

TUTORIAL DO PROGRAM ADINA 9.2

PROBLEMA: CHAPA EM BALANÇO

Considerações iniciais

O programa empregado neste tutorial é o **ADINA 9.2** para até 900 nós, disponível para *download*.em:

<http://www.adina.com/adinadownloads/900-2700nodes/ADINA900V922.exe>

As instruções para instalação estão em arquivo disponível no Moodle. Informações gerais sobre o programa e suas ferramentas podem ser encontradas no **Help** como mostrado abaixo. Exemplos resolvidos podem ser encontrados no **ADINA Primer**.

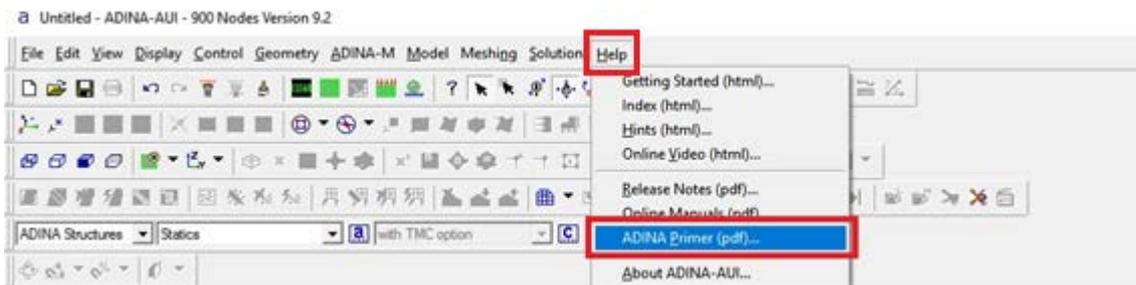


Figura 1: Acesso ao ADINA Primer (pdf)

O modelo de chapa presente neste tutorial é semelhante ao problema abordado em **Tutorial do programa ADINA – Problema: chapa biapoada sujeita a carregamento constante**. Para melhor compreensão dos passos executados, recomenda-se verificar o primeiro tutorial.

Características do problema

Seja a estrutura a seguir:

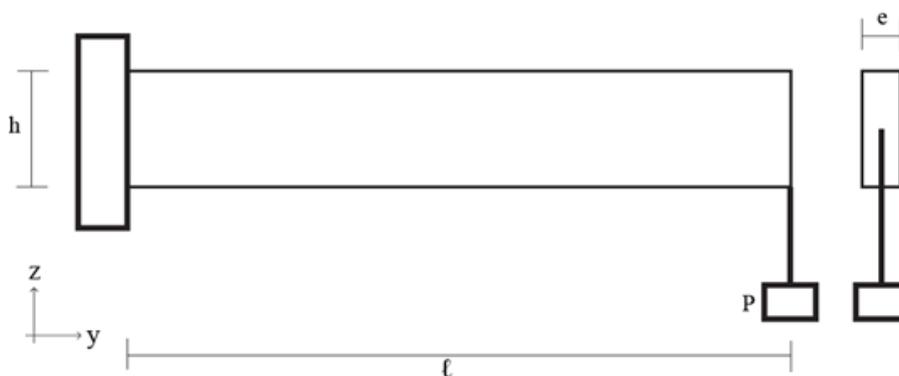


Figura 2: Chapa em balanço

Sendo as propriedades geométricas: $h = 0,10 \text{ m}$, $\ell = 1 \text{ m}$, $e = 0,01 \text{ m}$. E as propriedades materiais: $E = 70 \text{ GPa} = 7 \cdot 10^{10} \text{ N/m}^2$, $\nu = 0,33$. A intensidade da força concentrada é definida de modo que a tensão normal máxima no engaste, segundo o modelo Bernoulli-Euler, seja $\sigma_{yy,m\acute{a}x} = 0,9 \cdot \tau_y$. Sendo $\tau_y = 223 \text{ MPa} = 223 \cdot 10^6 \text{ N/m}^2$:

$$\sigma_{yy,m\acute{a}x} = \frac{P\ell \frac{h}{2}}{e \frac{h^3}{12}} \rightarrow 0,9 \cdot 223 \cdot 10^6 = \frac{6P}{0,01 \cdot 0,1^2} \rightarrow P = 3\,345 \text{ N}$$

A força concentrada a ser aplicada deve ser, então, $P = 3\,345 \text{ N}$.

Elaboração do modelo

1. Definição dos graus de liberdade do problema:

Devem-se definir os graus de liberdade do modelo. A modelagem da chapa será realizada com o modelo de Estado Plano de Tensão. Como por convenção do programa deve-se usar o plano YZ, os graus de liberdade são os deslocamentos segundo Y e Z apenas. Os graus de liberdade assim definidos denominam-se **Master DOF**.

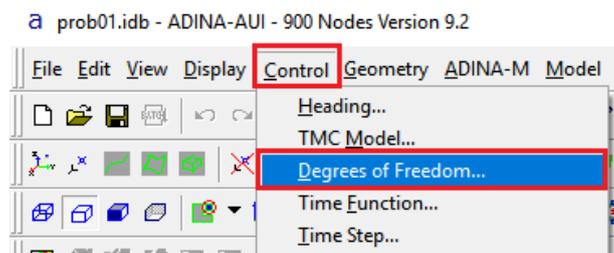


Figura 3: Definição dos Master DOF

O problema a ser definido neste tutorial pode ser estudado a partir de um plano YZ. Sendo assim, mantêm-se apenas os graus de liberdade **Y-Translation** e **Z-Translation**.

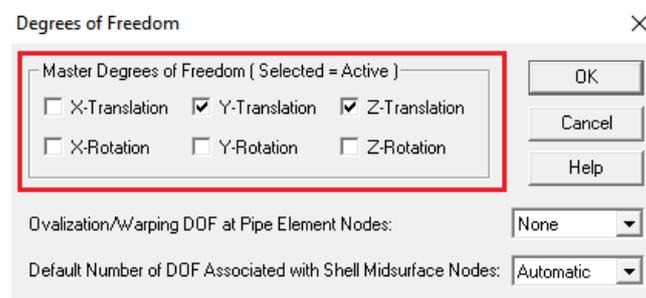


Figura 4: Master DOF para um problema no plano YZ

2. Seleção da vista:

Por padrão, o ADINA inicia-se com uma vista XY. Como o plano médio do sólido está no plano YZ, convém alterar a vista do programa para YZ.

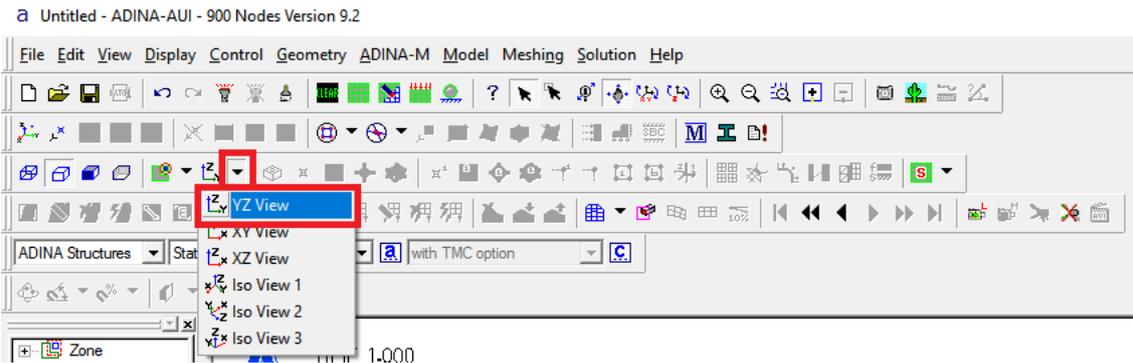


Figura 5: Vista YZ

3. Definição de pontos:

Definem-se os pontos que delimitam o sólido em **Define Points**.

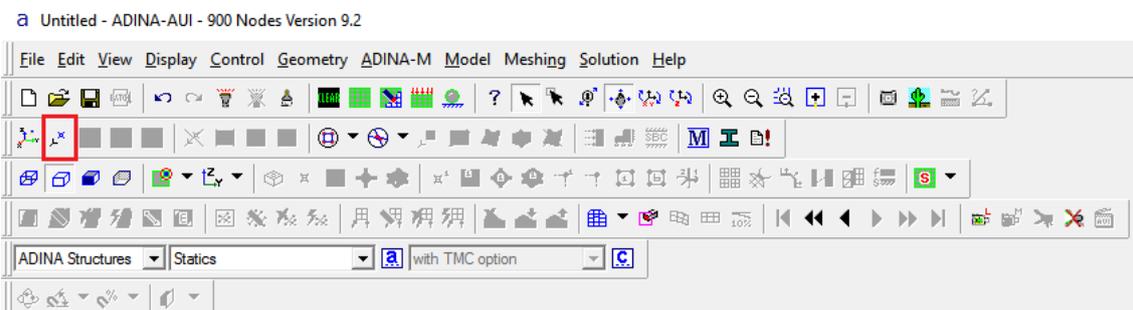


Figura 6: Definição de pontos

Ao seleccionar o ícone **Define Points**, abre-se a janela **Geometry Points**, onde serão dadas as coordenadas dos pontos. As coordenadas em X1 e o sistema de coordenadas podem ser deixados em branco, sendo então automaticamente preenchidos por zeros. Vale ressaltar que o sistema de coordenadas 0 corresponde a coordenadas cartesianas.

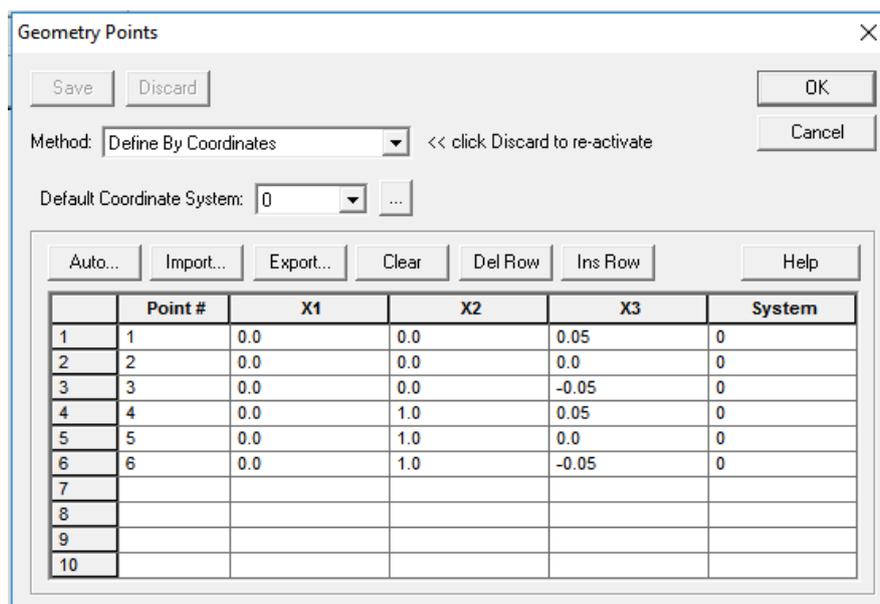


Figura 7: Coordenadas dos pontos

Preenchidos os pontos e suas coordenadas, pressiona-se **OK** para encerrar a janela.

4. Definição de superfícies:

Definidos os pontos que delimitem o sólido, definem-se duas superfícies em **Define Surfaces**.

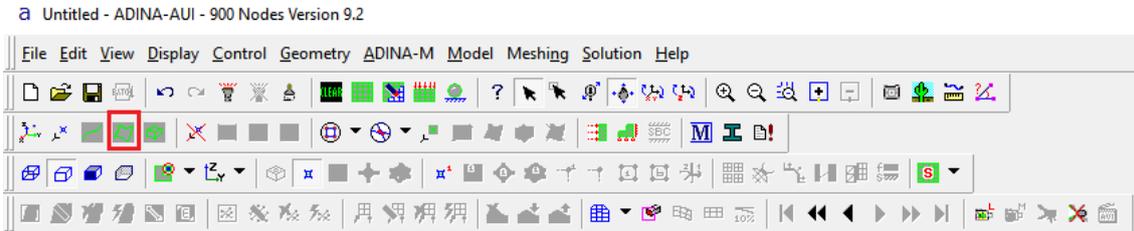


Figura 8: Definição de superfícies

Uma superfície do tipo **Vertex** pode ser definida inserindo-se os pontos referentes aos vértices ou selecionando-se ponto por ponto com o auxílio do *mouse*. Ao selecionar o ícone **Define Surfaces**, abre-se a janela **Define Surface**. Selecionando-se **Add**, gera-se uma nova superfície. A primeira superfície compõe-se dos **pontos 1, 2, 5, 4**, nesta ordem. A segunda superfície, dos **pontos 2, 3, 6, 5**. Outra opção é selecionar o ícone **P** e pressionar ponto a ponto manualmente.

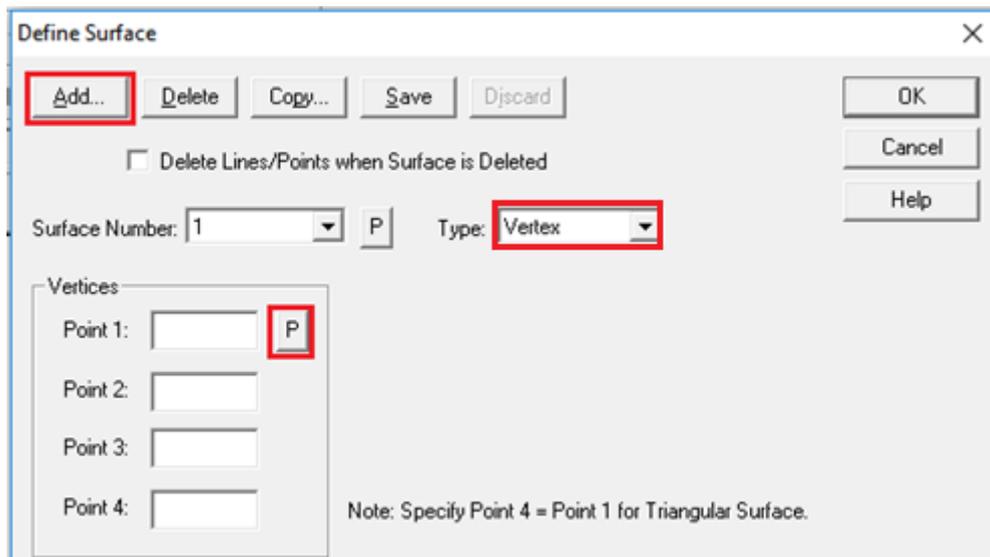


Figura 9: Pontos de cada superfície

Pode-se verificar a numeração de pontos, linhas e superfícies, além da orientação de cada linha, por meio dos ícones **Point Labels**, **Line/Edge labels** e **Surface/Face Labels**.

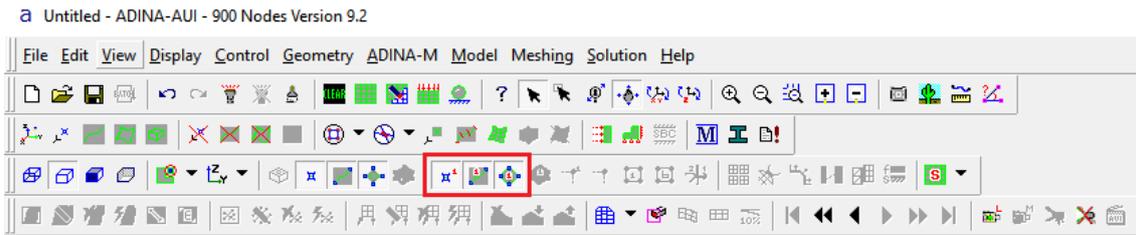


Figura 10: Visualização da numeração de pontos, linhas e superfícies, além da orientação das linhas

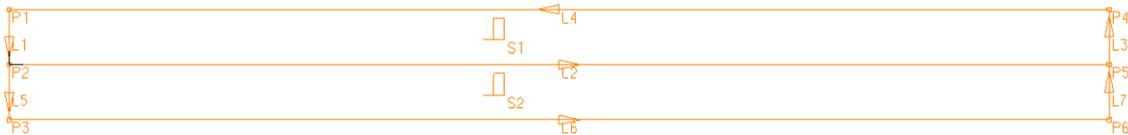


Figura 11: Pontos, linhas e superfícies gerados

Ressalta-se aqui que se optou por gerar duas superfícies a fim de que se possa aplicar a força concentrada no ponto 5 mais a frente. Por fim, define-se a espessura da chapa em cada superfície:

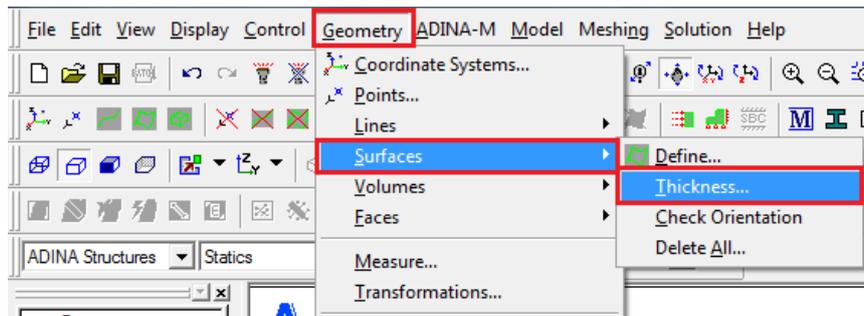


Figura 12: Definição da espessura da chapa

Surface #	Thickness	Deviation 1	Deviation 2	Deviation 3	Deviation 4
1	0.01	0.0	0.0	0.0	0.0
2	0.01	0.0	0.0	0.0	0.0

Figura 13: Espessura da chapa para cada superfície

5. Definição de condições de contorno:

As condições de contorno são definidas em **Apply Fixity**, após o qual é aberta janela homônima. Fixam-se, então, todos os graus de liberdade no engaste.

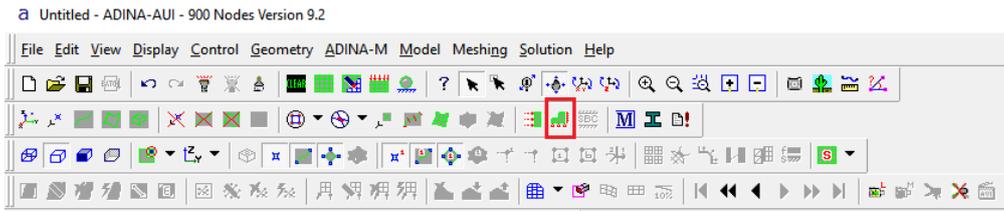


Figura 14: Definição de condições de contorno

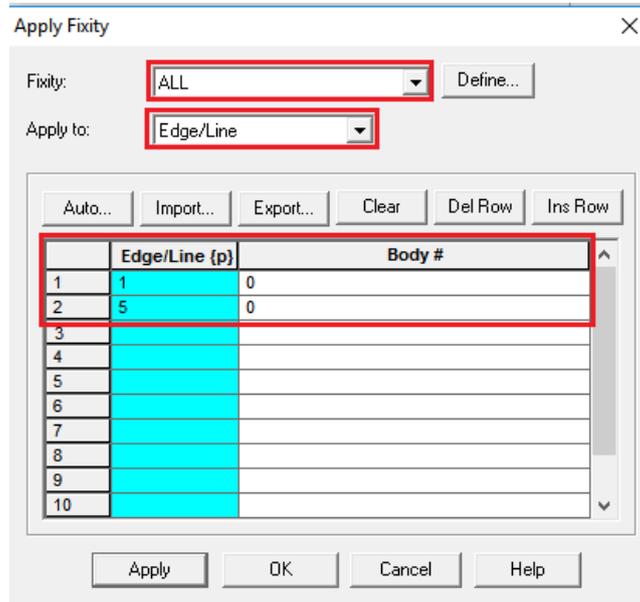


Figura 15: Aplicação de condições de contorno

Seleciona-se o ícone **Boundary Plot**, a fim de que se visualizem as condições de contorno e os respectivos locais de aplicação.

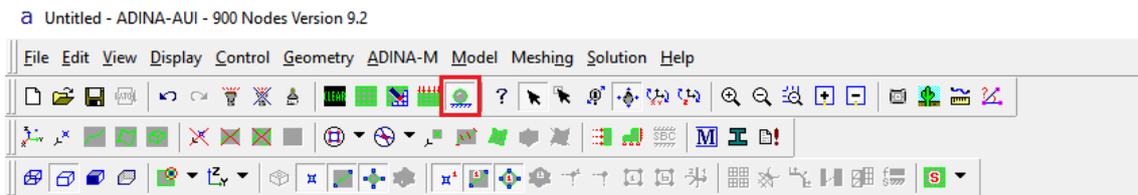


Figura 16: Visualização das condições de contorno e dos locais de aplicação

Espera-se que se tenha a aparência a seguir:



Figura 17: Condições de contorno geradas

6. Definição de carregamentos:

Selecionando-se **Apply Load**, abre-se janela homônima.

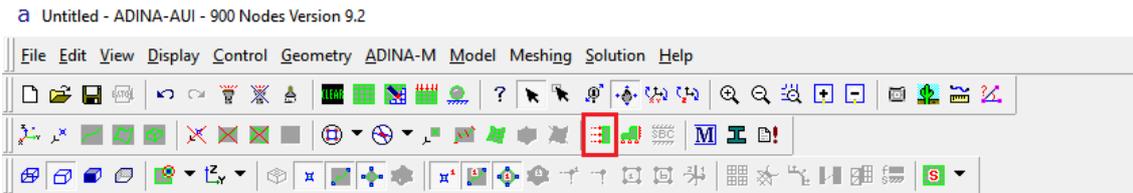


Figura 18: Definição de carregamentos

Na janela aberta, seleciona-se carregamento do tipo **Force**, aplicado a **Point**. Então, pressiona-se **Define**.

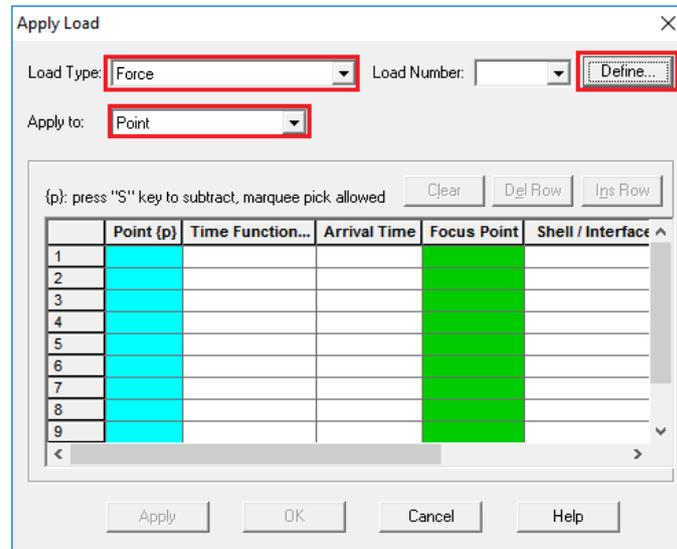


Figura 19: Definição de carregamentos

Na nova janela aberta, pressiona-se **Add** e preenchem-se os espaços com os dados ilustrados.

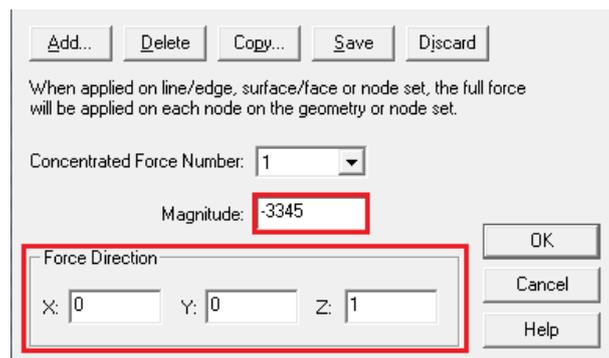


Figura 20: Determinação das características do carregamento

Aplica-se então a força P ao **ponto 5**. Selecionando-se o ícone **Load Plot**, pode-se visualizar o carregamento.

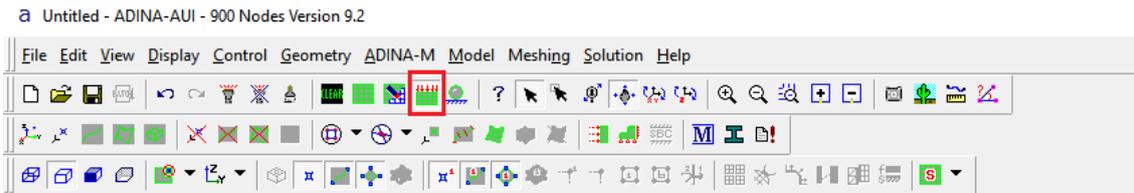


Figura 21: Visualização dos carregamentos



Figura 22: Carregamentos gerados

7. Definição de materiais:

Em **Manage Materials**, definem-se as características dos materiais.

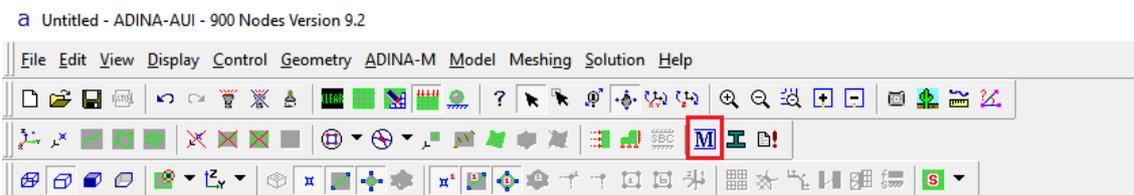


Figura 23: Definição de materiais

Na janela **Manage Material Definitions**, escolhe-se material elástico isotrópico. Então, na nova janela aberta, seleciona-se **Add** e escrevem-se os dados do material ilustrados.

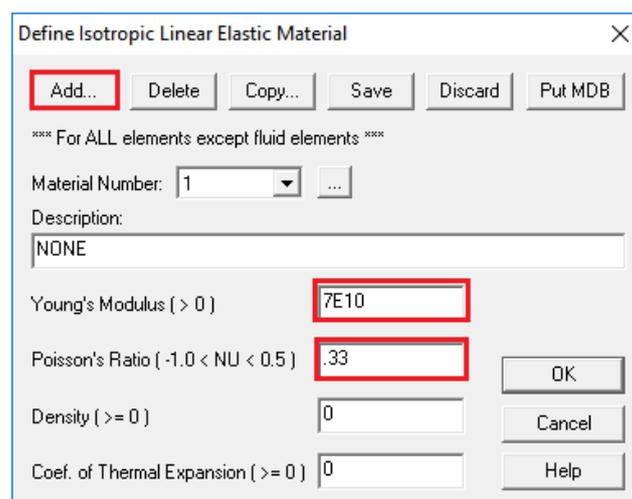


Figura 24: Determinação das características do material elástico isotrópico

Encerram-se, então, as duas janelas.

8. *Definição do tipo de elemento:*

Selecionando-se o ícone **Element groups**, abre-se a janela **Define Element Group**. Pressiona-se **Add** e marcam-se as opções grifadas a seguir. As demais opções são deixadas como estão.

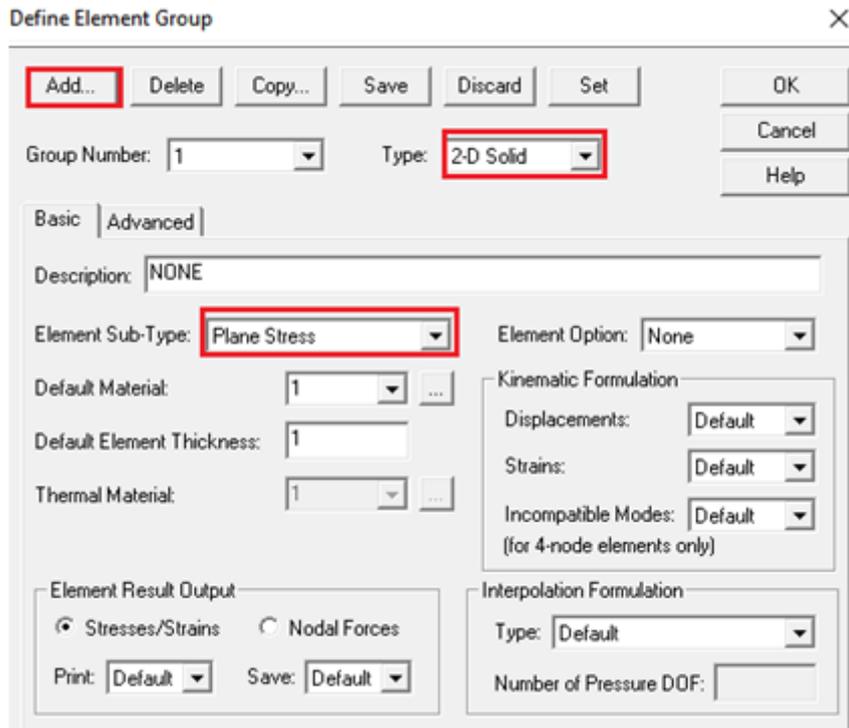


Figura 25: Características do elemento

9. *Definição da densidade da malha:*

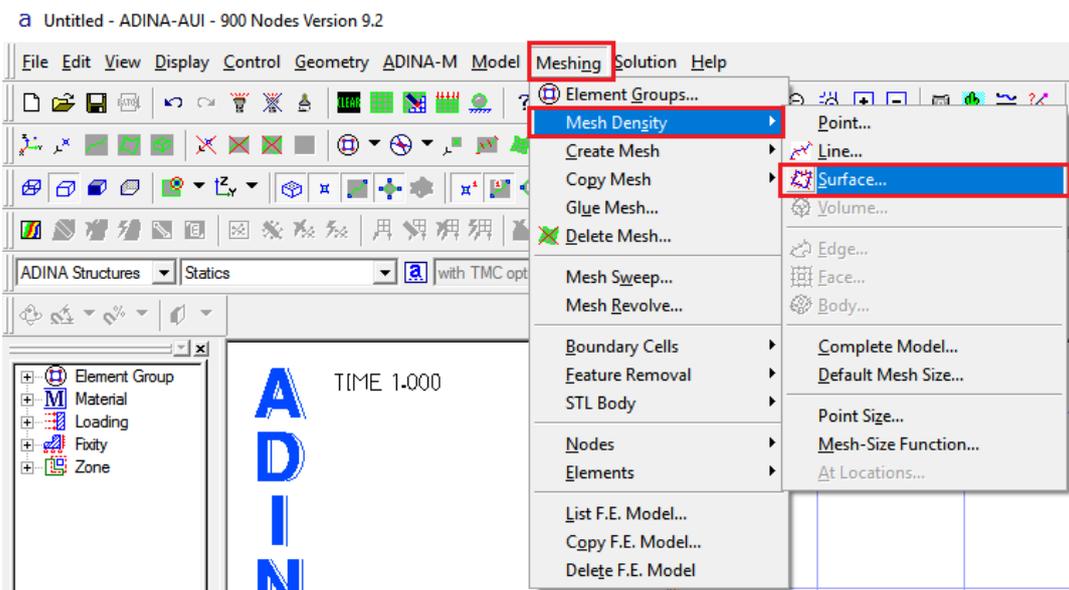


Figura 26: Definição da densidade da malha

Na janela aberta, determina-se que cada superfície terá uma subdivisão na vertical e 20 na horizontal, totalizando 40 elementos no domínio do sólido:

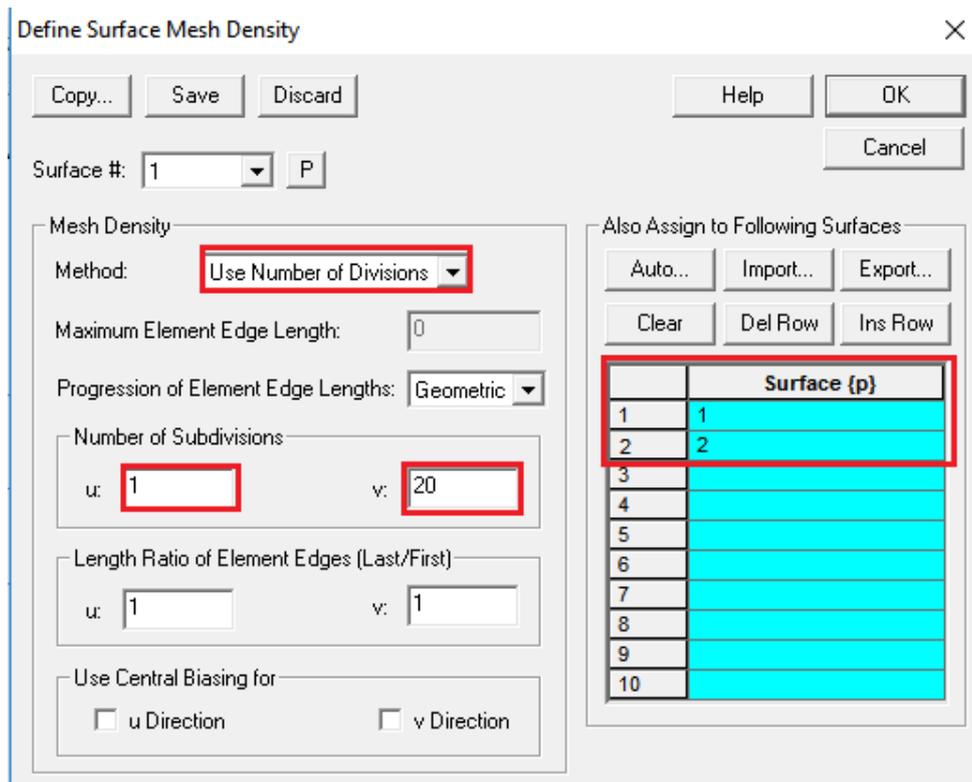


Figura 27: Determinação das divisões na malha

10. Definição da malha:

Selecionando-se o ícone **Mesh Surfaces**, abre-se janela homônima.

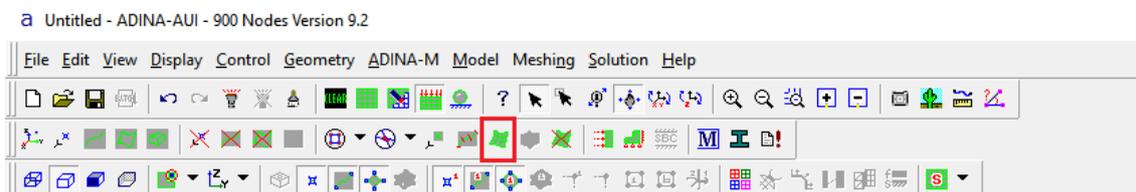


Figura 28: Definição da malha

Na janela aberta, atenta-se para o tipo de elemento, **2-D Solid**, e para o número de nós por elemento. Neste caso, adotam-se **9 nós**, de modo a garantir uma interpolação quadrática e resultados mais precisos para um número menor de elementos. Adicionam-se também as superfícies, **1 e 2**, nas quais será gerada a malha.

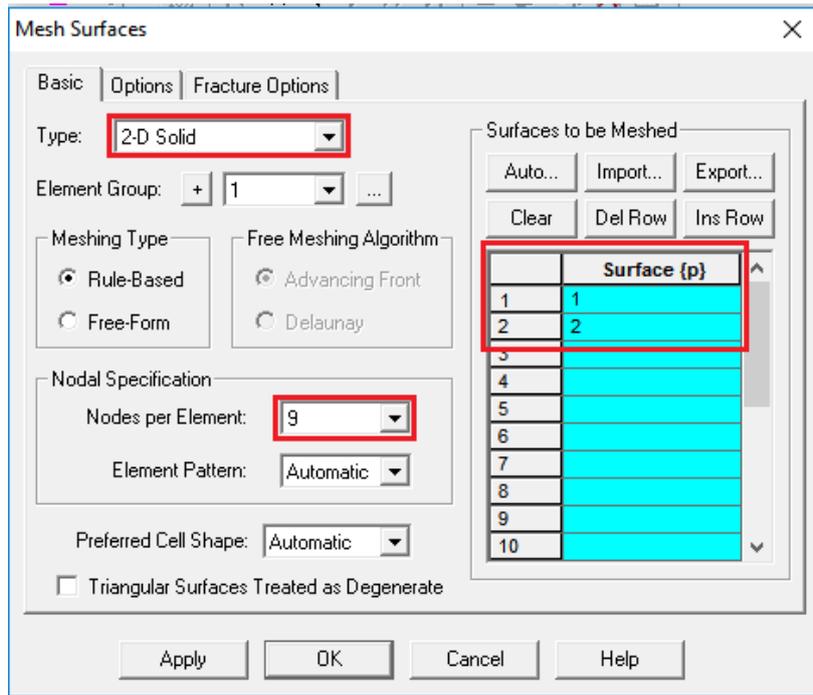


Figura 29: Definição das características da malha

Ao final, espera-se que o modelo tenha a seguinte aparência:

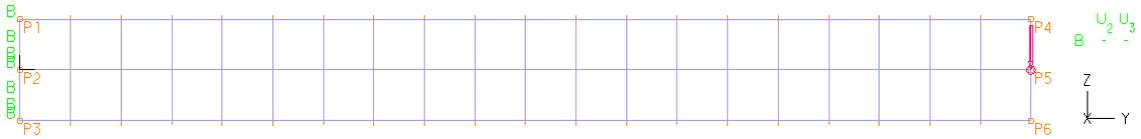


Figura 30: Modelo gerado

Processamento

Finalizado o modelo, recomenda-se salvar um arquivo no formato idb, que conterá o modelo antes de processamento. Sugere-se o nome “prob02.idb”.

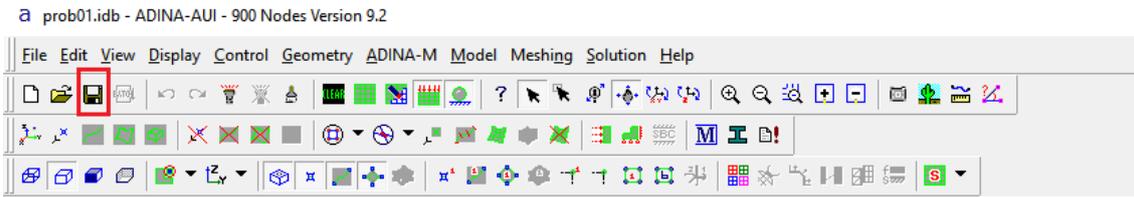


Figura 31: Salvamento do arquivo prob01.idb

Feito isso, executa-se a solução para o modelo, em **Data File/Solution**. Sugere-se o nome “prob02.dat”.

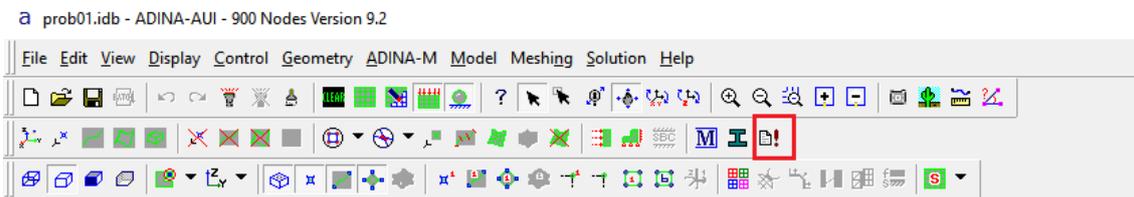


Figura 32: Processamento

Após processamento que pode levar alguns segundos, encerram-se as duas janelas abertas e entra-se no modo **Post-Processing**.

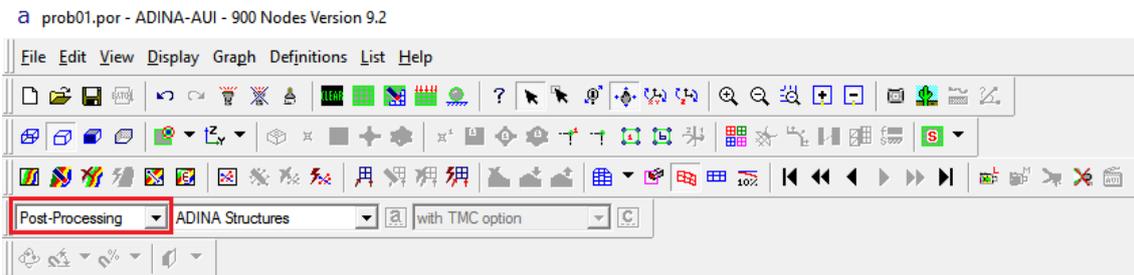


Figura 33: Modo pós-processamento

Como o arquivo idb acabou de ser salvo, podem ser descartadas as alterações, pressionando-se **Yes**. Abre-se, então, o arquivo recém-gerado “prob02.por”.

Análise de resultados

11. Magnificação da configuração deformada:

Ao abrir-se o arquivo “prob02.por”, vê-se a malha na configuração deformada. Esta se assemelha bastante à malha original visto que os deslocamentos são pequenos. Para visualizar melhor a configuração deformada, pode-se magnificar os deslocamentos.

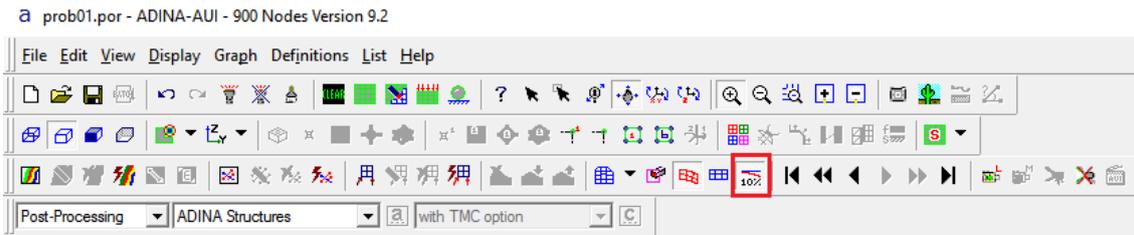


Figura 34: Magnificação dos deslocamentos

12. *Visualização da distribuição de tensões ao longo do domínio:*

Para visualizar a distribuição de tensões em cada ponto do domínio, deve-se empregar a ferramenta **Create Band Plot**.

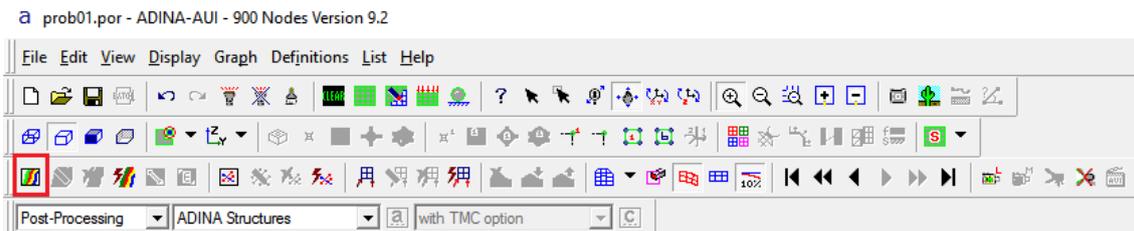


Figura 35: Geração de gráfico de distribuição de tensões

Primeiramente, elege-se a distribuição de tensões σ_{yy} .

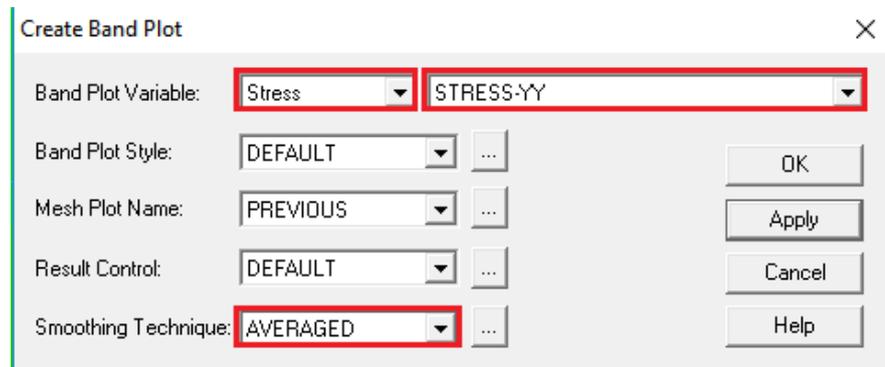


Figura 36: Definição da distribuição de tensões σ_{yy}

Obtém-se o resultado a seguir:

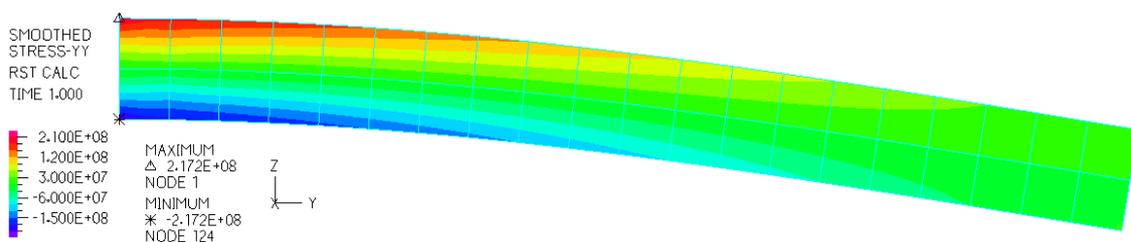


Figura 37: Distribuição de tensões σ_{yy}

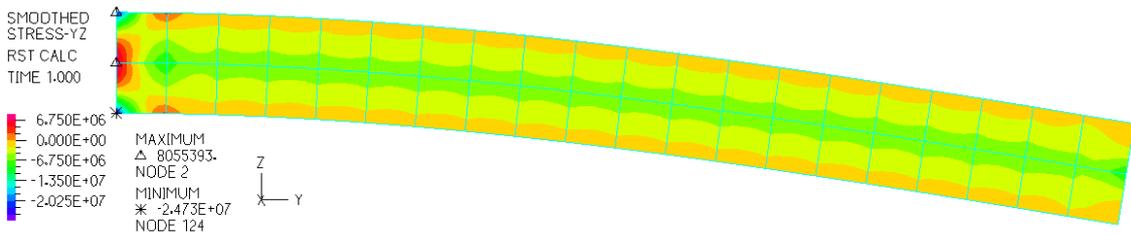


Figura 38: Distribuição de tensões τ_{yz}

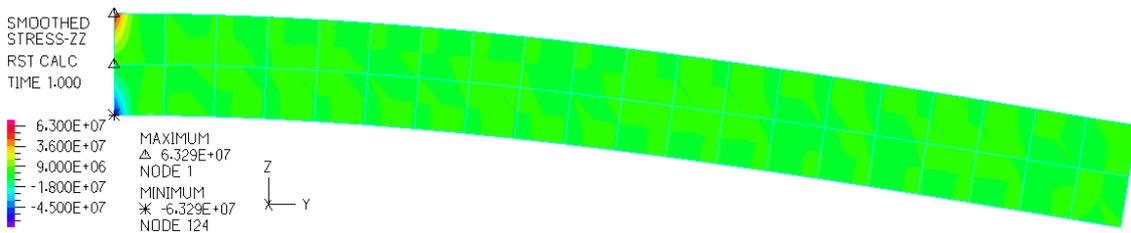


Figura 39: Distribuição de tensões σ_{zz}

Neste exemplo, uma malha simples com elementos de nove nós é suficiente para obterem-se resultados satisfatórios. Observe-se, contudo, que a técnica de suavização adotada (**Smoothing Technique**), a saber, **Averaged**, pode mascarar descontinuidades no modelo. Recomenda-se, portanto, cautela ao adotá-la.

13. Elaboração de gráficos de curvas de resposta por Model Point:

Primeiramente, convém exibir a numeração dos nós, em **Node Labels**:



Figura 40: Exibição da numeração de nós

Então, gera-se um **Model Point** a partir de um nó, ou um **Node Point**:

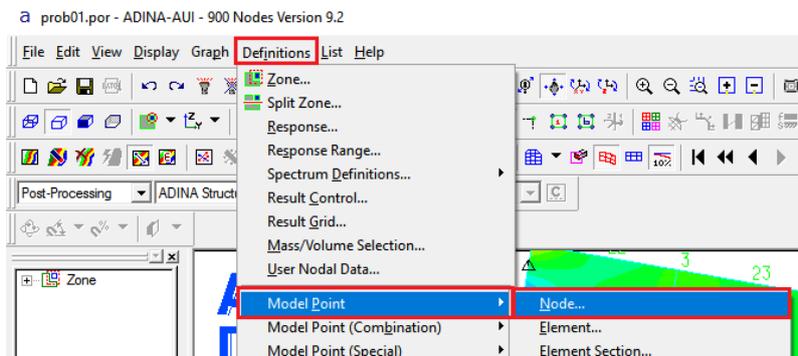


Figura 41: Geração de Model Point a partir de nó

O **Node Point** pode ser escolhido manualmente ou digitando-se o seu número.

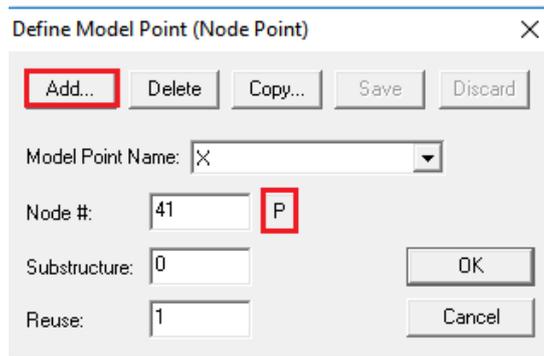


Figura 42: Definição de Node Point

Pressiona-se **OK** para encerrar a janela e então **F9** para limpar da tela de fundo.

14. *Elaboração de listas de valores por Model Point:*

Na aba **List**, podem-se obter os valores, tais como tensões e deslocamentos, para **Model Points** gerados anteriormente.

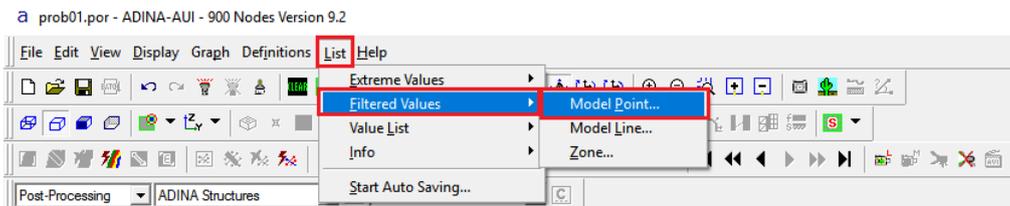


Figura 43: Criação de lista de valores por Model Point

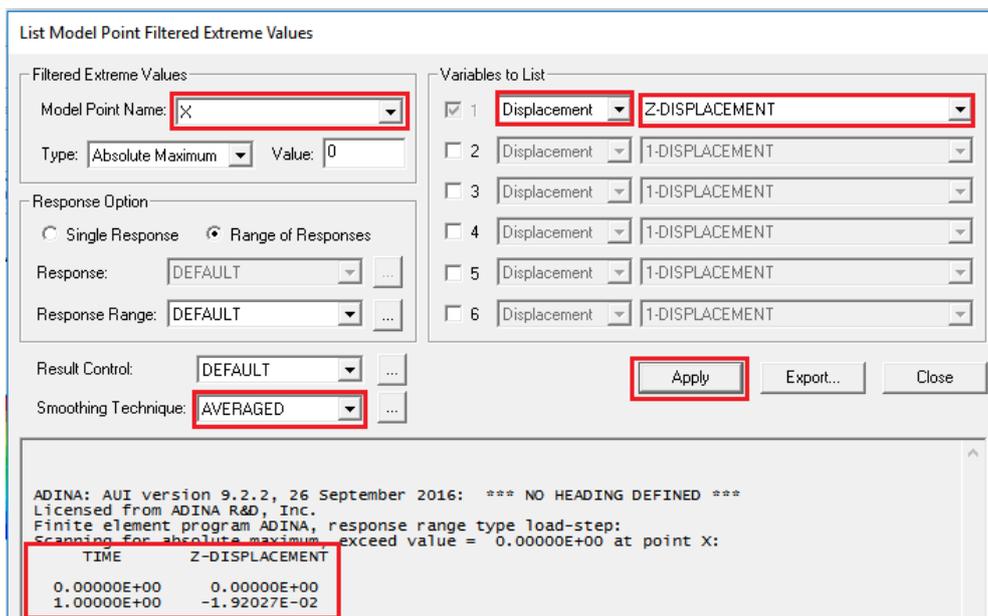


Figura 44: Lista com deslocamento em Z do Model Point

Note-se que em **Variables to list** é possível listas diversas variáveis simultaneamente. Essa ferramenta é bastante útil para a elaboração de estudos de convergência, a partir da obtenção de listas malhas progressivamente refinadas.

15. *Elaboração de gráficos de curva de resposta por Model Line:*

Primeiro, gera-se um **Model Line**:

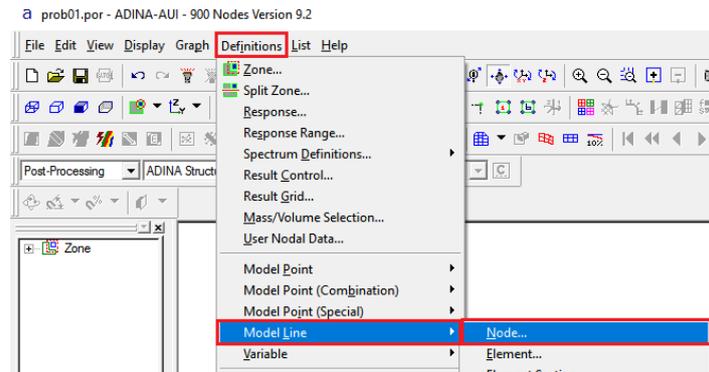


Figura 45: Gráfico de curva de resposta por Model Line

Selecionam-se os nós da seção transversal no engaste, a saber, **nós 1, 43, 2, 145 e 124**. Como a malha deste exemplo é pouco refinada, convém simplesmente digitar os nós na janela. Todavia, para malhas com muitos nós, recomenda-se selecionar nó a nó com o auxílio do *mouse*, após pressionar duas vezes sobre qualquer ponto da coluna em azul.

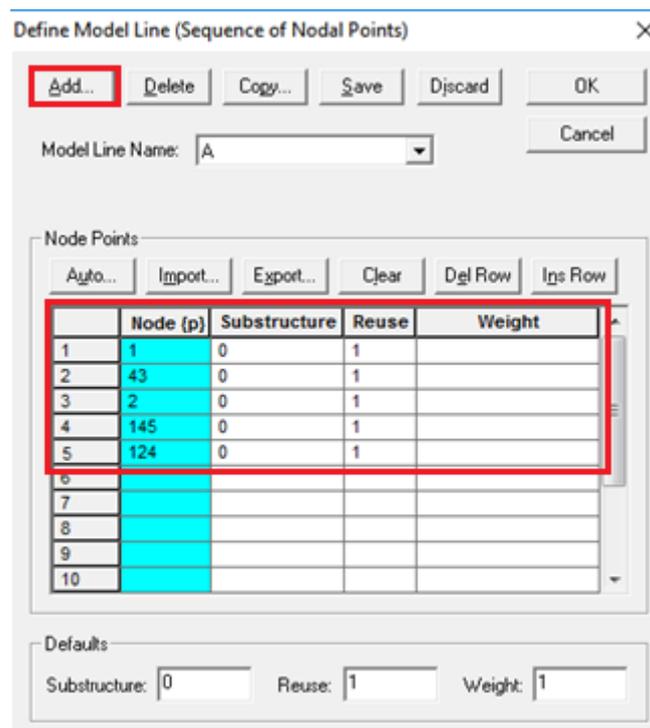


Figura 46: Definição de sequência de Nodal Points

Gerado o **Model Line**, deve-se abrir a janela de elaboração do gráfico:

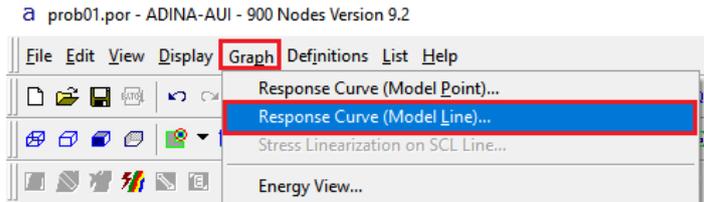


Figura 47: Gráfico de curva de resposta por Model Line

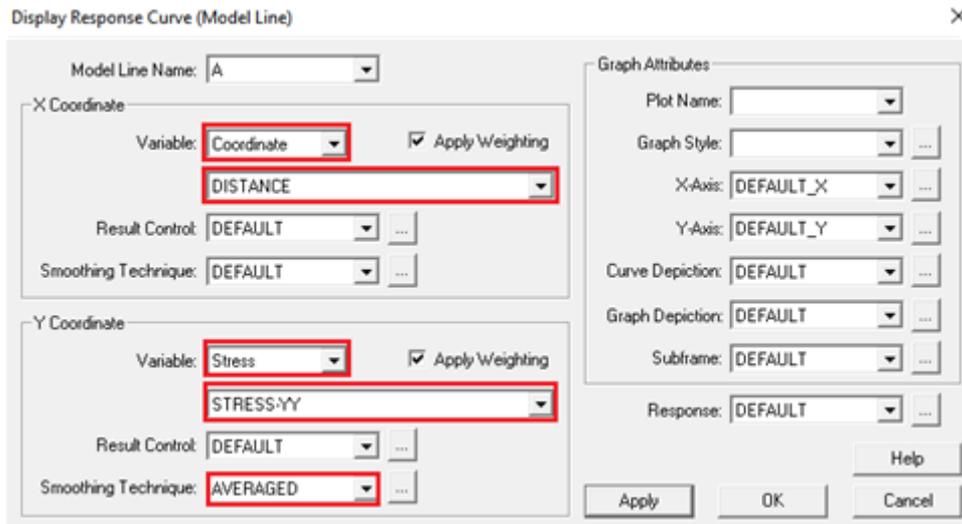


Figura 48: Geração do gráfico de resposta por Model Line

Ressalta-se a importância de impor **Averaged** como técnica de suavização, a fim de que o gráfico seja efetivamente gerado.

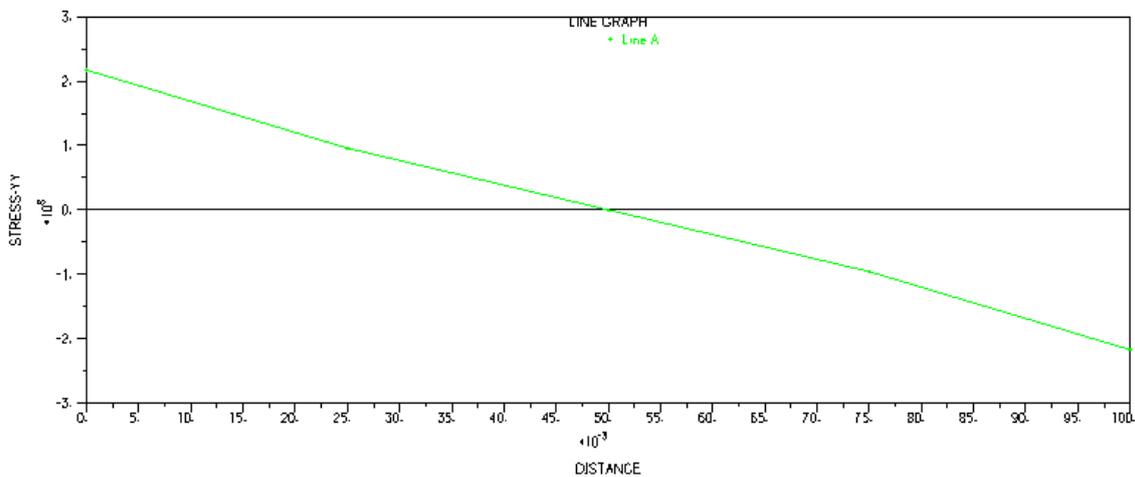


Figura 49: Gráfico de curva de resposta para tensão σ_{yy}

Observa-se da imagem anterior que o que se está a representar é a tensão normal ao longo da seção transversal no engaste.

16. *Elaboração de lista de valores por Model Line:*

O passo adiante é muito semelhante ao procedimento de listagem outrora feito:

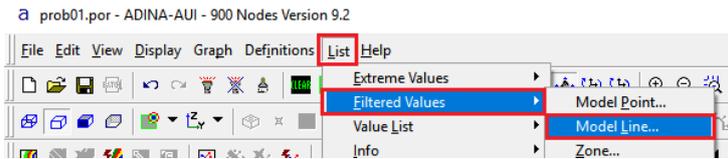


Figura 50: Criação de lista de valores por Model Line

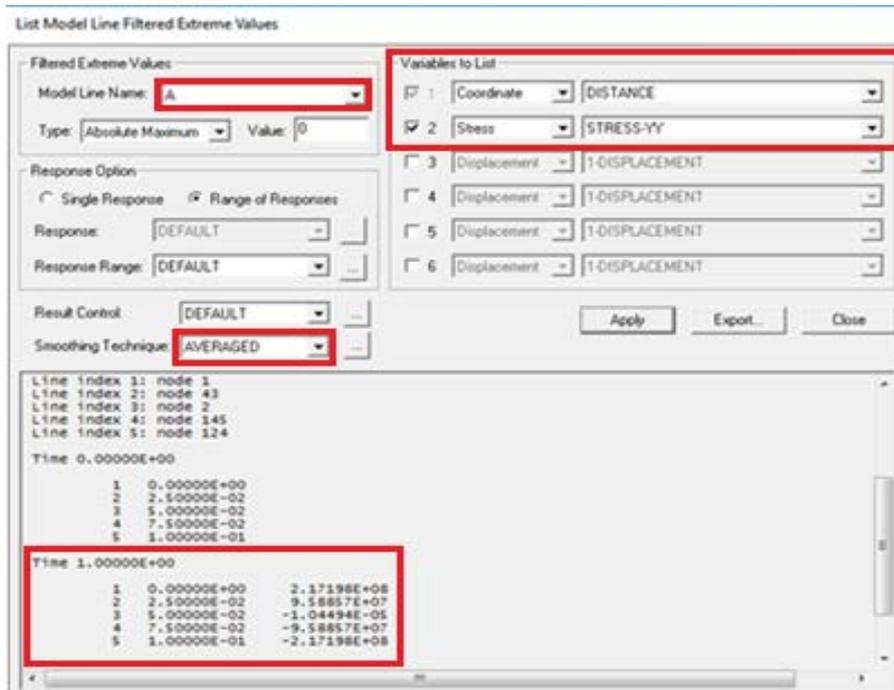


Figura 51: Lista com tensões normais do Model Line