

## LAJES COM GEOMETRIAS ESPECIAIS

### 1. INTRODUÇÃO

#### 1.1. DESCRIÇÃO DO PROBLEMA:

O objetivo deste exemplo é a verificação do comportamento estrutural de lajes com geometrias (formas) especiais. Na literatura técnica são facilmente encontradas tabelas para a determinação dos esforços em lajes retangulares. Porém, tabelas para lajes com geometrias especiais, tais como lajes circulares, em L, triangulares e com aberturas, são difíceis de encontrar. Neste exemplo, vamos analisar uma laje em L de concreto armado com 12 cm de espessura, com bordos livres, simplesmente apoiados e engastados, conforme a figura 1. Será considerada como carregamento uma carga uniformemente distribuída sobre a superfície da laje de 2.0 tf/m<sup>2</sup>

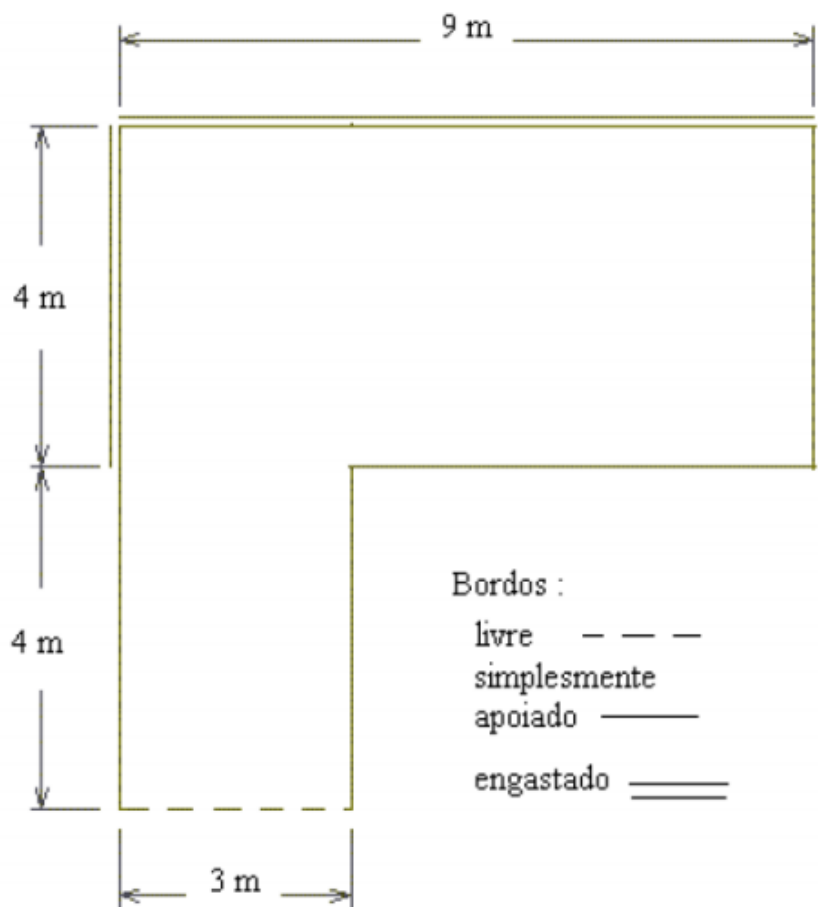


Figura 1 – Esquema da Laje.

Trata-se de uma estrutura tridimensional, porém, adotando-se algumas aproximações aplicáveis a este problema, esta laje pode ser analisada através de um modelo bidimensional como a placa em flexão.

## 1.2. PROPRIEDADES DO MATERIAL

Concreto Armado:

$$E = 1.5E6 \text{ tf/m}^2;$$

$$\text{Coeficiente de Poisson} = 0.2$$

## 1.3. PROPRIEDADES GEOMÉTRICAS

Conforme a Figura 1

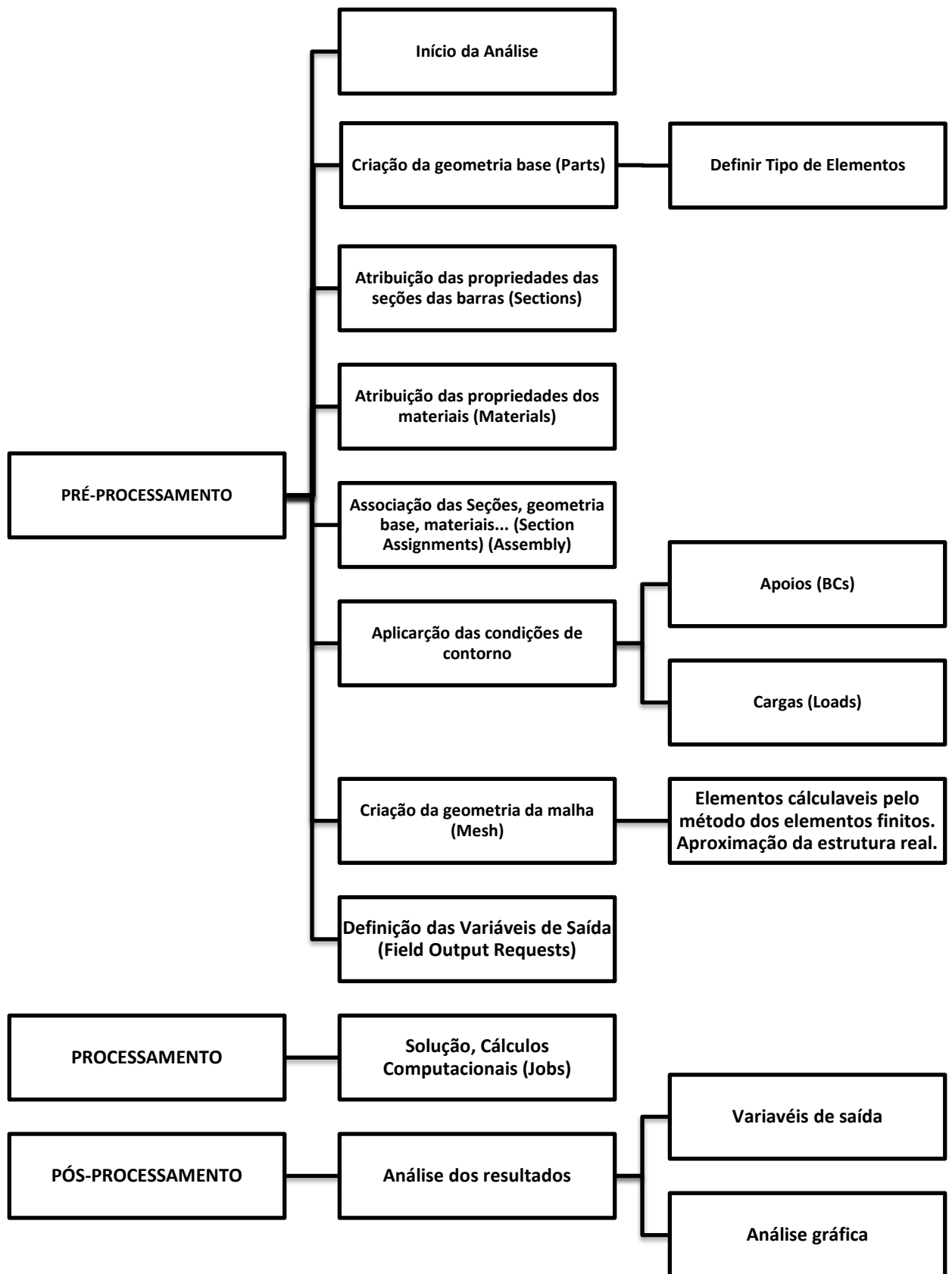
Altura da laje: 12 centímetros.

## 1.4. CARGA

Carga uniformemente distribuída em toda a área:  $P = 2 \text{ tf/m}^2$

## 2. RESOLUÇÃO

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

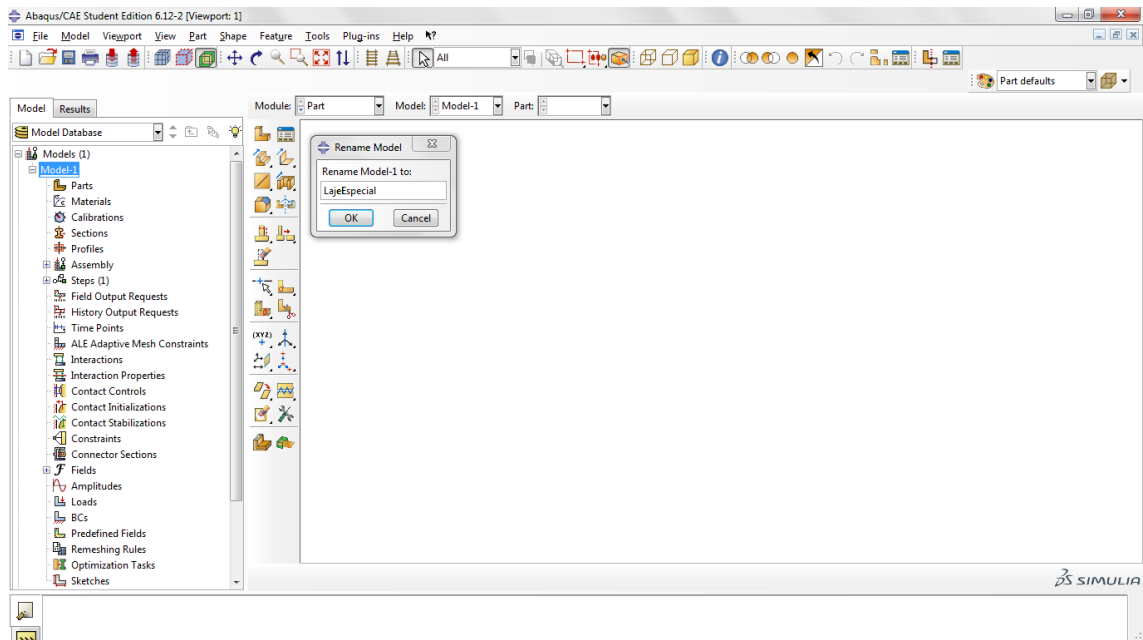


## 2.1. INÍCIO DA ANÁLISE

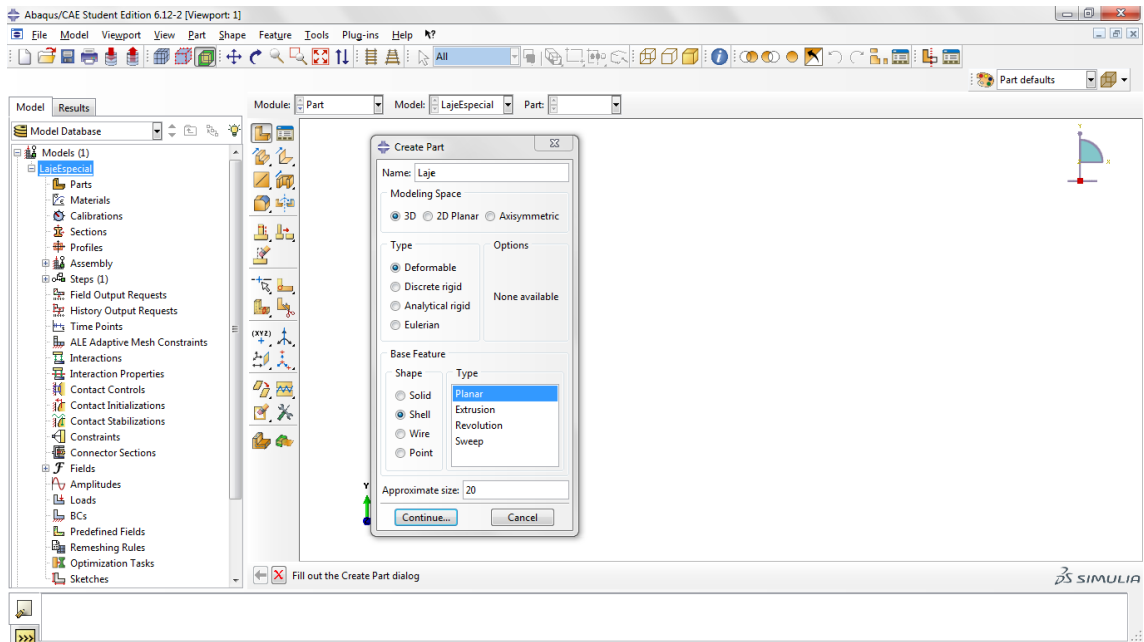
- ✓ Se você ainda não iniciou o programa **Abaqus/CAE**, **digite** *cmd* no **Menu Iniciar** para abrir o **Prompt de Comando** e nele **digite** *abq6122se cae* para executar o Abaqus.
- ✓ Em **Create Model Database** na caixa **Start Session** que aparece, **selecione** **With Standard/Explicit Model**.

## 2.2. PRÉ-PROCESSAMENTO

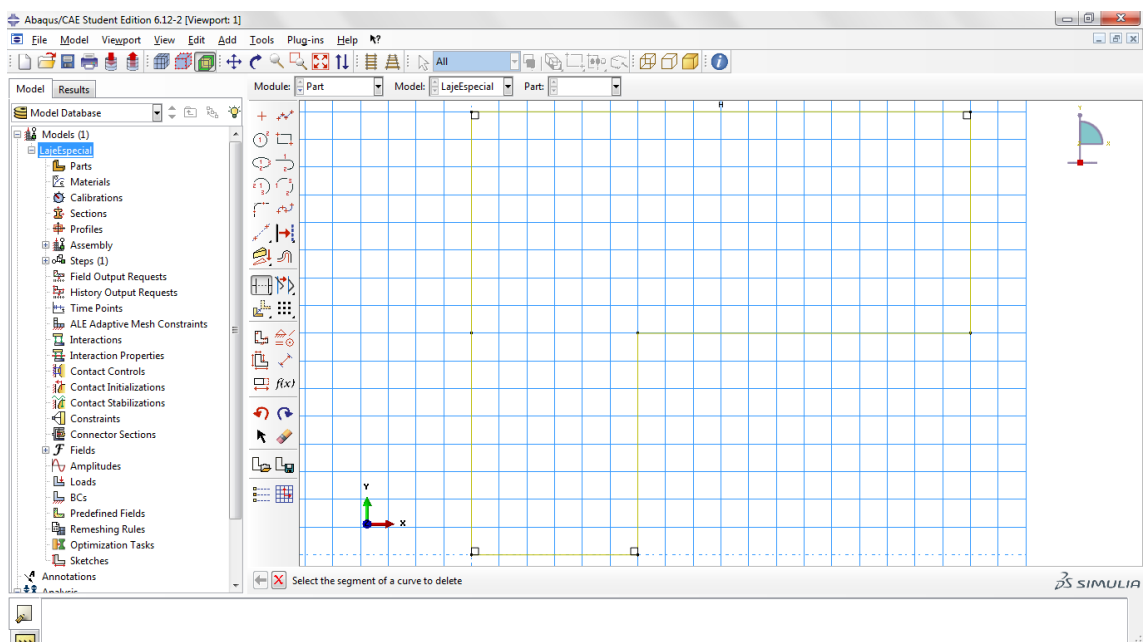
- ✓ No menu **Model** à esquerda, **clique** com o botão direito em **Model-1** e **selecione** **Rename**. **Digite** *LajeEspecial*.



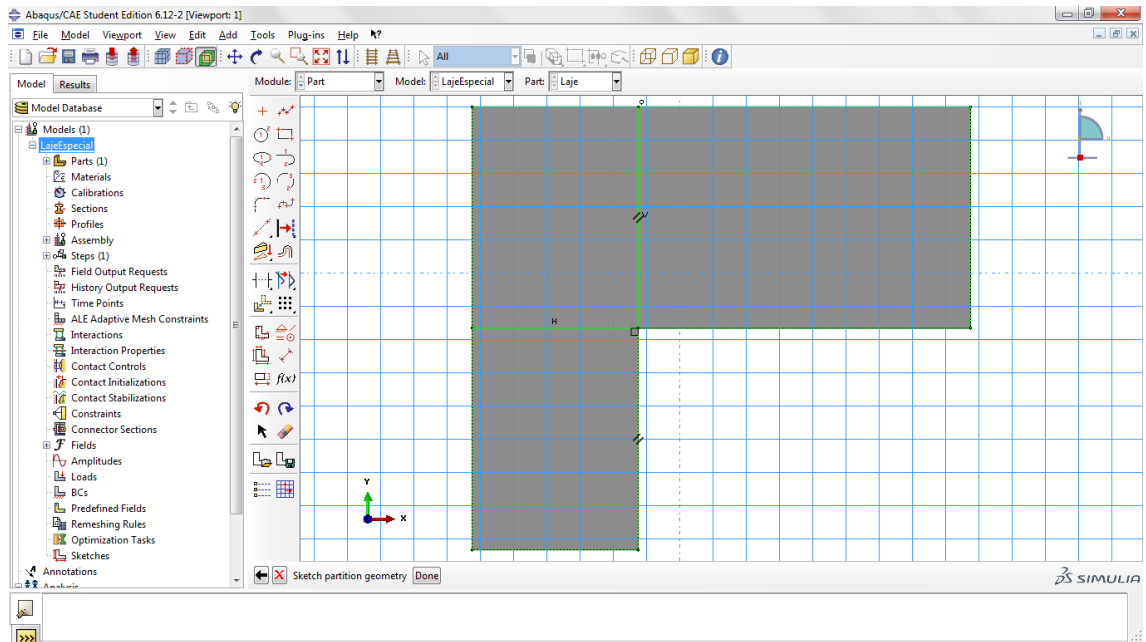
- ✓ No menu **Model** à esquerda, **dê** duplo clique em **Parts**, no campo **Name** **digite** *Laje*, e **selecione** as opções: **3D**, **Deformable**, **Shell**, **Planar**. Em **Approximate size** **digite** *20* e **clique** em **Continue...**



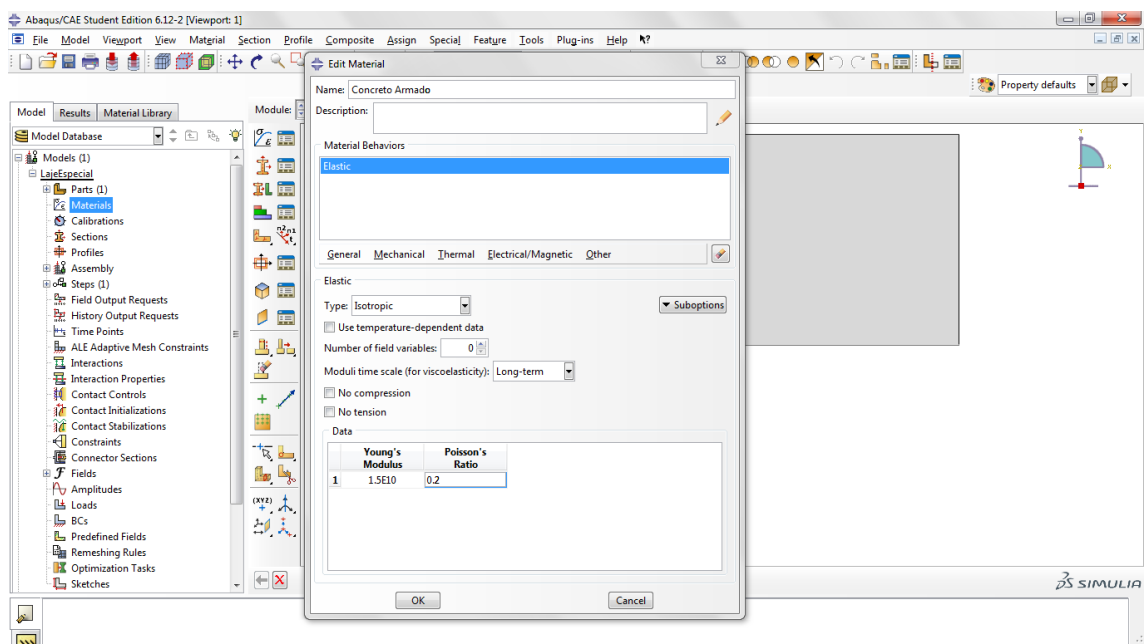
- ✓ **Clique** em **Create Lines: Rectangle (4 lines)** na caixa de ferramentas e **insira** as seguintes coordenadas 0,0 – 3,4; e 0,4 – 9,8. Em seguida, **Clique** em **Auto Trim**, **clique** duas vezes na interseção dos retângulos, **tecle Esc** e **clique** em **Done**.



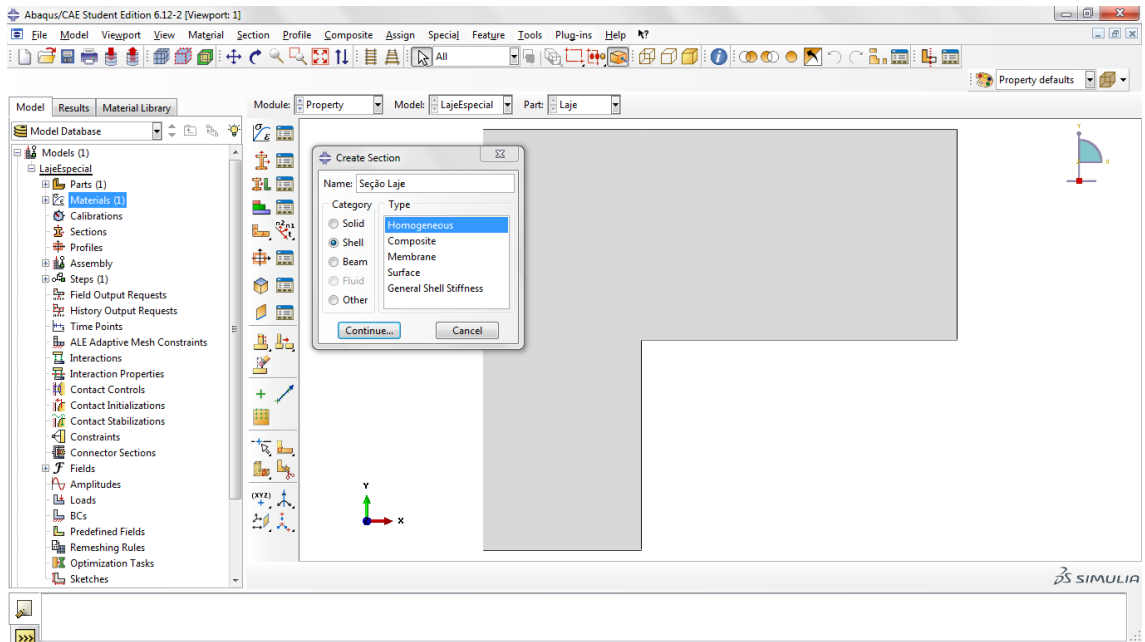
- ✓ Na caixa de ferramentas, **clique** em **Partition Face: Sketch**. **Selecione** o lado direito. **Clique** em **Create Lines: Connected** e **particione** a Laje conforme a imagem e **clique** em **Done**. **Tecl**e **Esc**.



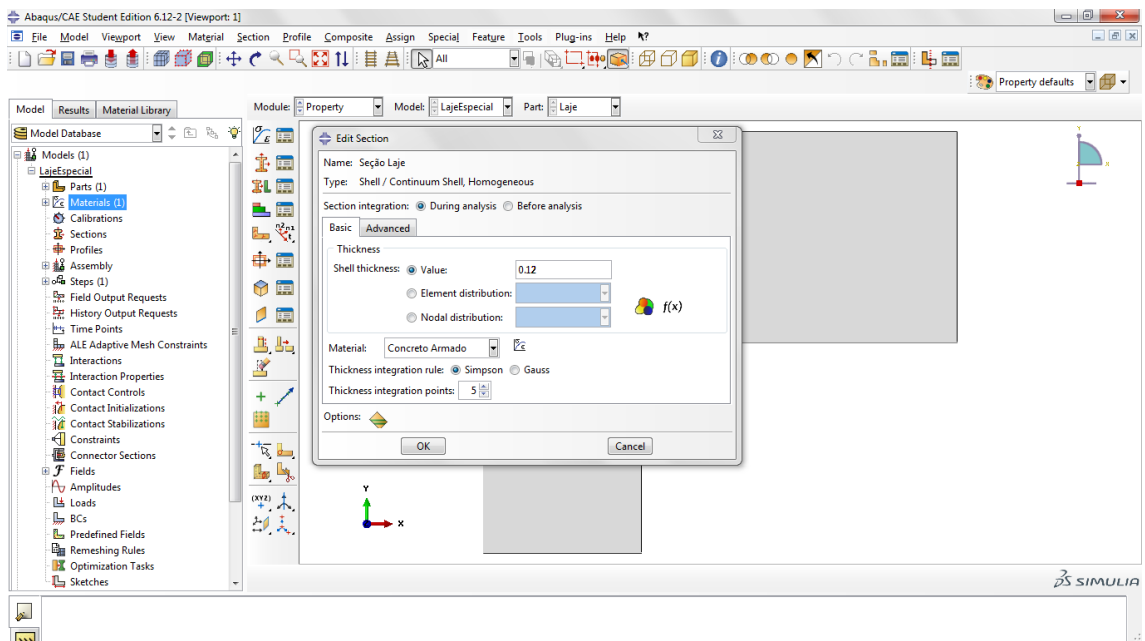
- ✓ No menu Model à esquerda, dê duplo clique em Materials. Na janela Edit Material Renomeie o material para ConcretoArmado, selecione Mechanical>Elasticity>Elastic e digite 1.5E10 em Young's Modulus e 0.2 em Poisson's Ratio. Clique em OK.



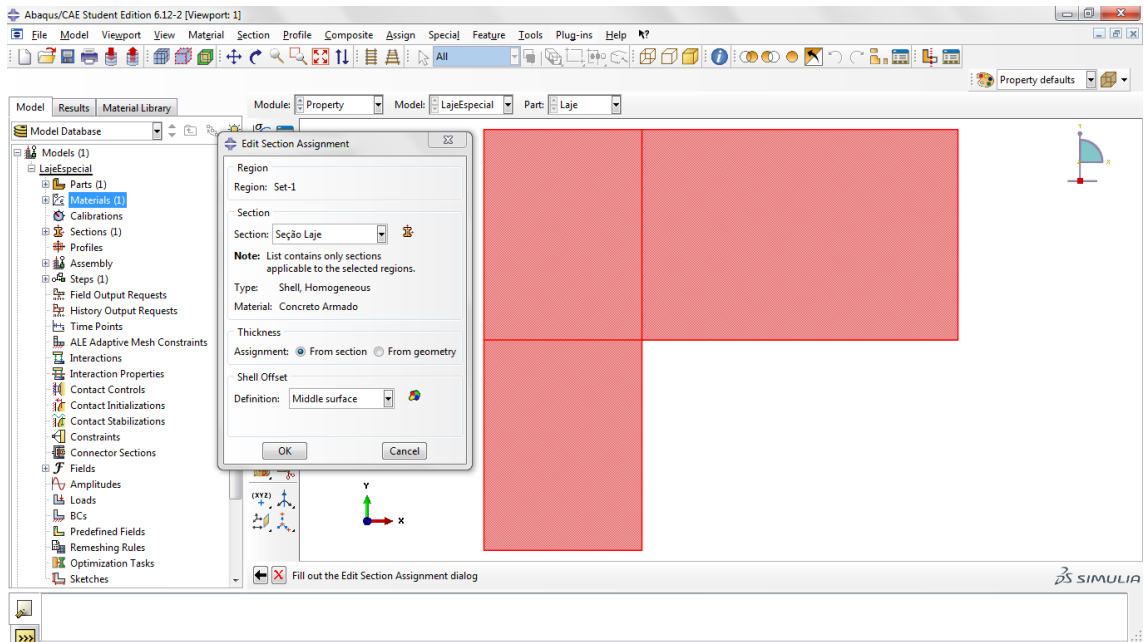
- ✓ No menu Model à esquerda, dê duplo clique em Sections. No campo Name: digite SeçãoLaje, em Category selecione Shell, e em Type selecione Homogeneous. Clique em Continue...



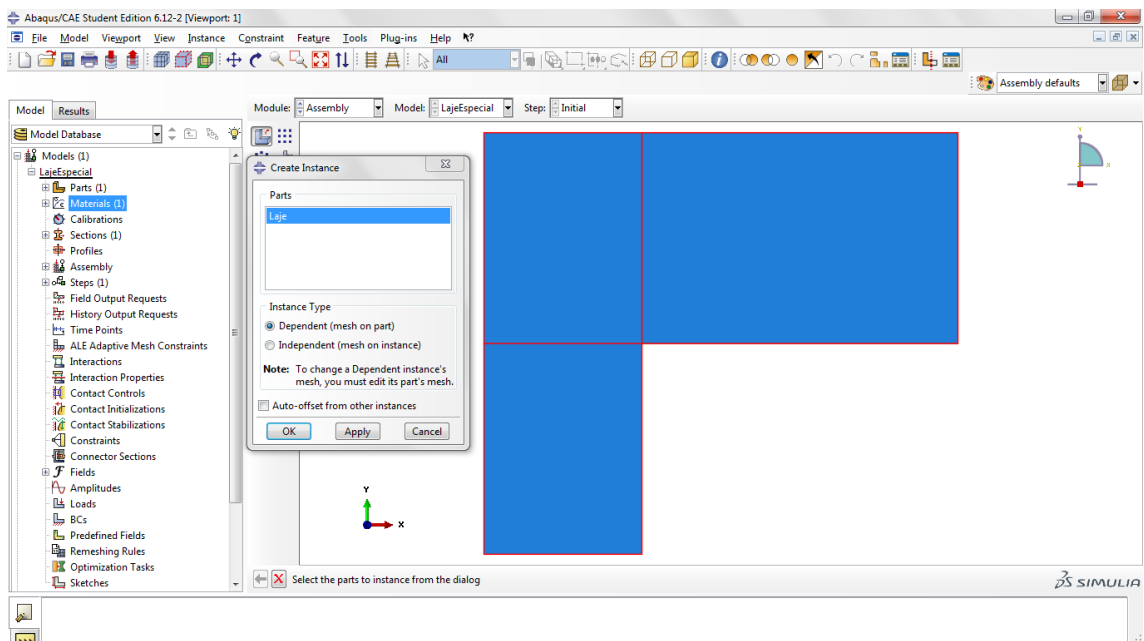
- ✓ Na janela **Edit Section**, **Certifique-se** de que **ConcretoArmado** está selecionado em **Material**, **selecione Value** no campo **Thickness**, e **insira** o valor de 0.12 e **clique** em **OK**.



- ✓ Na caixa de ferramentas, **clique** em **Assign Section**. **Selecione** a Laje e **clique** em **Done**. **Selecione** **Seção Laje** em **Section:** e **clique** em **OK**.

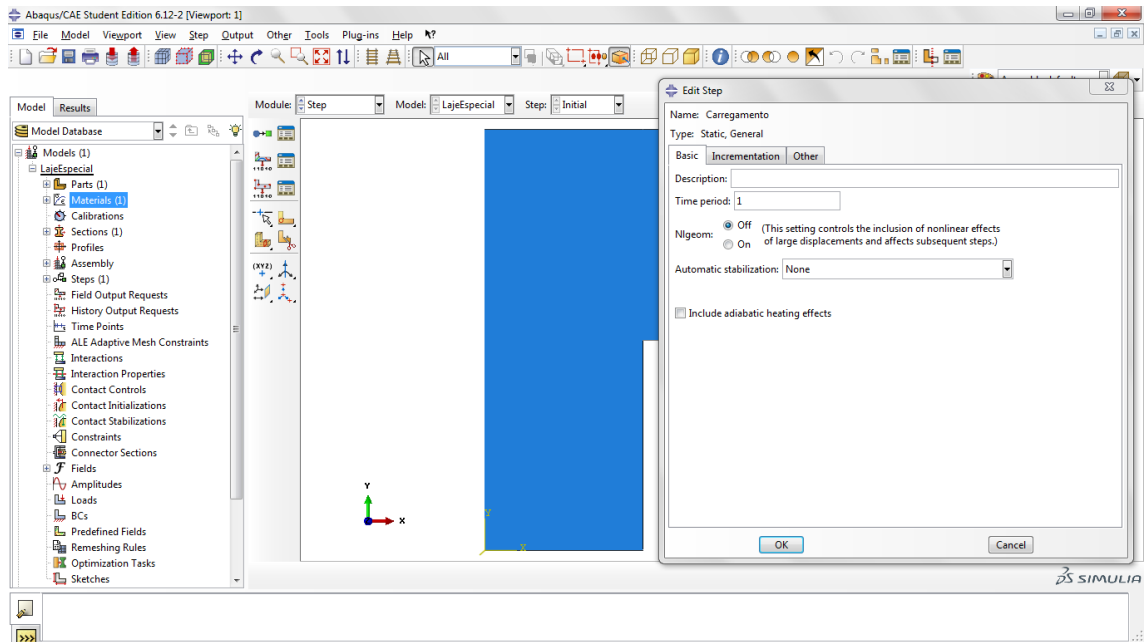


- ✓ No menu **Model** à esquerda, **abra Assembly**, **dê duplo clique em Instances**, e **clique em OK**.

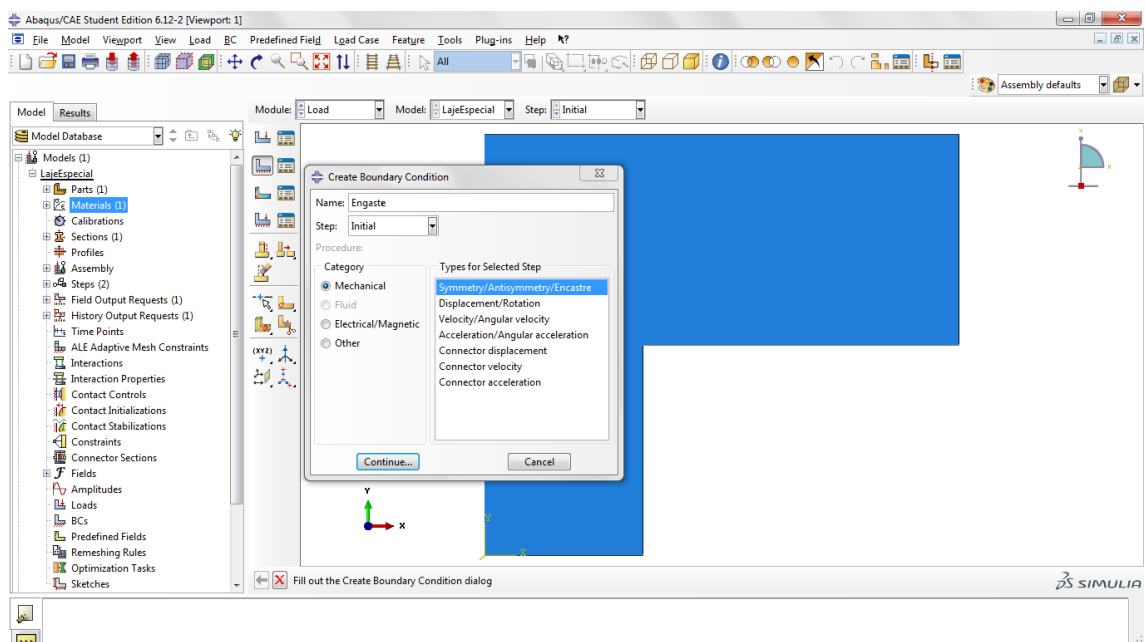


- ✓ No menu **model** à esquerda, **dê duplo clique em Steps**. **Digite Carregamento** no campo **Name:** e **Clique em Continue...** Então **clique OK** na nova janela que se abre.

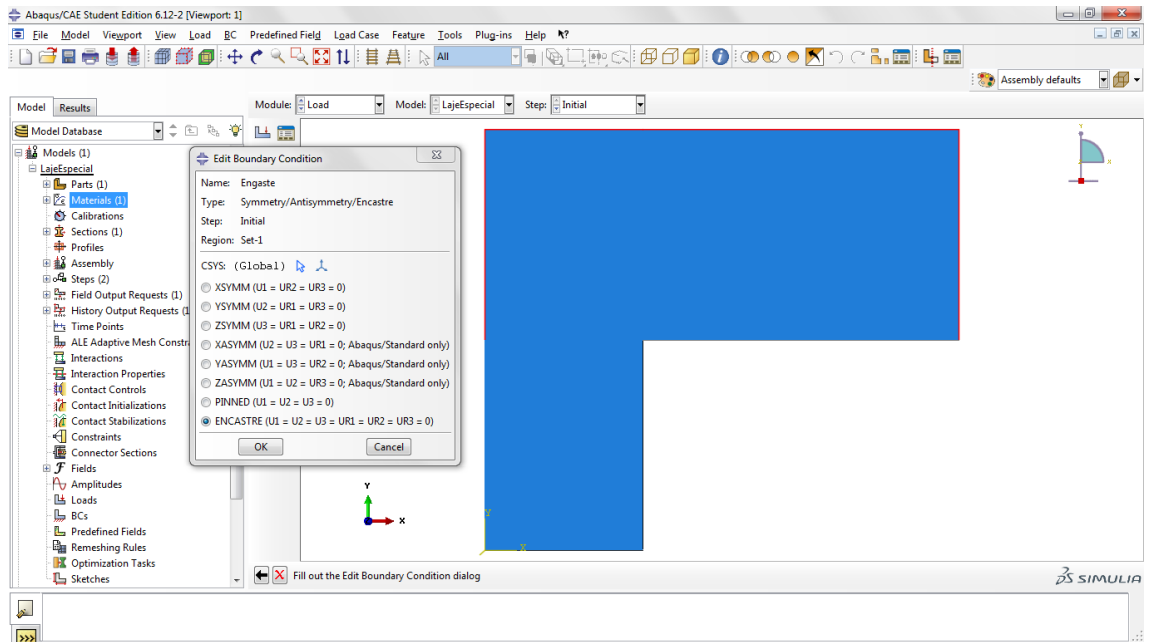




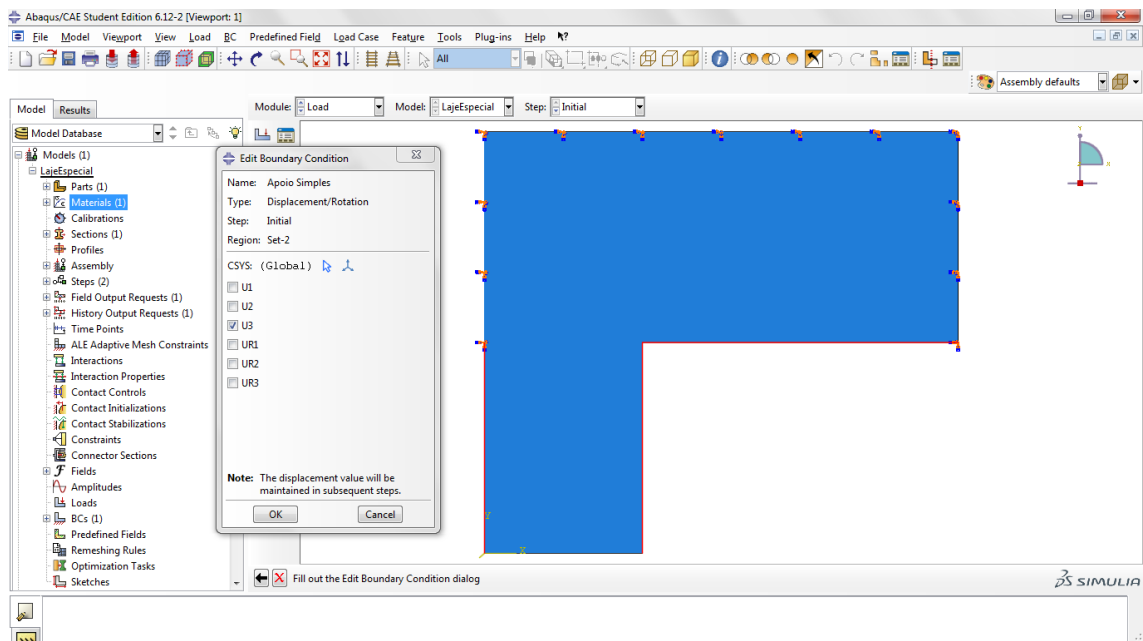
- ✓ No menu model à esquerda, dê duplo clique em BCs. Na janela Create Boundary Condition, altere o campo Name para Engaste, Step para Initial e Types for Selected Step para Symmetry/Antisymmetry/Encastre. Clique em Continue...



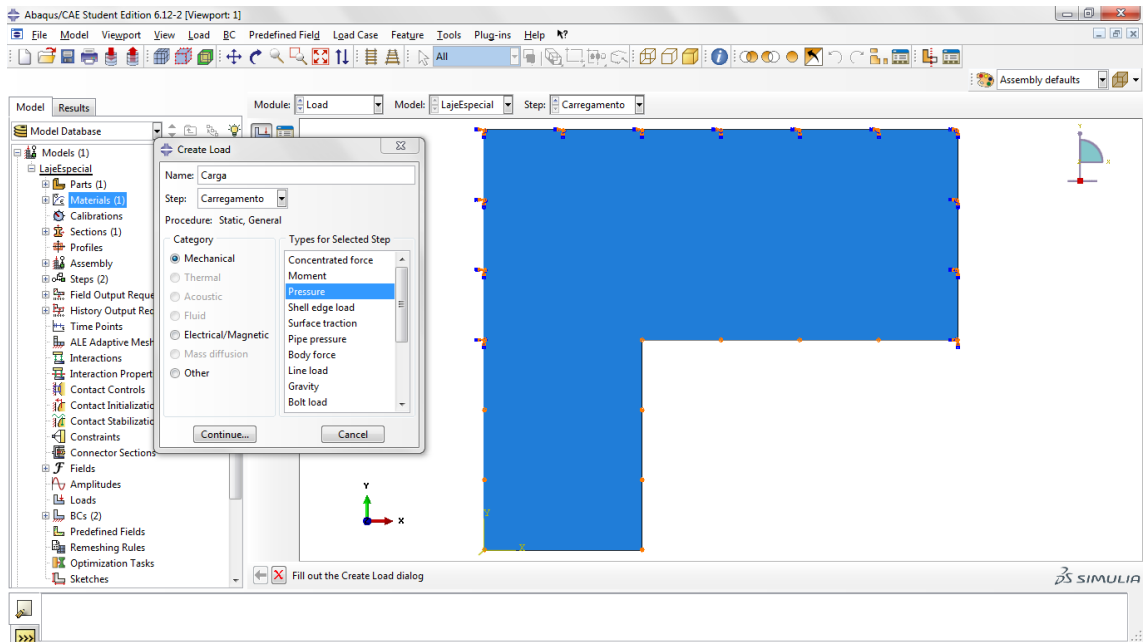
- ✓ Selecione os lados conforme a imagem e clique em Done. Marque Encastre na janela Edit Boundary Condition e clique em OK.



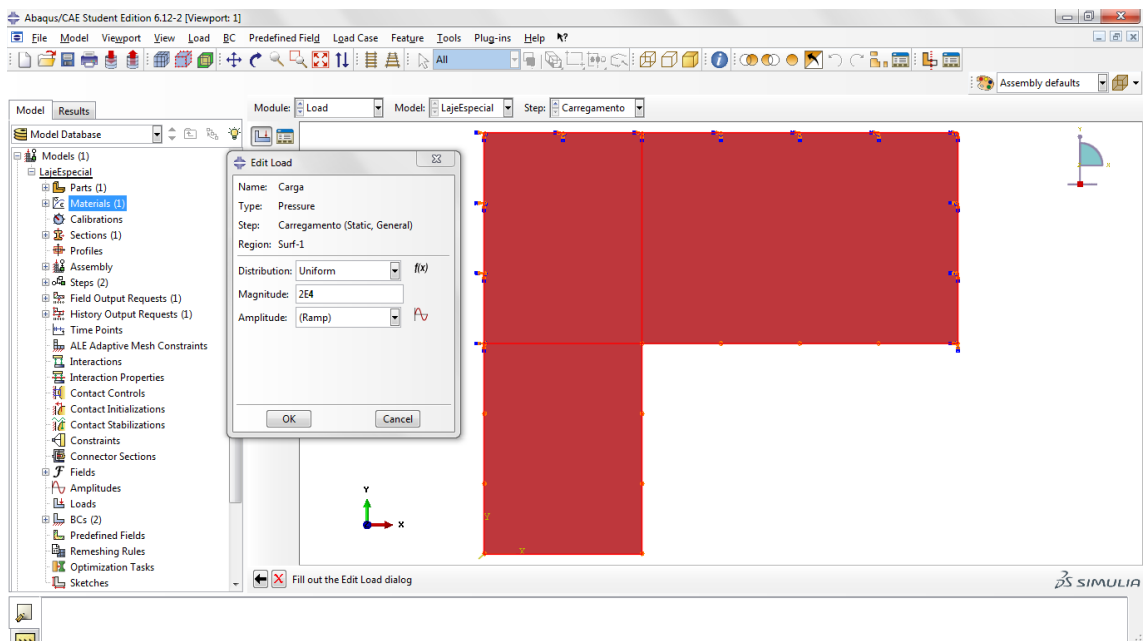
- ✓ **Repita** o último passo para criar o Apoio Simples, marcando **Displacement/Rotation**, e selecionando os lados conforme a imagem, marcando em seguida U3.



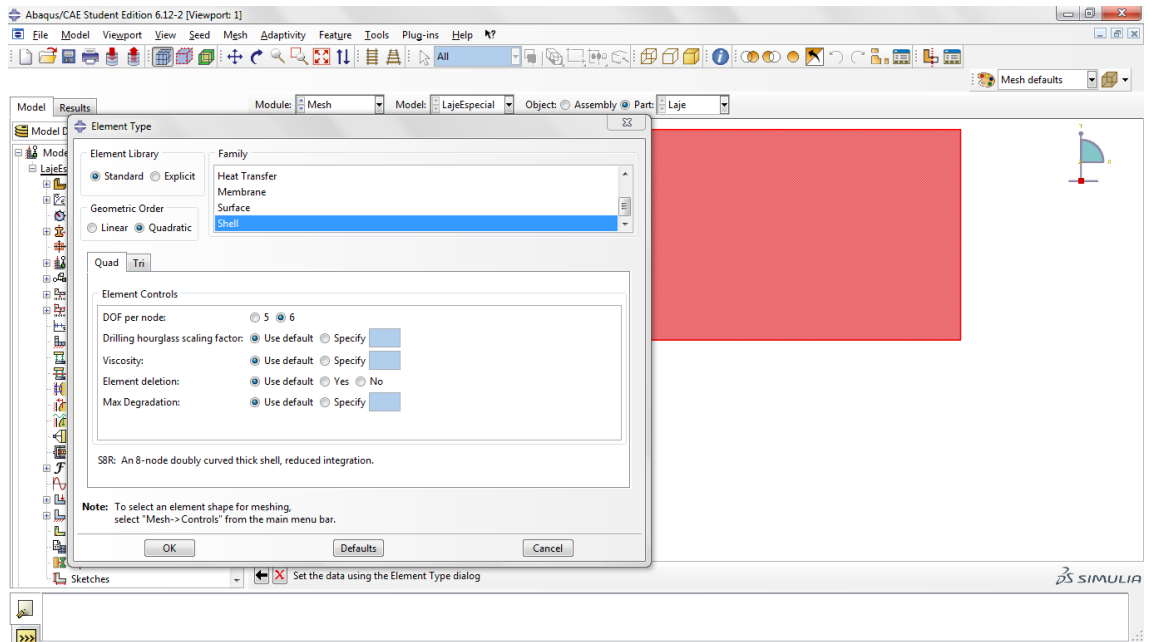
- ✓ Na caixa de ferramentas, **clique** em **Create Load**. Na janela **Create Load**, no campo **Name** **digite** **Carga**, **selecione** o **Step** **Carregamento**, em **Types for Selected Step** **selecione** **Pressure** e **clique** em **Continue...**



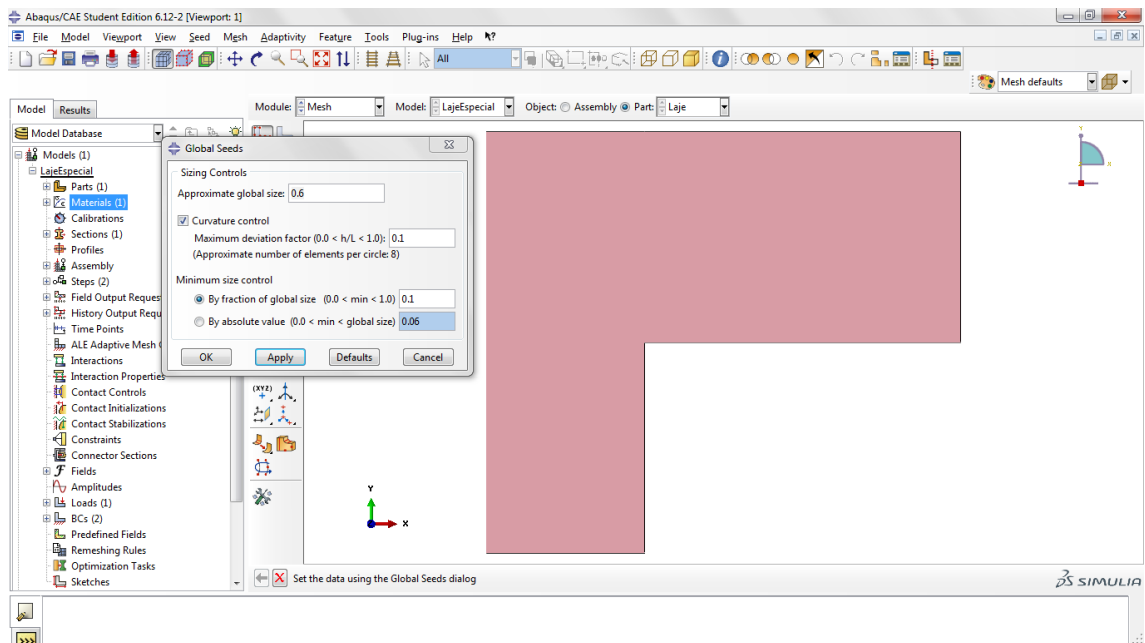
- ✓ **Selecione** a laje e **clique** em Done. **Clique** em Brown. Na janela Edit Load, **digite** 2E4 no campo Magnitude e **clique** em OK.



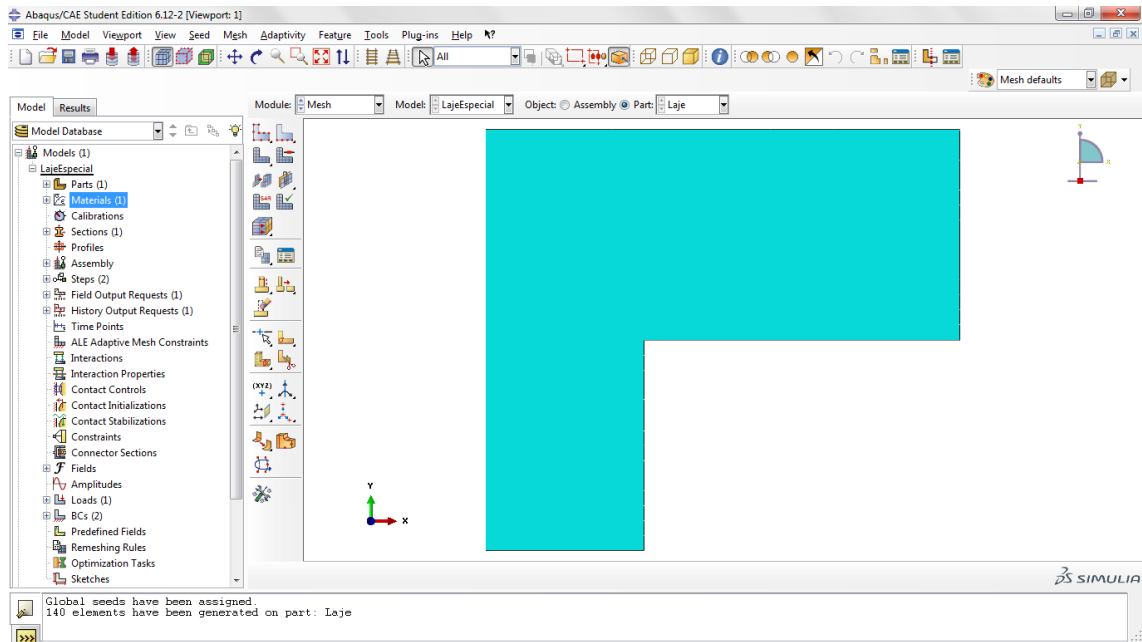
- ✓ Na barra de contexto, em Module, **selecione** Mesh e **selecione** Part em Object. Na barra do menu principal, **clique** em Mesh>Element Type e **selecione** a Laje. **Clique** em Done. Abirá a janela Element Type. Em Family, **selecione** Shell e em Geometric Order, **selecione** Quadratic e **clique** OK.



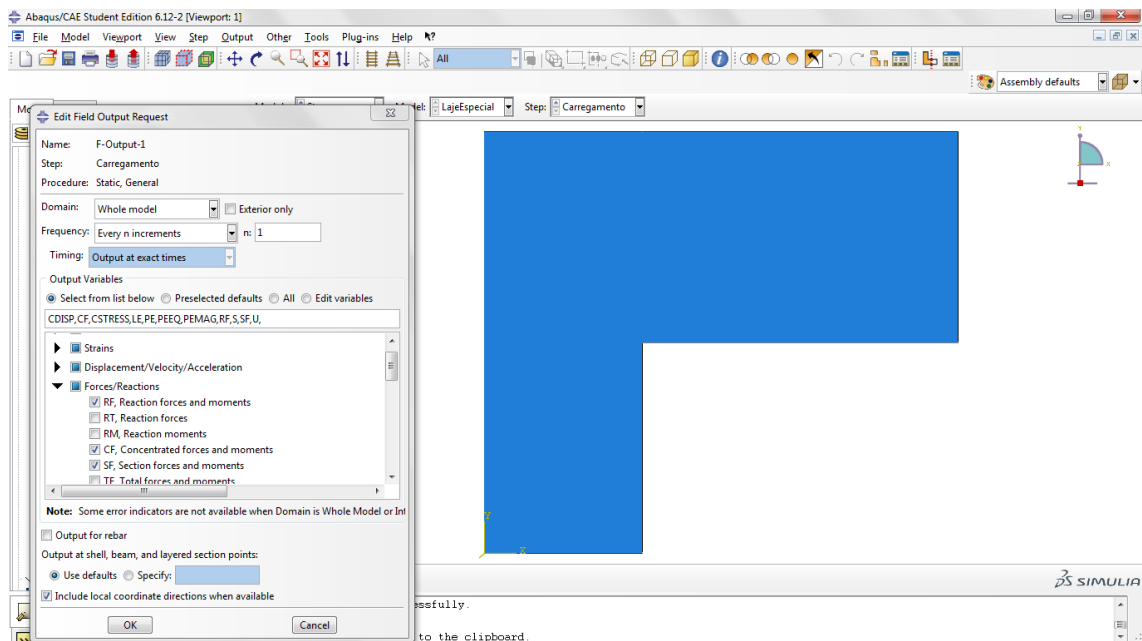
✓ Na barra do menu principal, **clique** em **Seed>Part** e **clique** em **OK**.



✓ Na barra do menu principal, **clique** em **Mesh>Part** e **clique** em **Yes**.

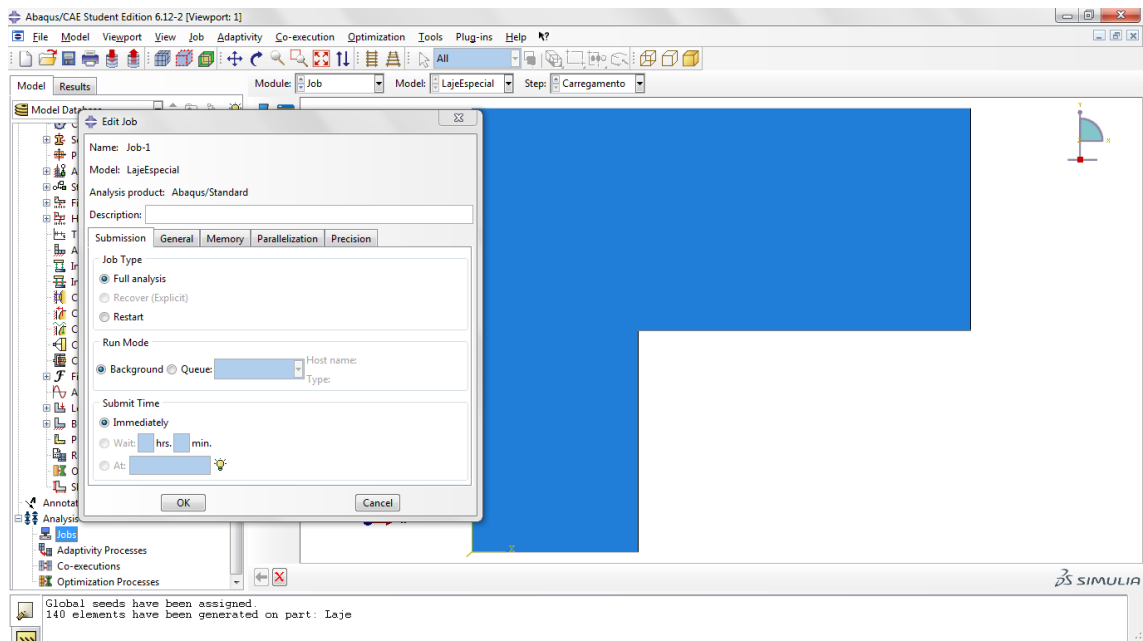


- ✓ No menu model a esquerda, **abra** Field Output Requests (1) e **clique** com o botão direito em F-Output-1 e **clique** em Edit. **Abra** Forças/Reactions e **marque** SF, Section forces and moments e **clique** em OK.

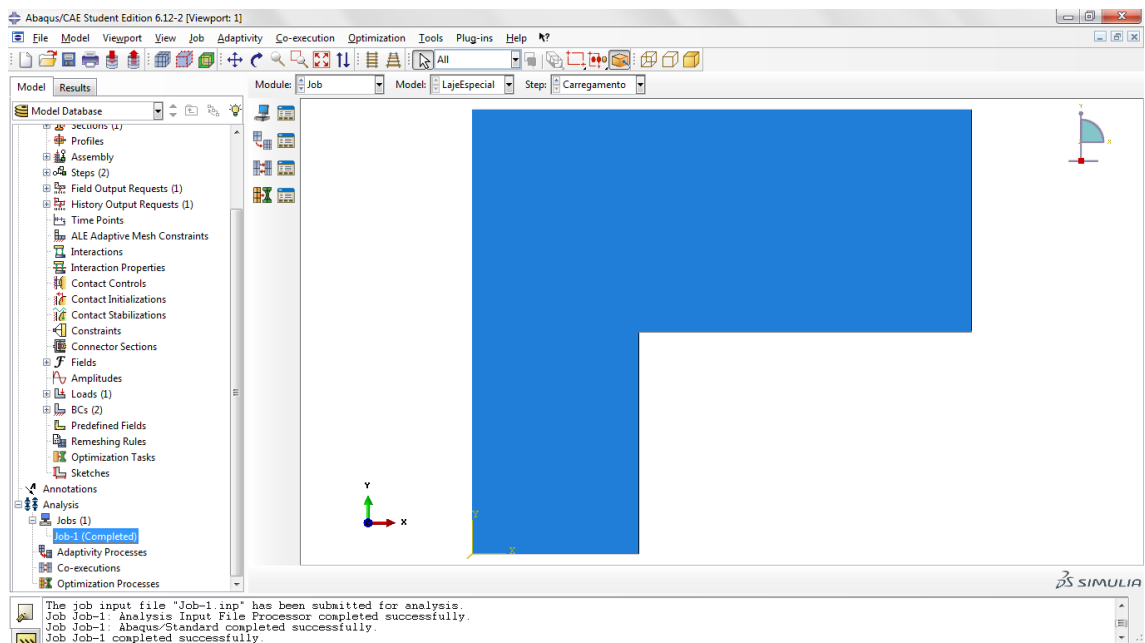


## 2.3. PROCESSAMENTO

- ✓ No menu model à esquerda, **dê** duplo clique em Jobs. Na janela Create Job, apenas **clique** em Continue... Na janela Edit Job, **clique** em OK.

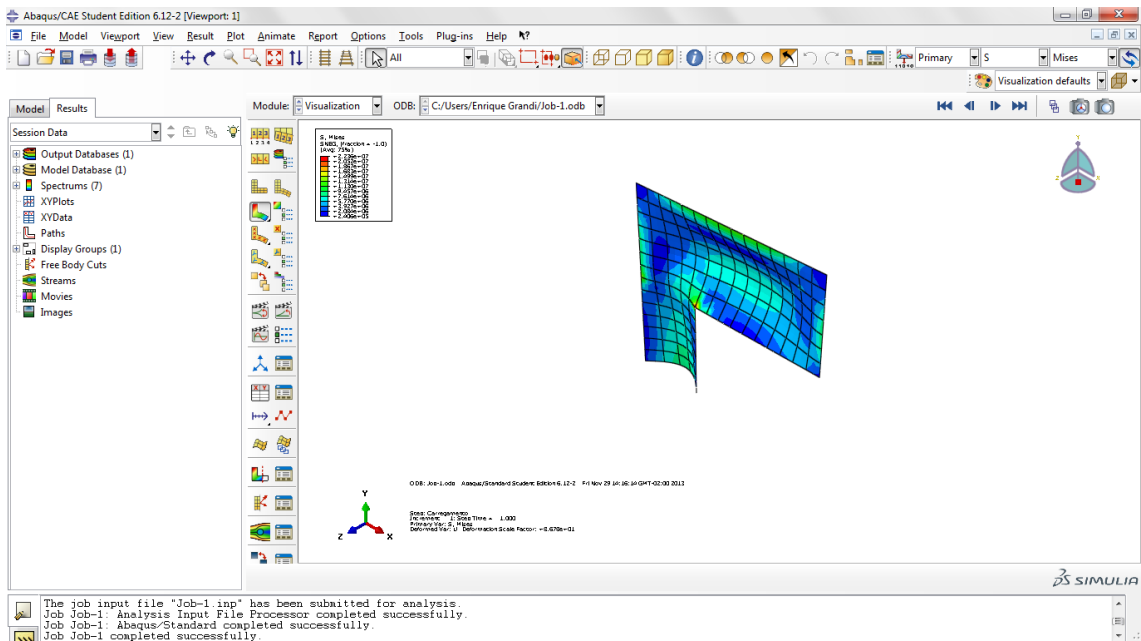


- ✓ **Abra Jobs** e **clique** com o botão direito em **Job-1**. **Clique** em **Submit**. Se aparecer uma janela dizendo “Job files already exist for Job-1. OK to overwrite?”, **clique** **OK**. **Aguarde** o processamento dos dados. Estará concluído quando aparecer “(Completed)” ao lado de **Job-1**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

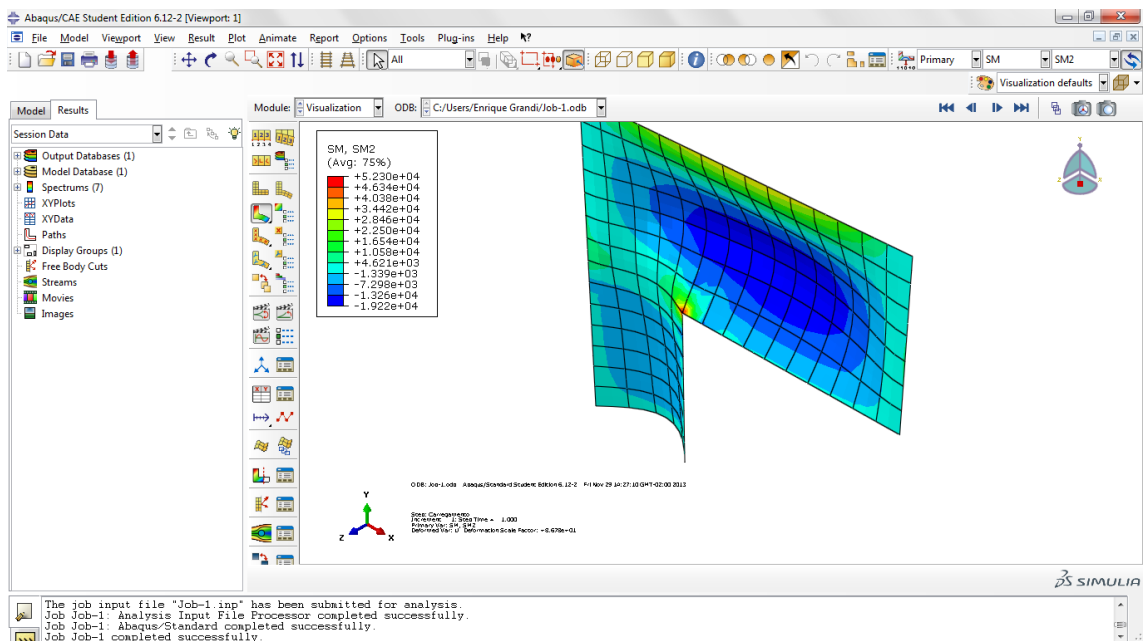


## 2.4. PÓS-PROCESSAMENTO

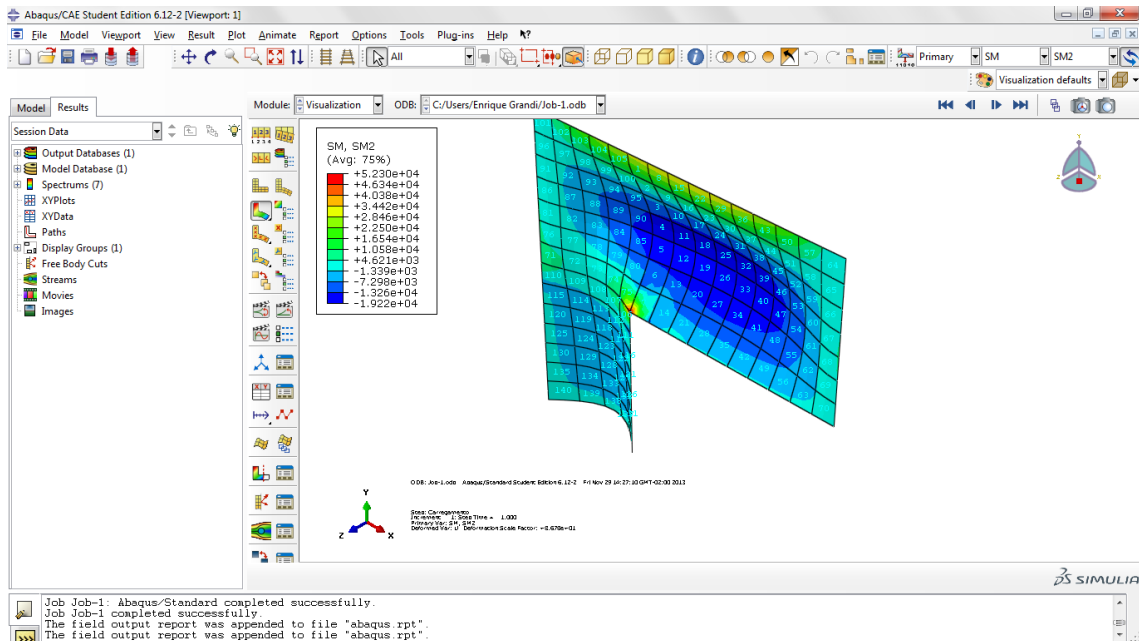
- ✓ No menu **model** à esquerda, **clique** com o botão direito em **Job-1(Completed)>Results**. A tela de análise de dados se abrirá. Na caixa de ferramentas, **clique** em **Plot Contours on Deformed Shape**.



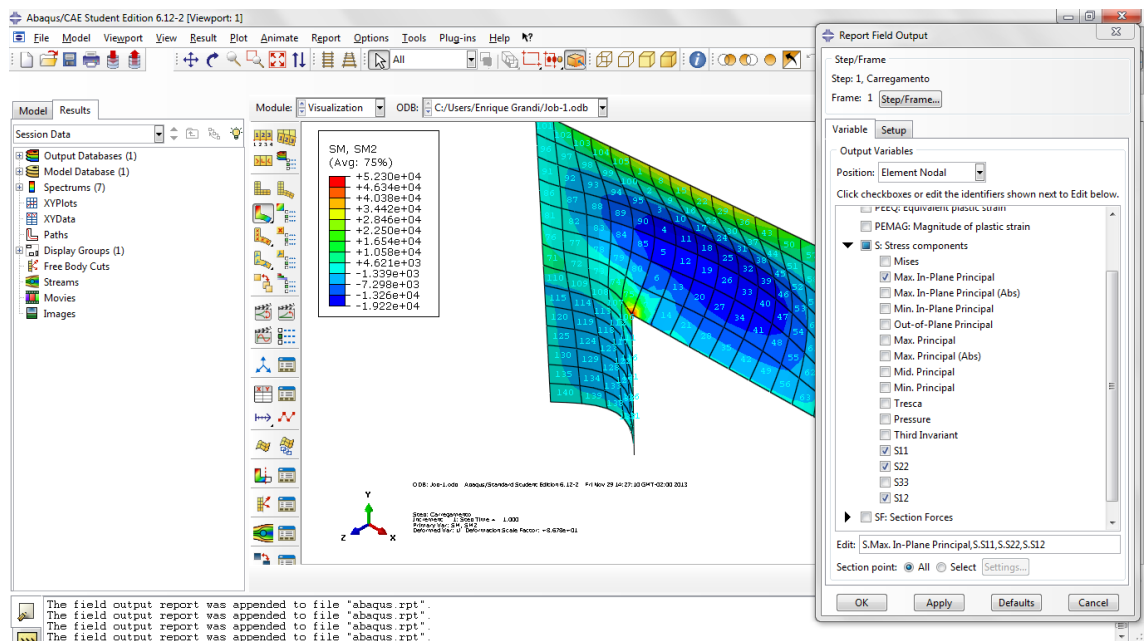
- ✓ Na barra de ferramentas no canto superior à direita, **selecione SM>SM2**. Na barra de menus principal, **clique** em **Viewport>Viewport Annotation Options....** Na janela aberta, **selecione** a aba **Legend**. **Clique** em **Set Font**. Na nova janela, **altere Size** para **14**. **Clique** em **OK** nas duas janelas abertas.



- ✓ Na caixa de ferramentas, **clique** em **Common Options**. Na guia **Labels** **marque** **Show element labels**. **Clique** em **OK**.

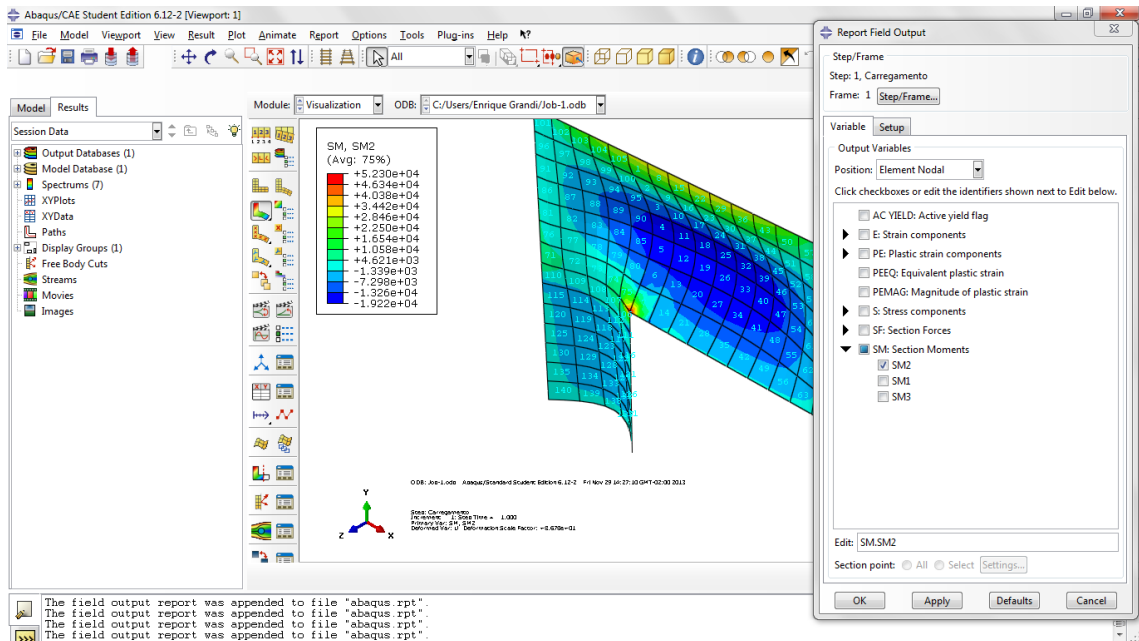


- ✓ Na barra de menu principal, **clique** em **Report>Field Output**. Na janela **Report Field Output**, **clique** em **S: Stress Components > Max. In-Plane Principal, S11, S22 e S12**. Em, marque **SM2** e **clique** em **Apply**. A mensagem aparecerá: “The field output report was appended to file “abaqus.rpt”.” O arquivo **abaqus.rpt** pode ser encontrado em **C:\Users\”Nome do Usuário”\abaqus.rpt**.





- ✓ **Repita** esse procedimento, marcando apenas **SM2** em **SM: Section Moments** Moments na janela **Report Field Output**.



- ✓ 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.odb**).

## 2.5. RESULTADOS:

abaqus - Bloco de notas

Arquivo Editar Formatar Exibir Ajuda

region boundaries )

output sorted by column "Node Label".

Field output reported at element nodes for part: LAJE-1  
 Computation algorithm: EXTRAPOLATE\_COMPUTE\_AVERAGE  
 Averaged at nodes  
 Averaging regions: ODB\_REGIONS

Element Label	Node Label	S,Max, In-P @Loc 1	S,Max, In-P @Loc 2	S, S11 @Loc 1	S, S11 @Loc 2	S, S22 @Loc 1	S, S22 @Loc 2	S, S12 @Loc 1	S, S12 @Loc 2
105	1	-2.58826e+06	12.8468e+06	-2.58859e+06	2.58859e+06	-12.8464e+06	12.8464e+06	58.4370e+03	-58.4370e+03
106	1	-2.58826e+06	12.8468e+06	-2.58859e+06	2.58859e+06	-12.8464e+06	12.8464e+06	58.4370e+03	-58.4370e+03
75	2	-14.7196e+06	25.6730e+06	-18.6026e+06	18.6026e+06	-21.7900e+06	21.7900e+06	-4.72613e+06	4.72613e+06
70	2	-14.7196e+06	25.6730e+06	-18.6026e+06	18.6026e+06	-21.7900e+06	21.7900e+06	-4.72613e+06	4.72613e+06
64	3	256.850e+03	731.077e+03	-354.012e+03	354.012e+03	-120.215e+03	120.215e+03	479.932e+03	-479.932e+03
71	4	285.064e+03	-91.5444e+03	182.019e+03	-182.019e+03	194.590e+03	-194.590e+03	-96.5555e+03	96.5555e+03
110	5	-3.20389e+06	16.7943e+06	-15.4153e+06	15.4153e+06	-4.58290e+06	4.58290e+06	3.52217e+06	-3.52217e+06
...	5	-3.20389e+06	16.7943e+06	-15.4153e+06	15.4153e+06	-4.58290e+06	4.58290e+06	3.52217e+06	-3.52217e+06
Minimum		-14.7196e+06	-3.13358e+06	-18.6026e+06	-9.18751e+06	-21.79e+06	-8.00712e+06	-4.72613e+06	-3.52217e+06
At Element Node		106	47	7	138	106	18	7	71
Maximum		9.20096e+06	25.673e+06	9.18751e+06	18.6026e+06	8.00712e+06	21.79e+06	3.52217e+06	4.72613e+06
At Element Node		60	2	60	2	84	2	5	2
Total		3.69016e+09	1.14352e+09	1.47482e+09	-1.47482e+09	1.07181e+09	-1.07181e+09	-8.75979e+06	8.75979e+06

Field Output Report, written Fri Nov 29 14:46:29 2013

Source 1

ODB: c:/Users/Enrique Grandi/Job-1.odb  
Step: Carregamento  
Frame: Increment 1: Step Time = 1.000

Loc 1 : Element nodal values from source 1 ( Average criteria = 75%, Not averaged across region boundaries )  
Output sorted by column "Node Label".

Field output reported at element nodes for part: LAJE-1  
Computation algorithm: EXTRAPOLATE\_COMPUTE\_AVERAGE  
Averaged at nodes  
Averaging regions: ODB\_REGIONS

Element Label	Node Label	SM.SM2 @Loc 1
105	1	30.8315E+03
1	1	30.8315E+03
106	2	52.2961E+03
75	2	52.2961E+03
7	2	52.2961E+03
70	3	288.516
64	4	-467.016



Minimum -19.2171E+03  
At Element 18  
Node 84  
Maximum 52.2961E+03  
At Element 106  
Node 2  
Total -2.57234E+06