



2010

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



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



**TRELIÇA COMPOSTA POR 7 NÓS
E 11 BARRAS COM DIVERSAS
CONDIÇÕES DE
CARREGAMENTO USANDO O
MÉTODO DOS ELEMENTOS
FINITOS**

TRELIÇA COMPOSTA POR 7 NÓS E 11 BARRAS COM DIVERSAS CONDIÇÕES DE CARREGAMENTO USANDO O MÉTODO DOS ELEMENTOS FINITOS

INTRODUÇÃO

O exemplo apresentado a seguir visa demonstrar os procedimentos necessários quando introduzimos a hipótese de mais de uma condição de carregamento atuando na estrutura. Trata-se de uma treliça plana composta por 7 nós e 11 barras, submetida a 3 diferentes condições de carregamento. A figura 1 mostra a geometria da treliça. Suas condições de carregamento estão na figura 2. Já a figura 3 contém o modelo de elementos finitos.

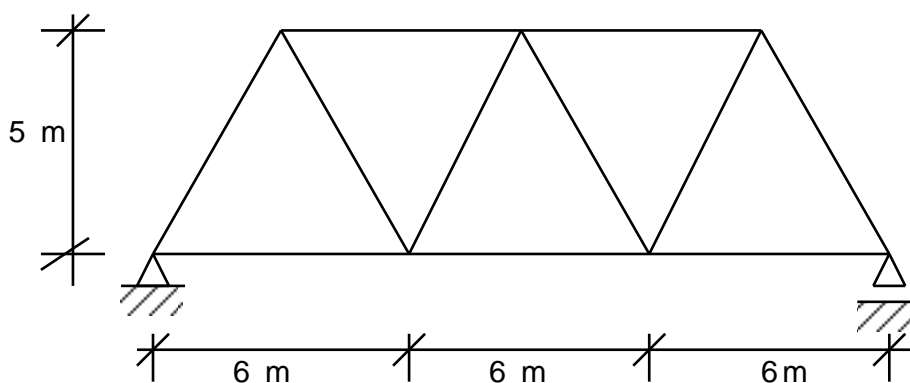


Figura 1 – Geometria da treliça a ser analisada.

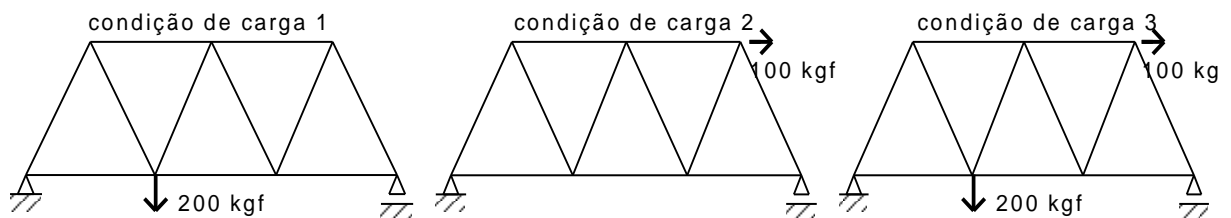


Figura 2 - Diversas condições de carregamento.

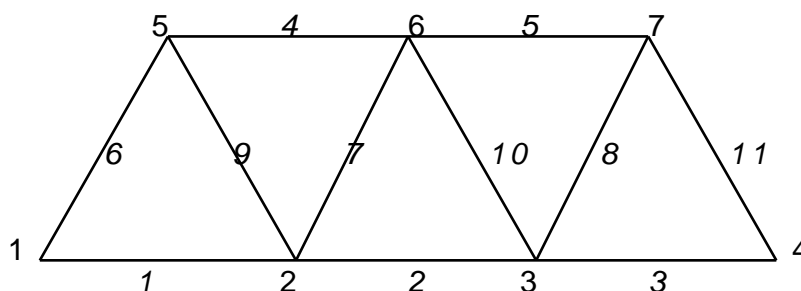


Figura 3 - Malha de elementos finitos utilizada.

PROPRIEDADES GEOMÉTRICAS

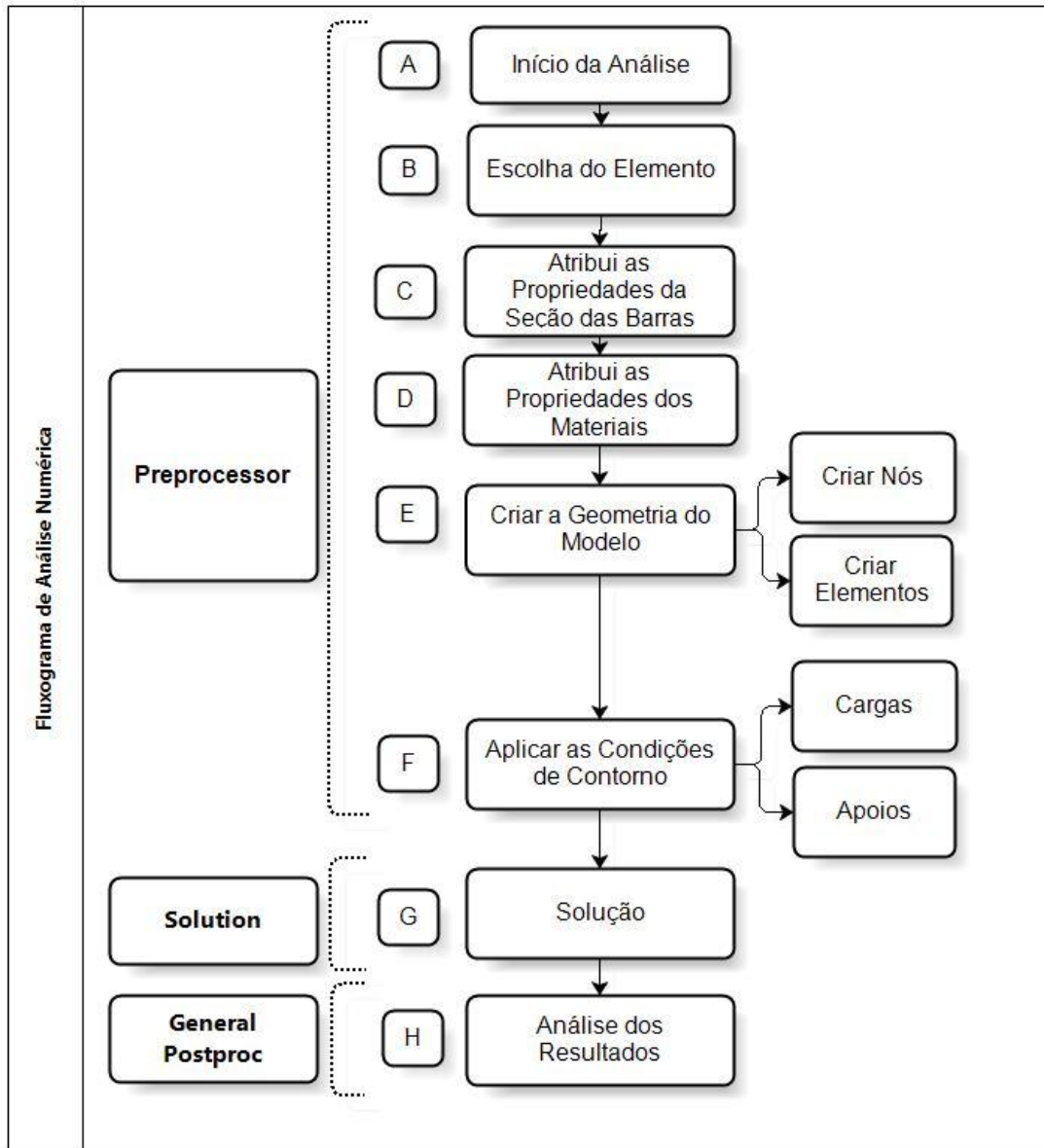
- Área da seção transversal das barras que compõe o banzo inferior e o banzo superior: $0.006 \text{ [m}^2\text{]}$.
- Área da seção transversal dos montantes: $0.003 \text{ [m}^2\text{]}$.

PROPRIEDADES DOS MATERIAIS

- Módulo de elasticidade do material das barras: $2.1\text{E}10 \text{ [kgf/m}^2\text{]}$.

RESOLUÇÃO

O procedimento de resolução pode ser demonstrado no seguinte fluxograma:

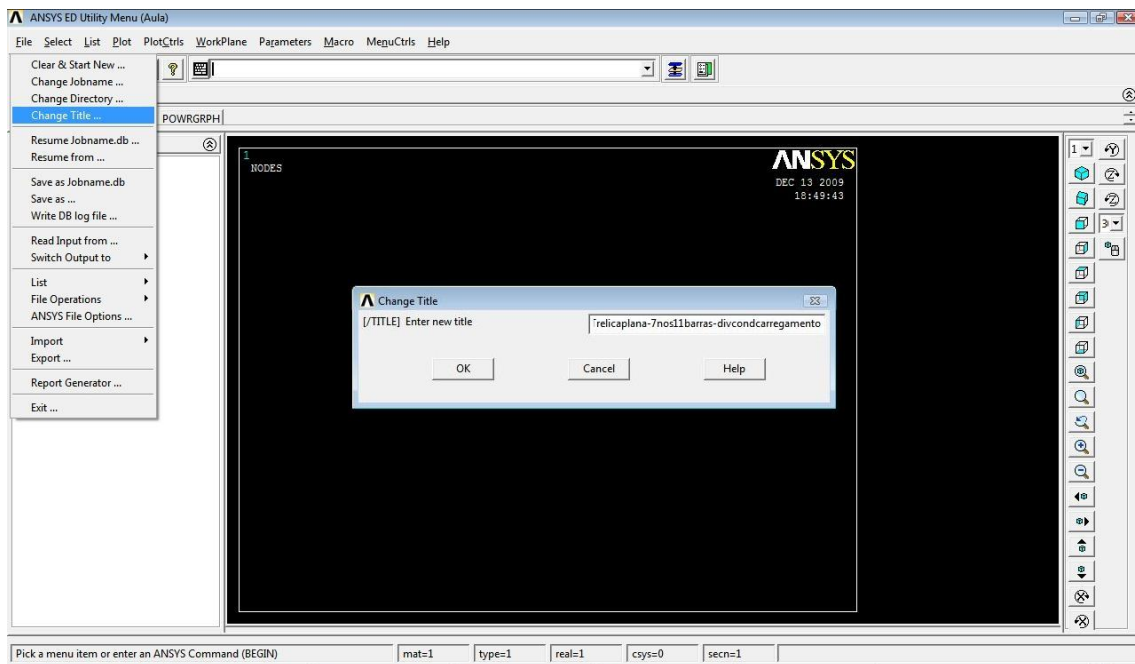


A

1. INÍCIO DA ANÁLISE

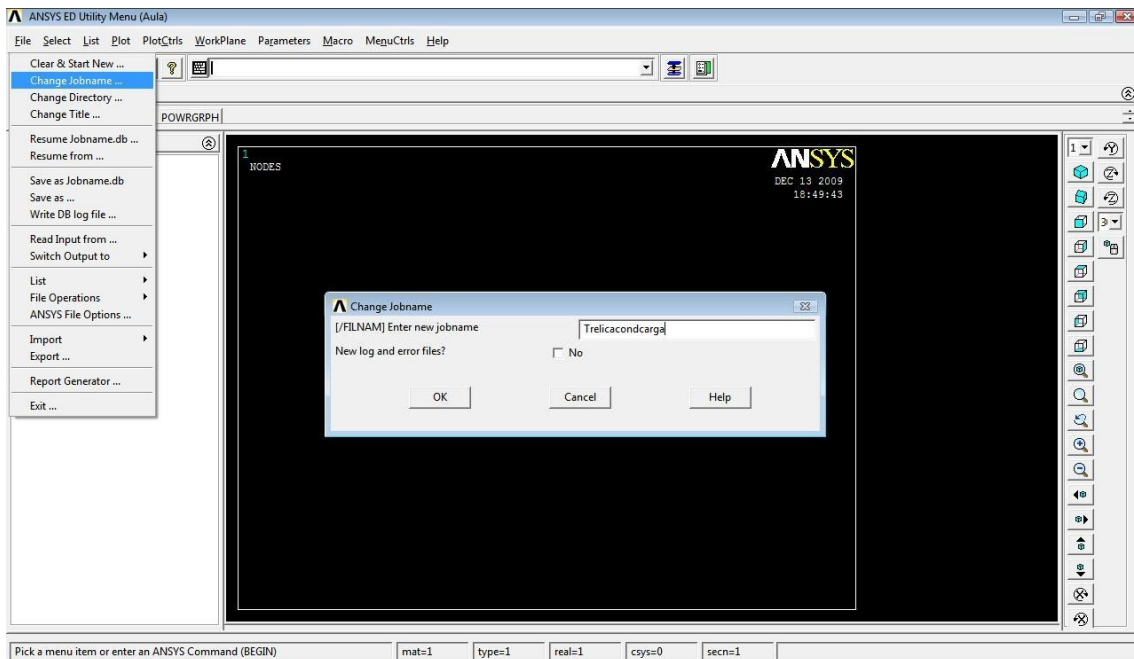
1.1. *Introduz o título do problema a ser resolvido:*

- ✓ No ANSYS Utility Menu clicar em file e acessar a opção “Change Title...”;
- ✓ Na nova janela que aparecer, digitar novo título: “**Trelaçaplana-7nos11barras-divcondcarregamento**”;
- ✓ Clicar em OK.



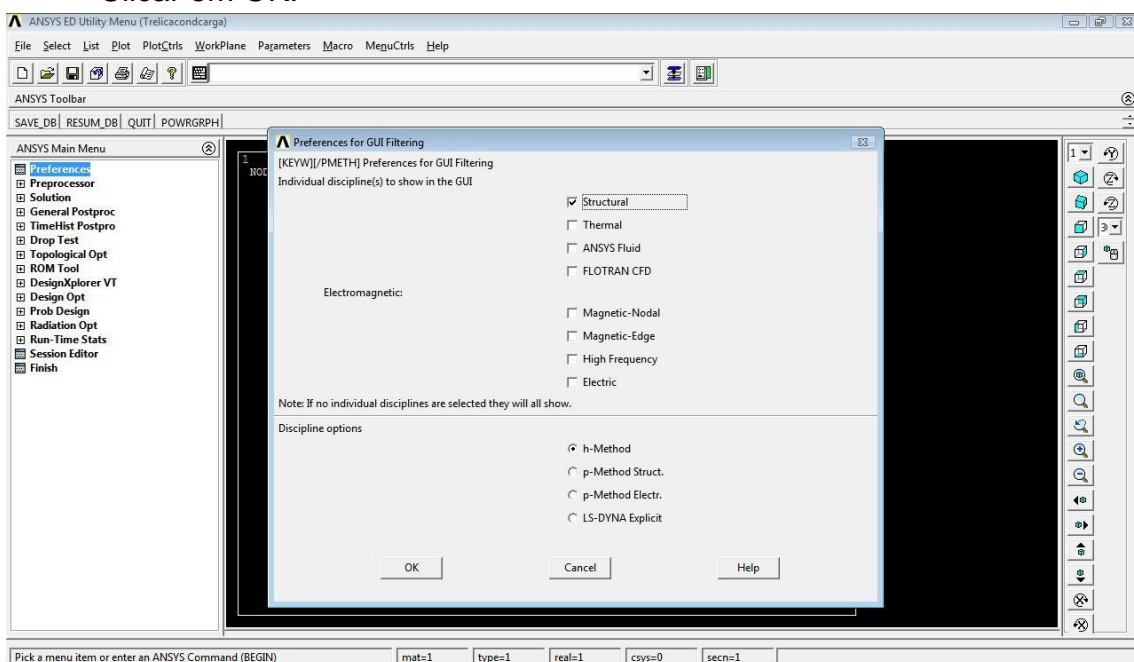
1.2. *Altera o nome dos arquivos:*

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

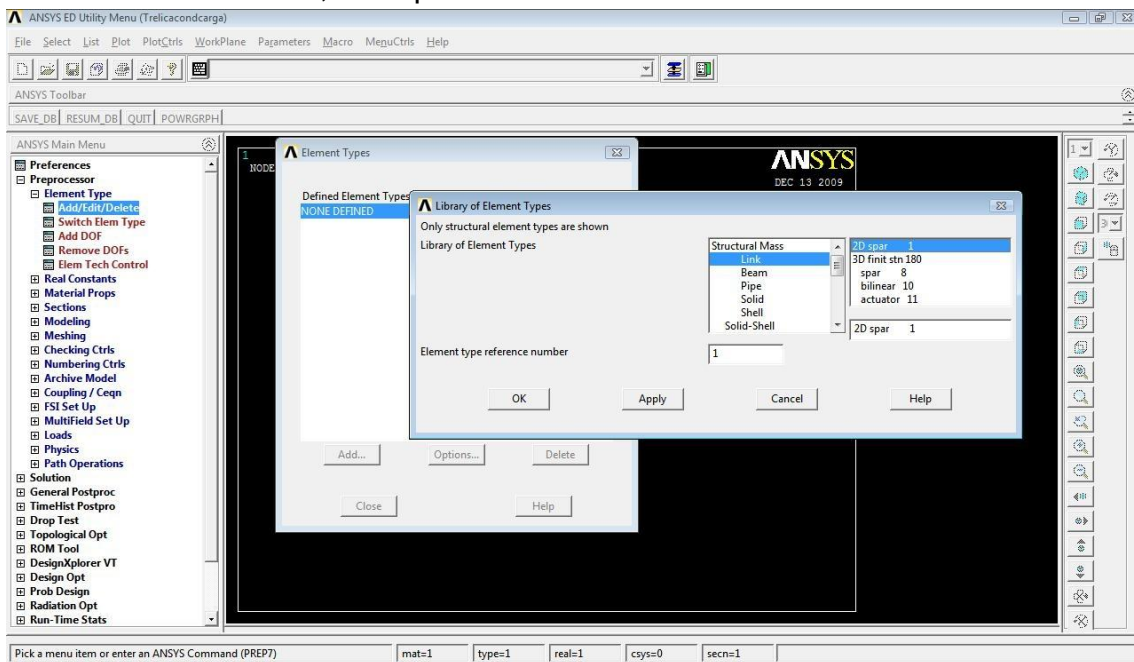
- ✓ No ANSYS Main Menu, clicar em “Preprocessor”.

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”;

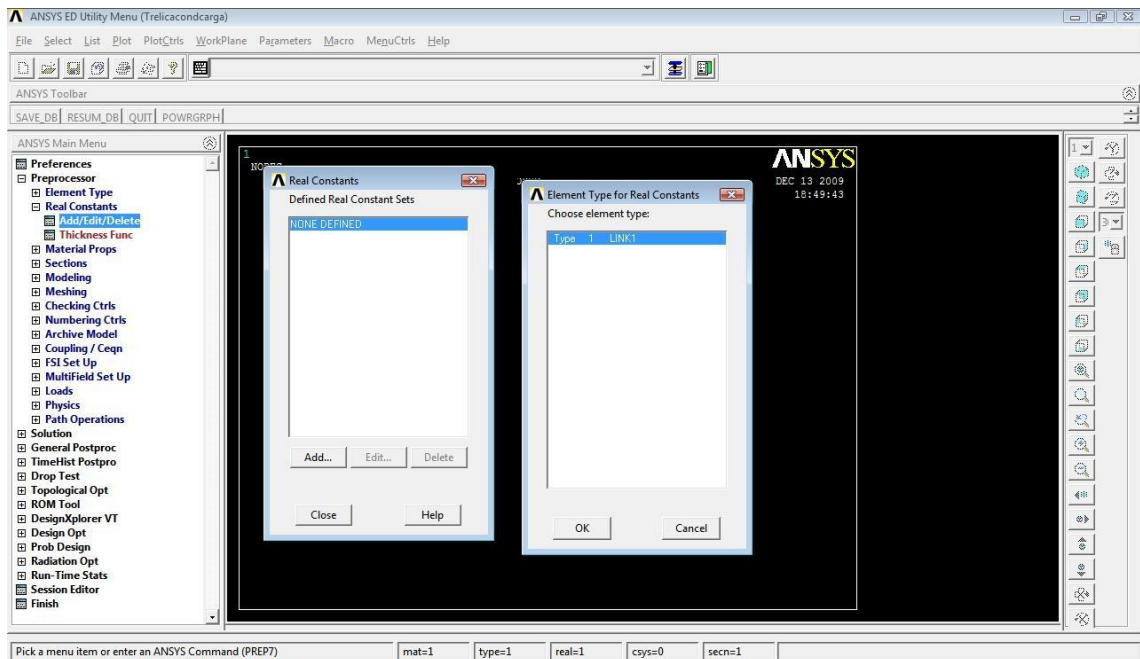
- ✓ Na nova janela que abrir, clicar em “Add...” para selecionar um novo elemento.
- ✓ Outra janela se abrirá, então no “Library of Element Types” selecionar o elemento “Link”, “2D spar 1” e clicar em OK.



C

2.2. *Define as constantes geométricas da seção das barras que compõe o modelo:*

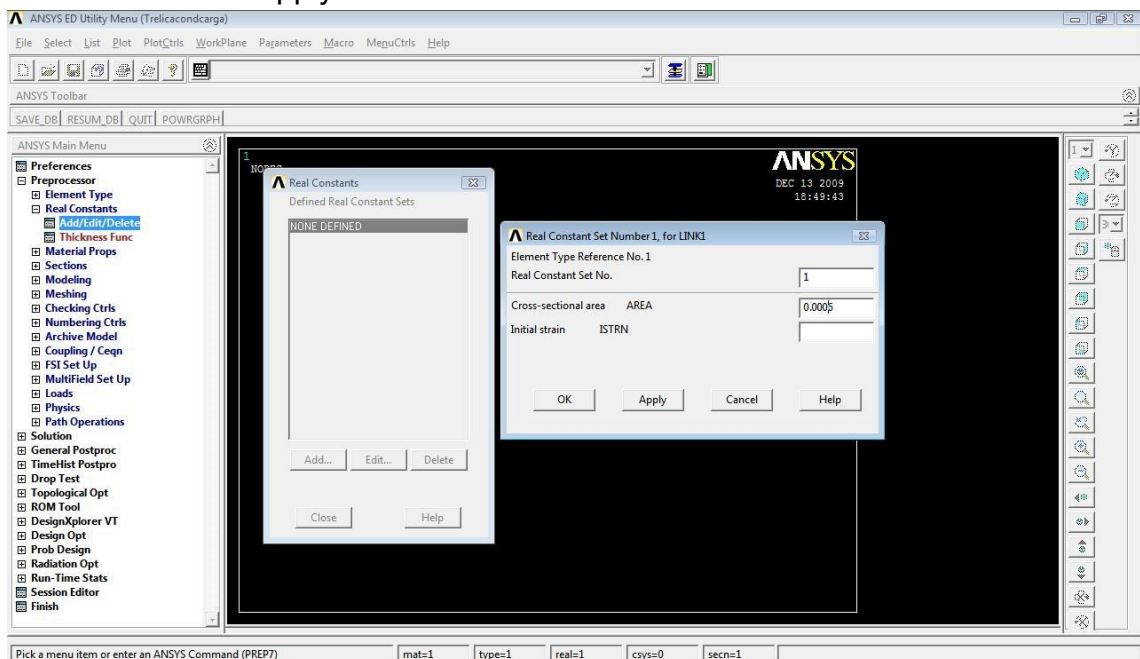
- ✓ Dentro do “Preprocessor”, selecionar “Real Constants”;
- ✓ Dentro do “Real Constants”, selecionar “Add/Edit/Delete”;
- ✓ Na nova janela que abrir, clicar em “Add...” para adicionar uma nova área de seção transversal;
- ✓ Uma nova janela se abrirá então selecionar o tipo de elemento em “Choose element 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 = 0.0006

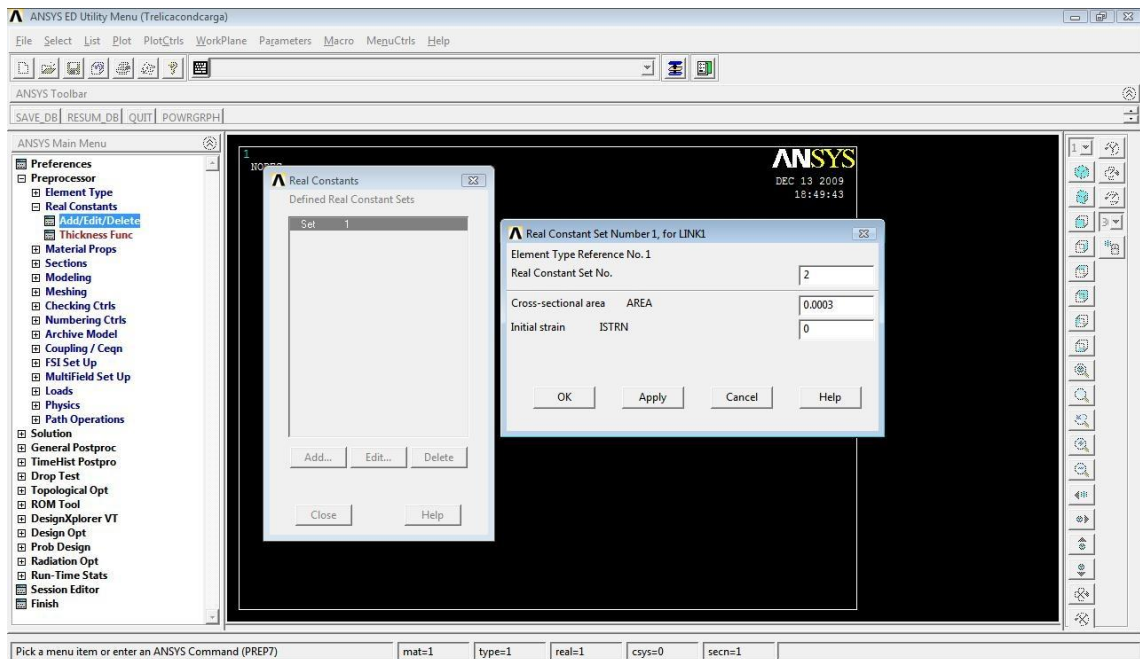
✓ Clicar em “Apply”.



✓ A janela “Real Constants Set Number 1, for LINK 1” irá aparecer. Deve-se inserir:

- Real Constant Set No. = 2
- Cross-sectional Area AREA = 0.0003

✓ Clicar em “OK”;



- ✓ Verificar na janela “Real Constants” se as duas constantes de seção geométrica, “Set 1” (referente as barras que compõe o banzo inferior e o banzo superior) e “Set 2” (referente as barras que compõe os montantes) foram criadas;
- ✓ Clicar em “CLOSE”.

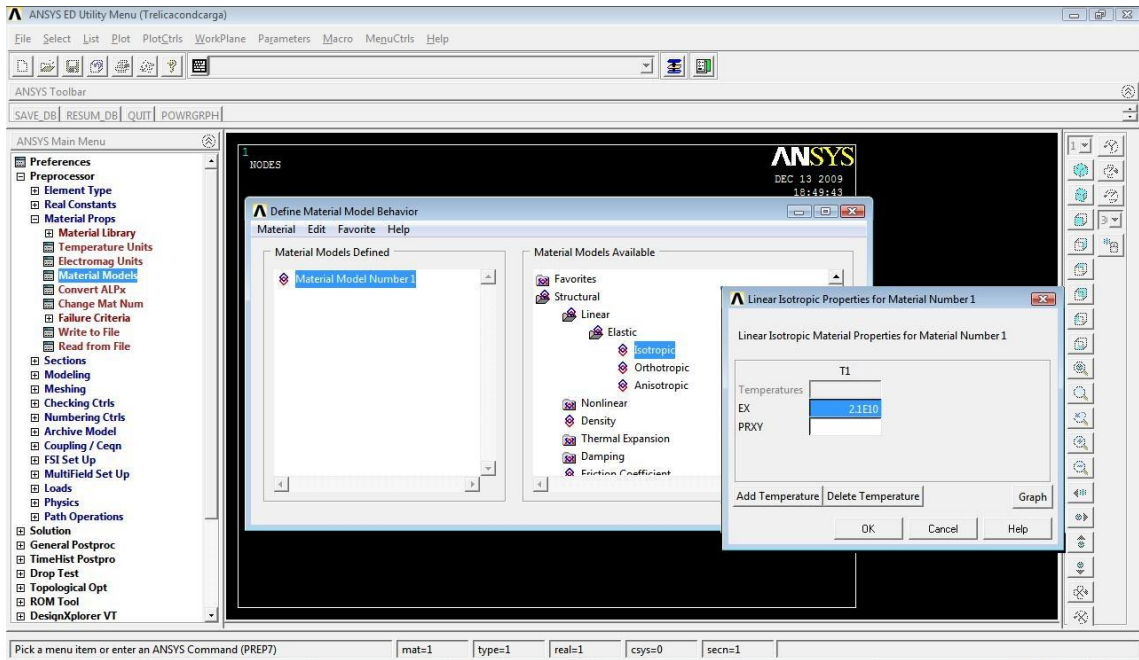
D

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 ira abrir. Inserir na lacuna “EX” o valor referente ao Módulo de Elasticidade do material e clicar em “OK”:

 - EX = **2.1E10**;

- ✓ Fechar a janela “Define Material Model Behavior”.

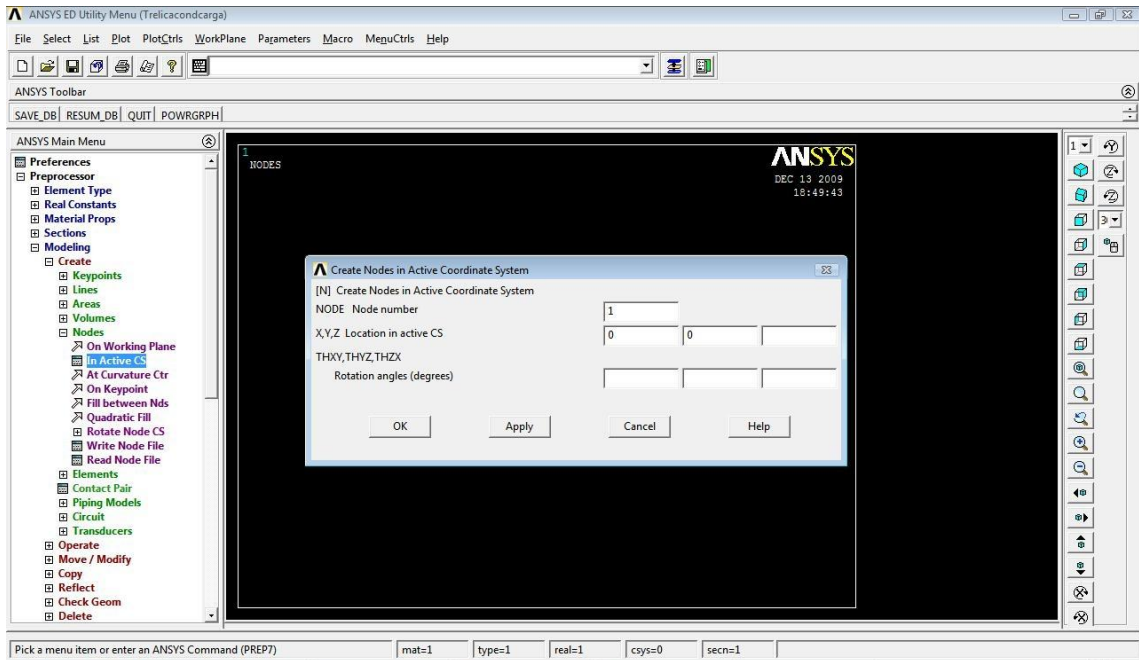


E

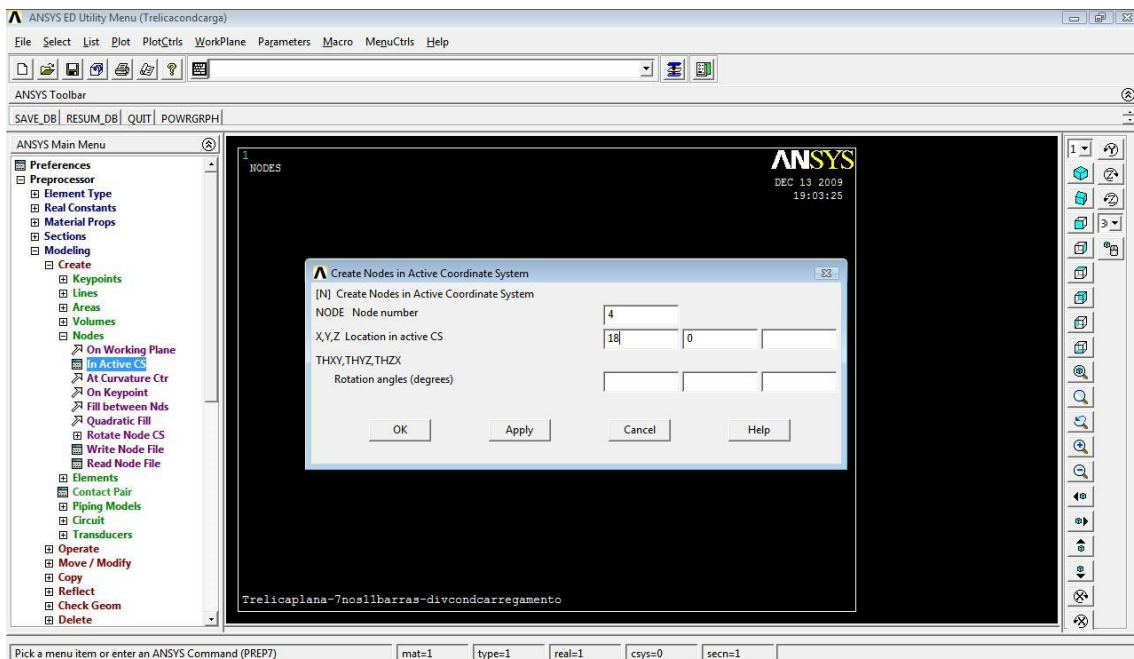
2.4. Cria o modelo geométrico:

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,Y e Z (no caso de estar trabalhando com um modelo 2D, utiliza-se apenas 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”;

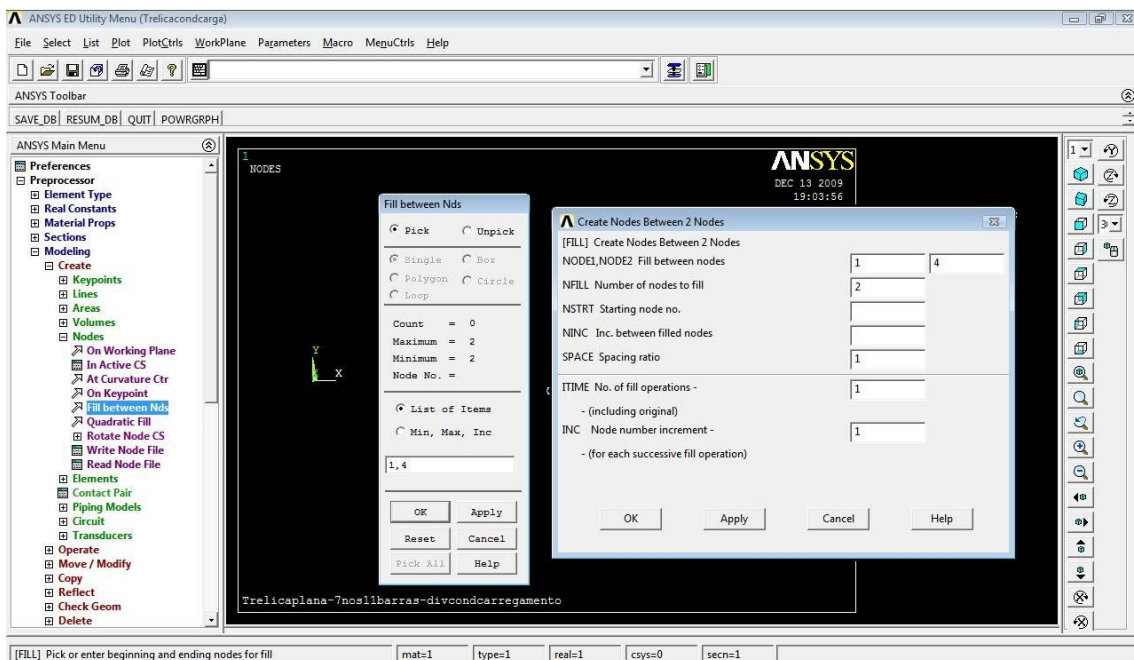


- ✓ Para criar o próximo nó:
 - NODE Node Number : **4;**
 - X,Y,Z Location in active CS : **X = 18 Y = 0;**
- ✓ Clicar em “OK”;



- ✓ 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 4, 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;
- ✓ Clicar em “OK” e os nós 2 e 3 serão criados entre os nós 1 e 4.

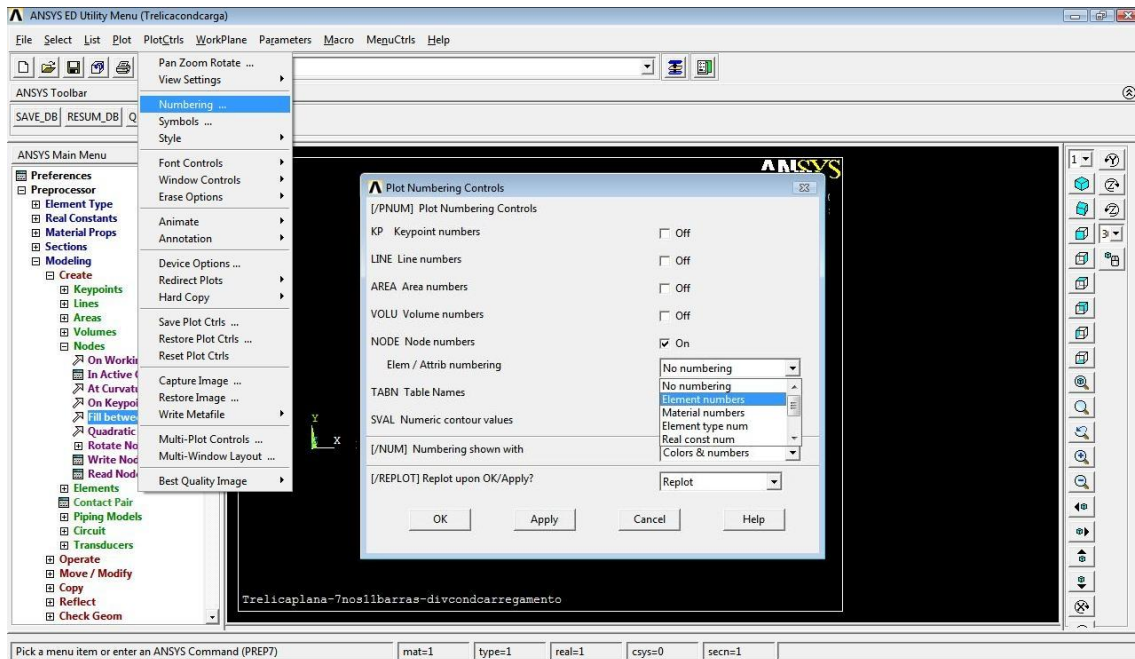


- ✓ Dentro do “Preprocessor” selecionar “Modeling”, “Create”, “Nodes”, “In Active CS”;
- ✓ Para criar o próximo nó:
 - NODE Node Number : 5;
 - X,Y,Z Location in active CS : X = 3 Y = 5;
- ✓ Clicar em “APLY”;
- ✓ Para criar o próximo nó:
 - NODE Node Number : 7;
 - X,Y,Z Location in active CS : X = 15 Y = 5;
- ✓ Clicar em “OK”;
- ✓ Dentro do “Preprocessor” selecionar “Modeling”, “Create”, “Nodes”, “Fill Between Nodes”;
- ✓ Na nova janela que abrir, apontar os nós 5 e 7, anteriormente criados, e clicar em “OK”;
- ✓ Uma nova janela se abrirá. Então determinar:
 - NFILL (número de nós a serem criados entre os nós selecionados) = 1;
- ✓ Clicar em “OK” e o nó 6 será criados entre os nós 5 e 7.

2.4.2. Numera os nós e elementos:

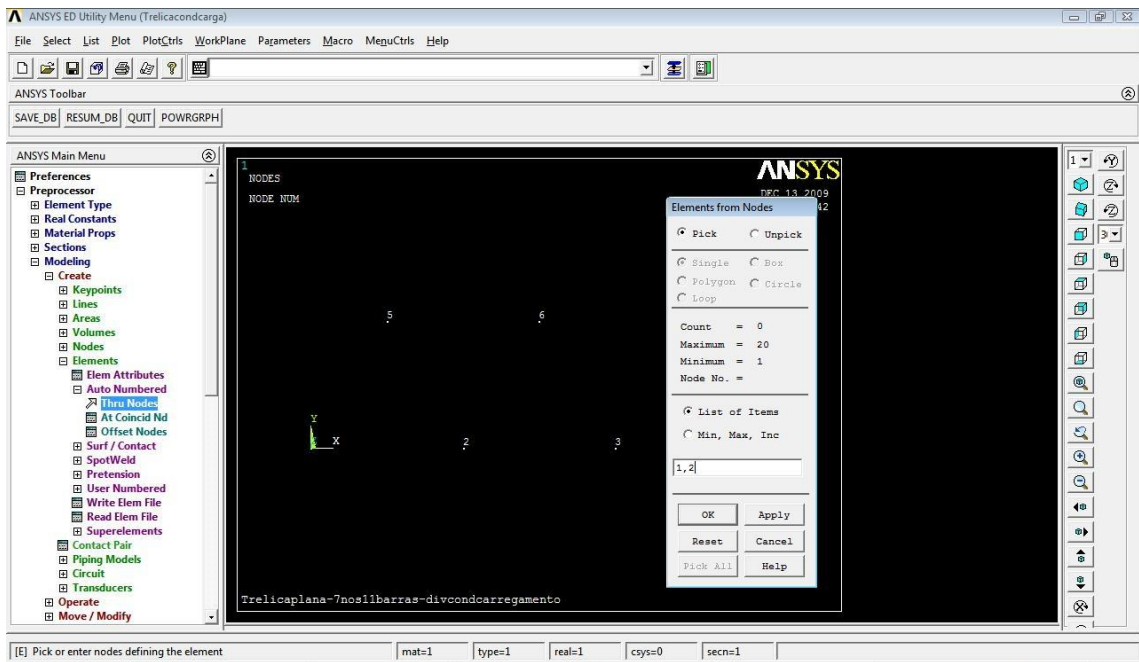
- ✓ No ANSYS Utility Menu clicar em “PlotCtrls” e acessar a opção “Numbering”;
- ✓ Na nova janela que aparecer, selecionar:
 - NODE Node Numbers ON

- Elem-Attrib numbering
 - ✓ Clicar em “OK”.
- Element Numbers



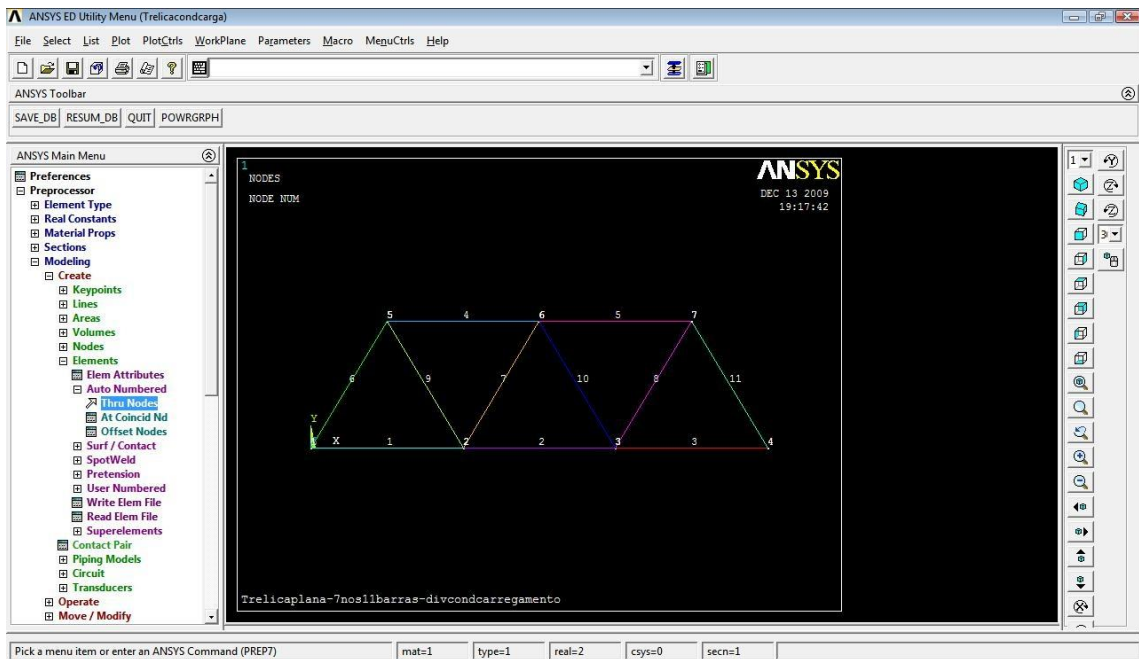
2.4.3. Cria os elementos:

- ✓ 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 (serão atribuídas as propriedades referentes às barras do banzo inferior e superior);
- ✓ Na nova janela que abrir escolher:
 - TYPE 1
 - MAT 1
 - REAL 1
- ✓ Clicar em “OK”.
- ✓ Para criar os elementos que compõe o banzo inferior e o banzo superior da treliça: 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” (então o elemento “1” será criado entre os nós 1 e 2);
- ✓ Da mesma forma, na sequência, apontar os nós 2 e 3 e clicar em “APPLY” (então o elemento “2” será criado entre os nós 2 e 3);



- ✓ Apontar nós 3 e 4 e clicar em “APPLY”;
- ✓ Apontar nós 5 e 6 e clicar em “APPLY”;
- ✓ Apontar nós 6 e 7 e clicar em “OK”;
- ✓ Dessa forma, os elementos que compõe o banço inferior e o banço superior da treliça estarão prontos;
- ✓ Antes de criar os montantes, deve-se alterar as propriedades dos elementos, de acordo com propriedades definidas nos itens 2.2 e 2.3 pra os montantes;
- ✓ Dentro do “Preprocessor” selecionar “Modeling”, “Create”, “Elements”, “Elements Attributes”;
- ✓ Na nova janela que abrir escolher:
 - TYPE **1**
 - MAT **1**
 - REAL **2**
- ✓ Clicar em “OK”.

- ✓ Para criar os elementos que compõe os montantes da treliça: dentro do “Preprocessor” selecionar “Modeling”, “Create”, “Elements”, “Auto Numbered”, “Thru Nodes”;
- ✓ Na nova janela que aparecer apontar os nós 1 e 5 e clicar em “APPLY”;
- ✓ Apontar os nós 2 e 6 e clicar em “APPLY”;
- ✓ Apontar os nós 3 e 7 e clicar em “APPLY”;
- ✓ Apontar os nós 2 e 5 e clicar em “APPLY”;
- ✓ Apontar os nós 3 e 6 e clicar em “APPLY”;
- ✓ Apontar os nós 4 e 7 e clicar em “OK”;
- ✓ A geometria da treliça está pronta.

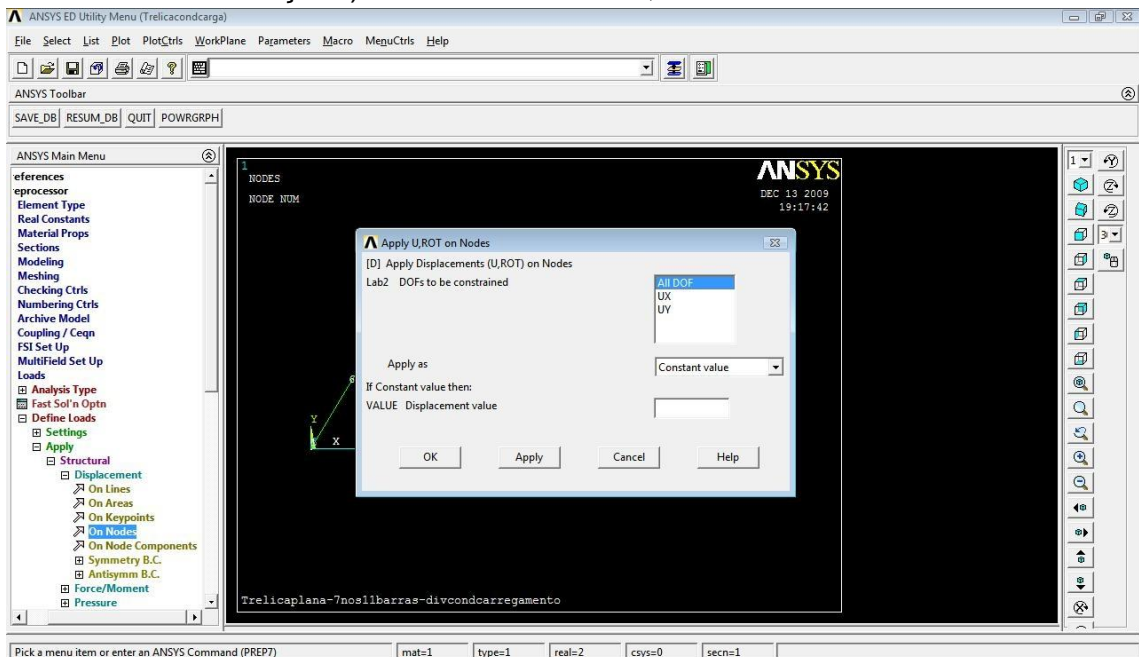


F

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”;

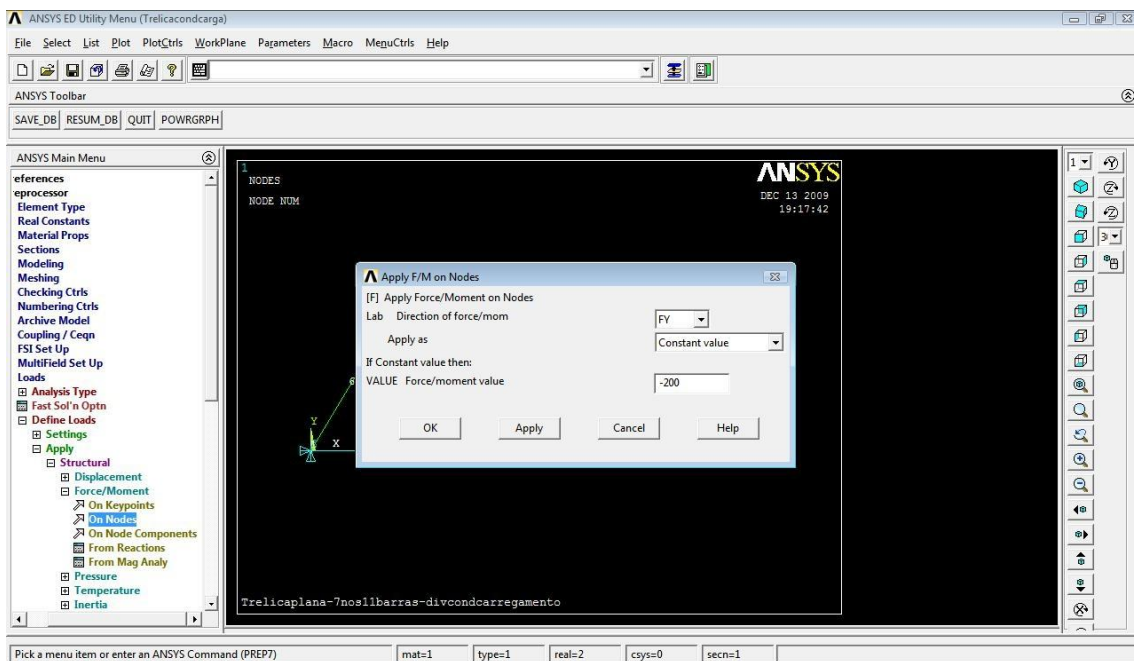


- ✓ Da mesma forma, apontar o nó 4 e clicar em “APPLY”;

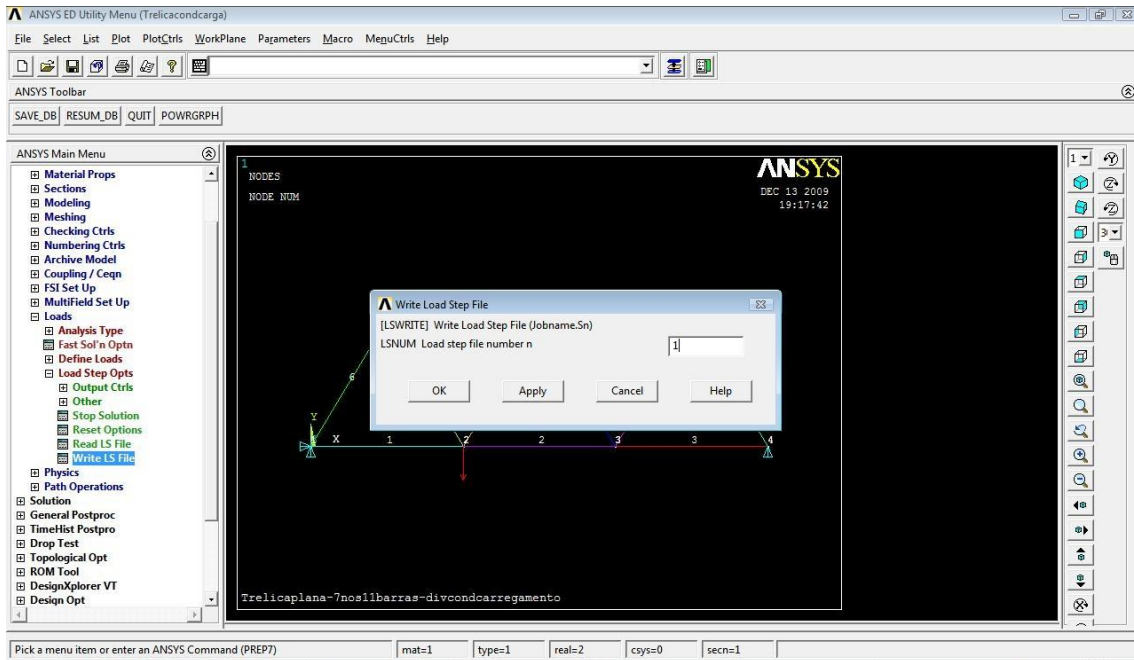
- ✓ Na outra janela selecionar no campo “DOFs to be constrained” a opção “UY” (irá restringir o movimento do nó 4 na direção do eixo “Y”) e clicar em “OK”;

2.5.2. Aplicar as cargas:

- ✓ Dentro do “Preprocessor” selecionar “Loads”, “Define Loads”, “Apply”, “Structural”, “Force/Moment”, “On Nodes”;
- ✓ Apontar o nó 2 e clicar em “APPLY”;
- ✓ Na nova janela inserir:
 - Direction of força/mom **FY**
 - VALUE Force/moment value **-200**
- ✓ Clicar em “OK”.



- ✓ Dentro do “Preprocessor” selecionar “Loads”, “Load Step Opts”, “Write LS File” para gravar o primeiro STEP de carga;
- ✓ Na janela inserir:
 - LSNUN Load step file number n = **1**
- ✓ Clicar em “OK”;



- ✓ Dentro do “Preprocessor” selecionar “Loads”, “Define Loads”, “Delete”, “All Load Data”, “All Forces”, “On All Nodes”;
- ✓ Clicar em “OK”;
- ✓ Dentro do “Preprocessor” selecionar “Loads”, “Define Loads”, “Apply”, “Structural”, “Force/Moment”, “On Nodes”;
- ✓ Apontar o nó 7 e clicar em “APPLY”;
- ✓ Na nova janela inserir:
 - Direction of força/mom **FX**
 - VALUE Force/moment value **100**
- ✓ Clicar em “OK”;
- ✓ Dentro do “Preprocessor” selecionar “Loads”, “Load Step Opts”, “Write LS File” para gravar o segundo STEP de carga;
- ✓ Na janela inserir:
 - LSNUN Load step file number n = **2**
- ✓ Clicar em “OK”;
- ✓ Dentro do “Preprocessor” selecionar “Loads”, “Define Loads”, “Delete”, “All Load Data”, “All Forces”, “On All Nodes”;
- ✓ Clicar em “OK”;

2.5.3. Salvando dados no arquivo Treliscacondcarga.db

- ✓ No ANSYS Toolbar clicar em “SAVE_DB”.

G

3. SOLUÇÃO

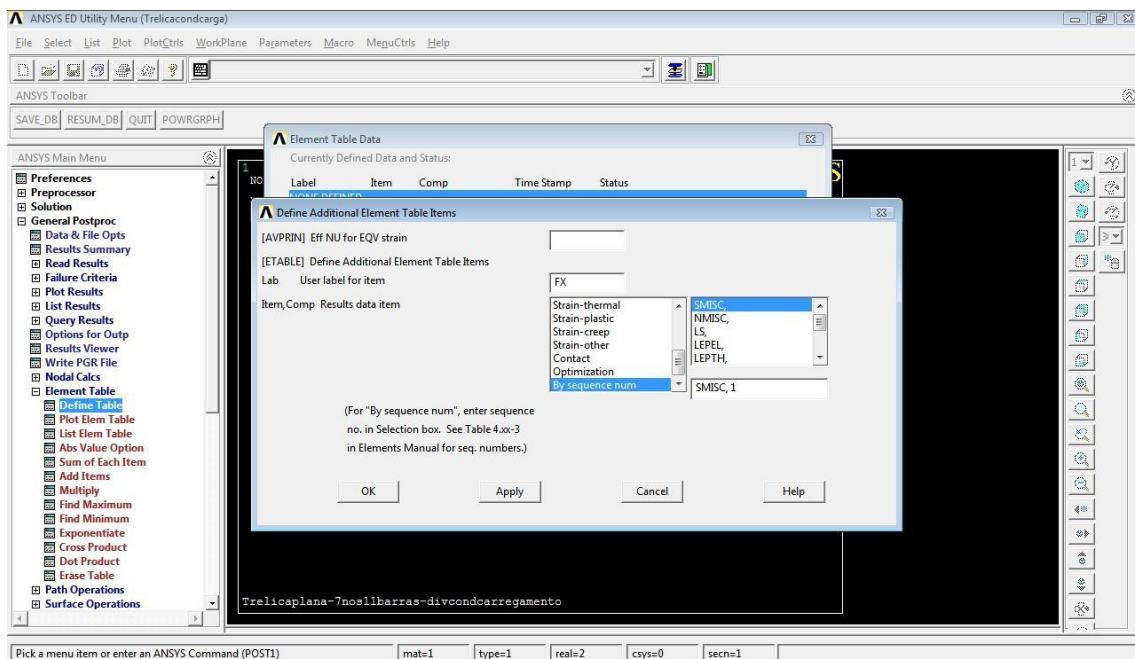
- ✓ No ANSYS Main Menu dentro do “Solution” clicar em “Solve”, “From LS Files” para resolver lendo os dados dos arquivos LS;
- ✓ Na janela “Solve Load Step Files” inserir:
 - LSMIN 1
 - LSMAX 2
 - LSINC 1
- ✓ Clicar em “OK”.
- ✓ Na janela “Information: Solution is done” clicar em “CLOSE”.

H

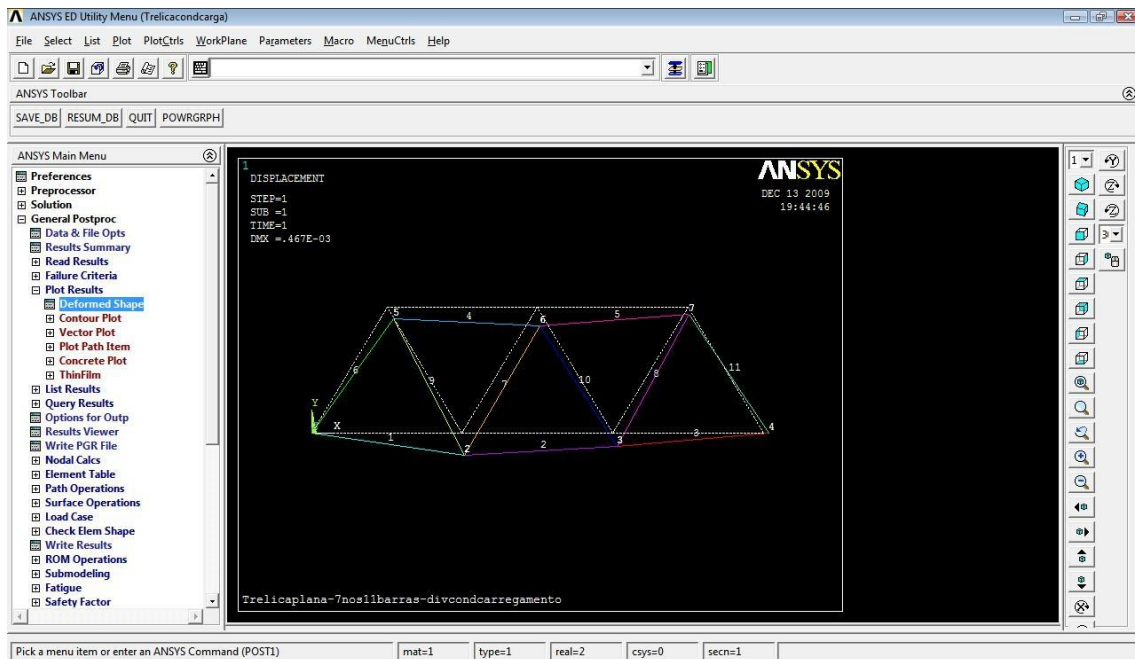
4. PÓS PROCESSAMENTO

4.1. Gera, lista e plota os resultados para o primeiro caso de carga:

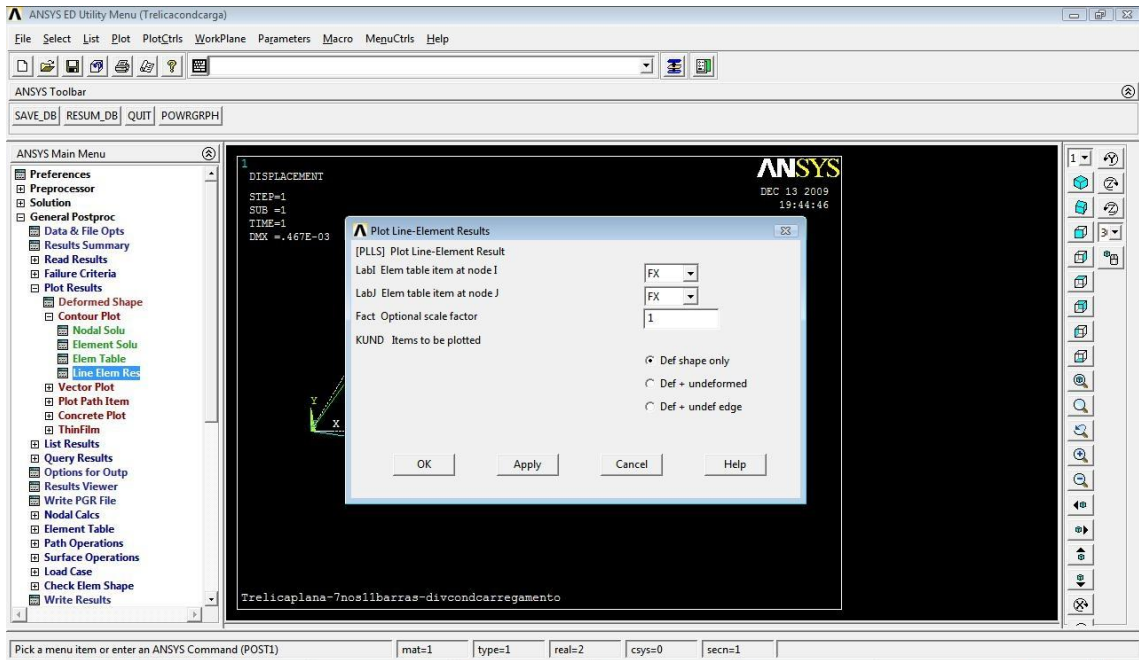
- ✓ No ANSYS Main Menu dentro do “General Postproc” clicar em “Read Results”, “First Set” para recuperar, plotar e listar os resultados para o primeiro STEP de carga;
- ✓ Então, ainda dentro do “General Postproc” clicar em “Element Table”, “Define Table”, “Add”;
- ✓ Na nova janela, definir:
 - LAB FX
 - Item, comp By sequence number SMISC
SMISC,1
- ✓ Clicar em “OK” (Definir itens adicionais para a tabela de resultados).
- ✓ Após, verificar a listagem da tabela e clicar em “CLOSE”.



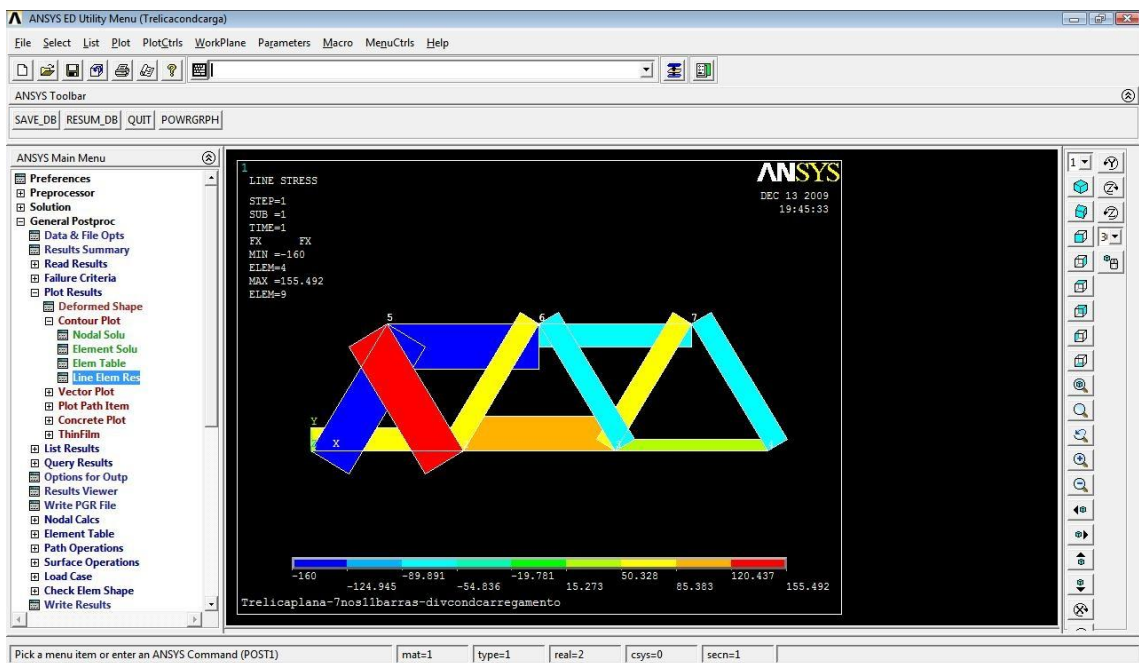
- ✓ No ANSYS Main Menu dentro do “General Postproc” clicar em “Plot Results”, “Deformed Shape” para visualizar a configuração deformada da estrutura;
- ✓ Na janela “Plot Deformed Shape”, seleccionar a opção “Def+undeformed” e clicar em “OK”;



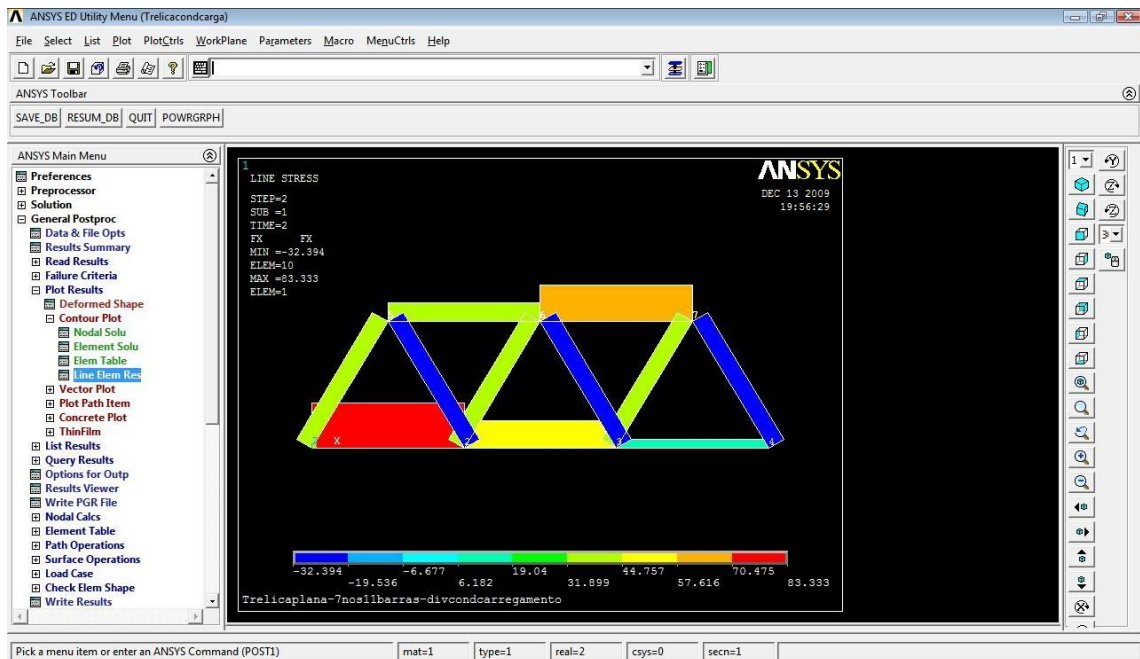
- ✓ No ANSYS Main Menu dentro do “General Postproc” clicar em “Plot Results”, “Contour Plot”, “Line Elem Res” para plotar os resultados do elemento;
- ✓ Na janela “Plot Line-Element Results”, seleccionar:
 - LABI **FX**
 - LABJ **FX**
- ✓ Clicar em “OK”;



✓ Os resultados aparecerão em uma escala de cores;



- ✓ 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 All U's UCOMP
- ✓ Clicar em “OK”;
- ✓ 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 Struc Forc F
- ✓ Clicar em “OK”;

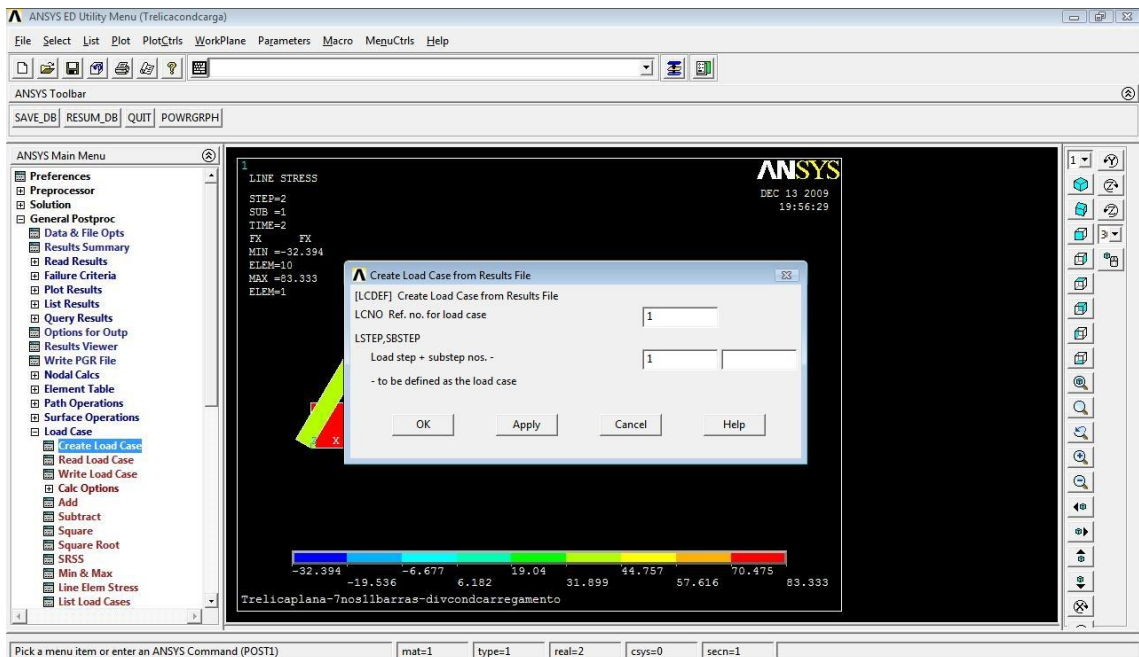


- ✓ No ANSYS Main Menu dentro do “General Postproc” clicar em “List Results”, “Nodal Solution” para listar os deslocamentos dos nós;
- ✓ Inserir na janela que abrir:
 - Item, comp DOF solution All U's UCOMP
- ✓ Clicar em “OK”;
- ✓ No ANSYS Main Menu dentro do “General Postproc” clicar em “List Results”, “Reaction Solution” para listar as reações nodais;
- ✓ Inserir na janela que abrir:
 - Lab All Struc Forc F
- ✓ Clicar em “OK”;
- ✓ No ANSYS Main Menu dentro do “General Postproc” clicar em “List Results”, “Element Table Data” para listar o conteúdo da tabela obtida como comando “ETABLE” (“Element Table”, definido no início do pós processamento);
- ✓ Na janela “List Element Table Data”, seleccionar:
 - Lab 1-9 FX
- ✓ Clicar em “OK”.

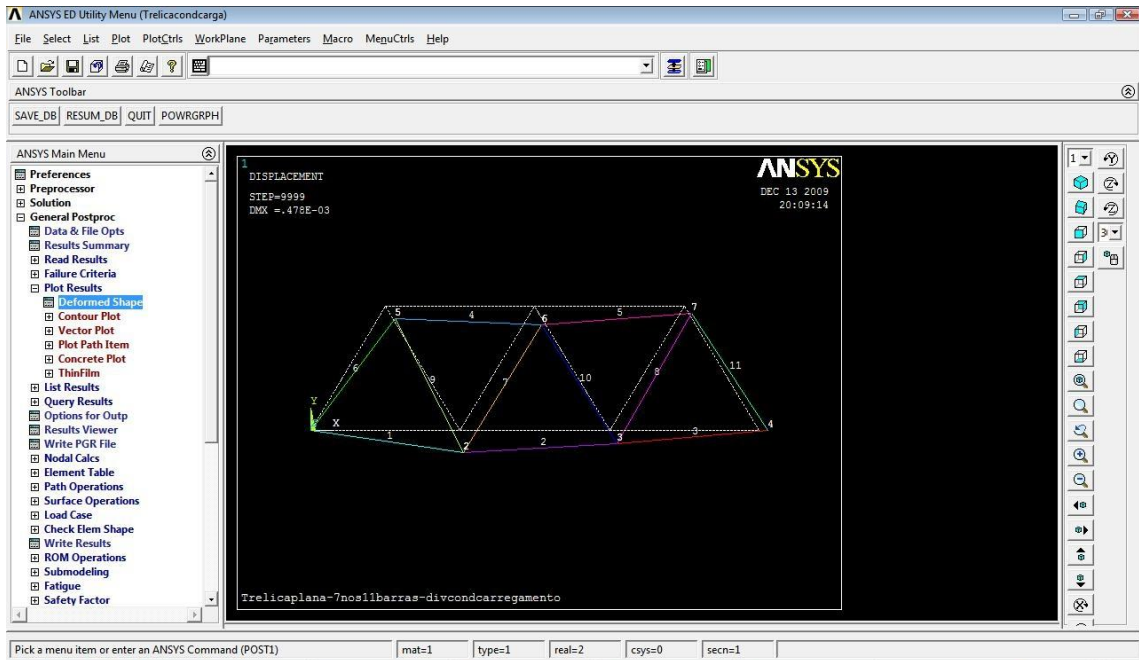
4.3. Gera, lista e plota os resultados para o terceiro caso de carga (neste passo, criaremos um terceiro caso de carga sobrepondo o efeito do primeiro e do segundo casos):

- ✓ No ANSYS Main Menu dentro do “General Postproc” clicar em “Load Case”, “Create Load Case”;
- ✓ Na janela “Create Load Case” seleccionar “Results file” e clicar em “OK”;
- ✓ Na nova janela criar caso de carga a partir do arquivo de resultados:
 - LCNO 1
 - LSTEP 1

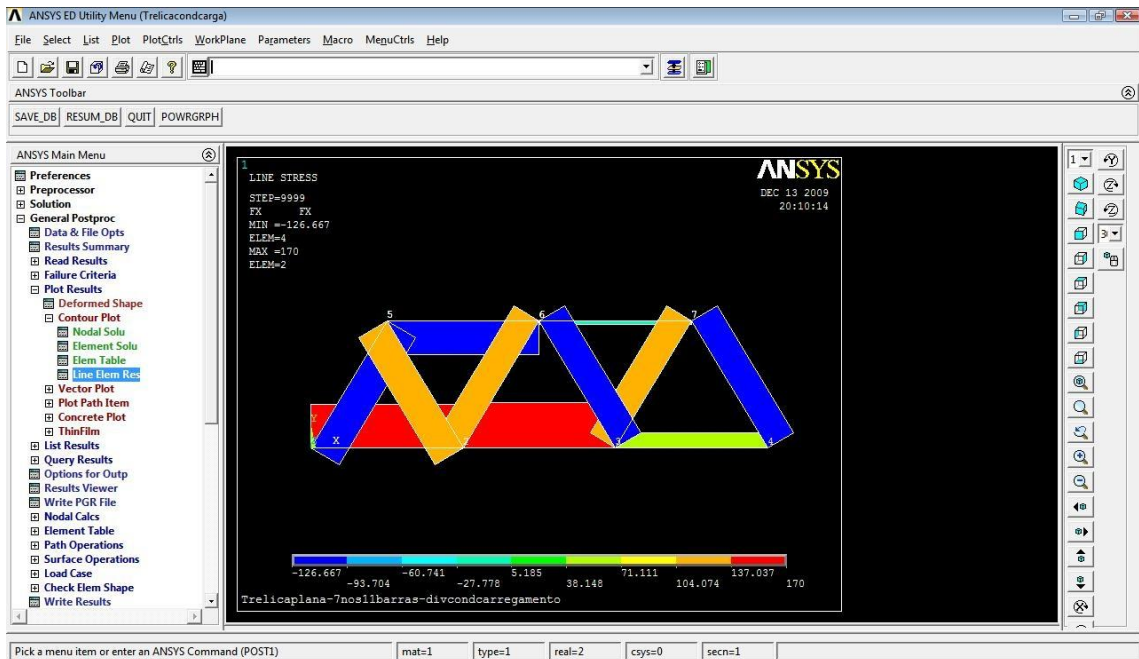
- ✓ Clicar em “APPLY”;



- ✓ Na janela “Create Load Case” selecionar “Results file” e clicar em “OK”;
- ✓ Na nova janela criar caso de carga a partir do arquivo de resultados:
 - LCNO **2**
 - LSTEP **2**
- ✓ Clicar em “OK”;
- ✓ No ANSYS Main Menu dentro do “General Postproc” clicar em “Load Case”, “Add”;
- ✓ Na nova janela adicionar caso de carga 1 ao banco de dados que no momento contém os resultados do caso de carga 2:
 - LCASE1 **1**
- ✓ 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 **FX**
 - LABJ **FX**
- ✓ Clicar em “OK”;
- ✓ Os resultados aparecerão em uma escala de cores;

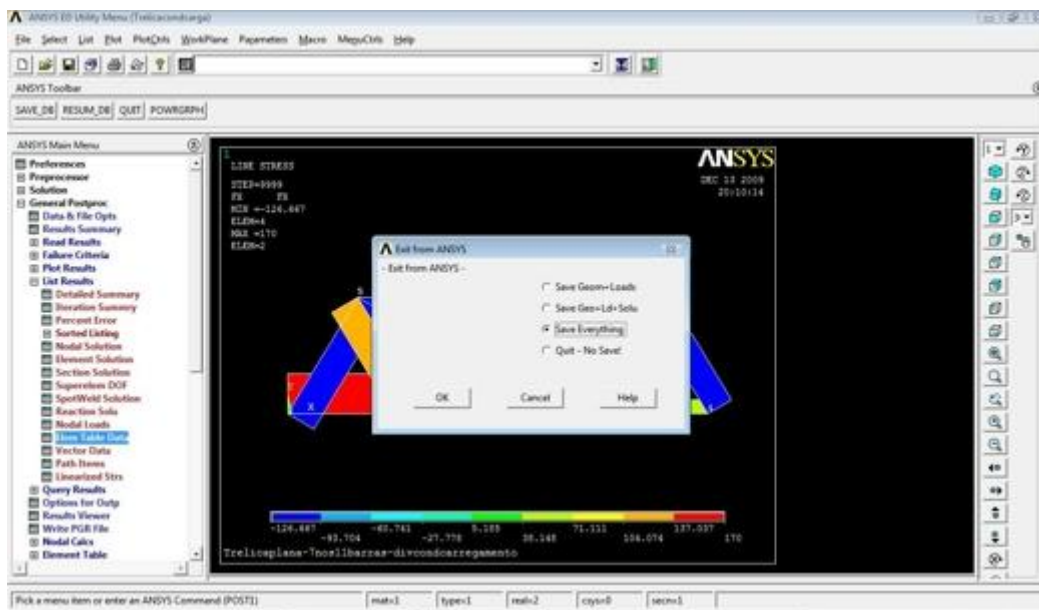


- ✓ No ANSYS Main Menu dentro do “General Postproc” clicar em “List Results”, “Nodal Solution” para listar os deslocamentos dos nós;
- ✓ Inserir na janela que abrir:

- Item, comp DOF solution All U's UCOMP
- ✓ Clicar em “OK”;
- ✓ 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 Struc Forc F
- ✓ Clicar em “OK”;
- ✓ No ANSYS Main Menu dentro do “General Postproc” clicar em “List Results”, “Element Table Data” para listar o conteúdo da tabela obtida como comando “ETABLE” (“Element Table”, definido no início do pós processamento);
- ✓ Na janela “List Element Table Data”, seleccionar:
 - Lab 1-9 FX
- ✓ Clicar em “OK”.

5.0 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, seleccionar a opção “Save everything” e clicar em “OK”.



RESULTADOS

Seguem os resultados do presente exemplo.

Para o primeiro caso de carga:

DESLOCAMENTOS NODAIS		
NÓ	U(X)	U(Y)
1	0.00000	0.00000
2	0.76190E-06	-0.12660E-04
3	0.19048E-05	-0.72445E-05
4	0.22857E-05	0.0000E00
5	0.25397E-05	-0.65588E-05
6	0.10159E-05	-0.10295E-04
7	0.25397E-06	-0.37365E-05

REAÇÕES E FORÇAS APLICADAS		
NÓ	U(X)	U(Y)
1	0.00000	133.3333
2	0.00000	-200.0000
3	0.00000	0.00000
4	0.00000	66.6667
5	0.00000	0.00000
6	0.00000	0.00000
7	0.00000	0.00000

ESFORÇOS NORMAIS NAS BARRAS	
BARRA	F(X)
1	80.00
2	120.00
3	40.00
4	-160.00
5	-80.00
6	-155.49
7	77.75
8	77.75
9	155.49
10	-77.75
11	-77.75

Para o segundo caso de carga:

DESLOCAMENTOS NODAIS		
NÓ	U(X)	U(Y)
1	0.00000	0.00000
2	.7937E-06	-.1270E-06
3	.1270E-05	.1270E-06
4	.1429E-05	.0000E00
5	.2251E-05	-.3016E-06
6	.2568E-05	-.1429E-06
7	.3203E-05	-.1587E-07

REAÇÕES E FORÇAS APLICADAS		
NÓ	U(X)	U(Y)
1	-100.0000	-27.7778
2	0.00000	0.00000
3	0.00000	0.00000
4	0.00000	27.7778
5	0.00000	0.00000
6	0.00000	0.00000
7	100.0000	0.00000

ESFORÇOS NORMAIS NAS BARRAS	
BARRA	F(X)
1	83.33
2	50.00
3	16.67
4	33.33
5	66.67
6	32.39
7	32.39
8	32.39
9	-32.39
10	-32.39
11	-32.39

Para o terceiro caso de carga:

DESLOCAMENTOS NODAIS		
NÓ	U(X)	U(Y)
1	0.00000	0.00000
2	.1556E-05	-.1279E-04
3	.3175E-05	-.7118E-05
4	.3714E-05	.0000E00
5	.4791E-05	-.6860E-05
6	.3584E-05	-.1044E-04
7	.3457E-05	-.3721E-05

REAÇÕES E FORÇAS APLICADAS		
NÓ	U(X)	U(Y)
1	-100.0000	-105.5556
2	0.00000	-200.0000
3	0.00000	0.00000
4	0.00000	94.4444
5	0.00000	0.00000
6	0.00000	0.00000
7	100.0000	0.00000

ESFORÇOS NORMAIS NAS BARRAS	
BARRA	F(X)
1	163.33
2	170.00
3	56.67
4	-126.67
5	-13.33
6	-123.10
7	110.14
8	110.14
9	123.10
10	-110.14
11	-110.14