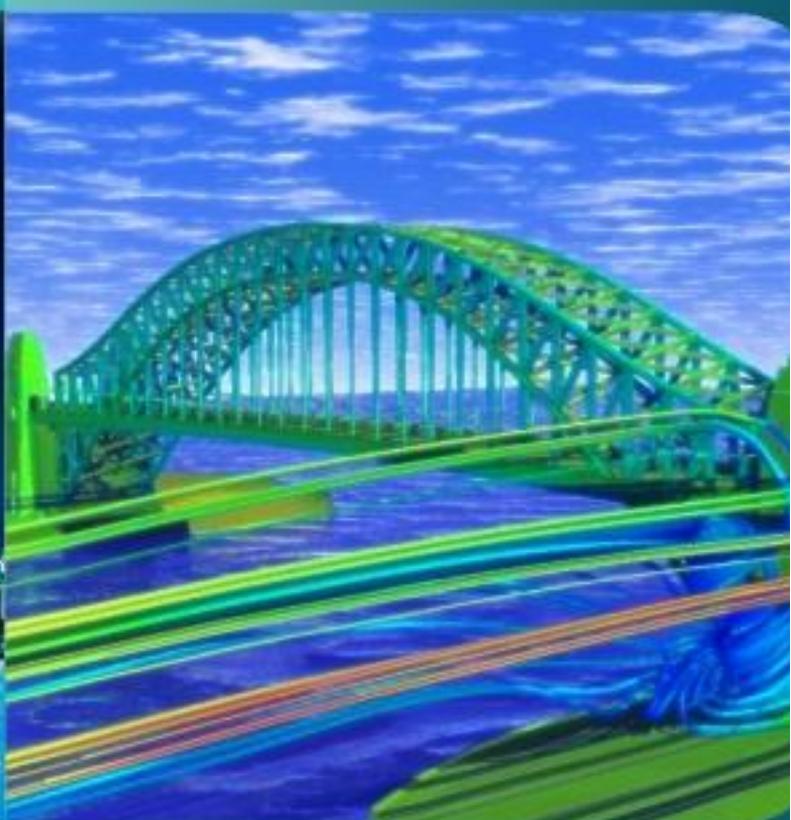




**2010**

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



**Prof<sup>a</sup>. Mildred B. Hecke**  
**Universidade Federal do Paraná**  
**Versão 1.0.0.0**



**TRANSFERÊNCIA DE CALOR -  
VIGA BI-METÁLICA  
SUBMETIDA A UMA VARIAÇÃO  
DE TEMPERATURA**

# VIGA BI-METÁLICA SUBMETIDA A UMA VARIAÇÃO DE TEMPERATURA

## INTRODUÇÃO

### A) INTRODUÇÃO:

Muitas vezes o problema que desejamos solucionar é altamente não-linear, ou seja, a variação do campo térmico interfere na variação do campo de tensões e vice-versa ou ainda ocorrem grandes deformações no corpo devido a variação do campo de temperaturas e é necessário a utilização de um procedimento não-linear. Para tal, o programa ANSYS dispõe de elementos de acoplamento de campos (magnético, térmico, elétrico, piezoeletrico e estrutural) que nos permite diretamente resolver o problema acoplado.

### B) ELEMENTOS FINITOS DISPONÍVEIS NA BIBLIOTECA DO PROGRAMA ANSYS PARA A SOLUÇÃO DE PROBLEMAS DE CAMPO:

#### Elemento quadrilateral de 4 nós: PLANE 13

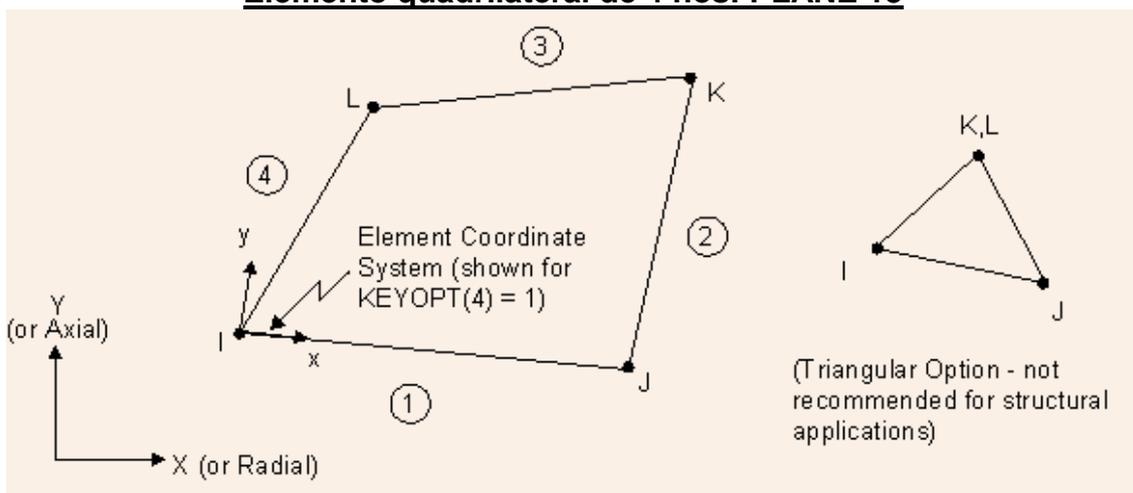


Figura 1 – PLANE13. 2-D Coupled-Field Solid.

- i. **Características do elemento PLANE 13:**
  - a. **Nome na biblioteca do ANSYS ED 9.0:** PLANE 13;
  - b. **KEYOPT (3)**
    - i. 0 - (default) plano – plane strain para variáveis estruturais;
    - ii. 1 - problema axissimétrico;
    - iii. 2 - problema plano: plane stress para variáveis estruturais;
  - c. **Nós:** 4 (i – j – k – l);
  - d. **Graus de liberdade:** conforme seleção:
    - i. AZ se KEYOPT(1) = 0;
    - ii. TEMP se KEYOPT(1) = 2;
    - iii. UX,UY se KEYOPT(1) = 3;
    - iv. UX, UY, UZ, TEMP, AZ se KEYOPT(1) = 4;

- v. VOLT, AZ, se KEYOPT(1) = 6;
- vi. UX, UY, VOLT, se KEYOPT(1) = 7
- vii. Como nos interessa o problema termo-elástico:
  1. 4 DOF's: UX, UY, TEMP, AZ - deslocamentos nodais UX e UY, TEMP temperatura nodal e funções de interpolação quadráticas (o label AZ representa o grau de liberdade de fluxo de problemas elétricos e é expresso em Weber (volt-secs) no sistema MKS);
- e. **Propriedades dos Materiais:** EX, NUXY, ALPX, KXX, KYY
- f. **Cargas:**
  - i. Admite prescrição de deslocamentos nodais
  - ii. Cargas de superfície: pressão, convecção, fluxo de calor;
  - iii. Cargas de corpo: temperatura e geração de calor;
- g. **Resultados:** Temperaturas, fluxo de calor, deslocamentos, deformações, tensões, etc.

### C) PROBLEMA DE CAMPO A SER RESOLVIDO:

#### VIGA BI-METÁLICA COM VARIAÇÃO DE TEMPERATURA

Este problema é apresentado por Boley and Weiner, [Theory of Thermal Stress], pg. 429. A viga apresentada na figura abaixo é composta por dois materiais com diferentes coeficientes de expansão térmica e inicialmente estão a uma temperatura de referência 0° F. A viga é simplesmente apoiada e uma temperatura uniforme é aplicada em ambas as superfícies. A viga estará sujeita a grandes deformações. Desejamos além da deformada, determinar o campo de temperaturas e de tensões a que o corpo está submetido.

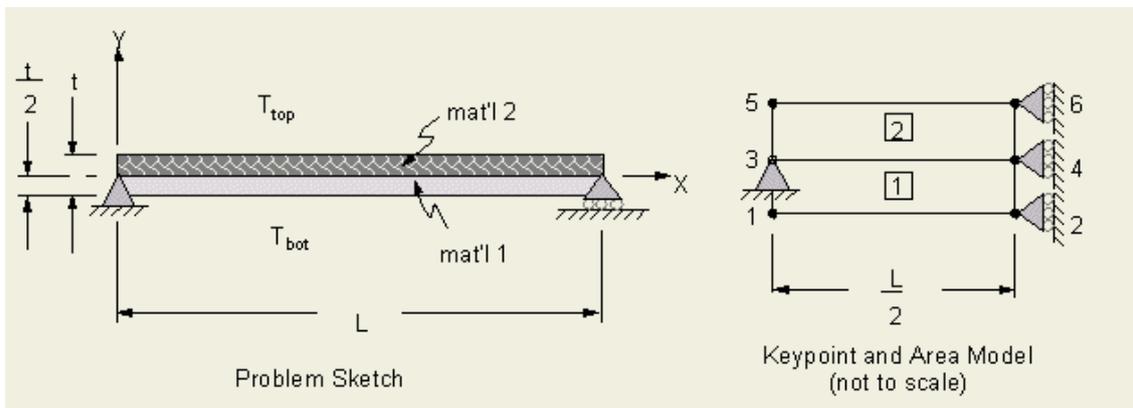


Figura 2 – Esquema do problema proposto.

### PROPRIEDADES GEOMÉTRICAS

- $l = 10$  in;
- $t = 0.1$  in.

### PROPRIEDADES DO MATERIAL

- Para cada tira de material:
  - $K1 = K2 = 5$  BTU/hr-in-°F;
- Para o material 1:
  - $E1 = 10E6$  psi;
  - $\alpha1 = 14.5E-6$  in/in°F
- Para o material 2
  - $E2 = 10E6$  psi;
  - $\alpha2 = 2.5E-6$  in/in°F

### CARREGAMENTO

- Temperatura do topo de do fundo = 400 °F

OBS: Já que o problema é simétrico, somente metade do problema será resolvido:

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 bi-metálica**”;
- ✓ 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: “**viga bimetalica**”;
- ✓ Clicar em OK.

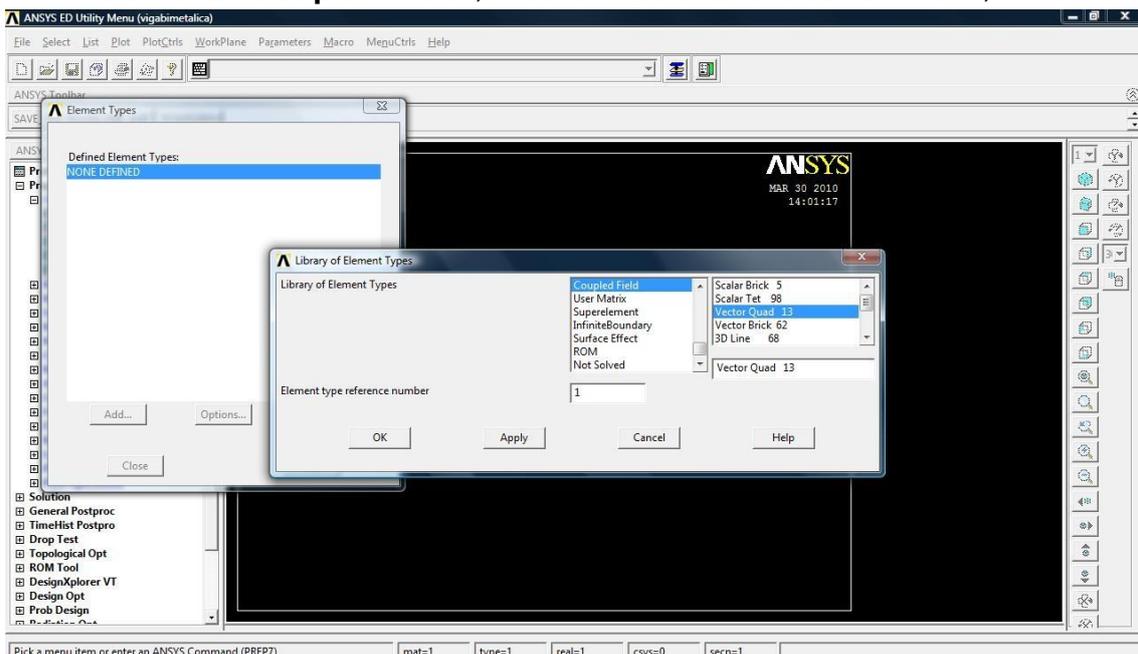
## 2. ENTRA NA FASE DE PRÉ-PROCESSAMENTO

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

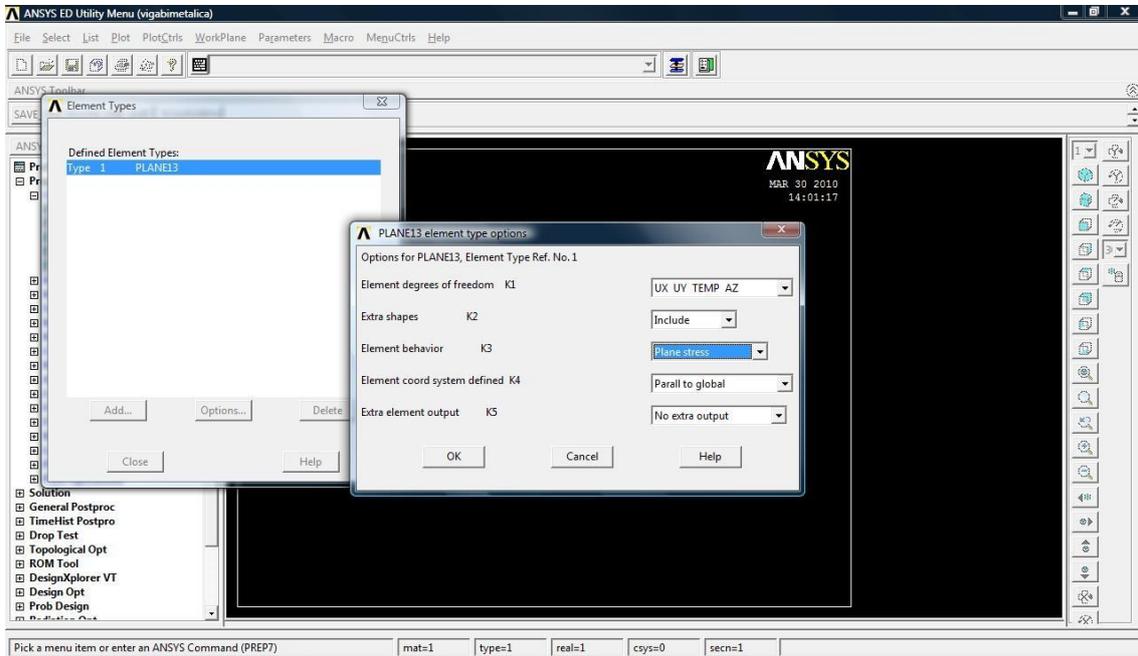
B

### 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 “**Coupled Field**”, “**Vector Quad13**” e clicar em “OK”;



- ✓ Selecionar “Options”, na janela “Element Types”;
- ✓ Na nova janela escolher:
  - Element Degree of Freedom                      UX, UY, TEMP AZ
  - Element Behavior                                    Plane Stress
- ✓ Clicar em “OK”;

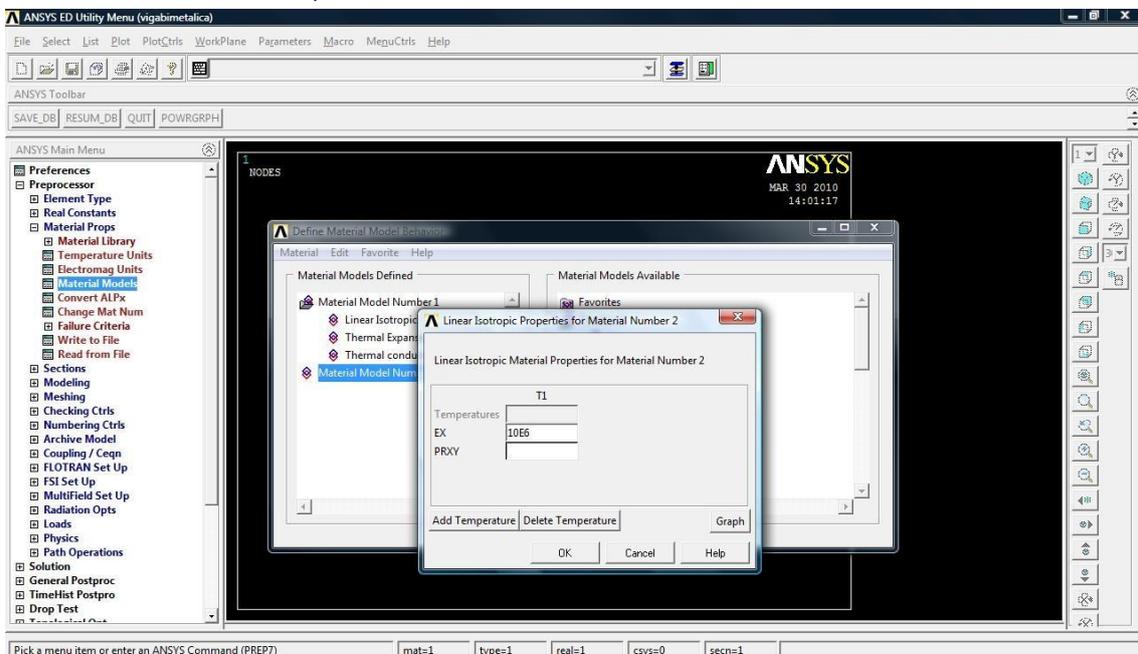


C

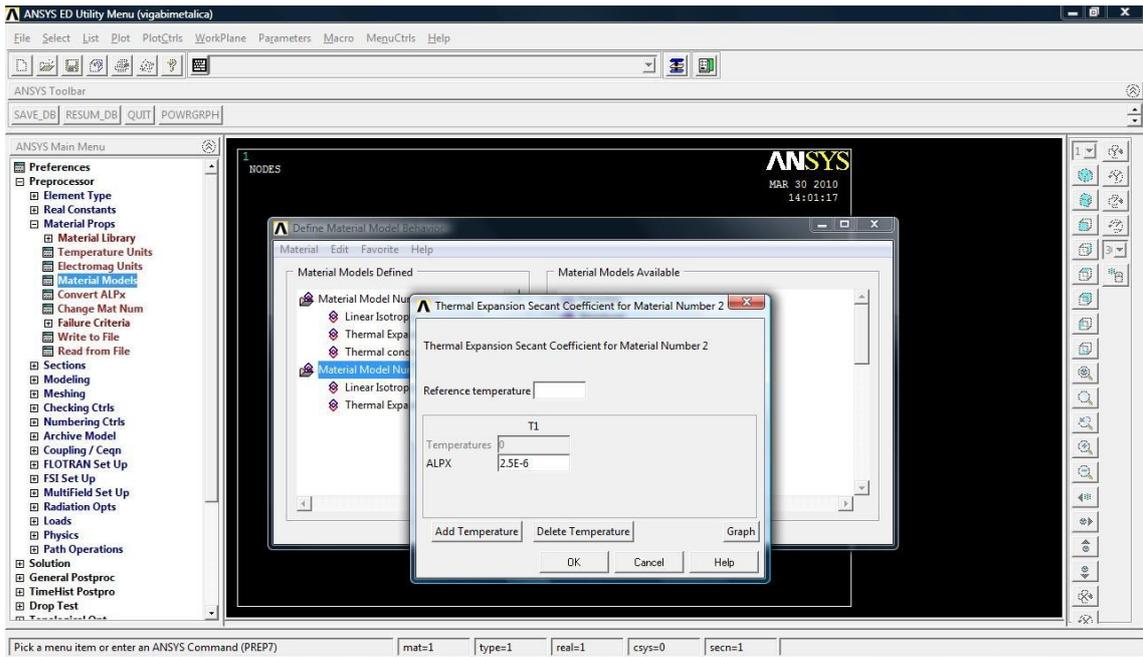
## 2.2. **Define as propriedades do material:**

- ✓ 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”;
- ✓ Inserir na nova janela
  - EX =                      **10E6**;
- ✓ Clicar em “OK”;
  
- ✓ Selecionar: “Structural>Thermal Expansion>SecantCoefficient”;
- ✓ Dar um duplo clique em “Isotropic”;
- ✓ Na nova janela inserir:
  - ALPX                      = **14.5E-6**
- ✓ Clicar em “OK”;
  
- ✓ Selecionar: “Thermal>Conductivity>Isotropic”;
- ✓ Dar um duplo clique em “Isotropic”;

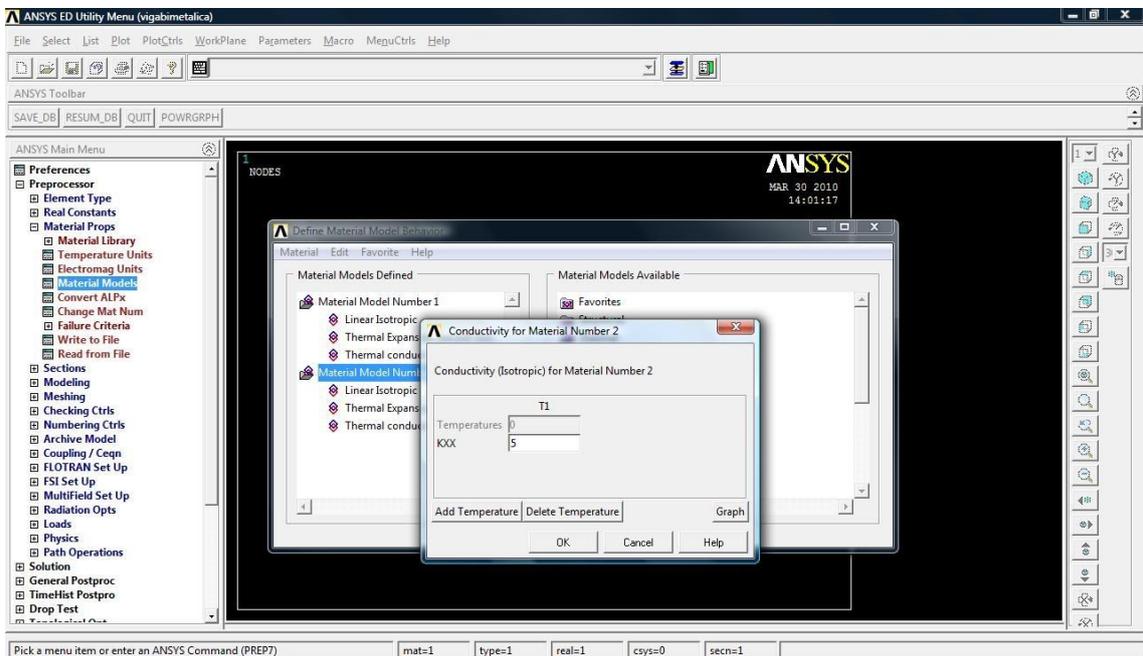
- ✓ Na nova janela inserir:
    - KXX = 5
  - ✓ Clicar em “OK”;
  - ✓ Fechar a janela “Define Material Model Behavior”.
- 
- ✓ Dentro do “Preprocessor”, selecionar “Material Props”;
  - ✓ Dentro do “Material Props”, selecionar “Material Models”;
  - ✓ Na nova janela que abrir, para o “Material Model Number 2”, no quadro “Material Models Available” selecionar:
    - “Structural>Linear>Elastic>Isotropic”;
  - ✓ Dar um duplo clique em “Isotropic”;
  - ✓ Inserir na nova janela
    - EX = 10E6;
  - ✓ Clicar em “OK”;



- ✓ Selecionar: “Structural>Thermal Expansion>SecantCoefficient”;
- ✓ Dar um duplo clique em “Isotropic”;
- ✓ Na nova janela inserir:
  - ALPX = 2.5E-6
- ✓ Clicar em “OK”;



- ✓ Selecionar: “Thermal>Conductivity>Isotropic”;
- ✓ Dar um duplo clique em “Isotropic”;
- ✓ Na nova janela inserir:
  - KXX = 5
- ✓ Clicar em “OK”;
- ✓ Fechar a janela “Define Material Model Behavior”.

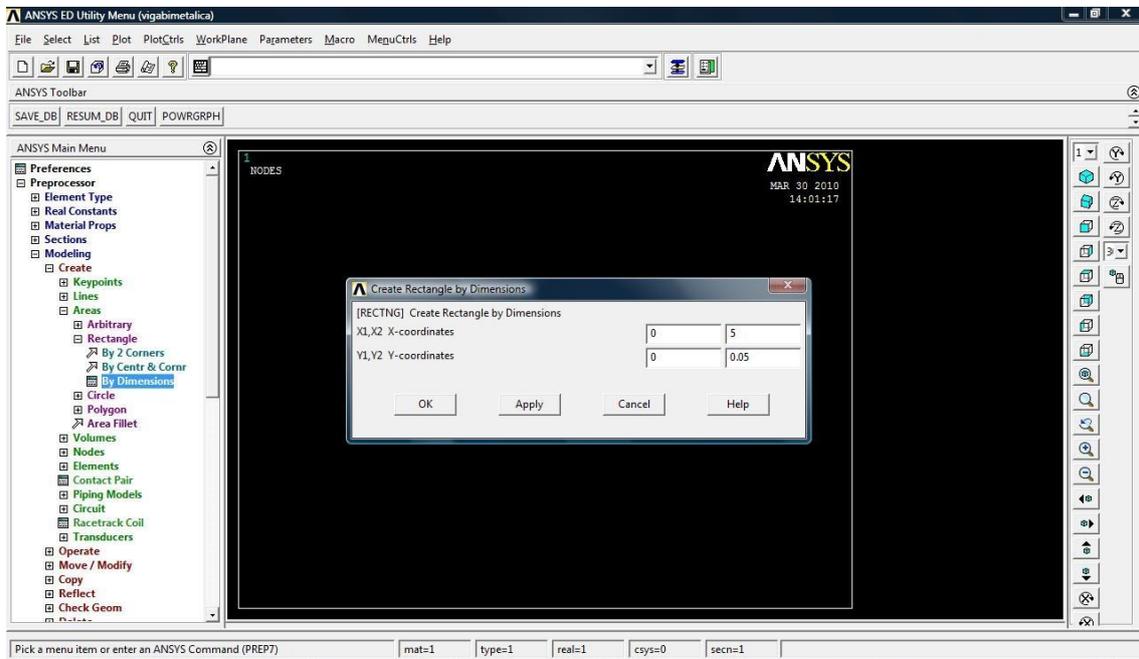


D

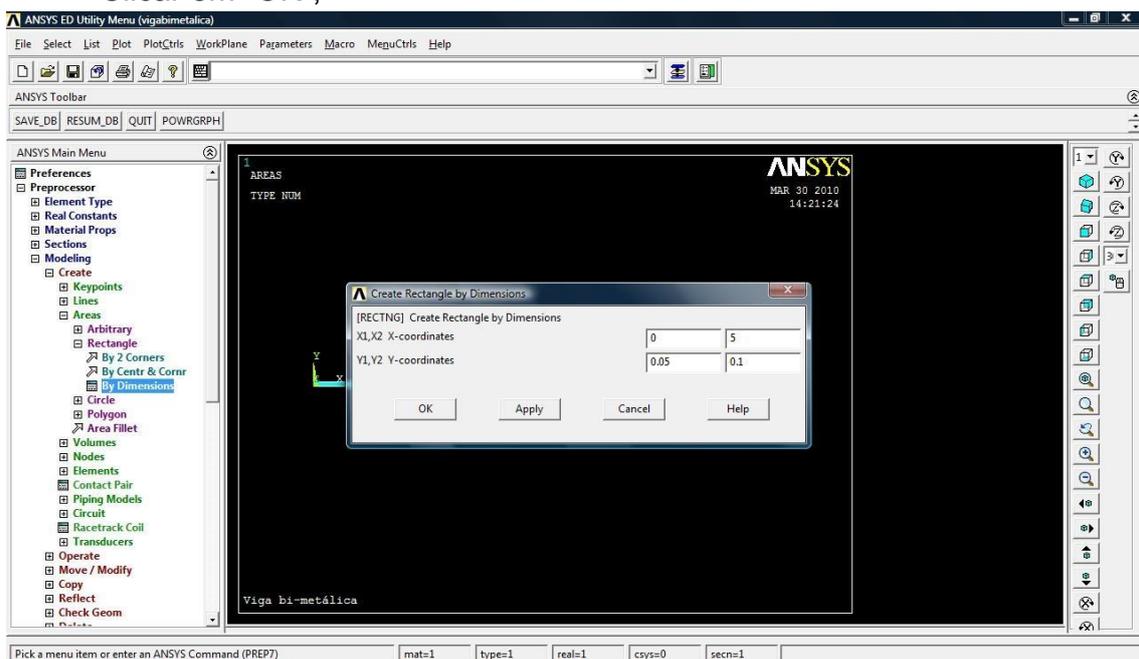
## 2.3. Cria o modelo geométrico:

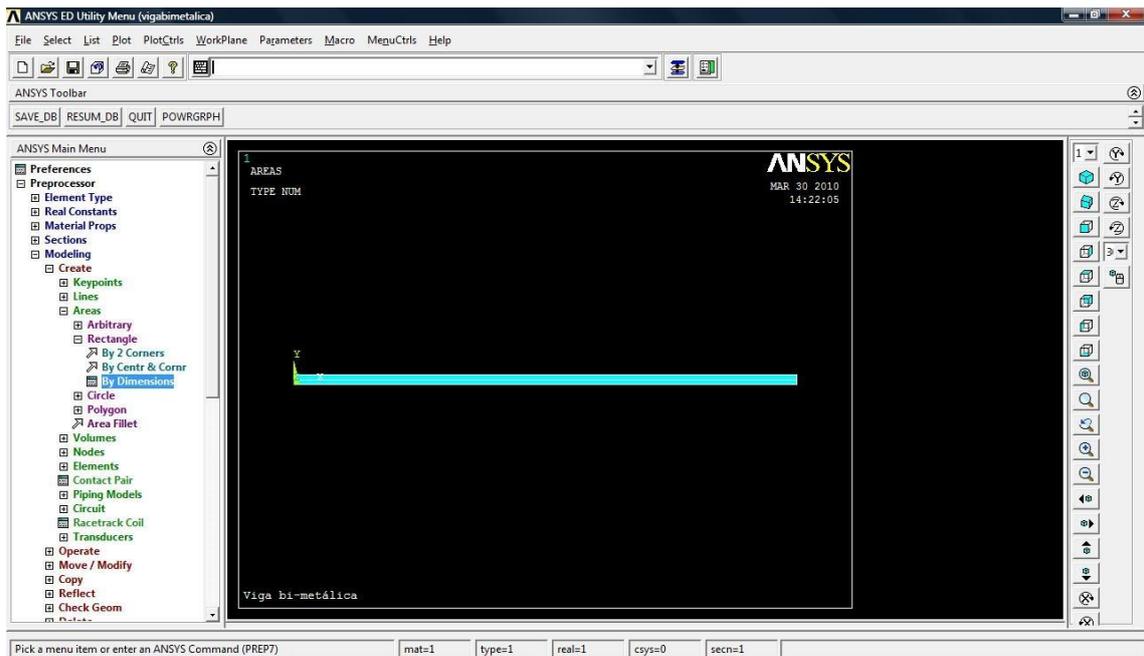
### 2.3.1. Cria o modelo geométrico:

- ✓ Dentro do “Preprocessor” selecionar “Modeling”, “Create”, “Areas”, “Rectangle”, “By Dimensions”;
- ✓ Na nova janela, inserir:
  - X1, X2                            **0**                            **5**;
  - Y1, Y2                            **0**                            **0.05**;
- ✓ Clicar em “OK”;



- ✓ Dentro do “Preprocessor” selecionar “Modeling”, “Create”, “Areas”, “Rectangle”, “By Dimensions”;
- ✓ Na nova janela, inserir:
  - X1, X2                            **0**                            **5**;
  - Y1, Y2                            **0.05**                        **0.1**;
- ✓ Clicar em “OK”;

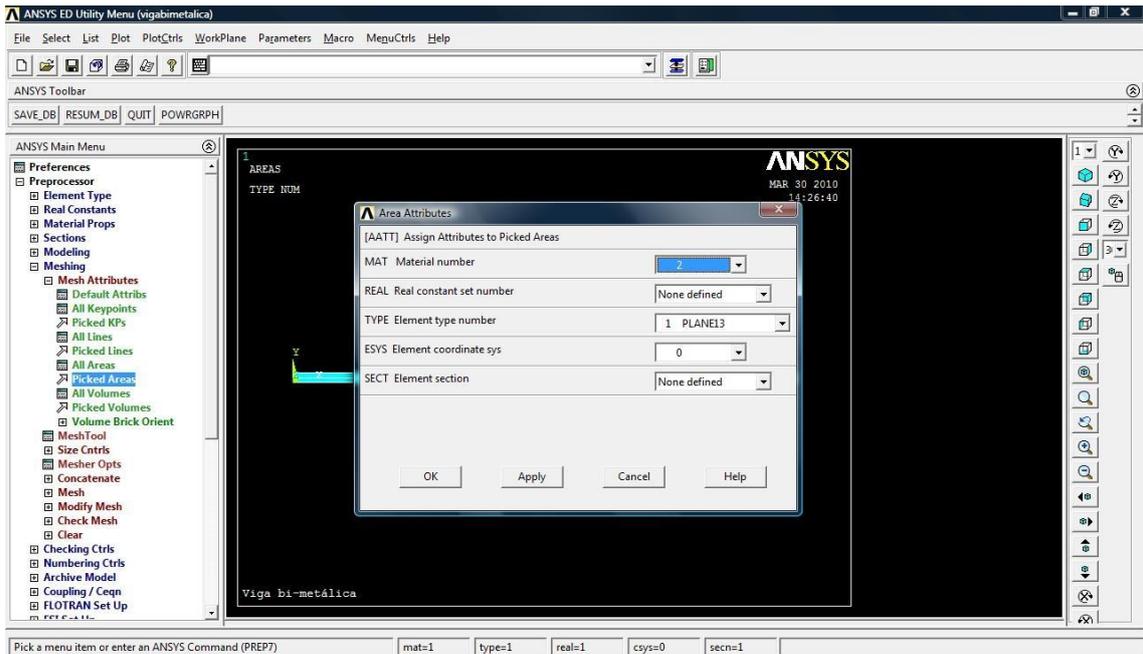




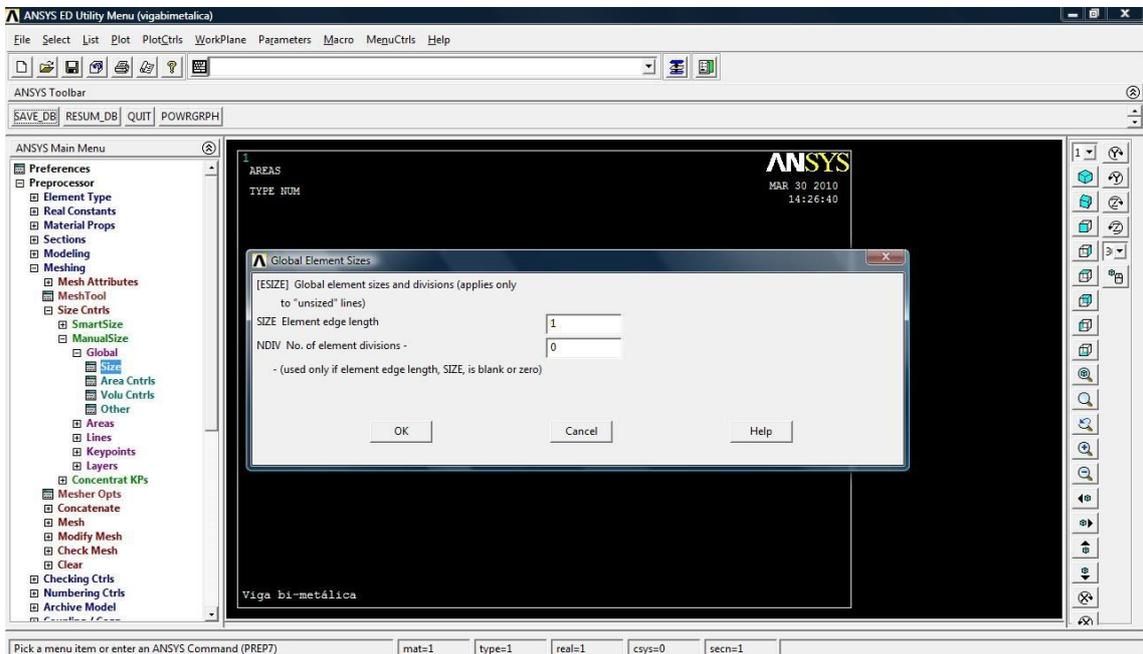
- ✓ Dentro do “Preprocessor” selecionar “Modeling”, “Operate”, “Booleans”, “Glue”, “Areas”;
- ✓ Na nova janela, selecionar “**PICK ALL**”;

### 2.3.2. *Define tamanho dos elementos da malha e cria malha de elementos finitos:*

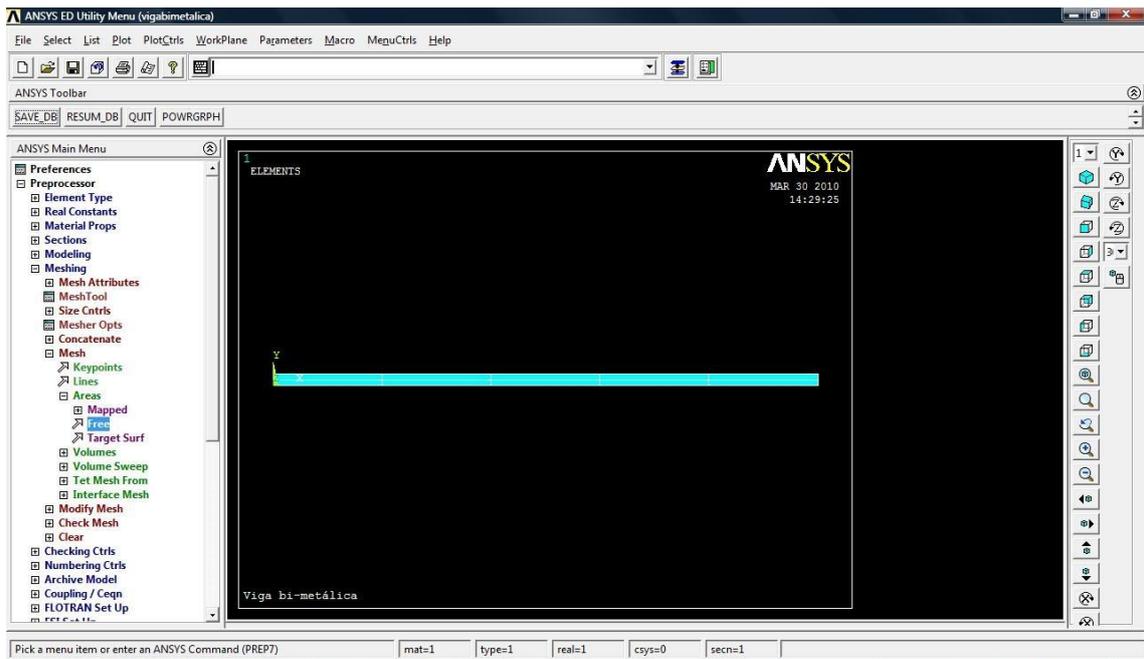
- ✓ Dentro do “Preprocessor” selecionar “Meshing”, “Mesh Attributes”, “Picked Areas”;
- ✓ Selecionar área **3** (área de cima);
- ✓ Clicar em “OK”;
- ✓ Na nova janela, selecionar:
  - MAT **2**;
- ✓ Clicar em “OK”;



- ✓ Dentro do “Preprocessor” selecionar “Meshing”, “SizeCtrls”, “Manual Size”, “Global”, “Size”;
- ✓ Na nova janela inserir:
  - SIZE Element edge length **1**
- ✓ Clicar em “OK”.



- ✓ Dentro do “Preprocessor” selecionar “Meshing”, “Mesh”, “Areas”, “Free”;
- ✓ Clicar em “PICK ALL”;

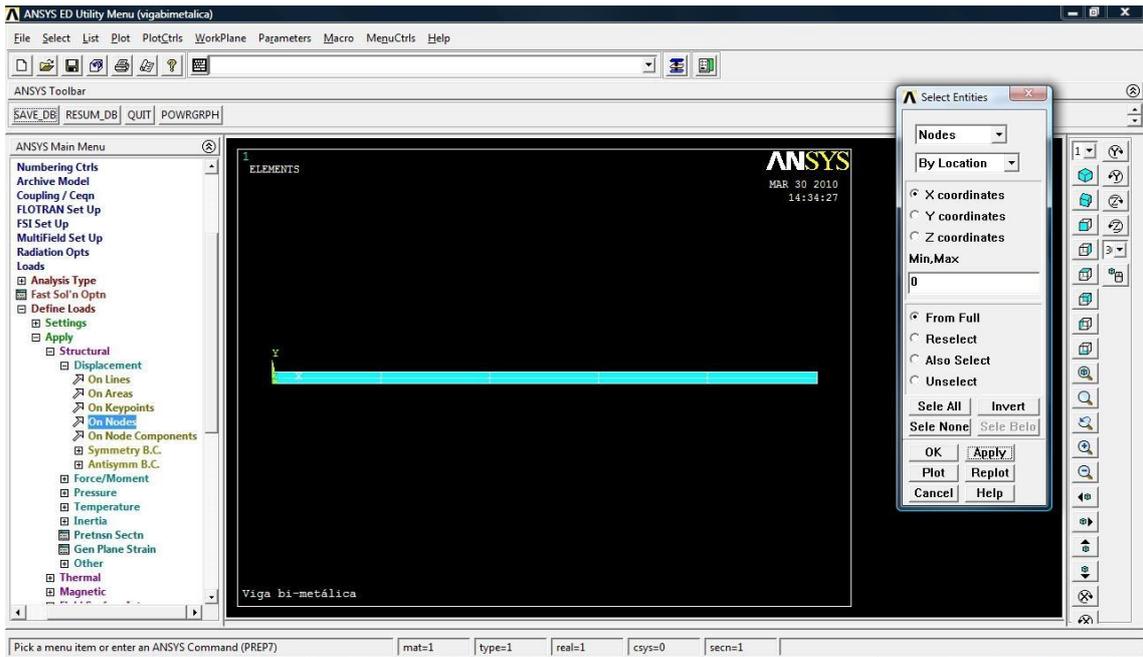


E

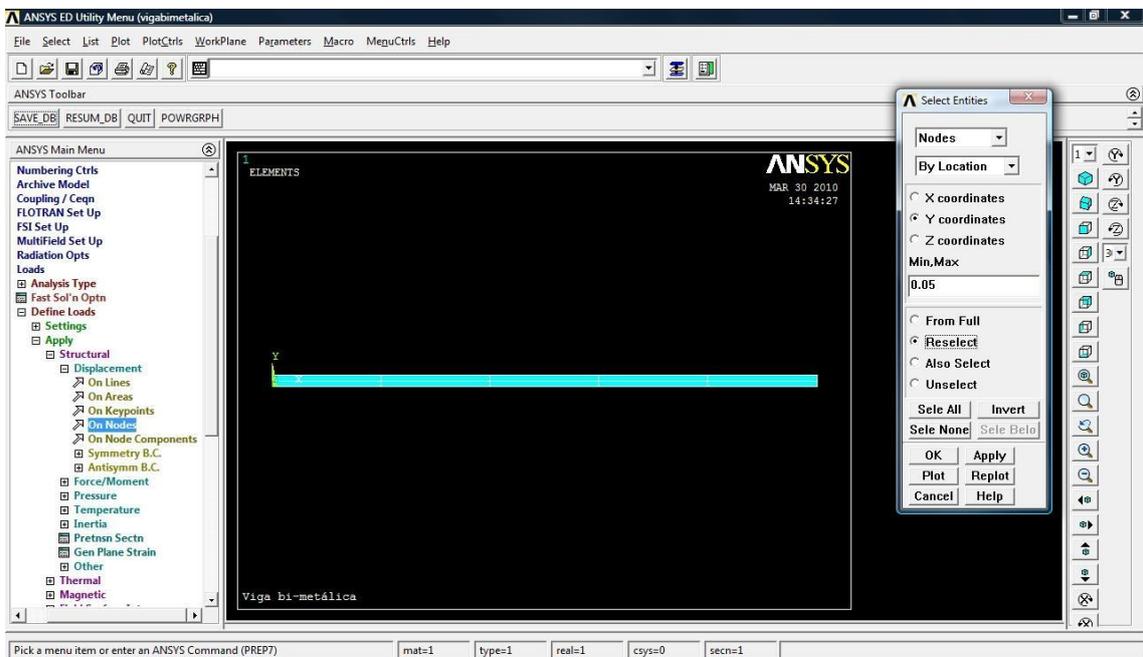
## 2.4. Aplicar as condições de contorno na modelagem sólida:

### 2.4.1. Fornece condição de contorno:

- ✓ No “Utility Menu”, selecionar “Select”, Entities”;
- ✓ Na nova janela selecionar as opções:
  - **NODES**
  - **BY LOCATION**
  - **X coordinate**
  - **Min, Max = 0**
  - **From Full**
- ✓ Clicar em “APPLY”

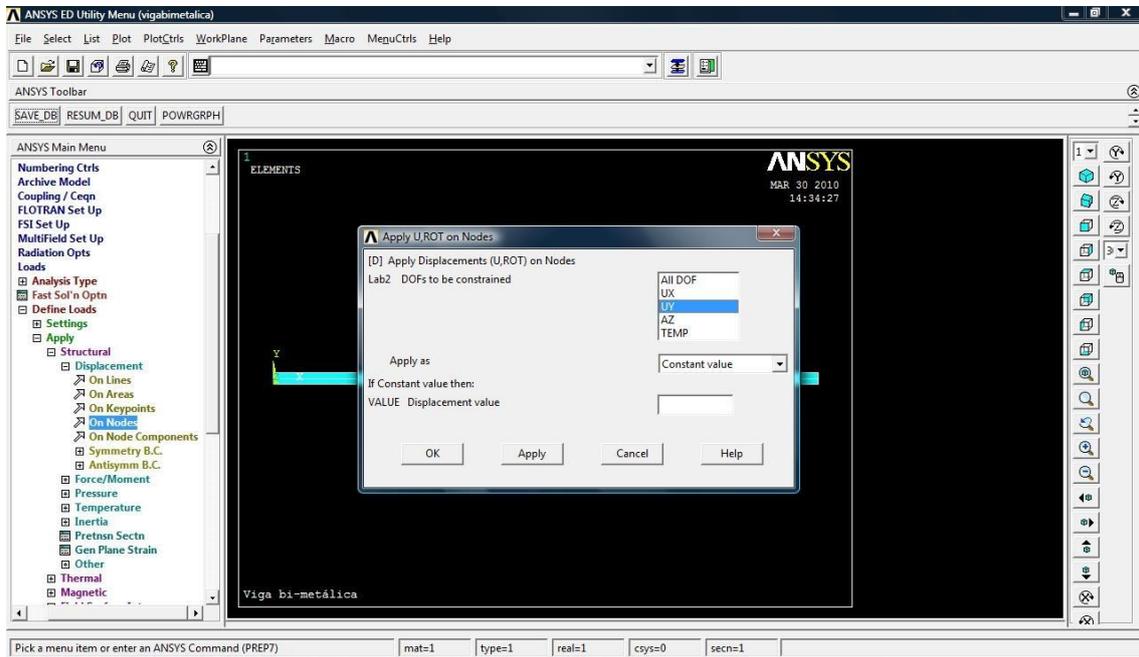


- ✓ Selecionar as opções:
  - **NODES**
  - **BY LOCATION**
  - **Y coordinate**
  - **Min, Max = 0.05**
  - **Reselect**
- ✓ Clicar em “OK”

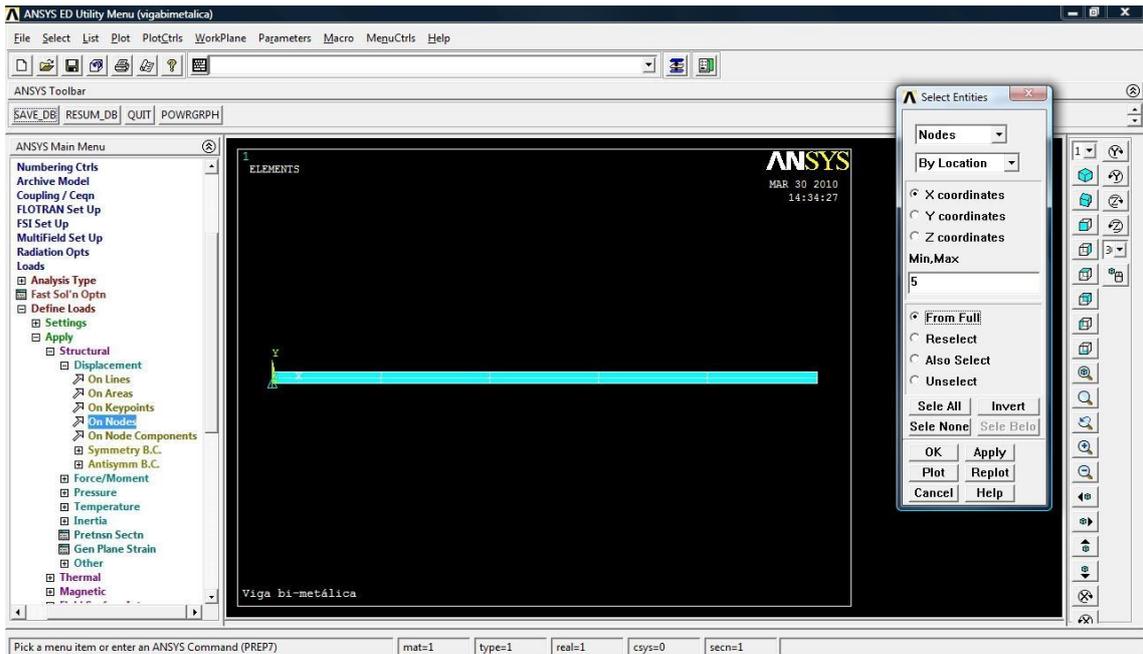


- ✓ Dentro do “Preprocessor” selecionar “Loads”, “Define Loads”, “Apply”, “Structural”, “Displacement”, “On Nodes”;
- ✓ Na nova janela clicar em “PICK ALL”;

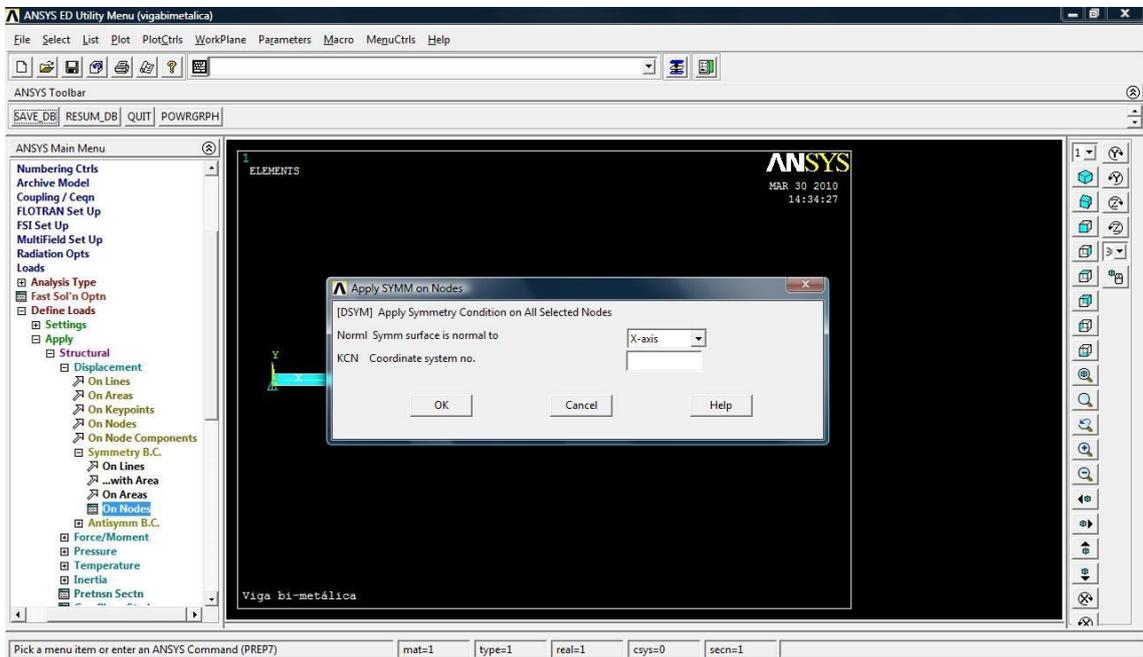
- ✓ Selecionar:
  - DOF's to be constrained **UY;**
- ✓ Clicar em "OK"



- ✓ No "Utility Menu", selecionar "Select", Entities";
- ✓ Na nova janela selecionar as opções:
  - **NODES**
  - **BY LOCATION**
  - **X coordinate**
  - Min, Max = 5
  - **From Full**
- ✓ Clicar em "OK"



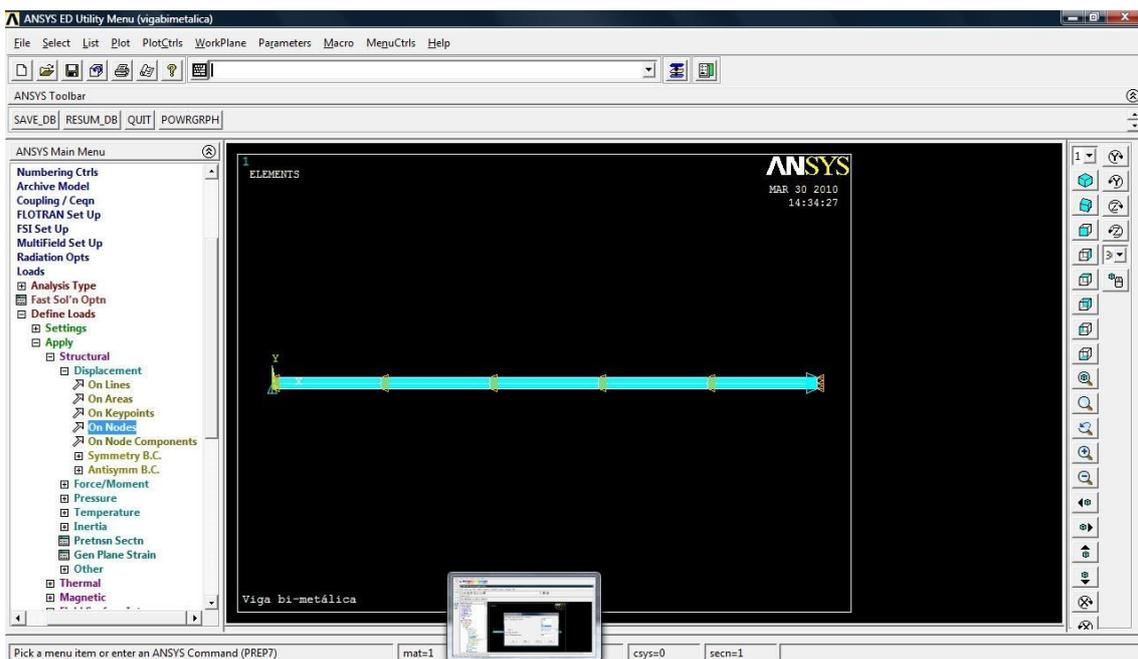
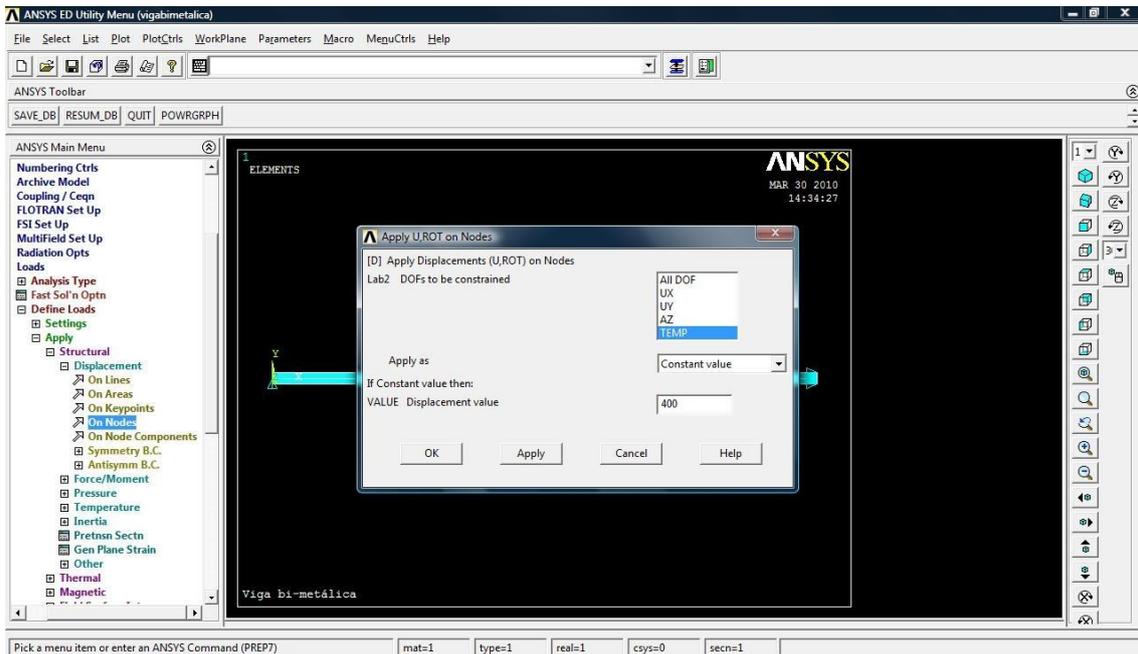
- ✓ Dentro do “Preprocessor” selecionar “Loads”, “Define Loads”, “Apply”, “Structural”, “Displacement”, “Symmetry B.C.”, “On Nodes”;
- ✓ Na nova janela selecionar:
  - Norml **X - axis**;
- ✓ Clicar em “OK”



- ✓ No “Utility Menu”, selecionar “Select”, “Everything”;
- ✓ Dentro do “Preprocessor” selecionar “Loads”, “Define Loads”, “Apply”, “Structural”, “Displacement”, “On Nodes”;
- ✓ Na nova janela clicar em “**PICK ALL**”;
- ✓ Selecionar:

- DOF's to be constrained
  - VALUE
- ✓ Clicar em “OK”

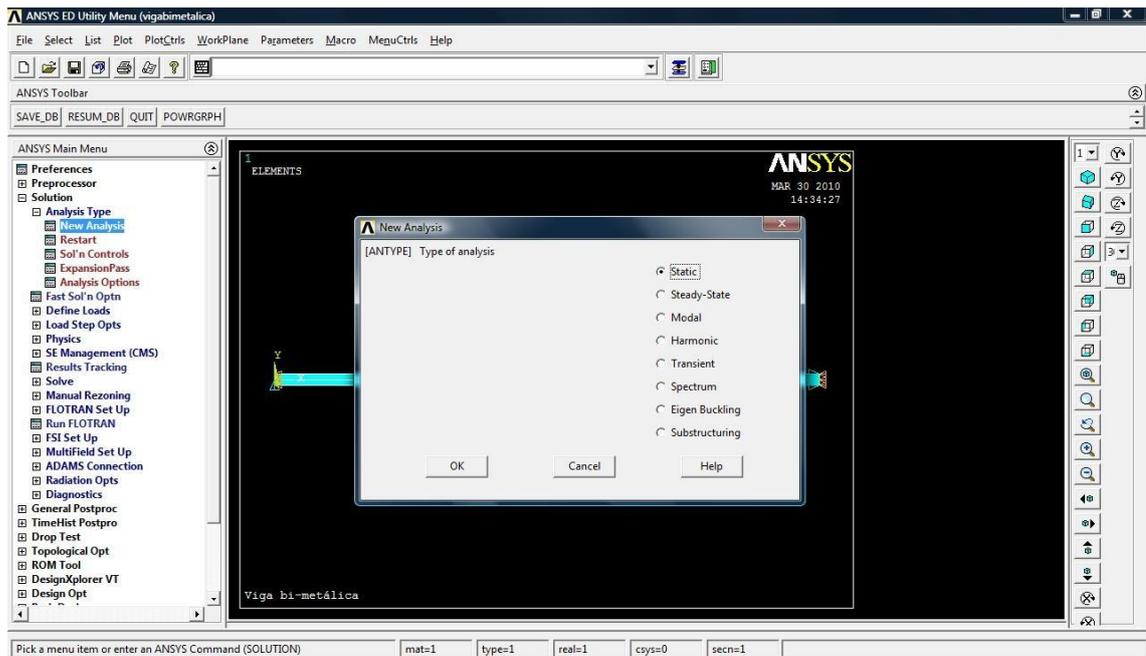
**TEMP;**  
**400;**



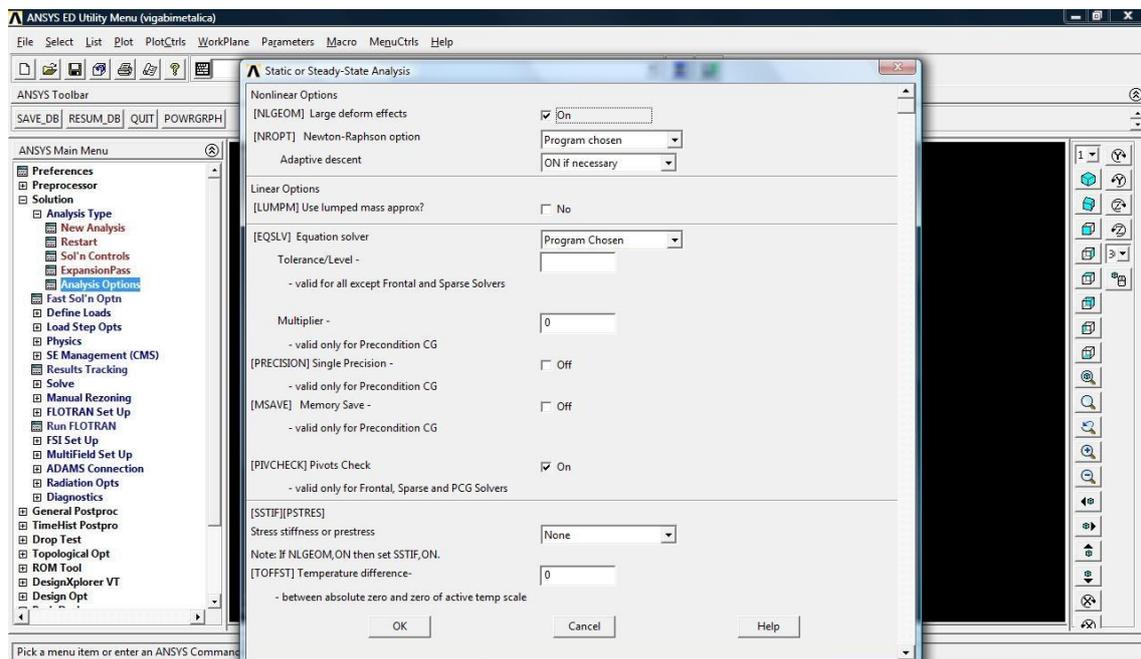
F

### 3. SOLUÇÃO

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



- ✓ No “ANSYS Main Menu” dentro do “Solution” clicar em “Analysis Type”, “Analysis Options”;
- ✓ Na nova janela selecionar “Large Deform Effects” “ON” e clicar em “OK”;

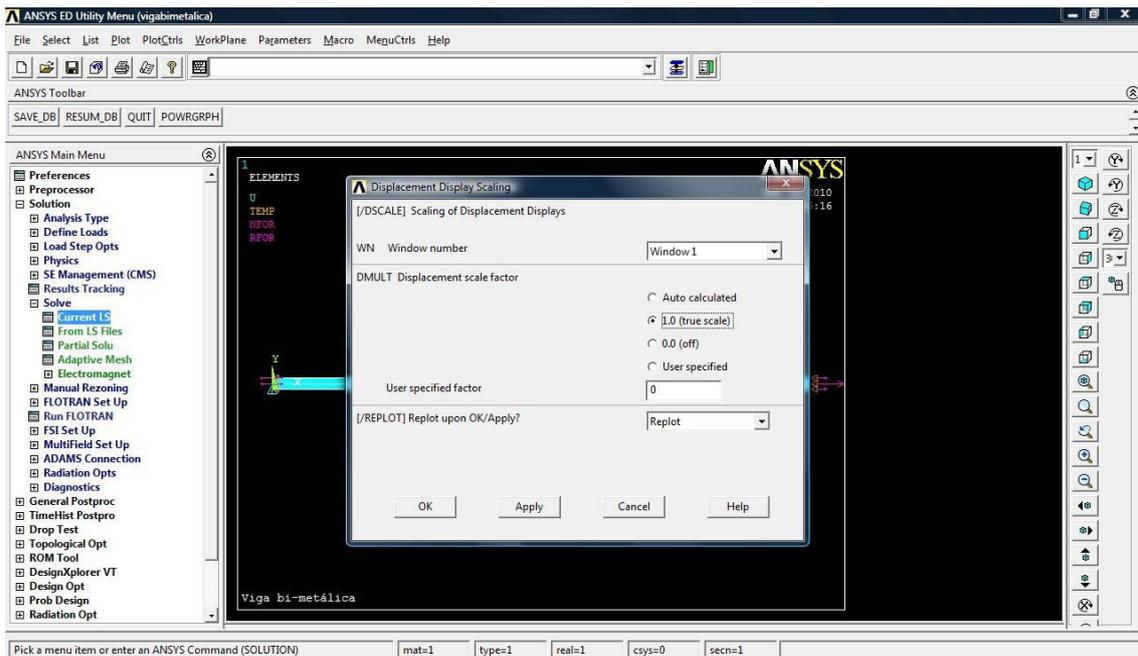


- ✓ No “ANSYS Main Menu” dentro do “Solution” clicar em “Solve”, “Current LS”;
- ✓ Clicar em “OK”.
- ✓ Na janela “Information: Solution is done” clicar em “CLOSE”.

## 4. PÓS PROCESSAMENTO

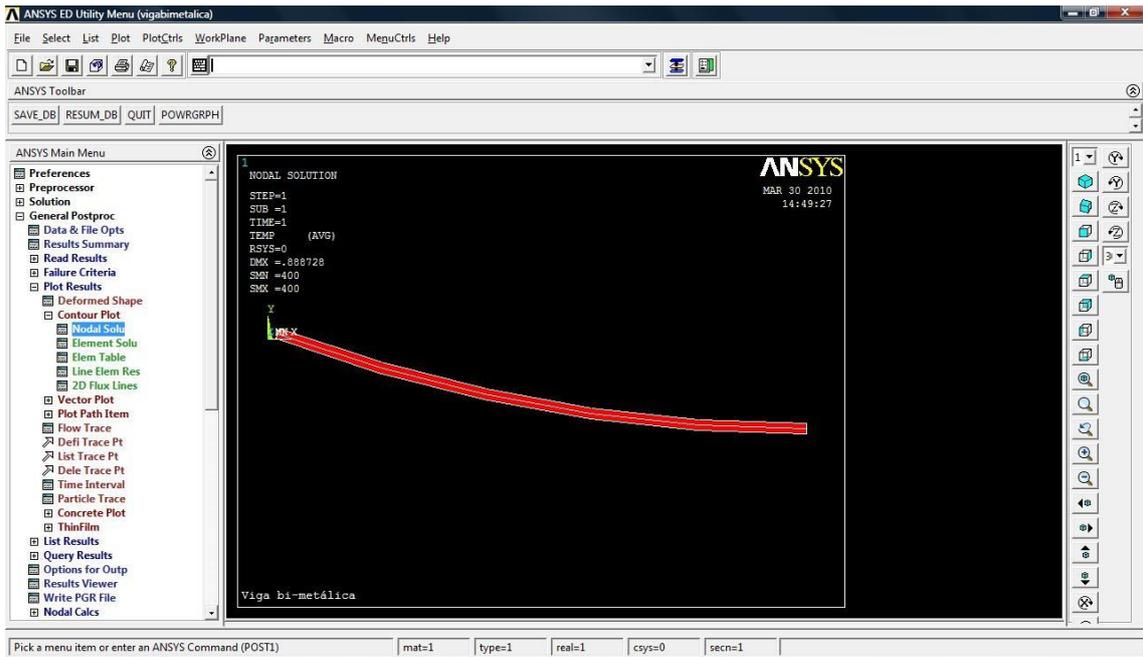
### 4.1. Gera, lista e plota os resultados:

- ✓ No “ANSYS Utility Menu” clicar em “PlotCtrls”, “Style”, “Displacement Scaling”;
- ✓ Na nova janela, selecionar:
  - Displacement scale factor                   **1.0 (true scale);**
- ✓ Clicar em “OK”.

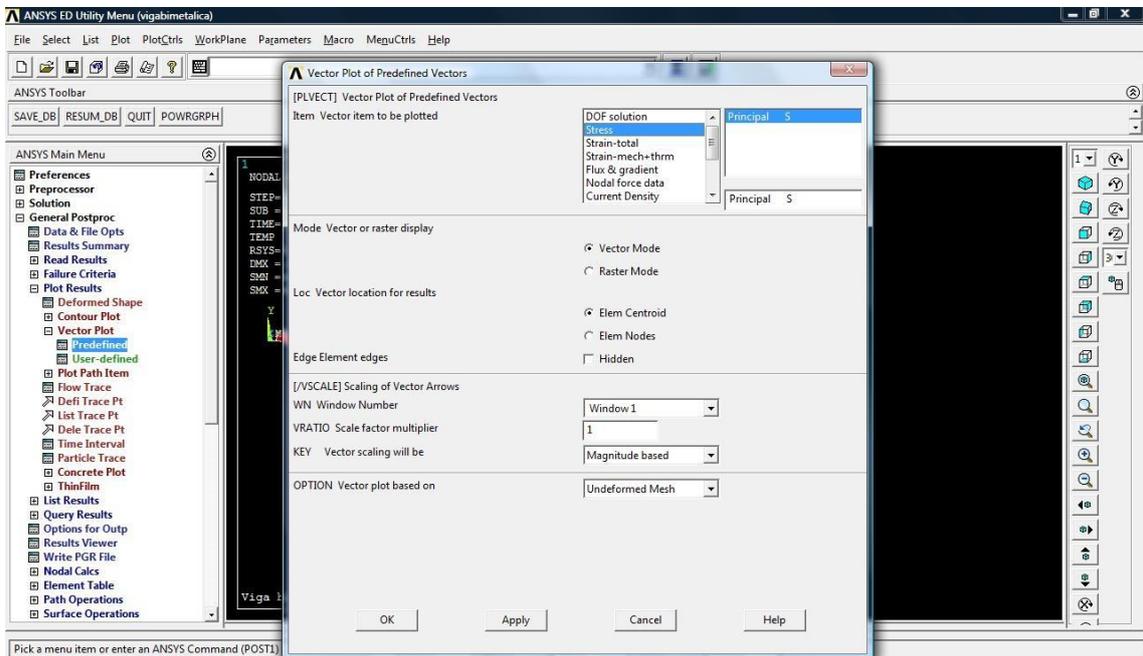


- ✓ No ANSYS Main Menu dentro do “General Postproc” clicar em “Plot Results”, “Deformed Shape” para visualizar a configuração deformada da estrutura;
- ✓ Na janela “Plot Deformed Shape”, selecionar a opção “Def+undeformed” e clicar em “OK”;

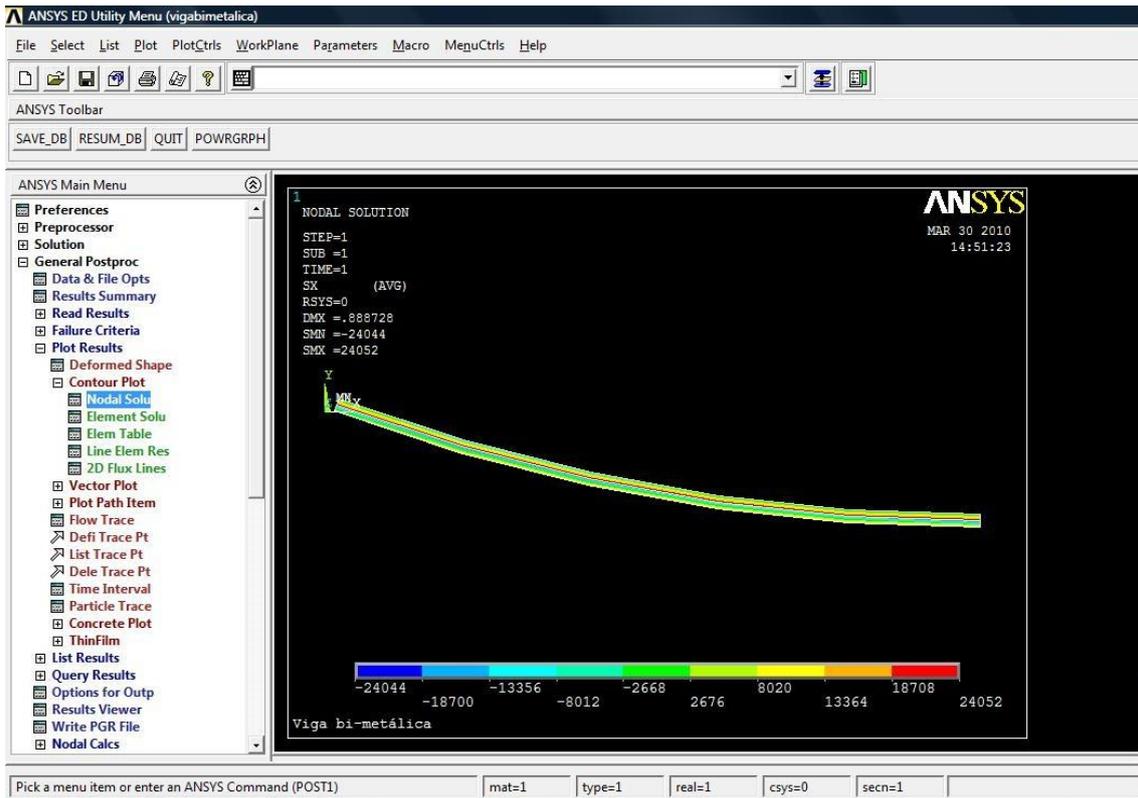




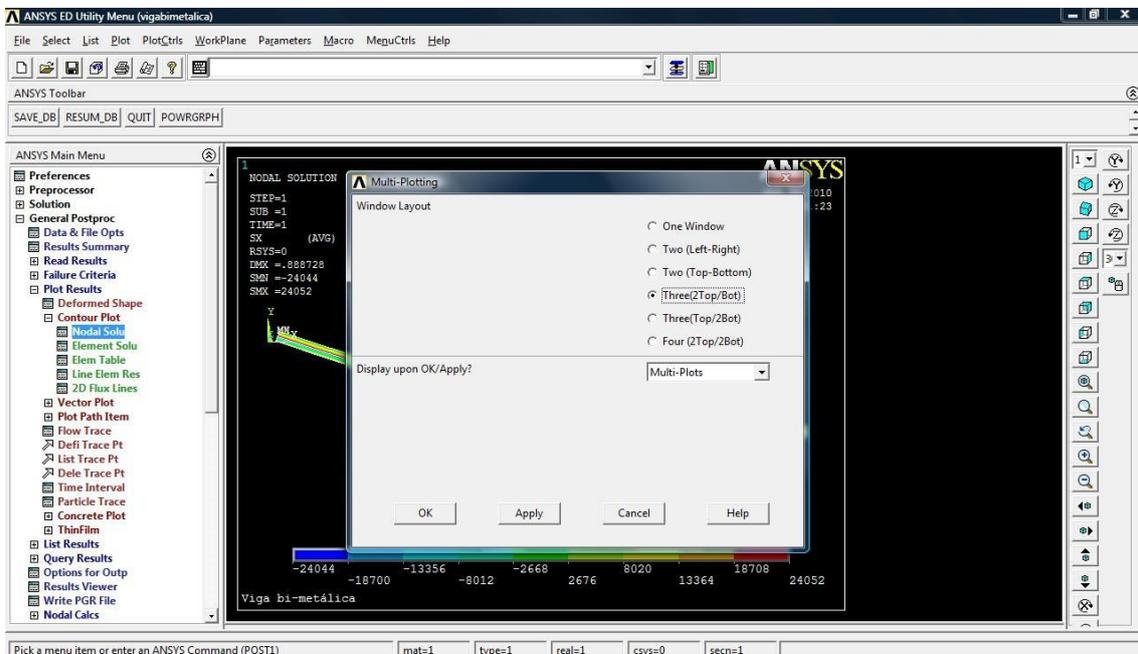
- ✓ No “ANSYS Main Menu” dentro do “General Postproc” clicar em “Plot Results”, “Vector Plot”, “Predefined”;
- ✓ Na nova janela, selecionar:
  - **Stress**                      **Principal S**;
- ✓ Clicar em “OK”.



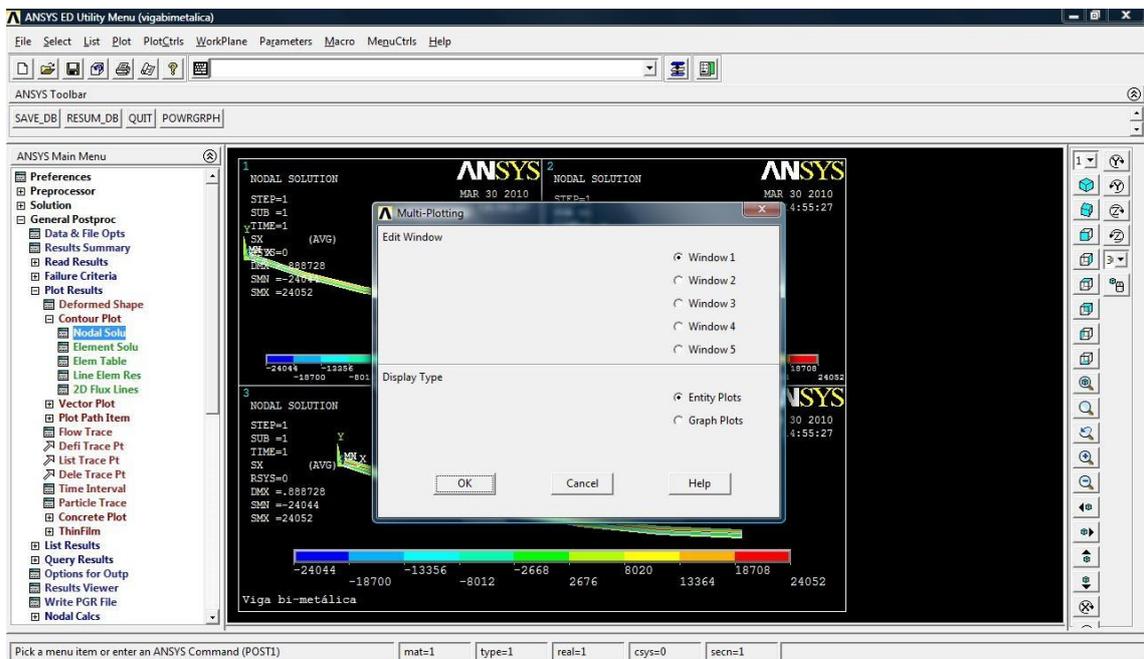
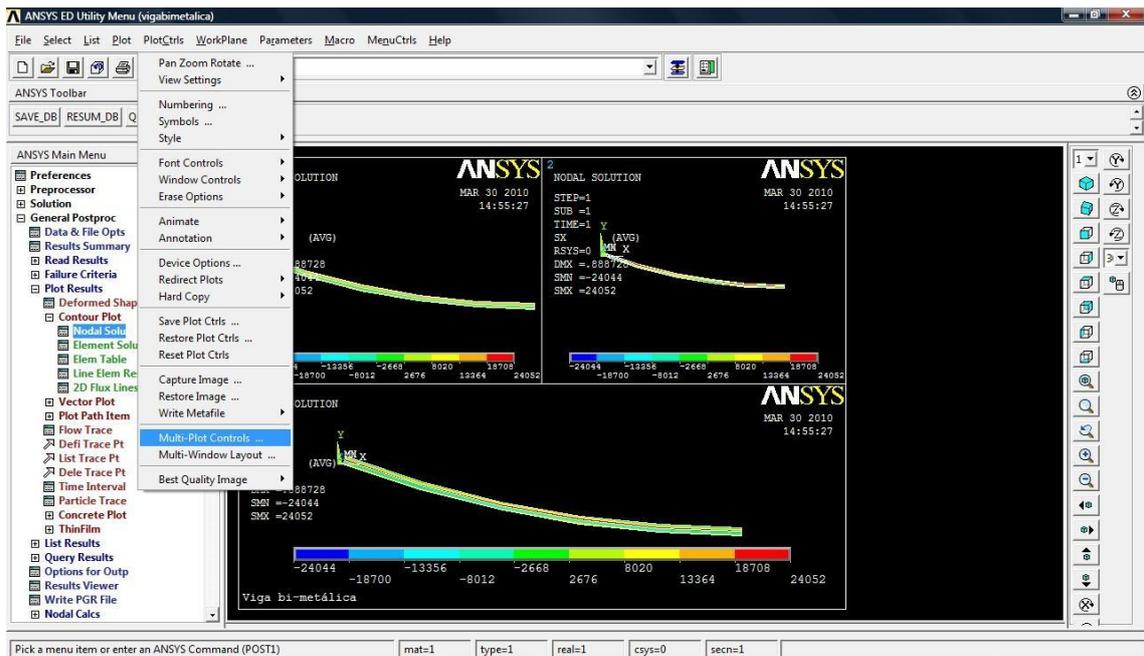




- ✓ No “ANSYS Utility Menu” clicar em “Plot Ctrl’s”, “Multi Windows Layout”;
- ✓ Na nova janela, seleccionar:
  - **Three (2 Top/Bot)**;
- ✓ Clicar em “OK”.



- ✓ Ir no “ANSYS Utility Menu” clicar em “Plot Ctrl’s”, “Multi Plot Ctrl’s”;
- ✓ Escolher para cada janela o que quer plotar;



- ✓ Clicar no “Utility Menu” em “Plot”, “Multi Plot”.

## 5. SALVANDO ARQUIVOS E SAINDO DO PROGRAMA:

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