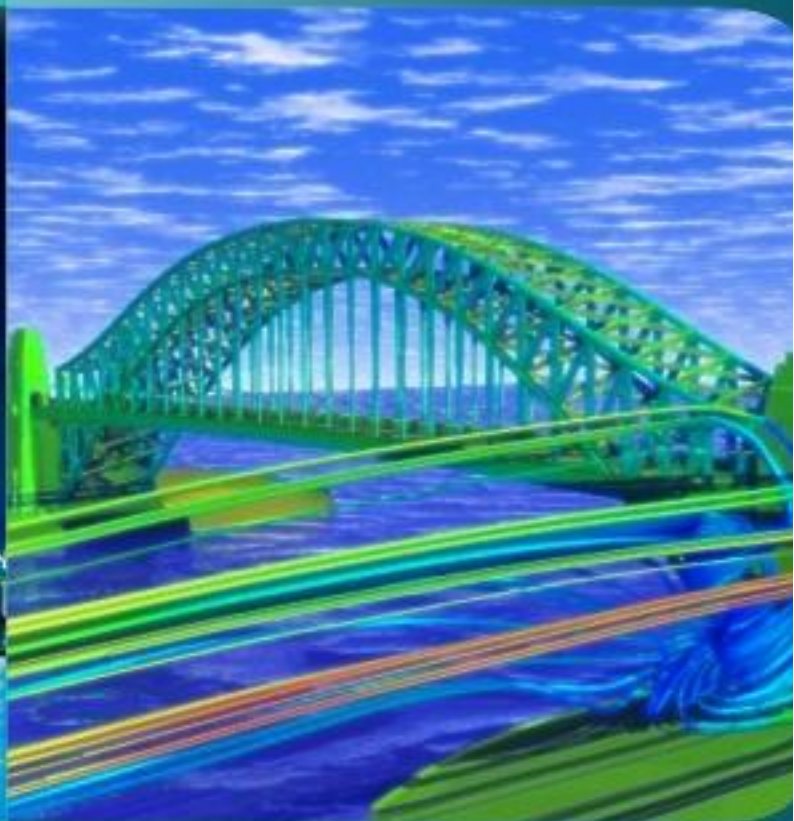




2010

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



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



**ESTUDO DO
COMPORTAMENTO DE UM
PÓRTICO PLANO COM
DIFERENTES VINCULAÇÕES
VIGA-PILAR**

ESTUDO DO COMPORTAMENTO DE UM PÓRTICO PLANO COM DIFERENTES VINCULAÇÕES VIGA-PILAR

INTRODUÇÃO

O primeiro exemplo que vamos apresentar tem o intuito de verificar a mudança de comportamento estrutural em um pórtico extremamente simples, com as diferentes hipóteses de vinculação viga-pilar. Para tal, tomemos um pórtico plano com apenas 3 barras (1 andar) submetido a cargas verticais e horizontais como mostra a figura 1.

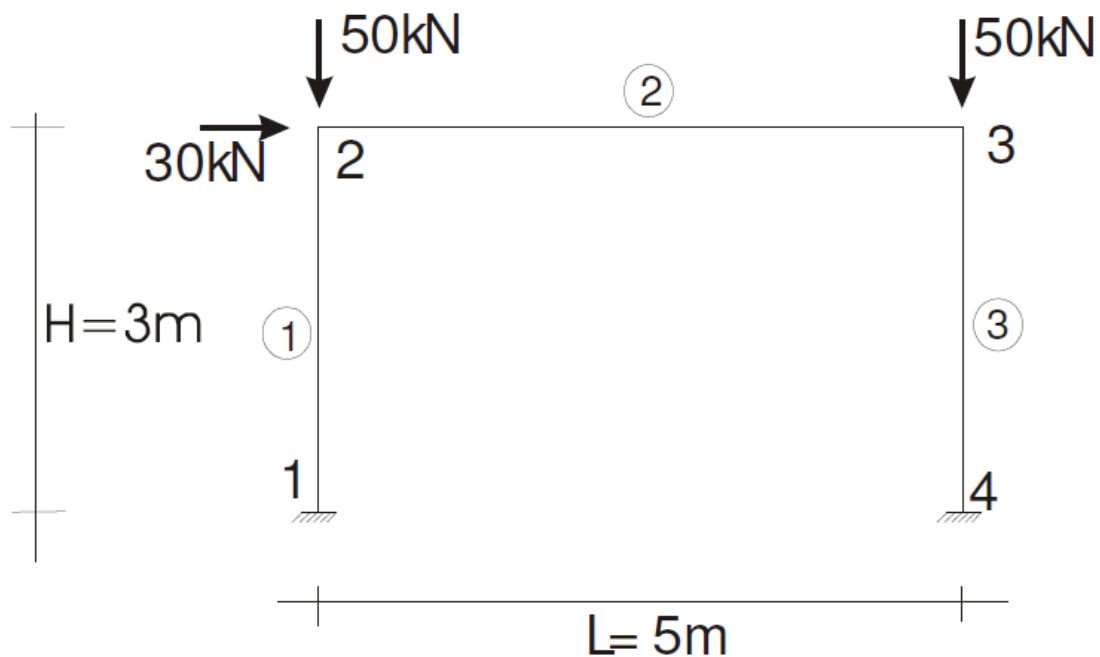


Figura 1 – Pórtico plano a ser analisado.

Este exemplo é apresentado por Pamplona na página 109 de sua dissertação de mestrado. As vigas do pórtico em estudo são compostas por perfis I laminados 203 x 27.4 (propriedades da seção transversal: Momento de inércia $I_{zz}=2,4E-5m^4$ e área $A = 0,00349m^2$) de aço MR-250 (Módulo de Elasticidade ou de Young $E=2E8$ kN/m²). Pretende-se simular nos nós livres, 2 e 3, os três tipos de modelos de ligações:

- Ligações rígidas: coeficiente de rigidez à flexão da ligação K tendendo ao infinito;
- Ligações articuladas: coeficiente de rigidez à flexão da ligação $K = 0$;
- Ligações semi-rígidas: coeficiente de rigidez à flexão da ligação $0 < K < \text{infinito}$ (ver figura 2);

Outro resultado de simulação que se apresentará é, à partir da adoção de um modelo para a ligação, similar ao comportamento elasto-plástico ideal, como mostra a figura 2, altera-se os valores do coeficiente de rigidez da ligação K e o valor do momento para o qual ocorre o "escoamento" da ligação (ou seja, a resistência última aplicável da ligação).

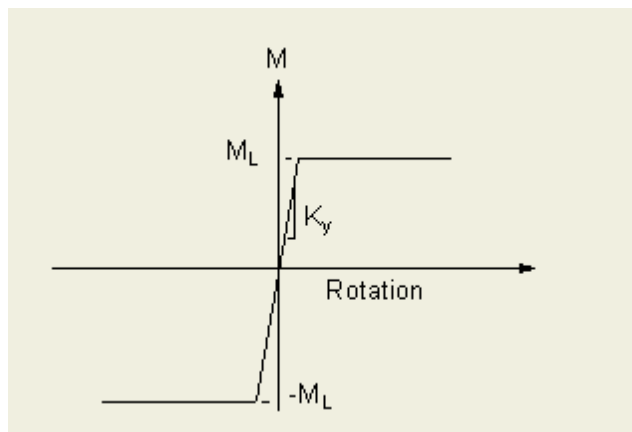


Figura 2 – Modelo de relação $M-\Theta$ a ser adotado para o comportamento da ligação.

Para viabilizar a simulação deste funcionamento utilizaremos o elemento COMBIN40 cujo comportamento encontra-se na figura 3.

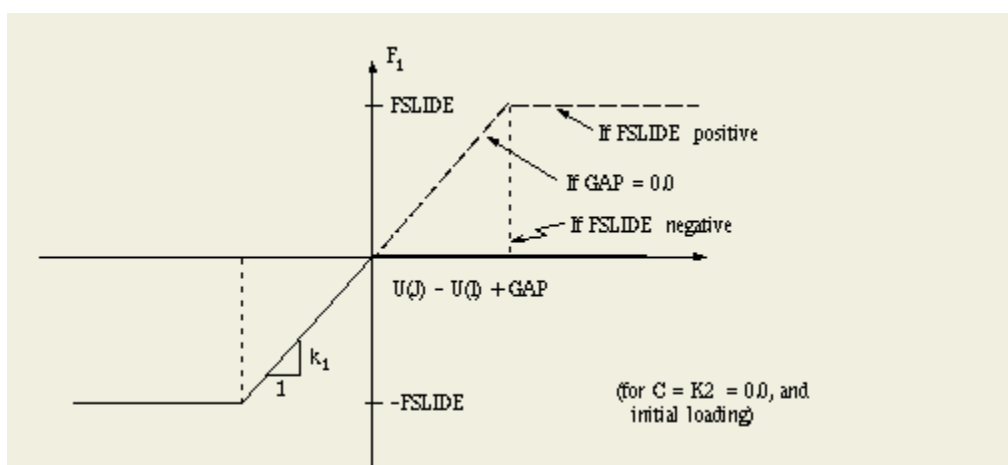


Figura 3 – Comportamento adotado para o elemento COMBIN40.

O primeiro modelo, mostrado na figura 4, será composto apenas por barras de vigas. Pode-se utilizar, para tal, o elemento BEAM4. Para simular o segundo modelo, mostrado na figura 5, necessariamente utilizar-se-á elementos de viga que tenham a possibilidade de simular rótulas nas ligações viga-pilar. Para tal, o elemento de viga BEAM44 será utilizado para simular o elemento 2, bi-rotulado. Para o terceiro modelo, mostrado na figura 6, utilizar-se-á os elementos BEAM4 para as vigas e o elemento COMBIN40 para a ligação.

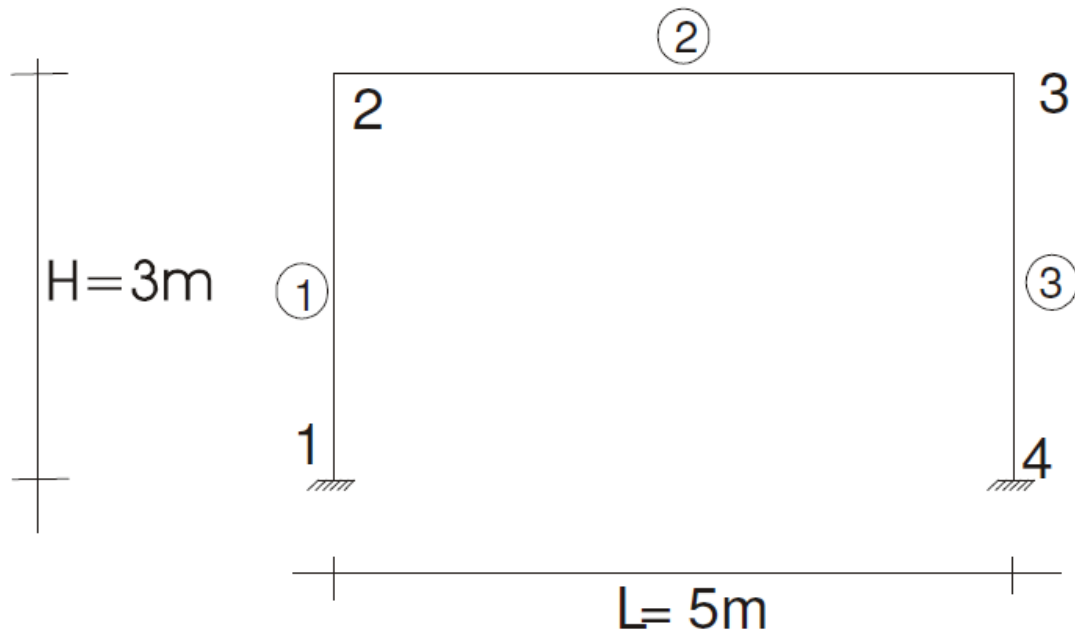


Figura 4 – Malha de Elementos Finitos do modelo 1 (simula ligações rígidas) composto apenas por elementos BEAM4.

ELEMENTO BEAM 44 bi-rotulado

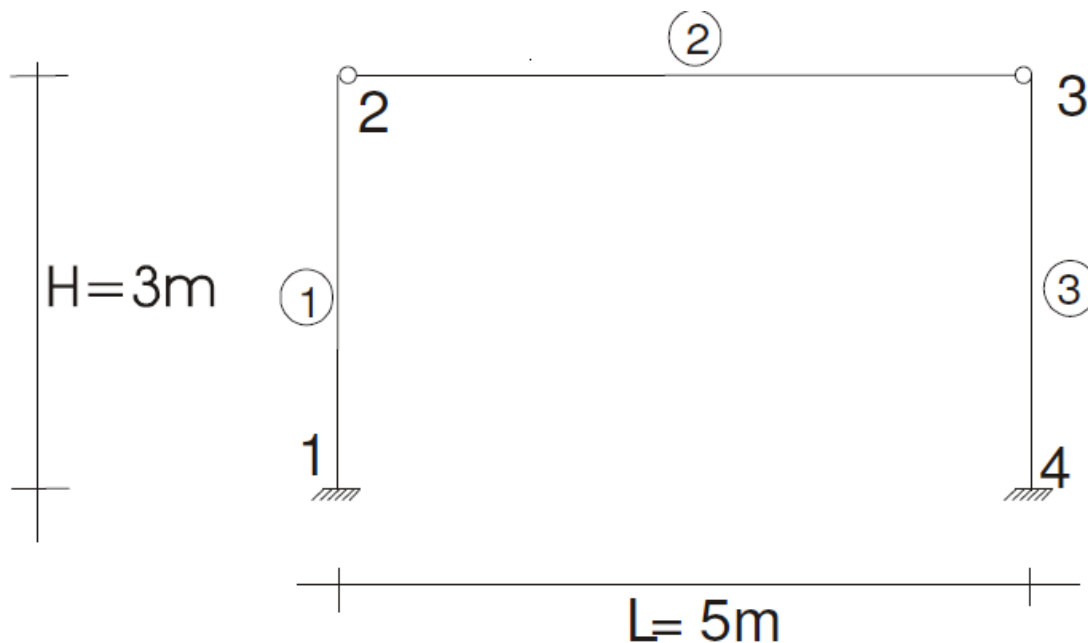


Figura 5 – Malha de Elementos Finitos do modelo 2 (simula ligações rotuladas) composto por elementos BEAM4 e BEAM44.

Visando inconsistências numéricas pós plastificação das seções, vamos acrescentar um elemento "falso", nos mesmos locais das ligações com uma rigidez $K=1$ unitária e um momento de plastificação da seção $MP=1.000.000$.

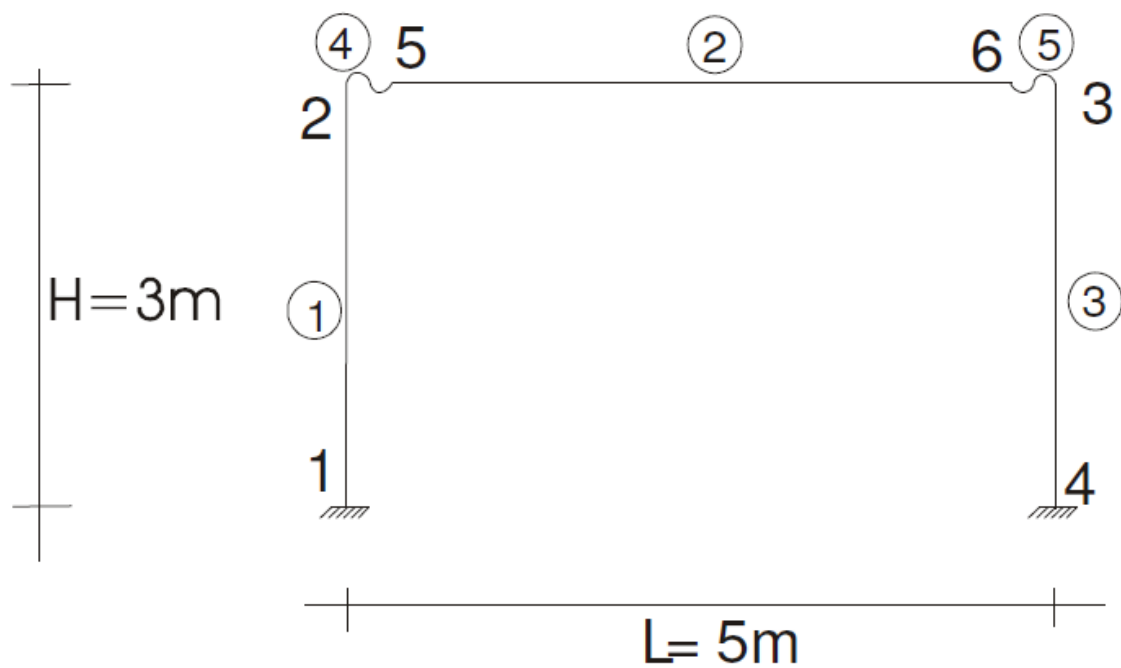


Figura 6 – Malha de Elementos Finitos do modelo 3 (simula ligações semi-rígidas) composto por elementos BEAM4 e COMBIN40.

MODELO 1: COM LIGAÇÕES RÍGIDAS

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: “**Pórtico 1 com três barras – modelo 1 – ligações rígidas**”;
- ✓ 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: “**Port1rig**”;
- ✓ 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.

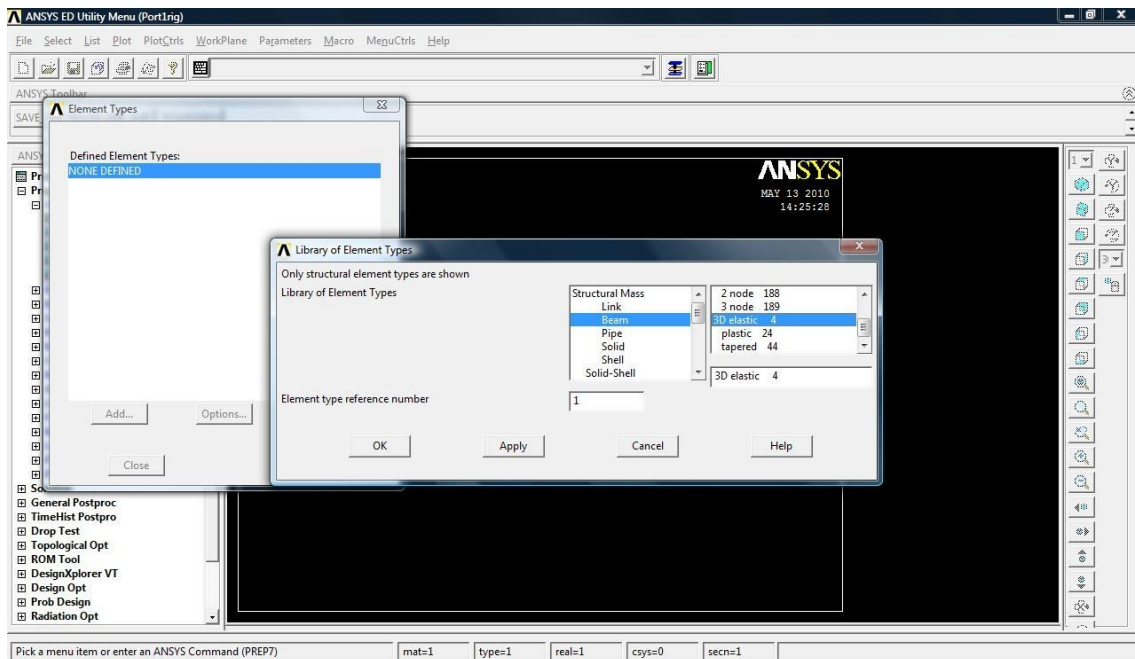
2. ENTRA NA FASE DE PRÉ-PROCESSAMENTO

- ✓ 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 “**Structural Beam**”, “**3D Elastic 4**” e clicar em “OK”;

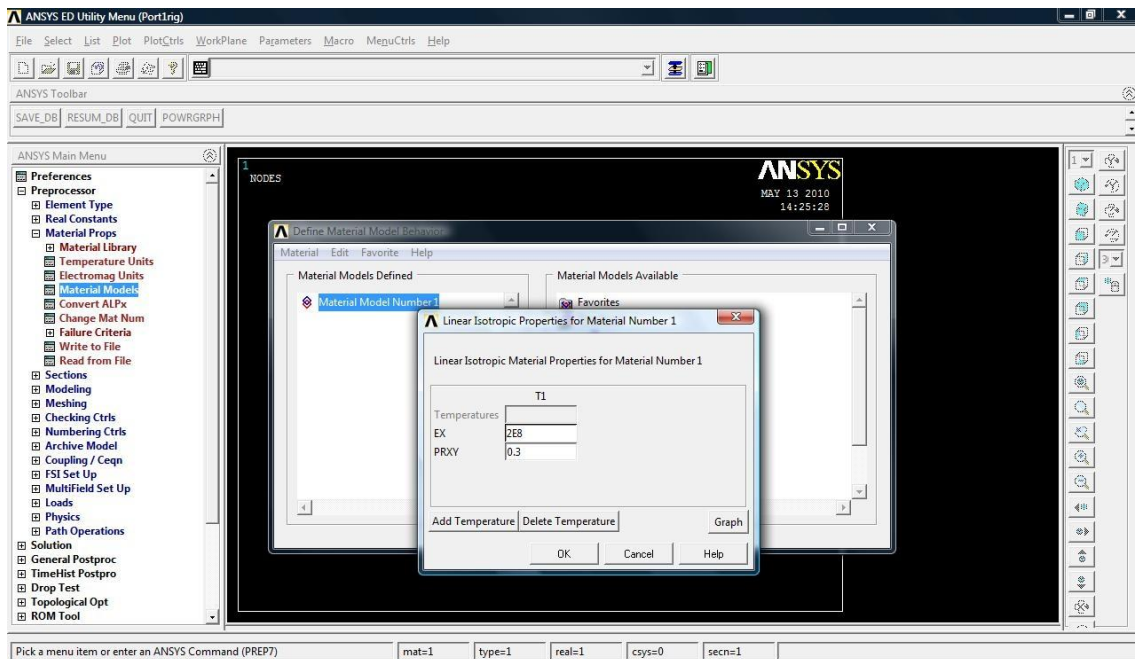


- ✓ Fechar a janela do “Element Types”;

C

2.2. **Define as propriedades do material:**

- ✓ Dentro do “Preprocessor”, selecionar “Material Props”, “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 na lacuna PRXY o valor do Coeficiente de Poisson e clicar em “OK”:
 - EX = **2E8**;
 - PRXY = **0.3**;
- ✓ Fechar a janela “Define Material Model Behavior”.



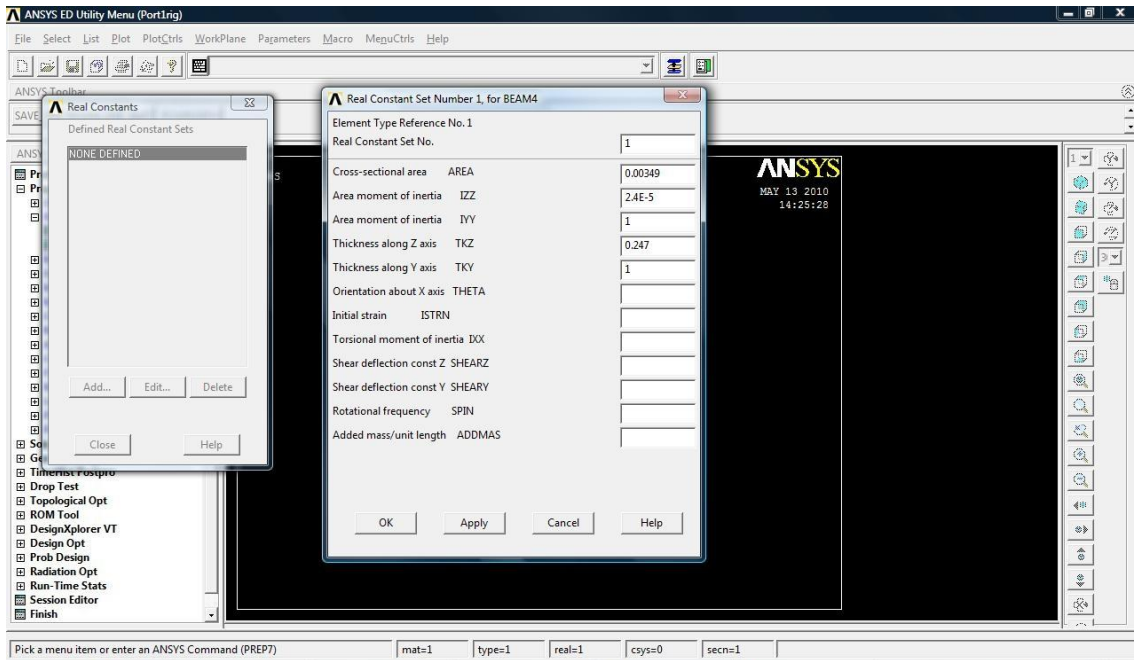
2.3. Define Constantes Geométricas:

- ✓ Dentro do “Preprocessor”, selecionar “Real Constants”;
- ✓ Dentro do “Real Constants”, selecionar “Add/Edit/Delete”;
- ✓ Na nova janela que abrir, clicar em “Add...” para adicionar novas constantes geométricas;
- ✓ Uma nova janela se abrirá então selecionar o tipo de elemento em “Choose element type” e clicar em OK;
- ✓ Selecionar o elemento 1 em “Choose element type” e clicar em OK;
- ✓ A janela “Real Constants Set Number 1, for “BEAM 4” irá aparecer.

Deve-se inserir:

- Real Constant Set No. = 1
- AREA = 0.00349
- IZZ = 2.4E-5
- IYY = 1
- TKZ = 0.274
- TKY = 1

- ✓ Clicar em “OK”;

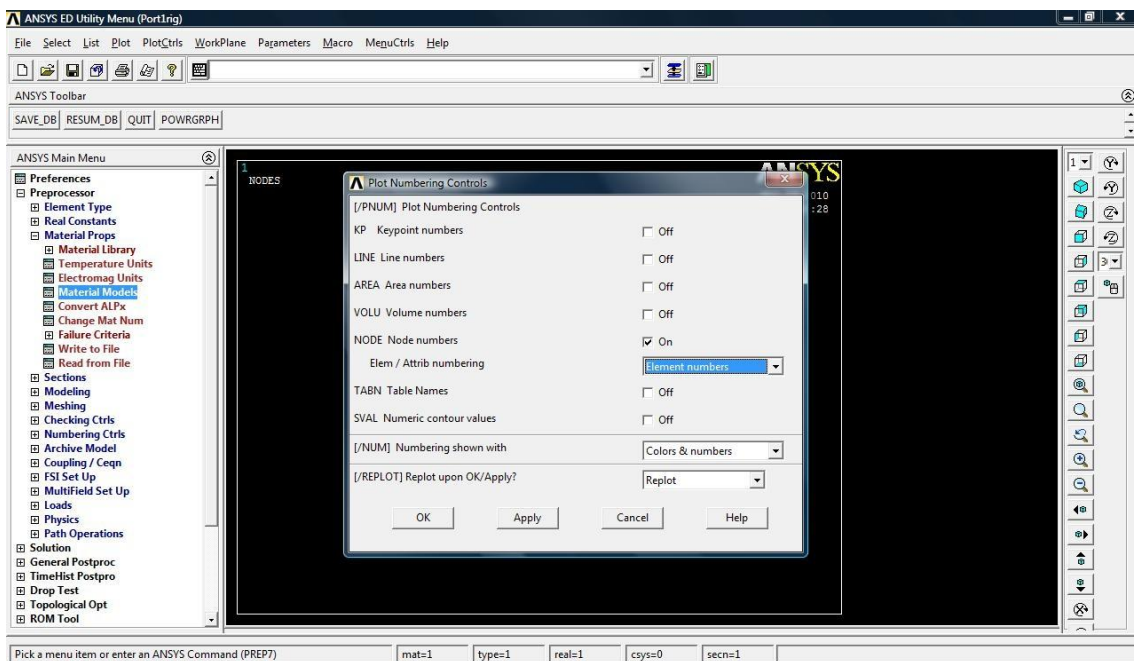


D

2.4. Cria o modelo geométrico:

2.4.1. 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”.

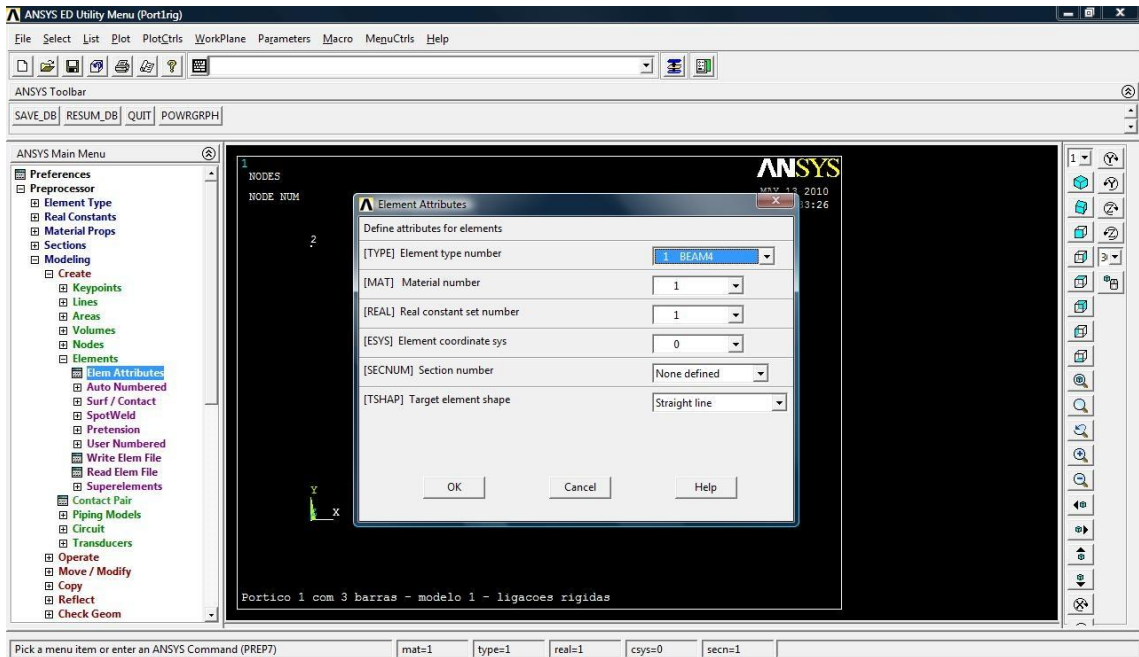


2.4.2. *Cria os nós que compõe a malha de elementos finitos no sistema de coordenadas ativo:*

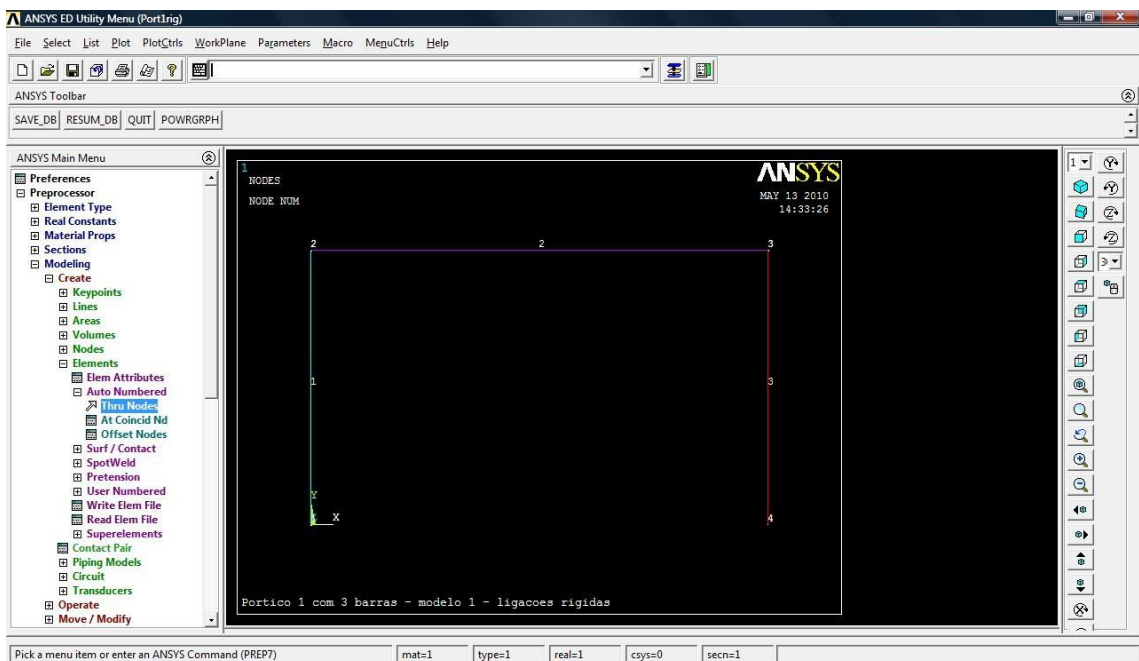
- ✓ Dentro do “Preprocessor” selecionar “Modeling”, “Create”, “Nodes”, “In Active CS”;
- ✓ Na nova janela que abrir, inserir um número para o nó que será criado em “NODE Node Number” e as coordenadas X e Y;
- ✓ Para criar o primeiro nó:
 - NODE Node Number : **1**;
 - X,Y,Z Location in active CS : **X = 0** **Y = 0**;
- ✓ Clicar em “APLY”;
- ✓ Para criar o próximo nó:
 - NODE Node Number : **2**;
 - X,Y,Z Location in active CS : **X = 0** **Y = 3**;
- ✓ Clicar em “APPLY”;
- ✓ Para criar o próximo nó:
 - NODE Node Number : **3**;
 - X,Y,Z Location in active CS : **X = 5** **Y = 3**;
- ✓ Clicar em “APPLY”;
- ✓ Para criar o próximo nó:
 - NODE Node Number : **4**;
 - X,Y,Z Location in active CS : **X = 5** **Y = 0**;
- ✓ 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 2 e clicar em “APPLY”;
- ✓ Apontar nós 2 e 3 e clicar em “APPLY”;
- ✓ Apontar nós 4 e 3 e clicar em “OK” (observar sentido do eixo local);

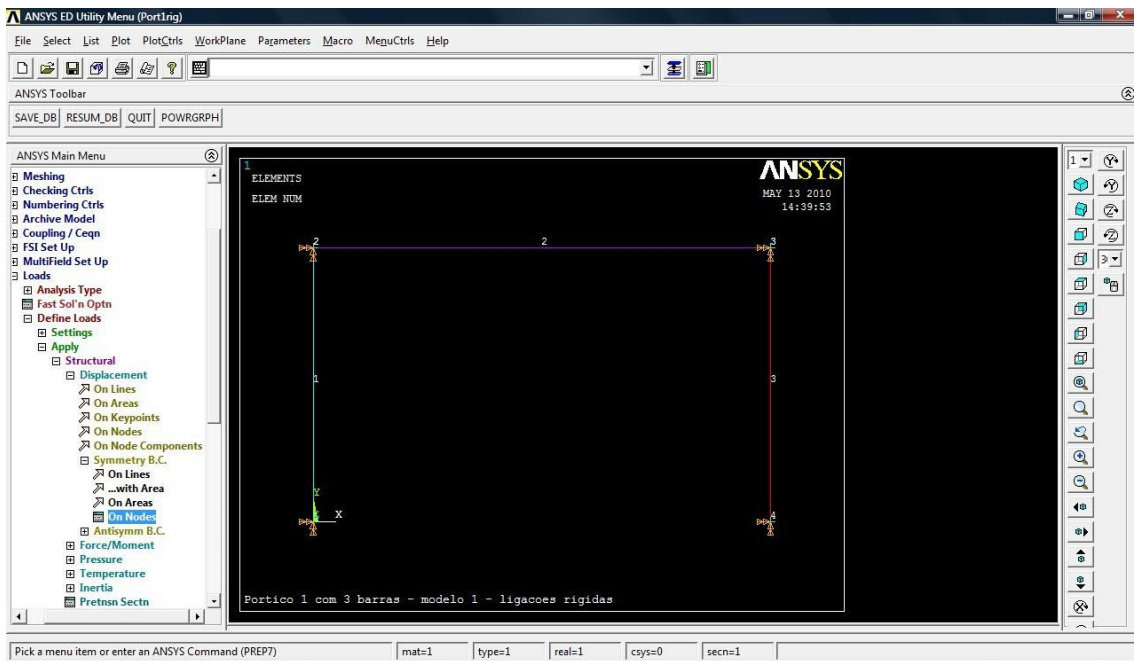


E

2.5. Aplicar as condições de contorno na modelagem sólida:

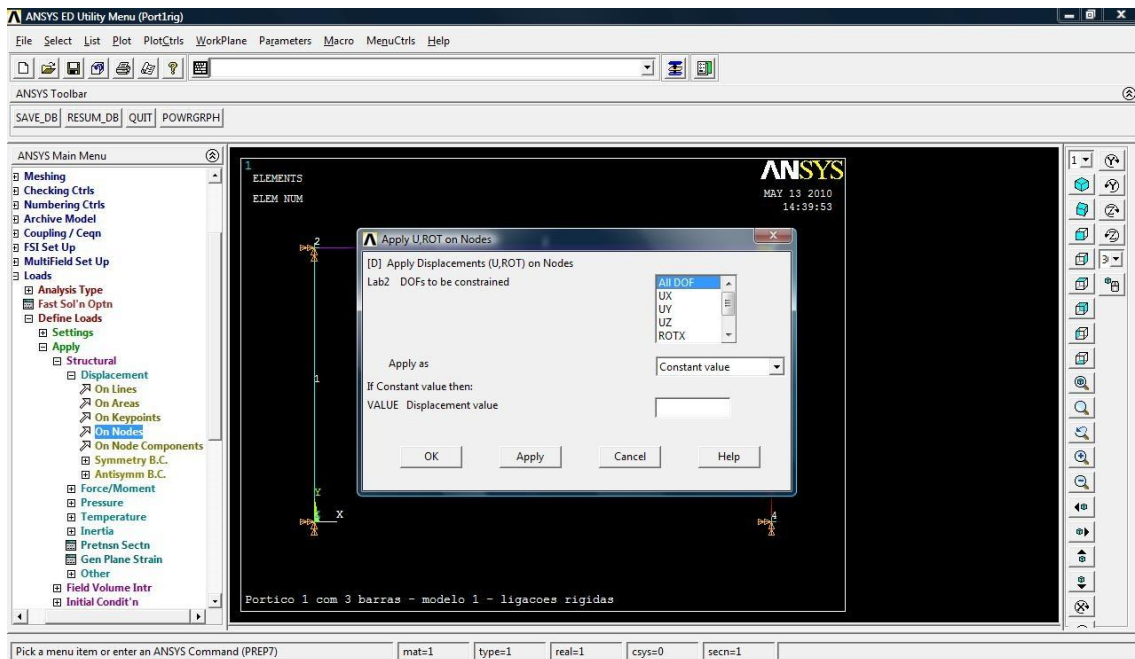
2.5.1. Fornece condição de contorno;

- ✓ Dentro do “Preprocessor” selecionar “Loads”, “Define Loads”, “Apply”, “Structural”, “Displacement”, “Symmetry B.C.”, “On Nodes”;
- ✓ Na nova janela que abrir selecionar;
 - DSYM Norml = **Z-Axis**;
- ✓ Clicar em “OK”;



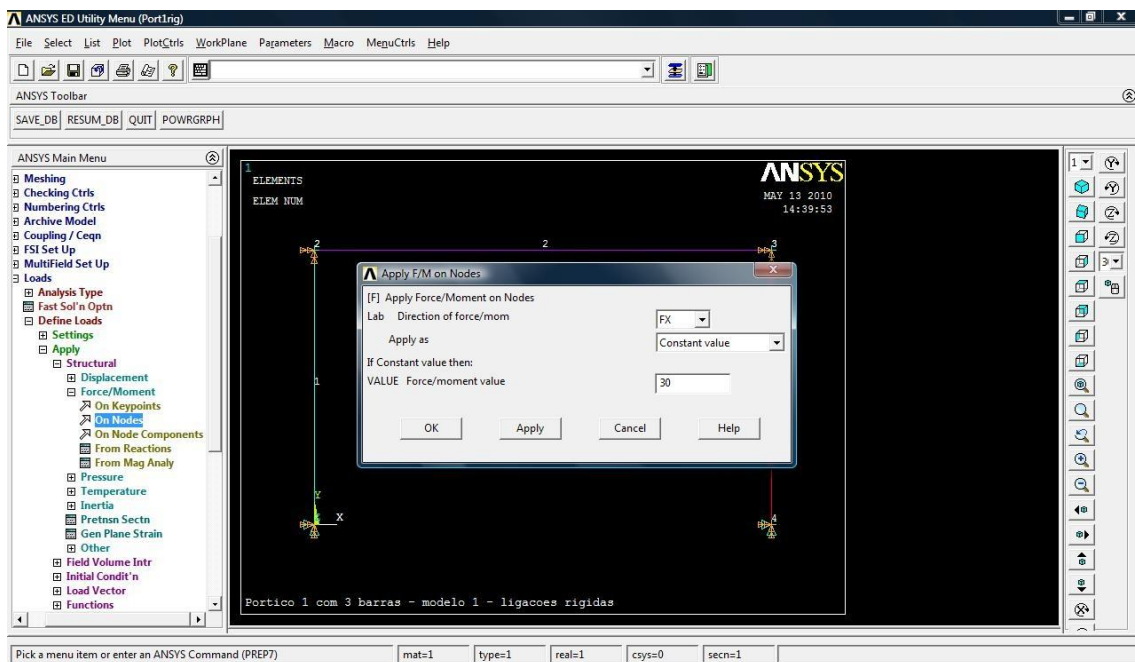
2.5.2. Fornece apoios:

- ✓ Dentro do “Solution” selecionar “Define Loads”, “Apply”, “Structural”, “Displacement”, “On Nodes”;
- ✓ Apontar os nós **1 e 4** e clicar em “APPLY”;
- ✓ Outra janela irá aparecer então selecionar no campo “DOFs to be constrained” a opção “**ALLDOF**”;
- ✓ Clicar em “OK”;



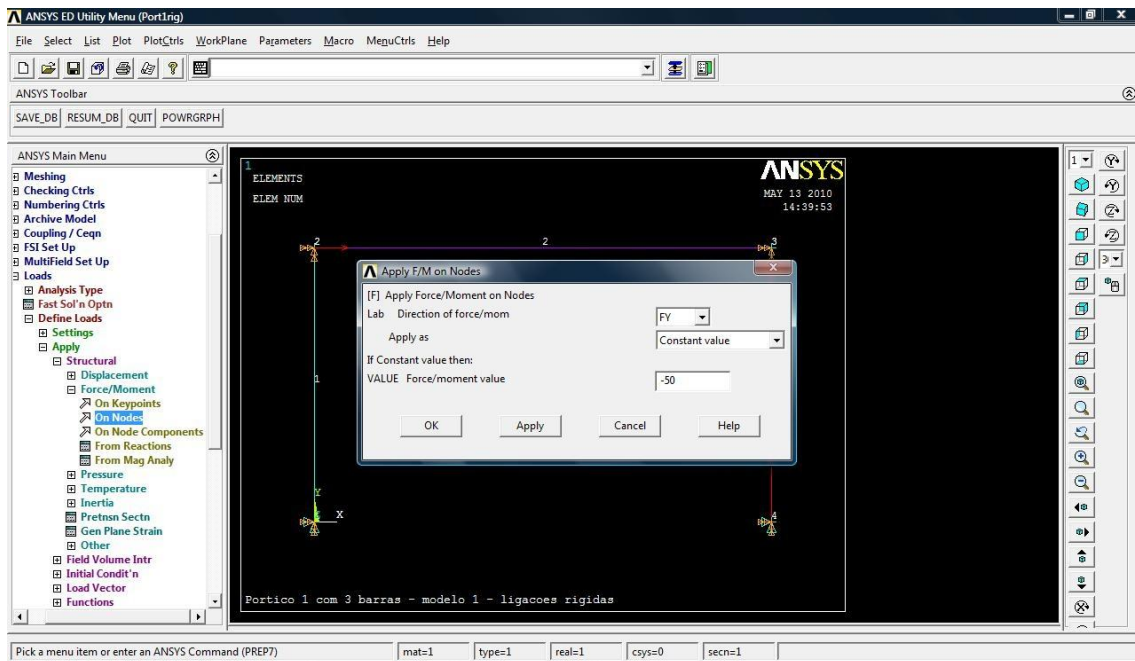
2.5.3. Aplicar as cargas:

- ✓ Dentro do “Preprocessor” selecionar “Loads”, “Define Loads”, “Apply”, “Structural”, “Force/Moment”, “On Nodes”;
- ✓ Apontar o nó 2 e clicar em “OK”;
- ✓ Na nova janela inserir:
 - Direction of força/mom **FX**
 - VALUE Force/moment value **30**
- ✓ Clicar em “OK”.



- ✓ Dentro do “Preprocessor” selecionar “Loads”, “Define Loads”, “Apply”, “Structural”, “Force/Moment”, “On Nodes”;

- ✓ Apontar os nós **2 e 3** e clicar em “OK”;
- ✓ Na nova janela inserir:
 - Direction of força/mom **FY**
 - VALUE Force/moment value **-50**
- ✓ Clicar em “OK”.



2.5.4. Salvando dados no arquivo Port1rig.db

- ✓ No ANSYS Toolbar clicar em “SAVE_DB”.

F

3. SOLUÇÃO

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

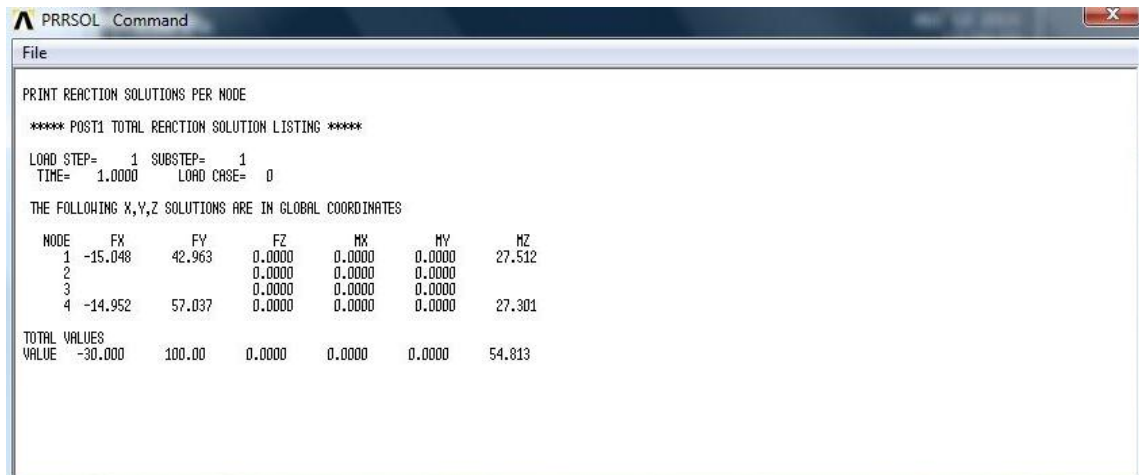
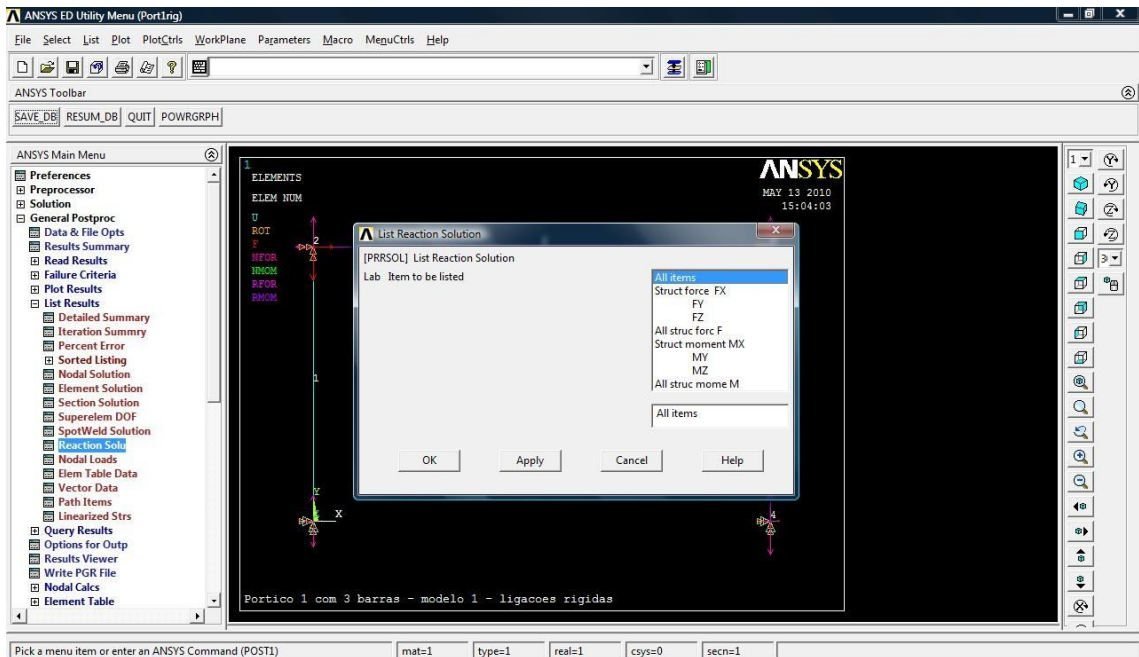
G

4. PÓS PROCESSAMENTO

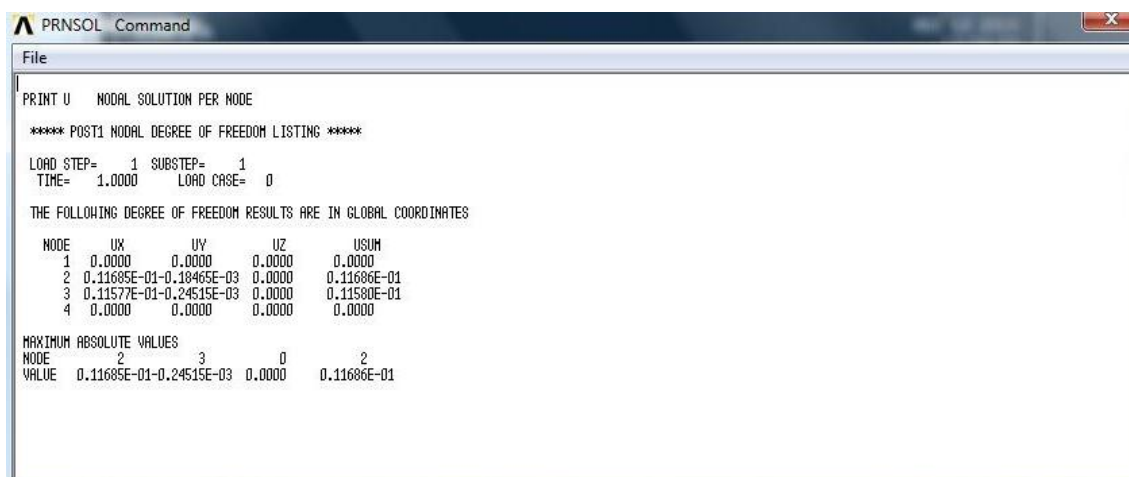
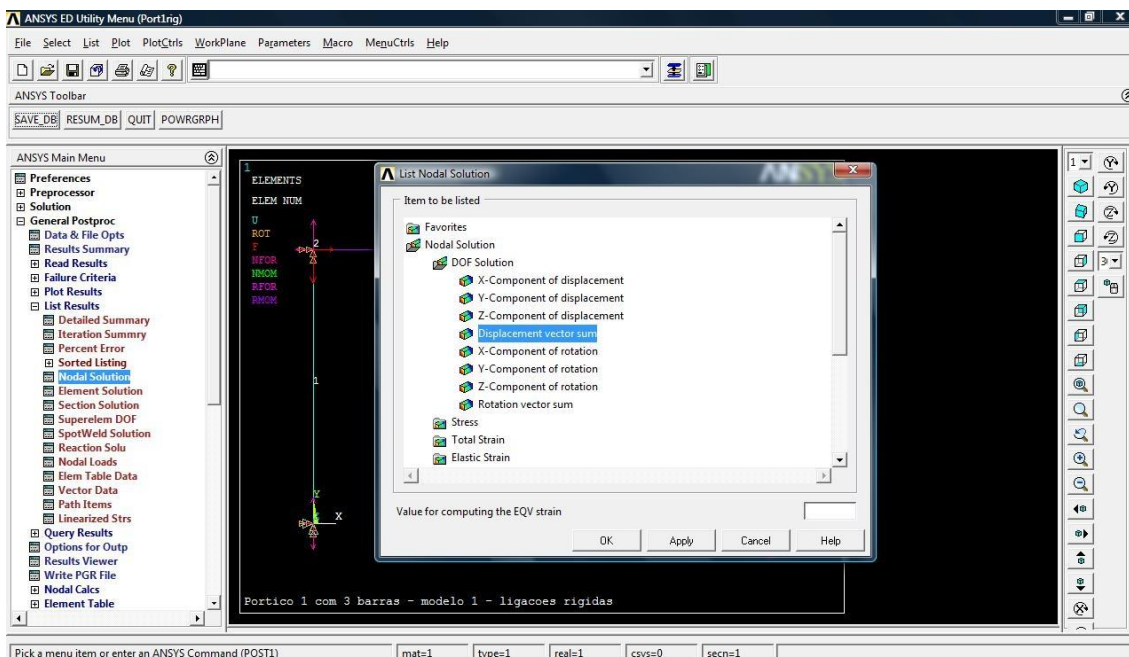
4.1. Gera, lista e plota os resultados:

- ✓ No ANSYS Main Menu dentro do “General Postproc” clicar em “List Results”, “Reaction Solution” para listar as reações nodais;
- ✓ Inserir na janela que abrir:

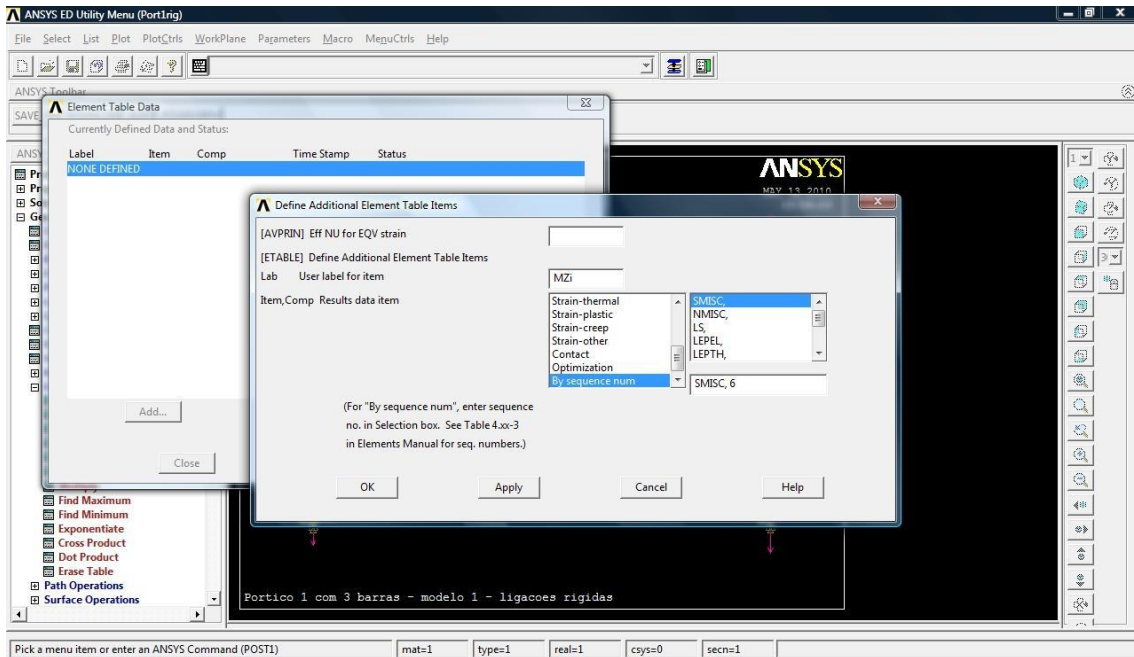
- Lab **All Items**
- ✓ Clicar em “OK”;



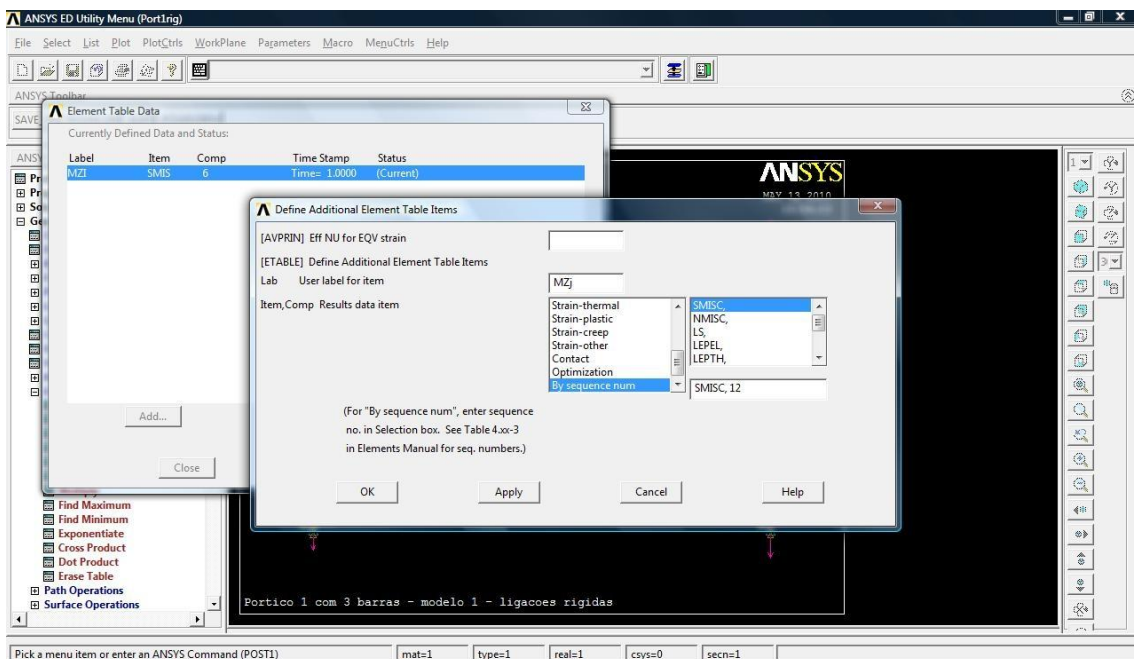
- ✓ No ANSYS Main Menu dentro do “General Postproc” clicar em “List Results”, “Nodal Solution” para listar os deslocamentos dos nós;
- ✓ Inserir na janela que abrir:
 - Item, comp **DOF solution** **Displacement vector sum**
- ✓ Clicar em “OK”;



- ✓ No ANSYS Main Menu dentro do “General Postproc” clicar em “Element Table”, “Define Table”, “Add”;
- ✓ Na nova janela, definir:
 - LAB **MZI**
 - Item, comp By sequence number **SMISC**
 - SMISC,6**
- ✓ Clicar em “APPLY”.



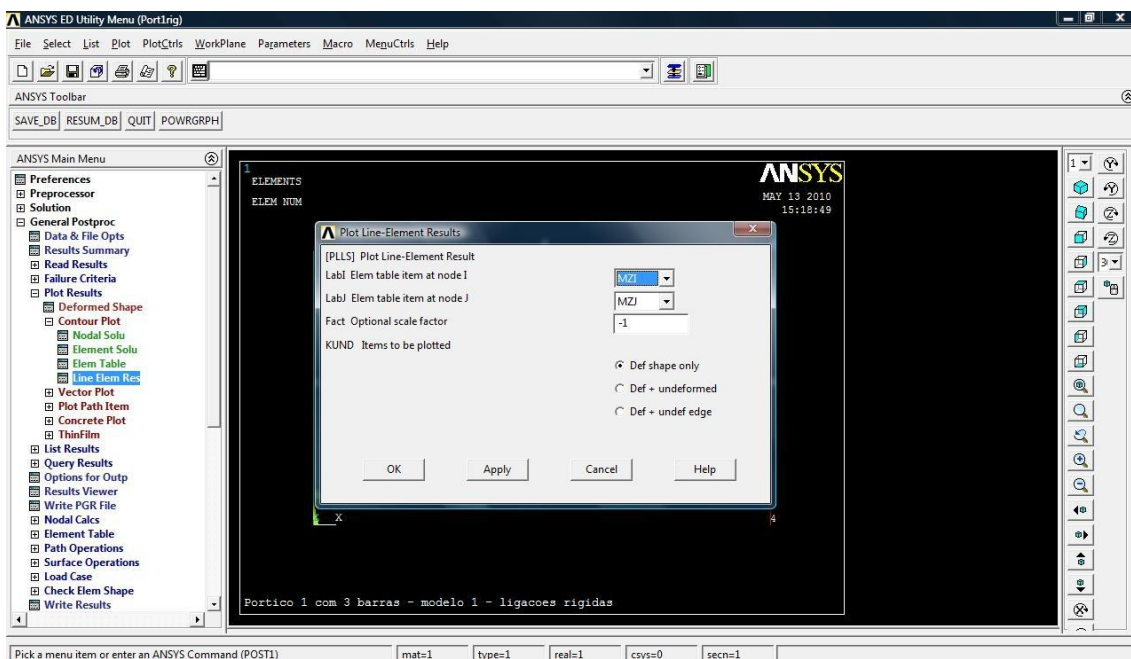
- ✓ Na nova janela, definir:
 - LAB **MZj**
 - Item, comp **By sequence number** **SMISC**
SMISC,12
- ✓ Clicar em “APLLY”.

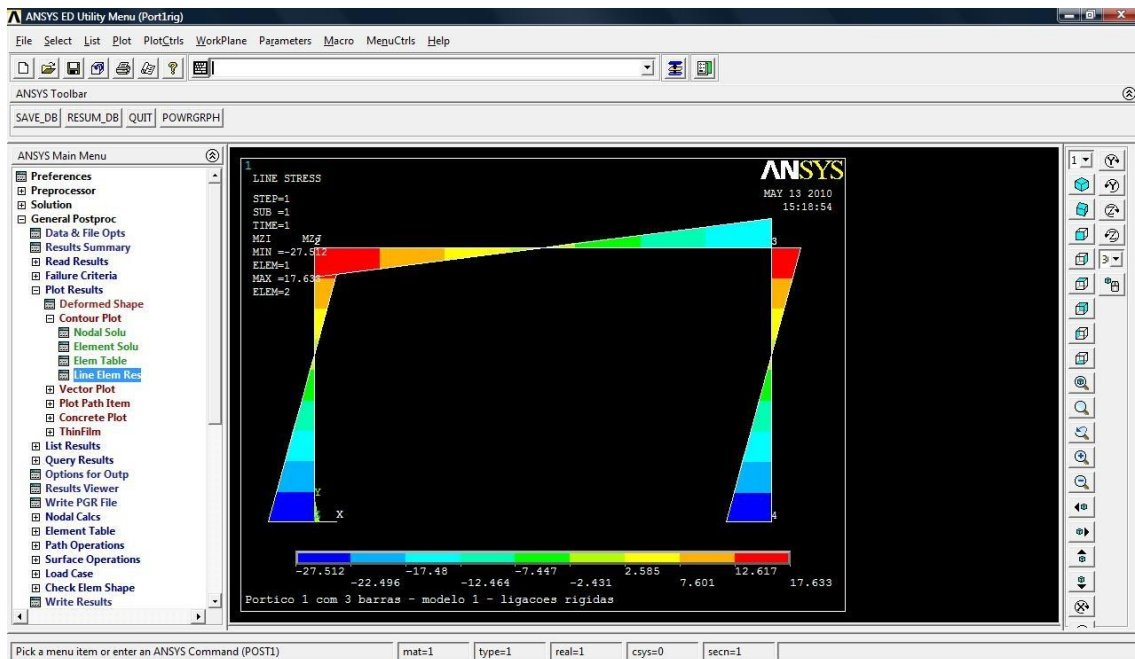


- ✓ No ANSYS Main Menu dentro do “General Postproc” clicar em “List Results”, “Element Table Data”;
- ✓ Selecionar **MZI e MZJ**;
- ✓ Clicar em “OK”;



- ✓ Os sinais dos momentos dependem da escolha dos eixos locais. Repare que neste exemplo forneceremos a incidência do elemento 1 e do elemento 2 coincidente com o eixo XG.
- ✓ No ANSYS Main Menu dentro do “General Postproc” clicar em “Plot Results”, “Contour Plot”, “Line Elem Res” para plotar os resultados do elemento;
- ✓ Na janela “Plot Line-Element Results, selecionar:
 - LABI **MZI**
 - LABJ **MZJ**
 - Fact **-1**
- ✓ Clicar em “OK”;





- ✓ No ANSYS Toolbar clicar em “SAVE_DB”.

MODELO 2: COM LIGAÇÕES ROTULADAS OU FLEXÍVEIS

H

4.2. *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: **“Pórtico 1 com três barras – modelo 2 – ligações flexíveis”**;
- ✓ Clicar em OK.

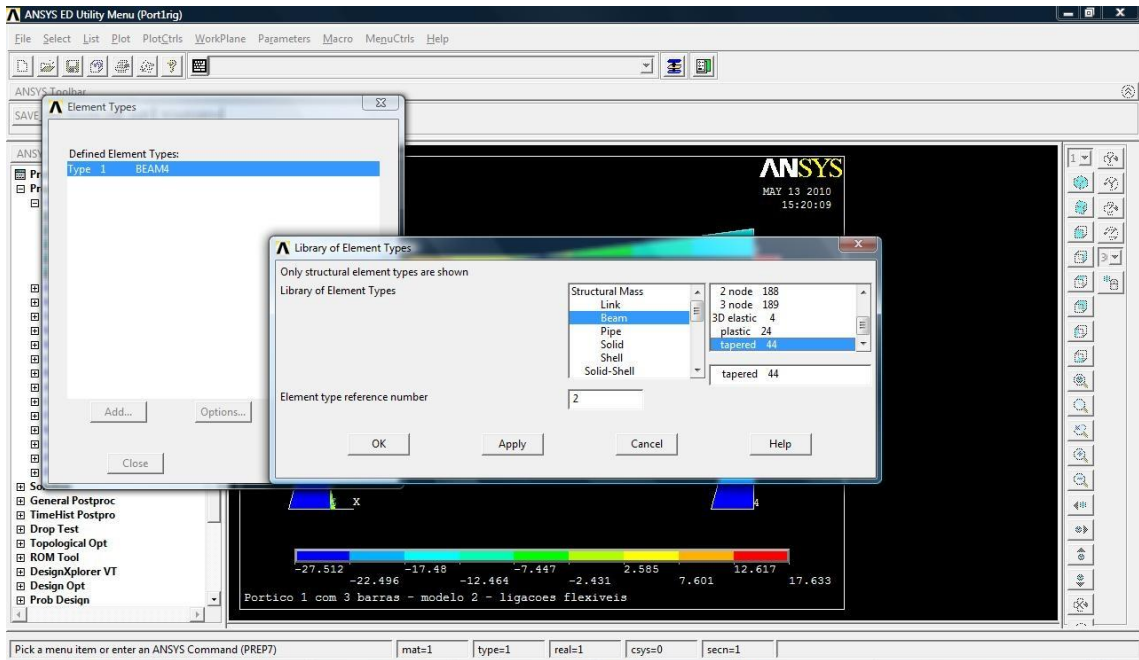
5. ENTRA NA FASE DE PRÉ-PROCESSAMENTO

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

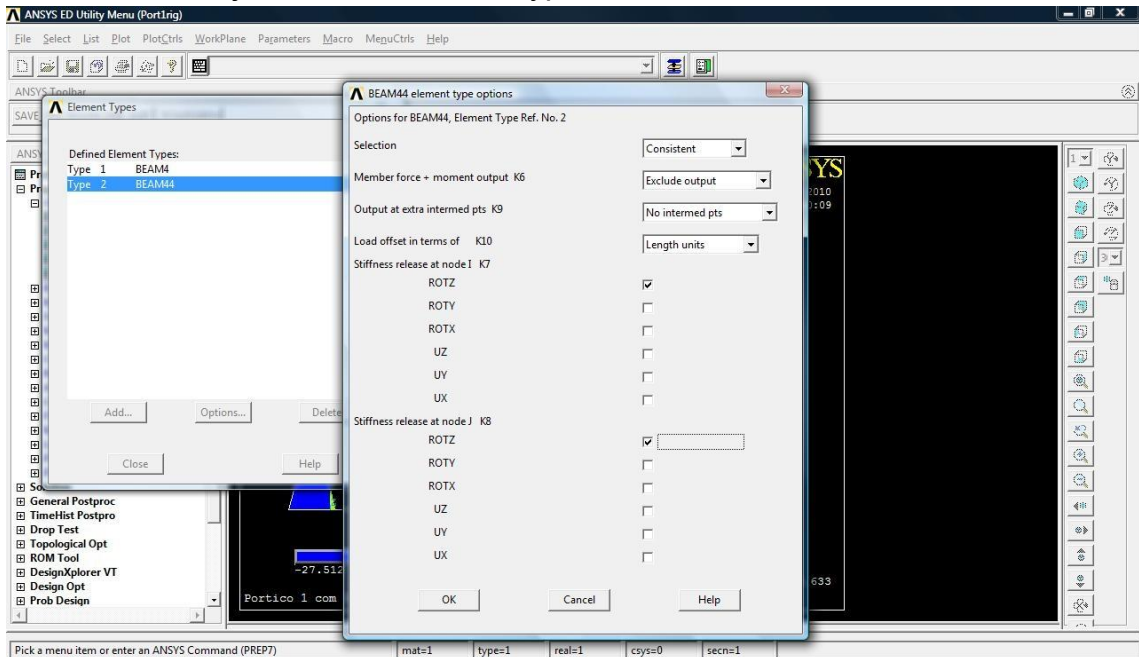
I

5.1. *Escolhe o tipo de elemento finito que será usado:*

- ✓ Dentro do “Preprocessor”, selecionar “Element Type”;
- ✓ Dentro do “Element Type”, selecionar “Add/Edit/Delete”;
- ✓ Na janela “Element Types”, clicar em “Add...” para selecionar um novo elemento.
- ✓ Outra janela se abrirá, então no “Library of Element Types” selecionar o elemento **“BEAM”**, **“3D tapered 44”** e clicar em “OK”.



- ✓ Ainda na janela “Element Types”, clicar em “Options” (para o elemento BEAM 44) e, na nova janela, selecionar;
 - Stiffness released for nodel K7;
 - Ligar **ROTZ**;
 - Stiffness released for nodeJ K8;
 - Ligar **ROTZ**;
- ✓ Clicar em “OK”;
- ✓ Clicar em “CLOSE”;
- ✓ Fechar a janela do “Element Types”;



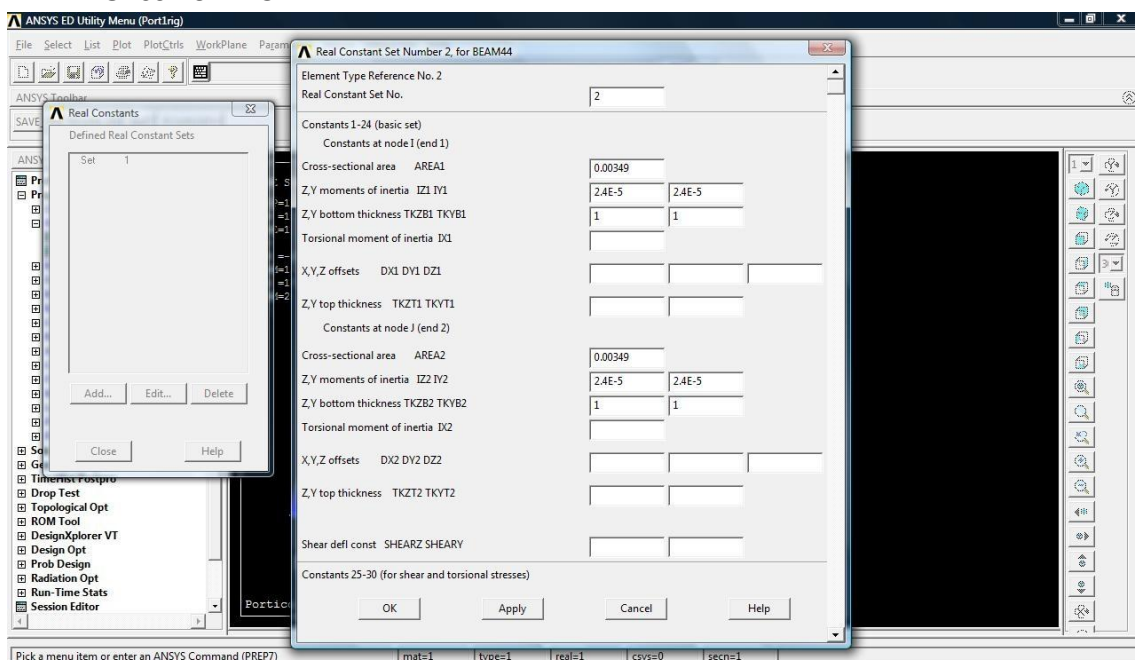
5.2. Define Constantes Geométricas:

- ✓ Dentro do “Preprocessor”, selecionar “Real Constants”;
- ✓ Dentro do “Real Constants”, selecionar “Add/Edit/Delete”;
- ✓ Na nova janela que abrir, clicar em “Add...” para adicionar novas constantes geométricas;
- ✓ Uma nova janela se abrirá então selecionar o tipo de elemento em “Choose element type” e clicar em OK;
- ✓ Selecionar o elemento 2 em “Choose element type” e clicar em OK;
- ✓ Na janela “Element Type for Real Constants” selecionar o “BEAM 44”;
- ✓ A janela “Real Constants Set Number 2, for “BEAM 44” irá aparecer.

Deve-se inserir:

- Real Constant Set No. = 2
- **At Node I:**
- Cross-sectional Area AREA1 = 0.00349
- Area moment of inertia IZ1 = 2.4E-5
- Area moment of inertia IY1 = 2.4E-5
- TKZB1 = 1
- TKYB1 = 1
- **At Node J:**
- Cross-sectional Area AREA2 = 0.00349
- Area moment of inertia IZ2 = 2.4E-5
- Area moment of inertia IY2 = 2.4E-5
- TKZB2 = 1
- TKYB2 = 1

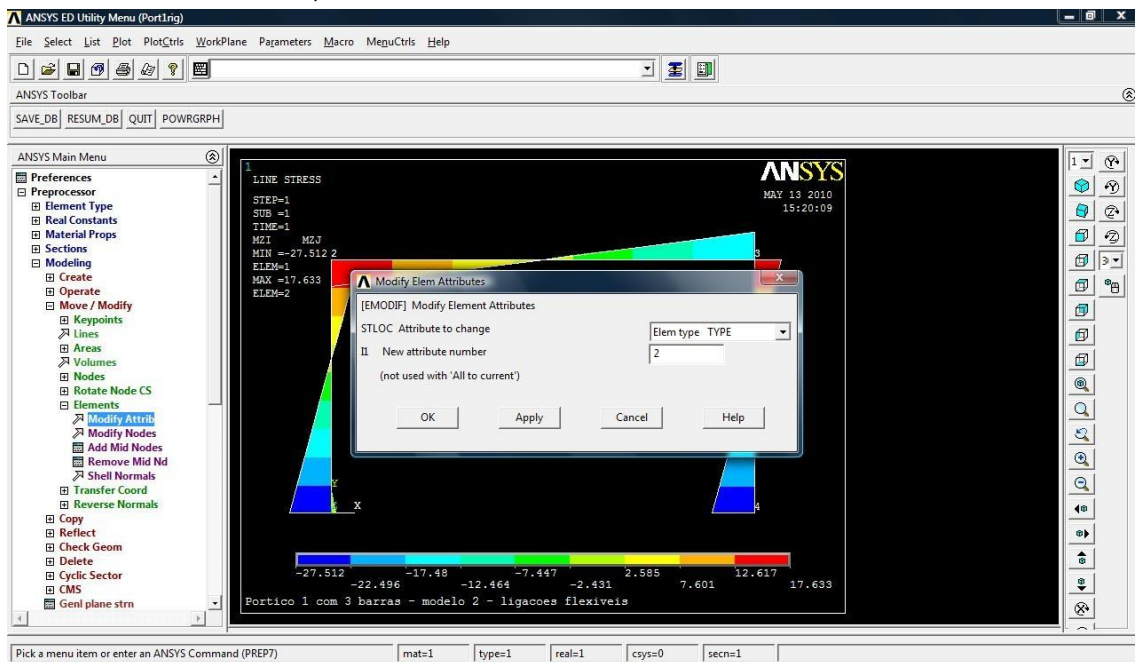
- ✓ Clicar em “OK”.



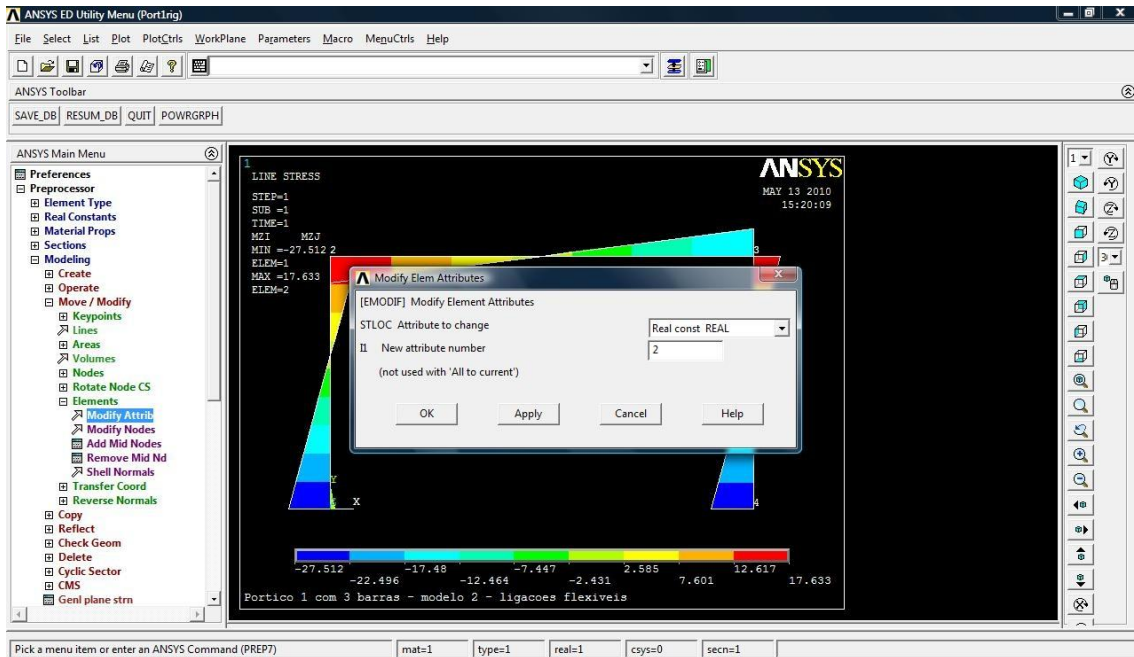
- ✓ Clicar em “CLOSE”.

5.3. Modifica o tipo do elemento:

- ✓ Dentro do “Preprocessor”, selecionar “Modeling”, “Move/Modify”, “Elements”, “Modify Attrib”;
- ✓ Na nova janela, selecionar:
 - STLOC **Elem Type TYPE**
 - I1 **2**
- ✓ Clicar em “OK”;



- ✓ Dentro do “Preprocessor”, selecionar “Modeling”, “Move/Modify”, “Elements”, “Modify Attrib”;
- ✓ Na nova janela, selecionar:
 - STLOC **Real const REAL**
 - I1 **2**
- ✓ Clicar em “OK”;



- ✓ No ANSYS Toolbar clicar em “SAVE_DB”.

K

6. SOLUÇÃO

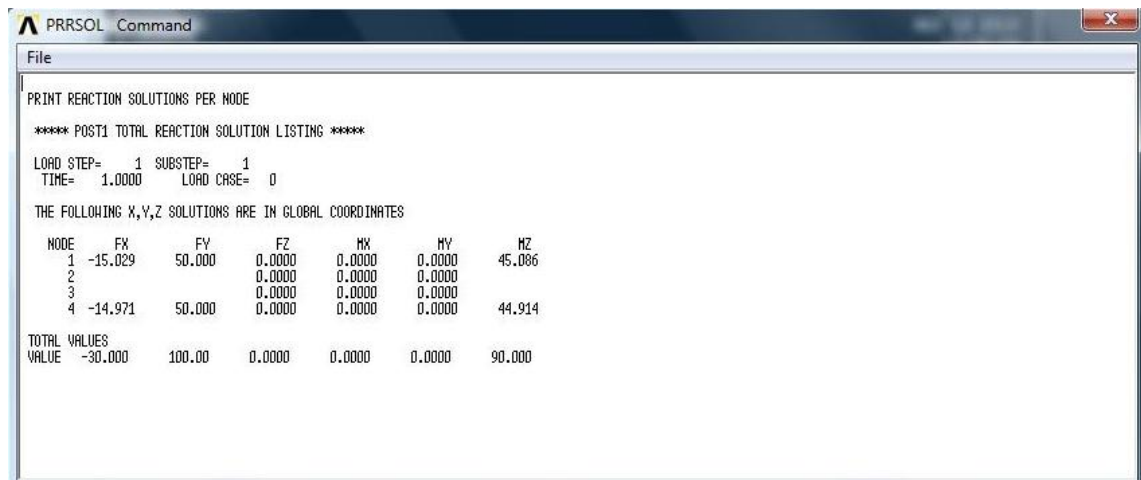
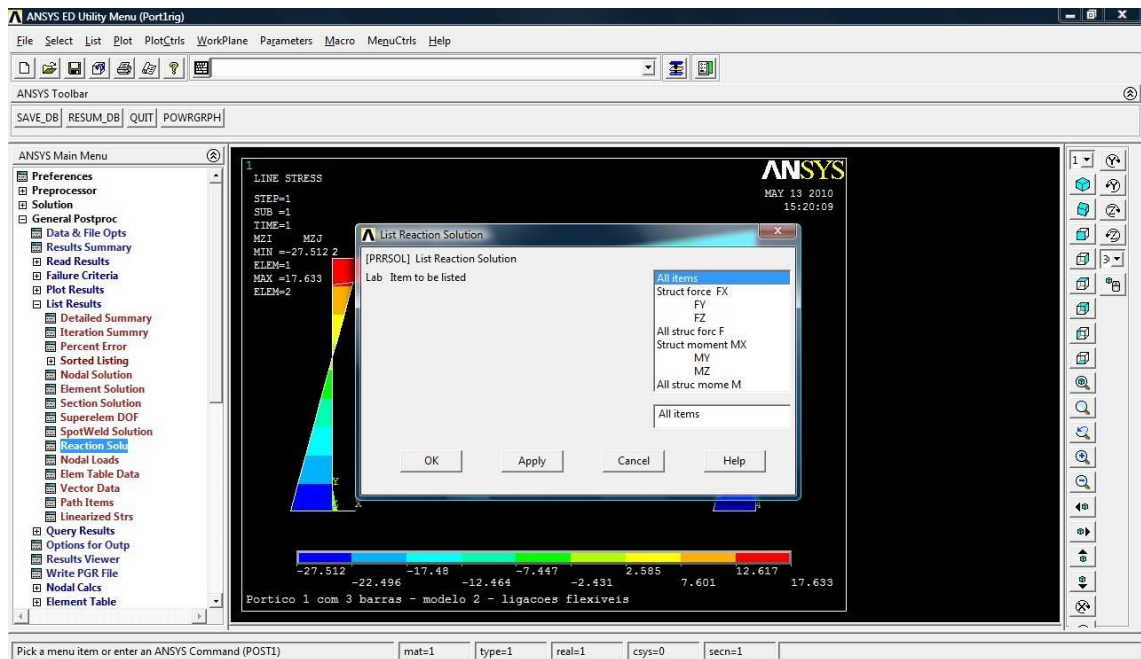
- ✓ No ANSYS Main Menu dentro do “Solution” clicar em “Solve”, “Current LS”;
- ✓ Clicar em “OK”.
- ✓ Na janela “Information: Solution is done” clicar em “CLOSE”.
- ✓ No ANSYS Toolbar clicar em “SAVE_DB”.

L

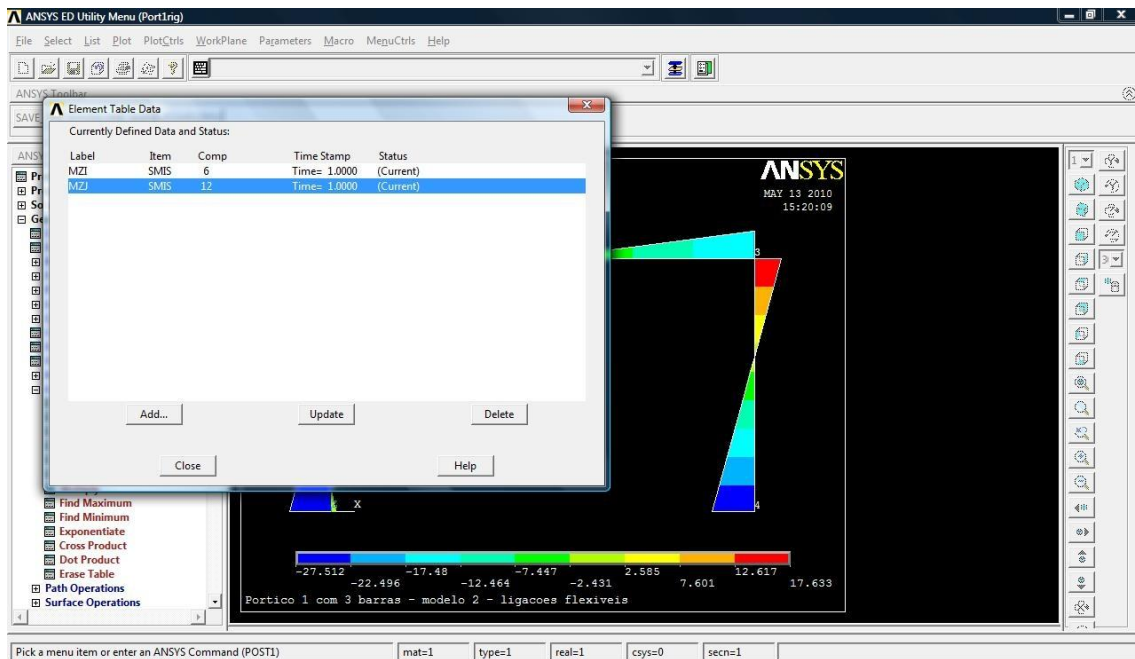
7. PÓS PROCESSAMENTO

7.1. *Gera, lista e plota os resultados:*

- ✓ No ANSYS Main Menu dentro do “General Postproc” clicar em “List Results”, “Reaction Solution” para listar as reações nodais;
- ✓ Inserir na janela que abrir:
 - Lab **All Items**
- ✓ Clicar em “OK”;



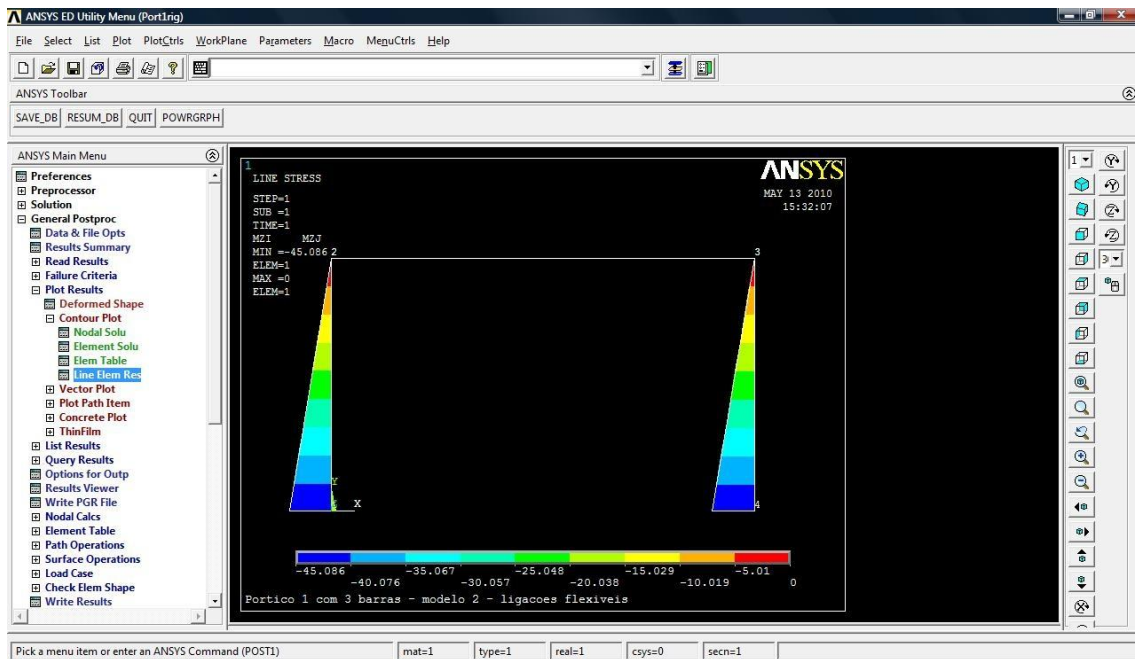
- ✓ No ANSYS Main Menu dentro do “General Postproc” clicar em “Element Table”, “Define Table”, “Update”;
- ✓ Clicar em “Close”;



- ✓ No ANSYS Main Menu dentro do “General Postproc” clicar em “List Results”, “Element Table Data”;
- ✓ Selecionar **MZI e MJZ**;
- ✓ Clicar em “OK”;



- ✓ No ANSYS Main Menu dentro do “General Postproc” clicar em “Plot Results”, “Contour Plot”, “Line Elem Res” para plotar os resultados do elemento;
- ✓ Na janela “Plot Line-Element Results, selecionar:
 - LABI **MZI**
 - LABJ **MZJ**
 - Fact **-1**
- ✓ Clicar em “OK”;



- ✓ No ANSYS Toolbar clicar em “SAVE_DB”.

MODELO 3: COM LIGAÇÕES SEMI-RÍGIDAS

M

8. REINÍCIO DA ANÁLISE

8.1. *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”

8.2. *Carrega arquivo previamente salvo:*

- ✓ No “ANSYS Utility Menu”, clicar em “File”, “Resume from...”;
- ✓ Abrir o arquivo “Port1.rig.db”.

8.3. *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: **“Pórtico 1 com três barras – modelo 3 – ligações semi-rigidas”**;
- ✓ Clicar em OK.

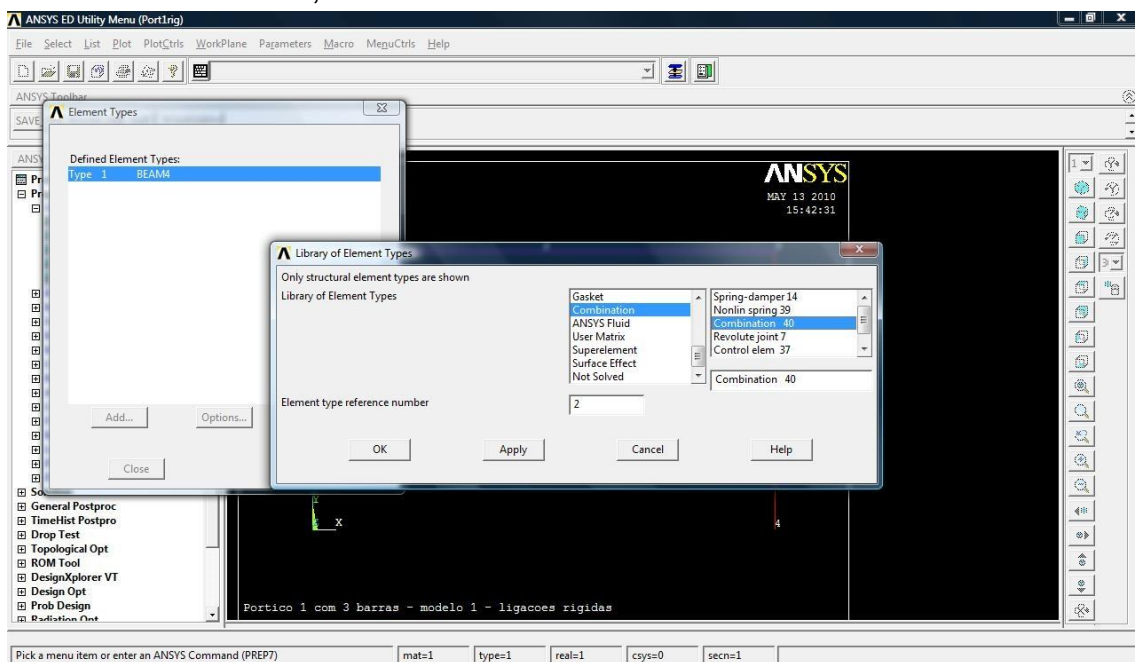
9. ENTRA NA FASE DE PRÉ-PROCESSAMENTO

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

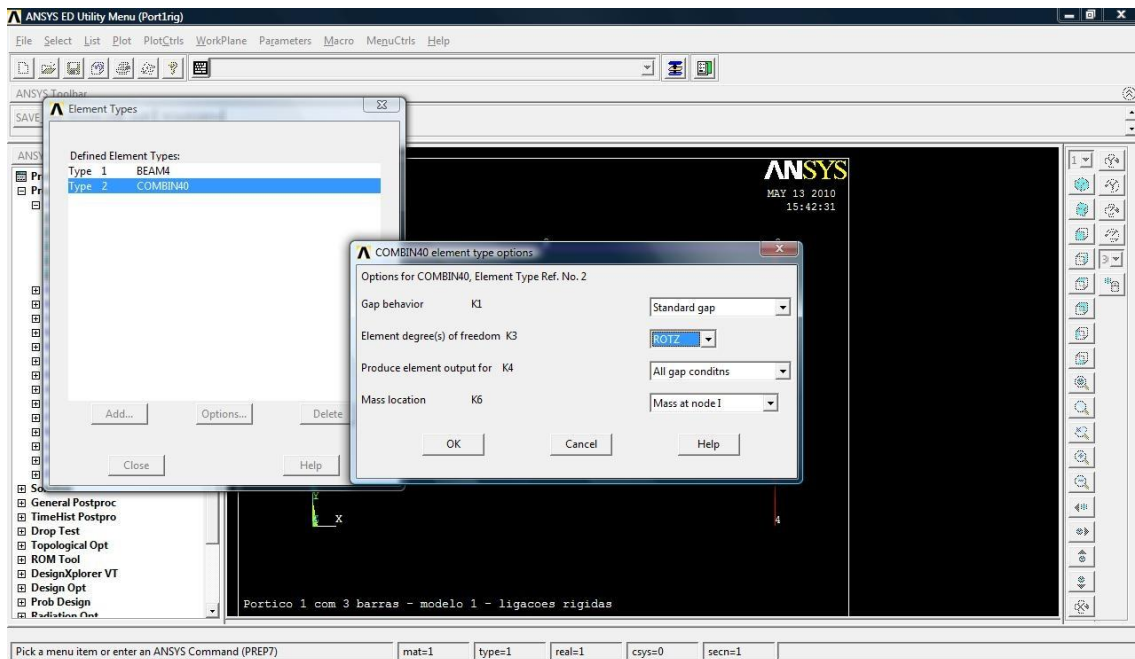
N

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

- ✓ Dentro do “Preprocessor”, selecionar “Element Type”;
- ✓ Dentro do “Element Type”, selecionar “Add/Edit/Delete”;
- ✓ Na janela “Element Types”, clicar em “Add...” para selecionar um novo elemento.
- ✓ Selecionar o elemento “Combination”, “Combination 40” e clicar em “OK”.
- ✓ Clicar em “OK”;



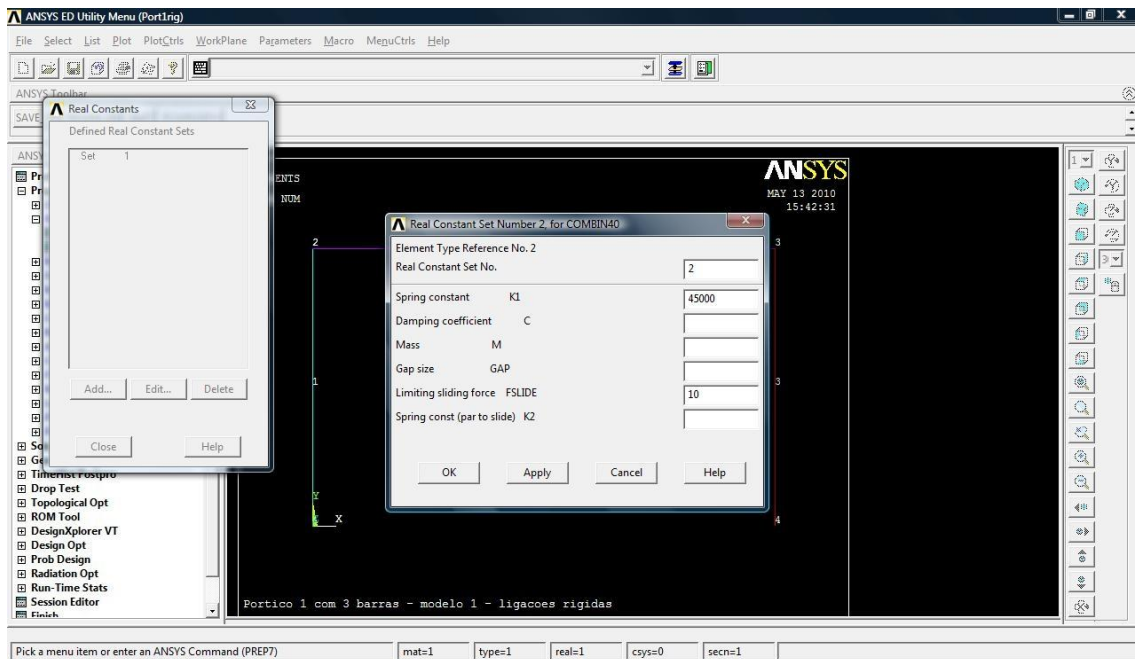
- ✓ Ainda na janela “Element Types”, clicar em “Options” (para o elemento Combination 40) e, na nova janela, selecionar;
 - Degree of freedom K3 ROTZ
- ✓ Clicar em “OK”;



0

9.2. **Define as constantes geométricas:**

- ✓ Dentro do “Preprocessor”, selecionar “Real Constants”;
- ✓ Dentro do “Real Constants”, selecionar “Add/Edit/Delete”;
- ✓ Na nova janela que abrir, clicar em “Add...” para adicionar novas constantes geométricas;
- ✓ Uma nova janela se abrirá então selecionar o tipo de elemento em “Choose element type” e clicar em OK;
- ✓ Na janela “Element Type for Real Constants” selecionar o “COMBIN 40”;
- ✓ A janela “Real Constants Set Number 2, for “COMBIN 40” irá aparecer. Deve-se inserir:
 - Real Constant Set No. = 2
 - Spring Constant K1 = 45000
 - Limiting sliding force FSLIDE = 10
- ✓ Clicar em “OK”;
- ✓ Fechar a janela;



9.3. Cria geometria:

9.3.1. Cria os nós:

- ✓ 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 : **5**;
 - X,Y,Z Location in active CS : **X = 0** **Y = 3**;
- ✓ Clicar em “APLY”;
- ✓ Para criar o próximo nó:
 - NODE Node Number : **6**;
 - X,Y,Z Location in active CS : **X = 5** **Y = 3**;
- ✓ Clicar em “OK”;

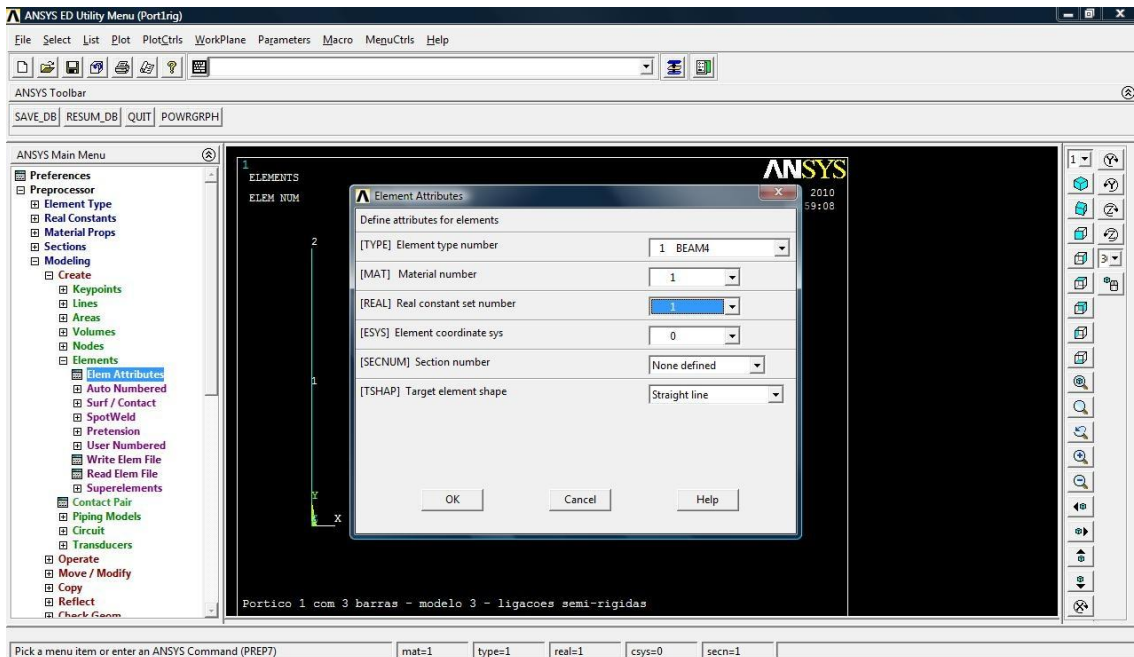
9.3.2. Deleta elemento:

- ✓ Dentro do “Preprocessor” selecionar “Modeling”, “Delete”, “Elements”;
- ✓ Selecionar o elemento **2**;
- ✓ Clicar em “OK”;

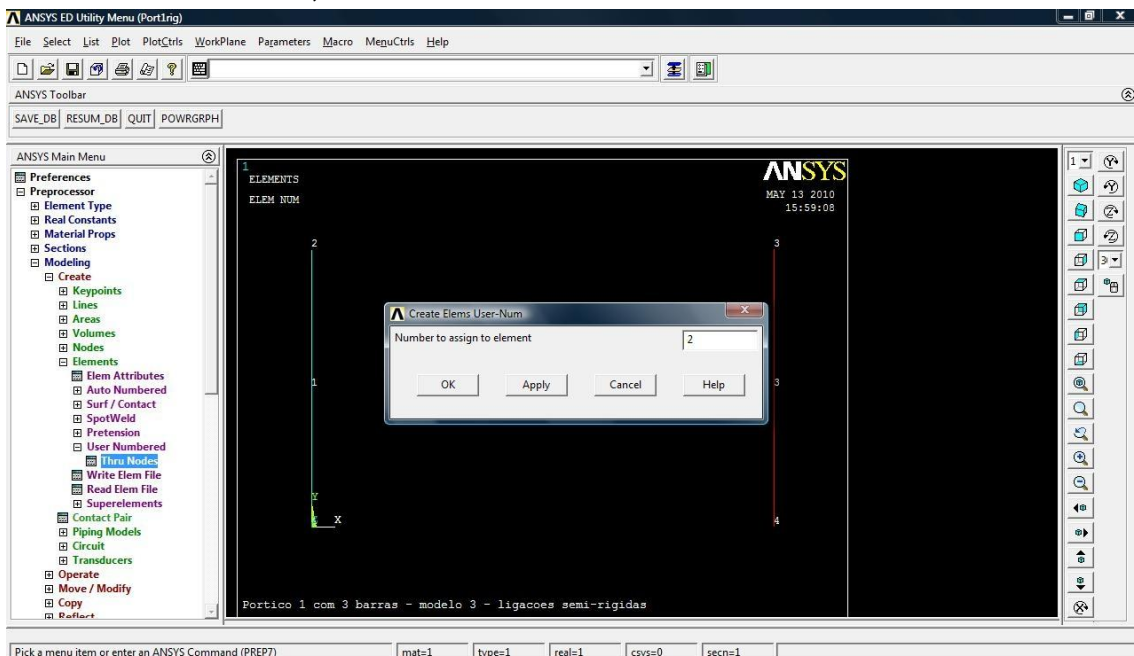
9.3.3. Cria os elementos:

- ✓ 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”.

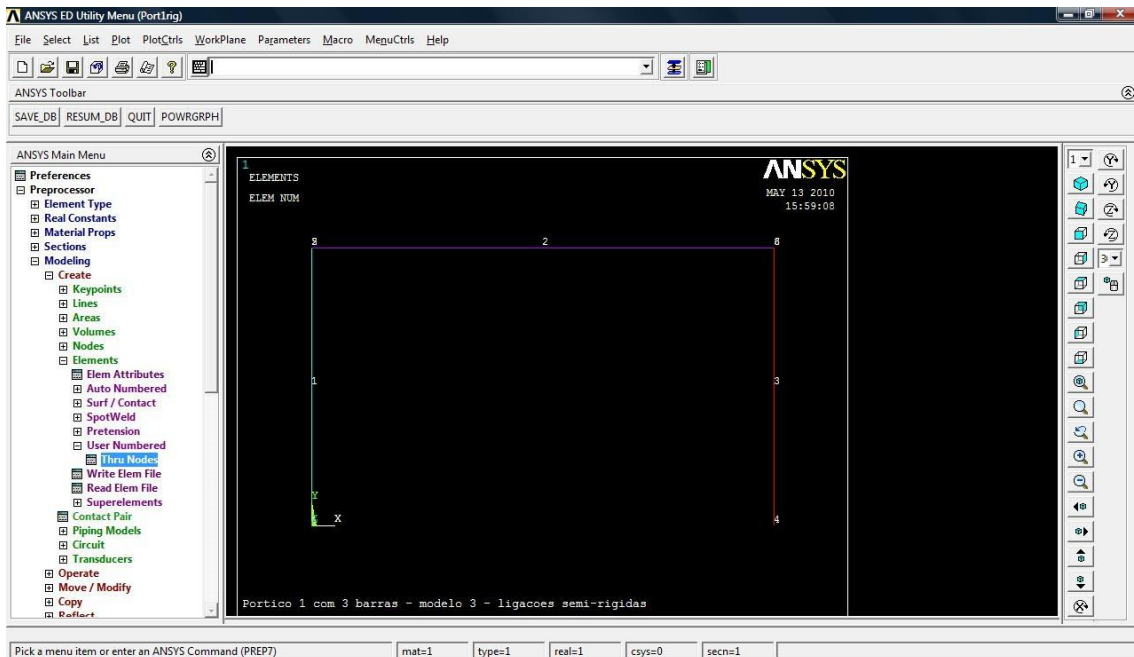


- ✓ Para criar os elementos: dentro do “Preprocessor” selecionar “Modeling”, “Create”, “Elements”, “User Numbered”, “Thru Nodes”;
- ✓ Inserir número do elemento:
 - Number to assign to element 2
- ✓ Clicar em “OK”;

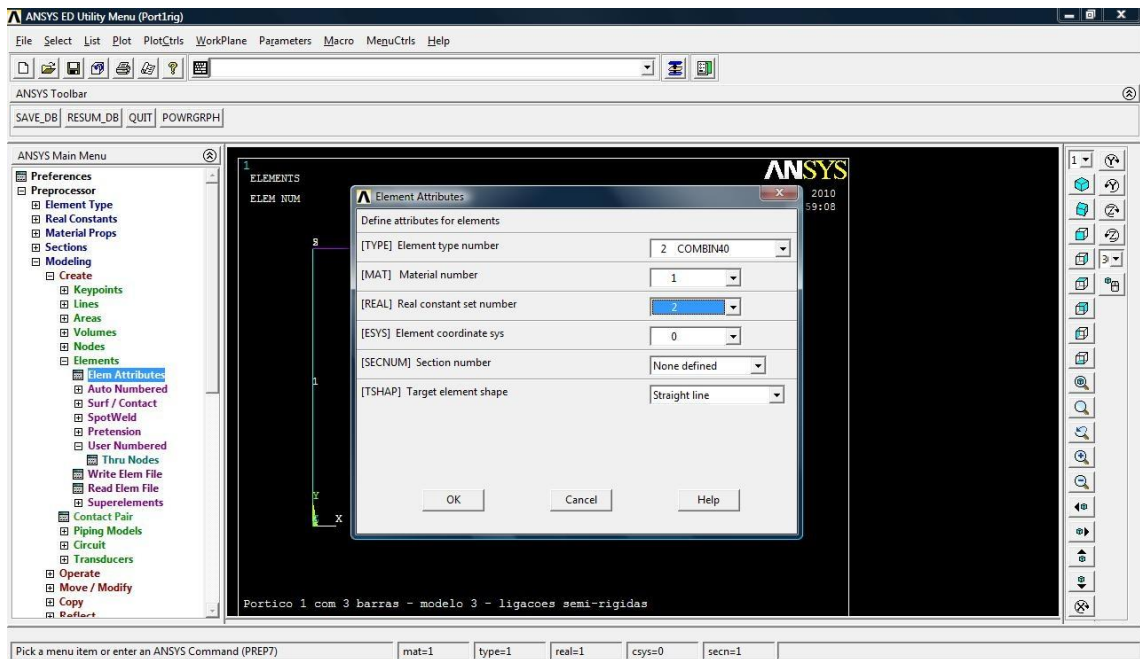


- ✓ Na nova janela que abrir, apontar os nós 5 e 6 e clicar em “OK”;
- ✓ (Observação: quando apontar o nó 5, o programa enviará a mensagem que existem 2 nós neste ponto. Escolher “NEXT” para escolher o nó 5 “OK”)

- ✓ (Observação: quando apontar o nó 6, o programa enviará a mensagem que existem 2 nós neste ponto. Para escolher o nó 6 apertar “NEXT” e em seguida “OK”);



- ✓ Criar os elementos de mola:
- ✓ 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 **2**
 - MAT **1**
 - REAL **2**
- ✓ Clicar em “OK”.



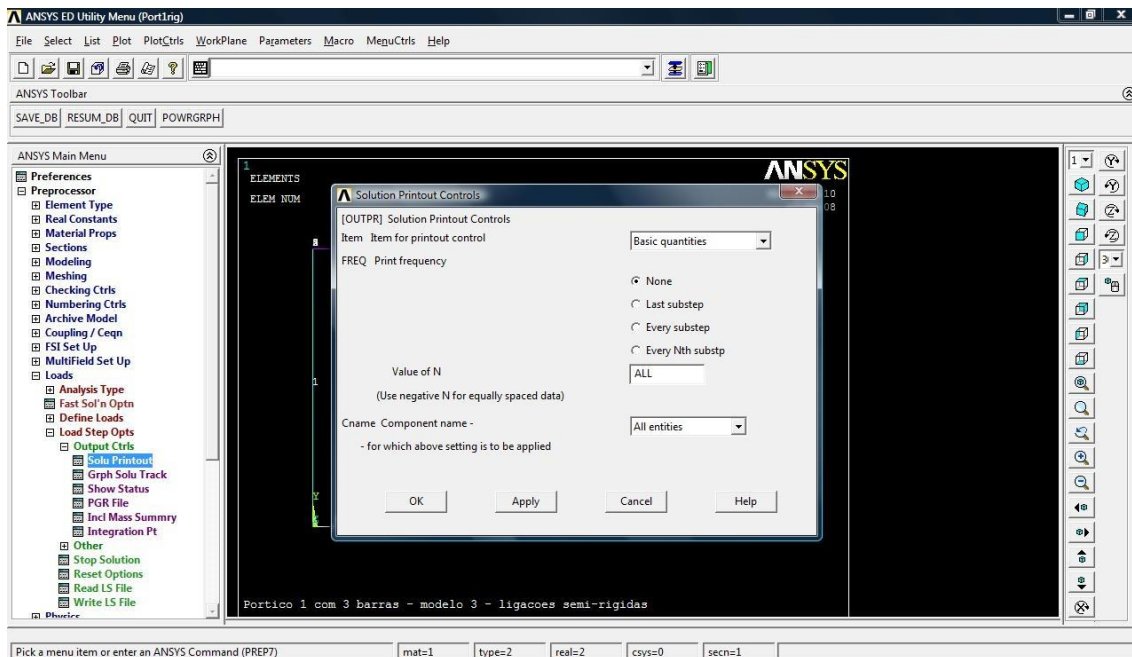
- ✓ Para criar os elementos: dentro do “Preprocessor” selecionar “Modeling”, “Create”, “Elements”, “Auto Numbered”, “Thru Nodes”;
- ✓ Na nova janela que abrir, apontar os nós **2 e 5** e clicar em “APPLY”;
- ✓ (Observação: quando apontar o nó 2, o programa enviará a mensagem que existem 2 nós neste ponto. Escolher “NEXT” para escolher o nó 2 “OK”)
- ✓ (Observação: quando apontar o nó 5, o programa enviará a mensagem que existem 2 nós neste ponto. Para escolher o nó 5 apertar “NEXT” e em seguida “OK”);
- ✓ Na nova janela que abrir, apontar os nós **3 e 6** e clicar em “OK”;
- ✓ (Observação: quando apontar o nó 3, o programa enviará a mensagem que existem 2 nós neste ponto. Escolher “NEXT” para escolher o nó 3 “OK”)
- ✓ (Observação: quando apontar o nó 6, o programa enviará a mensagem que existem 2 nós neste ponto. Para escolher o nó 6 apertar “NEXT” e em seguida “OK”);
- ✓ No “ANSYS Utility Menu”, clicar em “List”, “Elements”, “Nodes+Attributs”
- ✓ Clicar em “OK”;



9.4. Aplicar as condições de contorno:

9.4.1. Fornece condição de contorno;

- ✓ Dentro do “Preprocessor” selecionar “Loads”, “Load Steps Options”, “Output CTRLS”, “Solu Printout”;
- ✓ Na nova janela que abrir inserir:
 - Value of N **ALL**
- ✓ Clicar em “OK”;

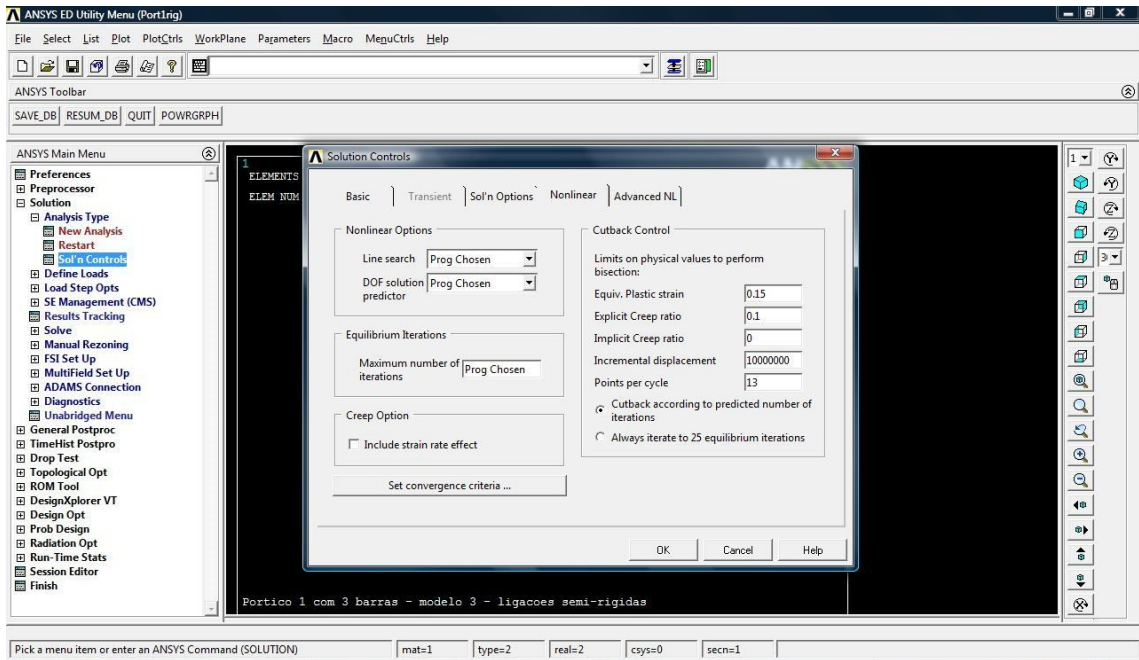


P

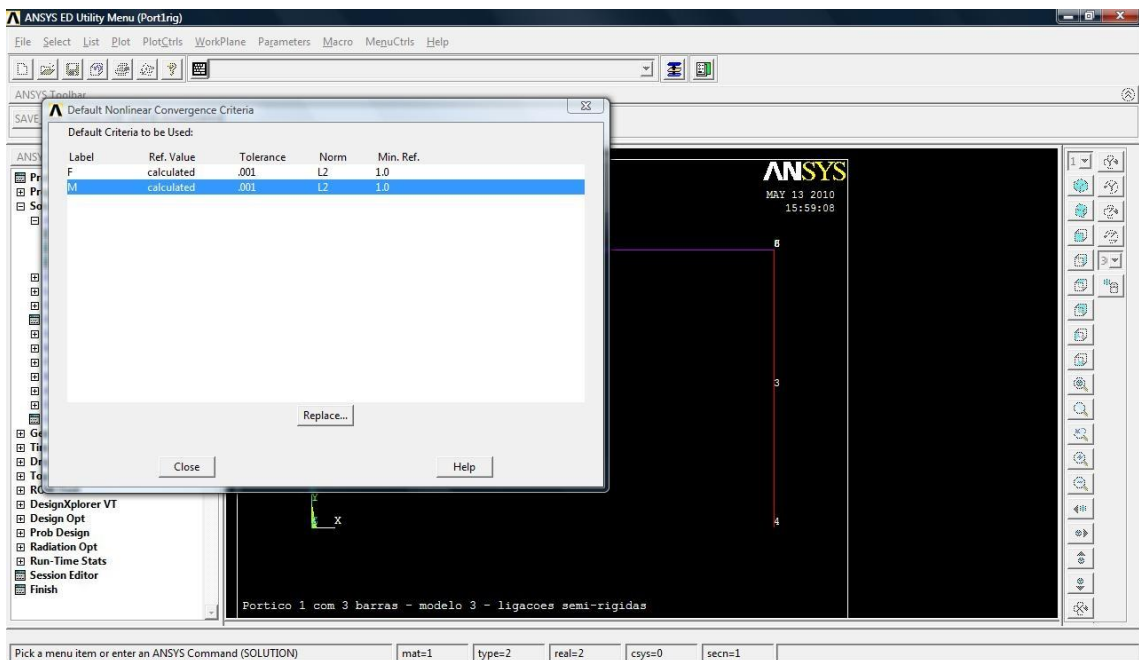
10. SOLUÇÃO

10.1. Critério de convergência:

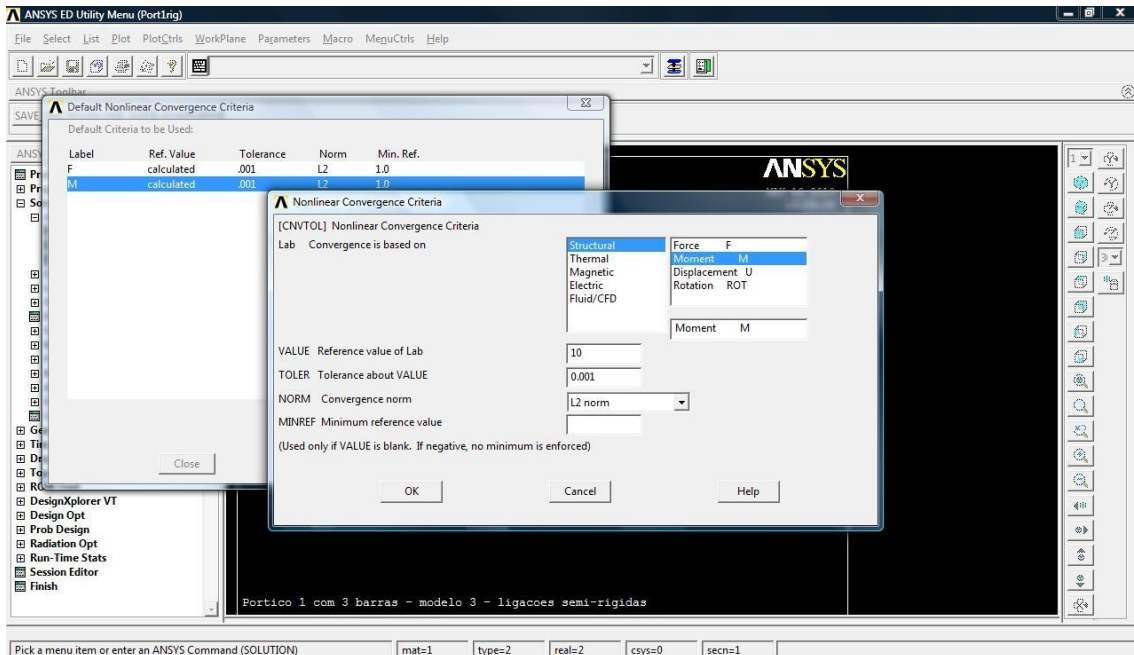
- ✓ Dentro do “Solution” clicar em “Analysis Type”, “Sol'n Controls”;
- ✓ Clicar em “Nonlinear”;
- ✓ Clicar em “Set convergence criteria...”



- ✓ Na nova janela, selecionar a linha referente ao **M** e clicar em “REPLACE”;



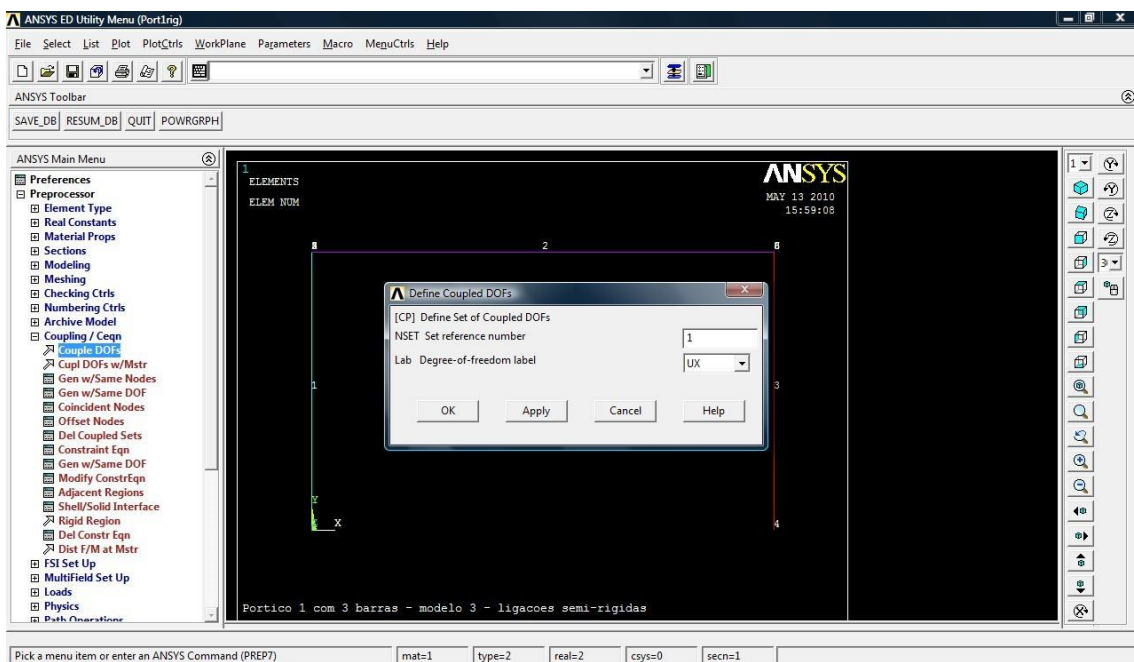
- ✓ Na nova janela, escolher:
 - Lab **Structural** **Moment M**
 - VALUE **10**
 - TOLER **0.001**
- ✓ Clicar em “OK”;



- ✓ Fechar a janelas;

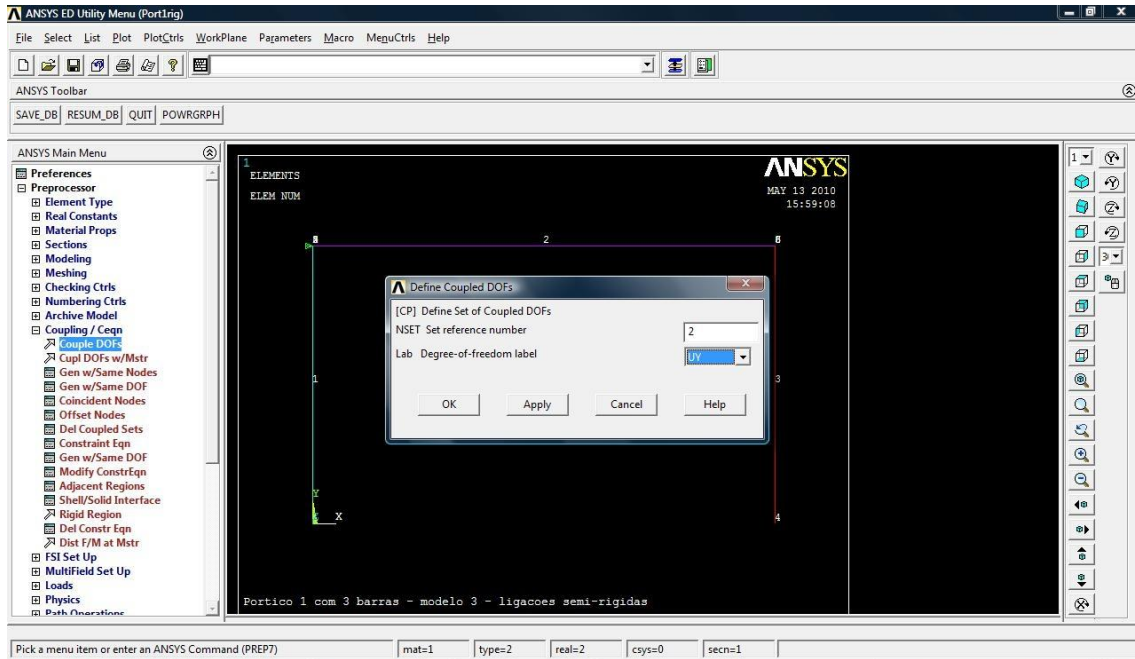
10.2. Acopla translações nos nós das ligações:

- ✓ Dentro do “Preprocessor” selecionar “Coupling/Ceqn”, “Couple DOF’s”;
- ✓ Na nova janela, apontar os nós 2 e 5;
- ✓ Clicar em “OK”;
- ✓ Inserir:
 - NSET = 1
 - LAB = UX
- ✓ Clicar em “OK”;

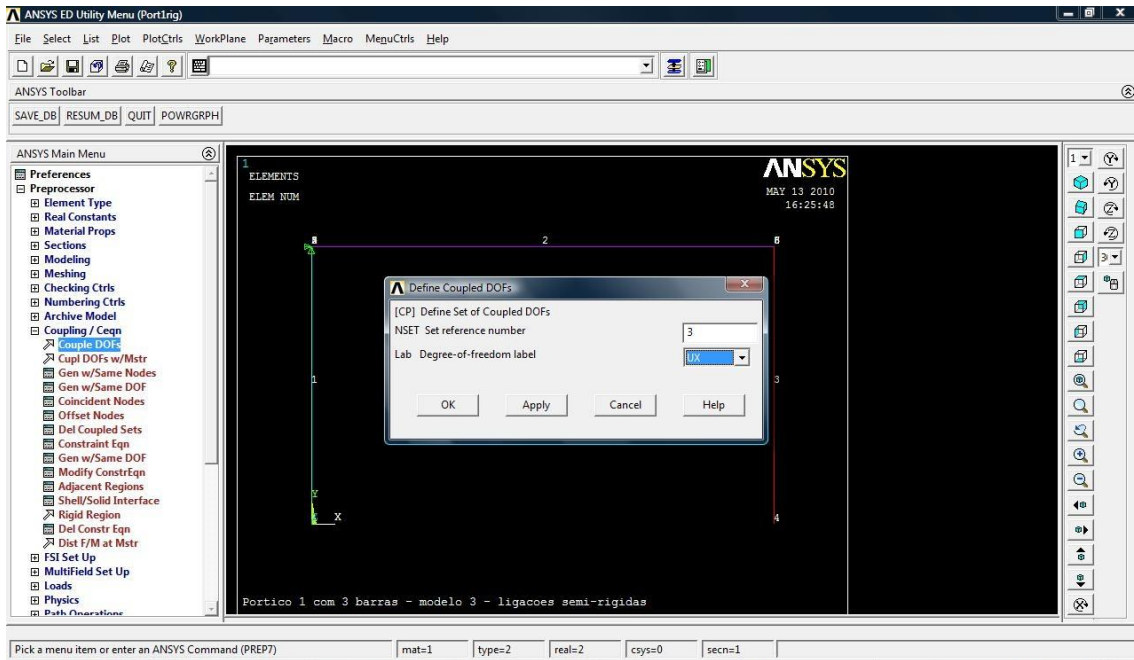


- ✓ Dentro do “Preprocessor” selecionar “Coupling/Ceqn”, “Couple DOF’s”;

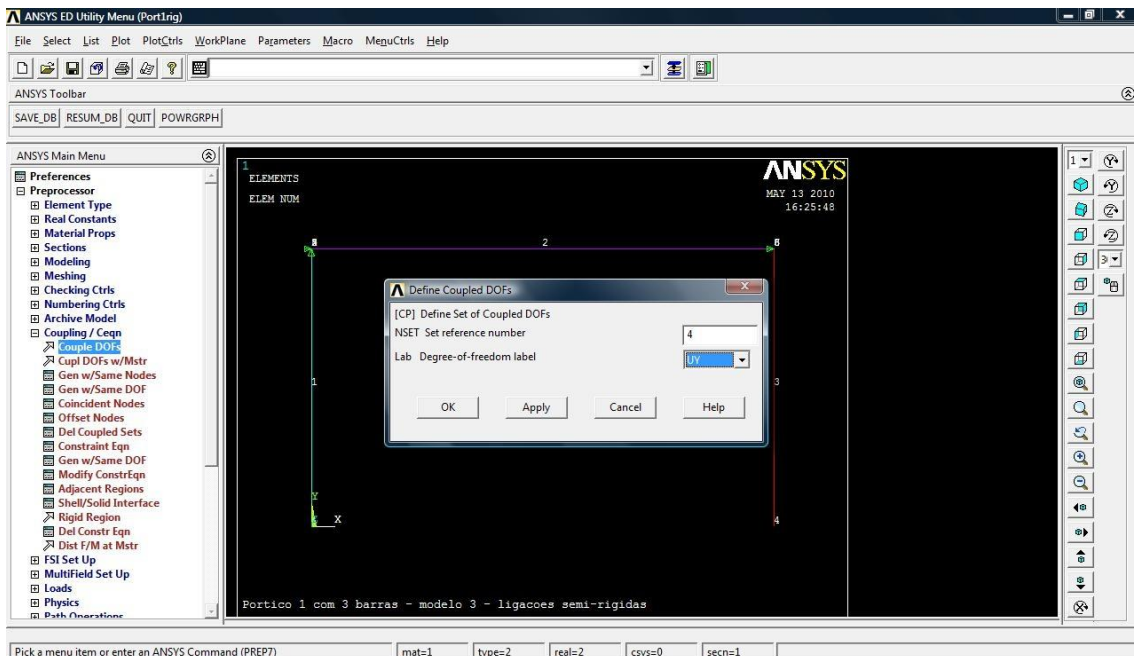
- ✓ Na nova janela, apontar os nós **2** e **5**;
- ✓ Clicar em “OK”;
- ✓ Inserir:
 - NSET = **2**
 - LAB = **UY**
- ✓ Clicar em “OK”;



- ✓ Dentro do “Preprocessor” selecionar “Coupling/Ceqn”, “Couple DOF’s”;
- ✓ Na nova janela, apontar os nós **3** e **6**;
- ✓ Clicar em “OK”;
- ✓ Inserir:
 - NSET = **3**
 - LAB = **UX**
- ✓ Clicar em “OK”;

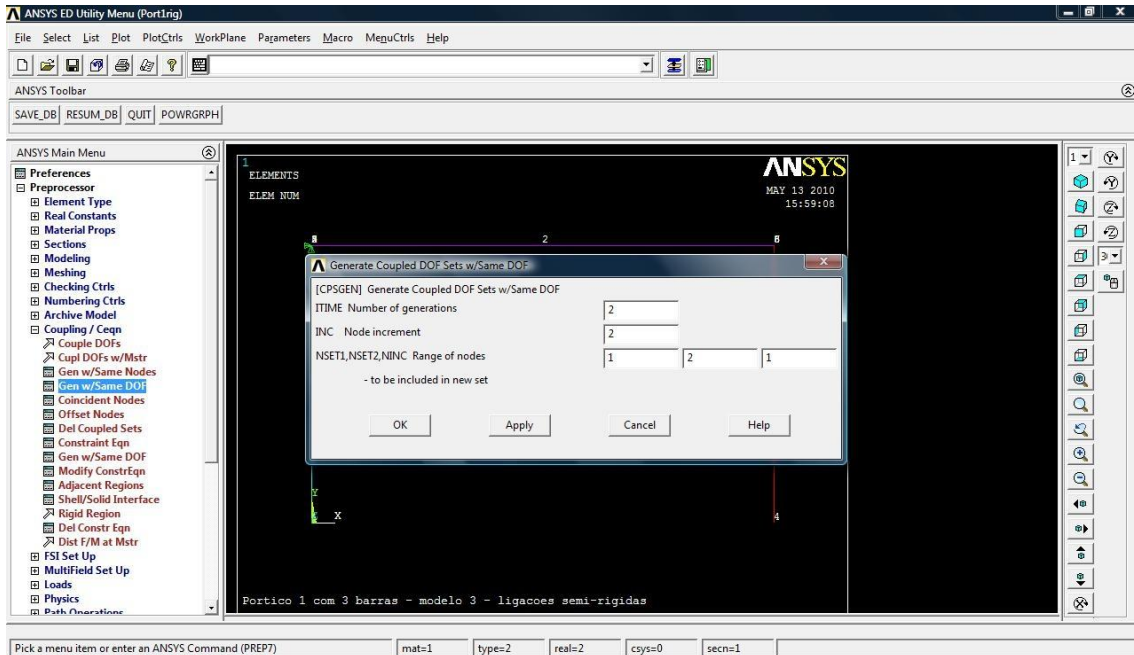


- ✓ Dentro do “Preprocessor” selecionar “Coupling/Ceqn”, “Couple DOF’s”;
- ✓ Na nova janela, apontar os nós 3 e 6;
- ✓ Clicar em “OK”;
- ✓ Inserir:
 - NSET = 4
 - LAB = UY
- ✓ Clicar em “OK”;

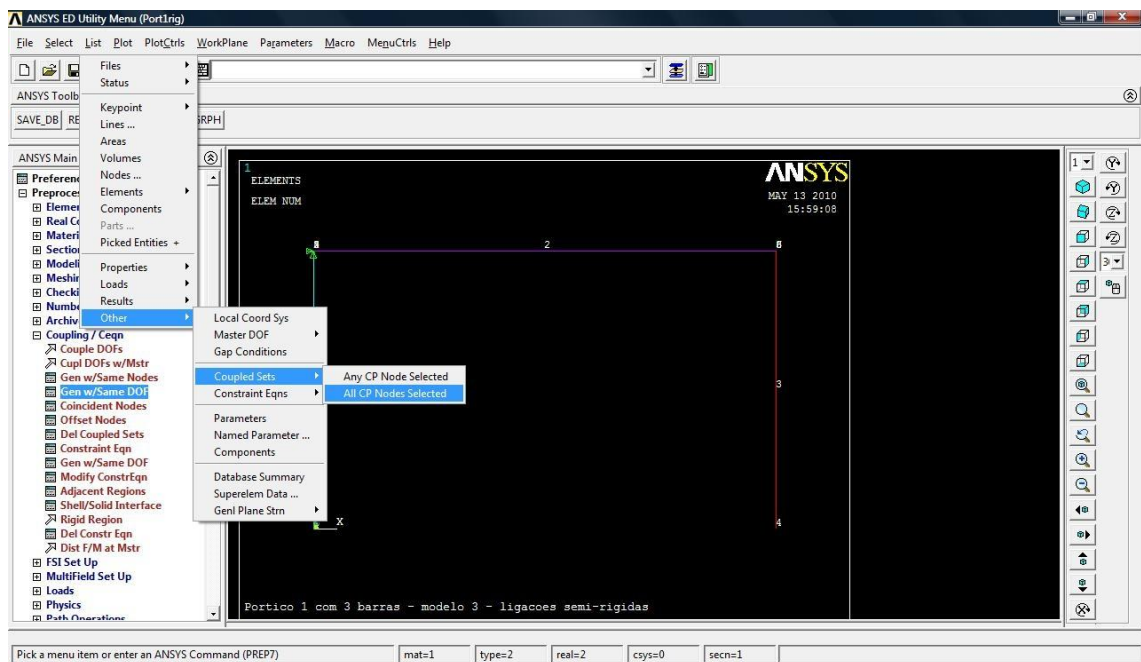


- ✓ Dentro do “Preprocessor” selecionar “Coupling/Ceqn”, “Gen with same DOF”;

- ✓ Inserir:
 - ITIME = 2
 - INC = 2
 - NSET1 = 1
 - NSET2 = 2
 - NSET3 = 1
- ✓ Clicar em “OK”;



- ✓ Para verificar a lista com os acoplamentos:
- ✓ No “ANSYS Utility Menu”, selecionar “List”, “Other”, “Coupled Sets”, “ALL CP node selected”;

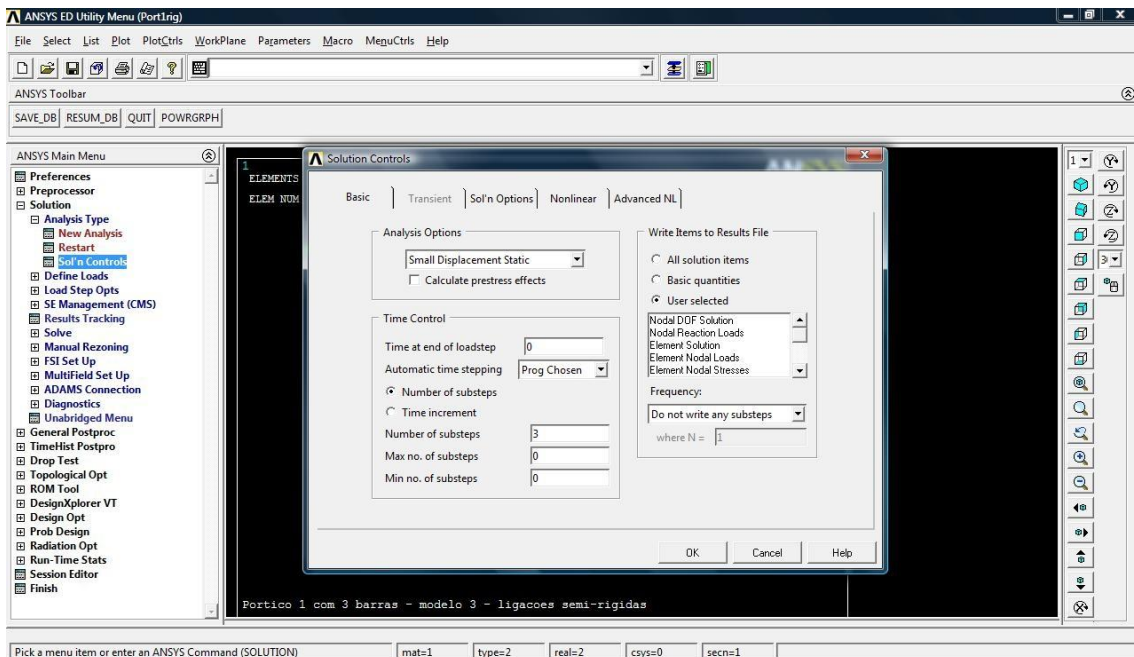




- ✓ No ANSYS Toolbar clicar em “SAVE_DB”.

10.3. Soluciona:

- ✓ No ANSYS Main Menu dentro do “Solution” clicar em “Analysis Type”, “Sol’n Controls”;
- ✓ Definir:
 - Number of substeps **3**
- ✓ Clicar em “OK”;



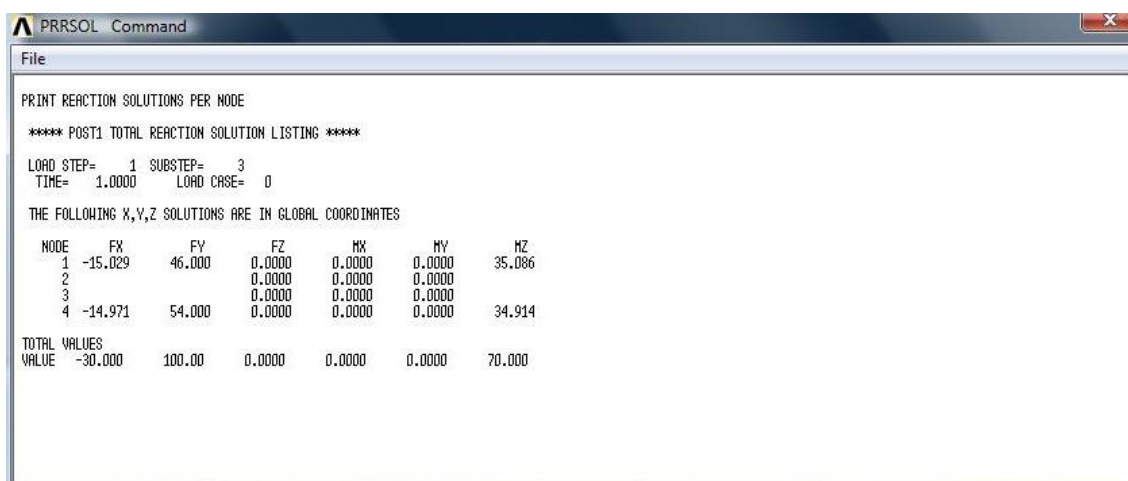
- ✓ No ANSYS Main Menu dentro do “Solution” clicar em “Solve”, “Current LS”;
- ✓ Clicar em “OK”.
- ✓ Na janela “Information: Solution is done” clicar em “CLOSE”.
- ✓ No ANSYS Toolbar clicar em “SAVE_DB”.



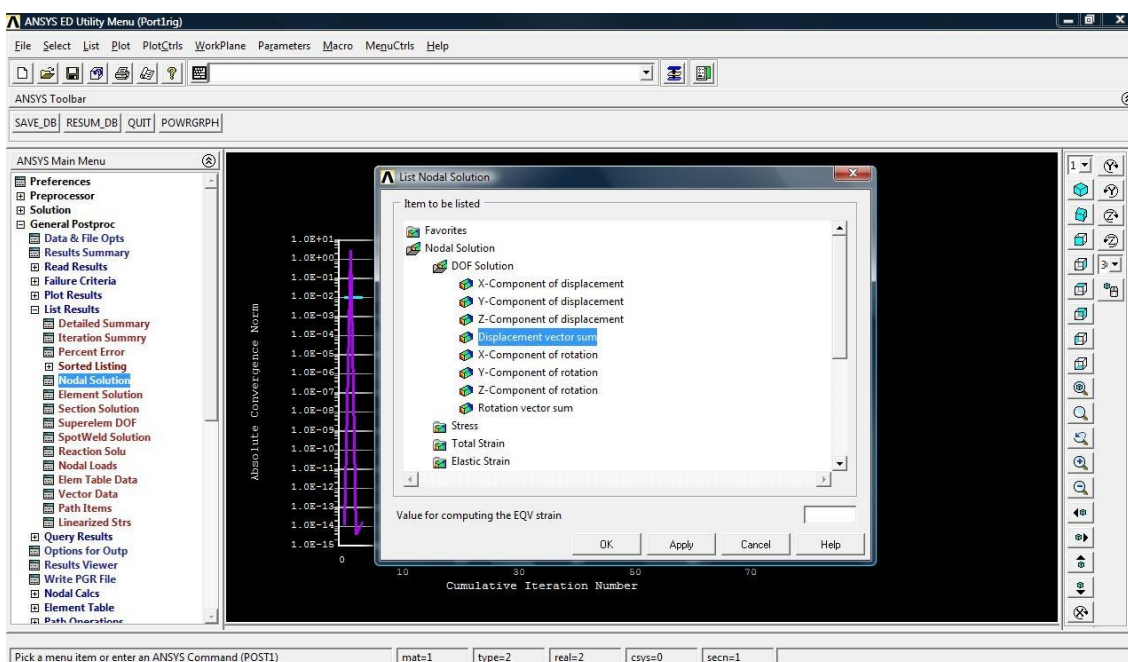
11. PÓS PROCESSAMENTO

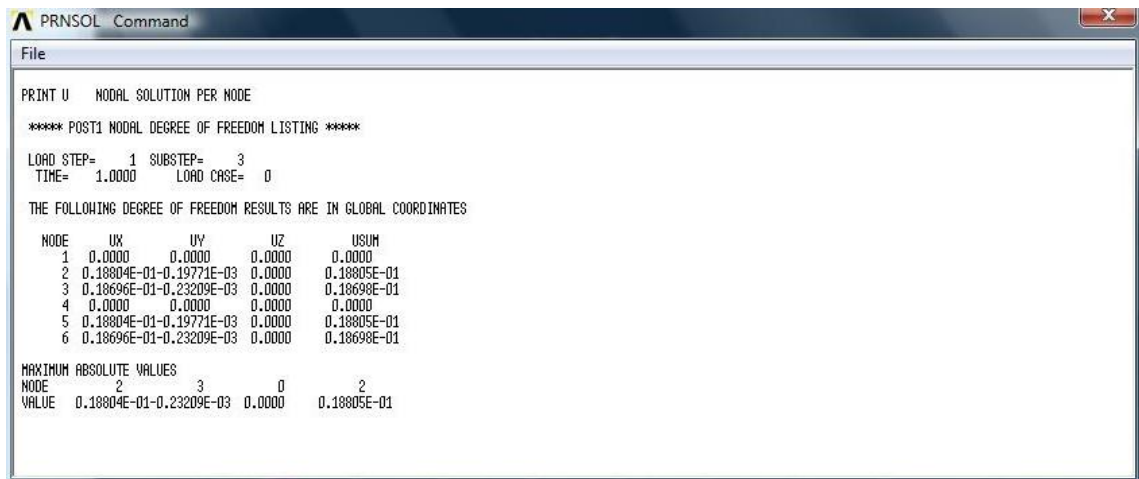
11.1. Gera, lista e plota os resultados:

- ✓ No ANSYS Main Menu dentro do “General Postproc” clicar em “List Results”, “Reaction Solution” para listar as reações nodais;
- ✓ Inserir na janela que abrir:
 - Lab **All Items**
- ✓ Clicar em “OK”;

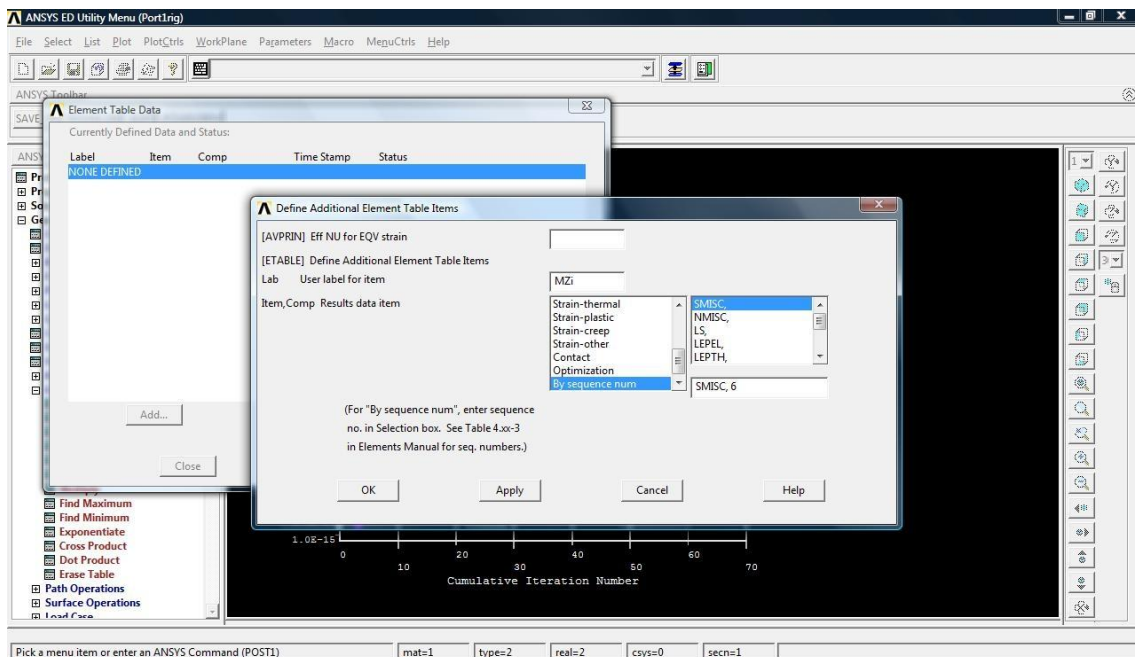


- ✓ No ANSYS Main Menu dentro do “General Postproc” clicar em “List Results”, “Nodal Solution” para listar os deslocamentos dos nós;
- ✓ Inserir na janela que abrir:
 - Item, comp **DOF solution** **Displacement vector sum**
- ✓ Clicar em “OK”;

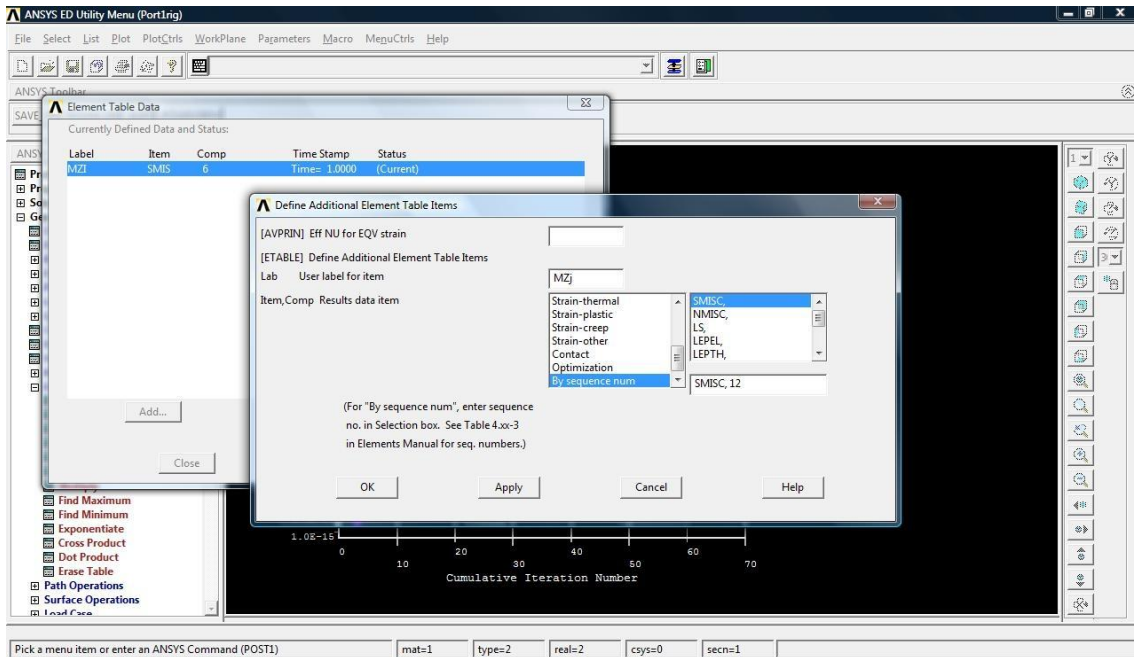




- ✓ No ANSYS Main Menu dentro do “General Postproc” clicar em “Element Table”, “Define Table”, “Add”;
- ✓ Na nova janela, definir:
 - LAB **MZi**
 - Item, comp By sequence number **SMISC**
SMISC,6
- ✓ Clicar em “APPLY”.



- ✓ Na nova janela, definir:
 - LAB **MZj**
 - Item, comp By sequence number **SMISC**
SMISC,12
- ✓ Clicar em “APPLY”.

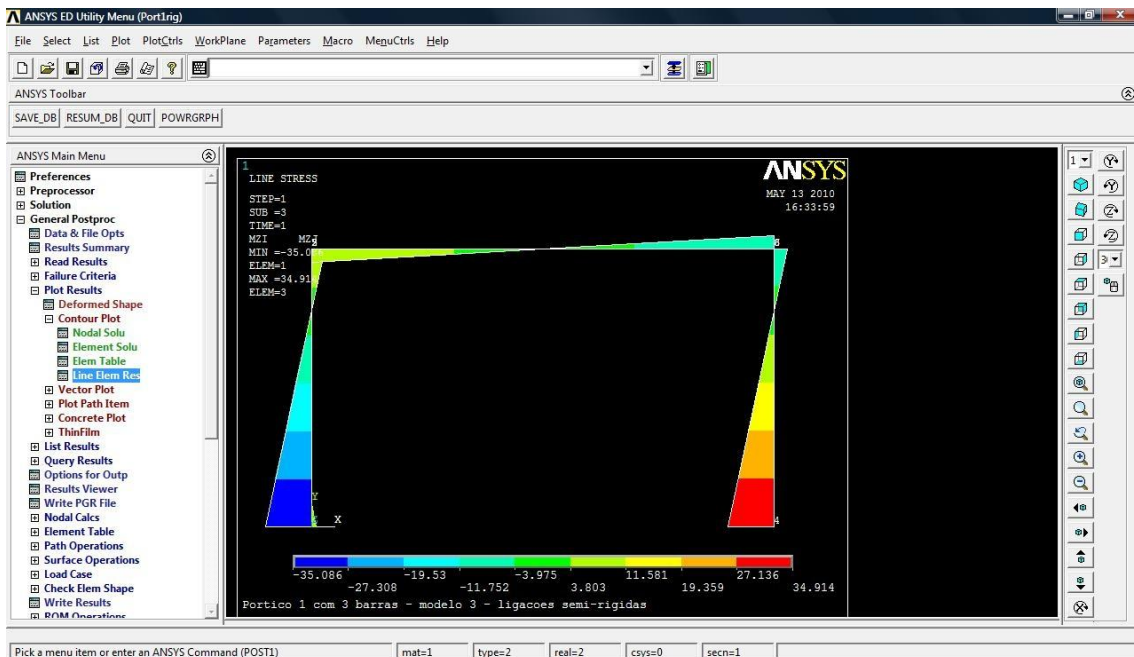
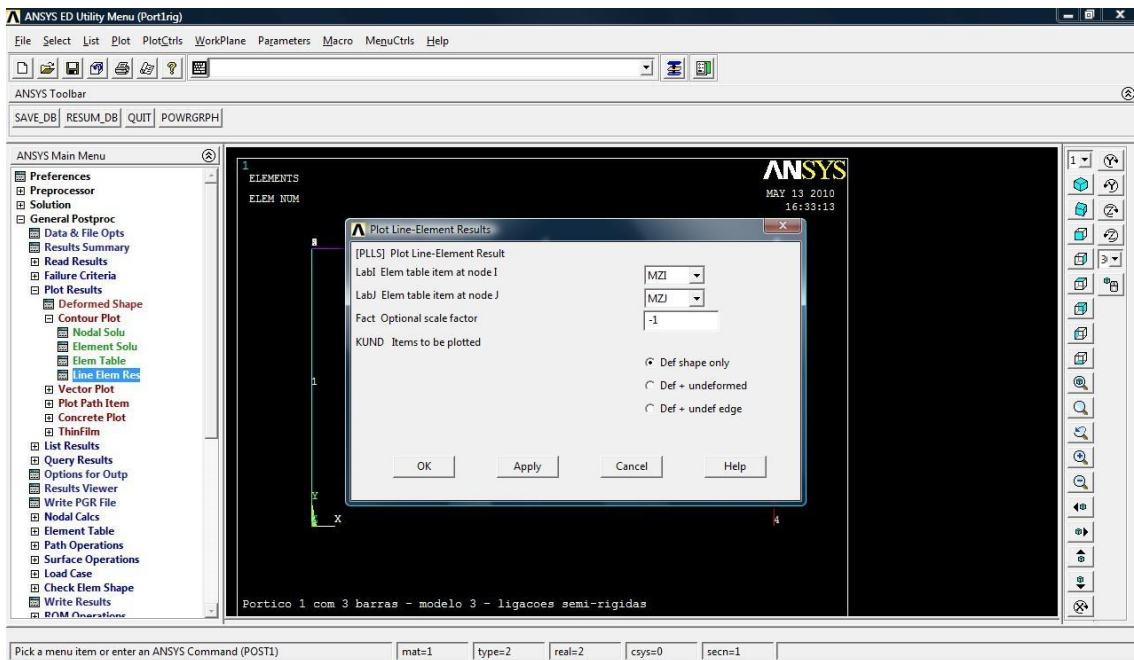


- ✓ No ANSYS Main Menu dentro do “General Postproc” clicar em “List Results”, “Element Table Data”;
- ✓ Selecionar **MZI** e **MZJ**;
- ✓ Clicar em “OK”,’



- ✓ Os sinais dos momentos dependem da escolha dos eixos locais. Repare que neste exemplo forneceremos a incidência do elemento 1 e do elemento 2 coincidente com o eixo XG.
- ✓ No ANSYS Main Menu dentro do “General Postproc” clicar em “Plot Results”, “Contour Plot”, “Line Elem Res” para plotar os resultados do elemento;
- ✓ Na janela “Plot Line-Element Results, selecionar:
 - LABI **MZI**
 - LABJ **MZJ**
 - Fact **-1**

- ✓ Clicar em “OK”;



- ✓ No ANSYS Toolbar clicar em “SAVE_DB”.

12. 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

Alterando-se o valor de K1 e SLIDE temos:

<i>K1</i>	<i>FSLIDE</i>	<i>M₁</i>	<i>M₂</i>	<i>U_{x2}</i>	<i>ROT₂</i>
<i>rotulada</i>		<i>45,086</i>	<i>0</i>	<i>0,028</i>	<i>-0,0141</i>
<i>10</i>	<i>10</i>	<i>44,93</i>	<i>0,15363</i>	<i>0,028</i>	<i>-0,01399</i>
<i>1.500</i>	<i>10</i>	<i>35,0</i>	<i>9,615</i>	<i>0,019</i>	<i>-0,008089</i>
<i>4.500</i>	<i>10</i>	<i>35,073</i>	<i>10,01</i>	<i>0,018</i>	<i>-0,00783</i>
<i>15.000</i>	<i>10</i>	<i>35,080</i>	<i>10,006</i>	<i>0,018</i>	
<i>43.636</i>	<i>3,38</i>	<i>41,70</i>	<i>3,38</i>	<i>0,025</i>	<i>-0,01197</i>
<i>43.636</i>	<i>15</i>	<i>30</i>	<i>15</i>	<i>0,014</i>	<i>-0,004713</i>
<i>45.000</i>	<i>10</i>	<i>35</i>	<i>10</i>	<i>0,018</i>	<i>-0,078</i>
<i>45.000</i>	<i>100</i>	<i>27,98</i>	<i>17,156</i>	<i>0,01213</i>	<i>-0,003384</i>
<i>rígida</i>		<i>27,512</i>	<i>17,633</i>	<i>0,011</i>	<i>-0,0031</i>