

TUTORIAL DO PROGRAMA ADINA 9.2

PROBLEMA: PÓRTICO PLANO SUJEITO A ESFORÇOS NODAIS E RECALQUES DE APOIO

Considerações iniciais

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

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

As instruções para instalação estão disponíveis em arquivo no ambiente Moodle. Informações gerais sobre o programa e suas ferramentas podem ser encontradas no próprio programa, na aba **Help**. Para maior compreensão do programa, recomenda-se visualizar os tutoriais já abordados na disciplina PEF3302 – Mecânica das Estruturas I e executar os exercícios-exemplos propostos no **ADINA Primer (pdf)**.

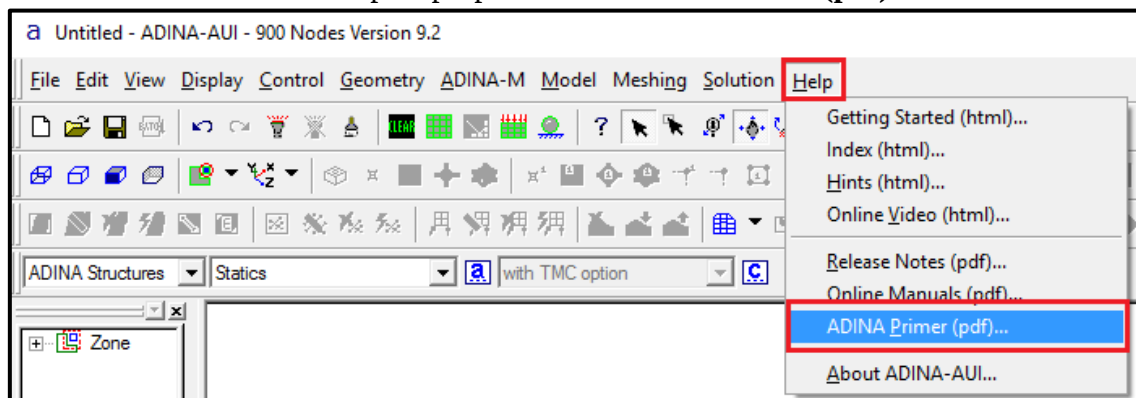


Figura 1

Problema

Seja o pórtico a seguir, que é o exemplo 5.4 do livro Lições em mecânica das estruturas: trabalhos virtuais e energia:

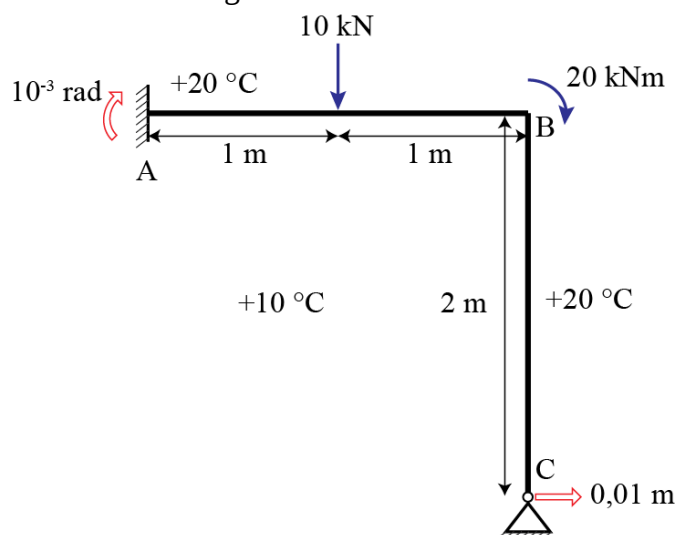


Figura 2

Cada barra tem seção transversal de dimensões $b = 0,12\text{ m}$ e $h = 0,20\text{ m}$, e módulo de elasticidade $E = 2 \cdot 10^7\text{ kN/m}^2$. O coeficiente de dilatação térmica é dado por $\alpha = 10^{-5}\text{ }^\circ\text{C}^{-1}$.

Elaboração do modelo

Primeiramente, convém afirmar que o ADINA não permite a imposição de gradiente de temperatura em elementos de barra, tal qual o Ftool, por exemplo. Sendo assim, com vistas a simplificar o exercício, desconsideram-se as variações térmicas por ora.

Definição dos graus de liberdade do modelo

O problema abordado consiste em um pórtico plano, cuja cinemática se desenvolve no mesmo plano. Dessa forma, modelando-se o pórtico no plano XY, conclui-se que todas as translações se darão em X e Y. Ademais, sendo um modelo de barras, deve-se considerar um terceiro grau de liberdade, isto é, a rotação da seção transversal em torno de Z, em cada ponto.

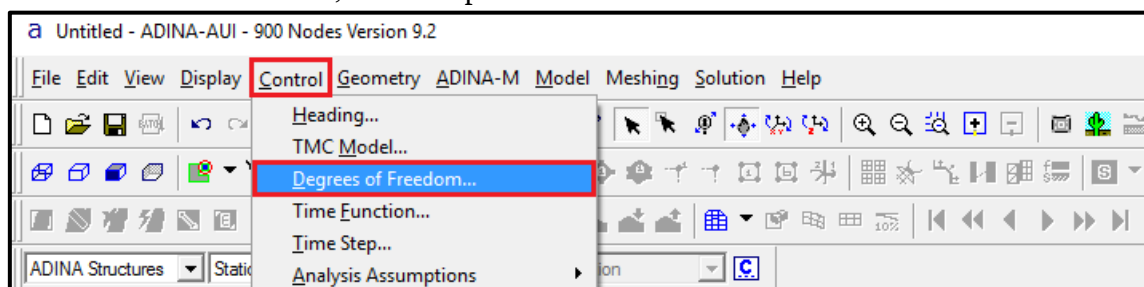


Figura 3

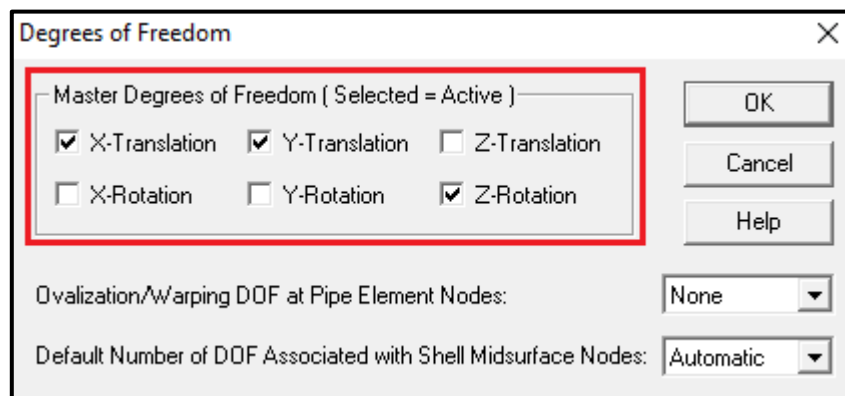


Figura 4

Definição dos pontos principais do modelo

Os pontos principais serão aqueles que conectam as barras e também aqueles onde se processam os esforços externos. Noutras palavras, serão os pontos A, B e C da figura 2, mais o ponto onde se aplica a força externa igual a 10 kN.

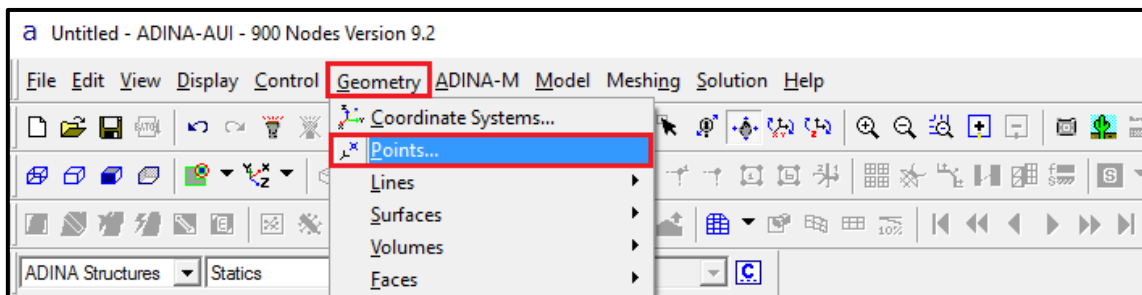


Figura 5

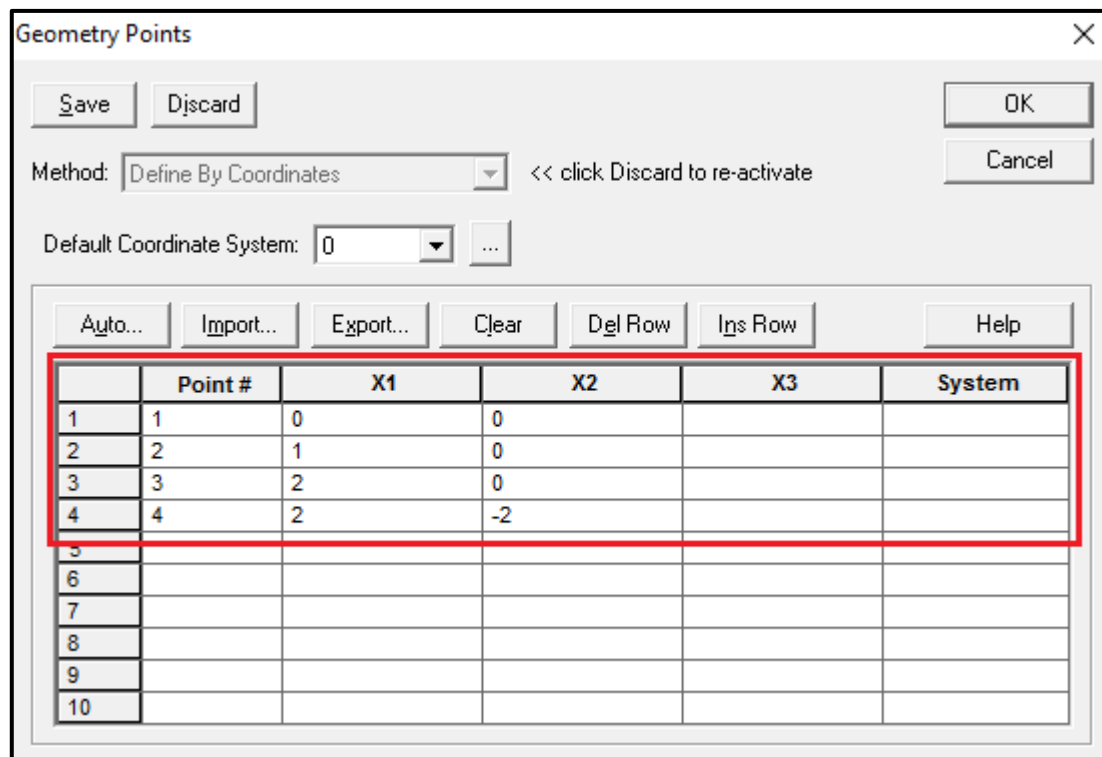


Figura 6

Recorde-se que lacunas mantidas sem valores são automaticamente preenchidas com zeros. Ademais, **System** do tipo 0 corresponde ao sistema de coordenadas cartesianas – (O,X,Y,Z).

Definição das barras do pórtico

Cada barra equivale a uma linha que ligará dois pontos do modelo. Sendo assim, deve haver três linhas, conectando os pontos 1 ao 2, 2 ao 3 e 3 ao 4, respectivamente.

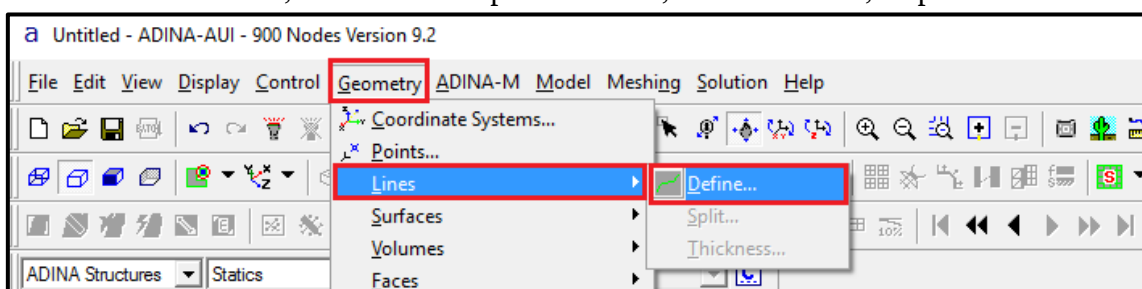


Figura 7

Cada linha deve ser adicionada pressionando-se o botão **Add** e nomeando-se os pontos a serem conectados.

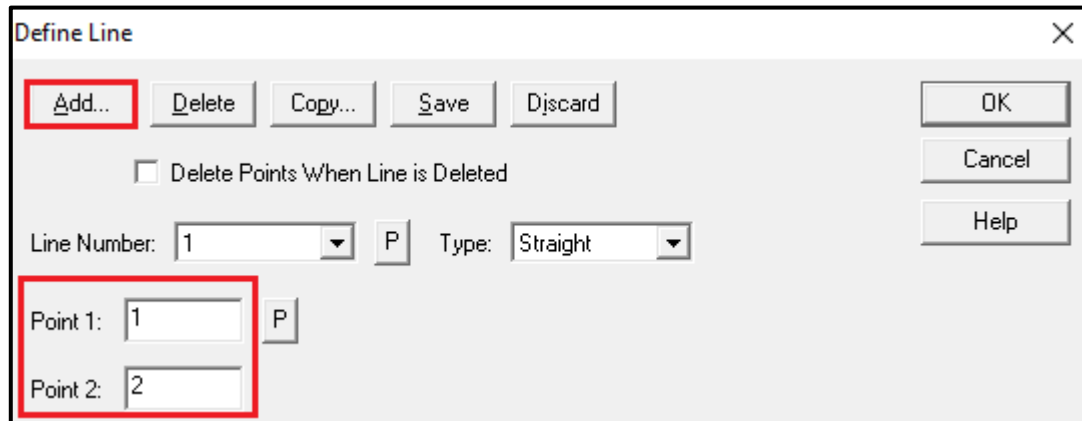


Figura 8

O processo de conexão também pode ser realizado manualmente, pressionando-se o botão **P** e selecionando-se então um ponto após o outro com o *mouse*. As nomenclaturas de pontos e linhas gerados, além da orientação destas, podem ser explicitadas em **Point Labels** e **Line/Edge Labels**.

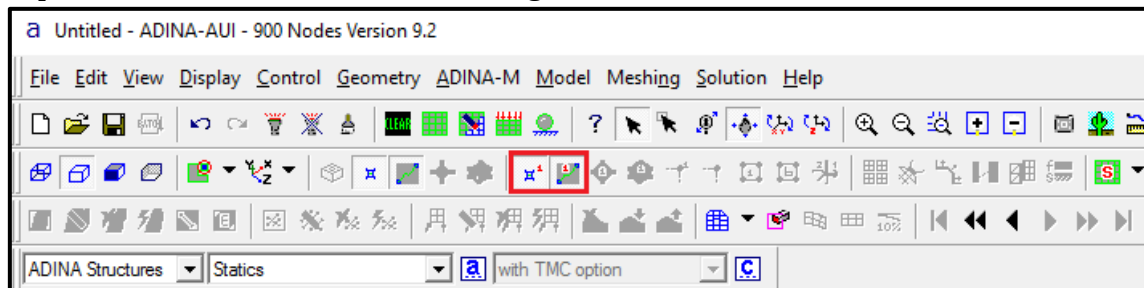


Figura 9

A esta altura, espera-se que o modelo tenha a aparência a seguir:

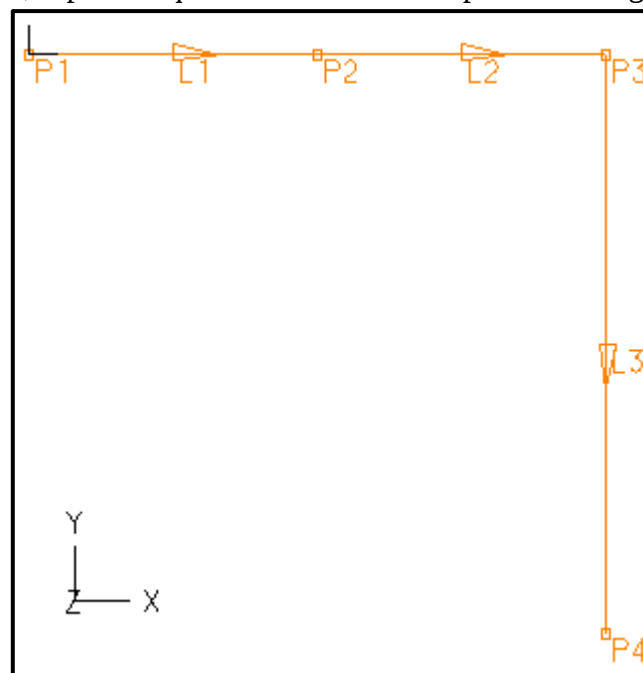


Figura 10

Prescrição de restrições ao deslocamento no contorno

Nesta etapa, determina-se a parcela do sólido em que não haverá deslocamentos. No contexto de estruturas reticuladas, trata-se de determinar onde se localizarão os apoios e de que tipo eles serão. No ponto A, deve haver um engaste. No ponto C, por sua vez, deve-se impor um apoio fixo em X e Y. Todavia, como o problema prevê recalques – um angular em A e outro linear em C – deve-se liberar a rotação em torno de Z no ponto A e a translação em X no ponto C.

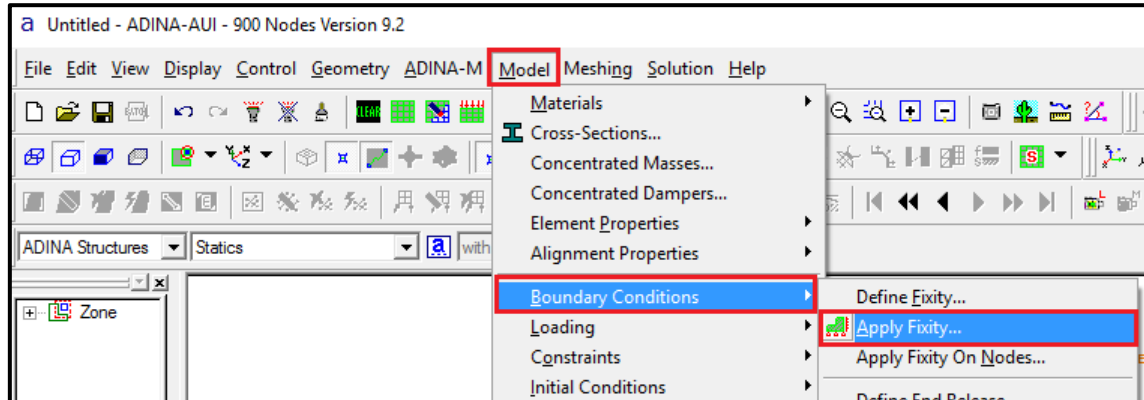


Figura 11

Na janela que se abrirá, haverá, por padrão, dois tipos de condições de contorno: **ALL** e **NONE**. Como nenhum destes corresponde às prescrições cinemáticas para este modelo, devem-se ser definidas novas condições em **Define**.

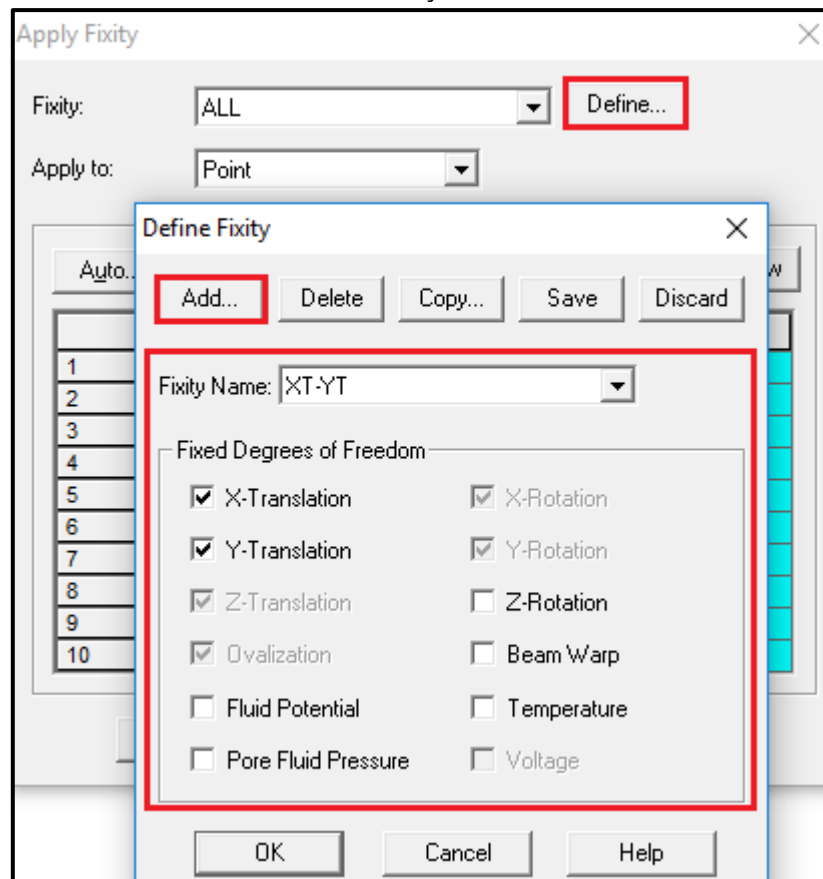


Figura 12

A condição de contorno **XT-YT** (X-Ttranslation e Y-Translation fixos) deverá ser aplicada no ponto 1.

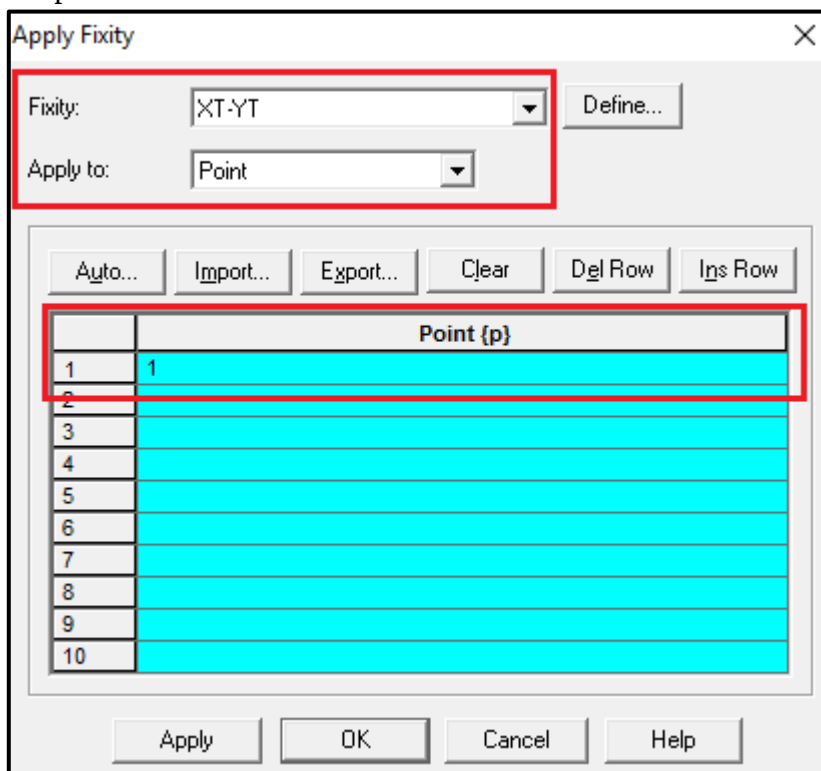


Figura 13

Semelhantemente, a condição de contorno **YT** (Y-Translation fixo) deverá ser aplicada no ponto 4.

Prescrição de carregamentos no contorno

Caracterizada a região dos vínculos, deve-se definir a região onde serão aplicadas as forças de superfície ou de volume. Contextualizando-se para estruturas reticuladas novamente, trata-se de determinar forças e momentos que, neste modelo, são todos pontuais.

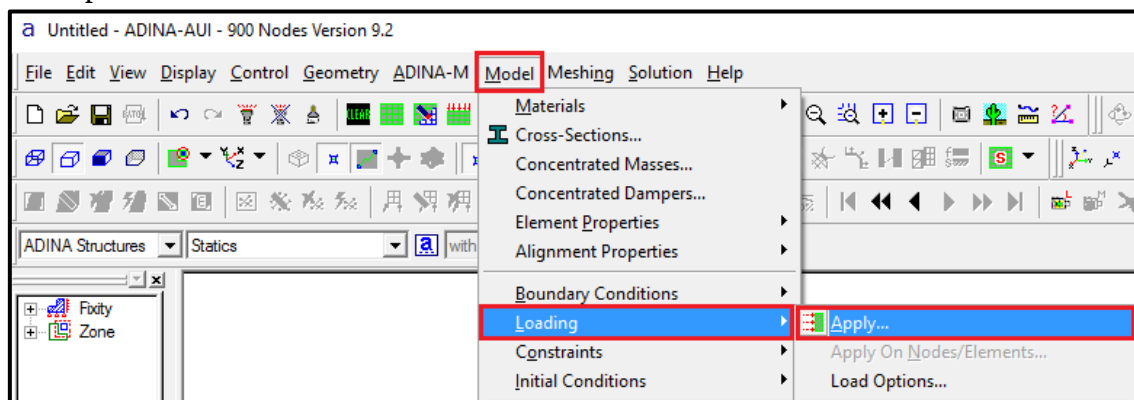


Figura 14

Na janela que se abrirá, haverá uma série de classes de carregamentos disponíveis. A fim de criar uma nova força pontual, escolhe-se carregamento do tipo

Force e pressiona-se o botão **Define**. A direção da força é definida pelo vetor que, neste caso, deverá apontar para baixo em Y. Tal força deverá ser aplicada no ponto 2.

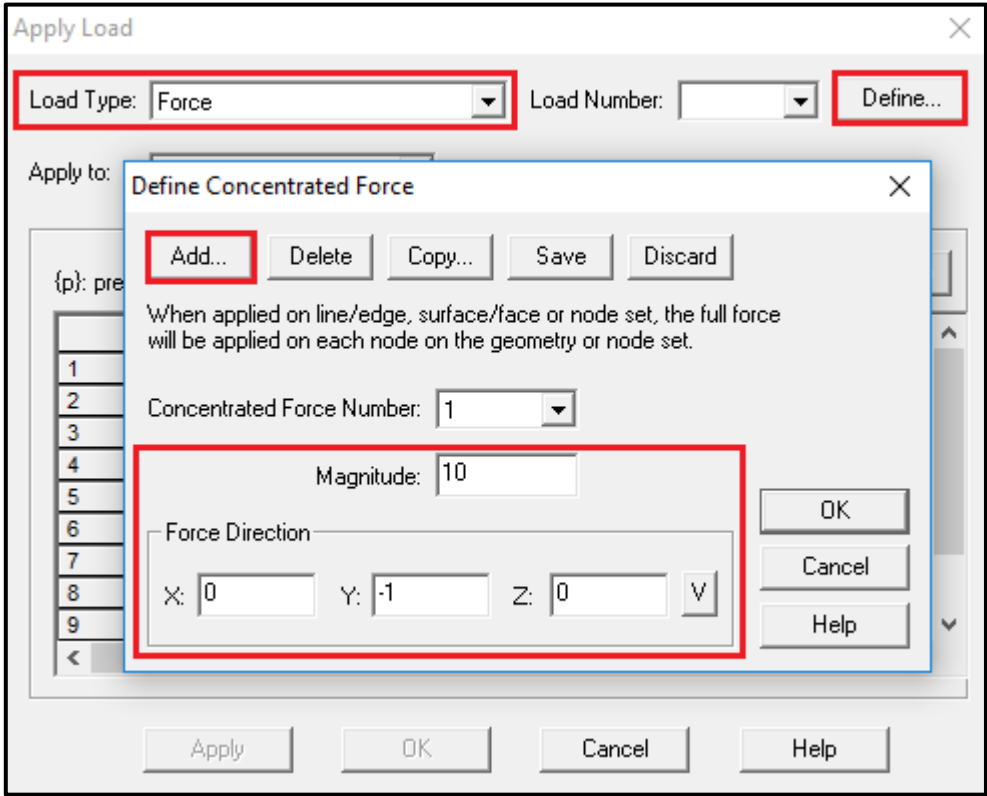


Figura 15

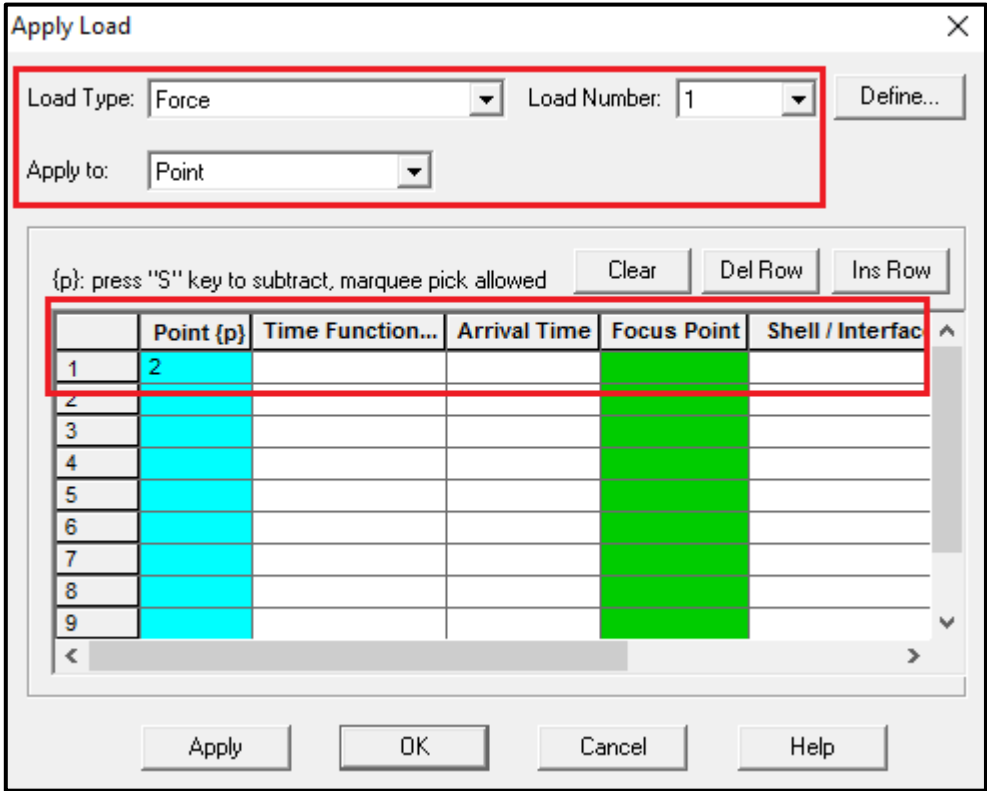


Figura 16

Da mesma forma, gera-se um carregamento do tipo **Moment** e define-se um momento com intensidade igual a 20 e direção dada pelo versor $0\hat{X} + 0\hat{Y} - \hat{Z}$, a ser aplicado no ponto 3. Recorde-se que o sinal de momentos e rotações pode ser elucidado por meio da “regra da mão direita”. Ademais, como o ADINA não trabalha com unidades de maneira explícita, cabe ao usuário definir valores de modo que as unidades das grandezas do modelo sejam consistentes entre si.

Por fim, deve-se prescrever os recalques que, no ADINA, são impostos sob a forma de carregamentos do tipo **Displacement**. O recalque angular de intensidade 10^{-3} rad – sentido horário e, portanto, com sinal negativo pela “regra da mão direita” – deverá ser imposto ao ponto 1.

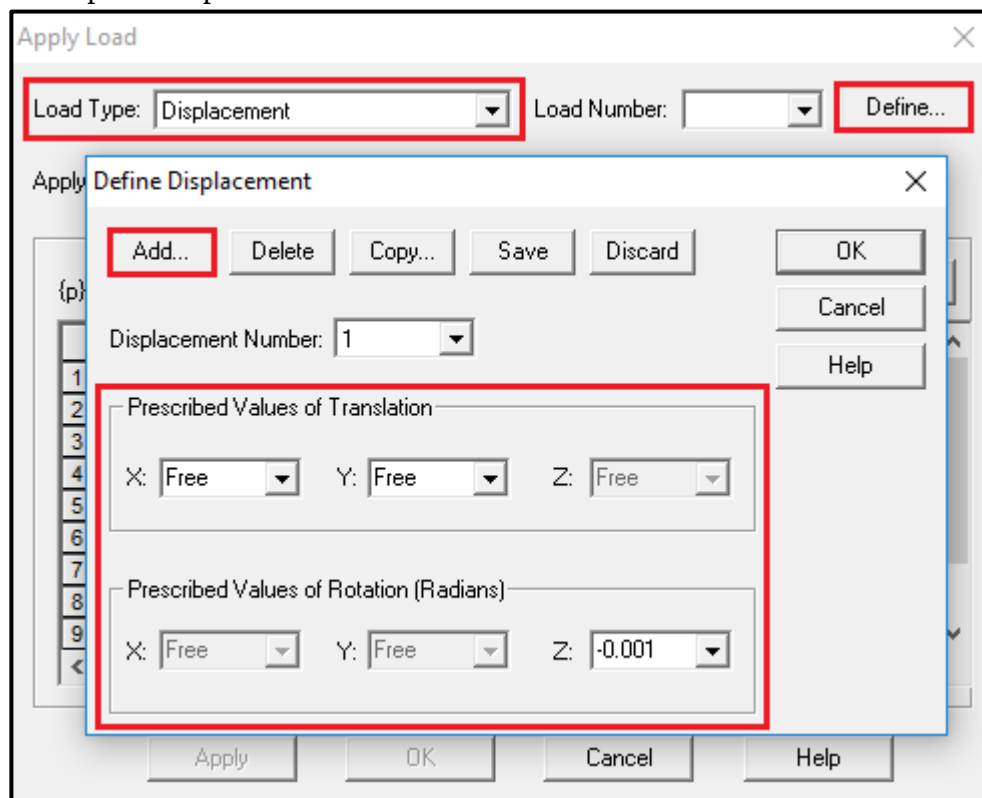


Figura 17

O recalque linear de intensidade $0,01m$, por sua vez, deverá ser fixado no ponto 4, seguindo-se o mesmo procedimento feito para os demais carregamentos.

Definição do material das barras

O material para todas as barras do modelo será do tipo elástico linear isótropo.

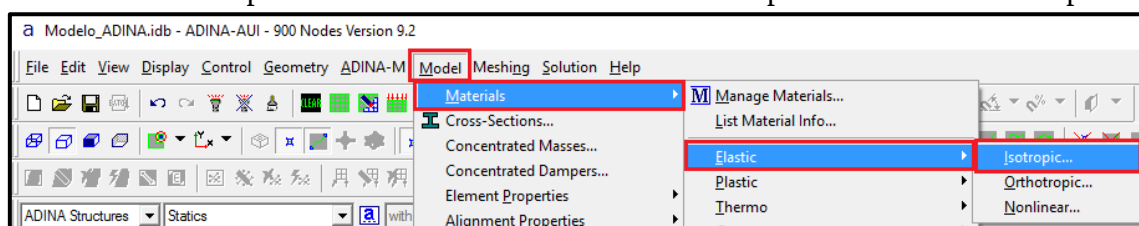


Figura 18

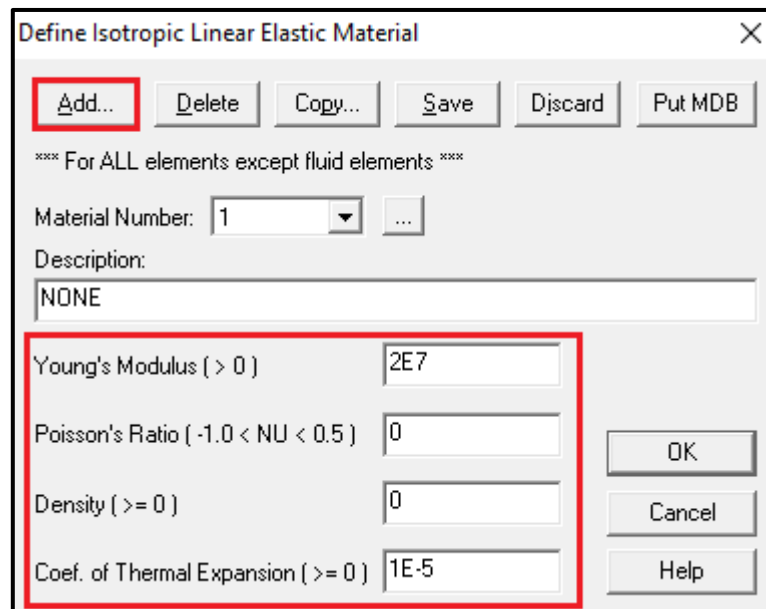


Figura 19

Definição da seção transversal das barras

Conforme descrito no enunciado do problema, a seção transversal será retangular com dimensões $b = 0,12\text{ m}$ e $h = 0,20\text{ m}$.

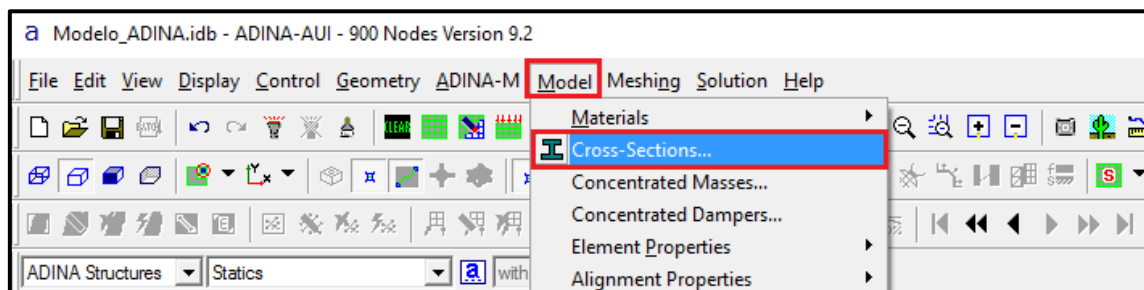


Figura 20

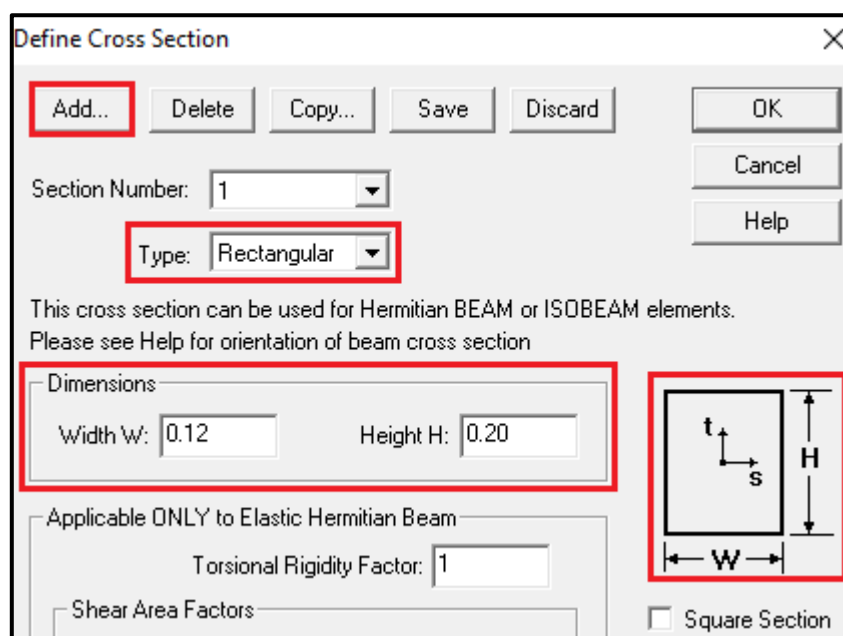


Figura 21 (Obs.: A parcela inferior da caixa, omitida, permanece inalterada)

Ressalta-se aqui a importância dos eixos locais – s e t – que serão de suma importância para a orientação da seção transversal na etapa de geração da malha de elementos finitos. Neste modelo, o eixo local s coincide com a direção da largura da barra.

Definição de grupos de elementos

No ADINA, grupo de elementos é o mecanismo por meio do qual se vinculam materiais, seções transversais – no caso de estruturas reticuladas – e tipos de elementos, sendo os últimos, por exemplo: treliça, viga, sólido 2D, casca etc. Neste modelo, impor-se-á elemento do tipo **Beam**.

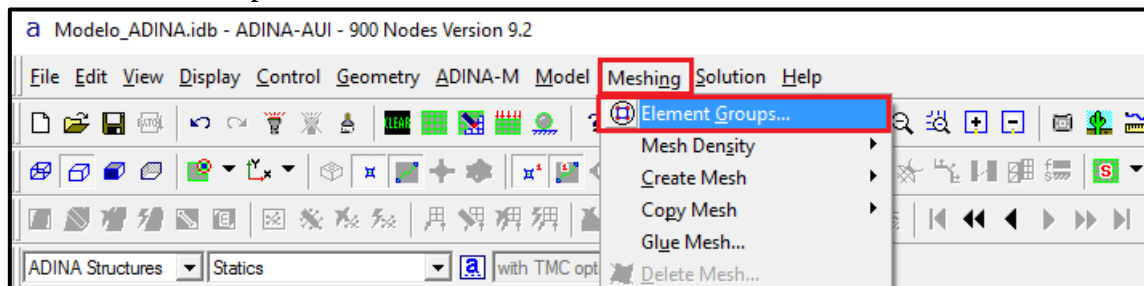


Figura 22

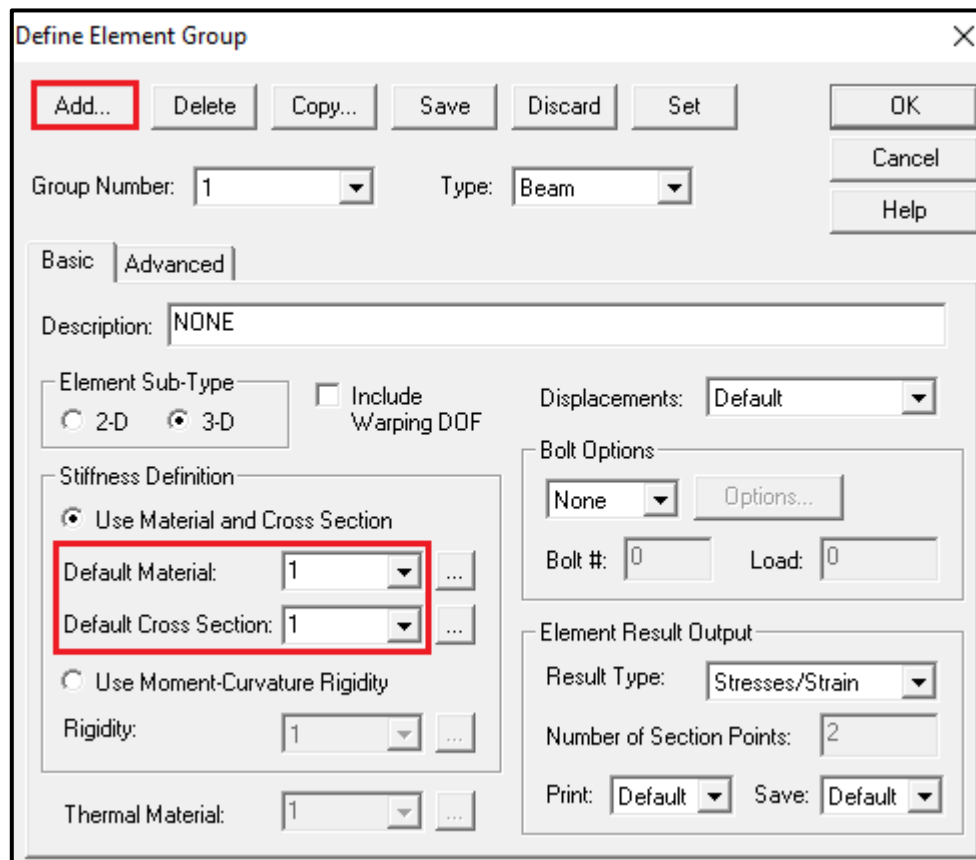


Figura 23

Geração da malha de elementos finitos

Como já se sabe da Análise Matricial das Estruturas, as equações diferenciais que regem problemas de barras com condições de contorno impostas em seus extremos

têm solução analítica conhecida. Sendo assim, ao contrário de tipos de elementos cuja solução se dá ordinariamente por via numérica, a solução deste modelo pode ser feita empregando-se apenas três elementos de viga, garantindo-se, contudo, resultados satisfatórios. Dessa forma, pode-se manter a densidade da malha – **Mesh Density** – tal qual o padrão do programa para vigas, a saber, sem subdivisões por elemento.

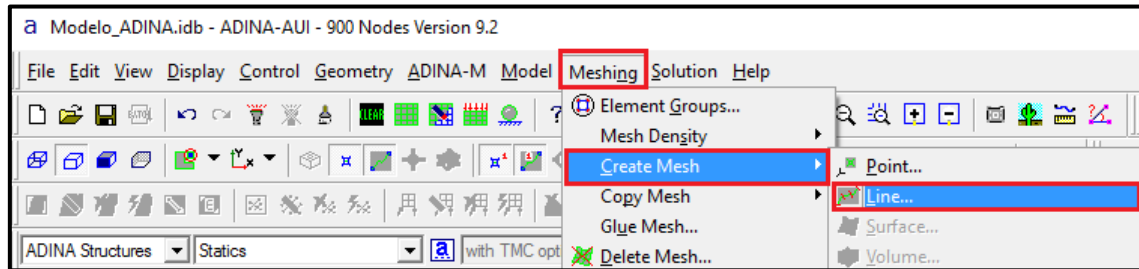


Figura 24

Neste estágio, convém apresentar uma breve explicação sobre a orientação de barras e suas implicações na posição da seção transversal. Seja a figura a seguir, a qual pode ser acessada diretamente no programa pelo caminho: **Help / Index (html) / Meshing / Element groups / Beam**.

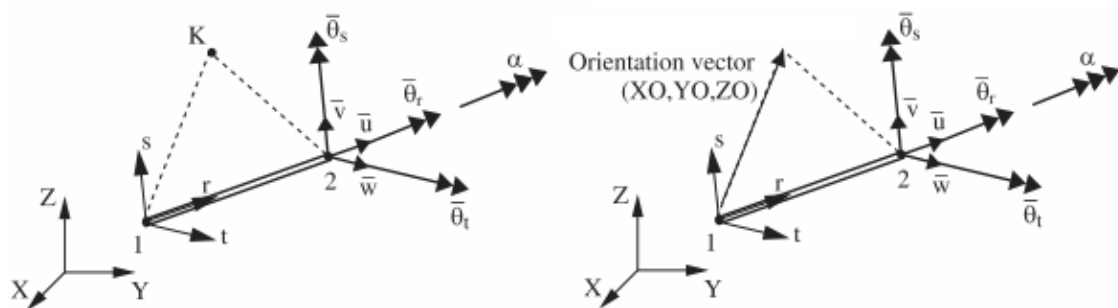


Figura 25 (Fonte: ADINA 9.2)

Nota-se a existência de dois sistemas de coordenadas: um global – (O,X,Y,Z) – e um local – (o,r,s,t). A origem o do sistema local corresponde ao nó 1 da barra. Além disso, o plano rs sempre coincidirá com o plano definido pelos nós 1 e 2 e por um ponto auxiliar K. Outra forma de definir este mesmo plano é por meio de dois vetores: um conectando os nós 1 e 2 do elemento e um vetor auxiliar que é definido pelo usuário segundo coordenadas globais para então ser trasladado a fim de que sua origem coincida com o.

Observou-se numa etapa anterior que o eixo local s coincidia, neste modelo, com a direção dada pela largura b da seção transversal. Sendo assim, uma alternativa é definir, para os três elementos, vetores-orientação dados a partir da translação do vetor auxiliar dado por $0\hat{X} + 0\hat{Y} - \hat{Z}$. Contudo, vale ressaltar que, desde que os planos rs gerados sejam coincidentes ou paralelos ao plano global XZ nas barras 1 e 2 e ao plano global YZ na barra 3, outros vetores auxiliares poderão ser adotados neste modelo.

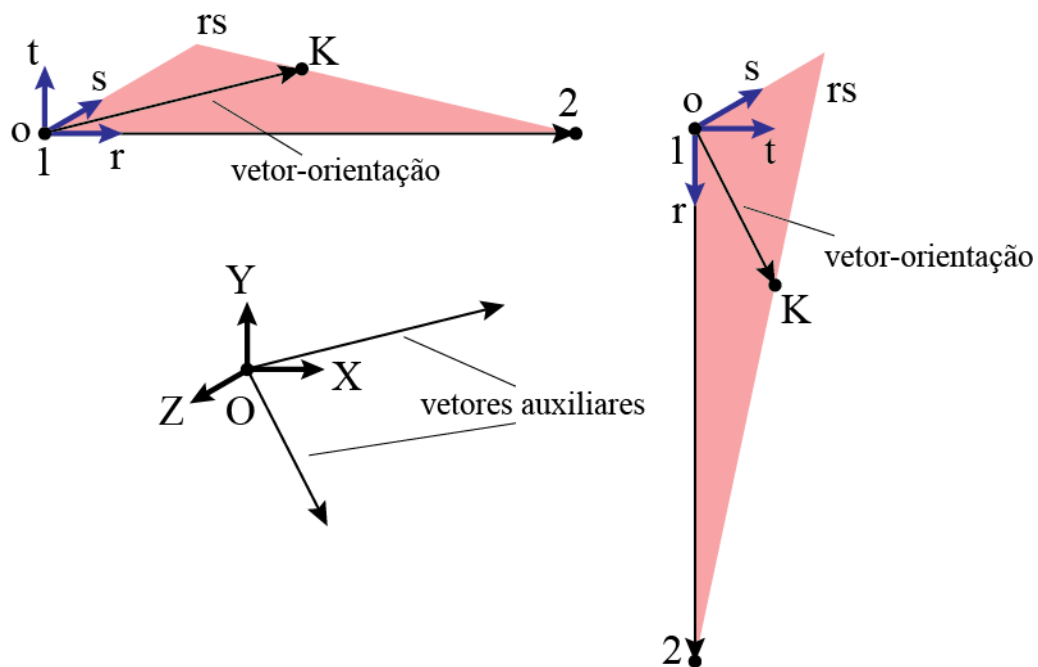


Figura 26

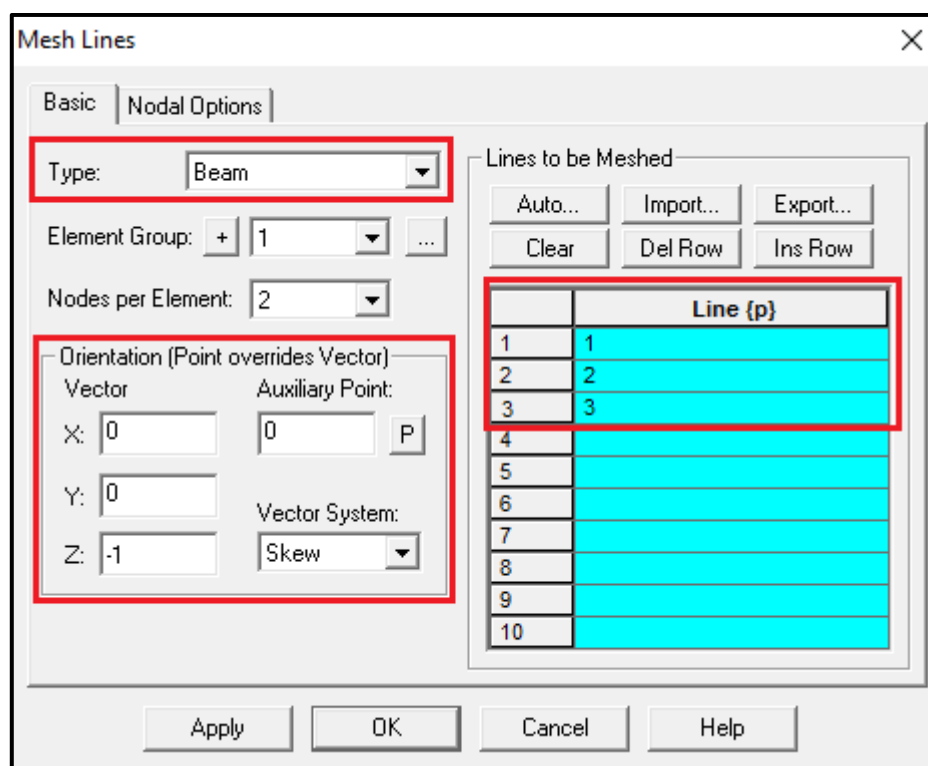


Figura 27

Ademais, uma forma de conferir se a orientação das seções transversais está correta é mudar a vista de **XY** para **Iso View 2** e ordenar que se exibam as seções.

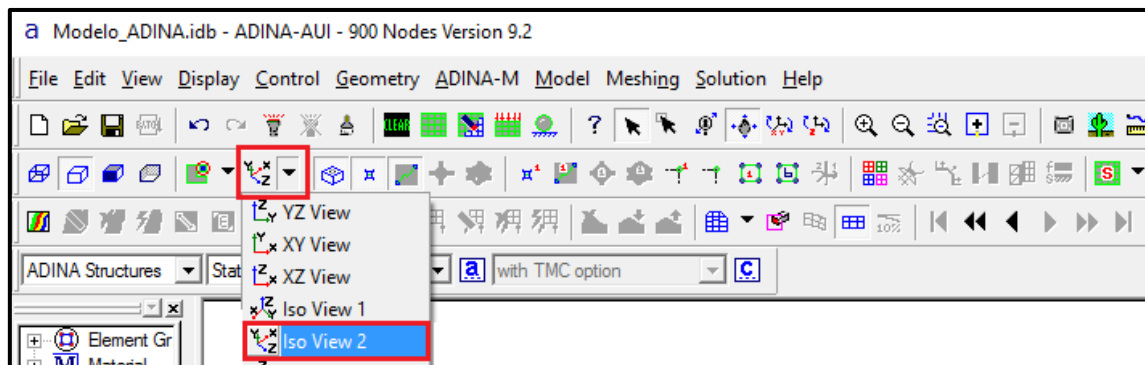


Figura 28

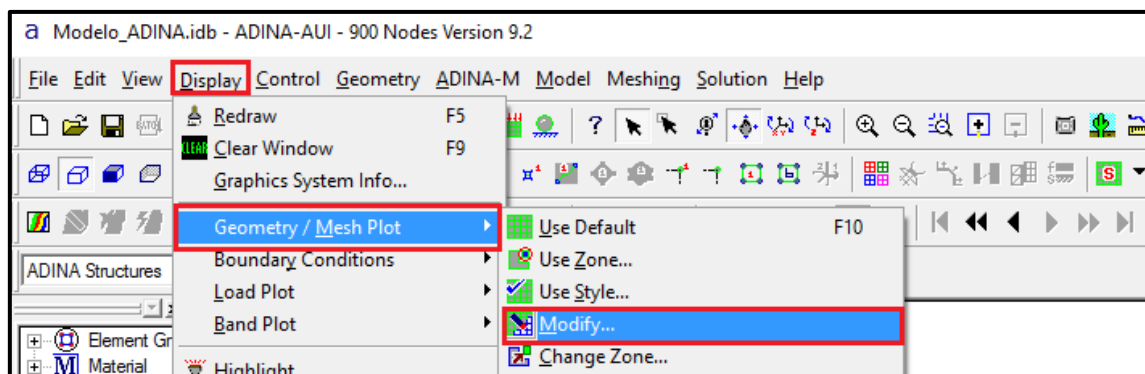


Figura 29

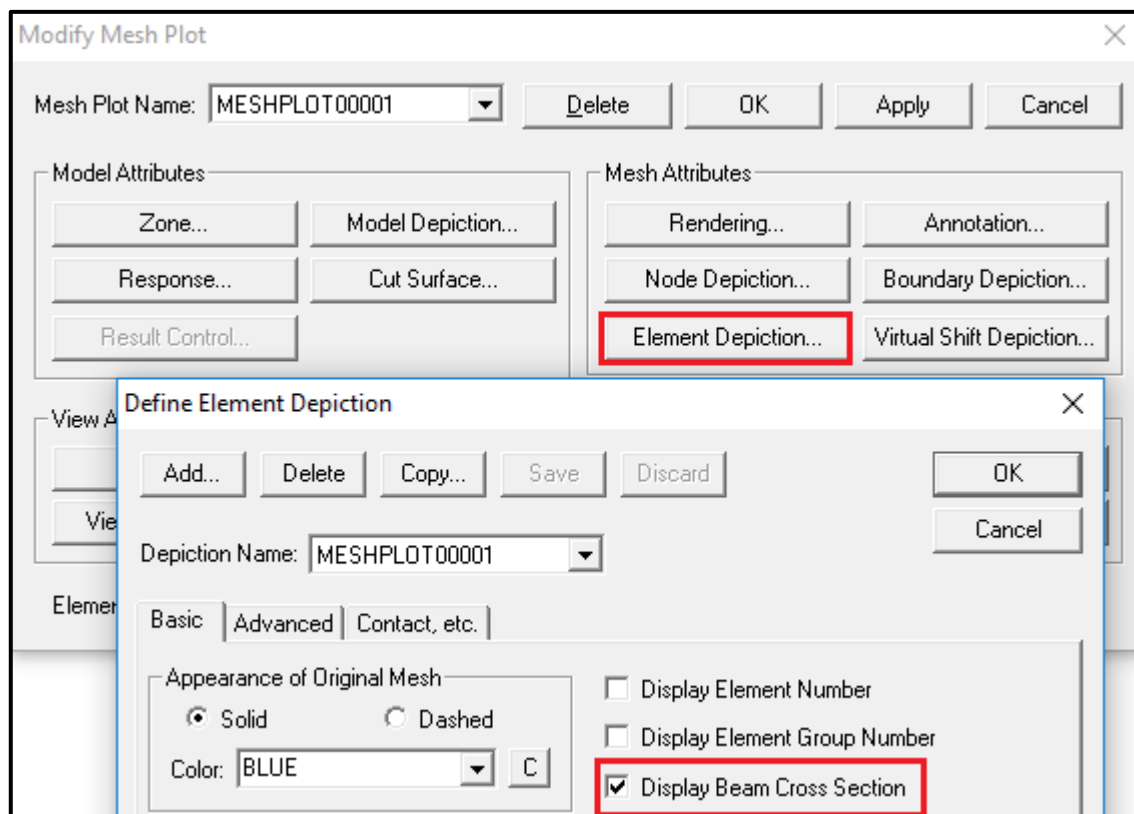


Figura 30 (Obs.: A parcela inferior da caixa, omitida, permanece inalterada)

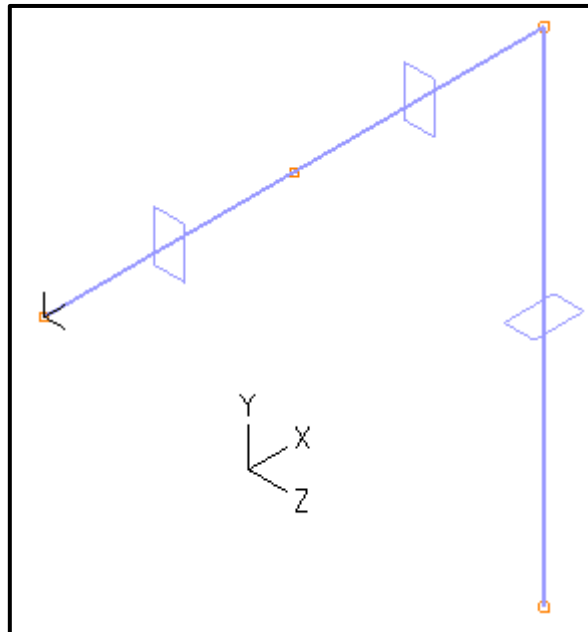


Figura 31

Processamento do modelo

Finalizada a elaboração do modelo, o final consiste em salvar o arquivo de formato **Modelo.idb**. Recomenda-se criar uma pasta onde serão depositados todos os arquivos adjuntos, que serão gerados automaticamente durante o processamento do modelo, além do arquivo de formato **Modelo.dat**.



Figura 32

Análise dos resultados

Visualização da configuração deformada

Primeiramente, deve-se alterar o módulo do programa para **Post-Processing**.

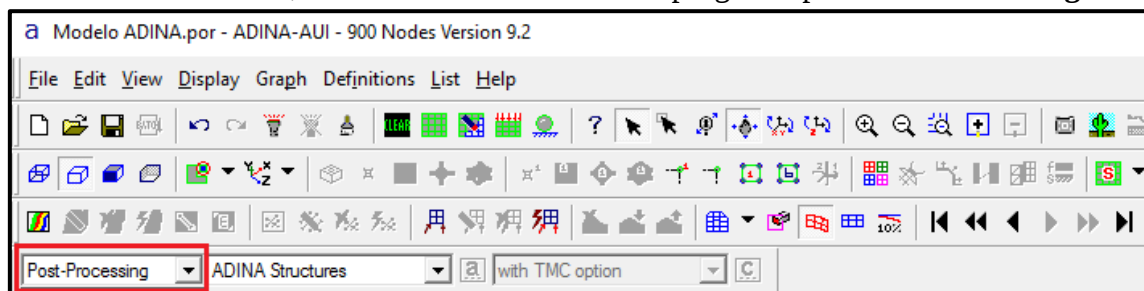


Figura 33

Então, abre-se o arquivo recém-gerado **Modelo.por**. O programa exibirá a configuração deformada da estrutura. Com vistas a permitir melhor visualização, pode-se magnificar tal configuração.

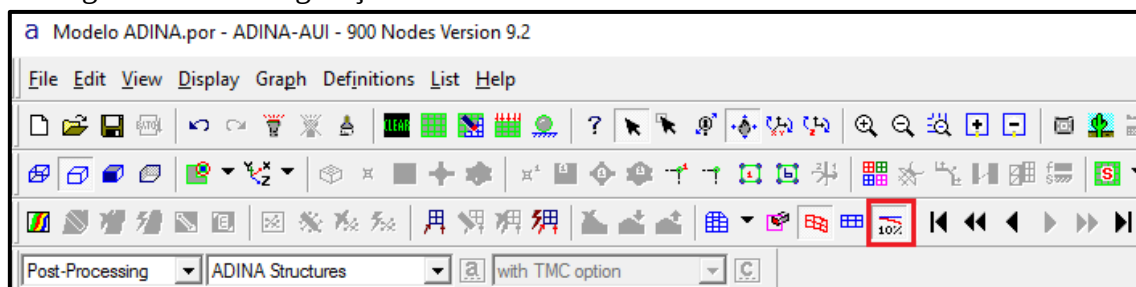


Figura 34

Após amplificar a deformação, observa-se que cada barra deforma-se sob o aspecto de uma reta, o que claramente não condiz com a expectativa de deformação para o pórtico modelado. Isto se deve ao fato de que o ADINA interpola os deslocamentos ao longo da barra a partir de um número pré-definido de segmentos, que é um por padrão. Para alterar este valor padrão, deve-se acessar novamente o caminho **Display / Geometry/Mesh Plot / Modify** e selecionar **Element Depiction**. Na aba **Advanced**, modifica-se a quantidade de segmentos para 50.

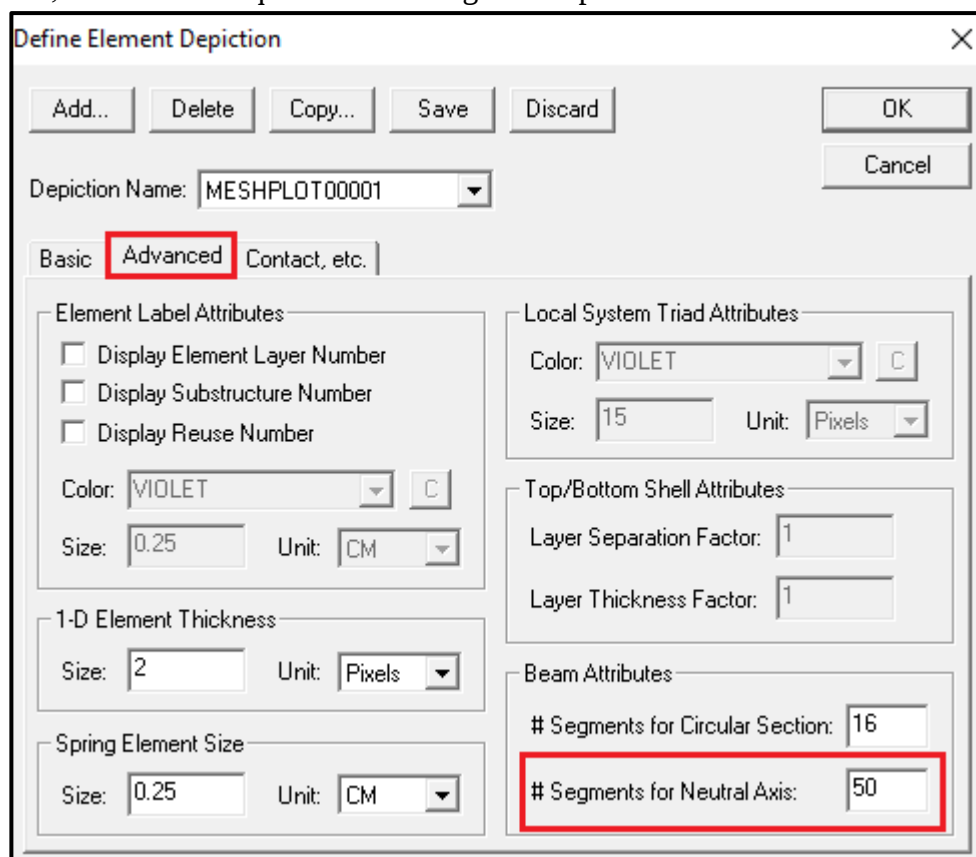


Figura 35

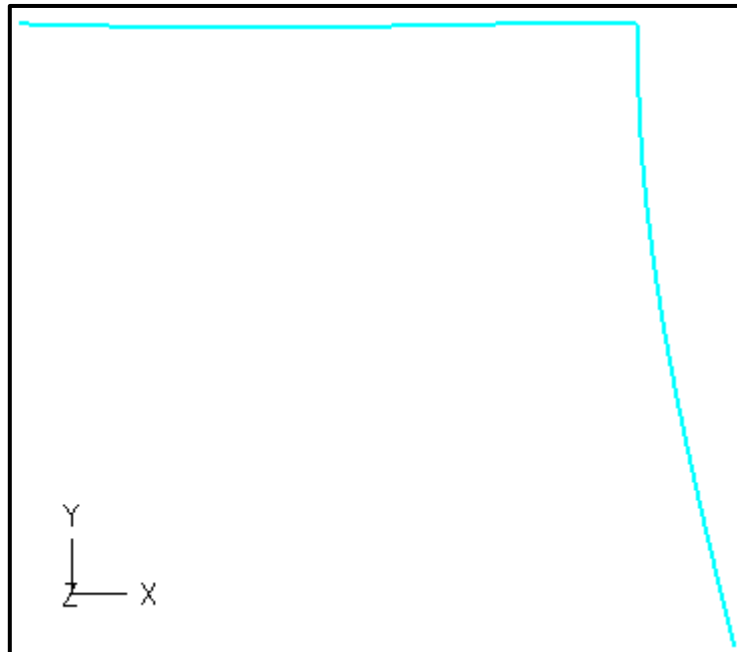


Figura 36

Elaboração de diagramas de esforços

Os diagramas de esforços podem ser gerados tanto sobre a configuração deformada como sobre a original. Opta-se pela configuração indeformada.

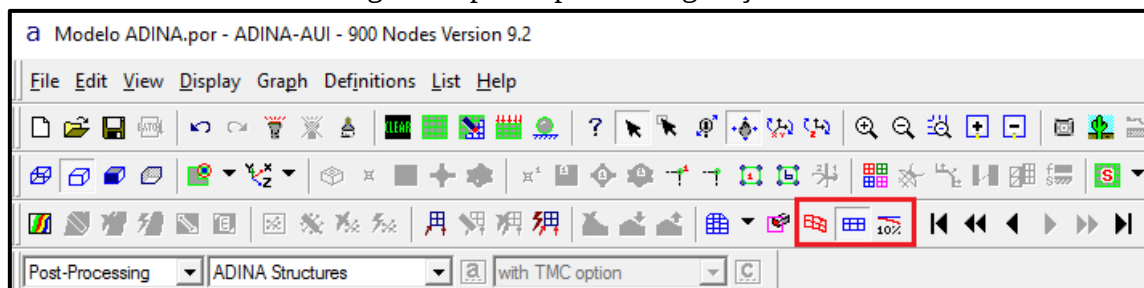


Figura 37

Gera-se, então, um diagrama de momentos fletores em torno do eixo local s .

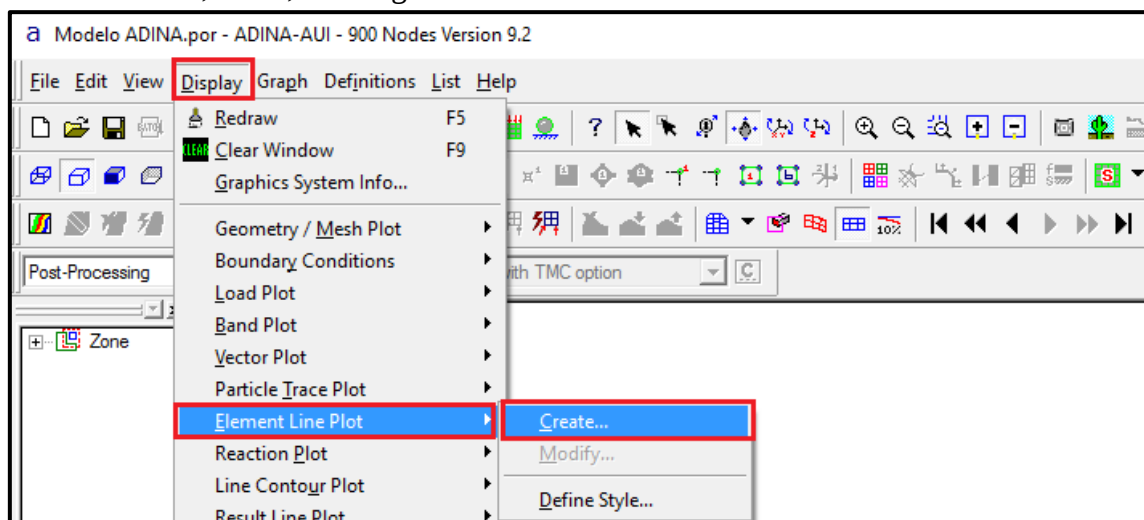


Figura 38

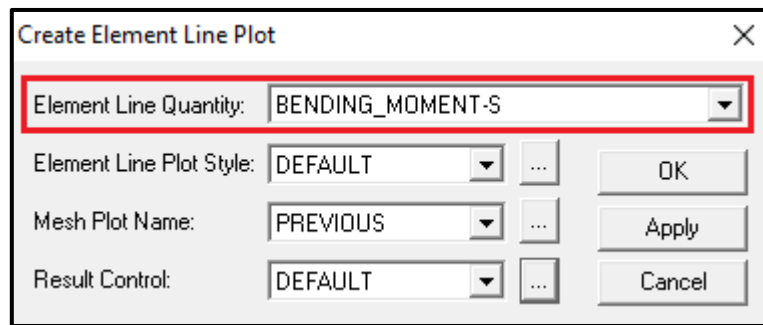


Figura 39

Semelhantemente, podem ser criados diagramas de outras categorias de esforços, tais como forças axiais ou cortantes, por exemplo. Deve-se, entretanto, também na aba **Element Line Plot**, selecionar a opção **Modify** e excluir ou modificar o diagrama anterior. Ademais, convém dizer que tais diagramas permitem visualizar numericamente apenas o valor máximo de esforço, o qual, no caso do diagrama de momento fletor em torno de s , é igual a 13,69 kNm.

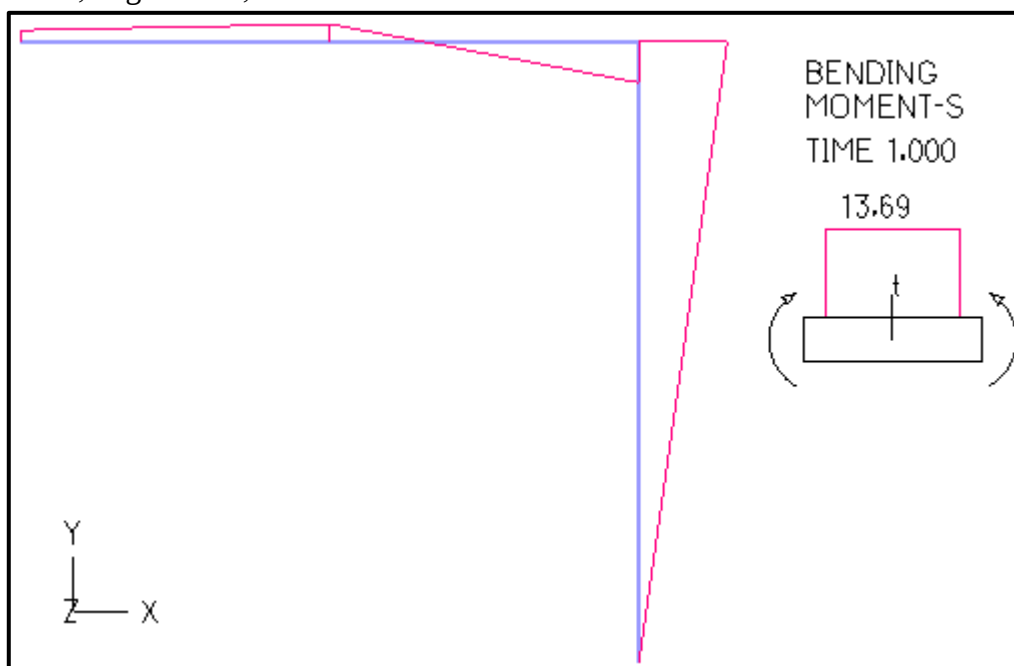


Figura 40

Obtenção de dados em todos os nós entre elementos

Nesta etapa, é interessante explicitar a numeração de elementos e nós, para facilitar o reconhecimento dos dados a serem obtidos.

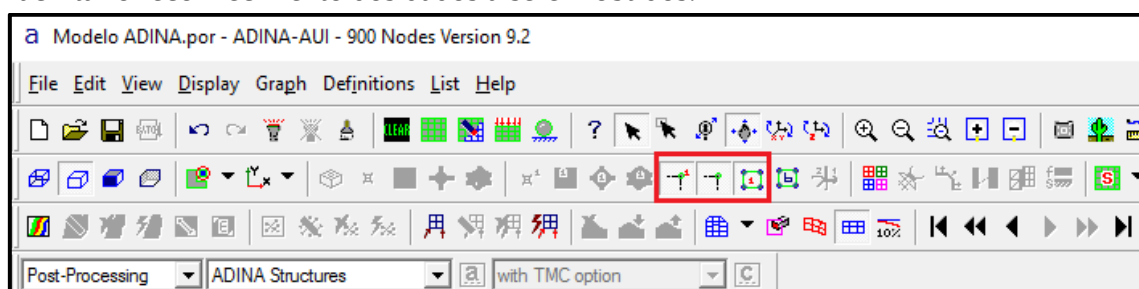


Figura 41

Então, pede-se para que o programa retorne dados para todos os quatro nós do modelo.

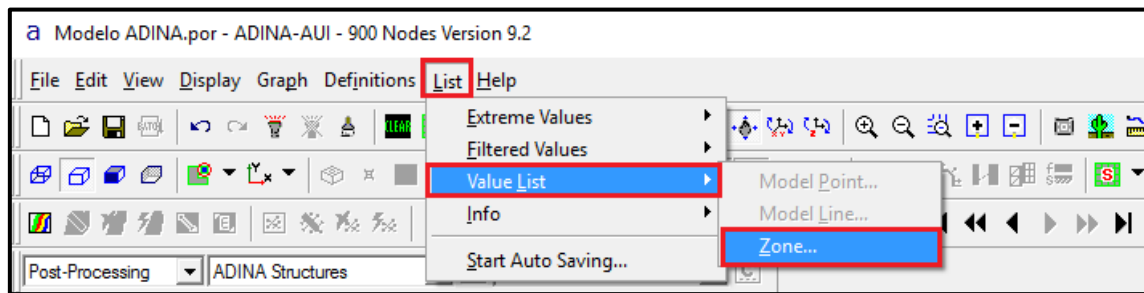


Figura 42

Os dados escolhidos são **deslocamentos em X e em Y e rotações em torno de Z**. Os resultados são dispostos em dois instantes, referentes às configurações original e deformada, respectivamente.

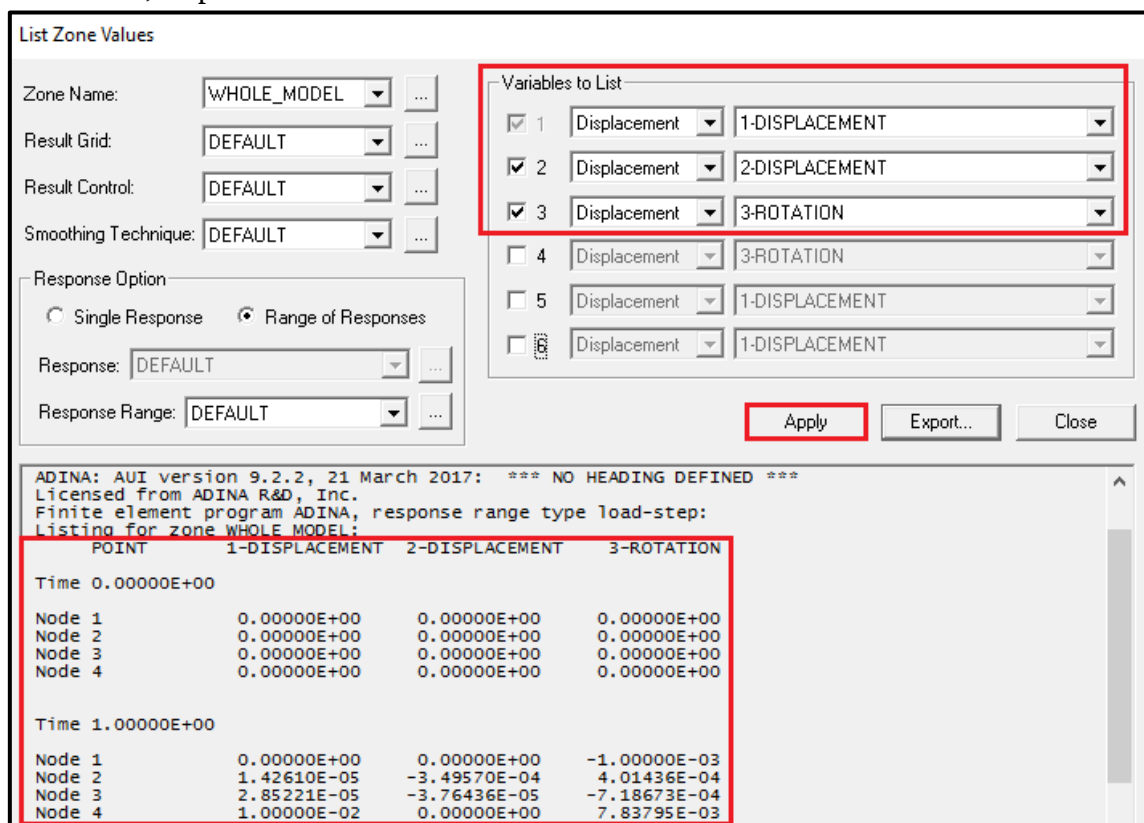


Figura 43

Referências bibliográficas

ADINA-AUI 900 nodes version 9.2. 1994-2016. ADINA R & D, Inc.