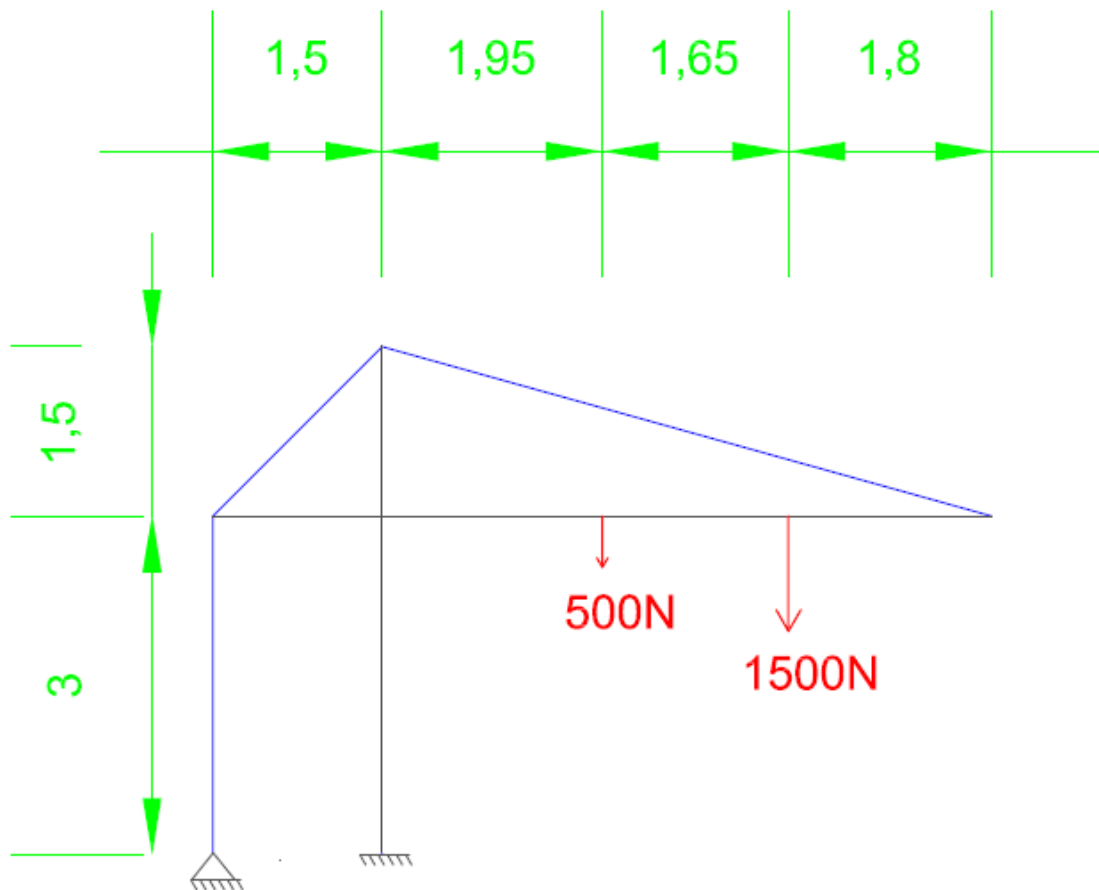


# ESTUDO DE ESTRUTURA COMPOSTA POR BARRAS E CABOS USANDO O ABAQUS 6.12 STUDENT EDITION

## 1. INTRODUÇÃO

### 1.1. DESCRIÇÃO DO PROBLEMA:

A estrutura do presente exemplo é composta por barras submetidas à flexão e por um cabo, conforme mostra a figura abaixo, apresentado por Beer e Johnson, 3a Edição, na referência Mecânica Vetorial para Engenheiros, Vol. 1 - Estática. Pedem-se as tensões no cabo e as reações nos apoios.



### 1.2. PROPRIEDADES GEOMÉTRICAS

✓ Vigas;

$$\text{AREA} = 0.562500\text{E-}2 \text{ m}^2;$$

$$IZZ = 0.263672E-5 \text{ m}^4;$$

$$IYY = 0.263672E-5 \text{ m}^4;$$

✓ Cabos;

$$AREA = 0.1E-2 \text{ m}^2;$$

$$ISTR = 0.1E-8$$

### 1.3. PROPRIEDADES DOS MATERIAIS

Módulo de elasticidade dos materiais:  $0.21E12 \text{ Pa}$ .

### 1.4. CARGAS

$$F1 = -1500 \text{ N}$$

$$F2 = -500 \text{ N}$$

### 1.5. DEFINIÇÃO DO RECURSO DE VIGAS

Visão são elementos considerados unidimensionais, aproximação da tridimensionalidade devido às pequenas dimensões de sua seção transversal quando comparadas ao seu comprimento. Diferentemente de estruturas de treliça, vigas são elementos em linha que têm rigidez a deformações não apenas axiais, mas também a flexão, torção e cisalhamento. Descreveremos esses elementos de barras, indicados por BEAM no programa ABAQUS/CAE. É relevante, pois, considerar características do material constituinte, e também características geométricas da seção transversal da viga, o que é possível definindo informações de seu perfil. No fim dessa aula, espera-se que o aluno aprenda tais procedimentos, de forma que ele seja capaz de usá-los para cobrir outras aplicações.

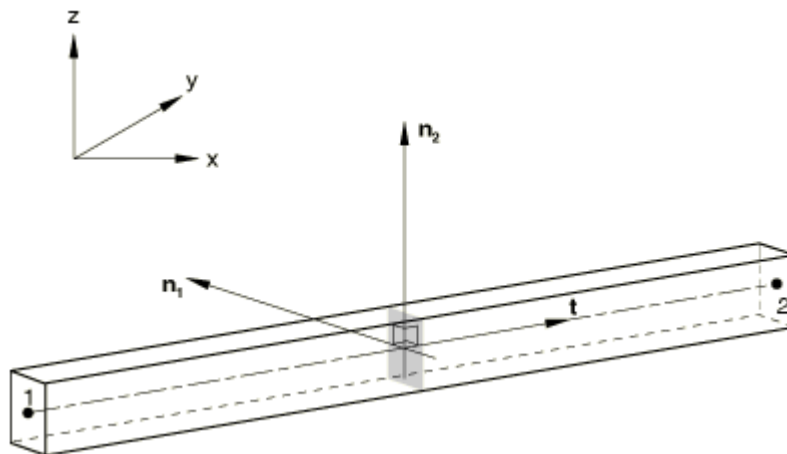


Figura 2. Elemento de Viga – BEAM

#### 1.6. CARACTERÍSTICAS DO ELEMENTO:

- ✓ Elementos relativamente longos e finos que podem transmitir esforços axiais, cortantes e fletores
- ✓ Aplicável em modelos de duas ou três dimensões.
- ✓ Graus de liberdade:

Vigas tridimensionais: têm seis graus de liberdade em cada nó: três graus de liberdade de translação (1-3) e três graus de liberdade de rotação (4-6). Pode-se ter um grau de liberdade adicional (7) no caso de deformações de seções transversais abertas.

Vigas bidimensionais: têm três graus de liberdade em cada nó: dois graus de liberdade de translação (1 e 2) e um grau de liberdade de rotação (6) sobre a normal ao plano do modelo.

- ✓ Pode-se definir uma seção transversal e suas dimensões, ou definir uma seção qualquer, inserindo suas características, como área e momento de inércia.
- ✓ Nomenclatura no ABAQUS/CAE:

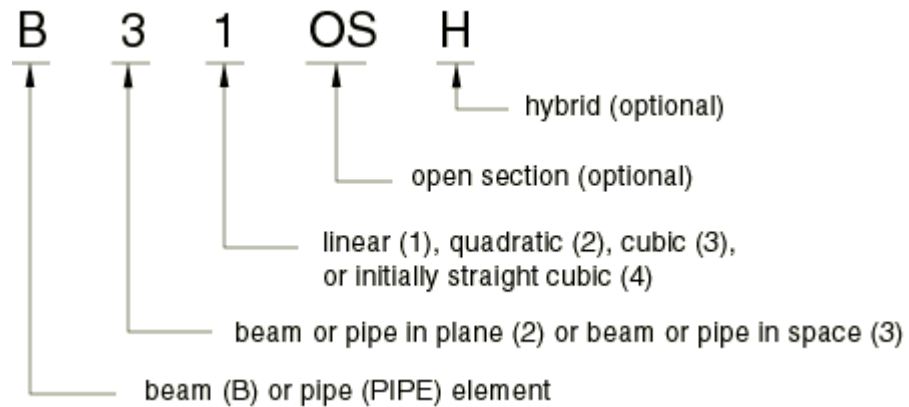


Figura 3. Nomenclatura no ABACUS/CAE (Abaqus Analysis User's Manual)

- ✓ É necessário definir a orientação dos eixos coordenados ao longo da viga, definidos pelos vetores  $t$  (tangente à viga) e  $n$  (normal à viga).

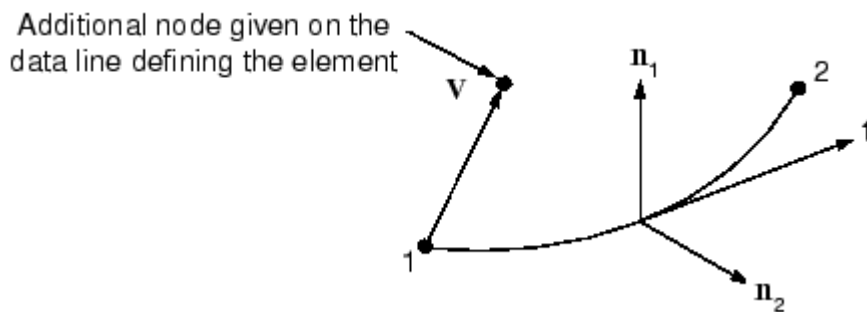
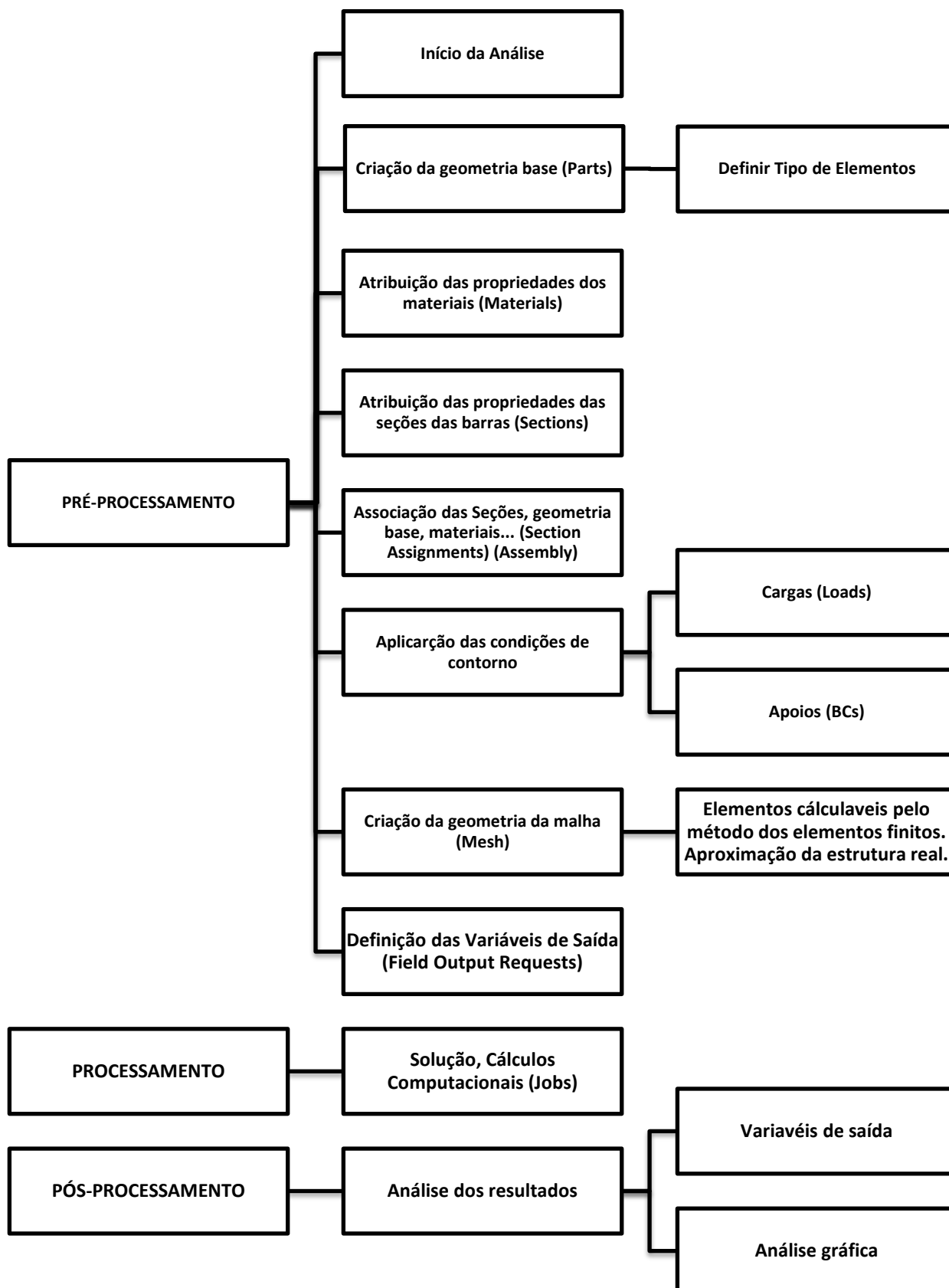


Figura 4 – Orientação dos eixos coordenados (Abaqus Analysis User's Manual)

## 2. RESOLUÇÃO

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

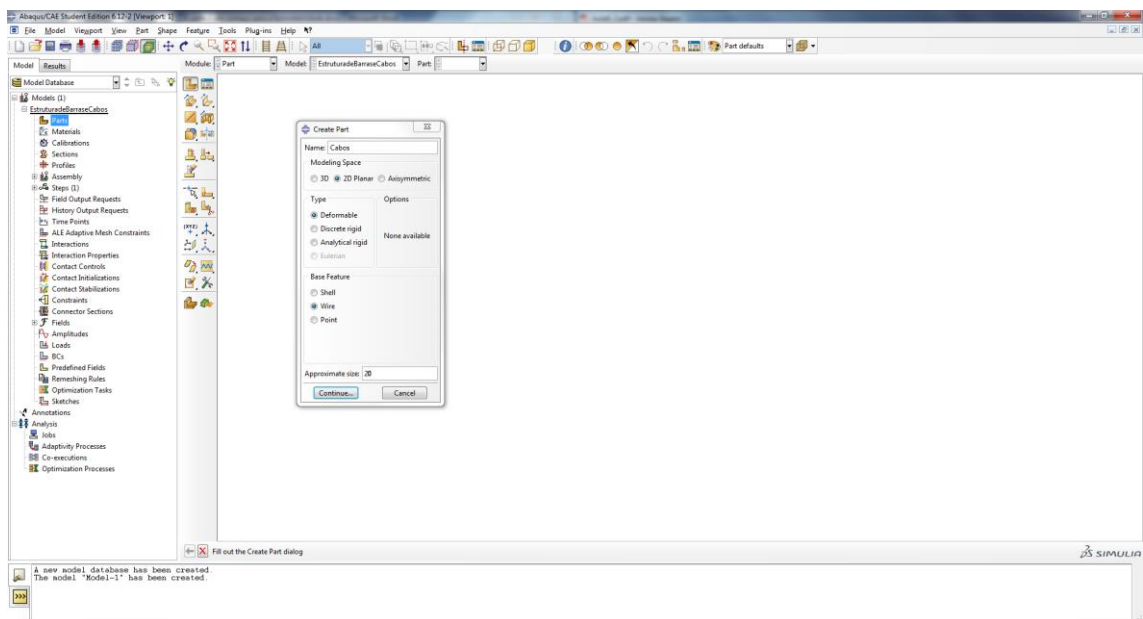


## 2.1. INÍCIO DA ANÁLISE

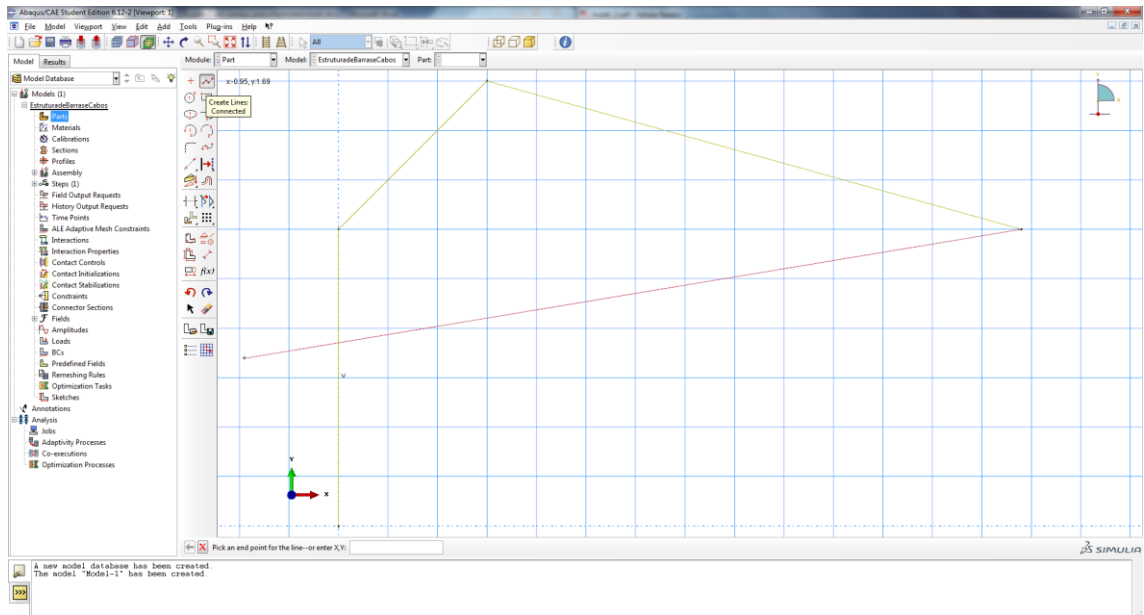
- ✓ Se você ainda não iniciou o programa **Abaqus/CAE**, **digite** *cmd* no **Menu Iniciar** para abrir o **Prompt de Comando** e nele **digite** *abq6122se cae* para executar o Abaqus.
- ✓ Em **Create Model Database** na caixa **Start Session** que aparece, **selecione** **With Standard/Explicit Model**.

## 2.2. PRÉ-PROCESSAMENTO

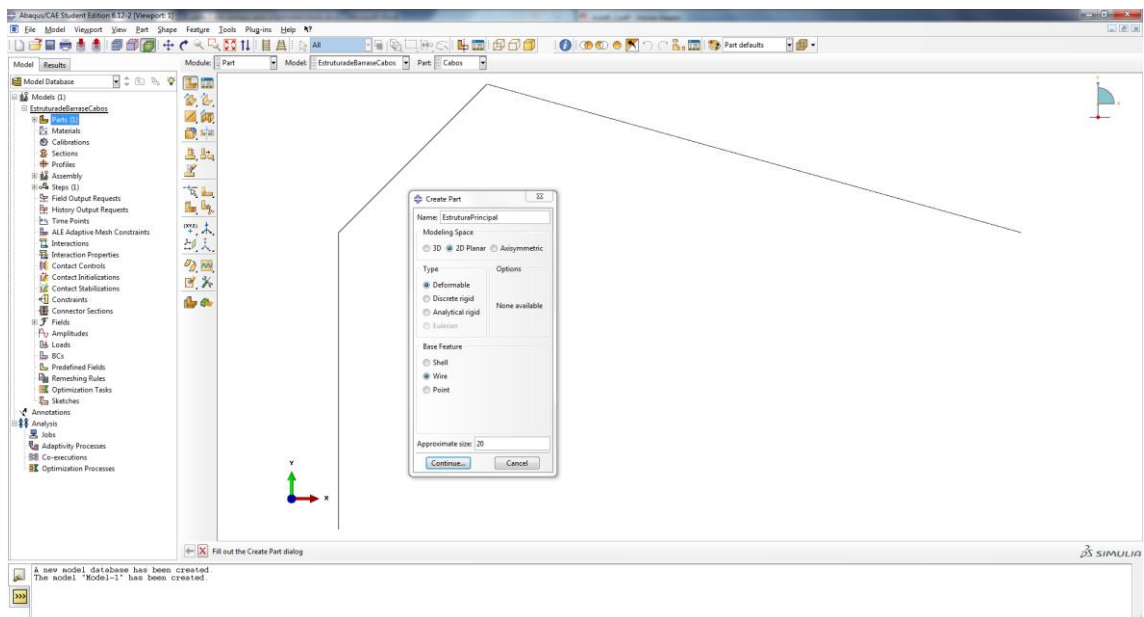
- ✓ No menu **Model** à esquerda, **clique** com o botão direito em **Model-1** e **selecione** **Rename**. **Digite** **EstruturadeBarraseCabos**.
- ✓ No menu **Model** à esquerda, **dê** duplo clique em **Parts**, no campo **Name** **digite** **Cabos**, e **selecione** as opções: **2D Planar**, **Deformable**, **Wire**. Em **approximate size** **digite** **20**. **Clique** em **Continue...**



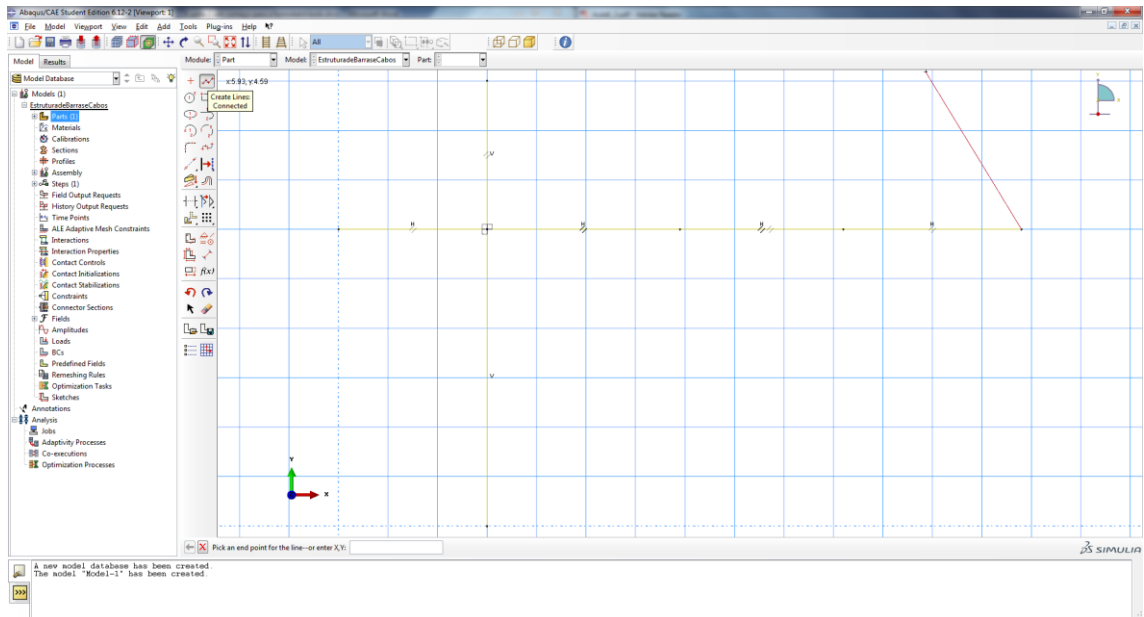
- ✓ Para começar a criar a estrutura, **clique** em **Create Lines: Connected** na caixa de ferramentas e **insira** em ordem as seguintes coordenadas (**tecle** enter entre uma e outra coordenada): **0,0 – 0,3 – 1.5,4.5 – 6.9,3**. Em seguida, **desative** a função **Create Lines: Connected** e **clique** em **Done**.



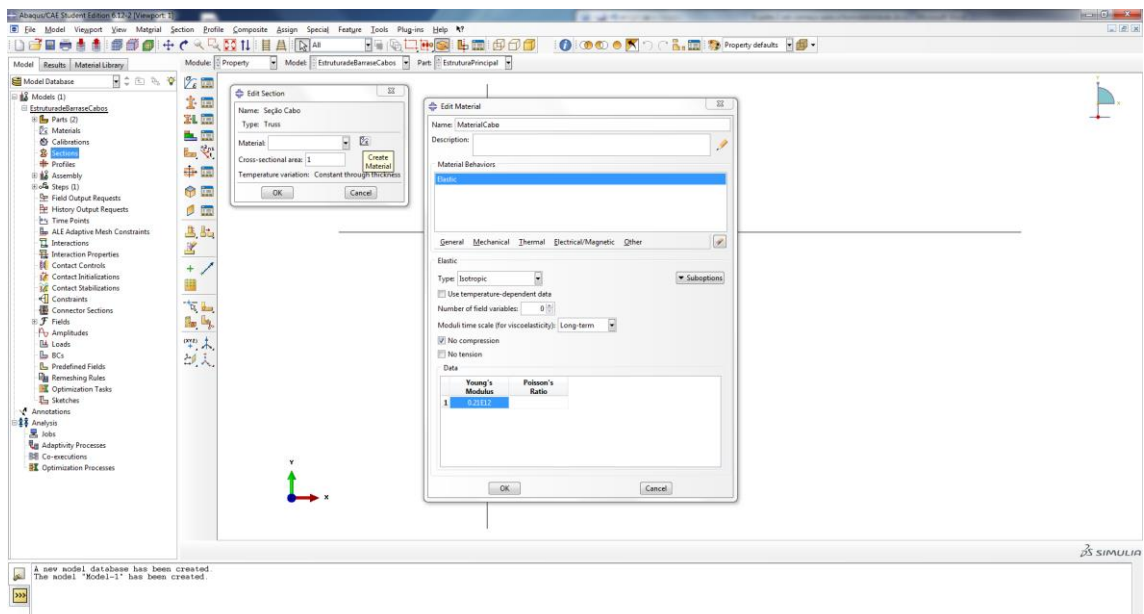
- ✓ No menu **Model** à esquerda, **dê** duplo clique em **Parts**, no campo **Name** **digite** *EstruturaPrincipal*, e **selecione** as opções: **2D Planar**, **Deformable**, **Wire**. Em **approximate size** **digite** **20**. **Clique** em **Continue...**



- ✓ **Clique** em **Create Lines: Connected** na caixa de ferramentas e **insira** em ordem as seguintes coordenadas (**tecle** enter entre uma e outra coordenada): **1.5,0 – 1.5,3 – 0,3 – 1.5,3 – 1.5,4.5 – 1.5,3 – 3.45,3 – 5.1,3 – 6.9,3**. **Desative** a função **Create Lines: Connected** e **clique** em **Done**.

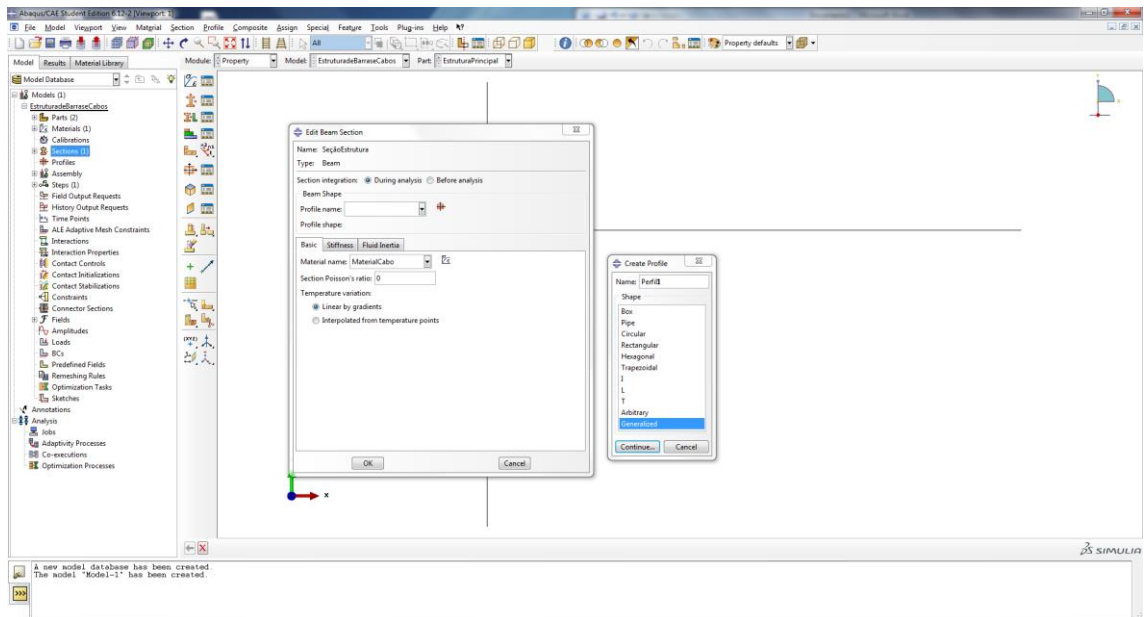


- ✓ No menu **Model** à esquerda, **dê** duplo clique em **Sections**. No campo **Name** **digite** *SeçãoCabo*, em **Category** **selecione** **Beam**, e em **Type** **selecione** **Truss**. **Clique** em **Continue...** Na janela **Edit Section**, clique em **Create Material**. Na janela **Edit Material**, **escreva** *MaterialCabo* no campo **Name**. **Clique** em **Mechanical>Elasticity>Elastic**. Em **Data**, no campo **Young's Modulus** **digite**  $0.21E12$ , em **Elastic**, **marque** a opção "no compression" e **clique** **OK**. Em **Cross-sectional area**, **insira** a área de  $0.1E-2$  e **clique** em **OK**.

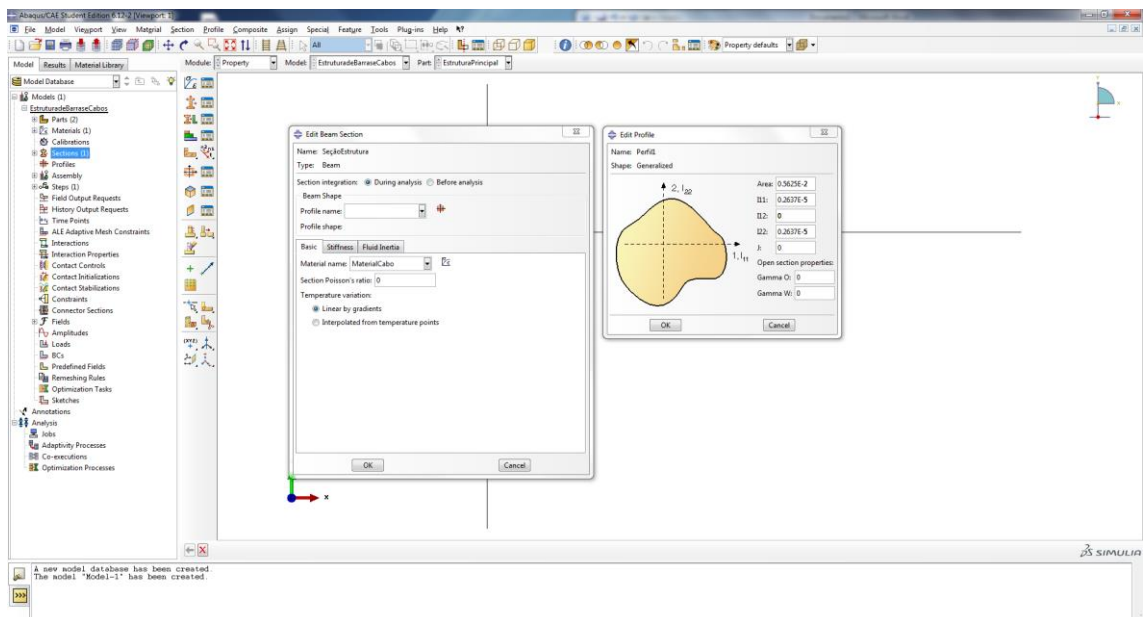




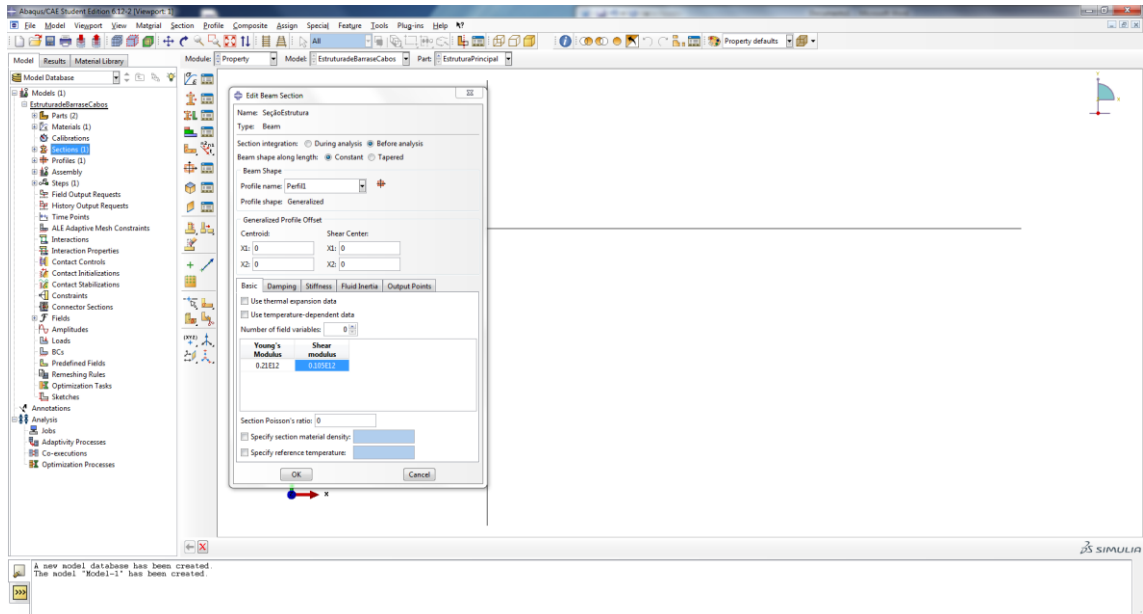
- ✓ No menu **Model** à esquerda, **dê** duplo clique em **Sections**. No campo **Name** **digite** *SeçãoEstrutura*, em **Category** **selecione** **Beam**, e em **Type** **selecione** **Beam**. **Clique** em **Continue...** Na janela **Edit Beam Section** , ao lado de **Profile name**, **clique** em **Create Beam Profile**. **Selecione** o perfil **Generalized**, **nomeie-o** *Perfil1* e **clique** em **Continue...**



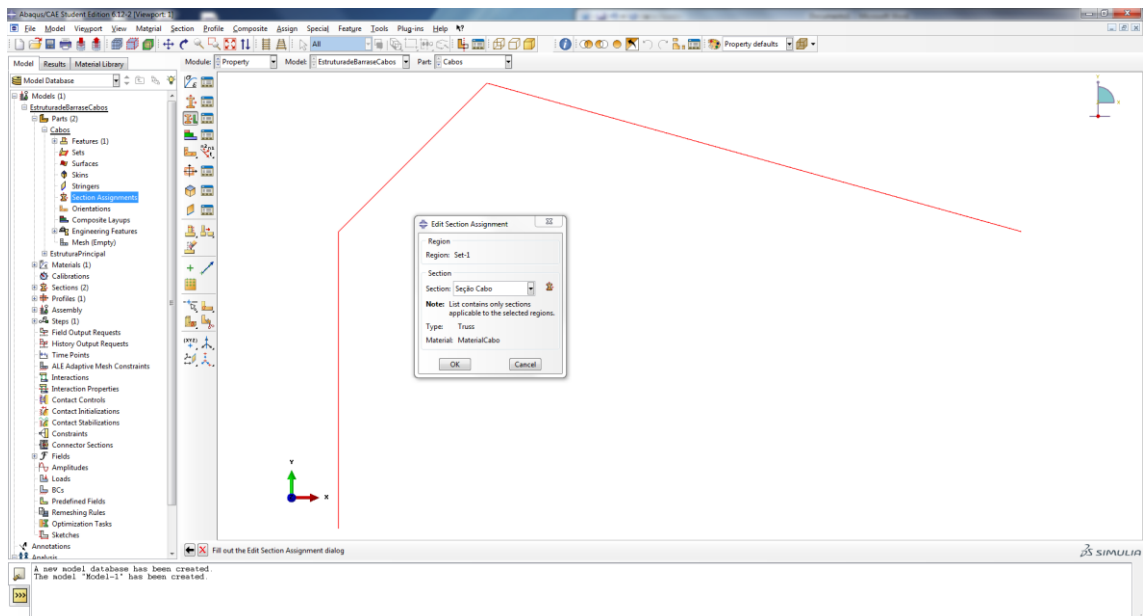
- ✓ Na janela **Edit Profile**, **insira** em **area**  $0.5625E-2$  , em **I11**  $0.2637E-5$  , em **I12**  $0$ , em **I22**  $0.2637E-5$ . **Clique** em **OK**.



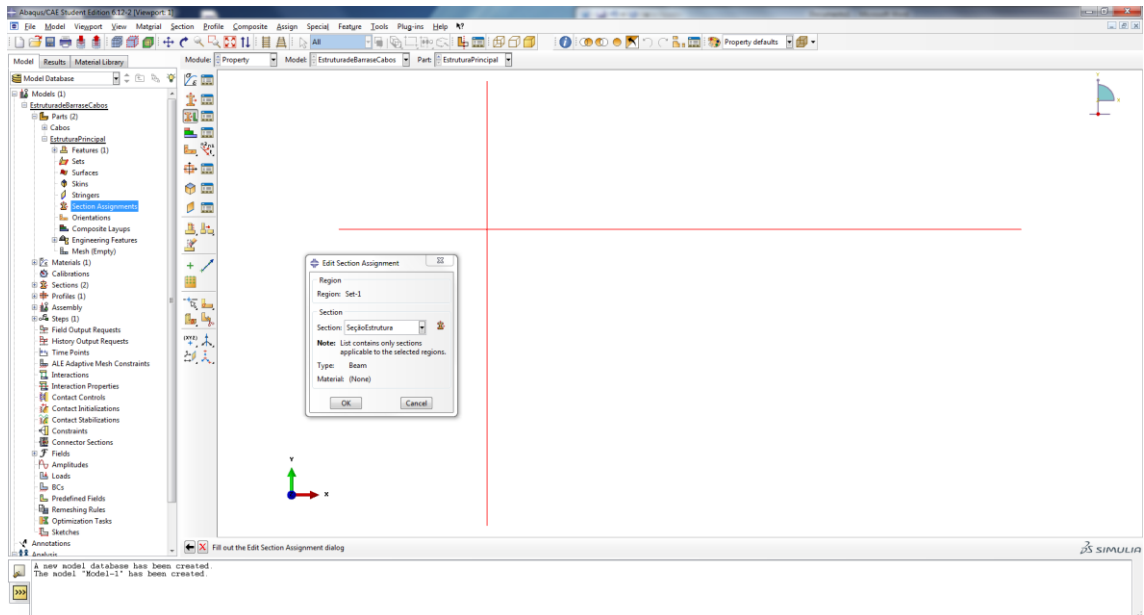
- ✓ Um aviso surgirá. **Clique** em Dismiss, e **altere** o campo Section integration para Before analysis. Em Young's Modulus, **digite** 0.21E12 , e em Shear modulus , 0.105E12 .**Clique** em OK.



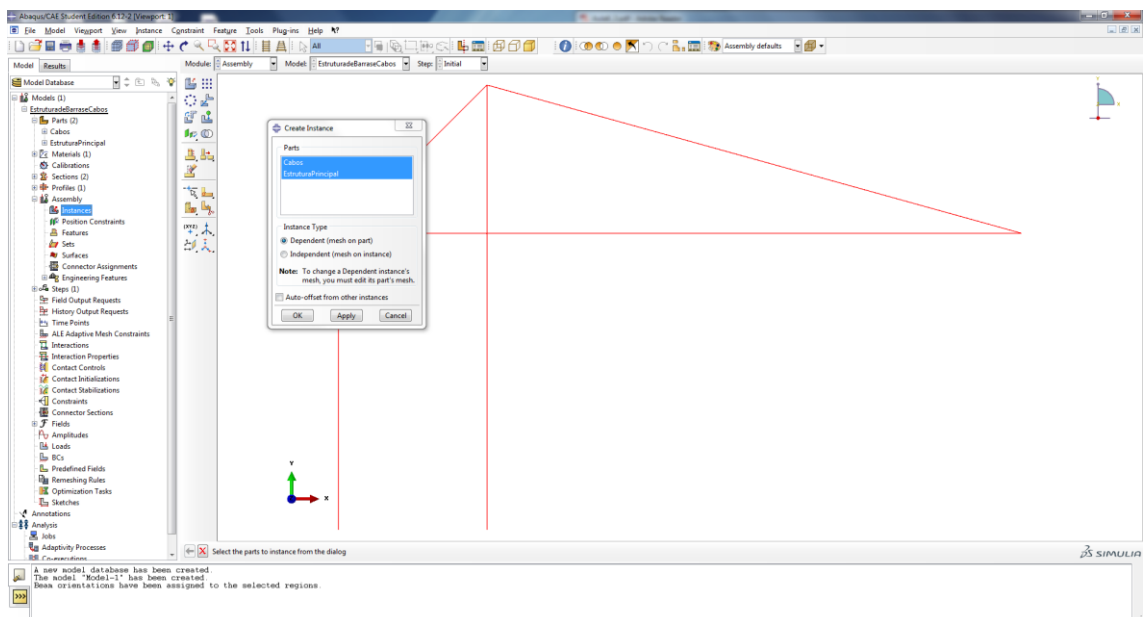
- ✓ No menu Model à esquerda, **abra** Parts>Cabos e **dê** duplo clique em Section Assignments. **Selecione** o todo o cabo e **clique** em Done. **Selecione** , em Section, Seção Cabo e **clique** em OK.



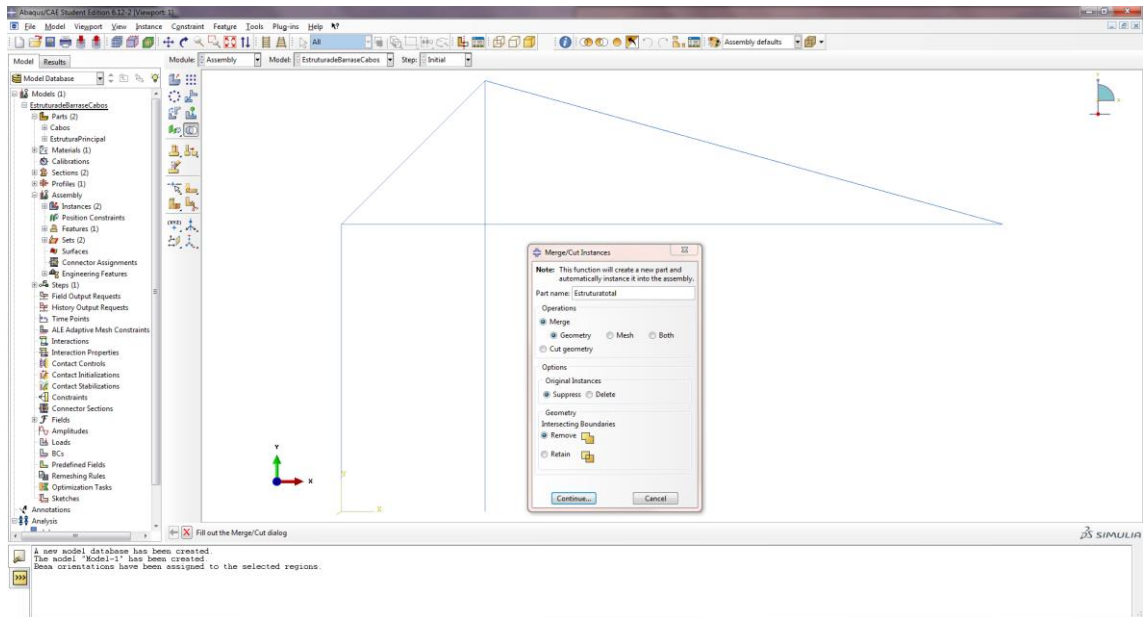
- ✓ **Repita** esse processo para associar à seção *SeçãoEstrutura* na parte *EstruturaPrincipal*, mas agora trocando o nome do set de *Set-1* para *Set-2* ao selecionar a estrutura.



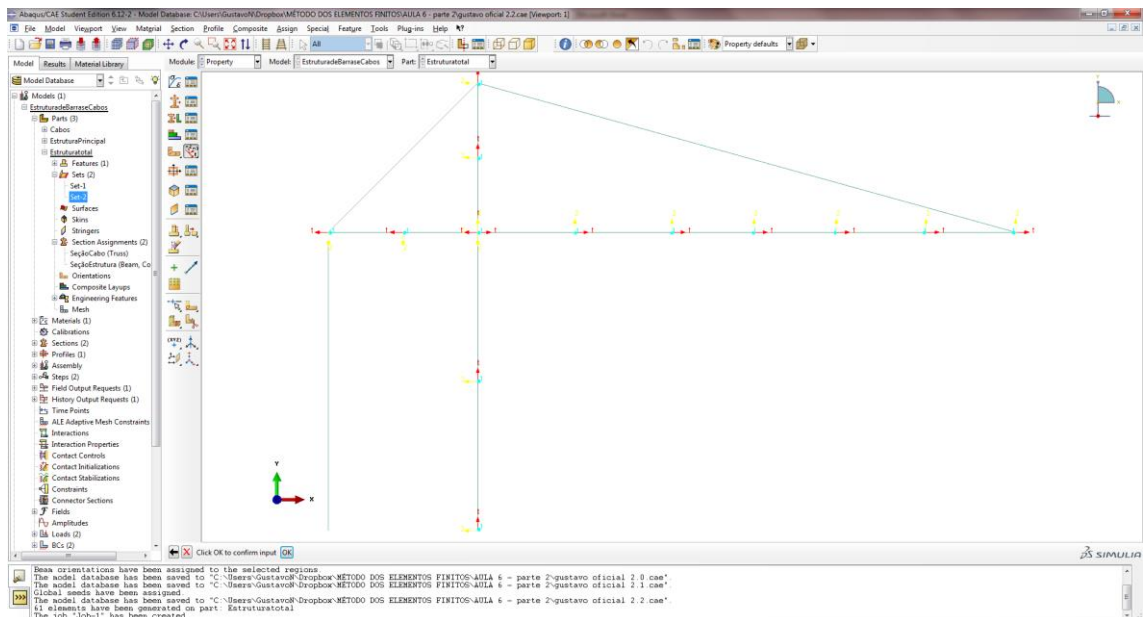
- ✓ No menu Model à esquerda, abra Assembly e dê duplo clique em Instances. Certifique-se que o Instance Type consta em “Dependent (mesh on part)”, selecione ambas as partes e clique em OK.



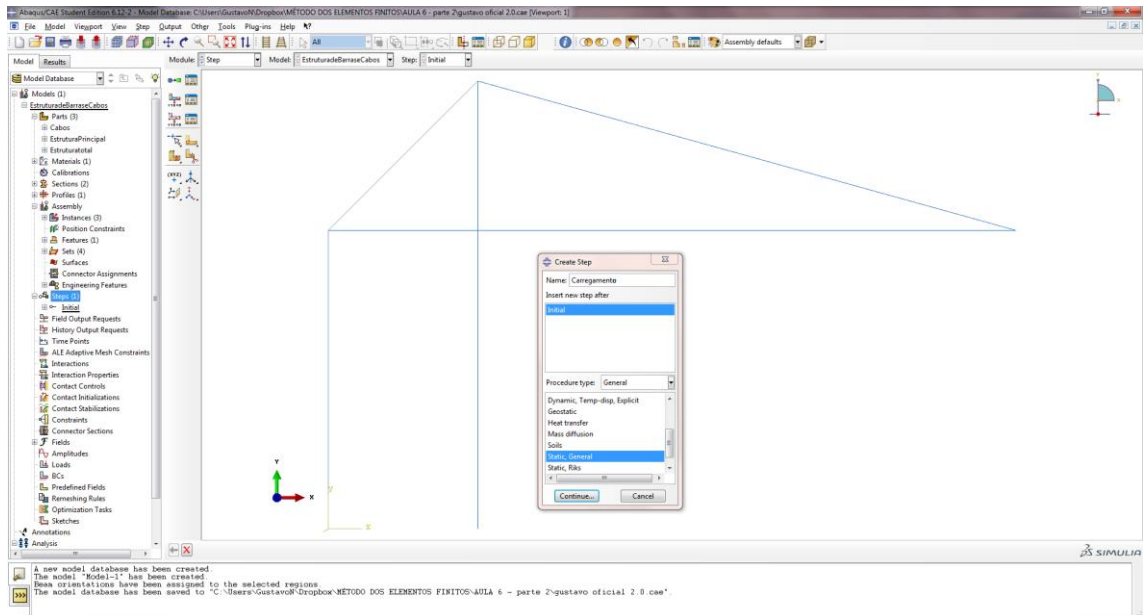
- ✓ Na caixa de ferramentas, clique em Merge/Cut Instances. Em Part name digite Estruturatotal. Aceite os padrões, como mostra a imagem, e clique em Continue... Selecione o todo e clique em Done.



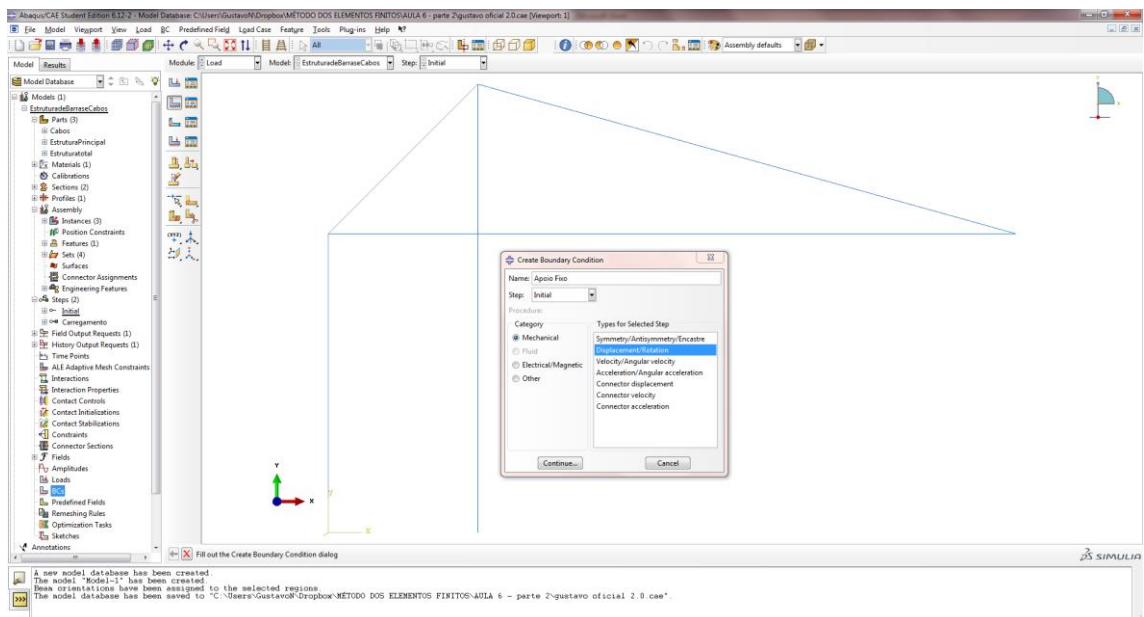
- ✓ Na caixa de ferramentas, **selecione** Assign Beam Orientation. **Clique** em Sets, **selecione** Set-2 e **clique** em Continue... **Tecl**e Enter e **clique** em OK.



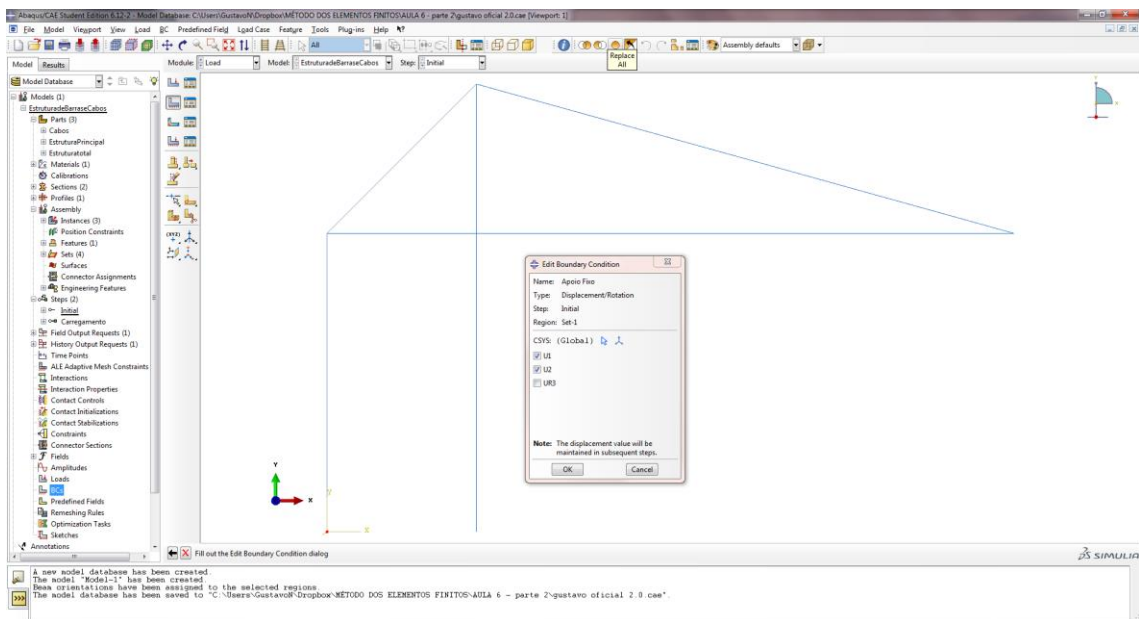
- ✓ No menu **model** à esquerda, **dê** duplo clique em Steps. No campo **Name**, **digite** Carregamento. **Clique** em Continue.... Então **clique** OK na nova janela que se abre.



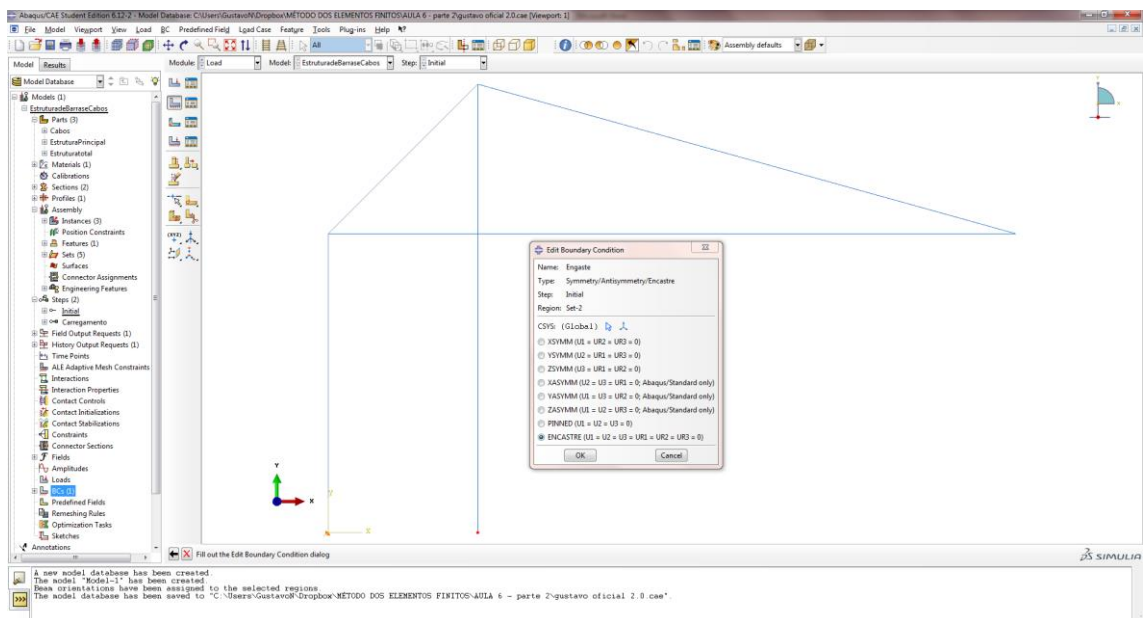
- ✓ No menu model à esquerda, **clique** duplo clique em BCs. Na janela Create Boundary Condition, **altere** o campo Name para Apoio Fixo, Step para Initial e Types for Selected Step para Displacement/Rotation. **Clique** em Continue....



- ✓ **Selecione** a ponta do apoio fixo e **clique** em Done. **Marque** na nova janela U1 e U2. **Clique** em OK.

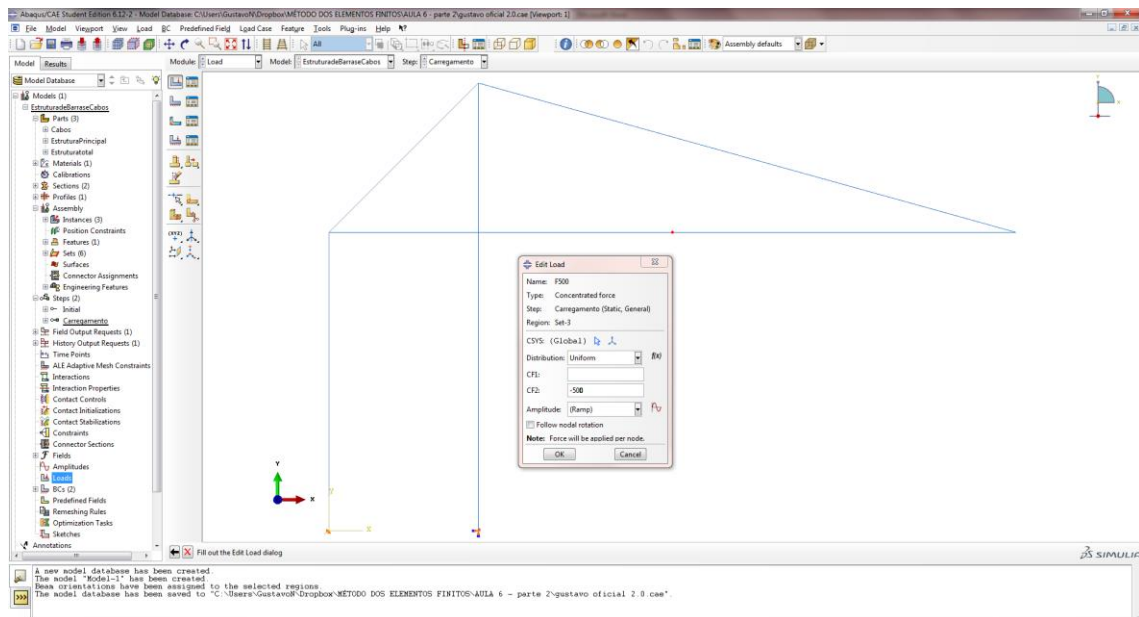


- ✓ **Repita** o procedimento para criar o *Engaste*, marcando “Symetry/antisymmetry/Encastre”, selecionando a ponta do engaste, e “ENCASTRE(U1=U2=U3=UR1=UR2=UR3=0)” em Edit Boundary Condition.

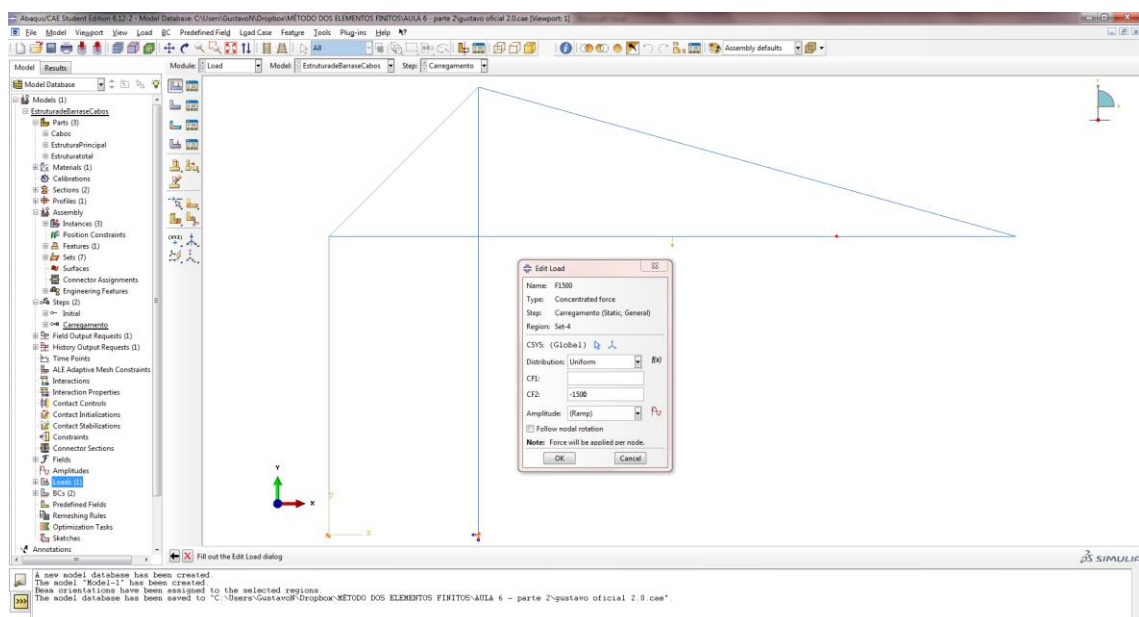


- ✓ No menu model à esquerda, **dê** duplo clique em **Loads**. Na janela Create Load, no campo Name **digite** *F500*, **troque** o Step para *Carregamento* e **clique** em **Continue...**



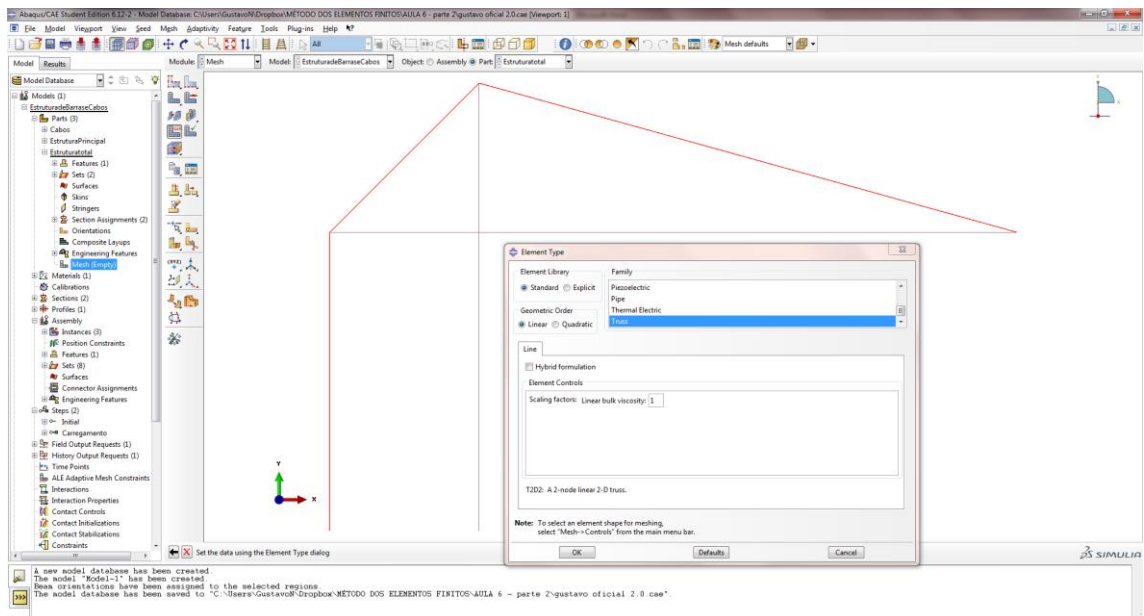


- ✓ **Selecione** o ponto intermediário esquerdo (de coordenada 3.45,3), e **clique** em Done. Na janela Edit Load, no campo CF2 **digite** -500 e **clique** em OK.

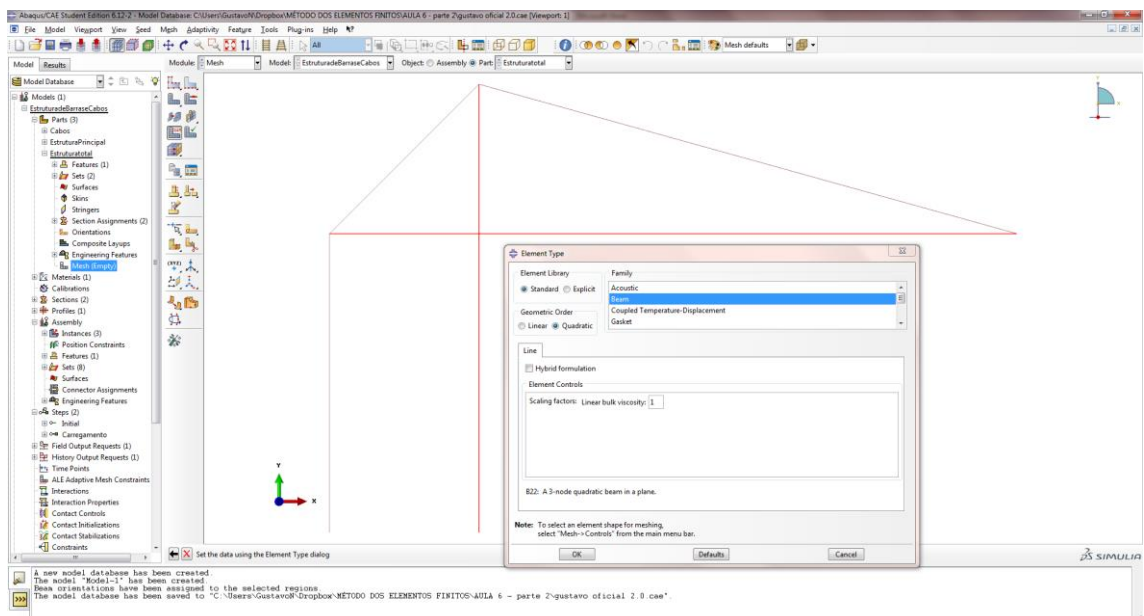


- ✓ **Repita** o procedimento para criar a carga  $F1500$ , aplicada no ponto intermediário direito (de coordenada 5.1,3), de intensidade -1500 (CF2).
- ✓ No menu model à esquerda, **abra** Parts>Estruturatotal e **dê** dois cliques em Mesh. Na barra de contexto, em Object, **selecione** Part. Na barra do menu principal, **clique** em Mesh>Element Type e **selecione**

com o mouse toda a região do cabo. Clicando em **Done**, abrirá a janela **Element Type**. Em **Family**, selecione **Truss** e **clique OK**.

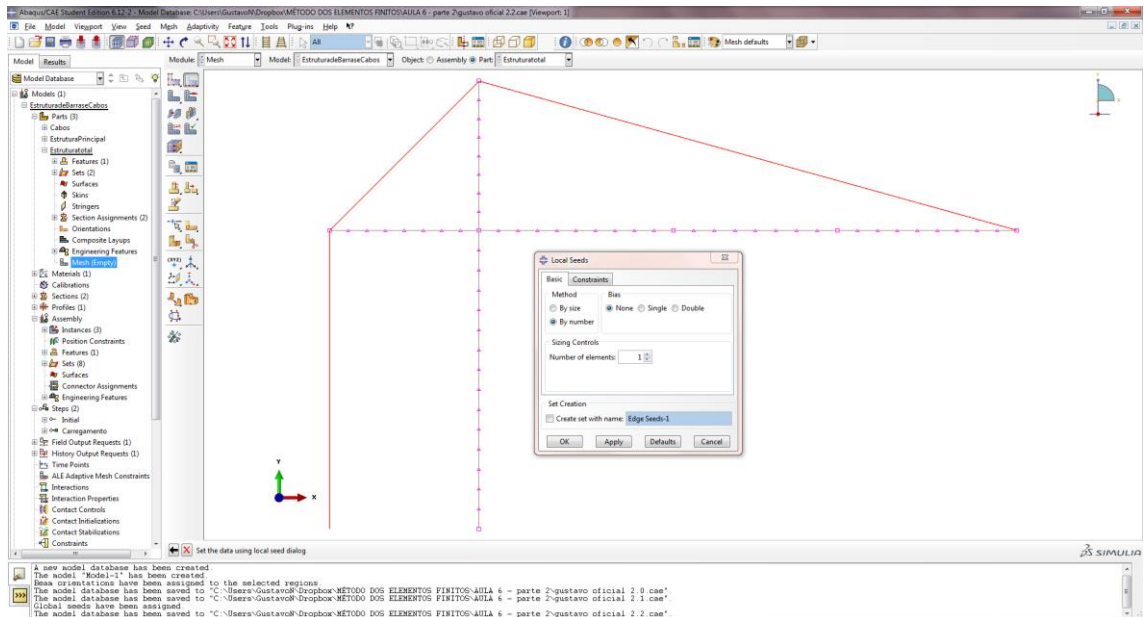


✓ **Selecione** com o mouse todas as barras. Clicando em **Done**, abrirá a janela **Element Type**. Em **Family**, selecione **Beam** e em **Geometric Order**, **selecione Quadratic**. **Clique OK**.

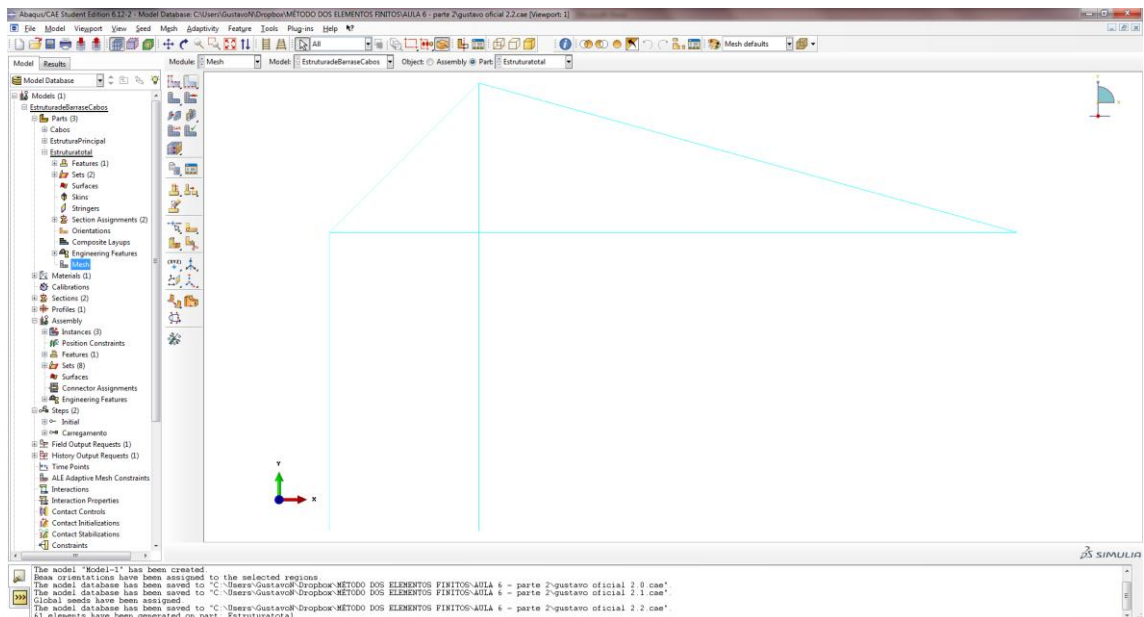


✓ Na barra do menu principal, **clique** em **Seed>Edge** e **selecione** as barras. Em approximate element size **digite 0.2** . **Clique** em **OK**. **Selecione** os cabos e **clique** em **Done**. **Altere Method** para **By number** e **Number of elements** para **1**.

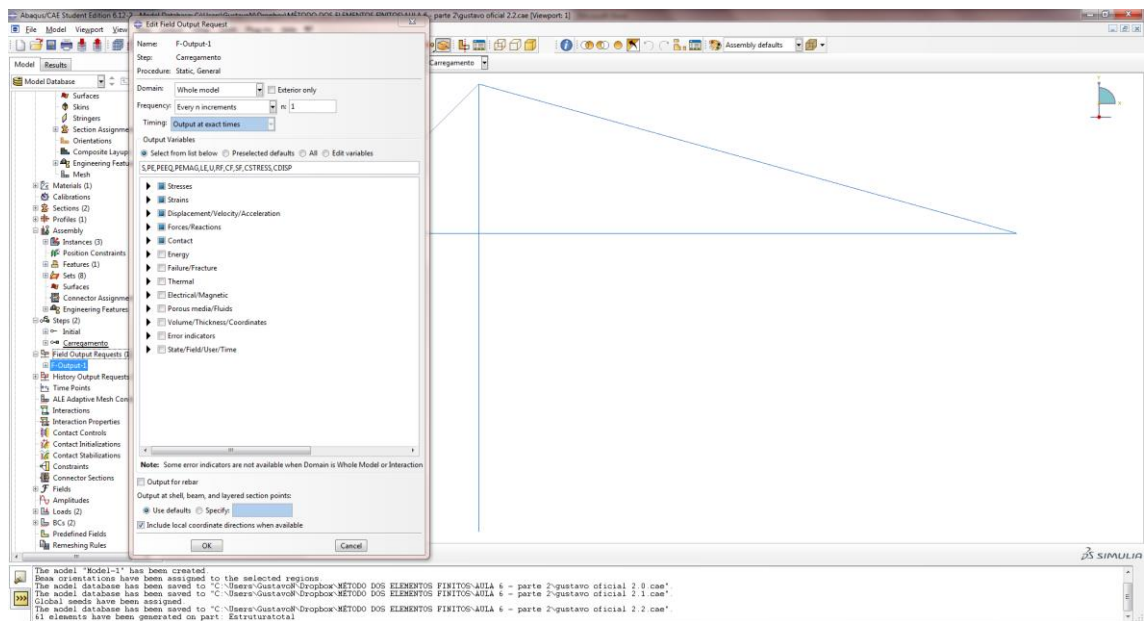




- ✓ Na barra do menu principal, **clique** em **Mesh>Part**. Aparecerá a pergunta “OK to mesh the part?”, **clique** **Yes**. **Perceba** que o cabo fica na cor azul.



- ✓ No menu model à esquerda, **abra** **Field Output Requests**. **Clique** com o botão direito do mouse em **F-Output-1** , e **clique** em **Edit...** Mantenha selecionadas as variáveis padrões, acrescentando **SF: Sections forces and moments** em **Forces/Reactions**

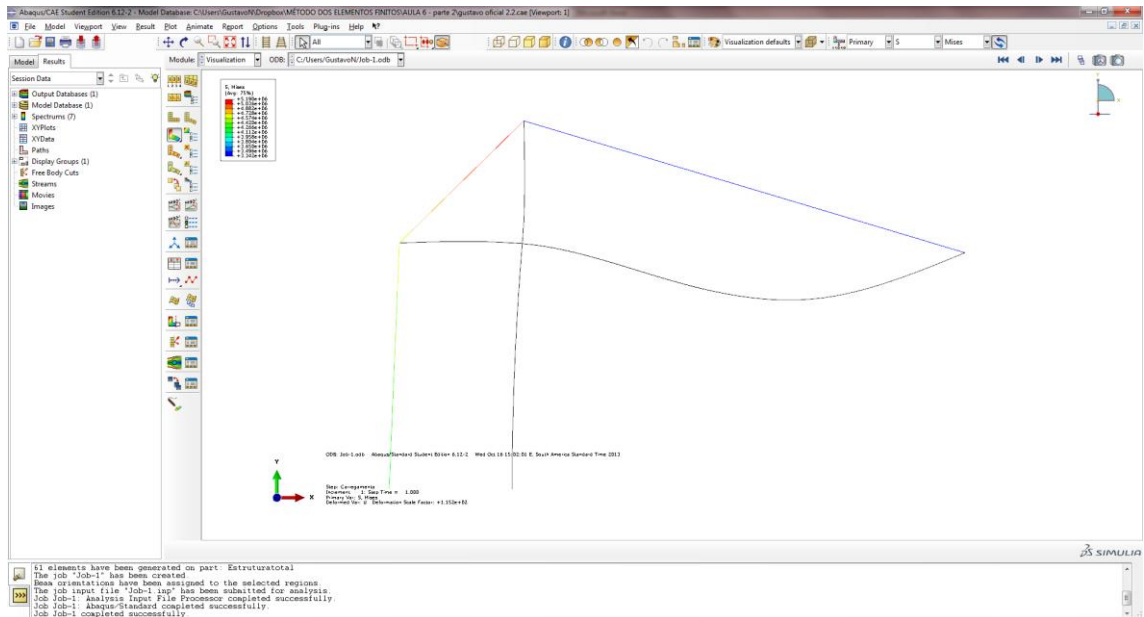


## 2.3. PROCESSAMENTO

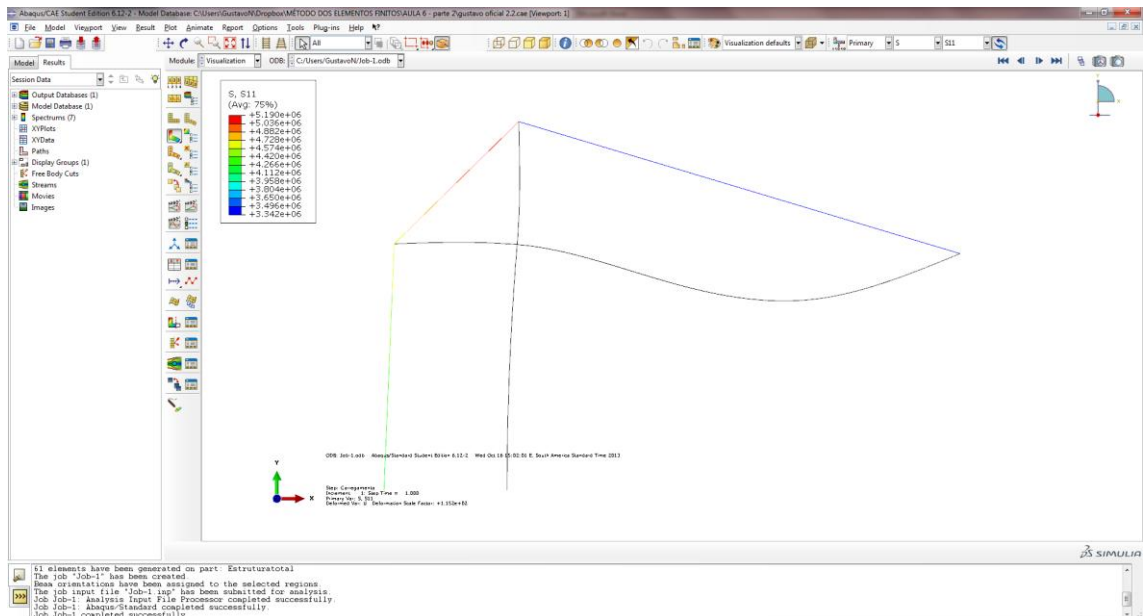
- ✓ . No menu **model** à esquerda, **duplo clique** em **Jobs**. Na janela **Create Job**, apenas **clique** em **Continue...** Na janela **Edit Job**, **clique** em **OK**. **Abra Jobs** e **clique** com o botão direito em **Job-1**. **Clique** em **Submit**. Se aparecer uma janela dizendo “Job files already exist for Job-1. OK to overwrite?”, **clique** **OK**. **Aguarde** o processamento dos dados. Estará concluído quando aparecer “(Completed)” ao lado de **Job-1** no menu **model** à esquerda.

## 2.4. PÓS-PROCESSAMENTO

- ✓ No menu **model** à esquerda, **clique** com o botão direito em **Job-1(Completed)**>**Results**. A tela de análise de dados se abrirá. Na caixa de ferramentas, **clique** em **Plot Contours on Deformed Shape**.



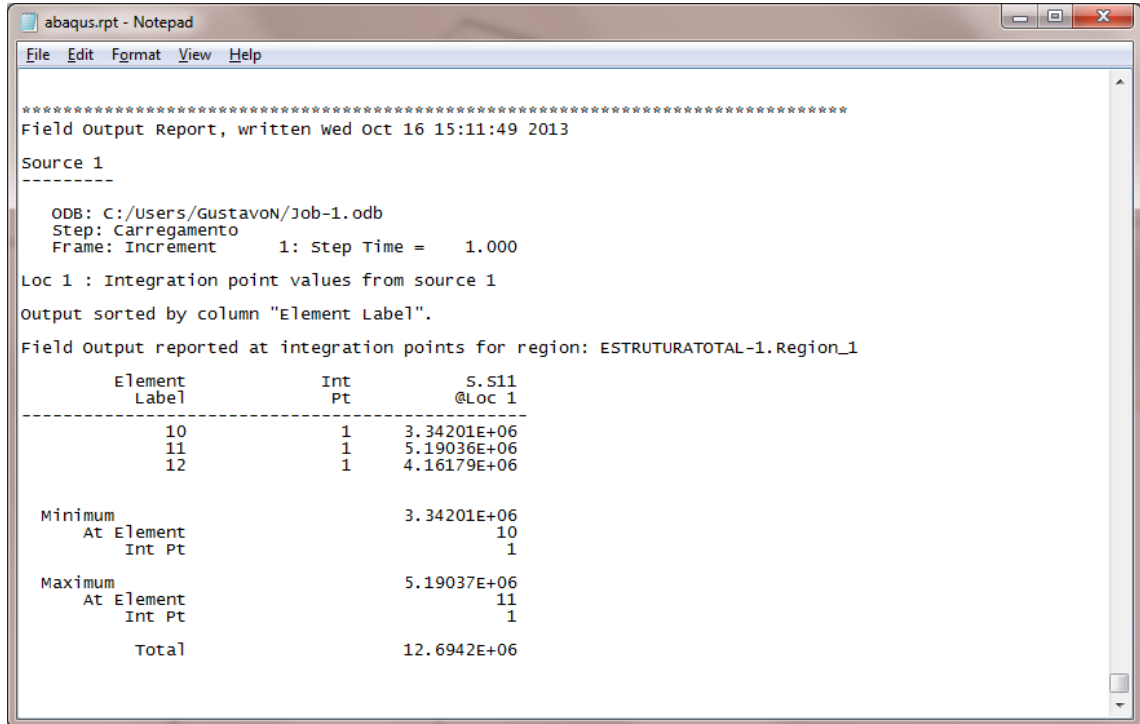
- ✓ Na barra de ferramentas no canto superior à direita, **selecione S11** onde, por padrão, estava selecionado Mises. Na barra de menu principal, **clique** em Viewport>Viewport Annotation Options.... Na janela aberta, **selecione** a aba Legend. **Clique** em Set Font. Na nova janela, **altere** Size para 14. **Clique** OK nas duas janelas abertas.



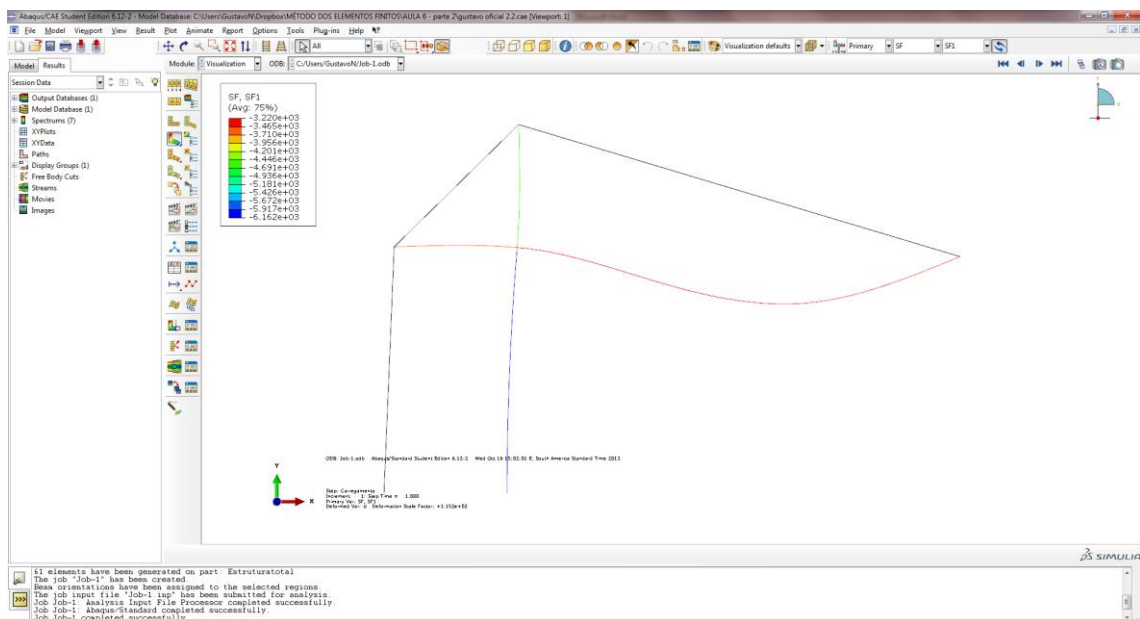
- ✓ Na barra de menu principal, **clique** em Report>Field Output. Na janela Report Field Output, **clique** em S: Stress components>S11 e **clique** em OK. A mensagem aparecerá: "The field output report was appended"

to file "abaqus.rpt". O arquivo **abaqus.rpt** pode ser encontrado em C:\Users\Nome do Usuário\abaqus.rpt.

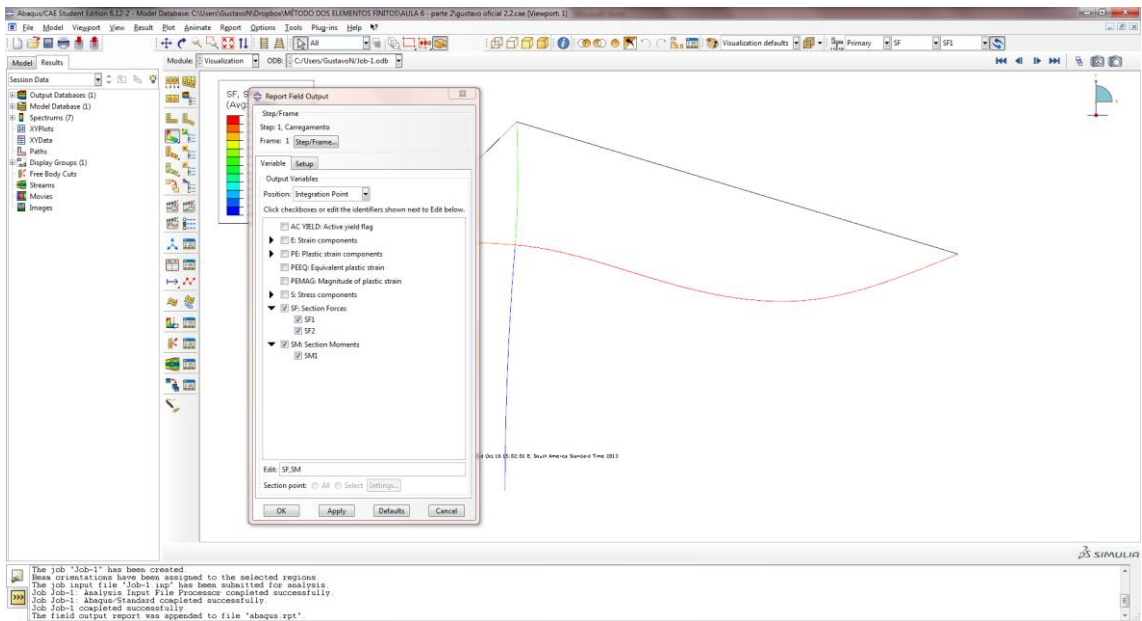
✓ O arquivo listará os esforços nos cabos.



✓ Para analisar os esforços nas barras, selecione na barra de contexto SF (SF1: esforço axial. SF2: esforço cortante). Para analisar os momentos fletores, selecione na barra de contexto SM>SM1.



- ✓ Na barra de menu principal, **clique** em **Report>Field Output**. Na janela **Report Field Output**, **clique** em **SF: Section Forces** e **SM: Section Moments**. **clique** em **OK**



- ✓ O arquivo listará os esforços na viga.

Element Label	Int Pt	SF:SF1	SF:SF2	SM:SM1	SM:SM2
1	1	-3.22008E+03	894.468	-1.97234E+03	40
1	2	-3.22008E+03	894.468	-1.46895E+03	42
1	3	-3.22008E+03	894.468	-1.39334E+03	41
1	4	-3.22008E+03	894.468	-1.29006E+03	43
1	5	-3.22008E+03	894.468	-1.24413E+03	42
1	6	-3.22008E+03	894.468	-1.11117E+03	44
1	7	-3.22008E+03	894.468	-1.03516E+03	44
1	8	-3.22008E+03	894.468	-952.272	45
1	9	-3.22008E+03	894.468	-851.663	46
1	10	-3.22008E+03	894.468	-753.379	46
1	11	-3.22008E+03	894.468	-698.876	47
1	12	-3.22008E+03	894.468	-574.485	47
1	13	-3.22008E+03	894.468	-395.592	48
1	14	-3.22008E+03	894.468	-195.983	48
1	15	-3.22008E+03	894.468	-216.698	49
1	16	-3.22008E+03	894.468	-141.089	49
1	17	-3.22008E+03	894.468	-37.8049	50
1	18	-3.22008E+03	-605.332	-637.307	50
1	19	-3.22008E+03	-605.332	-709.413	51
1	20	-3.22008E+03	-605.332	-747.108	51
1	21	-3.22008E+03	-605.332	-834.384	52
1	22	-3.22008E+03	-605.332	-887.089	52
1	23	-3.22008E+03	-605.332	-954.195	53
1	24	-3.22008E+03	-605.332	-1.04398E+03	53
1	25	-3.22008E+03	-605.332	-1.15887E+03	54
1	26	-3.22008E+03	-605.332	-1.28988E+03	54
1	27	-3.22008E+03	-605.332	-1.46176E+03	55
1	28	-3.22008E+03	-605.332	-1.68865E+03	55
1	29	-3.22008E+03	-605.332	-1.97387E+03	56
1	30	-3.22008E+03	-605.332	-2.31554E+03	56
1	31	-3.22008E+03	-605.332	-2.71385E+03	57
1	32	-3.22008E+03	-605.332	-3.18365E+03	57
1	33	-4.56481E+03	450.058	657.254	58
1	34	-4.56481E+03	450.058	-906.534	58
1	35	-4.56481E+03	450.058	-572.868	59
1	36	-4.56481E+03	450.058	-528.148	59
1	37	-4.56481E+03	450.058	-488.482	60
1	38	-4.56481E+03	450.058	-449.752	60
1	39	-4.56481E+03	450.058	-404.096	61
1	40	-4.56481E+03	450.058	-351.176	61
1	41	-4.56481E+03	450.058	-319.711	62
1	42	-4.56481E+03	450.058	-270.900	62
1	43	-4.56481E+03	450.058	-231.325	63
1	44	-4.56481E+03	450.058	-186.606	63
1	45	-4.56481E+03	450.058	-150.939	64
1	46	-4.56481E+03	450.058	-102.219	64
1	47	-4.56481E+03	450.058	-46.3519	65
1	48	-4.56481E+03	450.058	-17.8338	65
1	49	-6.16379E+03	20.3945E-09	132.309	66
1	50	-6.16379E+03	20.3945E-09	132.309	66
1	51	-6.16379E+03	20.3945E-09	132.309	66
1	52	-6.16379E+03	20.4745E-09	132.309	66

- ✓ Na barra do menu principal, **clique** em **Report Field Output**. Na janela **Report Field Output**, **desmarque** **Section Forces** e **Section Moments** e no campo **Position** **selecione** **Unique Nodal**. Então **marque** **U: Spatial Displacement** e **clique** **OK**.



- ✓ O arquivo listará as deformações na estrutura.

Node Label	U.Magnitude @Loc 1	U.U1 @Loc 1	U.U2 @Loc 1
1	5.92758E-03	1.06534E-03	-5.83106E-03
2	1.44372E-03	1.06044E-03	-861.634E-06
3	1.23505E-03	1.23487E-03	-21.4453E-06
4	1.08454E-03	1.07982E-03	39.4542E-06
5	0	0	4.16179E-03
6	4.38632E-03	1.06944E-03	-4.2339E-03
7	1.07527E-03	1.07516E-03	-15.6496E-06
8	0	0	-5.18179E-03
9	6.46838E-03	1.06498E-03	-5.18179E-03
10	5.34311E-03	1.06423E-03	-5.23605E-03
11	6.92948E-03	1.06718E-03	-4.96636E-03
12	4.46932E-03	1.06316E-03	-4.27922E-03
13	1.84716E-03	1.06526E-03	-2.69744E-03
14	3.24282E-03	1.06207E-03	-3.06396E-03
15	4.65566E-03	1.06538E-03	-2.39172E-03
16	1.99852E-03	1.06098E-03	-1.69364E-03
17	6.65566E-03	1.06538E-03	-4.71598E-03
18	5.23191E-03	1.06877E-03	-5.12160E-03
19	5.84595E-03	1.06538E-03	-5.46012E-03
20	5.82358E-03	1.06759E-03	-5.72488E-03
21	5.99002E-03	1.06703E-03	-5.80137E-03
22	6.08120E-03	1.06647E-03	-5.86693E-03
23	6.20320E-03	1.06526E-03	-5.90941E-03
24	1.18899E-03	1.18887E-03	-16.3733E-06
25	1.30928E-03	1.30916E-03	-17.8226E-06
26	1.32857E-03	1.32844E-03	-18.5472E-06
27	1.32444E-03	1.32303E-03	-19.3717E-06
28	1.30224E-03	1.30208E-03	-19.9962E-06
29	1.27132E-03	1.27115E-03	-20.7208E-06
30	6.82044E-06	6.77846E-06	-1.08177E-06
31	10.2774E-06	10.1139E-06	-2.08613E-06
32	10.2774E-06	10.1139E-06	-2.08613E-06
33	43.1200E-06	43.0463E-06	-3.12986E-06
34	6.36848E-06	6.34996E-06	-1.27071E-06
35	119.576E-06	119.462E-06	-5.21633E-06
36	172.339E-06	172.224E-06	-6.23966E-06
37	234.239E-06	234.145E-06	-7.10287E-06
38	305.936E-06	305.872E-06	-8.04137E-06
39	387.170E-06	387.056E-06	-9.18940E-06
40	477.901E-06	477.846E-06	-10.4372E-06
41	578.309E-06	578.194E-06	-11.4793E-06
42	688.234E-06	688.106E-06	-12.3119E-06
43	807.676E-06	807.582E-06	-13.3623E-06
44	936.695E-06	936.581E-06	-14.4057E-06
45	1.08003E-03	1.07574E-03	-96.1554E-06
46	1.08920E-03	1.07920E-03	-166.992E-06
47	1.09582E-03	1.07906E-03	-202.717E-06
48	1.09760E-03	1.07746E-03	-209.170E-06
49	1.09507E-03	1.07807E-03	-192.231E-06
50	1.09001E-03	1.07846E-03	-157.206E-06
51	1.08488E-03	1.07923E-03	-111.516E-06
52	1.08426E-03	1.07463E-03	-206.337E-06
53	1.17990E-03	1.07409E-03	-488.342E-06
54	1.18734E-03	1.07336E-03	-486.802E-06
55	1.66027E-03	1.07303E-03	-1.26693E-03

- ✓ Na barra do menu principal, clique em Report Field Output. Na janela Report Field Output, desmarque U:Spacial Displacement e então marque RF: Reaction force e clique OK.
- ✓ O arquivo listará as reações de apoio.

Node Label	RF.Magnitude @Loc 1	RF.RF1 @Loc 1	RF.RF2 @Loc 1	RM3 @Loc 1
1	0.	0.	0.	0.
2	0.	0.	0.	0.
3	0.	0.	0.	0.
4	0.	0.	0.	0.
5	4.16179E+03	-0.	-4.16179E+03	0.
6	0.	0.	0.	0.
7	0.	0.	0.	0.
8	6.16179E+03	20.3920E-09	6.16179E+03	132.309
9	0.	0.	0.	0.
10	0.	0.	0.	0.
11	0.	0.	0.	0.
12	0.	0.	0.	0.
13	0.	0.	0.	0.
14	0.	0.	0.	0.
15	0.	0.	0.	0.
16	0.	0.	0.	0.
17	0.	0.	0.	0.
18	0.	0.	0.	0.
19	0.	0.	0.	0.
20	0.	0.	0.	0.
21	0.	0.	0.	0.
22	0.	0.	0.	0.
23	0.	0.	0.	0.

- ✓ 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**).