



2010

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



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



**ANÁLISE DINÂMICA DE
TRELIÇAS**

ANÁLISE DINÂMICA DE TRELIÇAS

INTRODUÇÃO

Este material tem como objetivo apresentar exemplos e discutir resultados de análises dinâmicas de algumas estruturas de barras utilizando o Método dos Elementos Finitos através da versão educacional do software Ansys 9.0.

Análise Modal de Trelíça Plana

O exemplo apresentado a seguir visa o estudo das características dinâmicas de uma trelíça plana. Estas características são as frequências naturais e os modos de vibração natural da estrutura que são obtidos através da chamada análise modal. Trata-se de uma trelíça plana formando um cavalete com 6 metros de altura e 2 metros de largura. A figura 1 apresenta a geometria e o modelo de elementos finitos para esta trelíça com contraventamento tipo K.

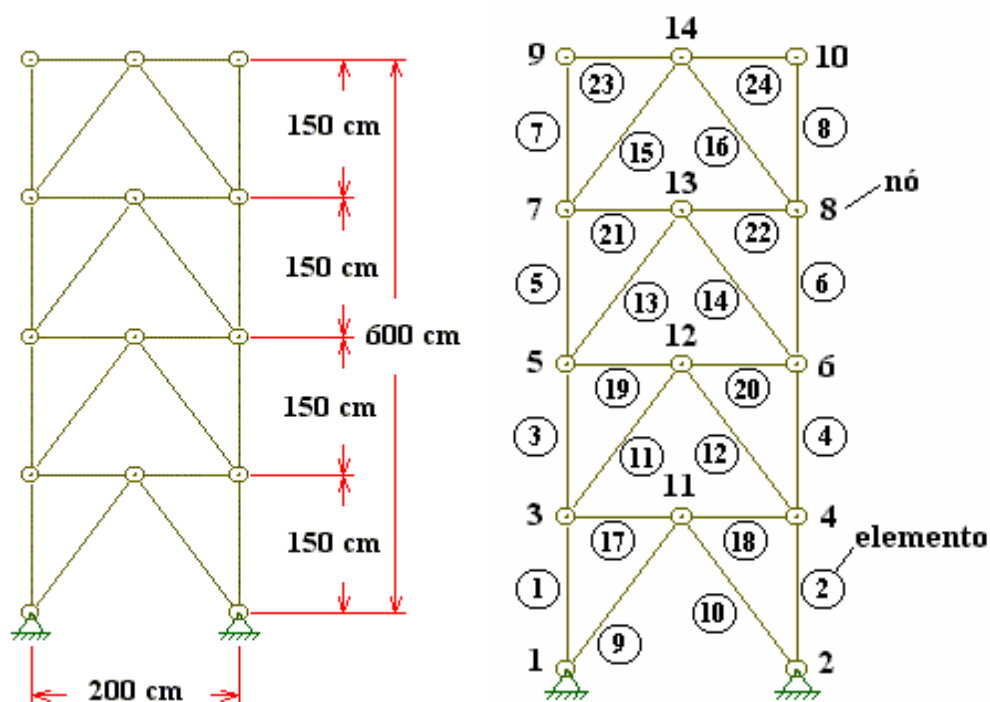


Figura 1 – Geometria e malha de elementos finitos utilizada.

Na análise modal, a geração do modelo é idêntica a executada em uma análise estática. Apenas os carregamentos não são fornecidos, pois, seriam desprezados na análise modal.

PROPRIEDADES GEOMÉTRICAS

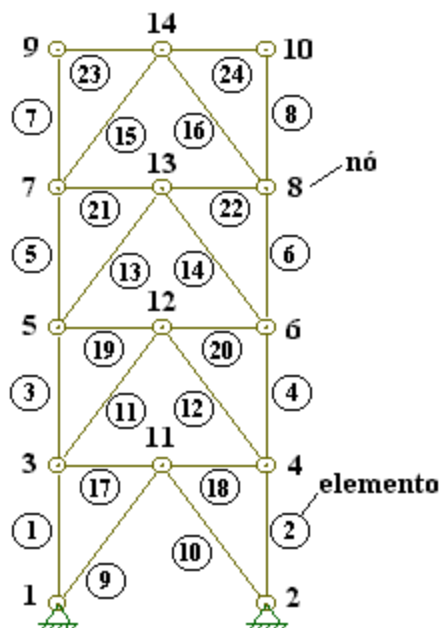
- Área das seções transversais das barras que compõe as colunas (montantes): $9.27\text{E-}4$ [m²] (L 76.2 x 6.35);
- Área das seções transversais das diagonais: $7.66\text{E-}4$ [m²] (L 63.5 x 6.35).

PROPRIEDADES DOS MATERIAIS

- Módulo de elasticidade do material das barras: $2.05\text{E}11$ [N/m²] (aço estrutural);
- Densidade volumétrica: 7850 Kg/m³ (aço estrutural).

COMANDOS ANSYS®9.0ED

A) CONTRAVENTAMENTO TIPO K:



A

1. INÍCIO DA ANÁLISE

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

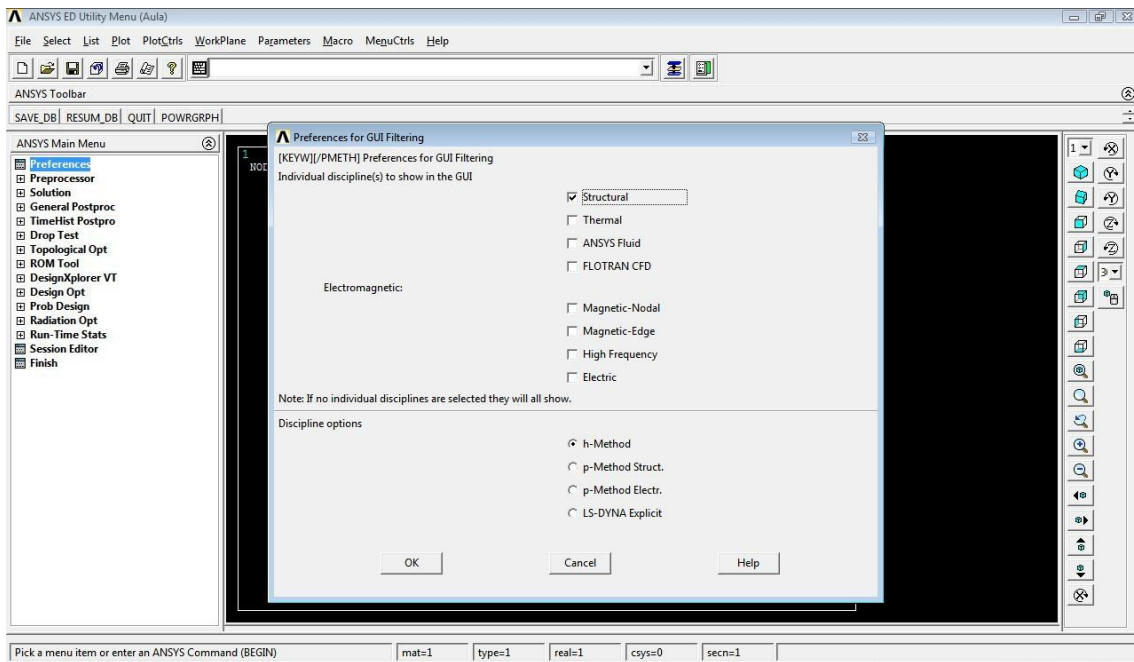
- ✓ No ANSYS Utility Menu clicar em file e acessar a opção “Change Title...”;
- ✓ Na nova janela que aparecer, digitar novo título: “**Análise modal – treliça 1**”;
- ✓ Clicar em OK.

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: “Trelica1”;
- ✓ 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.



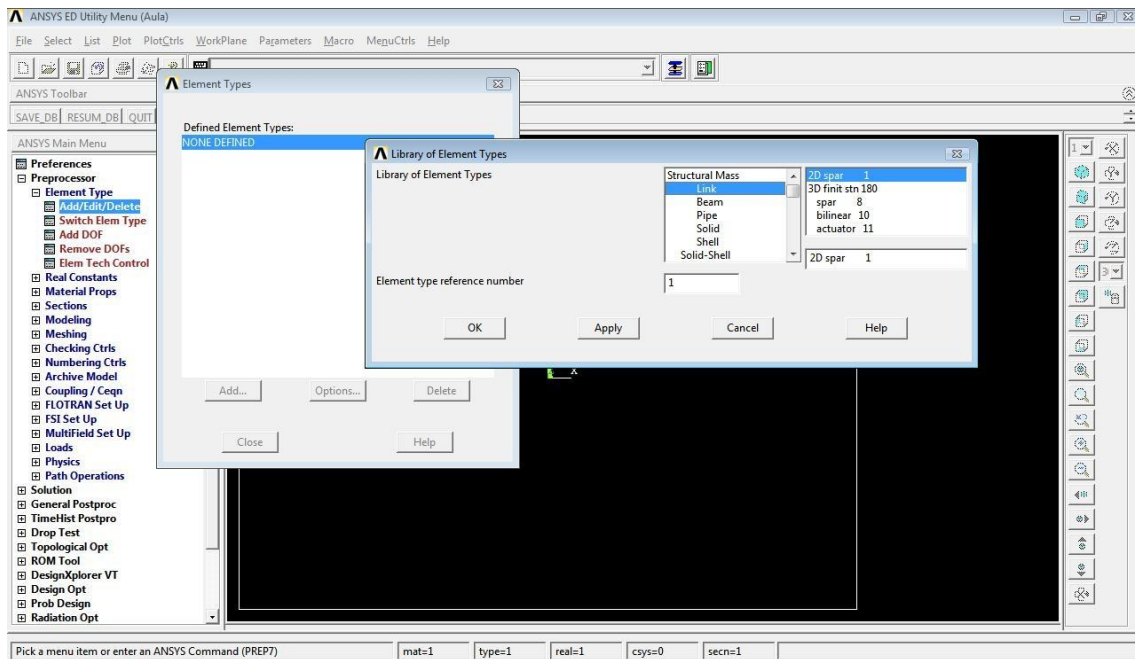
2. ENTRA NA FASE DE PRÉ-PROCESSAMENTO

- ✓ 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 “Link”, “2D spar 1” e clicar em OK.



C

2.2. *Defina as constantes geométricas da seção das barras que compõem o 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 LINK 1) e clicar em OK;
- ✓ A janela “Real Constants Set Number 1, for LINK 1” irá aparecer. Deve-se inserir:
 - Real Constant Set No. = 1
 - Cross-sectional Area **AREA = 9.27E-4**
- ✓ Clicar em “Apply”.
- ✓ A janela “Real Constants Set Number 1, for LINK 1” irá aparecer. Deve-se inserir:
 - Real Constant Set No. = 2
 - Cross-sectional Area **AREA = 7.66E-4**
- ✓ Clicar em “OK”;
- ✓ Verificar na janela “Real Constants” se as duas constantes de seção geométrica, “Set 1” e “Set 2” foram criadas;
- ✓ Clicar em “CLOSE”.

2.3. **Define as propriedades do material que compõe as barras:**

- ✓ 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 = **2.05E11**;
- ✓ Na janela, para o “Material Model Number 1”, no quadro “Material Models Available” selecionar: “Structural>Density”;
- ✓ Dar um duplo clique em “Density” e inserir;
 - DENS **7850**;
- ✓ Clicar em “OK” e fechar a janela do “Material Props”;

2.4. **Cria o modelo geométrico:**

2.4.1. *Cria os nós que compõe a malha de elementos finitos no sistema de coordenadas ativo:*

- ✓ Dentro do “Preprocessor” selecionar “Modeling”, “Create”, “Nodes”, “In Active CS”;
- ✓ Na nova janela que abrir, inserir um número para o nó que será criado em “NODE Node Number” e as coordenadas X e Y;
- ✓ Para criar o primeiro nó:
 - NODE Node Number : **1**;
 - X,Y,Z Location in active CS : **X = 0 Y = 0**;
- ✓ Clicar em “APPLY”;
- ✓ Para criar o próximo nó:
 - NODE Node Number : **9**;
 - X,Y,Z Location in active CS : **X = 0 Y = 6**;
- ✓ Clicar em “OK”;
- ✓ Dentro do “Preprocessor” selecionar “Modeling”, “Create”, “Nodes”, “Fill Between Nodes” (esta ferramenta serve para criar nós entre nós preexistentes);
- ✓ Na nova janela que abrir, apontar os nós **1 e 9**, anteriormente criados, e clicar em “OK”;
- ✓ Uma nova janela se abrirá. Então determinar:

- NFILL (número de nós a serem criados entre os nós selecionados) = **3**;
- NINC (Inc. between filled nodes) = **2**;
- SPACE (Spacing ratio) = **1**.
- ✓ Clicar em “OK” e os nós 3, 5 e 7 serão criados entre os nós 1 e 9.

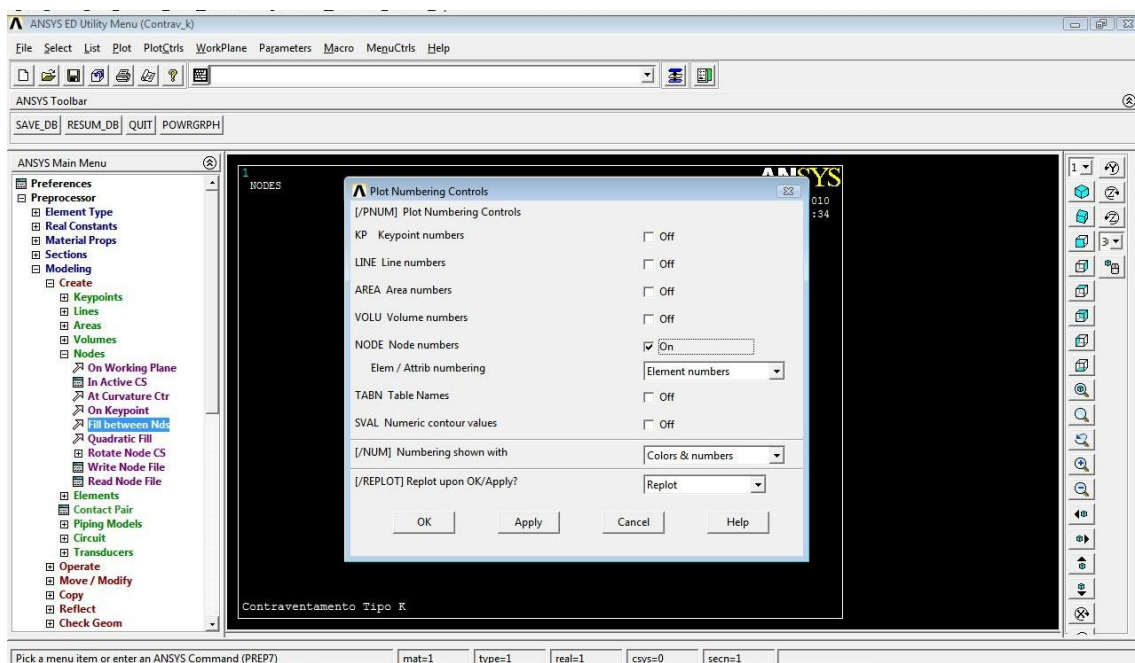
- ✓ Dentro do “Preprocessor” selecionar “Modeling”, “Create”, “Nodes”, “In Active CS”;
- ✓ Para criar o próximo nó:
 - NODE Node Number: **2**;
 - X,Y,Z Location in active CS : **X = 2** **Y = 0**;
- ✓ Clicar em “APLY”;
- ✓ Para criar o próximo nó:
 - NODE Node Number: **10**;
 - X,Y,Z Location in active CS : **X = 2** **Y = 6**;
- ✓ Clicar em “OK”;
- ✓ Dentro do “Preprocessor” selecionar “Modeling”, “Create”, “Nodes”, “Fill Between Nodes”;
- ✓ Na nova janela que abrir, apontar os nós **2 e 10**, anteriormente criados, e clicar em “OK”;
- ✓ Uma nova janela se abrirá. Então determinar:
 - NFILL (número de nós a serem criados entre os nós selecionados) = **3**;
 - NINC (Inc. between filled nodes) = **2**;
 - SPACE (Spacing Ratio) = **1**.
- ✓ Clicar em “OK” e os nós 4, 6 e 8 serão criados entre os nós 2 e 10.
- ✓ Dentro do “Preprocessor” selecionar “Modeling”, “Create”, “Nodes”, “In Active CS”;
- ✓ Para criar o próximo nó:
 - NODE Node Number: **11**;
 - X,Y,Z Location in active CS : **X = 1** **Y = 1.5**;
- ✓ Clicar em “APLY”;
- ✓ Para criar o próximo nó:
 - NODE Node Number: **14**;
 - X,Y,Z Location in active CS : **X = 1** **Y = 6**;
- ✓ Clicar em “OK”;
- ✓ Dentro do “Preprocessor” selecionar “Modeling”, “Create”, “Nodes”, “Fill Between Nodes”;
- ✓ Na nova janela que abrir, apontar os nós **11 e 14** anteriormente criados, e clicar em “OK”;
- ✓ Uma nova janela se abrirá. Então determinar:

- NFILL (número de nós a serem criados entre os nós selecionados) = 2;
- NINC (Inc. between filled nodes) = 1;
- SPACE (Spacing Ratio) = 1.

Clicar em “OK” e os nós 12 e 13 serão criados entre os nós 11 e 14.

2.4.2. Numera os nós e elementos:

- ✓ No ANSYS Utility Menu clicar em “PlotCtrls” e acessar a opção “Numbering”;
- ✓ Na nova janela que aparecer, selecionar:
 - NODE Node Numbers **ON**
 - Elem-Attrib numbering **Element Numbers**
- ✓ Clicar em “OK”.



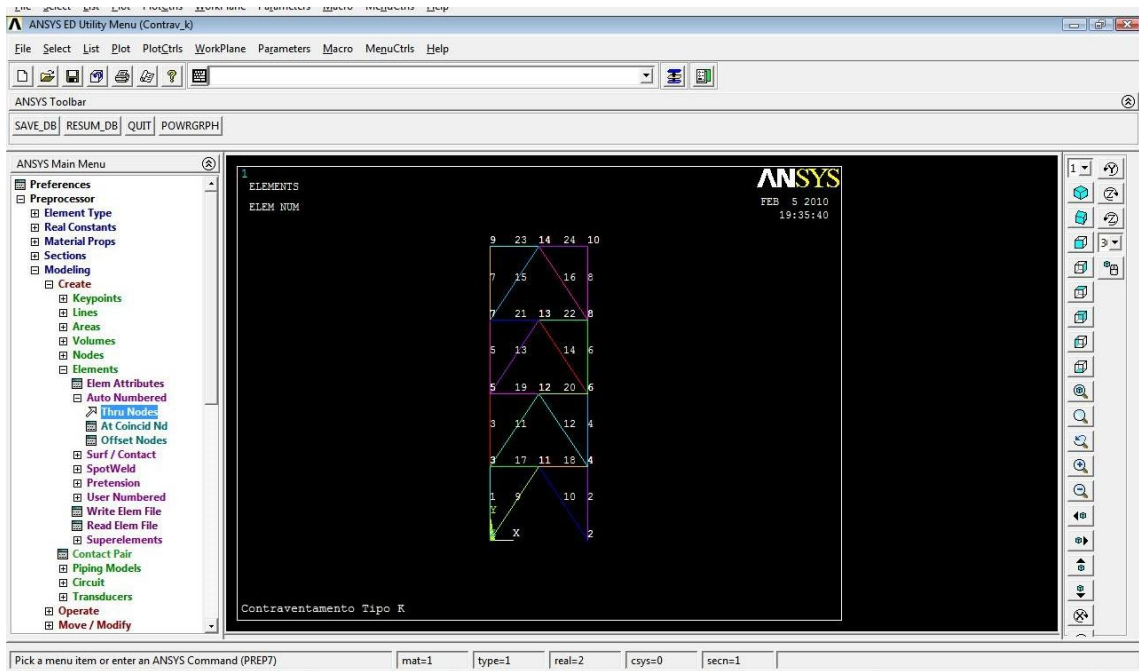
2.4.3. Cria os elementos:

- ✓ Dentro do “Preprocessor” selecionar “Modeling”, “Create”, “Elements”, “Elements Attributes” para selecionar qual dos atributos definidos nos itens 2.2 e 2.3 devem ser inseridos nos elementos que serão criados;
- ✓ Na nova janela que abrir escolher:
 - TYPE **1**
 - MAT **1**
 - REAL **1**
- ✓ Clicar em “OK”.
- ✓ Para criar os elementos: dentro do “Preprocessor” selecionar “Modeling”, “Create”, “Elements”, “Auto Numbered”, “Thru Nodes”;
- ✓ Na nova janela que abrir, apontar os nós **1 e 3** e clicar em “APPLY” (então o elemento “1” será criado entre os nós 1 e 3);
- ✓ Apontar nós **2 e 4** e clicar em “APPLY”;

- ✓ Apontar nós **3 e 5** e clicar em “APPLY”;
- ✓ Apontar nós **4 e 6** e clicar em “APPLY”;
- ✓ Apontar nós **5 e 7** e clicar em “APPLY”;
- ✓ Apontar nós **6 e 8** e clicar em “APPLY”;
- ✓ Apontar nós **7 e 9** e clicar em “APPLY”;
- ✓ Apontar nós **8 e 10** e clicar em “OK”;

- ✓ Dentro do “Preprocessor” selecionar “Modeling”, “Create”, “Elements”, “Elements Attributes” para modificar os atributos dos elementos a serem criados na seqüência (as diagonais da torre);
- ✓ Na nova janela que abrir escolher:
 - TYPE **1**
 - MAT **1**
 - REAL **2**
- ✓ Clicar em “OK”.

- ✓ Para criar os elementos que compõe as diagonais da torre: dentro do “Preprocessor” selecionar “Modeling”, “Create”, “Elements”, “Auto Numbered”, “Thru Nodes”;
- ✓ Na nova janela que aparecer apontar os nós **1 e 11** e clicar em “APPLY”;
- ✓ Apontar os nós **2 e 11** e clicar em “APPLY”;
- ✓ Apontar os nós **3 e 12** e clicar em “APPLY”;
- ✓ Apontar os nós **4 e 12** e clicar em “APPLY”;
- ✓ Apontar os nós **5 e 13** e clicar em “APPLY”;
- ✓ Apontar os nós **6 e 13** e clicar em “APPLY”;
- ✓ Apontar os nós **7 e 14** e clicar em “APPLY”;
- ✓ Apontar os nós **8 e 14** e clicar em “APPLY”;
- ✓ Apontar os nós **3 e 11** e clicar em “APPLY”;
- ✓ Apontar os nós **4 e 11** e clicar em “APPLY”;
- ✓ Apontar os nós **5 e 12** e clicar em “APPLY”;
- ✓ Apontar os nós **6 e 12** e clicar em “APPLY”;
- ✓ Apontar os nós **7 e 13** e clicar em “APPLY”;
- ✓ Apontar os nós **8 e 13** e clicar em “APPLY”;
- ✓ Apontar os nós **9 e 14** e clicar em “APPLY”;
- ✓ Apontar os nós **10 e 14** e clicar em “OK”;
- ✓ A geometria da torre está pronta.

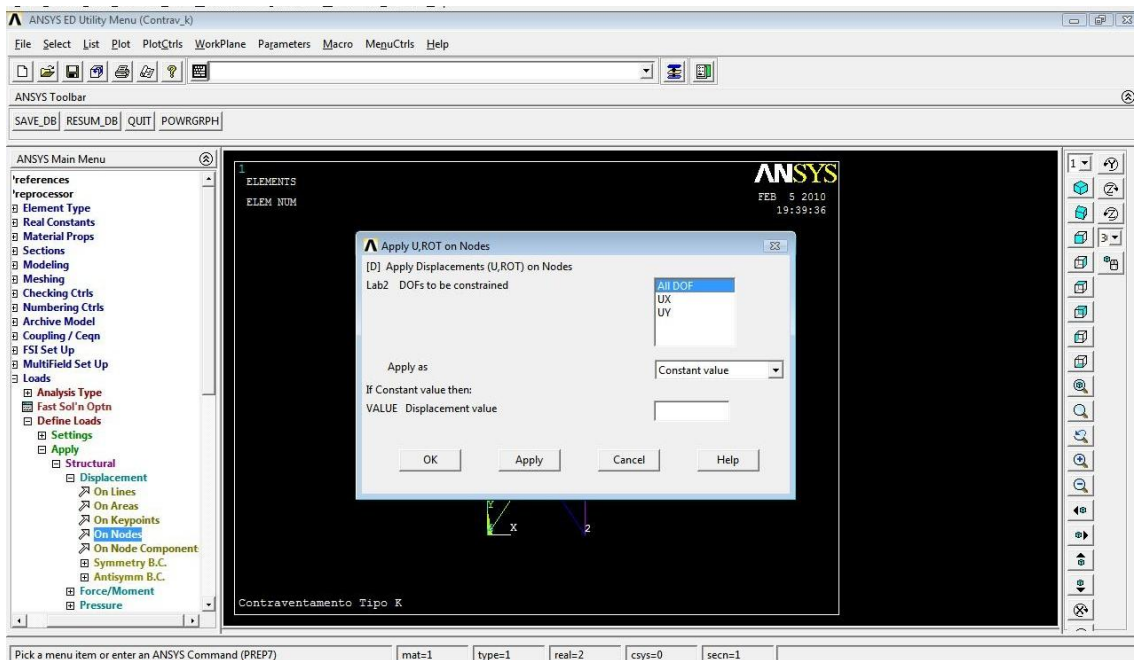


F

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 “**ALL DOF**” (irá restringir o movimento do nó 1 em todas as direções) 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 “ALL DOF” (irá restringir o movimento do nó 2 em todas as direções) e clicar em “OK”;

2.5.2. Salvando dados no arquivo *trelica1.db*

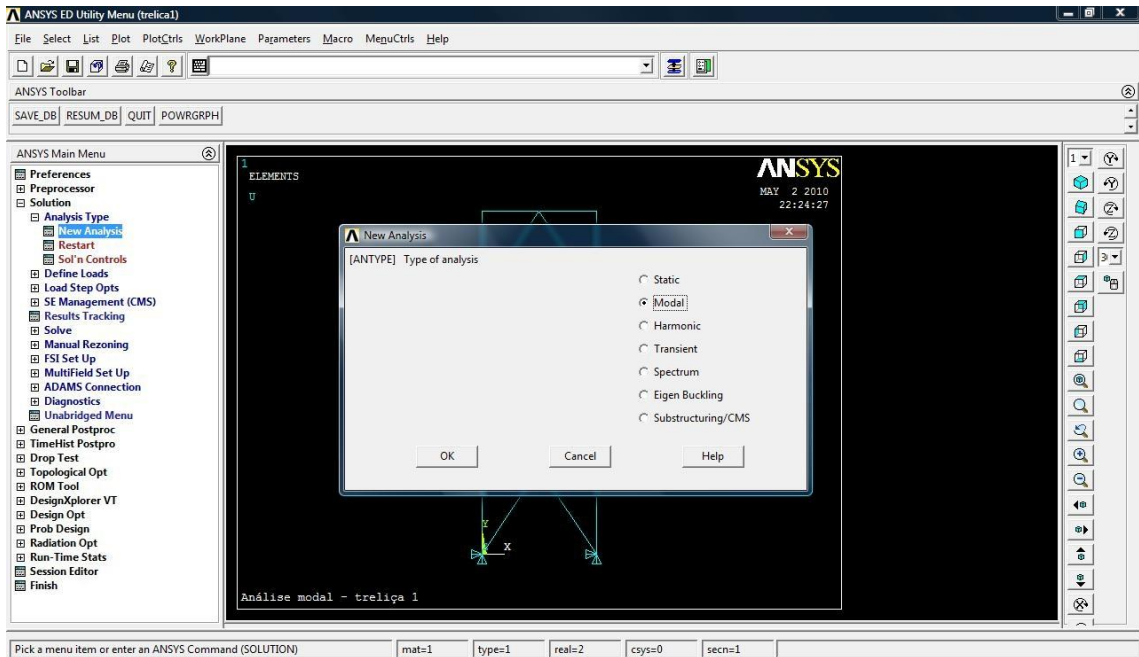
- ✓ No ANSYS Toolbar clicar em “SAVE_DB”.

G

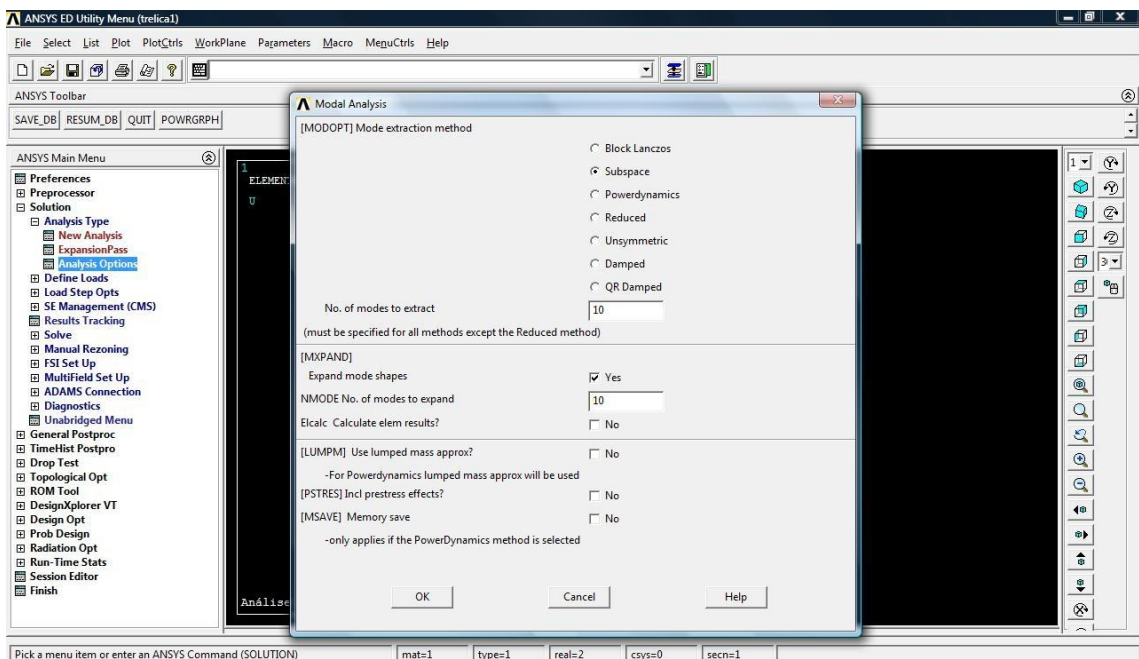
3. SOLUÇÃO

3.1. Escolha dos parâmetros da análise modal:

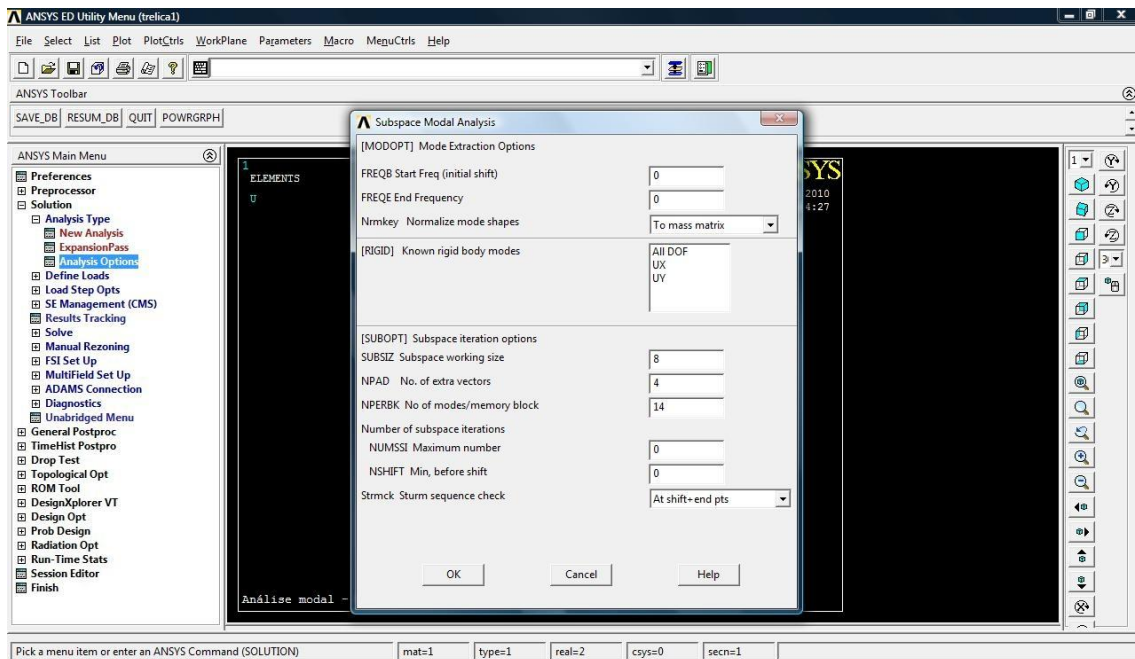
- ✓ No ANSYS Main Menu dentro do “Solution” clicar em “Analysis Type”, “New Analysis”;
- ✓ Na nova janela selecionar a opção “Modal e clicar em “OK”;



- ✓ No ANSYS Main Menu dentro do “Solution” clicar em “Analysis Type”, “Analysis Options”;
- ✓ Na nova janela selecionar:
 - [MODOPT] **Subspace**
 - No. of modes to extract **10**
 - [MXPAND]
 - Expand mode shapes **Yes**
 - NMODE **10**
- ✓ Clicar em “OK”;



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



3.2. Executa a solução:

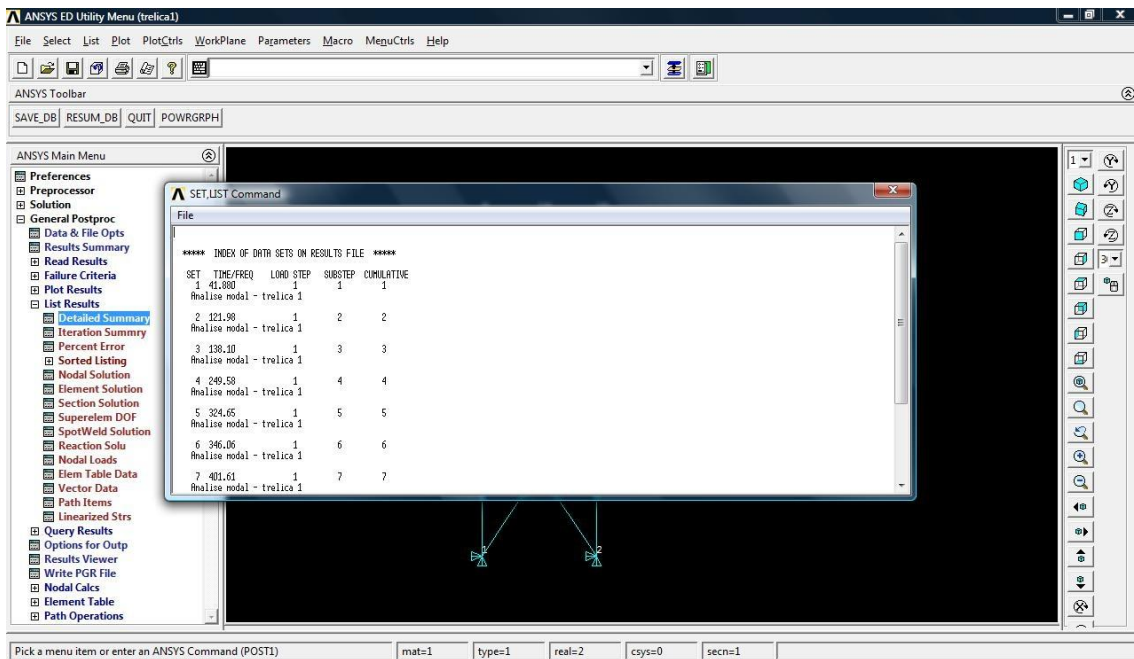
- ✓ No ANSYS Main Menu dentro do “Solution” clicar em “Solve”, “Current LS” (Resolve o LS atual);
- ✓ Clicar em “OK” (information: solution is done).
- ✓ Na janela “Information: Solution is done” clicar em “CLOSE”.
- ✓ No ANSYS Toolbar clicar em “SAVE_DB”.

H

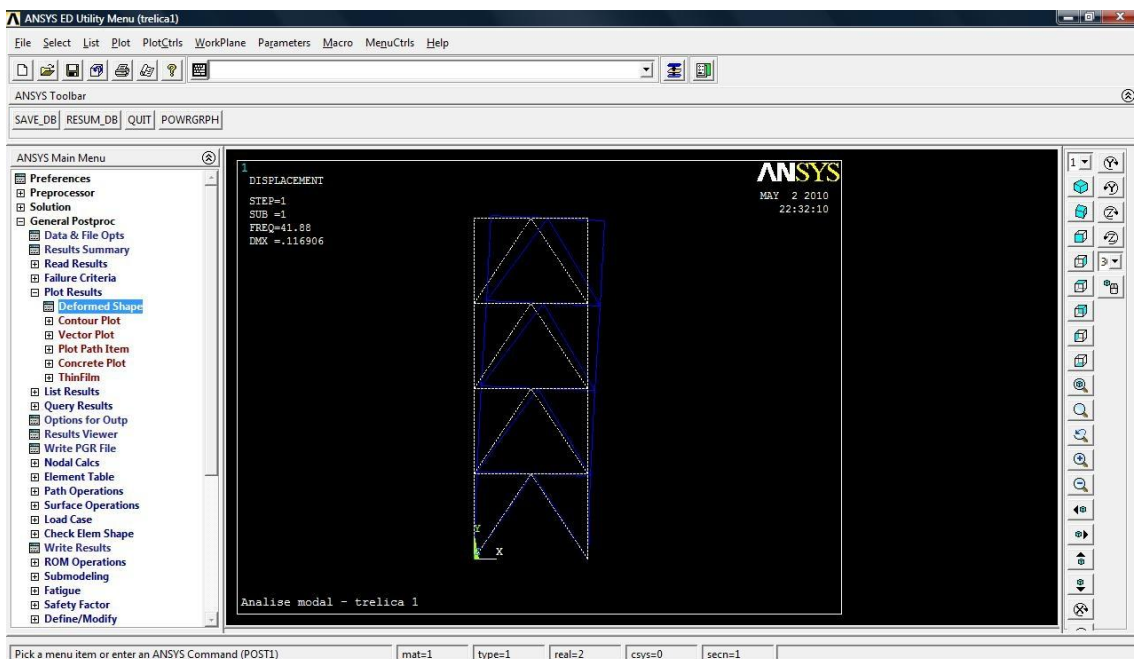
4. PÓS PROCESSAMENTO

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;

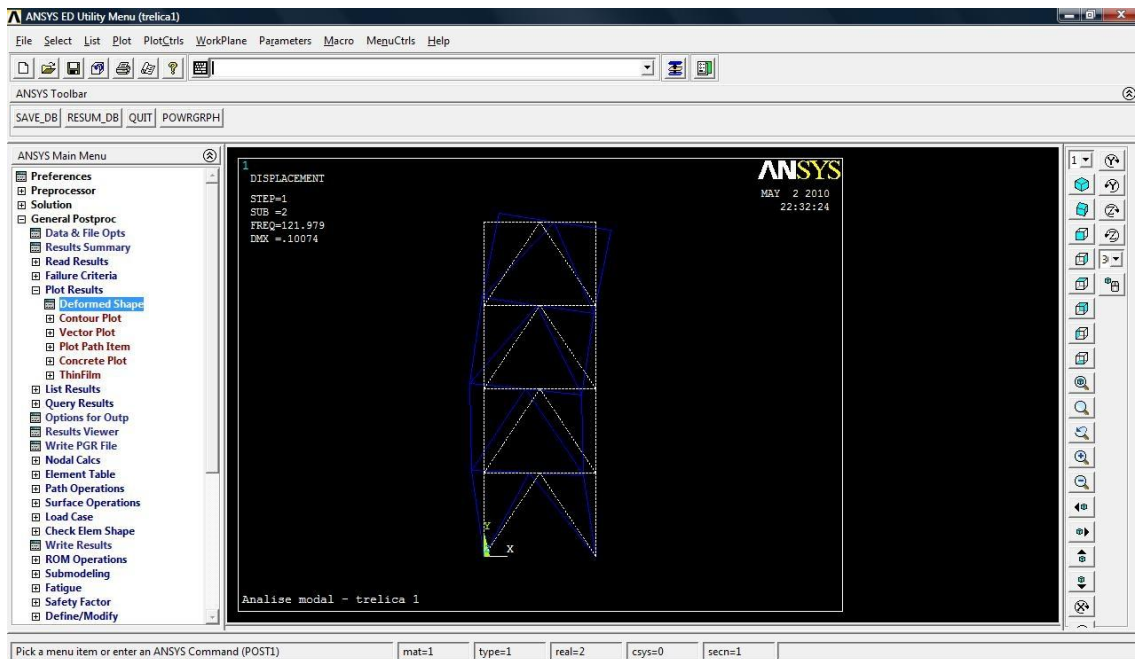


- ✓ Cada modo de vibração é armazenado como um caso de carga independente;
- ✓ No ANSYS Main Menu dentro do “General Postproc” clicar em “Read Results”, “First Set” para carregar o primeiro caso de carga;
- ✓ No ANSYS Main Menu dentro do “General Postproc” clicar em “Plot Results”, “Deformed Shape” para visualizar a configuração deformada da estrutura;
- ✓ Na janela “Plot Deformed Shape”, selecionar a opção “Def+undeformed” e clicar em “OK” para ver a deformada do primeiro modo de vibração;

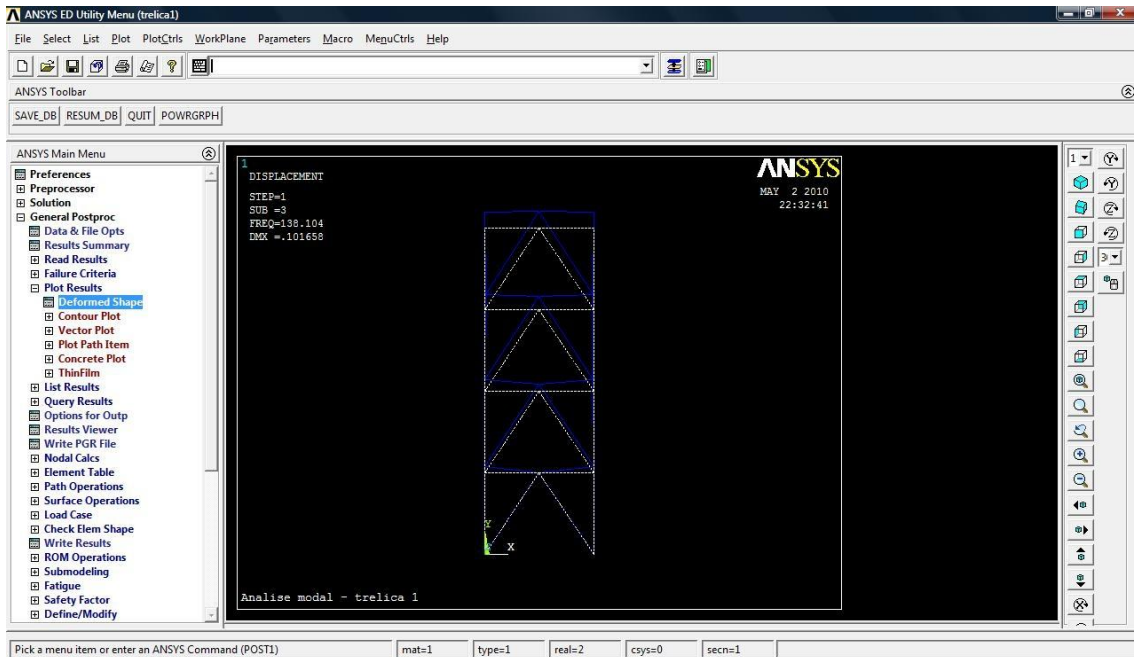


- ✓ No ANSYS Main Menu dentro do “General Postproc” clicar em “Read Results”, “Next Set” para carregar o próximo caso de carga;

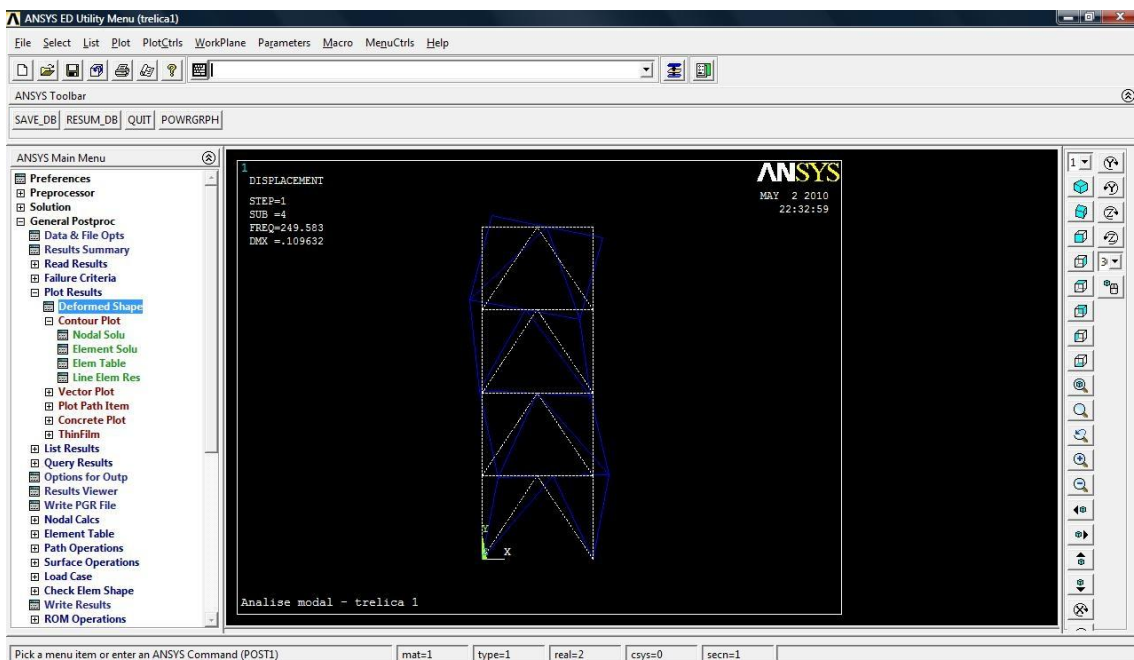
- ✓ No ANSYS Main Menu dentro do “General Postproc” clicar em “Plot Results”, “Deformed Shape” para visualizar a configuração deformada da estrutura;
- ✓ Na janela “Plot Deformed Shape”, selecionar a opção “Def+undeformed” e clicar em “OK” para ver a deformada do segundo modo de vibração;



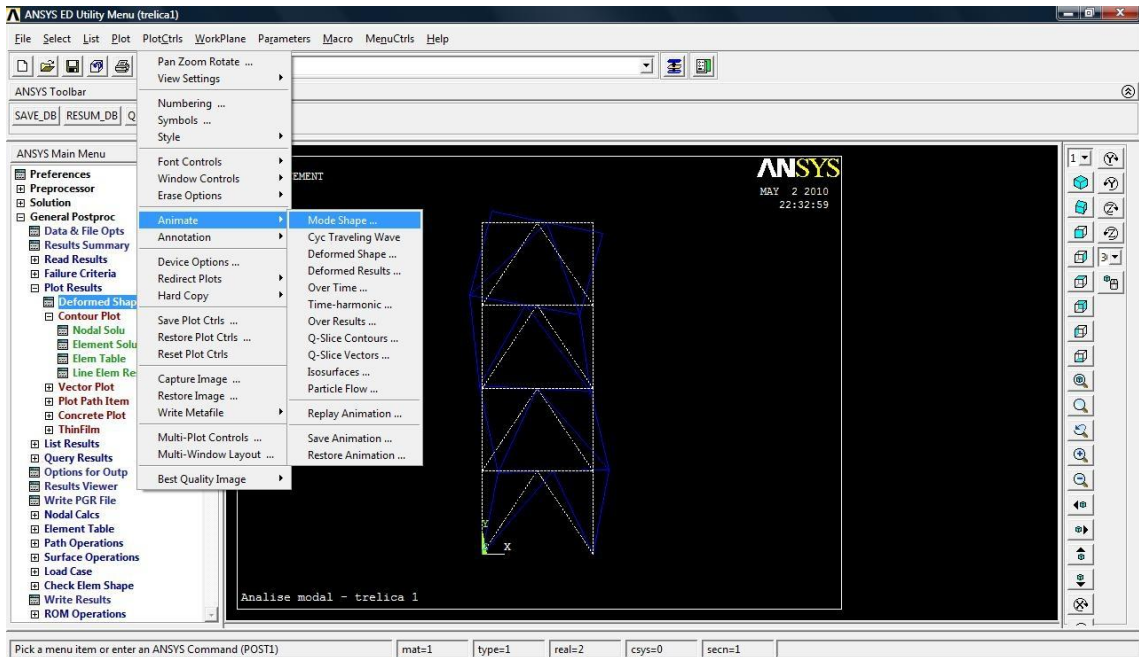
- ✓ No ANSYS Main Menu dentro do “General Postproc” clicar em “Read Results”, “Next Set” para carregar o próximo caso de carga;
- ✓ No ANSYS Main Menu dentro do “General Postproc” clicar em “Plot Results”, “Deformed Shape” para visualizar a configuração deformada da estrutura;
- ✓ Na janela “Plot Deformed Shape”, selecionar a opção “Def+undeformed” e clicar em “OK” para ver a deformada do terceiro modo de vibração;



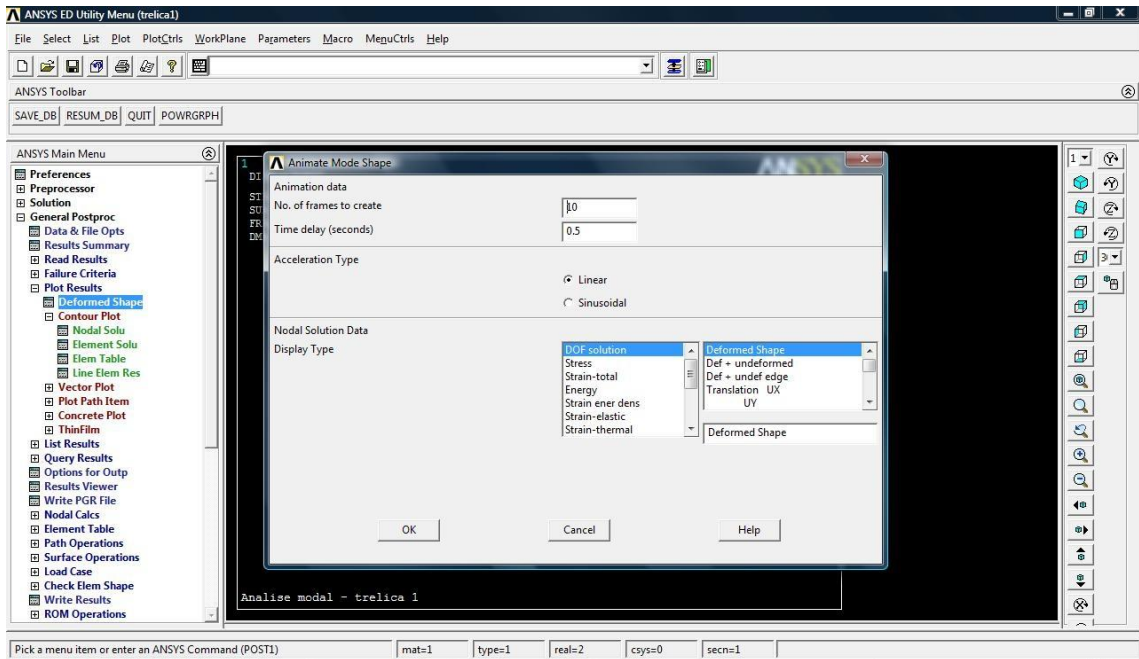
- ✓ No ANSYS Main Menu dentro do “General Postproc” clicar em “Read Results”, “Next Set” para carregar o próximo caso de carga;
- ✓ No ANSYS Main Menu dentro do “General Postproc” clicar em “Plot Results”, “Deformed Shape” para visualizar a configuração deformada da estrutura;
- ✓ Na janela “Plot Deformed Shape”, selecionar a opção “Def+undeformed” e clicar em “OK” para ver a deformada do quarto modo de vibração;



- ✓ No ANSYS Utility Menu clicar em “PlotCtrls”, “Animate”, “Mode Shape” pra fazer uma animação com a configuração deformada da estrutura;



- ✓ Na nova janela, inserir:
 - No. of frames to create **10**
 - Time delay **0.5**
- ✓ Clicar em “OK”;



- ✓ No ANSYS Toolbar clicar em “SAVE_DB”.

RESULTADOS

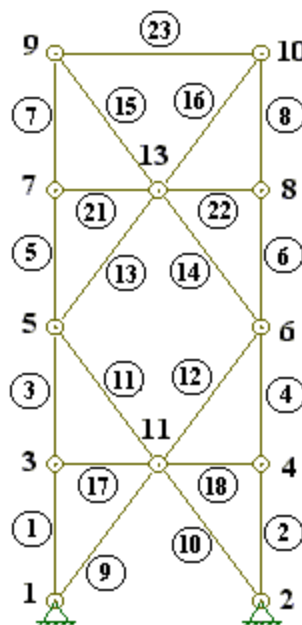
As 10 primeiras frequências naturais para esta estrutura estão listadas no quadro abaixo:

Modo	Frequência (Hz)
1	41.880
2	121.98
3	138.10
4	249.58
5	324.65
6	346.06
7	401.61
8	413.91
9	471.05
10	518.39

Influência da mudança da geometria

O que muda nas características dinâmicas desta treliça se alterarmos sua geometria, conforme a figura a seguir ?

B) CONTRAVENTAMENTO EM DIAMANTE:



I

5. INÍCIO DA ANÁLISE

5.1. *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: “**Análise modal – trelica 2**” (ignorar erro);
- ✓ Clicar em OK.

5.2. **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: “**trelica2**”;
- ✓ Clicar em OK.

6. ENTRA NA FASE DE PRÉ-PROCESSAMENTO

- ✓ No ANSYS Main Menu, clicar em “Preprocessor” para alterar o modelo geométrico.

J

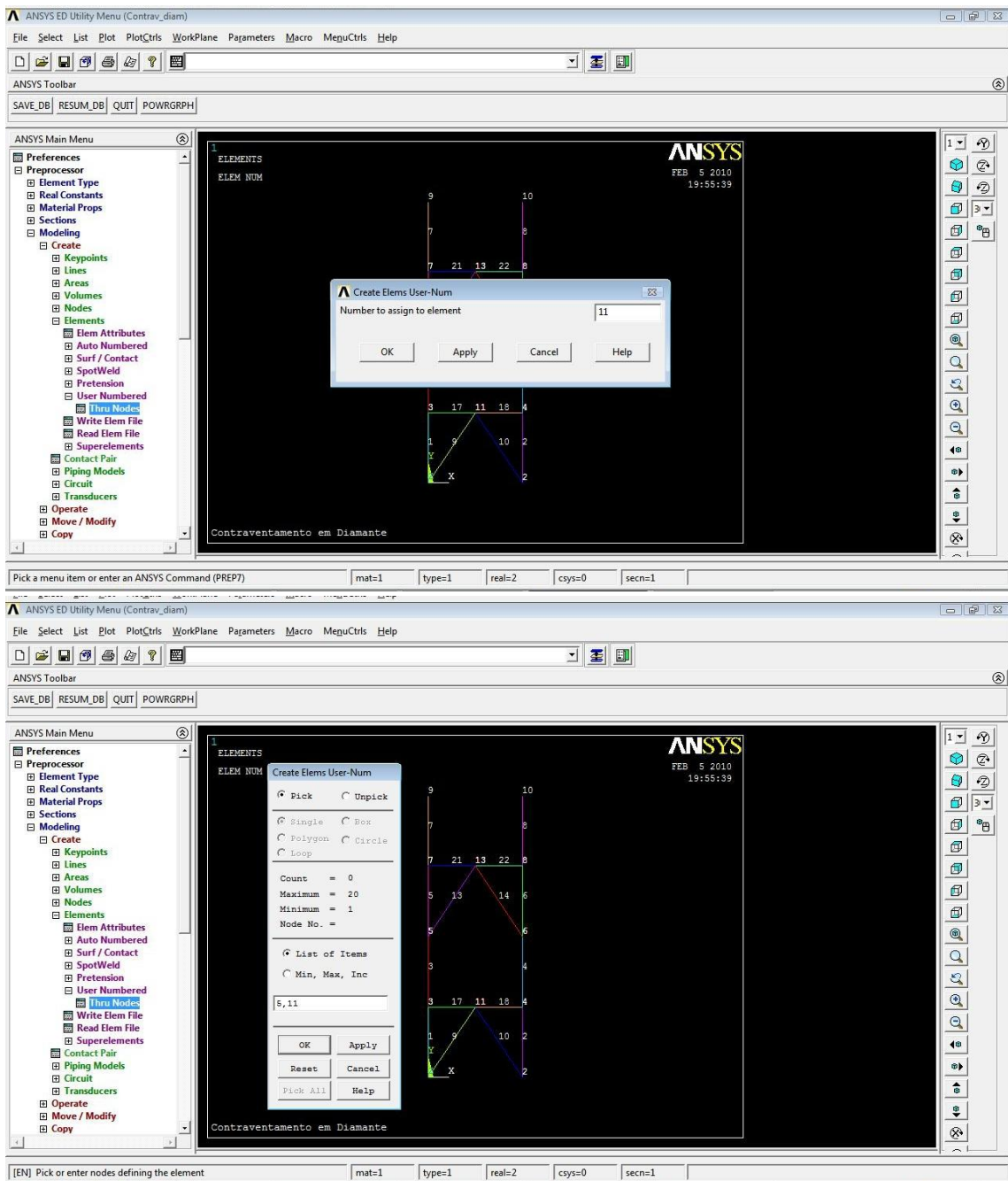
6.1. **Alterar a estrutura:**

6.1.1. *Deletar elementos e nós:*

- ✓ Dentro do “Preprocessor” selecionar “Modeling”, “Delete”, “Elements”;
- ✓ Apontar os elementos **11, 12, 15, 16, 19, 20, 23 e 24**.
- ✓ Clicar em “OK”;
- ✓ Dentro do “Preprocessor” selecionar “Modeling”, “Delete”, “Nodes”;
- ✓ Apontar os nós **12 e 14**;
- ✓ Clicar em “OK”.

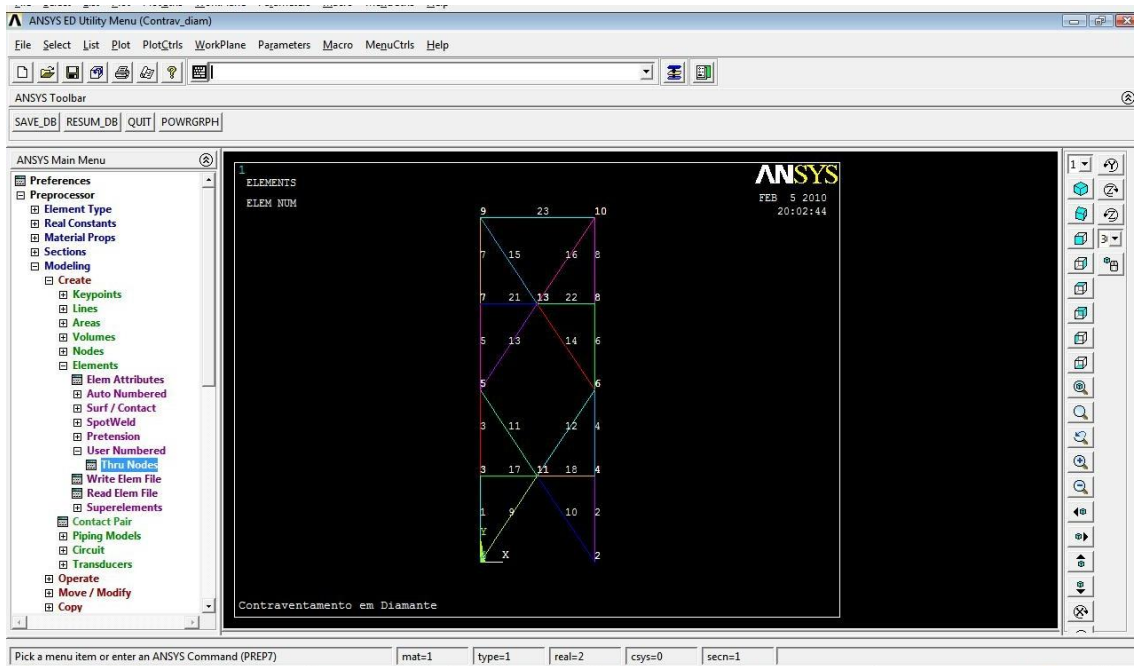
6.1.2. *Criar novos elementos:*

- ✓ Dentro do “Preprocessor” selecionar “Modeling”, “Create”, “Elements”, “Elements Attributes” para modificar os atributos dos elementos a serem criados na seqüência (as diagonais da torre);
- ✓ Na nova janela que abrir escolher:
 - TYPE **1**
 - MAT **1**
 - REAL **2**
- ✓ Clicar em “OK”.
- ✓ Para criar os elementos que compõe as diagonais da torre: dentro do “Preprocessor” selecionar “Modeling”, “Create”, “Elements”, “User Numbered”, “Thru Nodes”;
- ✓ Na nova janela “Enter number to be assigned to element”:
 - Inserir: **11** e clicar em “APPLY”;
 - Apontar nós **5 e 11** e clicar em “APPLY”;



- ✓ Na janela “Enter number to be assigned to element”:
 - Inserir: **12** e clicar em “APPLY”;
 - Apontar nós **6 e 11** e clicar em “APPLY”;
- ✓ Na janela “Enter number to be assigned to element”:
 - Inserir: **15** e clicar em “APPLY”;
 - Apontar nós **9 e 13** e clicar em “APPLY”;
- ✓ Na janela “Enter number to be assigned to element”:
 - Inserir: **16** e clicar em “APPLY”;
 - Apontar nós **10 e 13** e clicar em “APPLY”;
- ✓ Na janela “Enter number to be assigned to element”:
 - Inserir: **23** e clicar em “APPLY”;

- Apontar nós **9 e 10** e clicar em “OK”;
- ✓ A geometria da torre está pronta.



6.1.3. Salvando dados no arquivo *trelica2.db*

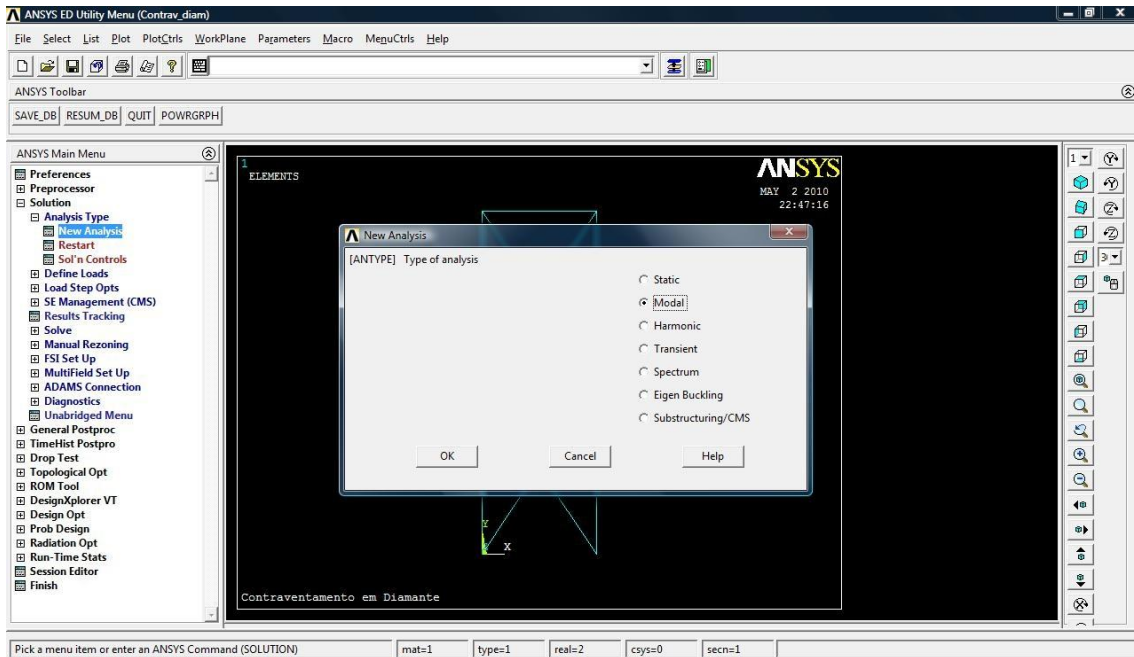
- ✓ No ANSYS Toolbar clicar em “SAVE_DB”.

K

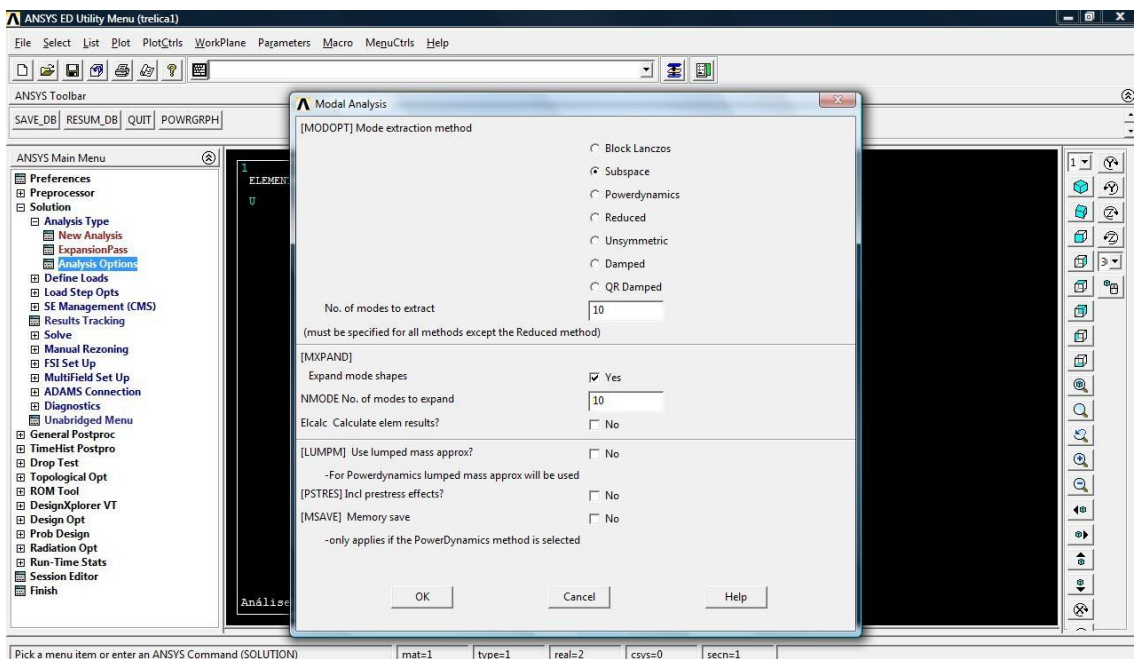
7. SOLUÇÃO

7.1. Escolha dos parâmetros da análise modal:

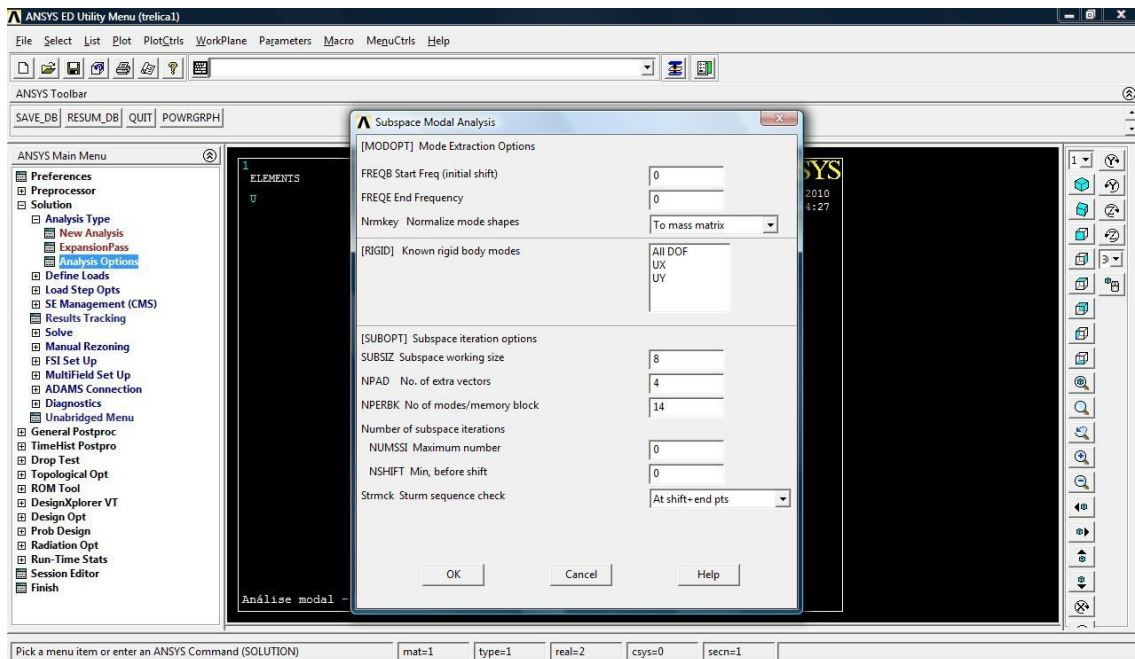
- ✓ No ANSYS Main Menu dentro do “Solution” clicar em “Analysis Type”, “New Analysis”;
- ✓ Na nova janela selecionar a opção “Modal e clicar em “OK”;



- ✓ No ANSYS Main Menu dentro do “Solution” clicar em “Analysis Type”, “Analysis Options”;
- ✓ Na nova janela selecionar:
 - [MODOPT] **Subspace**
 - No. of modes to extract **10**
 - [MXPAND]
 - Expand mode shapes **Yes**
 - NMODE **10**
- ✓ Clicar em “OK”;



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



7.2. Executa a solução:

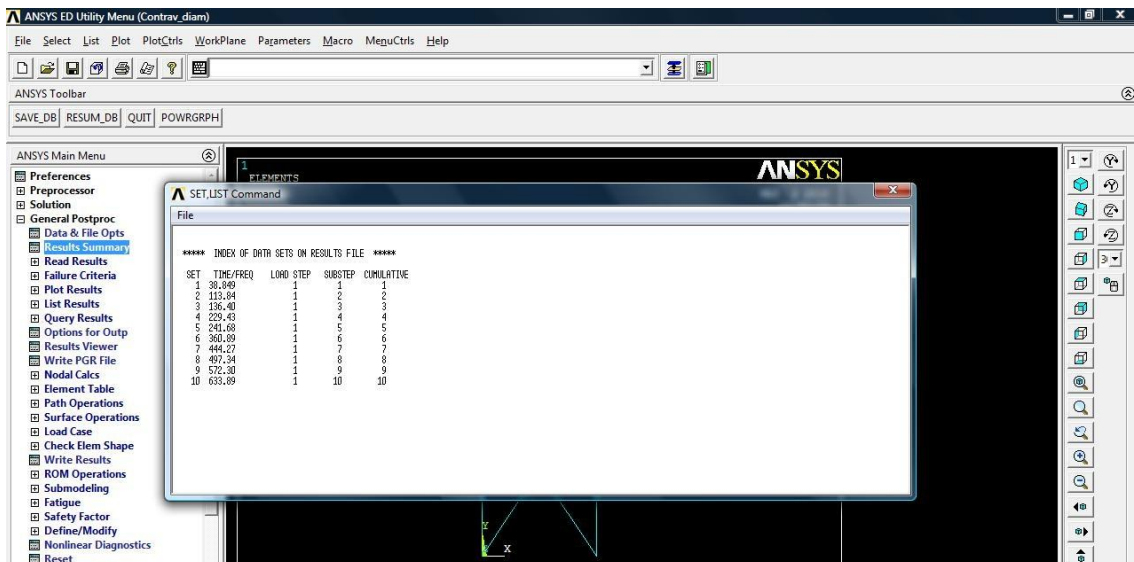
- ✓ No ANSYS Main Menu dentro do “Solution” clicar em “Solve”, “Current LS” (Resolve o LS atual);
- ✓ Clicar em “OK” (information: solution is done).
- ✓ Na janela “Information: Solution is done” clicar em “CLOSE”.
- ✓ No ANSYS Toolbar clicar em “SAVE_DB”.



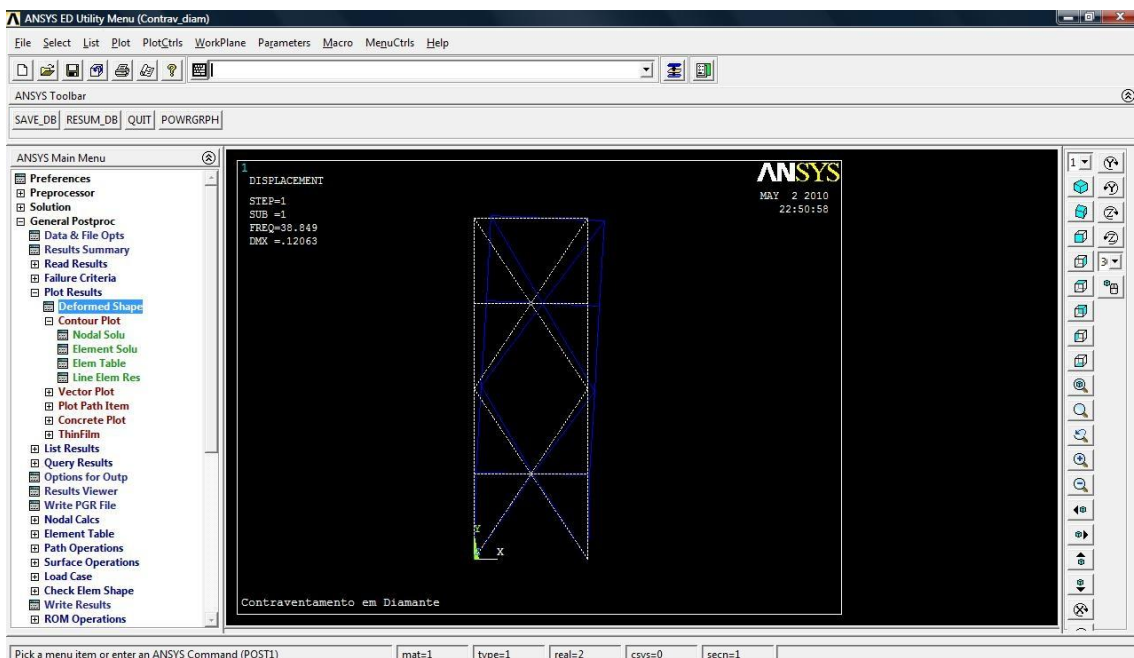
8. PÓS PROCESSAMENTO

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

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

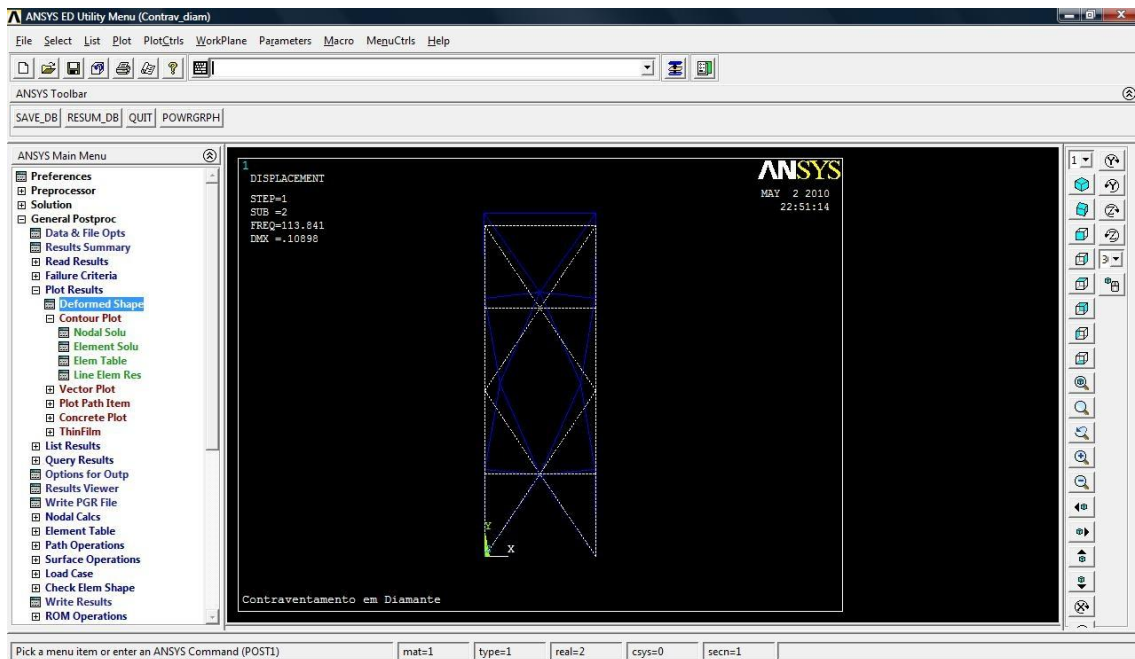


- ✓ Cada modo de vibração é armazenado como um caso de carga independente;
- ✓ No ANSYS Main Menu dentro do “General Postproc” clicar em “Read Results”, “First Set” para carregar o primeiro caso de carga;
- ✓ No ANSYS Main Menu dentro do “General Postproc” clicar em “Plot Results”, “Deformed Shape” para visualizar a configuração deformada da estrutura;
- ✓ Na janela “Plot Deformed Shape”, selecionar a opção “Def+undeformed” e clicar em “OK” para ver a deformada do primeiro modo de vibração;

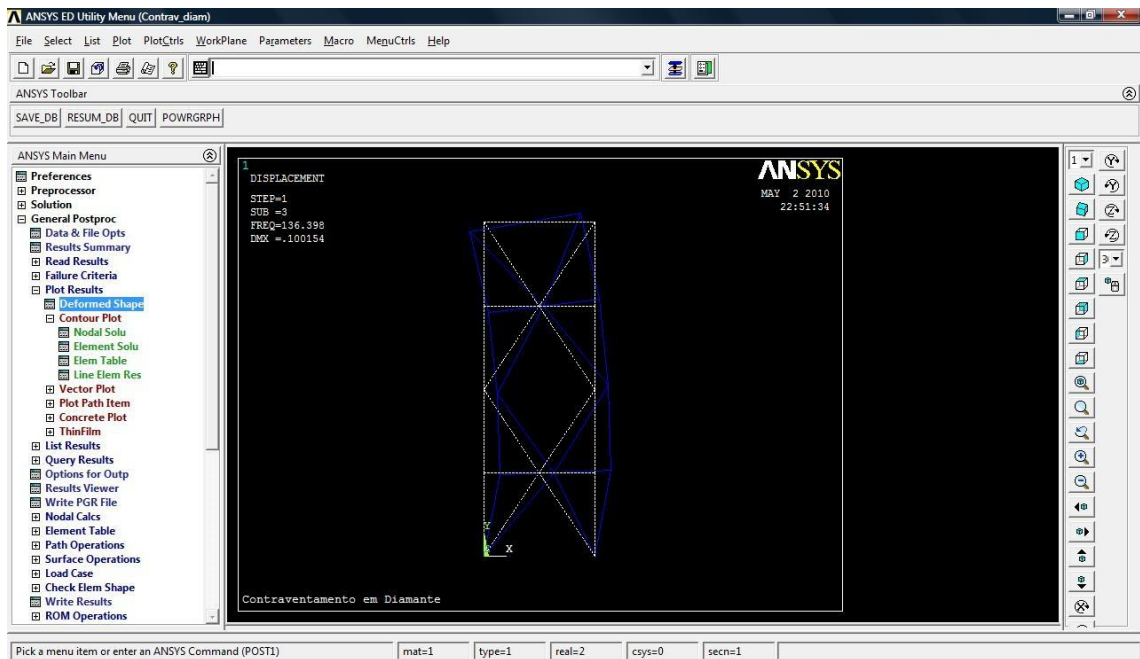


- ✓ No ANSYS Main Menu dentro do “General Postproc” clicar em “Read Results”, “Next Set” para carregar o próximo caso de carga;

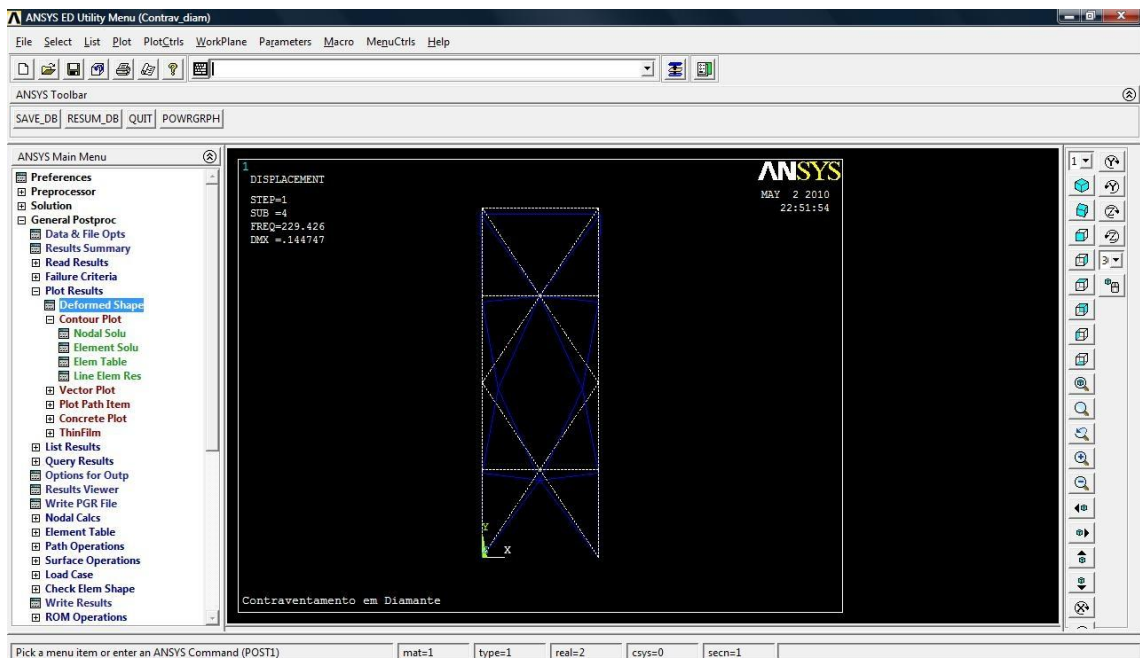
- ✓ No ANSYS Main Menu dentro do “General Postproc” clicar em “Plot Results”, “Deformed Shape” para visualizar a configuração deformada da estrutura;
- ✓ Na janela “Plot Deformed Shape”, selecionar a opção “Def+undeformed” e clicar em “OK” para ver a deformada do segundo modo de vibração;



- ✓ 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”, “Deformed Shape” para visualizar a configuração deformada da estrutura;
- ✓ Na janela “Plot Deformed Shape”, selecionar a opção “Def+undeformed” e clicar em “OK” para ver a deformada do terceiro modo de vibração;



- ✓ 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”, “Deformed Shape” para visualizar a configuração deformada da estrutura;
- ✓ Na janela “Plot Deformed Shape”, seleccionar a opção “Def+undeformed” e clicar em “OK” para ver a deformada do quarto modo de vibração;



- ✓ No ANSYS Toolbar clicar em “SAVE_DB”.

RESULTADOS

As 10 primeiras frequências naturais para a treliça com contraventamento modificado (treliça 2) estão listadas na tabela abaixo:

Modo	Frequência (Hz)	
	Treliça 1	Treliça 2
1	41.880	38.849
2	121.98	113.84
3	138.10	136.40
4	249.58	229.43
5	324.65	241.68
6	346.06	360.89
7	401.61	444.27
8	413.91	497.34
9	471.05	572.30
10	518.39	633.89

Verificamos que as frequências mais baixas diminuíram e as frequências mais altas aumentaram.

Influência da mudança da rigidez e massa

Qual a mudança nas características dinâmicas desta treliça se alterarmos a rigidez e massa de alguns elementos?

Vamos alterar a rigidez e massa das colunas da treliça mudando a área da seção transversal para $12.5 \times 10^{-4} \text{ m}^2$.

A partir do arquivo *treliça1.db* vamos executar os seguintes comando do ANSYS:

C) CONTRAVENTAMENTO K, COM MUDANÇA DE RIGIDEZ E MASSA:

M

9. INÍCIO DA ANÁLISE

9.1. **Limpa memória:**

- ✓ No “ANSYS Utility Menu”, clicar em “File”, “Clear and Start New”;
- ✓ Na nova janela, selecionar “Do Not Read File” e clicar em “OK”;
- ✓ Uma nova janela aparecerá, então confirmar clicando em “Yes”

9.2. **Carrega arquivo previamente salvo:**

- ✓ No “ANSYS Utility Menu”, clicar em “File”, “Resume from...”;
- ✓ Abrir o arquivo “treliça1.db”.

9.3. **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: “**Análise modal – trelica 3**” (ignorar erro);
- ✓ Clicar em OK.

9.4. **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: “**trelica 3**”;
- ✓ Clicar em OK.

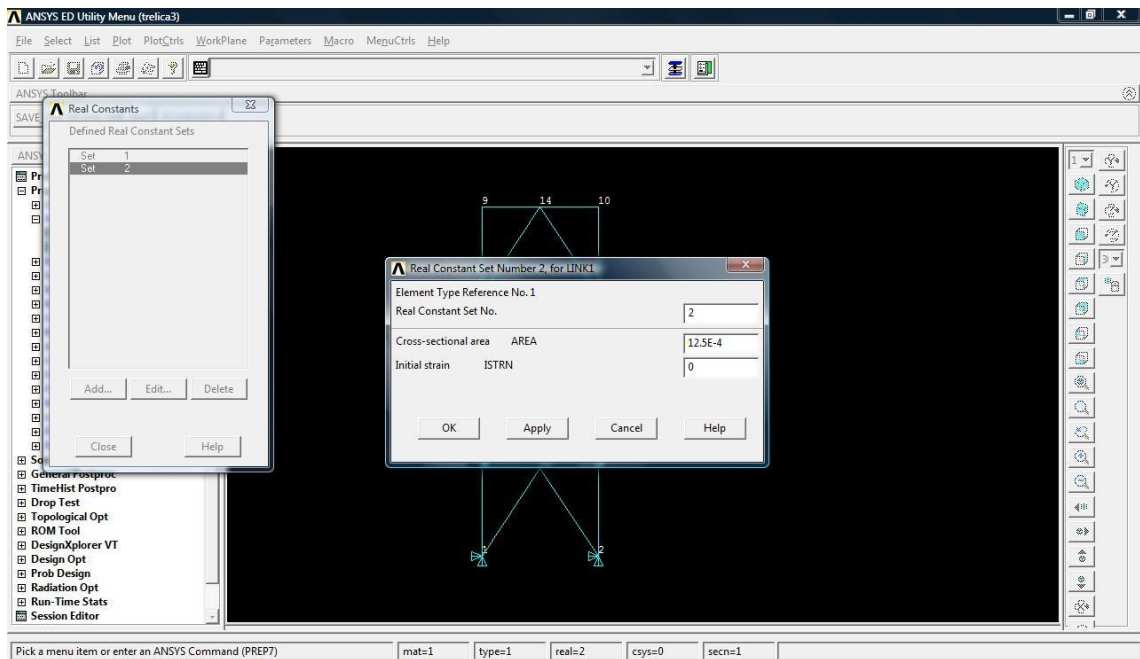
10. ENTRA NA FASE DE PRÉ-PROCESSAMENTO

- ✓ No ANSYS Main Menu, clicar em “Preprocessor” para alterar o modelo geométrico.

N

10.1. **Alterar a massa e a rigidez da estrutura:**

- ✓ Dentro do “Preprocessor”, selecionar “Real Constants”;
- ✓ Dentro do “Real Constants”, selecionar “Add/Edit/Delete”;
- ✓ Na nova janela que abrir, selecionar “**Set 2**” clicar em “**Edit...**” para editar a área de seção transversal;
- ✓ Uma nova janela se abrirá então selecionar o tipo de elemento em “Choose element type” (no caso, haverá o elemento LINK 1) e clicar em OK;
- ✓ A janela “Real Constants Set Number 2, for LINK 1” irá aparecer. Deve-se inserir:
 - Real Constant Set No. = **2**
 - Cross-sectional Area AREA = **12.5E-4**
- ✓ Clicar em “OK”;



✓ Fechar a janela;

10.1.1. *Salvando dados no arquivo trelica3.db*

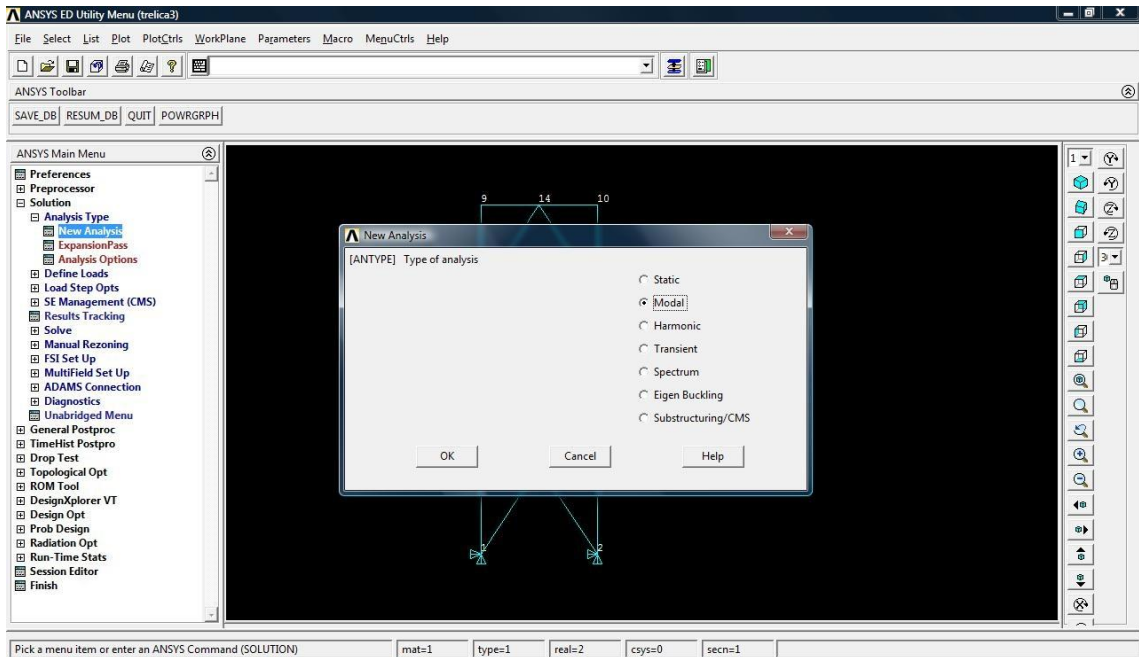
✓ No ANSYS Toolbar clicar em “SAVE_DB”.



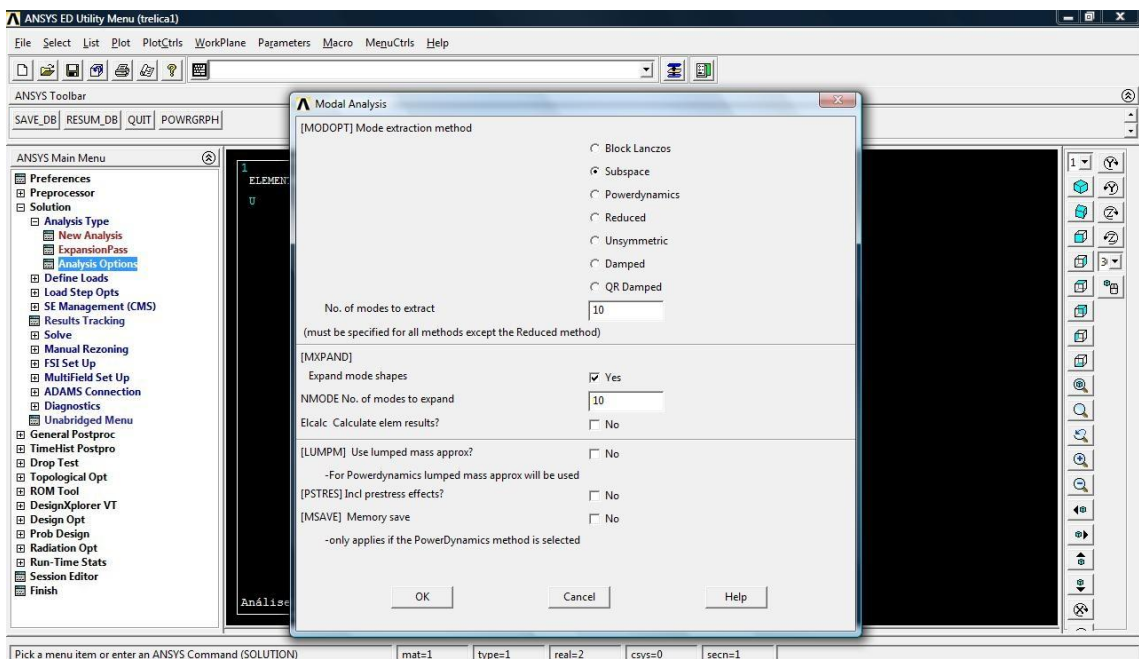
11. SOLUÇÃO

11.1. *Escolha dos parâmetros da análise modal:*

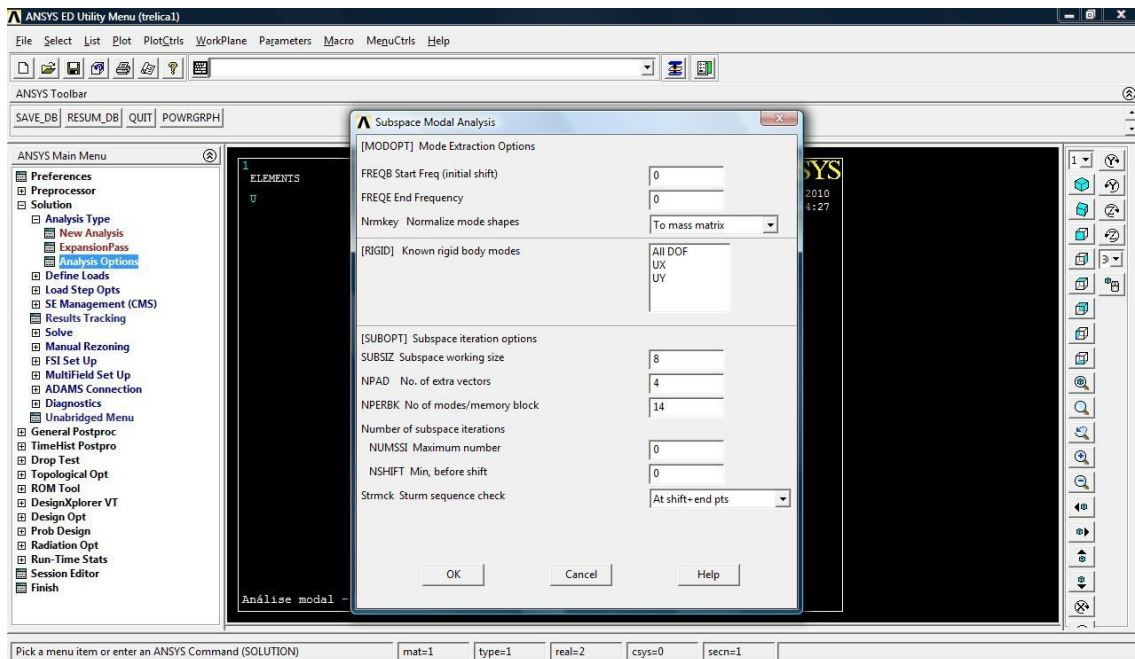
- ✓ No ANSYS Main Menu dentro do “Solution” clicar em “Analysis Type”, “New Analysis”;
- ✓ Na nova janela selecionar a opção “Modal e clicar em “OK”;



- ✓ No ANSYS Main Menu dentro do “Solution” clicar em “Analysis Type”, “Analysis Options”;
- ✓ Na nova janela selecionar:
 - [MODOPT] **Subspace**
 - No. of modes to extract **10**
 - [MXPAND]
 - Expand mode shapes **Yes**
 - NMODE **10**
- ✓ Clicar em “OK”;



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



11.2. Executa a solução:

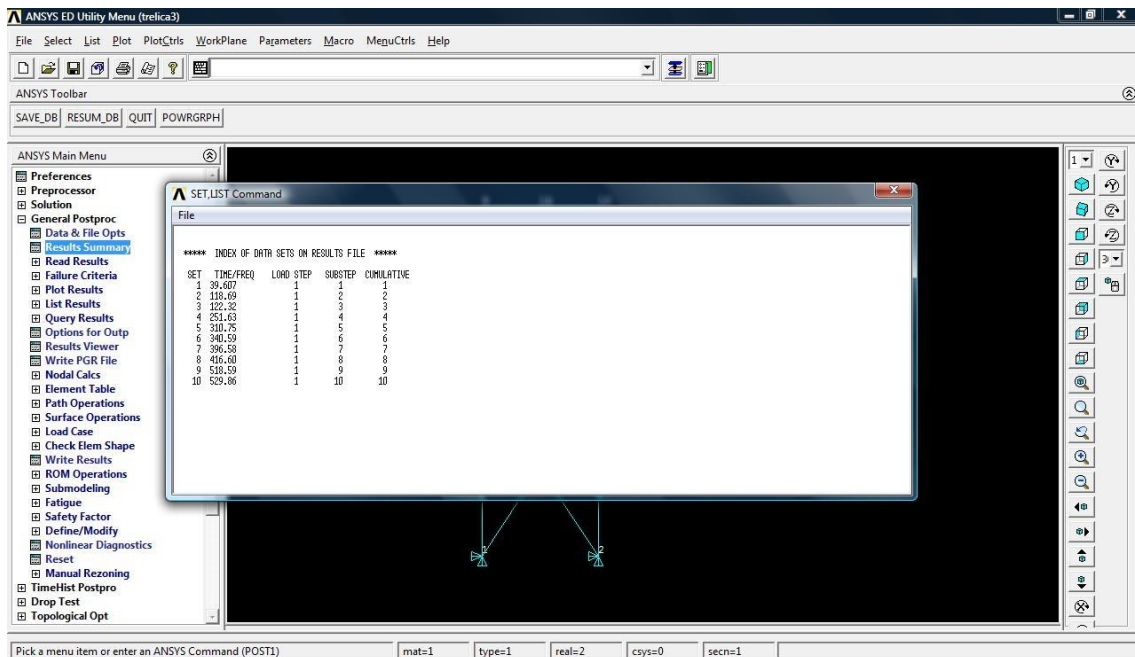
- ✓ No ANSYS Main Menu dentro do “Solution” clicar em “Solve”, “Current LS” (Resolve o LS atual);
- ✓ Clicar em “OK” (information: solution is done).
- ✓ Na janela “Information: Solution is done” clicar em “CLOSE”.
- ✓ No ANSYS Toolbar clicar em “SAVE_DB”.

P

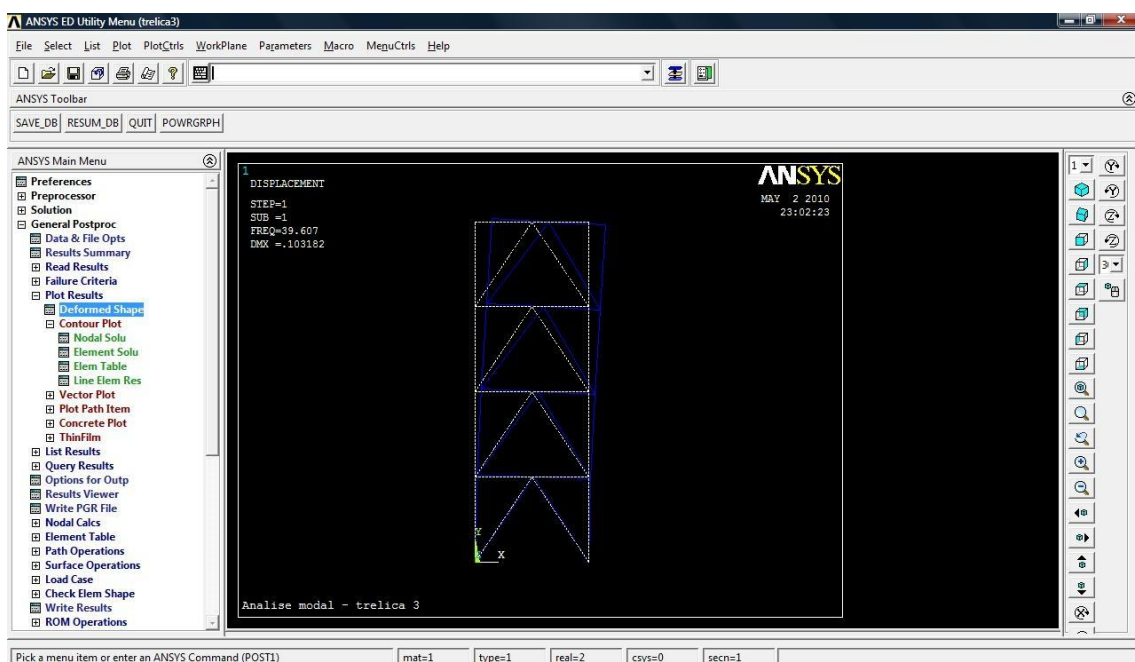
12. PÓS PROCESSAMENTO

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

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

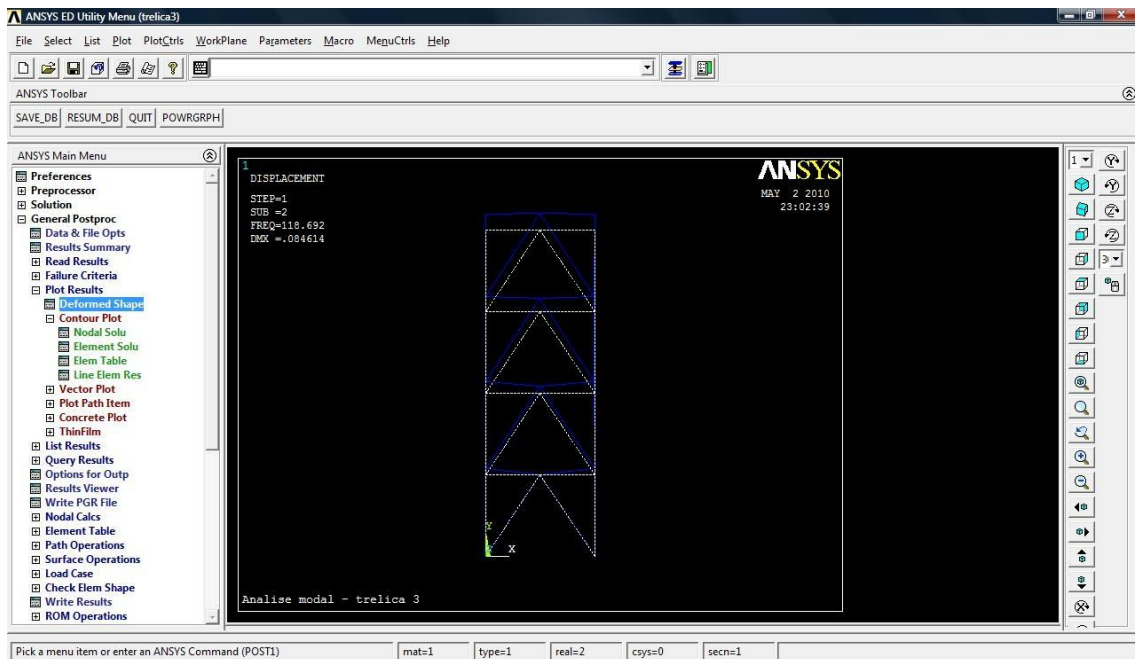


- ✓ Cada modo de vibração é armazenado como um caso de carga independente;
- ✓ No ANSYS Main Menu dentro do “General Postproc” clicar em “Read Results”, “First Set” para carregar o primeiro caso de carga;
- ✓ No ANSYS Main Menu dentro do “General Postproc” clicar em “Plot Results”, “Deformed Shape” para visualizar a configuração deformada da estrutura;
- ✓ Na janela “Plot Deformed Shape”, selecionar a opção “Def+undeformed” e clicar em “OK” para ver a deformada do primeiro modo de vibração;



- ✓ 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”, “Deformed Shape” para visualizar a configuração deformada da estrutura;
- ✓ Na janela “Plot Deformed Shape”, selecionar a opção “Def+undeformed” e clicar em “OK” para ver a deformada do segundo modo de vibração;



- ✓ No ANSYS Toolbar clicar em “SAVE_DB”.



13. 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”.

RESULTADOS

As 10 primeiras frequências naturais para as treliças 1, 2 e 3 estão listadas no quadro abaixo:

Modo	Frequência (Hz)		
	Treliça 1	Treliça 2	Treliça 3
1	41.880	38.849	39.607
2	121.98	113.84	118.69
3	138.10	136.40	122.32
4	249.58	229.43	251.63
5	324.65	241.68	310.75
6	346.06	360.89	340.59
7	401.61	444.27	396.58
8	413.91	497.34	416.60
9	471.05	572.30	518.59
10	518.39	633.89	529.86

Verificamos que, com o aumento de rigidez e de massa das colunas da treliça, a 1a frequência natural (fundamental) diminuiu.