicar em “OK”;



7.2. Executa a solução:

- ✓ No ANSYS Main Menu dentro do “Solution” clicar em “Analysis Type”, “Sol’n Controls”;
- ✓ Os demais parâmetros da análise serão agora configurados como na figura abaixo:



- ✓ Nesta janela deverá ser definido o tempo total da simulação ('Time at the end of loadstep'), no caso, 50s e o número de passos que o programa deverá executar ('Number of substeps'), que, neste caso foi estipulado em 500. A configuração pode também ser feita definindo o incremento no tempo a cada iteração, neste caso, o número total de passos fica definido implicitamente. Deve-se utilizar a maneira que for mais conveniente em cada caso.
- ✓ Outra configuração que deve ser alterada é em "Write Items to Results File", onde "Frequency" deve ser definida como "Write Every Substep", para que, no pósprocessamento, os dados de todas as iterações estejam disponíveis. Outras configurações podem ser alteradas através desta janela, conforme as necessidades do usuário. Com a análise toda configurada, pode-se mandar o software realizar os cálculos:
- ✓ No ANSYS Main Menu dentro do "Solution" clicar em "Solve", "Current LS" (Resolve o LS atual);
- ✓ Clicar em "OK" (information: solution is done).
- ✓ Na janela "Information: Solution is done" clicar em "CLOSE".
- ✓ No ANSYS Toolbar clicar em "SAVE_DB".

- ✓ Após realizados os cálculos pode-se analisar os resultados na etapa de pós-processamento. Para avaliar a variação da amplitude do nó central da estrutura em função da frequência, através do menu lateral deve-se selecionar as seguintes opções:

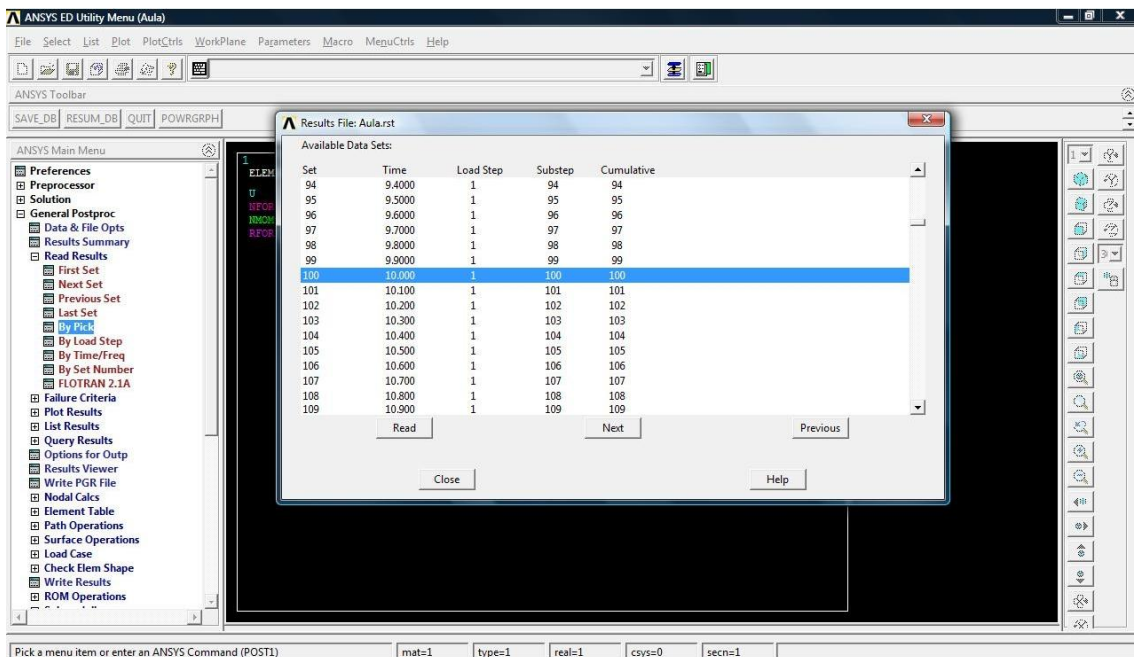
L

8. PÓS PROCESSAMENTO

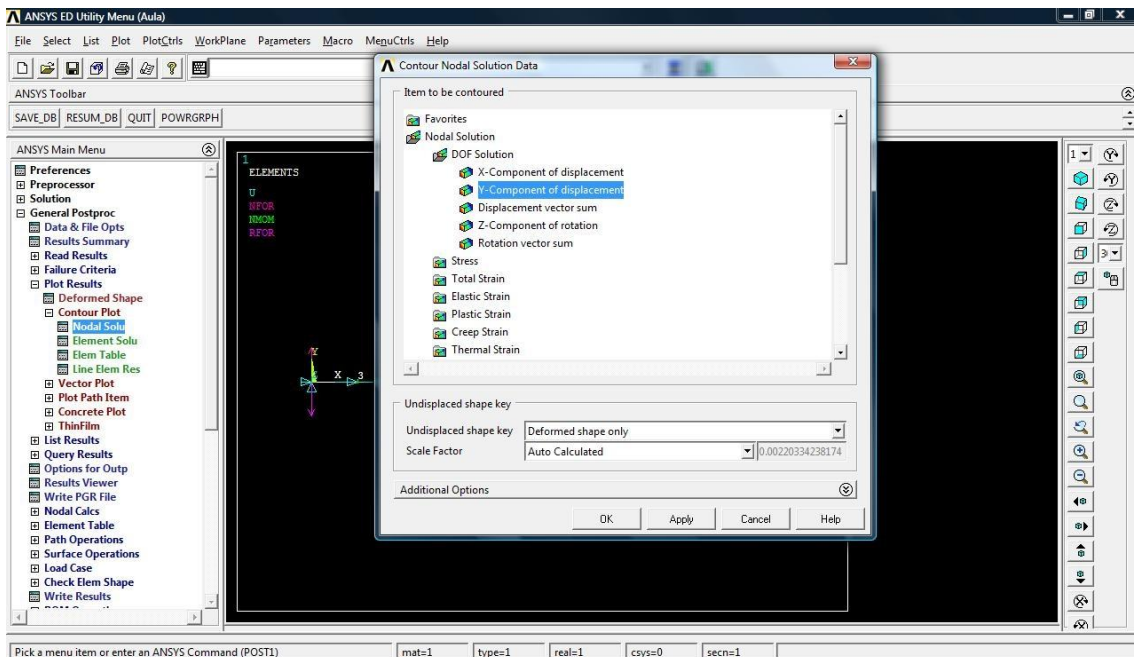
4.1. Gera, lista e plota os resultados:

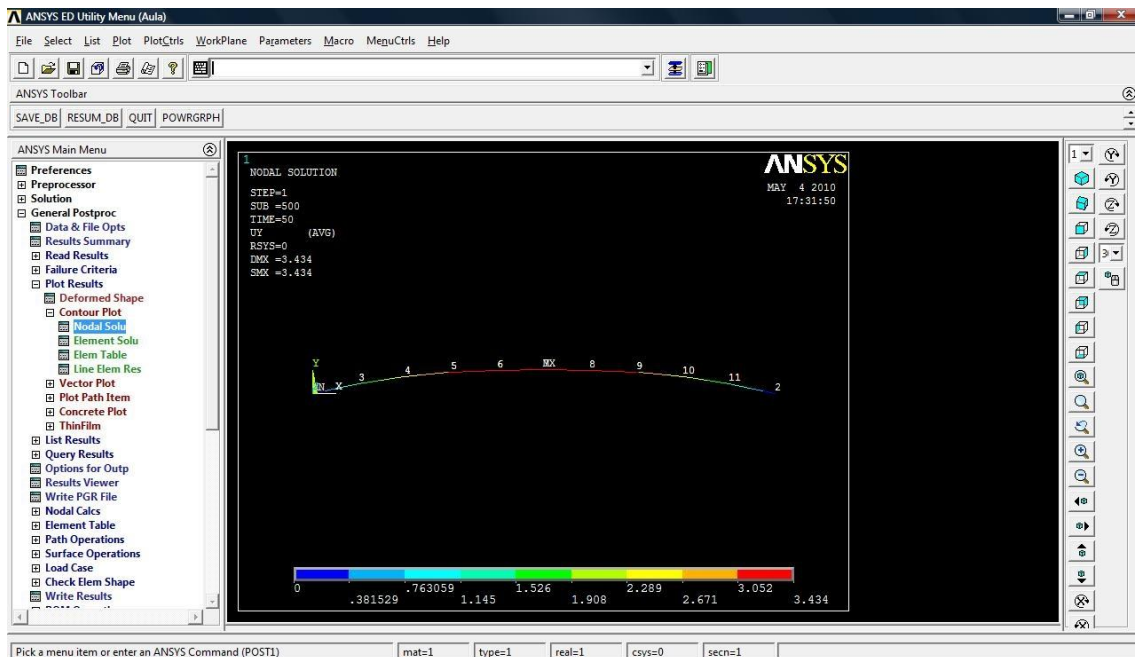
- ✓ Para a plotagem das deformações da estrutura o procedimento é similar ao utilizado na análise harmônica, sendo a variável considerada agora tempo ao invés de frequência;
- ✓ Para plotar as deformações de um determinado substep, procedemos da seguinte maneira;
- ✓ Por exemplo, a deformação para o instante de tempo $t = 10s$, será encontrada da seguinte forma (passo igual a 0,1s, pois o tempo foi variado de 0 a 50s em 500 passos);
- ✓ No "General Postproc", dentro do "Read Results" selecionar "By Pick";
- ✓ Na nova janela, selecionar o substep que se quer plotar o resultado. No caso, vamos plotar a deformação em "Y" para o substep **100**;

- ✓ Clicar em “OK”;

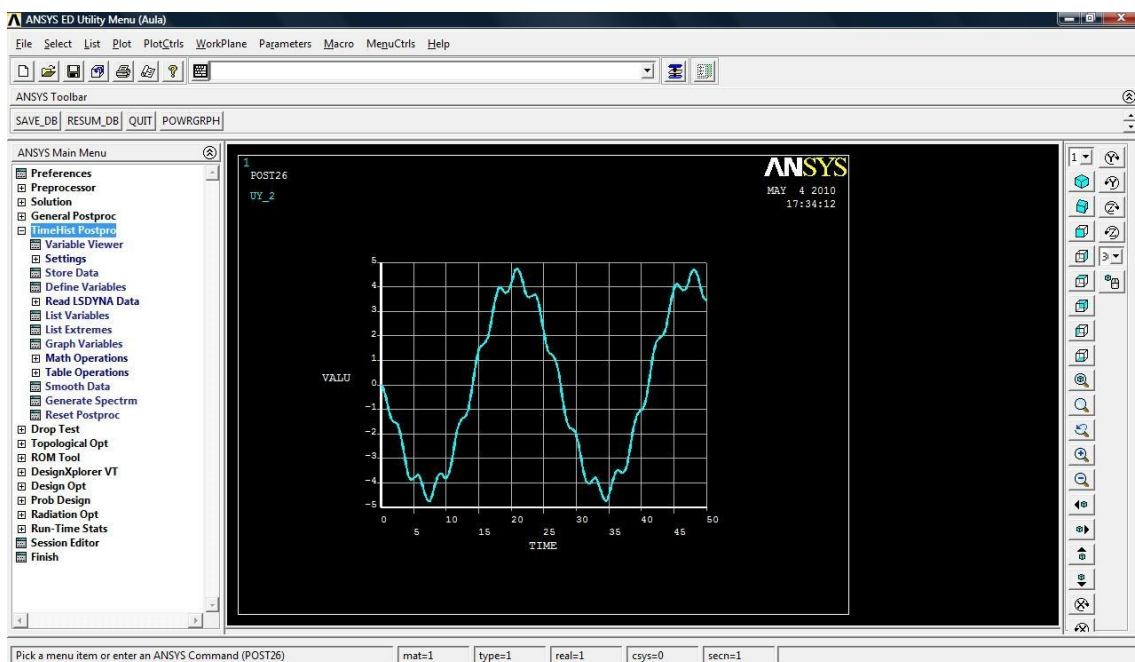


- ✓ No “General Postproc”, dentro do “Plot Results”, “Contour Plot” selecionar “Nodal Solu”;
- ✓ Na nova janela selecionar o grau de liberdade desejado, no caso:
 - **NODAL SOLUTION > DOF Solution > Y- Component of displacement;**
- ✓ Clicar em “OK”;





- ✓ Outra possibilidade é acompanhar a evolução de um determinado parâmetro ao longo do tempo, como por exemplo, os deslocamentos verticais no nó central da viga;
- ✓ Os procedimentos aqui são iguais aos da análise harmônica. Embora numa análise a variável seja frequência, e em outra o tempo, o software faz essas considerações automaticamente, mostrando os resultados em função da variável desejada;
- ✓ Plotando os deslocamentos para o nó central da viga ao longo do tempo, obtemos o seguinte gráfico;



- ✓ Uma opção final bastante interessante para visualizar os resultados é montar uma animação com as deformações da estrutura ao longo das iterações. Para tanto, seleciona-se no menu superior do software
- ✓ **PlotCtrls > Animate > Over Time...**
- ✓ Aparece uma janela onde é possível configurar os parâmetros necessários à montagem da animação. No final, um arquivo com extensão “.avi” é gravado no diretório de trabalho. É interessante ver a animação a partir do arquivo de vídeo gravado, uma vez que a animação que o ANSYS mostra na sua janela pode não conter todos os quadros gerados.

Opções de vídeo no ANSYS

Por fim, para a impressão de gráficos e figuras gerados pelo ANSYS é recomendável mudar sua coloração de fundo, que inicialmente é preto ou então sombreado azul. Para retirar quaisquer efeitos de sombreamento no fundo das telas, no menu superior deve-se cancelar todas opções que estiverem ativas, em:

PlotCtrls > Style > Background

Para inverter as cores da tela, colocando o fundo branco;

PlotCtrls > Style > Colors > Reverse Video

Uma última dica útil é para a captura de telas no software, através de;

PlotCtrls > Capture Image

Este comando captura a imagem que estiver na janela principal do programa, tornando mais ágil este processo.

9. SALVANDO ARQUIVOS E SAINDO DO PROGRAMA:

- ✓ No ANSYS Tollbar, clicar em “SAVE_DB” para salvar no Data Base;
- ✓ Ainda no ANSYS Toolbar, clicar em “QUIT”;
- ✓ Na nova janela, selecionar a opção “Save everything” e clicar em “OK”.