

# VIGA BI-METÁLICA SUBMETIDA A UMA VARIAÇÃO DE TEMPERATURA USANDO O ABAQUS 6.12 STUDENT EDITION

## 1. INTRODUÇÃO

### 1.1. DESCRIÇÃO DO PROBLEMA:

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 ABAQUS dispõe de elementos de acoplamento de campos (magnético, térmico, elétrico, piezoeletrico e estrutural) que nos permite diretamente resolver o problema acoplado.

### 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  $0^{\circ}$  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.

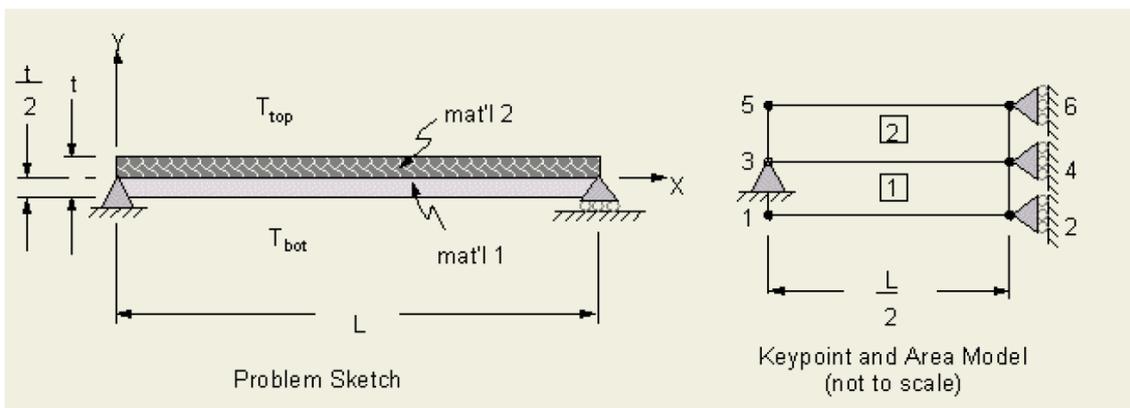


Figura 1. Esquema do problema proposto

## 1.2. PROPRIEDADES GEOMÉTRICAS

$$L = 10 \text{ in} = 0.254\text{m}$$

$$t = 0.1 \text{ in} = 0.00254\text{m}$$

## 1.3. PROPRIEDADES DO MATERIAL

$$\text{Condutividade térmica} = k_1 = k_2 = 5 \text{ BTU/hr-in-}^\circ\text{F} = 104 \text{ W/m.k}$$

Para o Material 1:

$$E_1 = 10\text{E}6 \text{ psi} = 6.89475\text{E}9 \text{ Pa}$$

$$a_1 = 14.5\text{E-}6 \text{ in/in}^\circ\text{F} = 5.66898\text{E-}8 \text{ /k}$$

Para o Material 2:

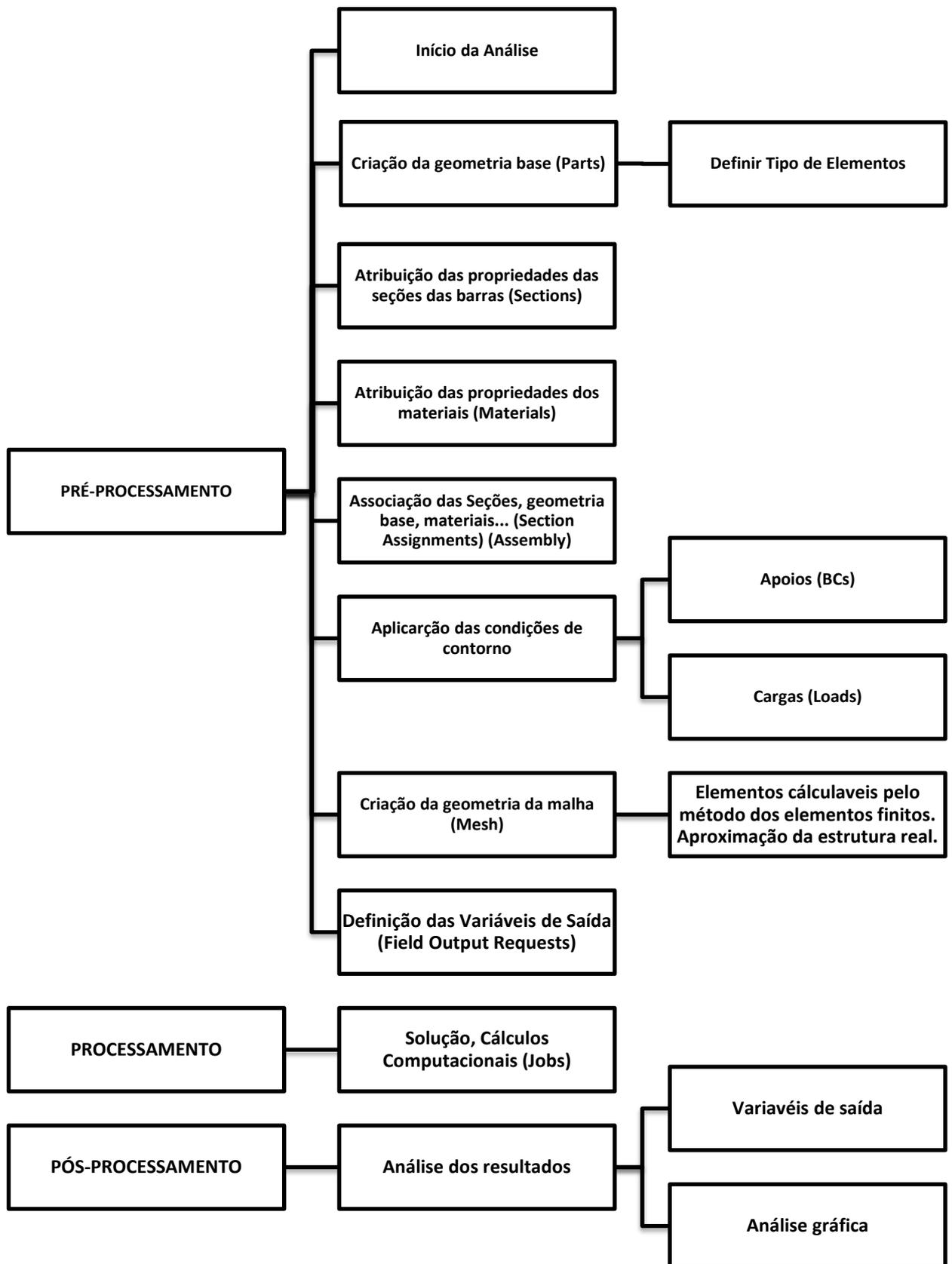
$$E_2 = 10\text{E}6 \text{ psi} = 6.89475\text{E}9 \text{ Pa}$$

$$a_2 = 2.5\text{E-}6 \text{ in/in}^\circ\text{F} = 9.77411\text{E-}9 \text{ /k}$$

$$\text{Temperatura do topo e do fundo} = 400^\circ\text{F} = 477.444 \text{ k}$$

## 2. RESOLUÇÃO

O procedimento de resolução pode ser demonstrado no seguinte fluxograma (a ordem pode eventualmente ser quebrada em pontos específicos por conveniência):

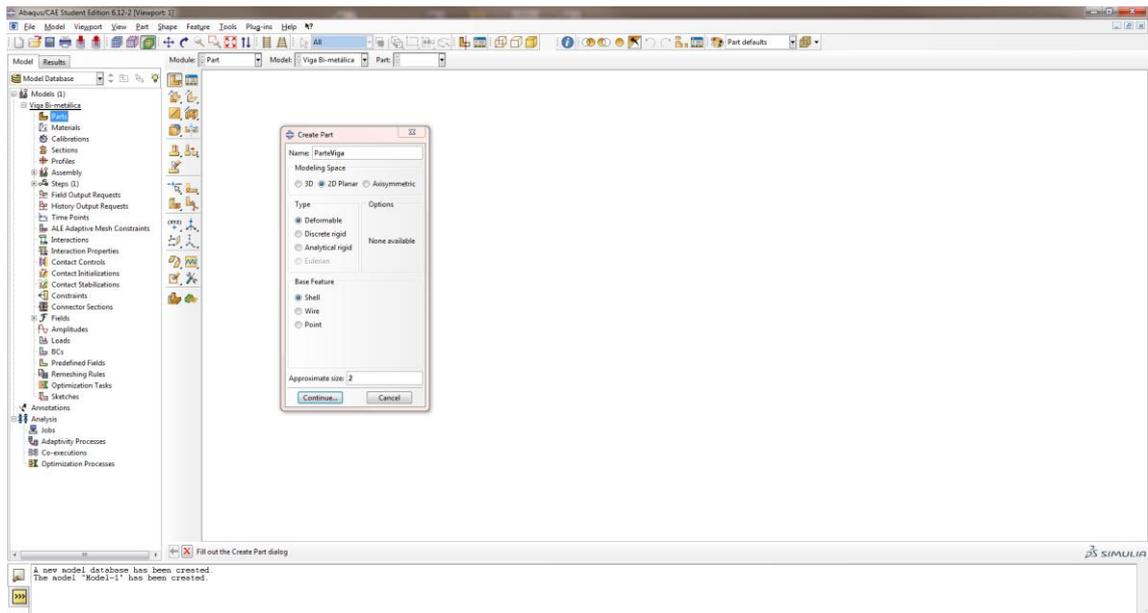


## 2.1. INÍCIO DA ANÁLISE

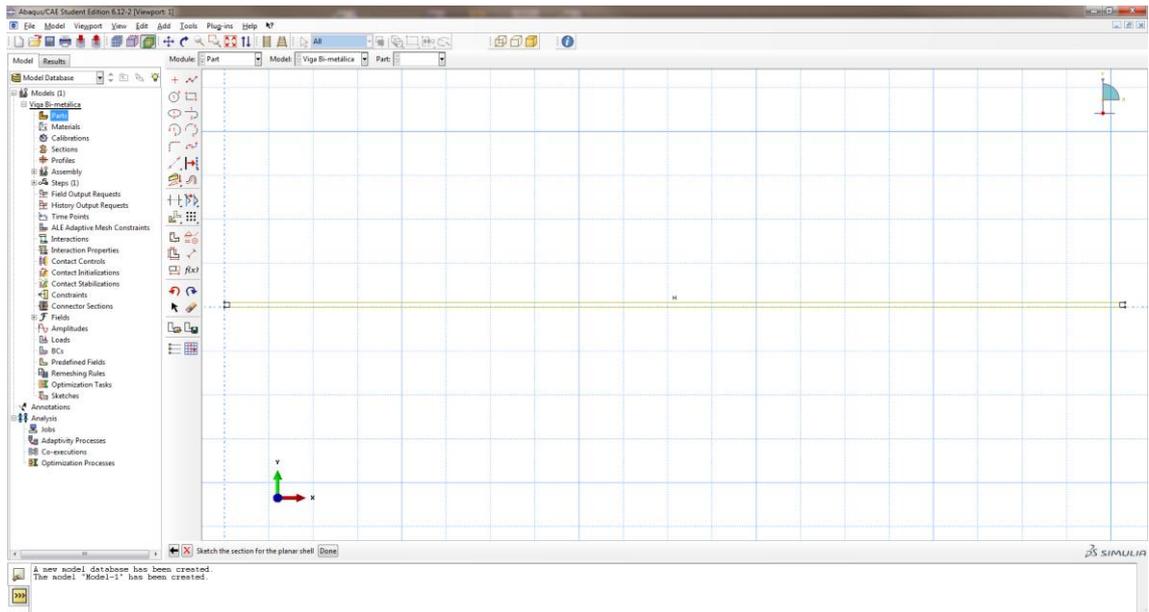
- ✓ Se você ainda não iniciou o programa **Abaqus/CAE**, **digite** `cmd` no **Menu Iniciar** para abrir o **Prompt de Comando** e nele **digite** `abq6122se cae` para executar o Abaqus.
- ✓ Em **Create Model Database** na caixa **Start Session** que aparece, **selecione** **With Standard/Explicit Model**.

## 2.2. PRÉ-PROCESSAMENTO

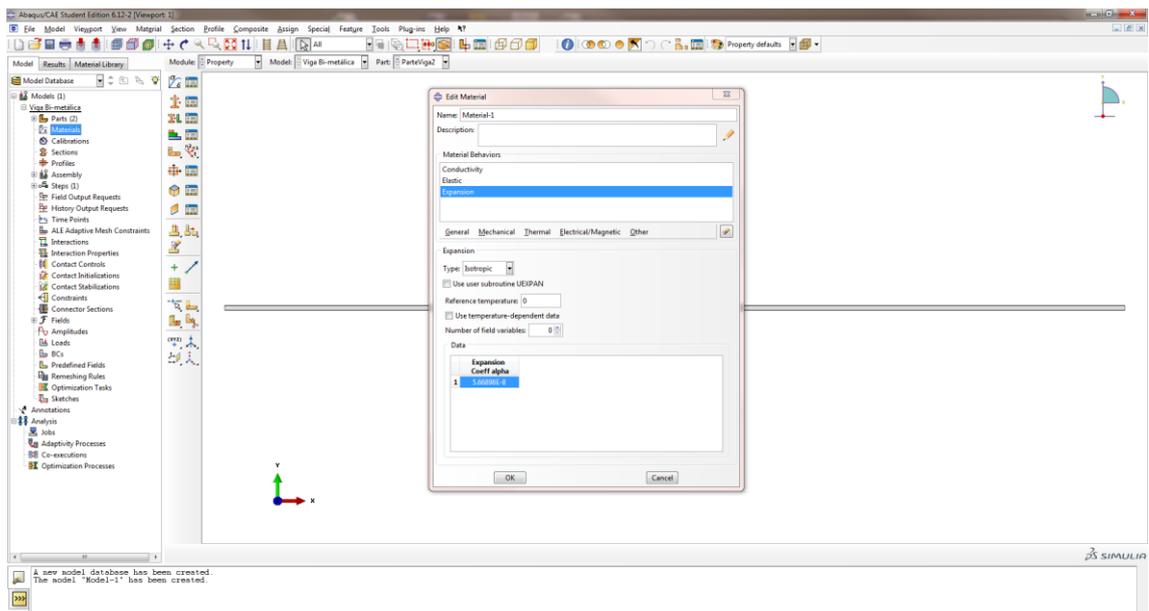
- ✓ No menu **Model** à esquerda, **clique** com o botão direito em **Model-1** e **selecione** **Rename**. **Digite** *Viga Bi-metálica*.
- ✓ No menu **Model** à esquerda, **dê** duplo clique em **Parts**, no campo **Name** **digite** *ParteViga*, e **selecione** as opções: **2D Planar**, **Deformable**, **Shell**. Em **approximate size** **digite** **2**. **Clique** em **Continue...**



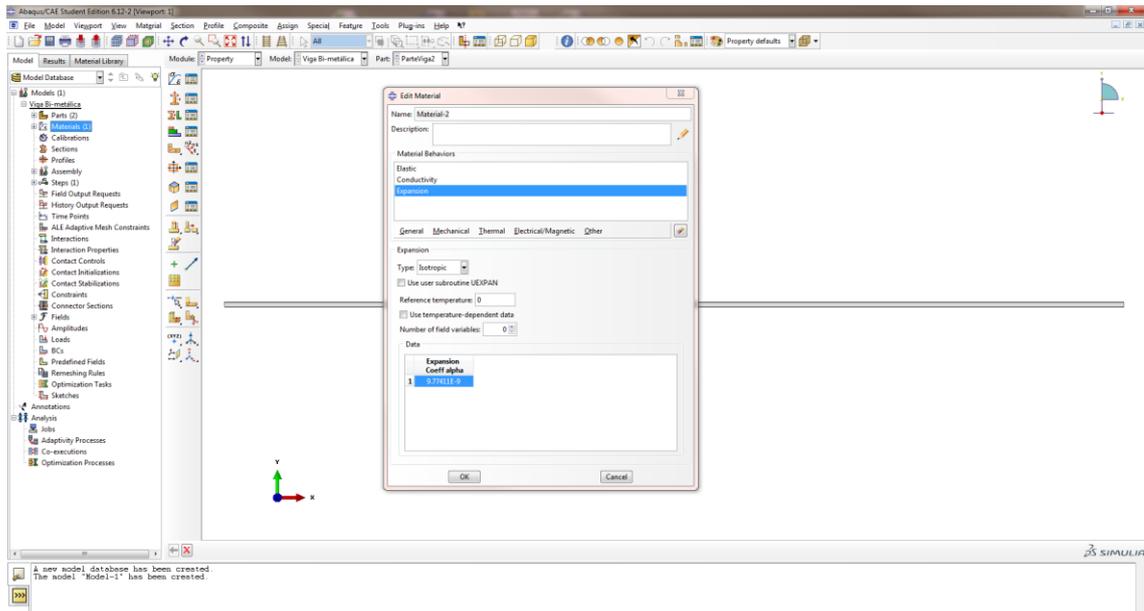
- ✓ **Clique** em **Create Lines: Rectangle (4 lines)** na caixa de ferramentas e **insira** as seguintes coordenadas  $0,0 - 0.254,0.00127$ . Em seguida, **desative** a função **Create Lines: Rectangle (4 lines)** e **clique** em **Done**.



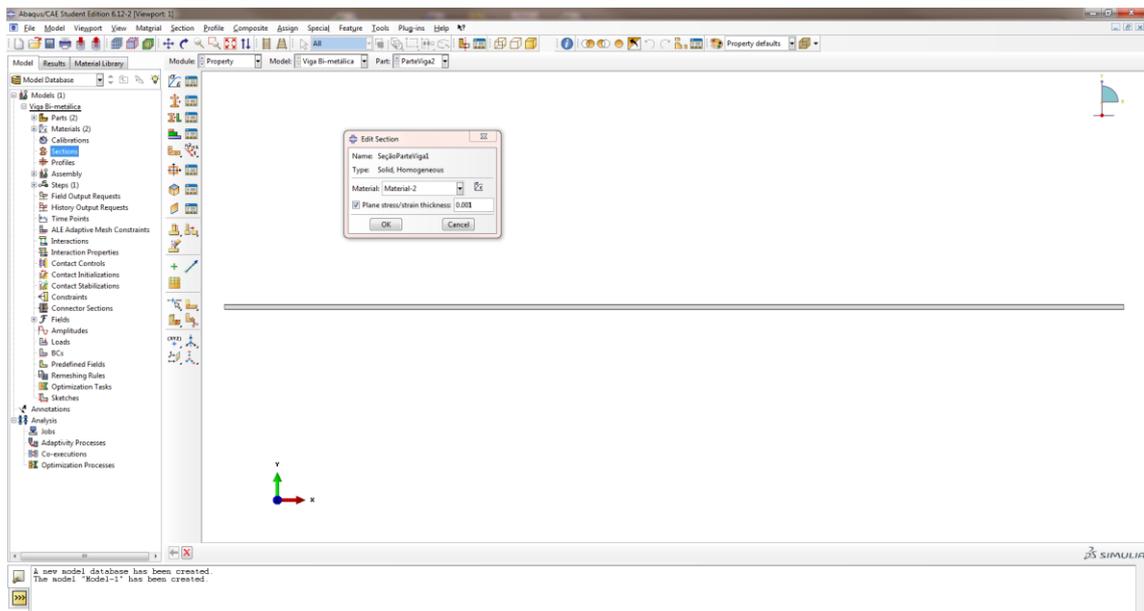
- ✓ **Repita** para criar a ParteViga2, inserindo as coordenadas 0,0 – 0.254,-0.00127.
- ✓ No menu **Model** à esquerda, **dê** duplo clique em **Materials**. Na janela **Edit Material**, **selecione** Thermal>Conductivity e **digite** 104 em Conductivity. **Selecione** Mechanical>Elasticity>Elastic e **digite** no campo **Young's Modulus** 6.89475E9. **Selecione** Mechanical>Expansion e **digite** 5.66898E-8 no campo **Expansion Coeff Alpha**. **Clique** em **OK**.



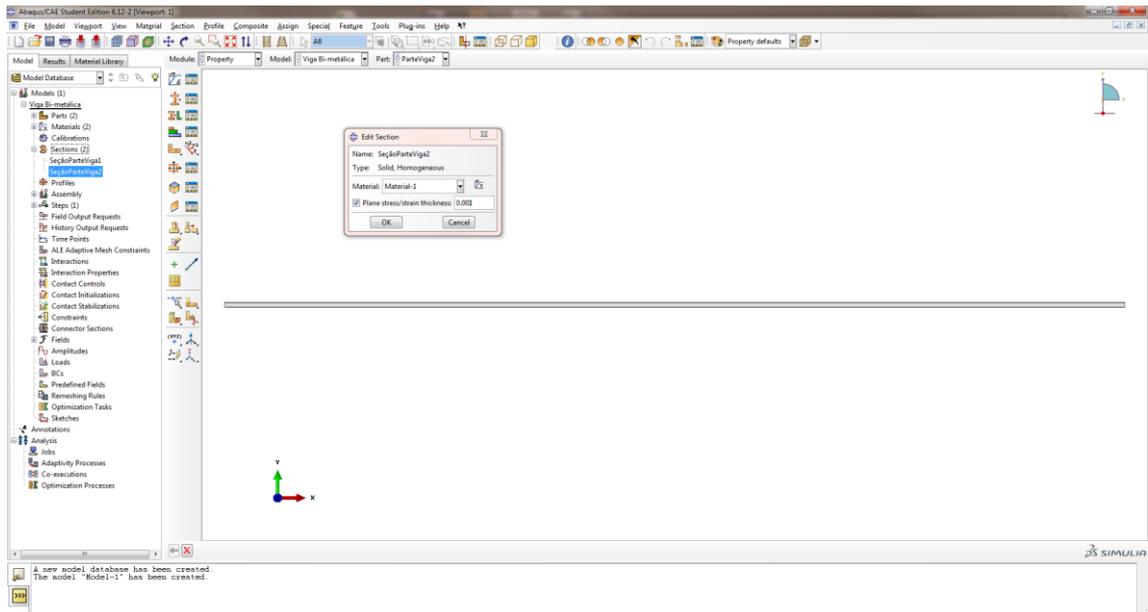
- ✓ **Repita** para criar o Material-2 utilizando os mesmos valores, exceto para o Coeficiente de expansão, que deverá ser  $9.77411E-9$ .



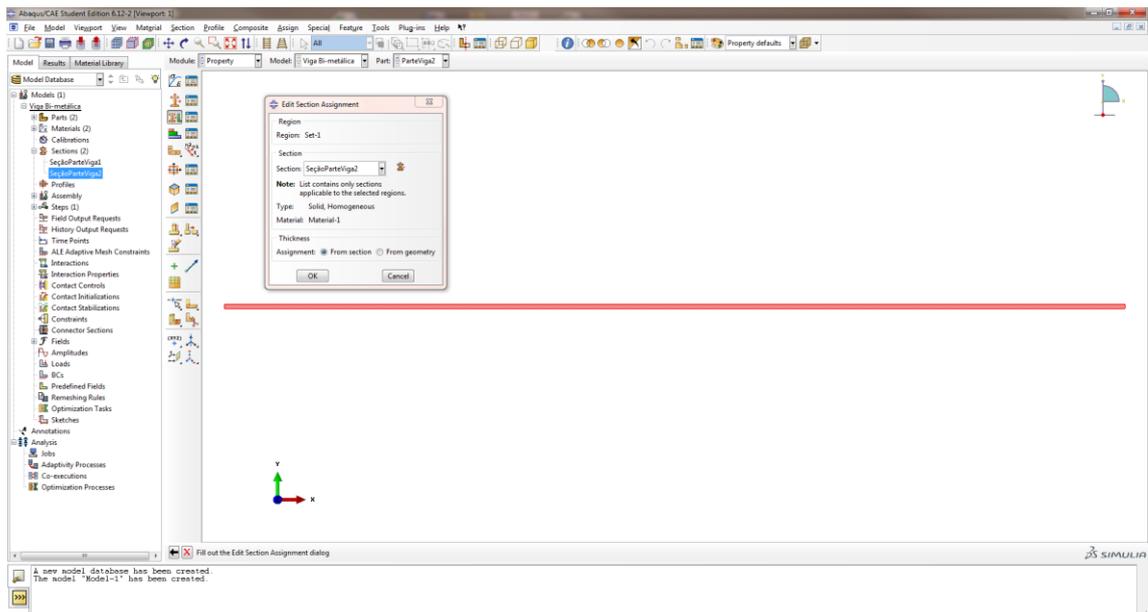
- ✓ No menu **Model** à esquerda, **dê** duplo clique em **Sections**. No campo **Name**: **digite** *SeçãoParteViga1*, em **Category** **selecione** Solid, e em **Type** **selecione** Homogeneous. **Clique** em **Continue...** Na janela **Edit Section**, **selecione** Material-2, **marque** a opção **Plane stress/strain thickness** e **digite** 0.001. **Clique** em **OK**.



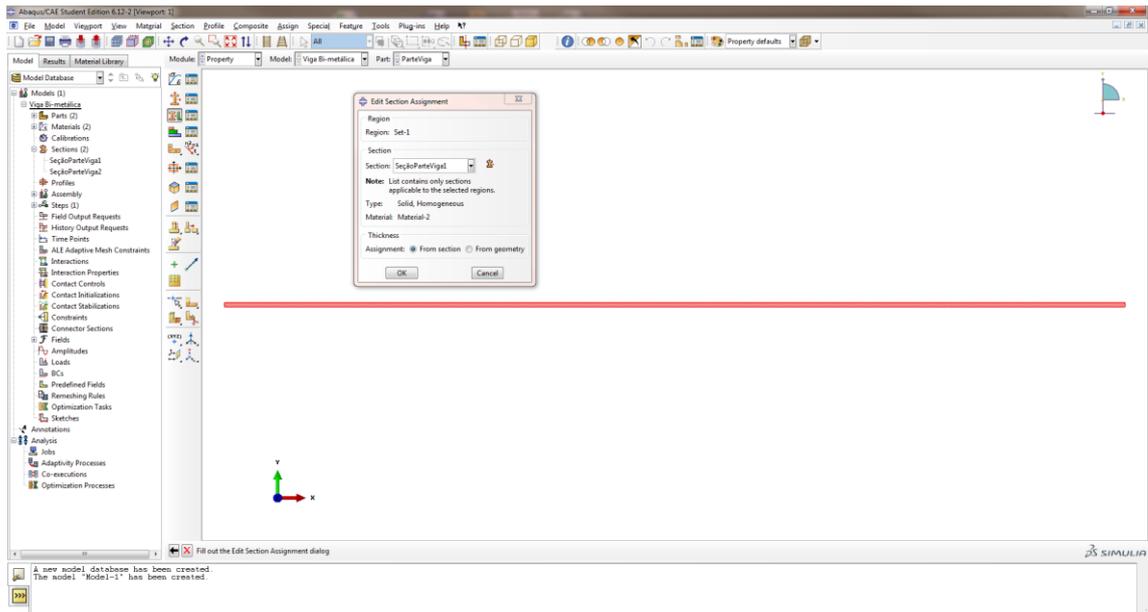
- ✓ **Repita** para criar a *SeçãoParteViga2*, associando o Material-1.



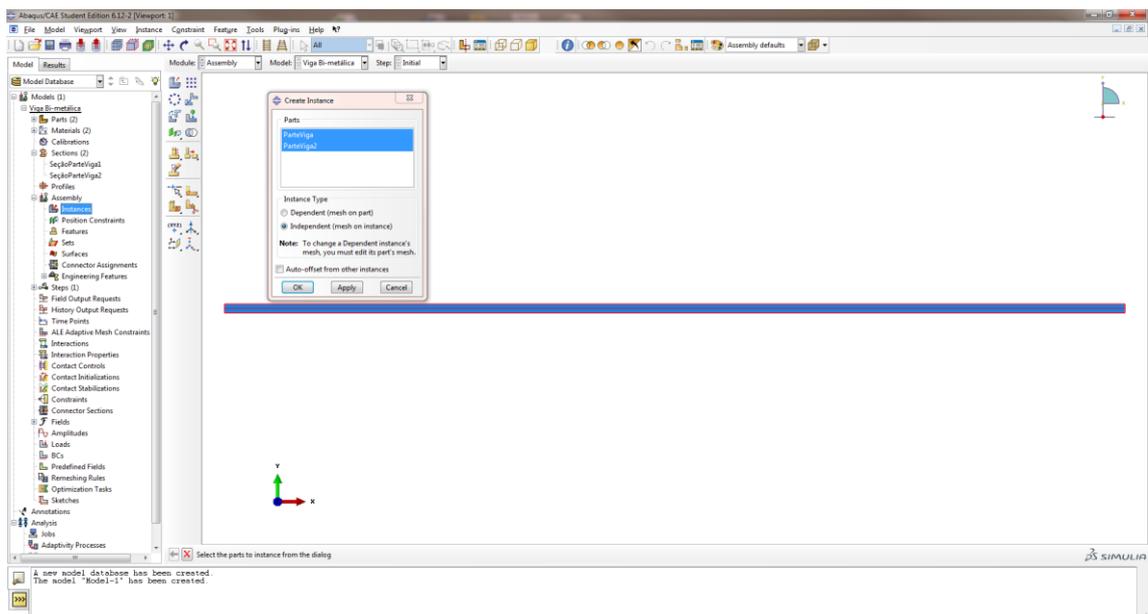
- ✓ Na caixa de ferramentas, **clique** em **Assign Section**. **Selecione** a **ParteViga2** e **clique** em **Done**. **Escolha** **SeçãoParteViga2** em **Section** e **clique** em **OK**.



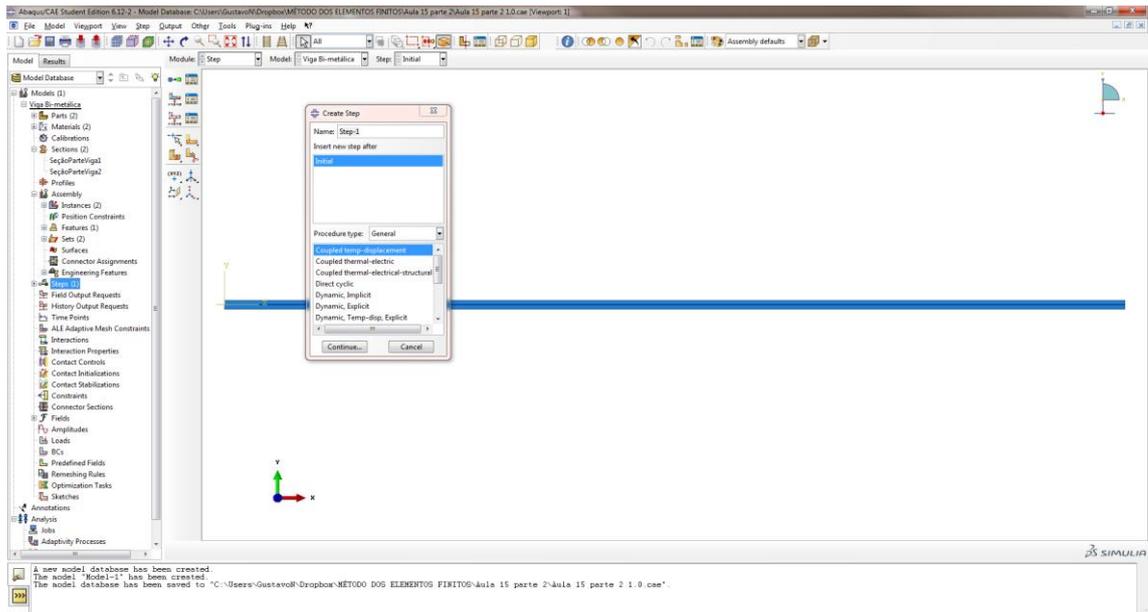
- ✓ Na barra de ferramentas, em **Part**: **altere** para **ParteViga**. **Repita** o procedimento anterior para associar a **SeçãoParteViga1**.



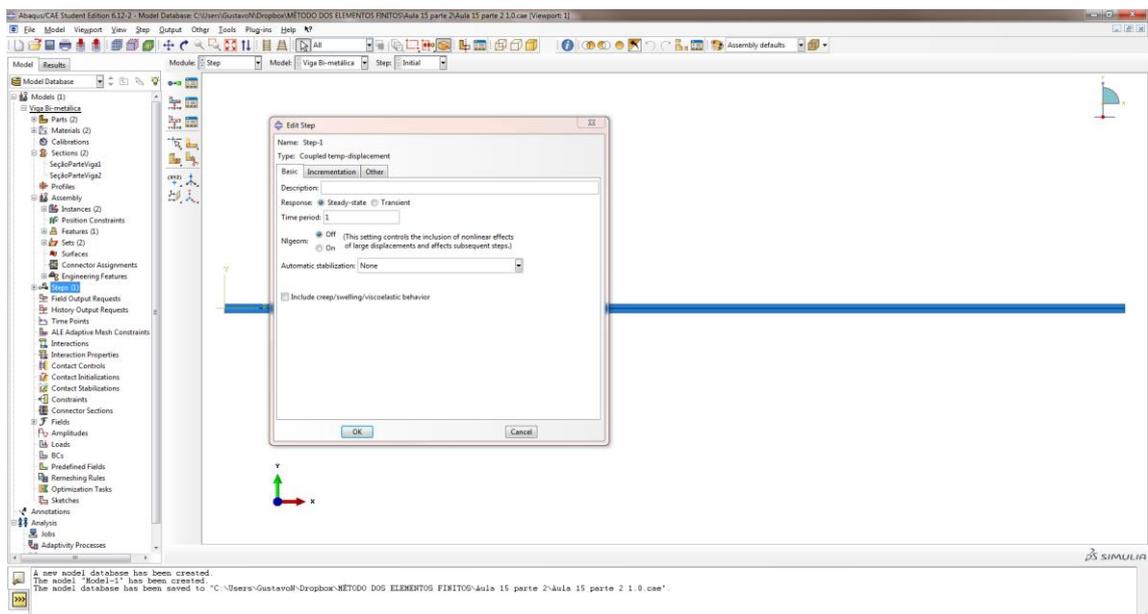
- ✓ No menu **Model** à esquerda, **abra Assembly**, **dê** duplo clique em **Instances**, **selecione** ambas as partes, **altere** Instance Type para **Independent (mesh on instance)** e **clique** em **OK**



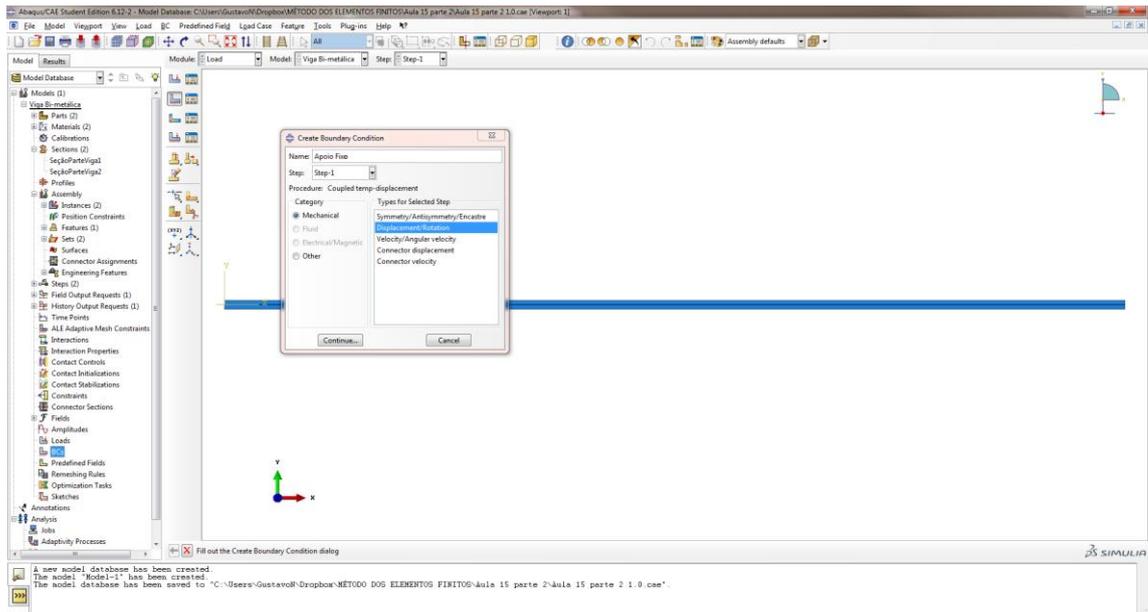
- ✓ No menu **model** à esquerda, **dê** duplo clique em **Steps**. **Selecione** Procedure type: **General>Coupled temp-displacement** e **clique** em **Continue...**



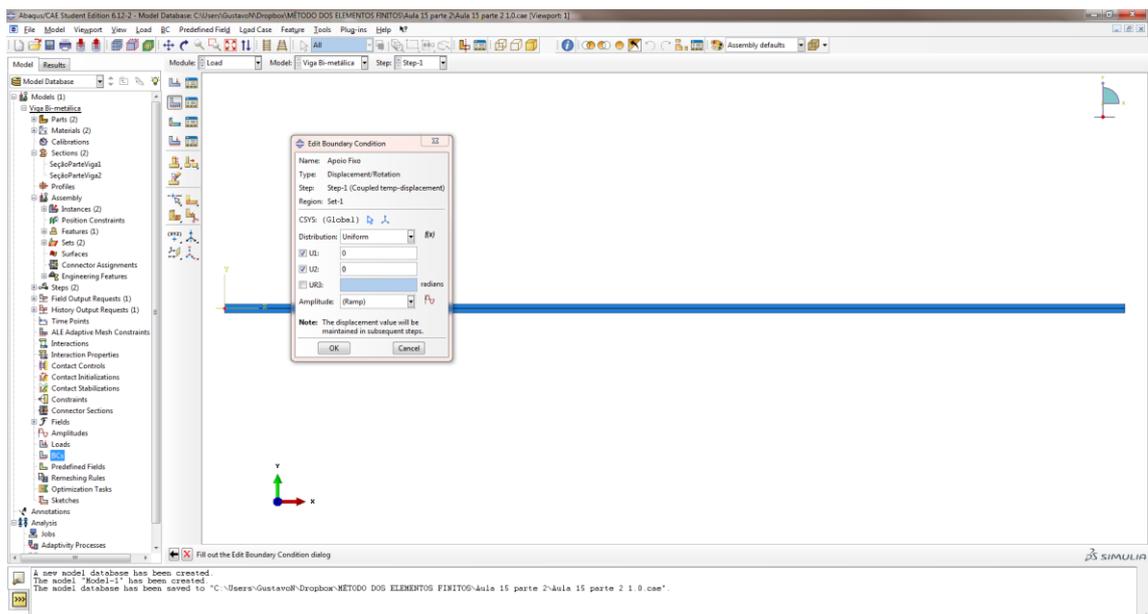
- ✓ Na janela Edit Step, **marque** Steady-state em Response: e **clique** em Dismiss no aviso: “Default load variation with time has changed to Ramp linearly over step.”. **Clique** em OK.



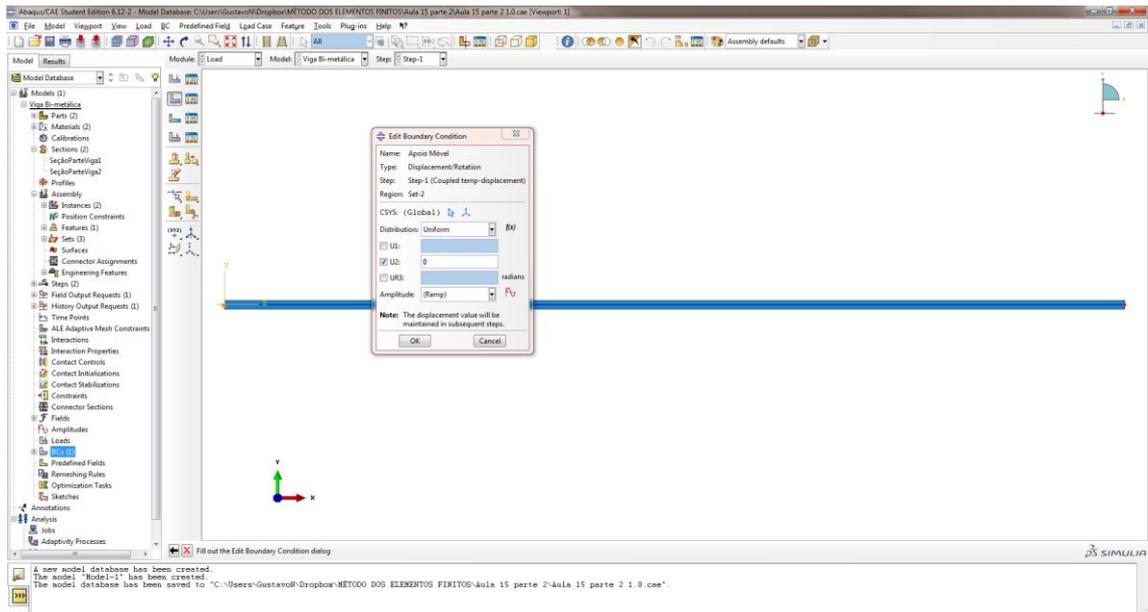
- ✓ No menu model à esquerda, **dê** duplo clique em BCs. Na janela Create Boundary Condition, **altere** o campo Name para ApoioFixo, Step para Step-1 e Types for Selected Step para Displacement/Rotation. **Clique** em Continue...



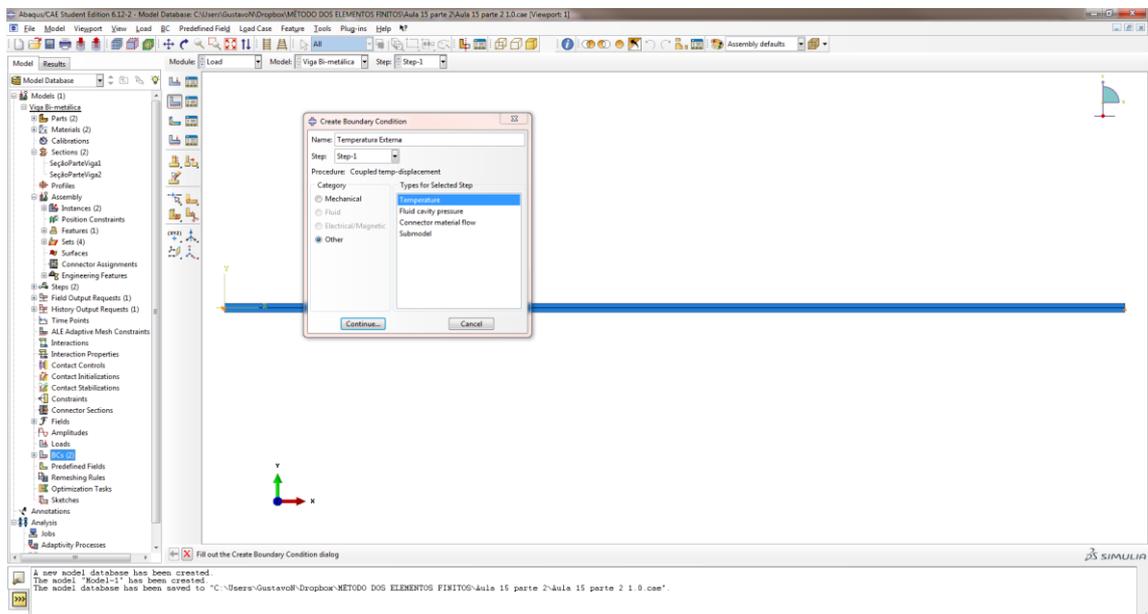
- ✓ **Selecione** o ponto médio da viga na extremidade esquerda e **clique** em Done. **Marque U1 e U2** na janela Edit Boundary Condition e **clique** em OK.



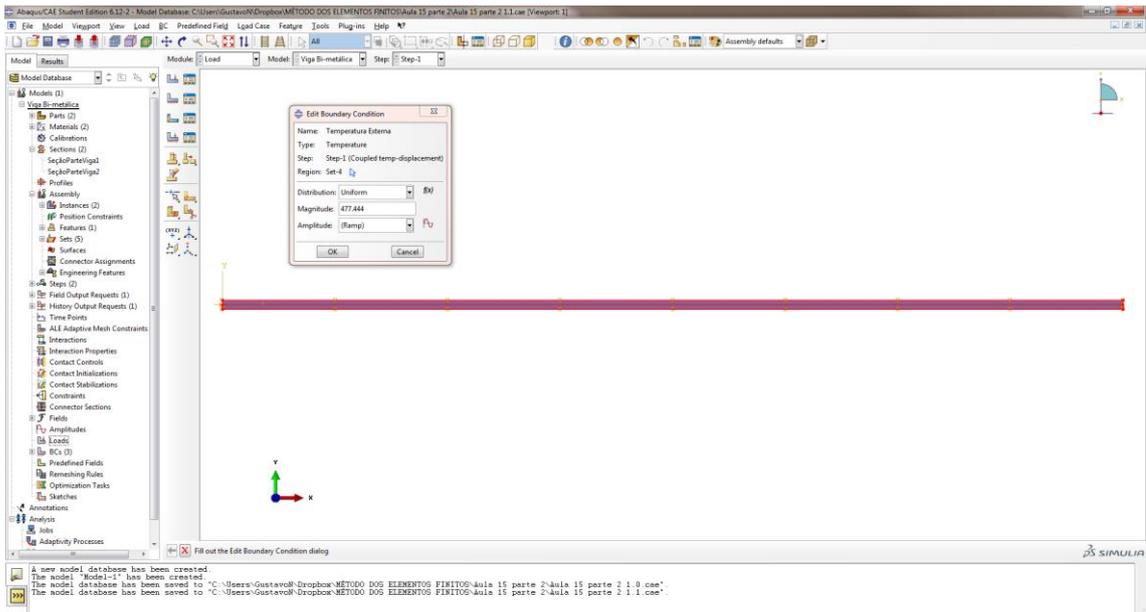
- ✓ **Repita** para criar o Apoio Móvel no ponto médio da extremidade direita da Viga (marcando apenas U2)



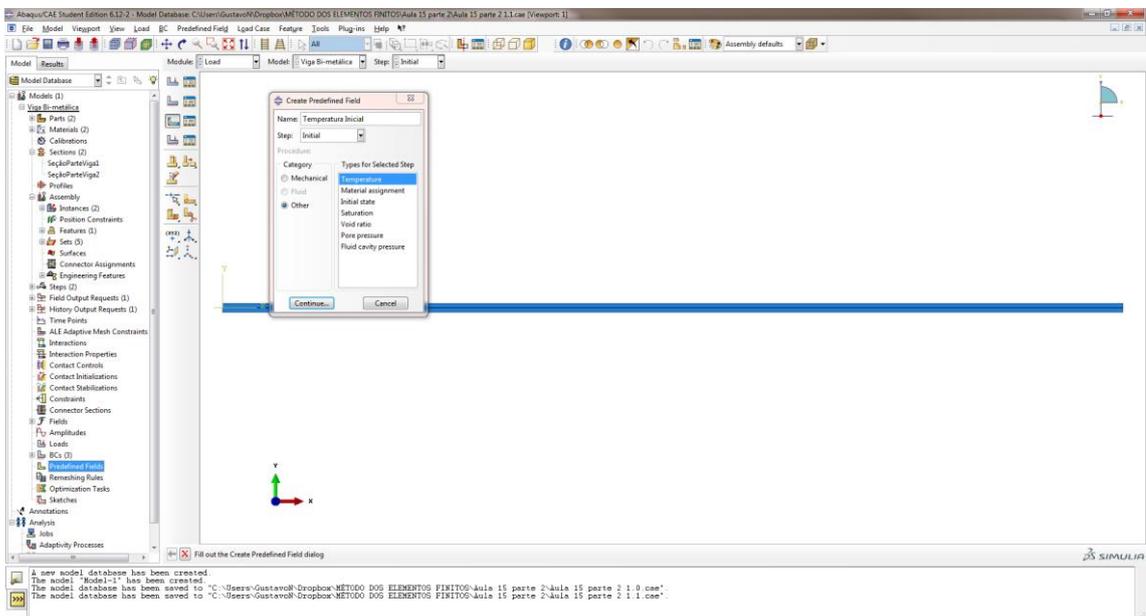
- ✓ No menu model à esquerda, **clique** duplo clique em **BCs**. Na janela **Create Boundary Condition**, **altere** o campo **Name** para **Temperatura Externa**, **Step** para **Step-1**, **Category** para **Other** e **Types for Selected Step** para **Temperature**. **Clique** em **Continue...**



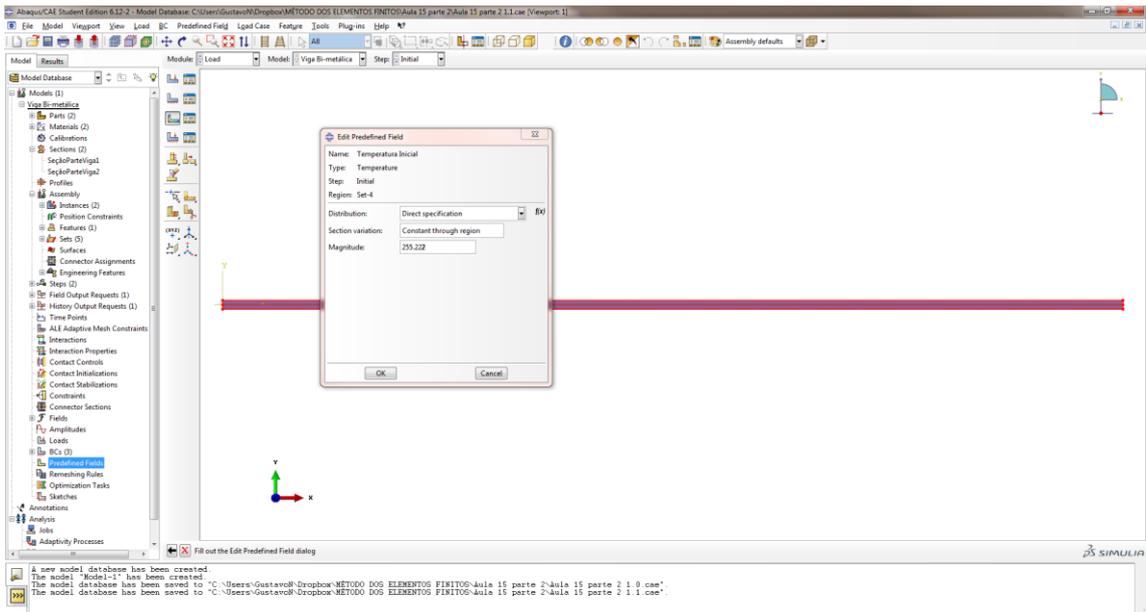
- ✓ **Selecione** toda a viga e **clique** em **Done**. Na Janela **Edit Boundary Condition**, no campo **Magnitude**: **digite** 477.444 e **clique** em **OK**.



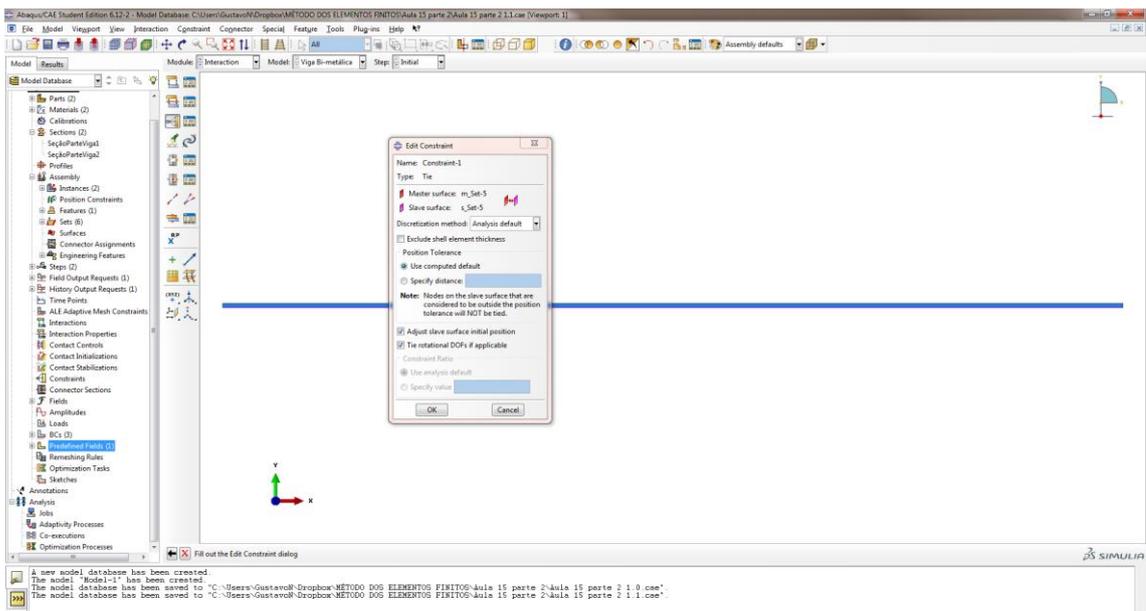
- ✓ No menu model à esquerda, **clique** duplo clique em **Predefined Fields**. Na janela **Create Boundary Condition**, **altere** o campo **Name** para **Temperatura Inicial**, **Step** para **Initial**, **Category** para **Other** e **Types** for **Selected Step** para **Temperature**. **Clique** em **Continue...**



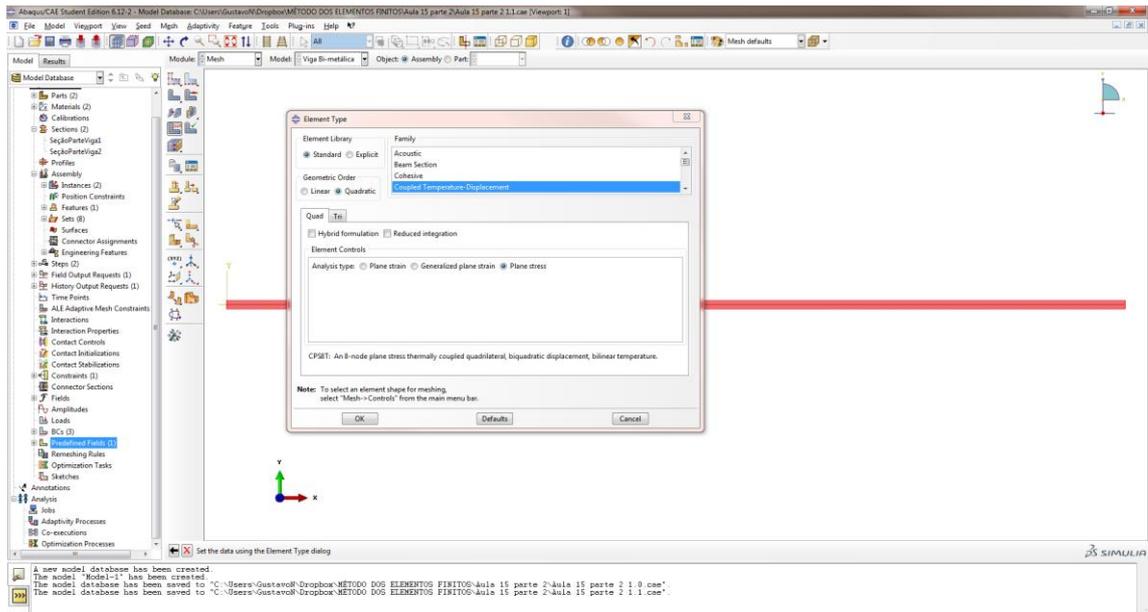
- ✓ **Selecione** toda a **Viga** e **clique** em **Done**. Na janela **Edit Predefined Field**, **digite** **255.222** e **clique** em **OK**.



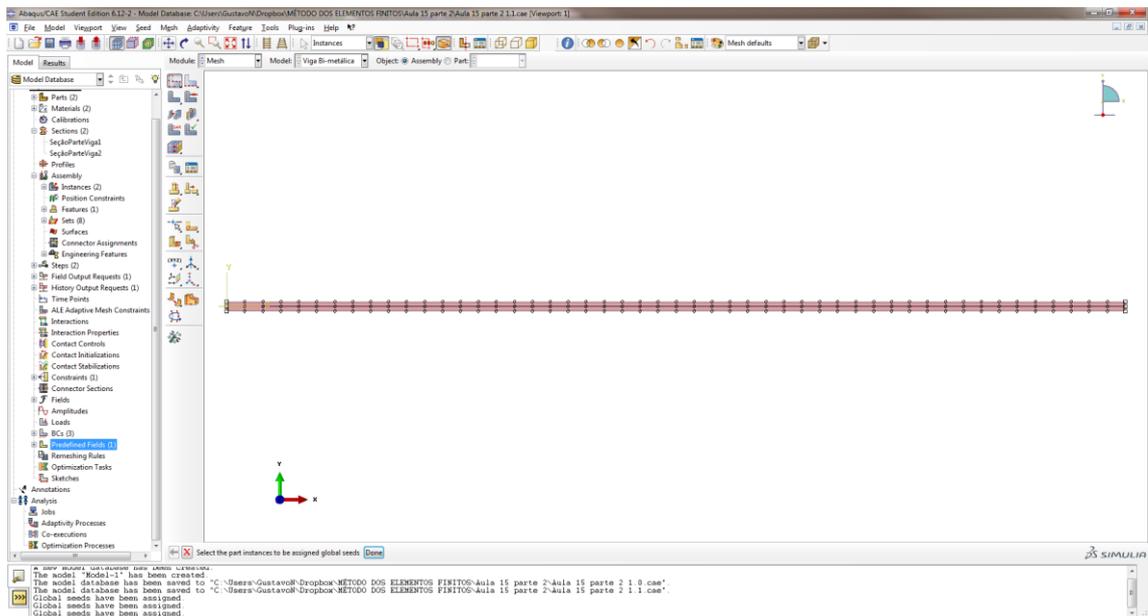
- ✓ Na barra de contexto, em **Module**, **selecione** Interaction. Então **clique** em **Create Constraint** na caixa de ferramentas. **Selecione** Tie em **Type** e **clique** em **Continue...** **Clique** Remove Selected na barra de ferramentas e **selecione** a parte superior da viga. **Clique** em Done duas vezes. **Clique** em Node Region, **selecione** a aresta superior do que está sendo exibido e **clique** em Done. **Clique** em Node Region novamente, **clique** em Invert Display na barra de ferramentas e **selecione** a aresta inferior. Na janela Edit Constraint **clique** em OK.



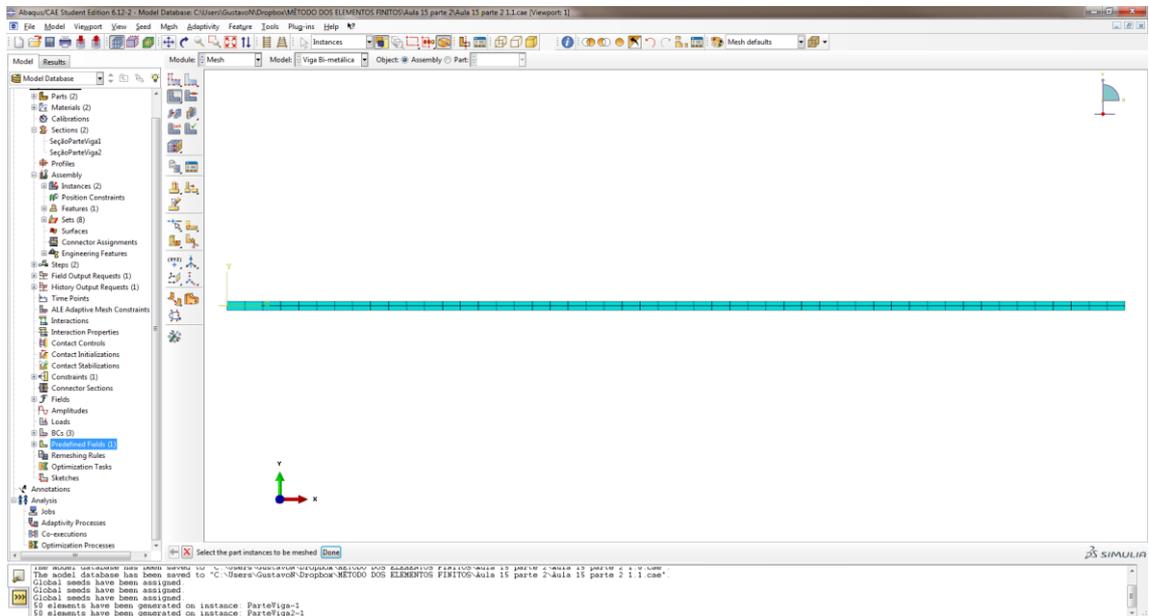
- ✓ Na barra de contexto, em **Module**, **selecione** Mesh e na barra de ferramentas **clique** em Replace All. Na barra do menu principal, **clique** em Mesh>Element Type e **selecione** com o mouse toda a viga. **Clique** em Done, Abrirá a janela Element Type. Em Family, **selecione** Coupled Temperature-Displacement, em Geometric Order, **selecione** Quadratic, **Desmarque** Reduced integration e **Marque** Plane Stress em Analysis type. **Clique** em OK.



- ✓ Na barra do menu principal, **clique** em Seed>Instance, **selecione** toda a Viga e **clique** em Done. **Altere** approximate global size para 0.00508. **Clique** em OK.

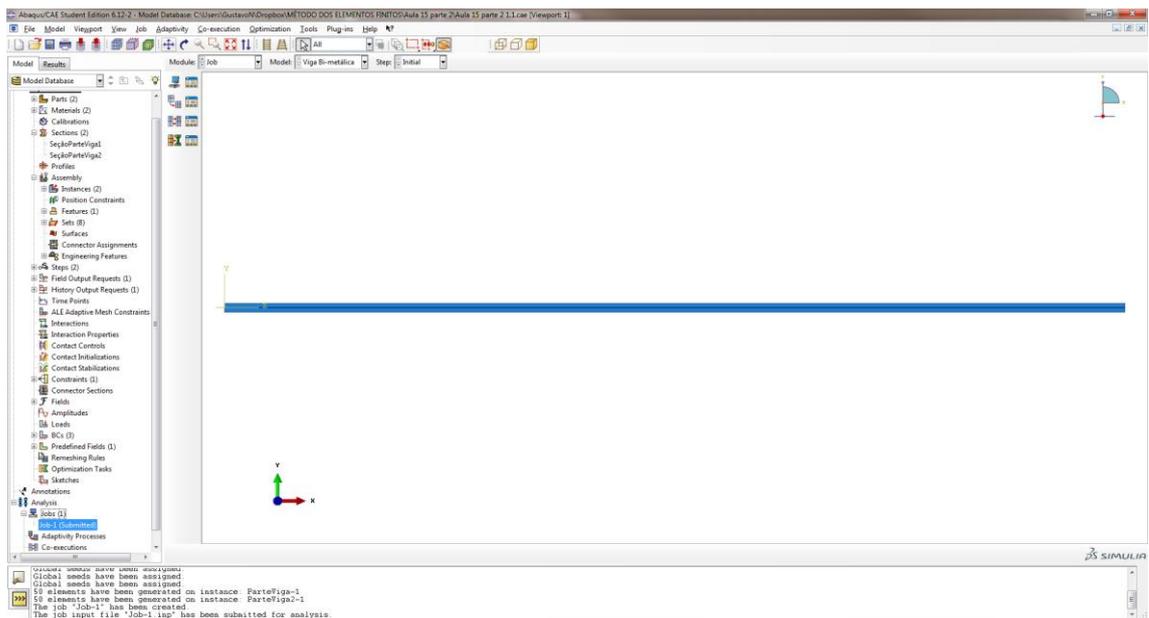


- ✓ Na barra do menu principal, **clique** em **Mesh>Instance**, **selecione** toda a viga e **clique** em **Done**.



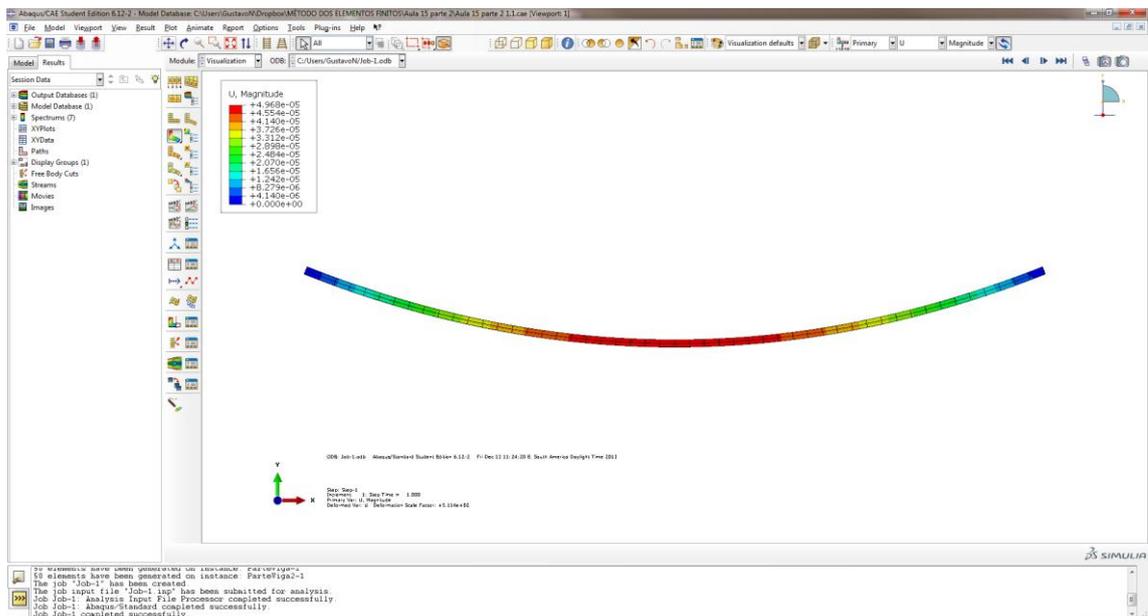
## 2.3. PROCESSAMENTO

- ✓ No menu **model** à esquerda, **dê** duplo clique em **Jobs** e **clique** em **OK**. **Abra Jobs (1)**, **clique** com o botão direito em **Job-1** e **clique** em **Submit**. Nas janelas que se abrem, **clique** em **OK** e em **Yes**. **Aguarde**.

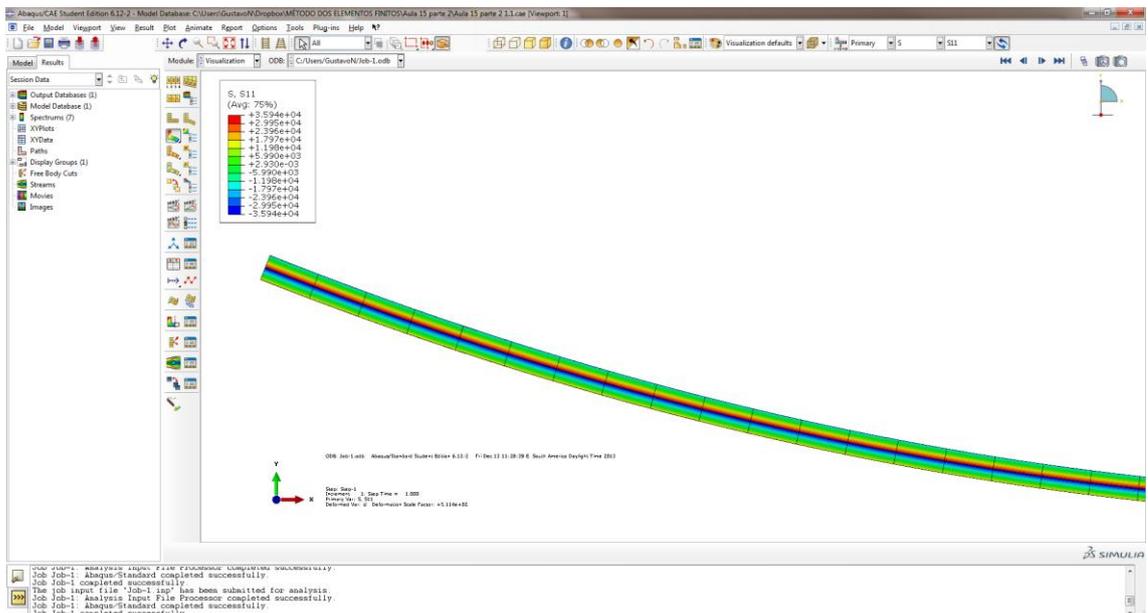


## 2.4. PÓS-PROCESSAMENTO

- ✓ No menu **model** à esquerda, em **Jobs**, **clique** com o botão direito em **Job-1** e **clique** em **Results**. Na caixa de ferramentas, **clique** em **Plot Contours on Deformed Shape**.
- ✓ Na barra de ferramentas no canto superior à direita, **selecione** **U>Magnitude**. Na barra de menus principal, **clique** em **Viewport>Viewport Annotation Options...** Na janela aberta, **selecione** a aba **Legend**. **Clique** em **Set Font**. Na nova janela, **altere** **Size** para **14**. **Clique** **OK** nas duas janelas abertas.



- ✓ Na barra de ferramentas no canto superior à direita, **selecione** **S>S11**.



- ✓ Na barra do menu principal, **clique** em **File>Save As....** **Dê** um nome ao arquivo e **clique** em **OK** (É possível também salvar o arquivo com os resultados já calculados - **job-1.odt**).