

TUTORIAL DO PROGRAMA ADINA 9.3

PROBLEMA: ANÁLISE DINÂMICA EM VIGA ISOSTÁTICA SOB CARREGAMENTO DE MÁQUINA ROTATIVA DESBALANCEADA

Considerações iniciais

O programa empregado neste tutorial é o **ADINA 9.3** para até 900 nós, disponível gratuitamente para *download* em:

<http://www.adina.com/adinadownloads/900-2700nodes/ADINA900V93.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 nesta disciplina e na PEF3302 – Mecânica das Estruturas I – e executar os exercícios-exemplos propostos no **ADINA Primer (pdf)**.

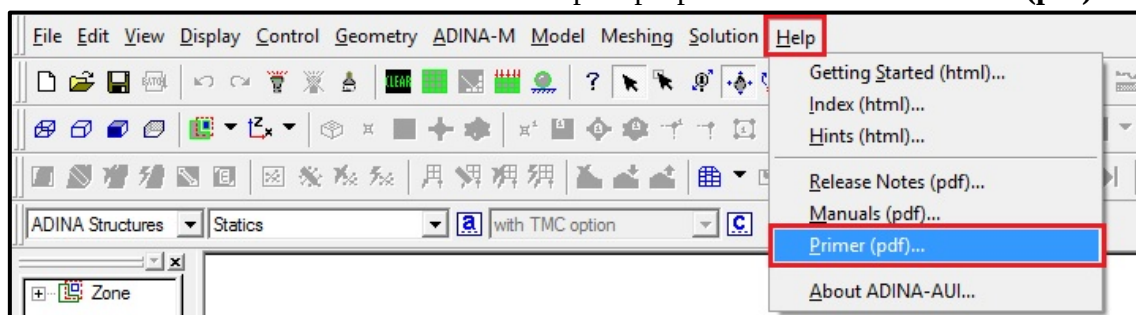


Figura 1

Problema

Seja a viga isostática a seguir:

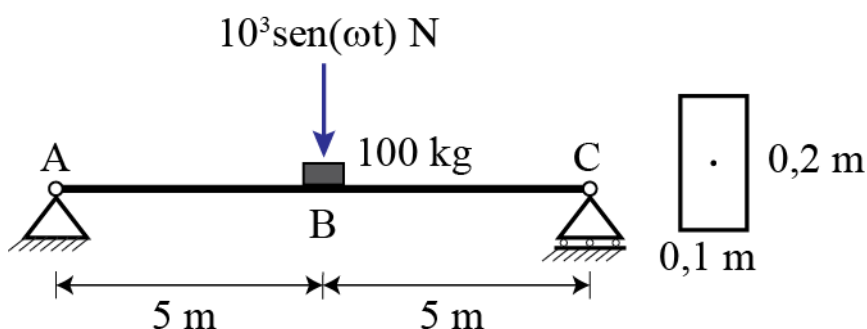


Figura 2

A viga tem seção transversal de dimensões $b = 0,10 \text{ m}$ e $h = 0,20 \text{ m}$, módulo de elasticidade $E = 1,2 \cdot 10^9 \text{ N/m}^2$ e densidade $\rho = 2,5 \cdot 10^3 \text{ kg/m}^3$.

Elaboração do modelo para análise modal

Definição dos graus de liberdade do modelo

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

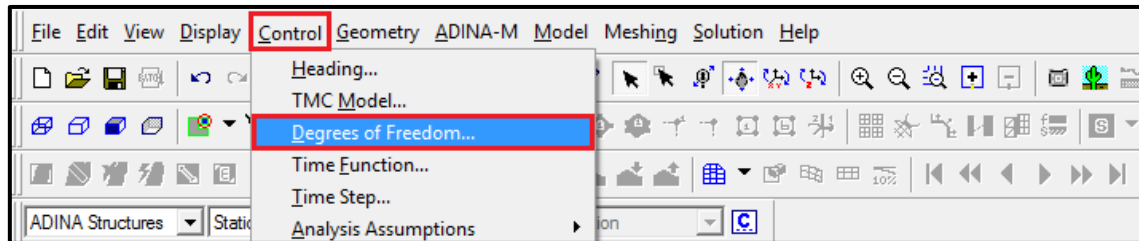


Figura 3

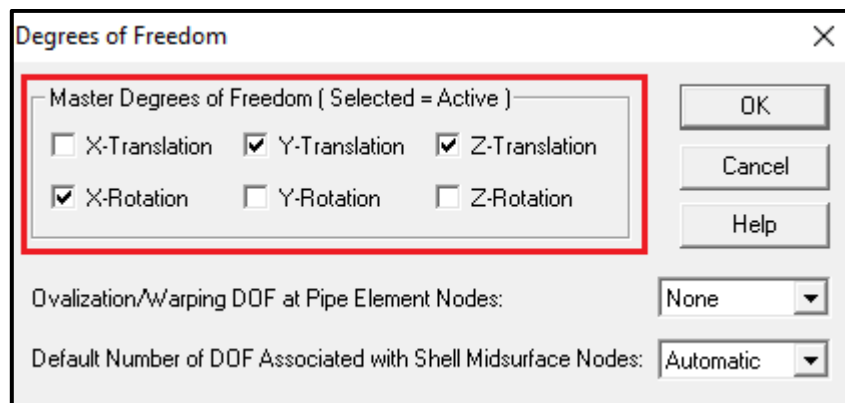


Figura 4

Definição dos pontos principais do modelo

Os pontos principais são os apoios e também aqueles onde se processam os esforços externos. Noutras palavras, são os pontos A e B da figura 2, mais o ponto C, onde se aplica a força externa de amplitude máxima igual a $10^3 N$.

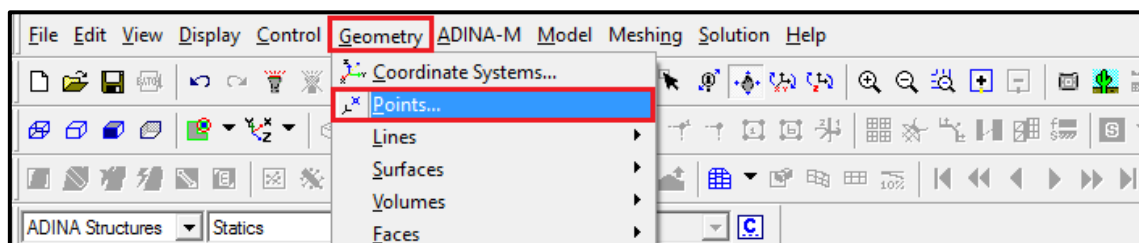


Figura 5

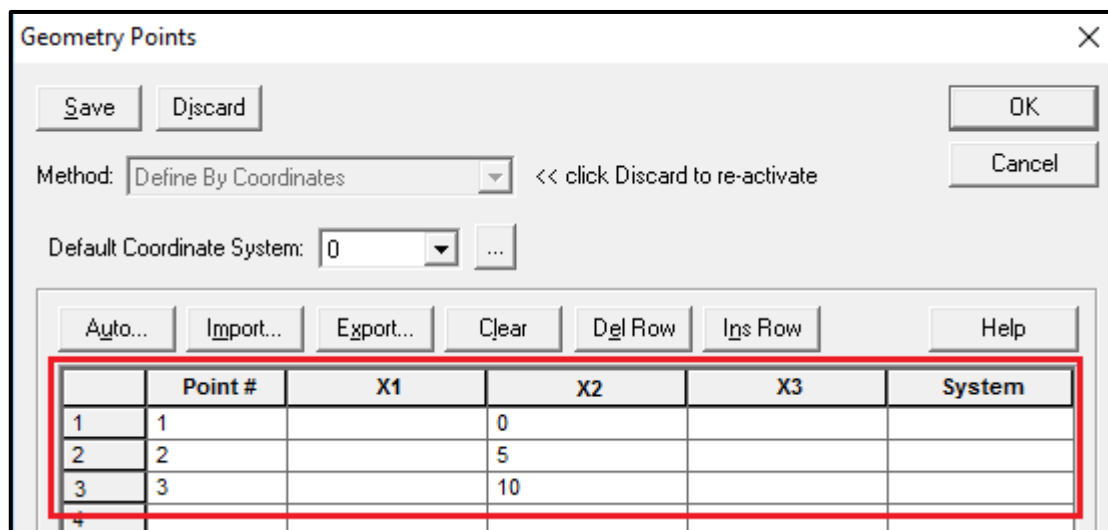


Figura 6 (Obs.: A parcela inferior da caixa, omitida, permanece inalterada)

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 duas linhas, conectando os pontos 1 ao 2 e 2 ao 3, respectivamente.

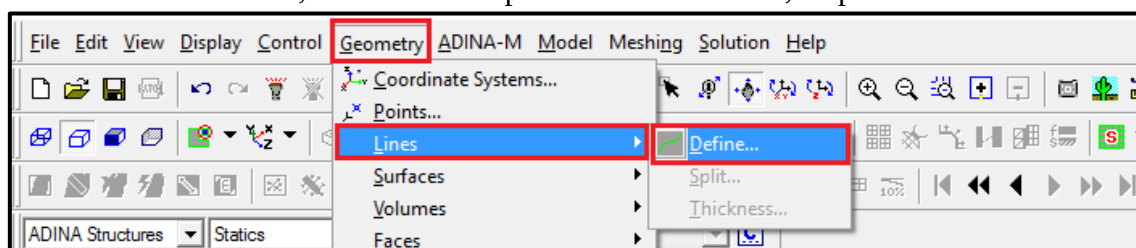


Figura 7

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

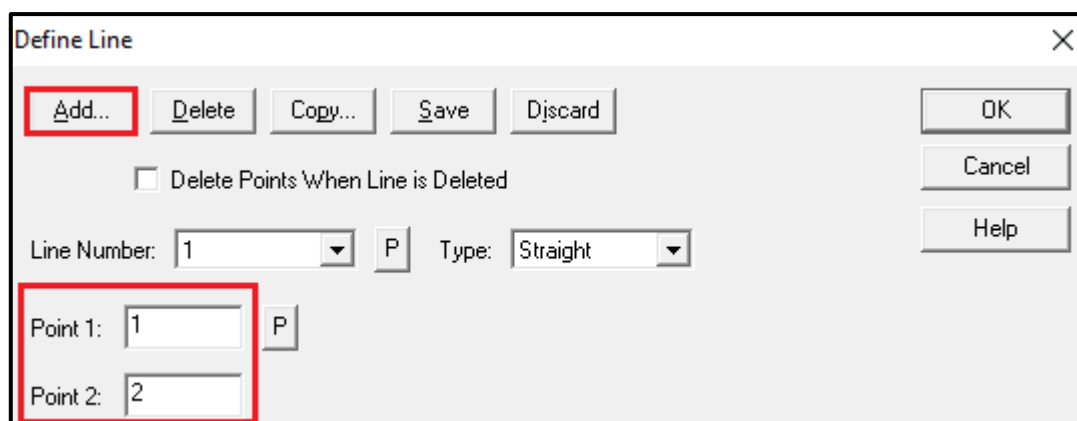


Figura 8

O processo de conexão também pode ser realizado manualmente, pressionando-se o botão **P** e selecionando-se 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**.

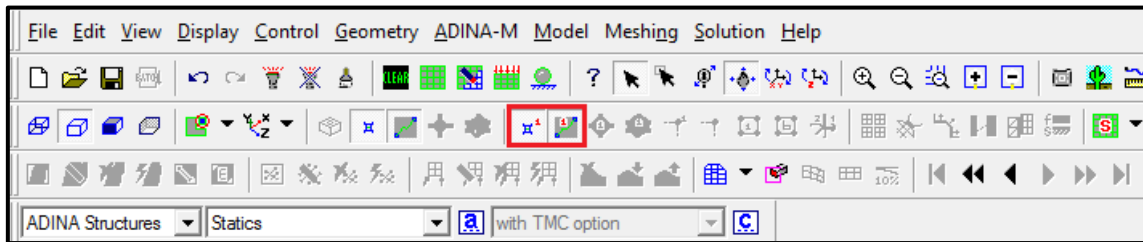


Figura 9

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

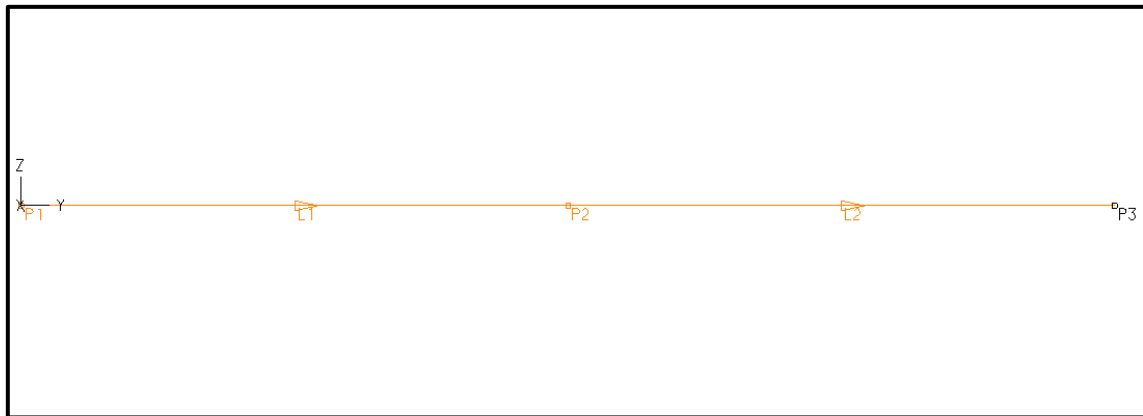


Figura 10

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 localizam os apoios e de que tipo eles são. No ponto A, deve-se impor um apoio fixo em Y e Z. No ponto C, por sua vez, apenas em Z.

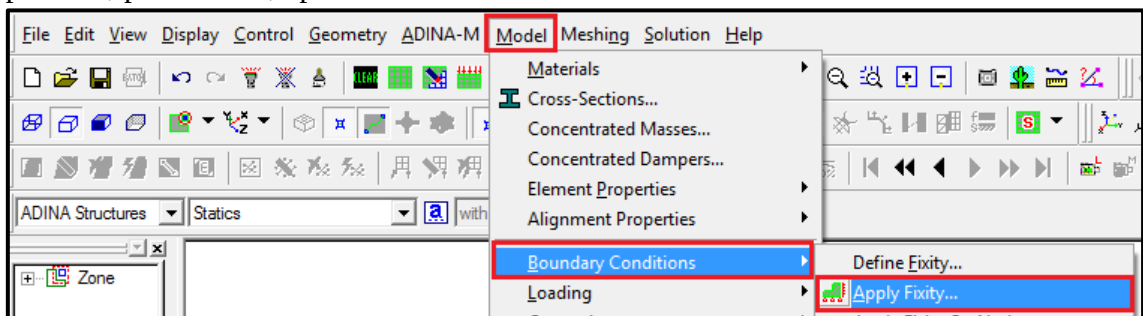


Figura 11

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**.

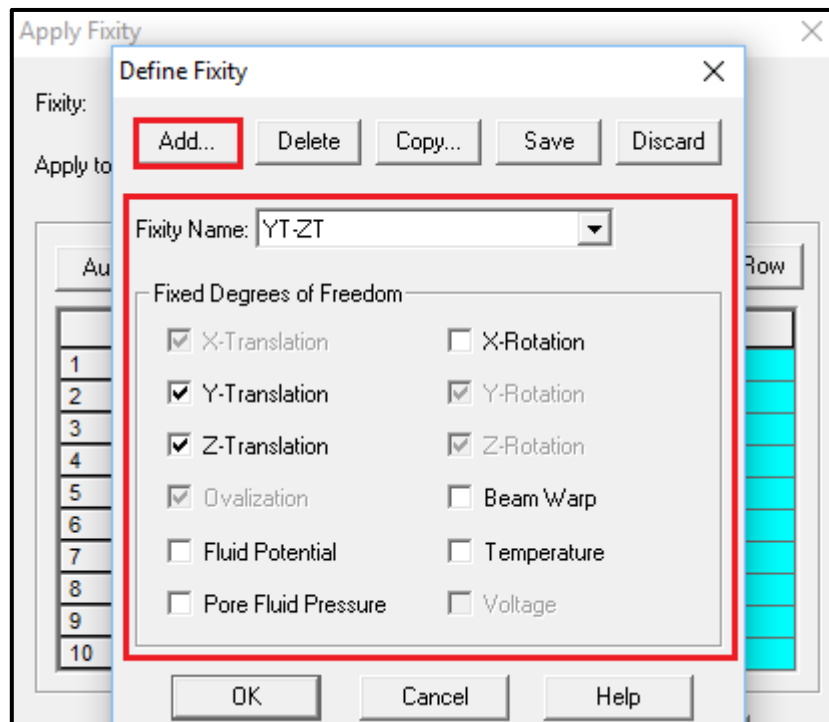


Figura 12

A condição de contorno **YT-ZT** (Y-Translation e Z-Translation fixos) deve ser aplicada ao ponto 1.

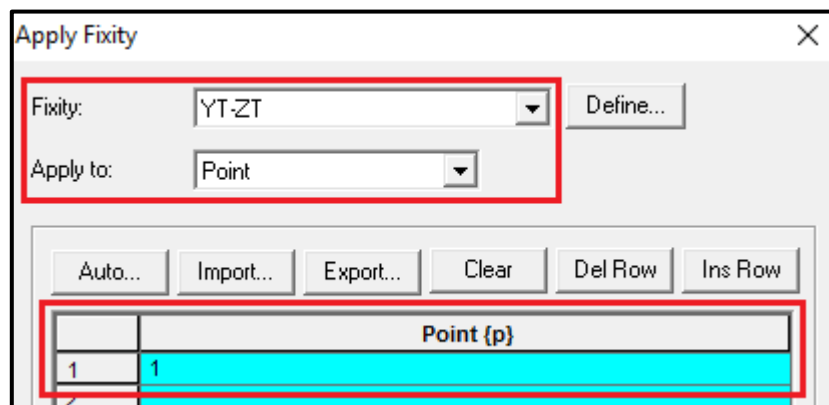


Figura 13 (Obs.: A parcela inferior da caixa, omitida, permanece inalterada)

Semelhantemente, a condição de contorno **ZT** (Z-Translation fixo) deve ser aplicada ao ponto 3.

Definição do material das barras

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

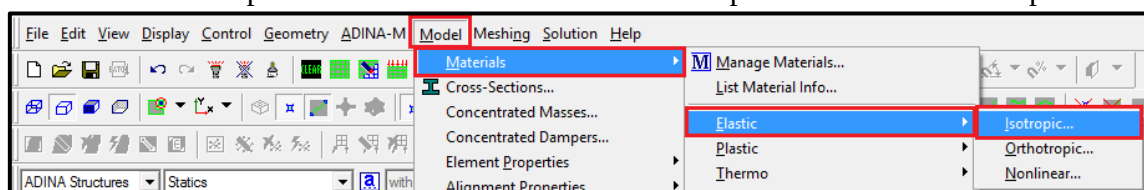


Figura 14

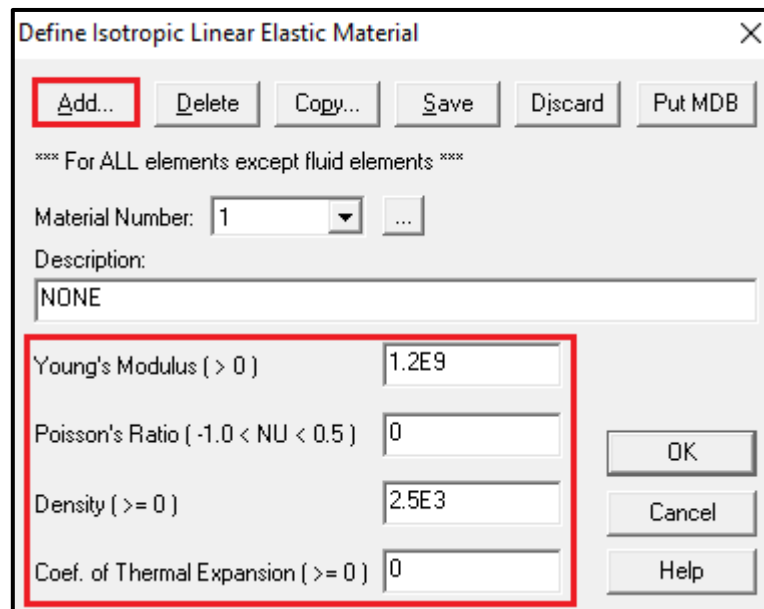


Figura 15

Definição da seção transversal das barras

Conforme descrito no enunciado do problema, a seção transversal é retangular, com dimensões $b = 0,10 \text{ m}$ e $h = 0,20 \text{ m}$.

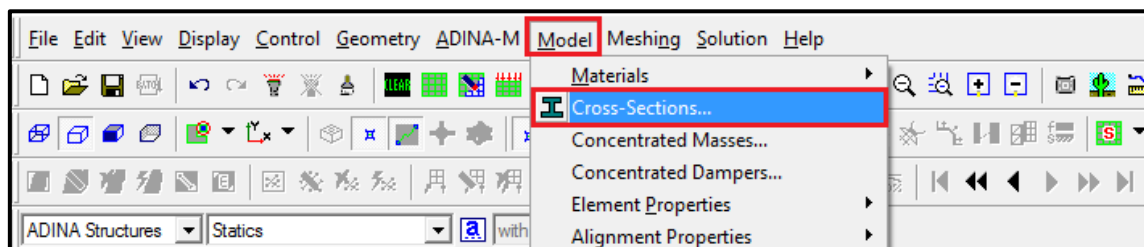


Figura 16

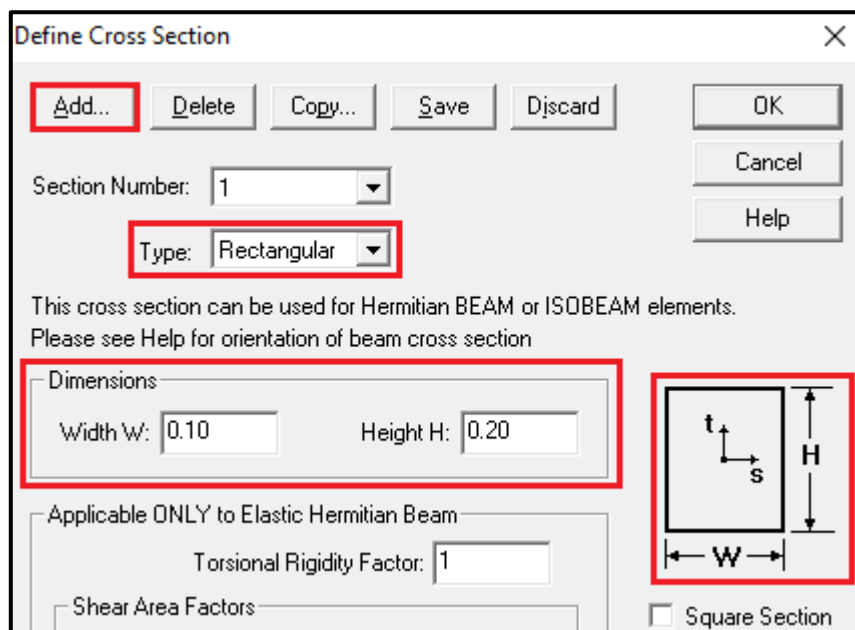


Figura 17 (Obs.: A parcela inferior da caixa, omitida, permanece inalterada)

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.

Por fim, deve-se adicionar no ponto 2 uma massa concentrada devida ao peso da máquina rotativa. Sendo a amplitude máxima da força igual a 10^3 N e a aceleração da gravidade aproximadamente 10 m/s^2 , conclui-se que a massa da máquina é cerca de 100 kg .

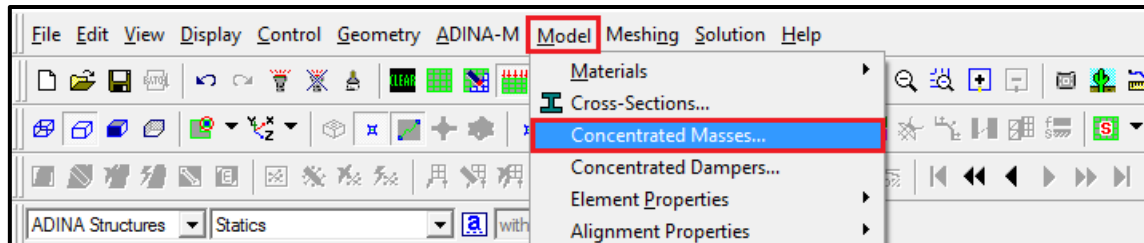


Figura 18

As colunas referentes a translações (Y-Translation e Z-Translation, neste modelo) devem ser preenchidas com o valor da massa concentrada. Aquelas colunas referentes a rotações (X-Rotation, neste modelo) devem ser preenchidas com os momentos de inércia de massa, que neste caso permanecem nulas.

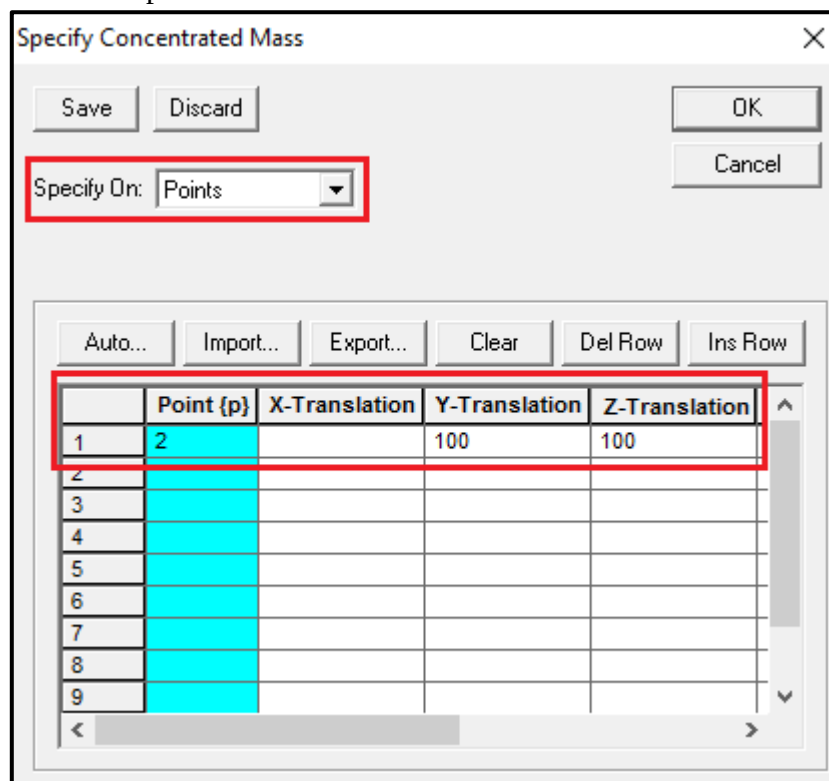


Figura 19

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, impõe-se elemento do tipo **Beam**.

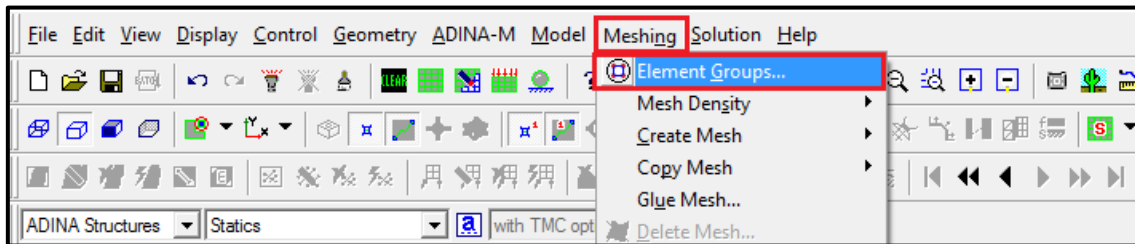


Figura 20

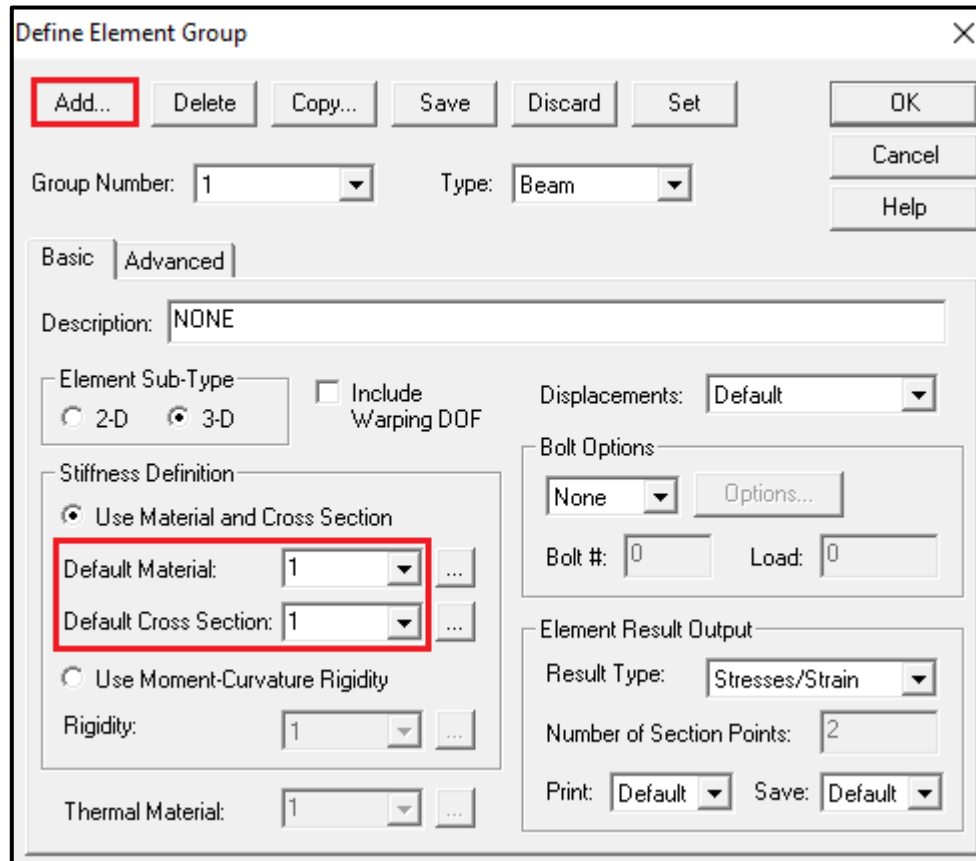


Figura 21

Geração da malha de elementos finitos

A quantidade de subdivisões, isto é, de elementos por trecho, é definida por meio da densidade da malha – **Mesh Density**. A quantidade de elementos e, portanto, de graus de liberdade, está relacionada à quantidade de modos de vibrar existentes no modelo discreto. Neste caso, escolheram-se dois elementos por trecho, totalizando quatro elementos finitos.

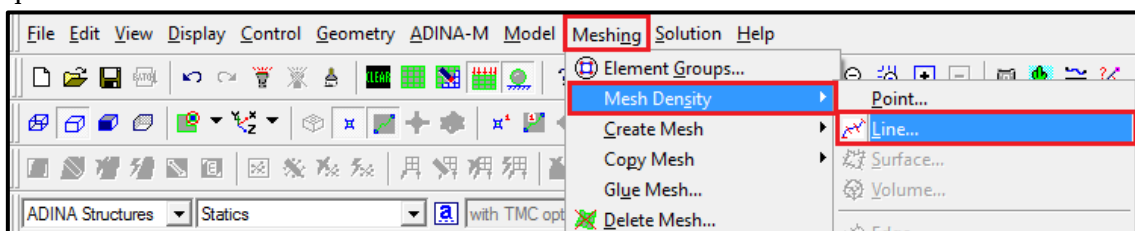


Figura 22

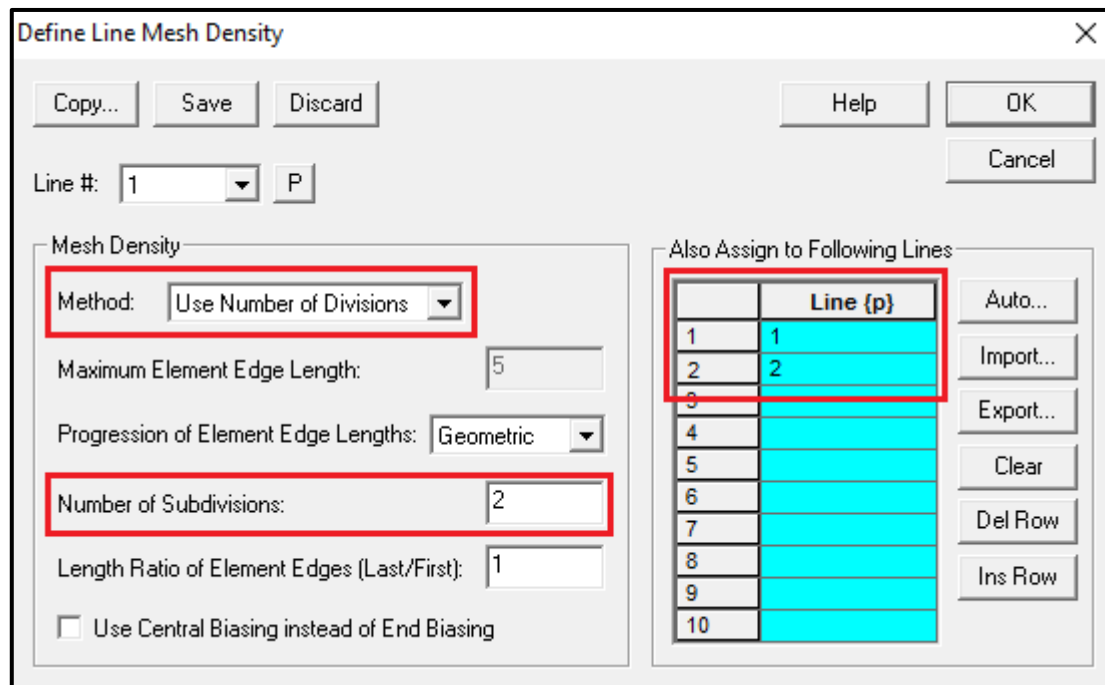


Figura 23

Então, pode-se gerar a malha.

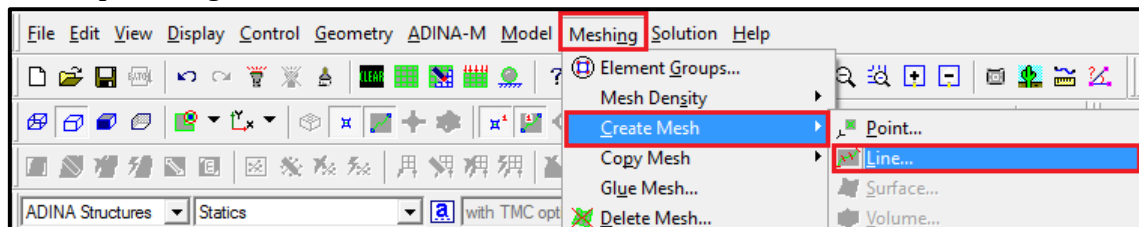


Figura 24

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**”.

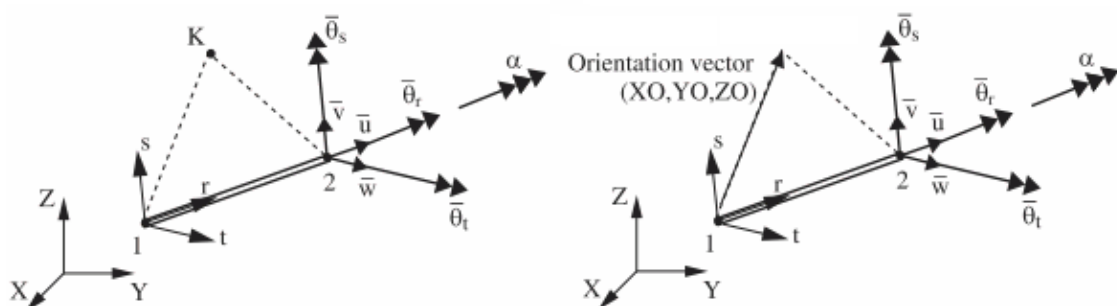


Figura 25 (Fonte: ADINA 9.3)

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 um vetor-orientação dado a partir da translação do vetor auxiliar dado por $-\hat{X}+0\hat{Y}+0\hat{Z}$. Contudo, vale ressaltar que, desde que os planos rs gerados sejam coincidentes ou paralelos ao plano global XY , outros vetores auxiliares poderão ser adotados neste modelo.

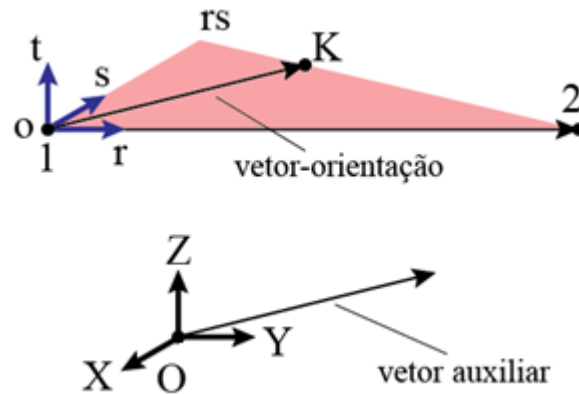


Figura 26

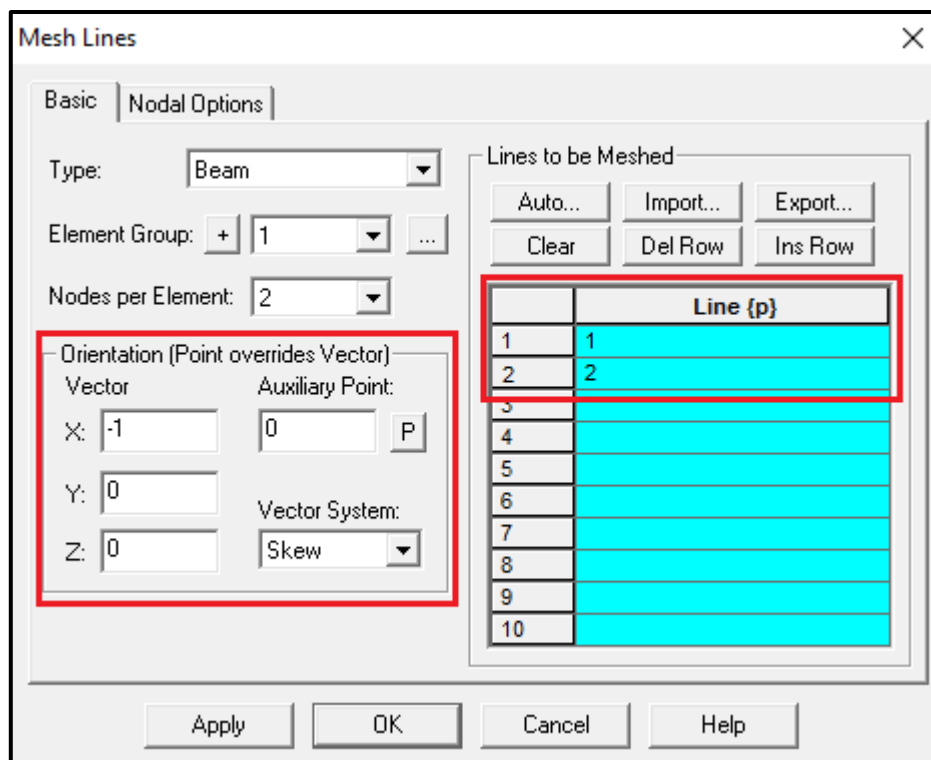


Figura 27

Ademais, uma forma de conferir se a orientação das seções transversais está correta é mudar a vista de **YZ** para **Iso View 1** e ordenar que se exibam as seções.

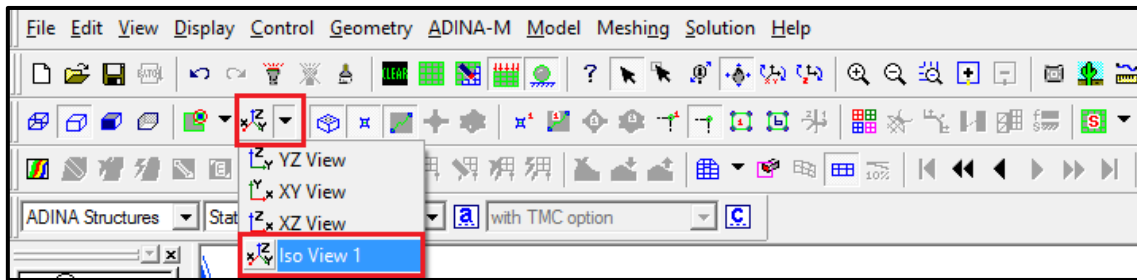


Figura 28

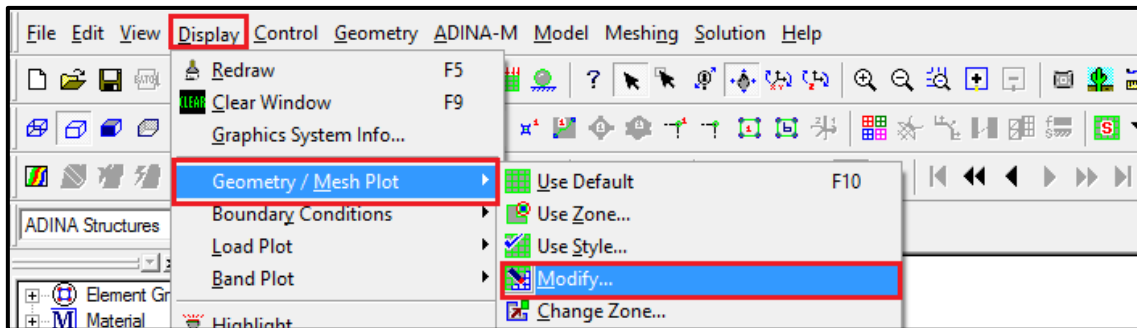


Figura 29

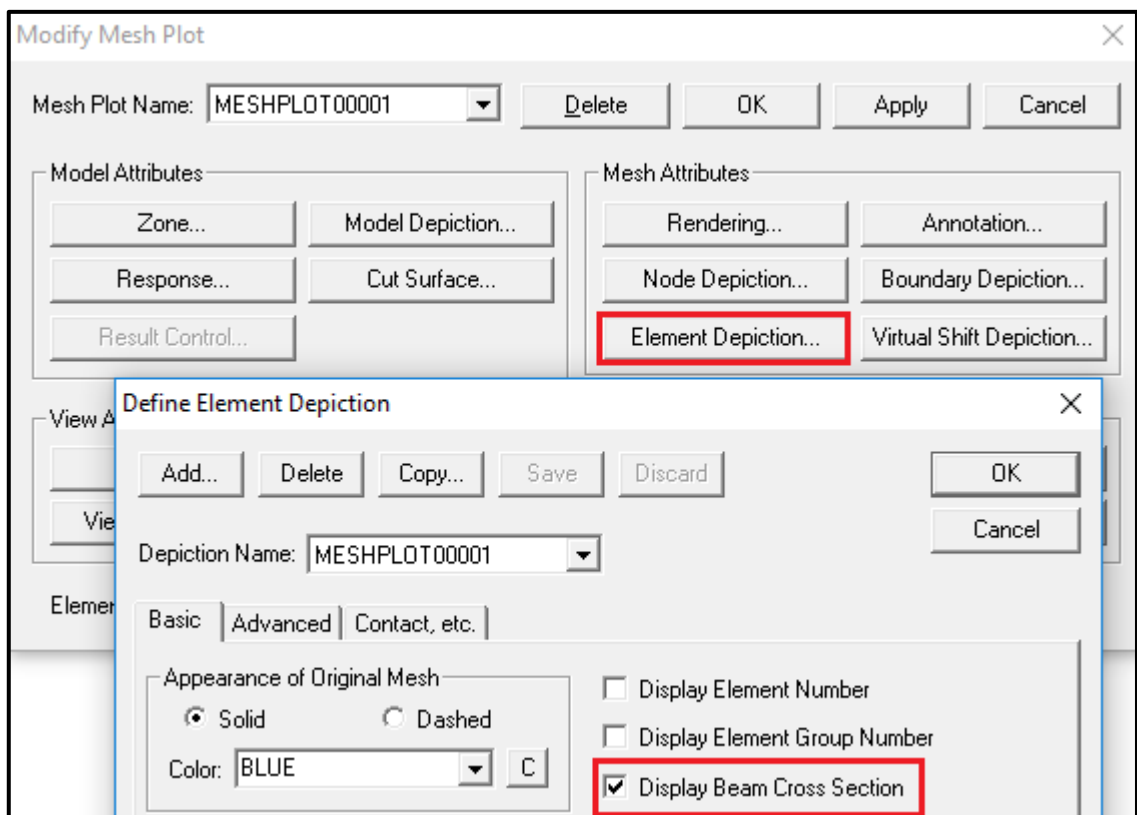


Figura 30 (Obs.: A parcela inferior da caixa, omitida, permanece inalterada)

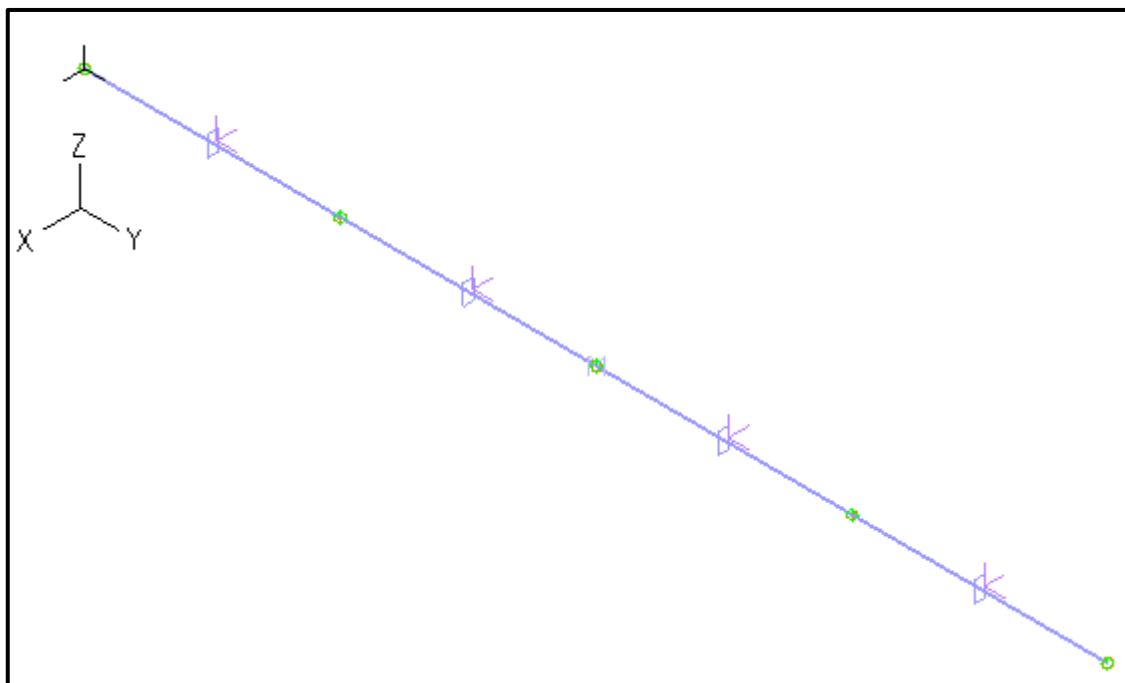


Figura 31

Processamento do modelo

Finalizada a elaboração do modelo, deve-se selecionar **Frequencies/Modes** como tipo de análise.

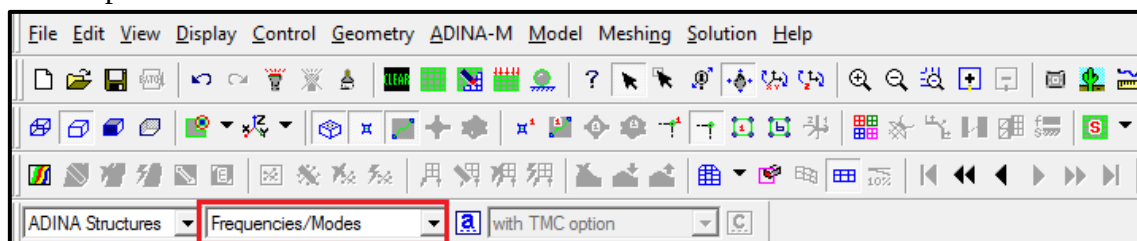


Figura 32

Então, em **Analysis Options**, define-se a quantidade de modos de vibrar. Esta quantidade não deve superar a quantidade de graus de liberdade livres do modelo. Sendo assim, para quatro elementos de barra, podem-se escolher até 12 modos.

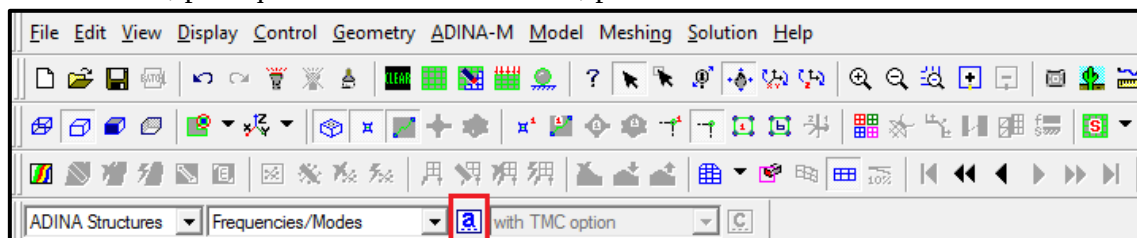


Figura 33

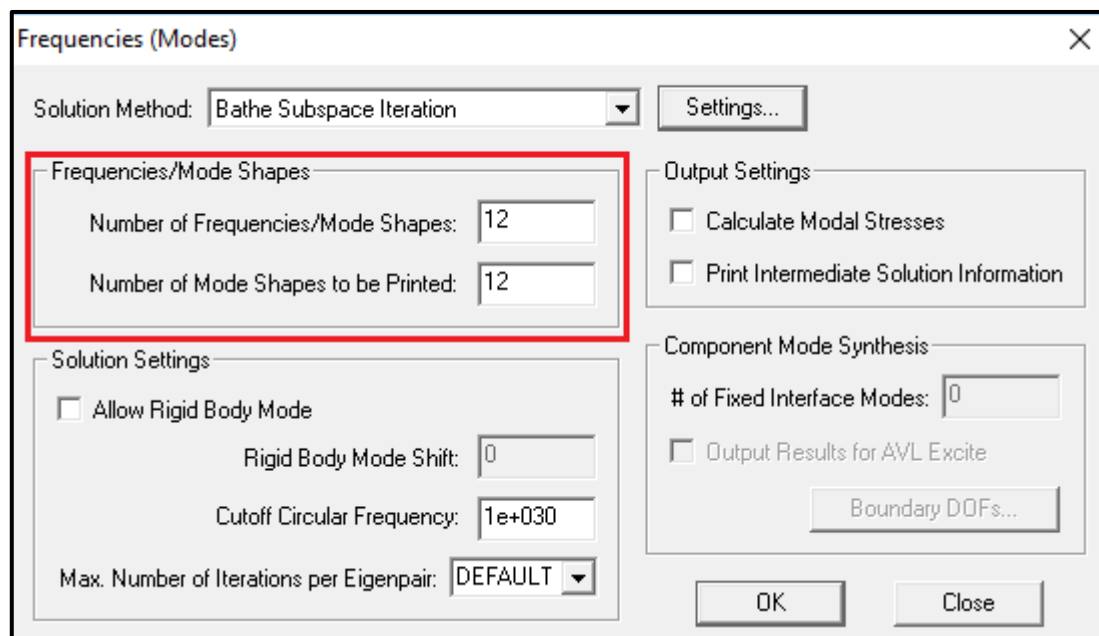


Figura 34

Salva-se, então, o arquivo de formato **Modelo1.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 **Modelo1.dat**.

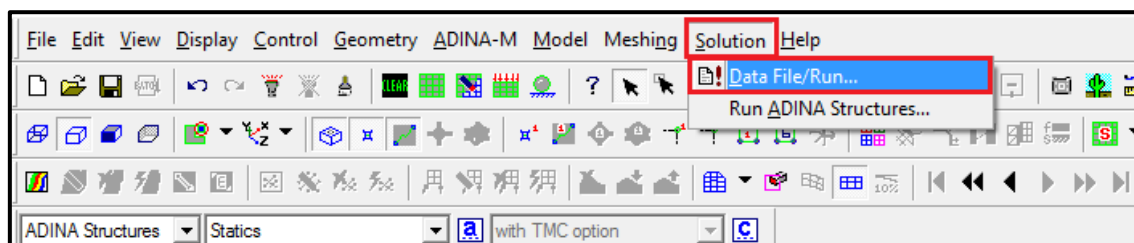


Figura 35

Análise dos resultados da análise modal

Visualização dos modos de vibrar

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

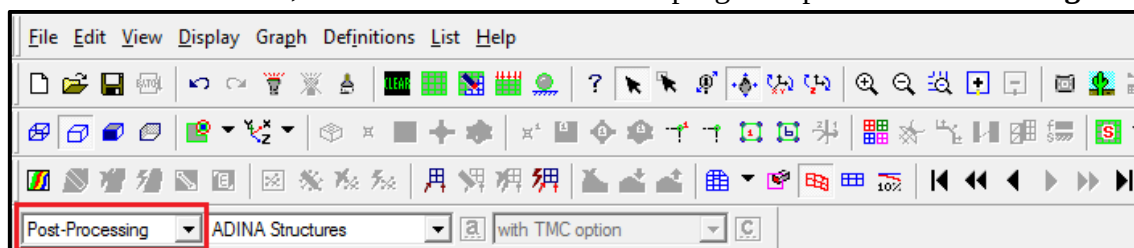


Figura 36

Então, abre-se o arquivo recém-gerado **Modelo1.por**. O programa exibirá o primeiro modo de vibrar da estrutura. Com vistas a permitir melhor visualização, pode-se alterar a magnificação do modo.

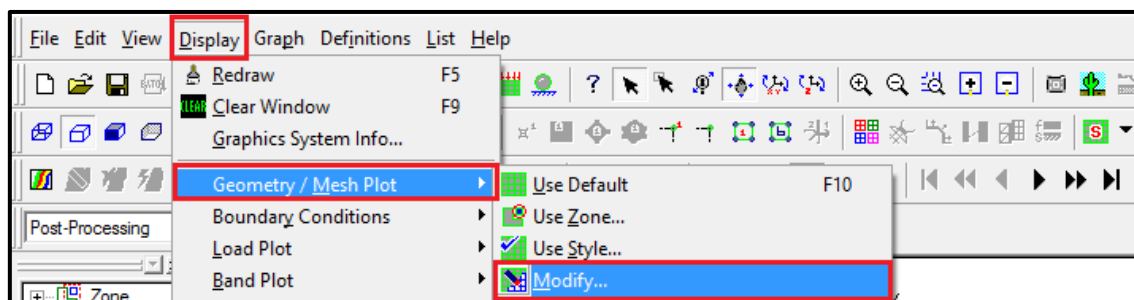


Figura 37

Por definição, o ADINA realiza uma magnificação automática dos modos de vibrar, o que pode culminar em formas aparentemente erradas. Naturalmente, pode ser que um modo não seja apresentado de maneira adequada por causa de uma malha pouco discretizada, por exemplo, mas é interessante sempre verificar se a fator de magnificação não está alto demais. Recomenda-se também aumentar a quantidade de segmentos a serem apresentados, conforme explicado em tutorais anteriores, em: **Display / Geometry/Mesh Plot / Modify / Element Depiction / Advanced / # Segments for Neutral Axis**.

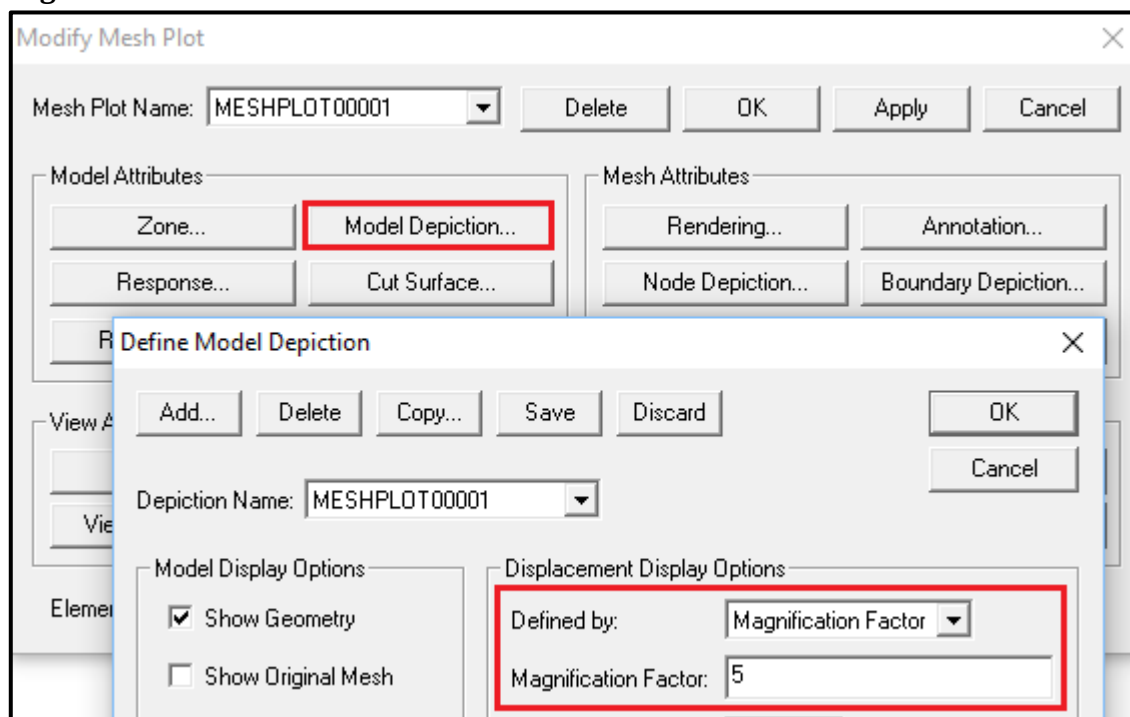


Figura 38 (Obs.: A parcela inferior da caixa, omitida, permanece inalterada)

Seja o primeiro modo, com magnificação igual a 5 e 50 segmentos:

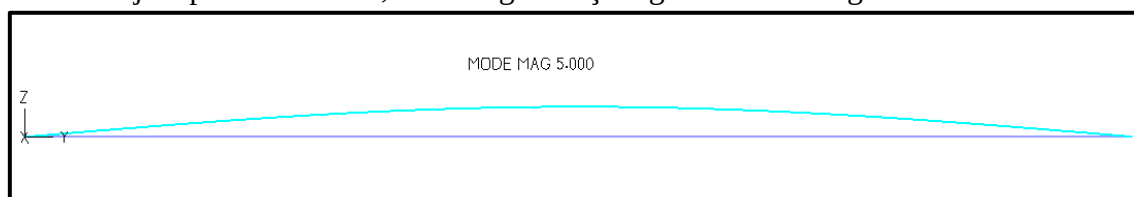


Figura 39

Para observar-se o próximo modo de vibrar, deve-se selecionar **Next Solution**.

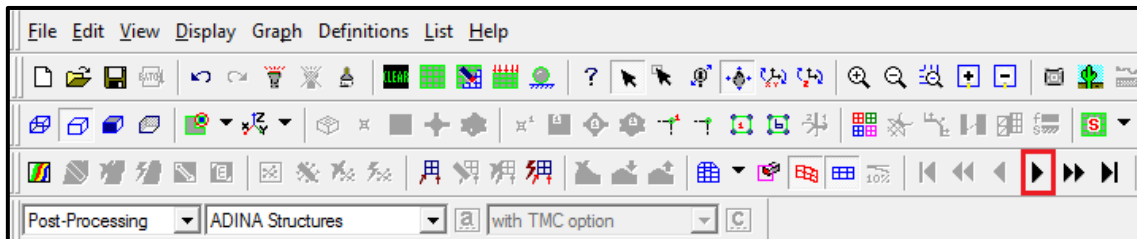


Figura 40

Obtenção das frequências naturais

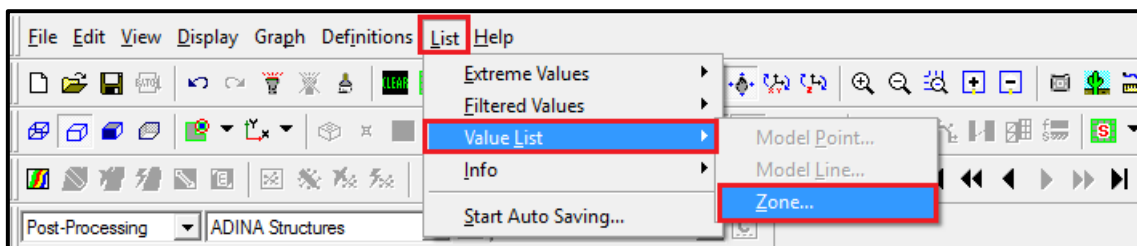


Figura 41

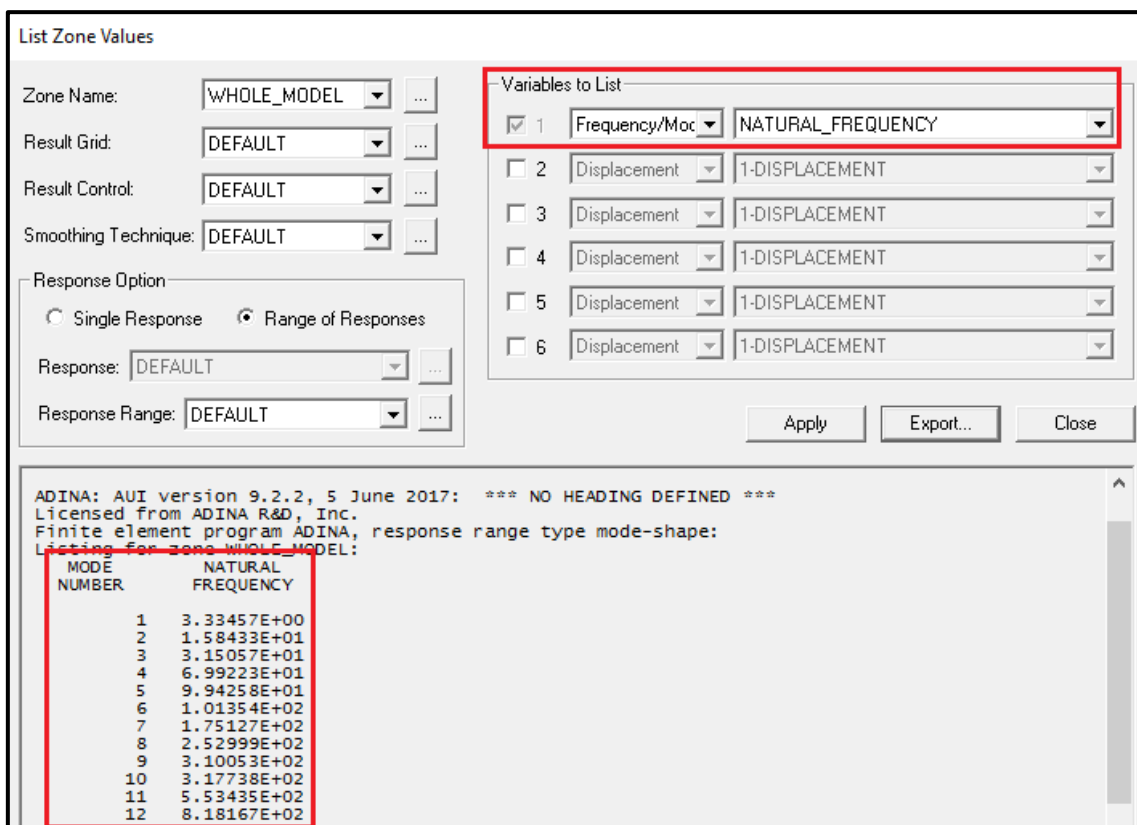


Figura 42

É importante notar que o modelo de elementos finitos pode apresentar modos cujos deslocamentos são axiais, os quais não são captados pela solução analítica. Assim, é possível que o n-ésimo modo do ADINA não coincida com o n-ésimo modo daquela solução. Cabe, portanto, ao usuário verificar as formas modais em ambos os modelos, a fim de realizar eventuais comparações corretamente.

Adaptação do modelo para análise transiente

Geração de novo arquivo de modelagem

Primeiramente, retorna-se ao módulo **ADINA Structures** e abre-se o arquivo **Modelo1.idb**. Então, salva-se o arquivo aberto com o nome **Modelo2.idb**.

Definição de uma função temporal para o carregamento

A função temporal tem por objetivo tornar o carregamento dependente do tempo. Como o carregamento dinâmico obedece a uma função harmônica, a função temporal deve ser também harmônica.

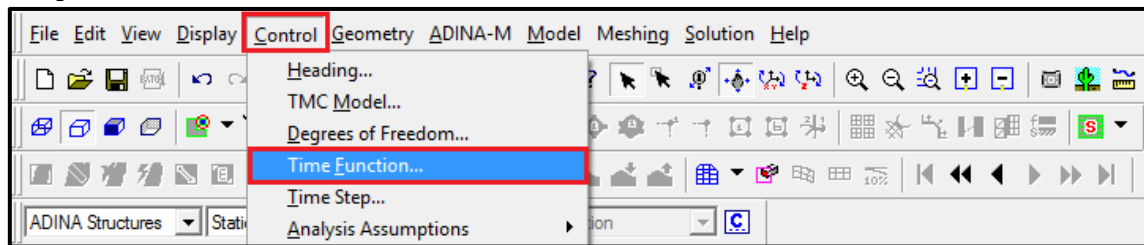


Figura 43

A frequência forçada pode ser escolhida livremente. Neste caso, deseja-se excitar o modo de vibrar fundamental da estrutura com a massa concentrada. Sendo assim, escolhe-se a frequência natural do primeiro modo, que possui valor igual a $3,33457 \text{ rad/s} = 191,05679^\circ/\text{s}$. Os instantes de tempo dados por 0 e 10^{20} são valores-padrão.

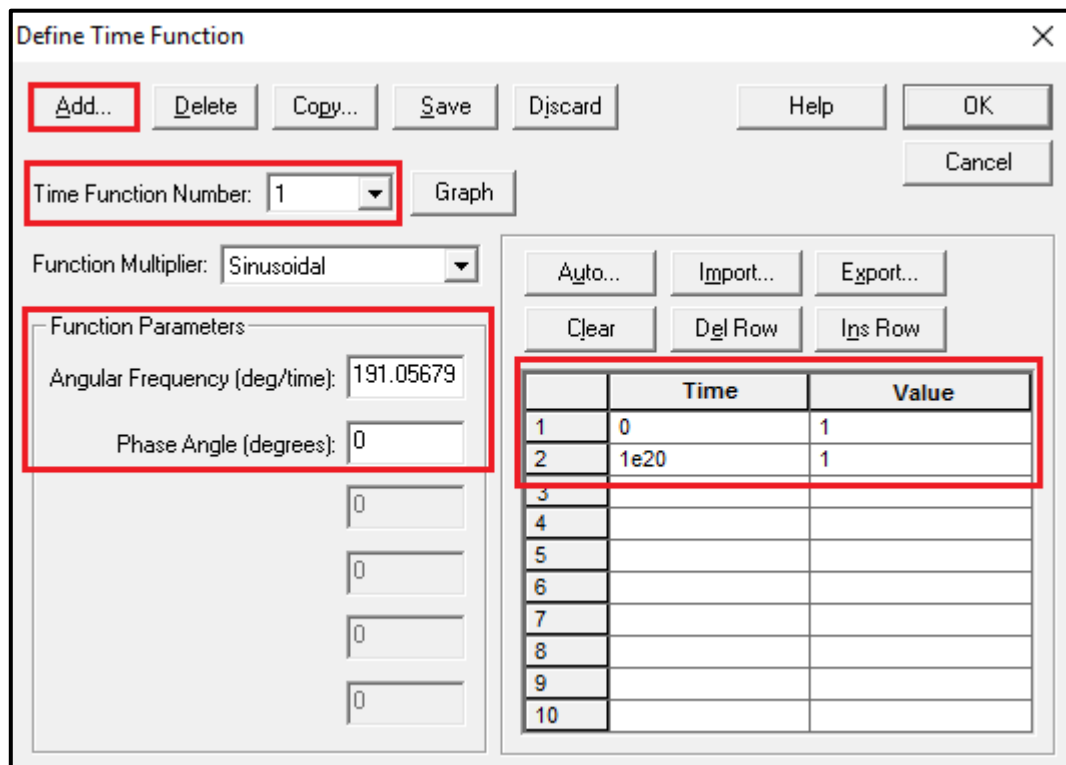


Figura 44

Definição dos passos de execução da solução

Como se deseja obter a resposta dinâmica ao longo do tempo, devem ser determinados os passos de solução, isto é, instantes inicial e final, e a quantidade de instantes dentro deste intervalo de tempo.

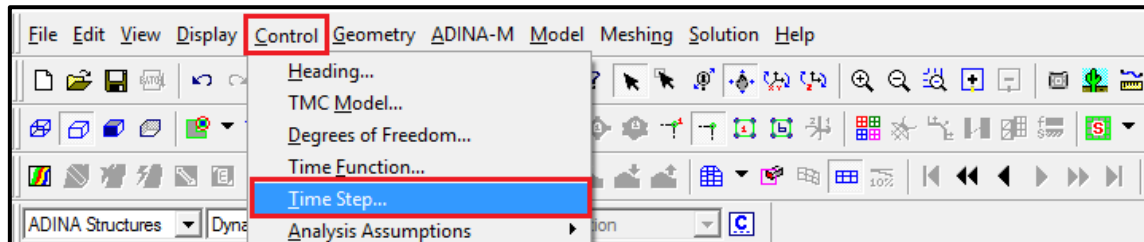


Figura 45

Neste modelo, escolheu-se um passo de 0,01 s, num total de 2000 passos, o que equivale a um intervalo de 20 s.

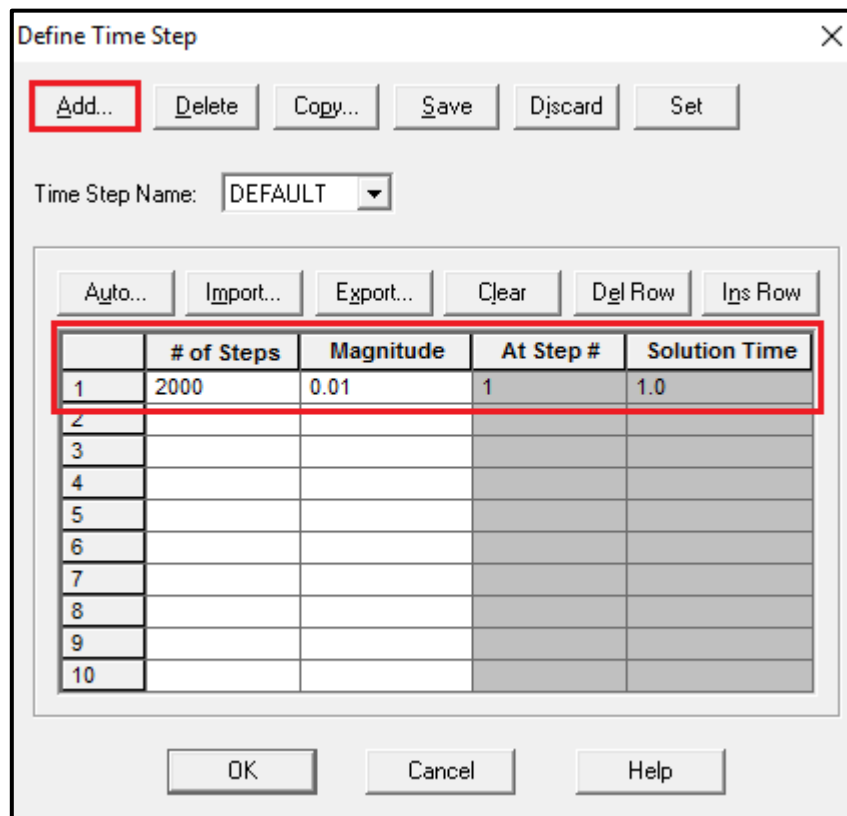


Figura 46

Prescrição de carregamentos no contorno

Determinada a função harmônica que regerá o carregamento dinâmico, deve-se prescrever a amplitude da força.

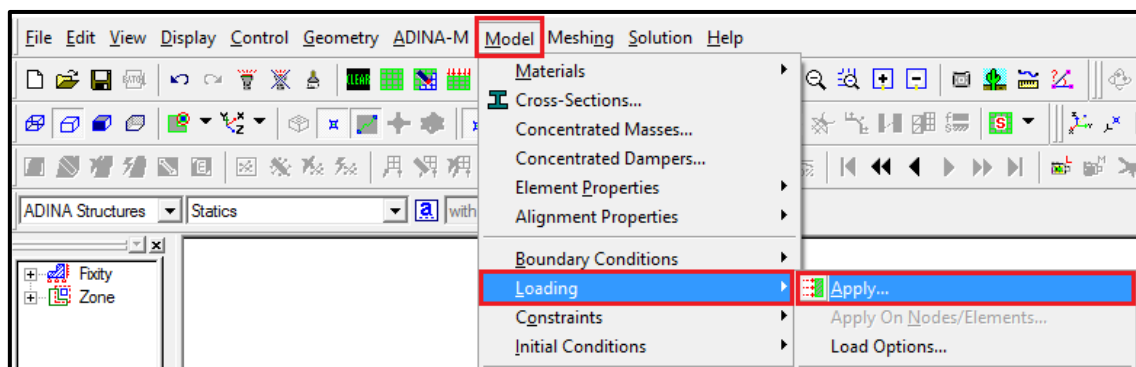


Figura 47

Na janela que se abrirá, haverá uma série de classes de carregamentos disponíveis. A fim de criar-se uma nova força pontual, escolhe-se carregamento do tipo **Force** e pressiona-se o botão **Define**. A direção da força é definida pelo versor que, neste caso, deve apontar para baixo em Z.

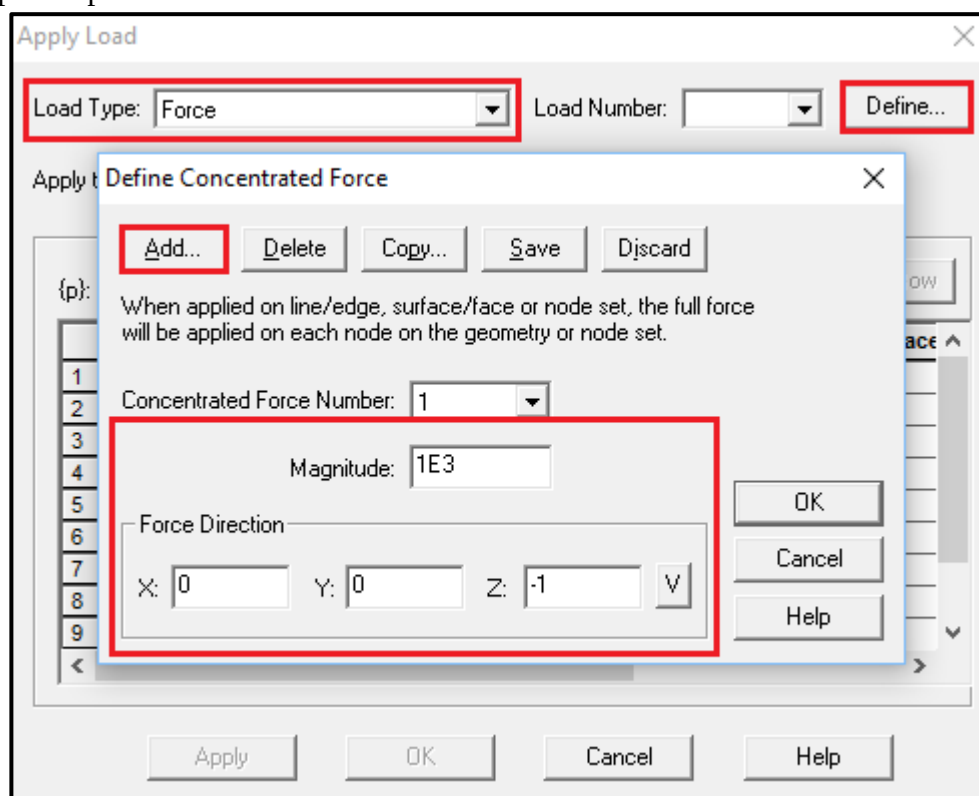


Figura 48

A força recém-definida deve ser aplicada no ponto 2, com a **Time Function** igual a 1, conforme definido anteriormente.

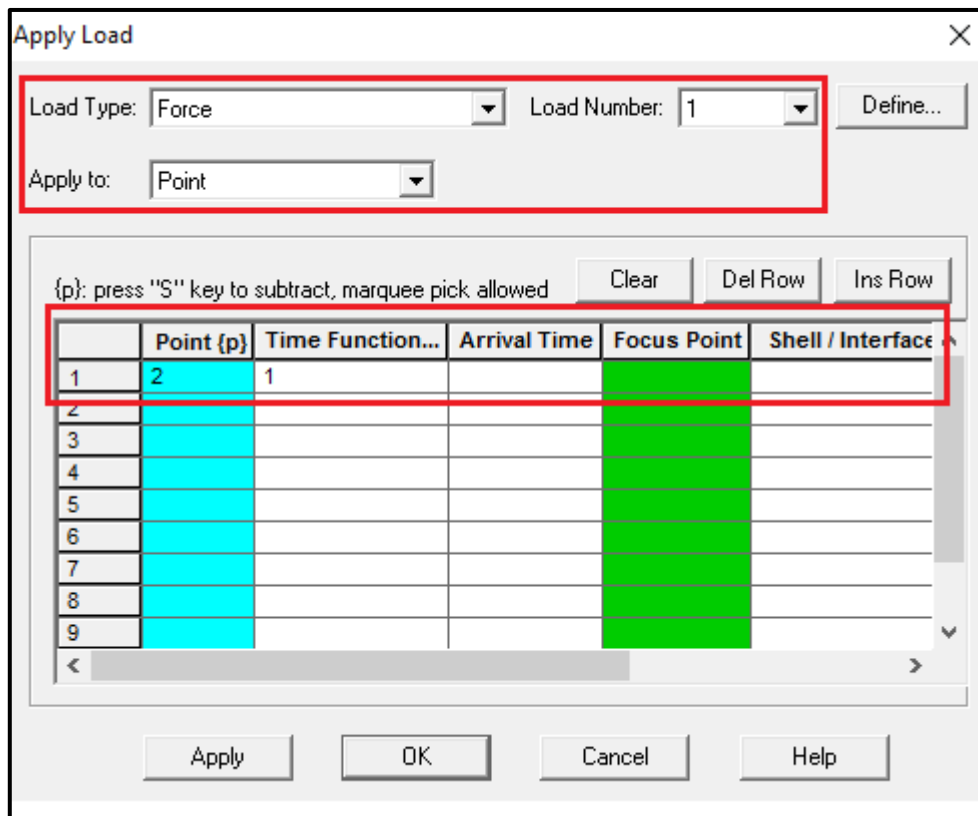


Figura 49

Definição de amortecimento proporcional

Nesta etapa, determina-se o amortecimento tipo Rayleigh, ou proporcional, da estrutura. A matriz de amortecimento proporcional está relacionada às matrizes de rigidez e de massa por dois fatores, que neste modelo são: $\alpha_R = 0$ e $\beta_R = 0,03$.

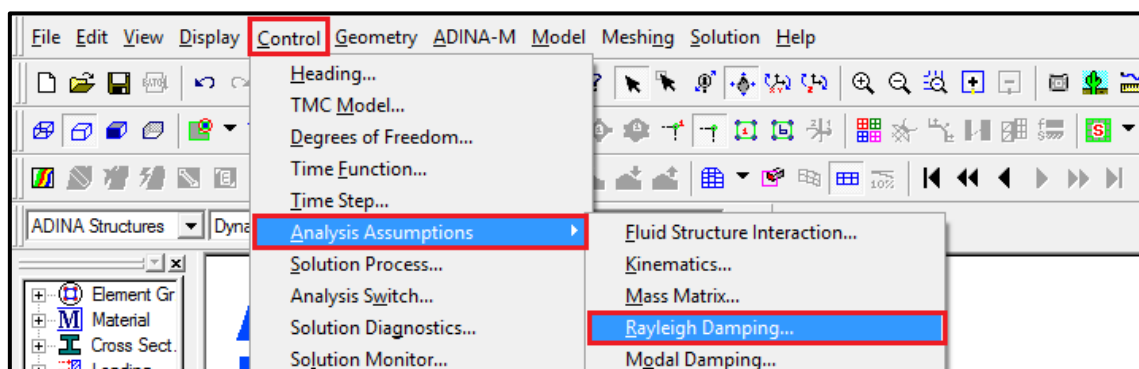


Figura 50

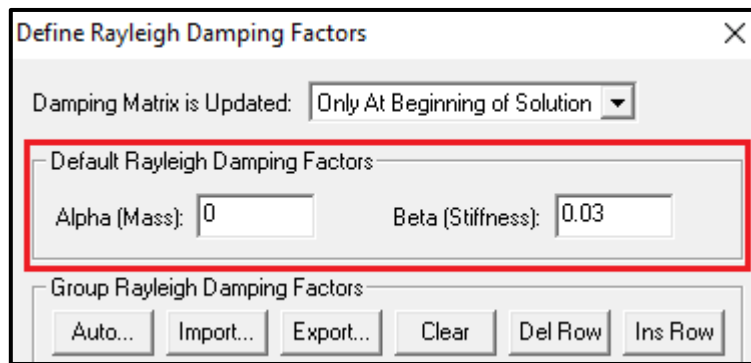


Figura 51 (Obs.: A parcela inferior da caixa, omitida, permanece inalterada)

Processamento do modelo

Seleciona-se como tipo de análise **Dynamics-Implicit**.

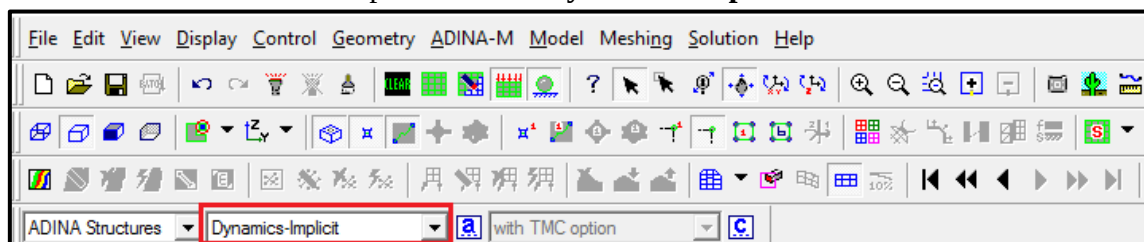


Figura 52

Salva-se, então, o arquivo de formato **Modelo2.idb** e realiza-se o processamento.

Análise dos resultados da análise transiente

Visualização dos modos de vibrar

Abrindo-se o arquivo de pós-processamento, verifica-se que a resposta é similar ao primeiro modo de vibrar, como se esperava.

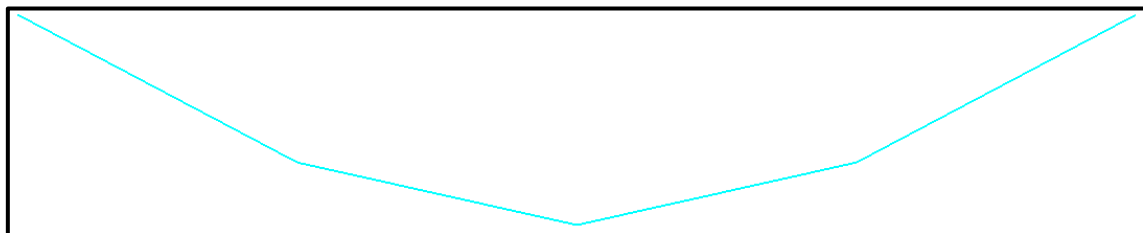


Figura 53

Como já foi discutido, a apresentação do modo pode ser aperfeiçoada alterando-se o fator de magnificação e a quantidade de segmentos a serem dispostos.

Definição de um ponto de amostragem

Deseja-se gerar um **Model Point** que coincida com o meio do vão. Para isso, explicitam-se os nós e sua numeração na malha.

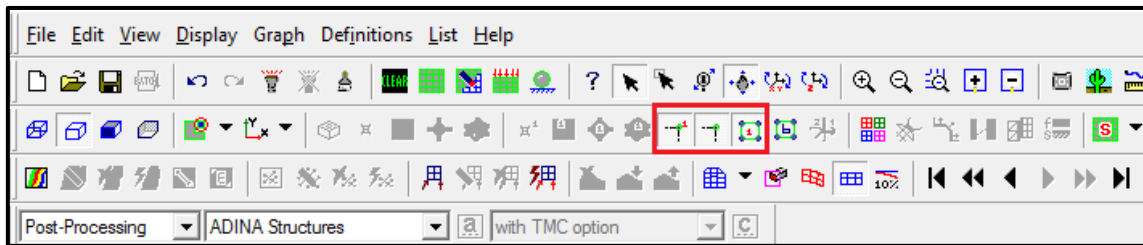


Figura 54

Para quatro elementos, o nó correspondente ao meio do vão será o nó 3. Então, gera-se o ponto de amostragem neste nó.

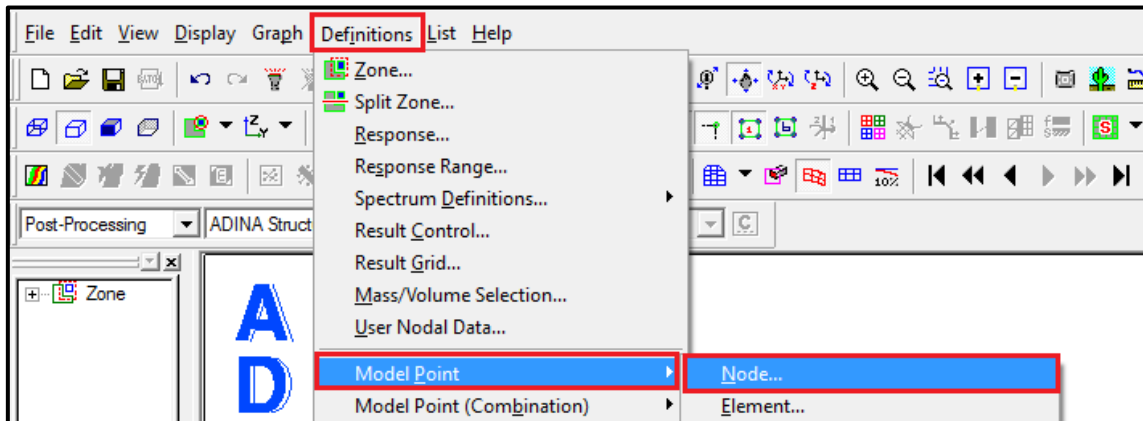


Figura 55

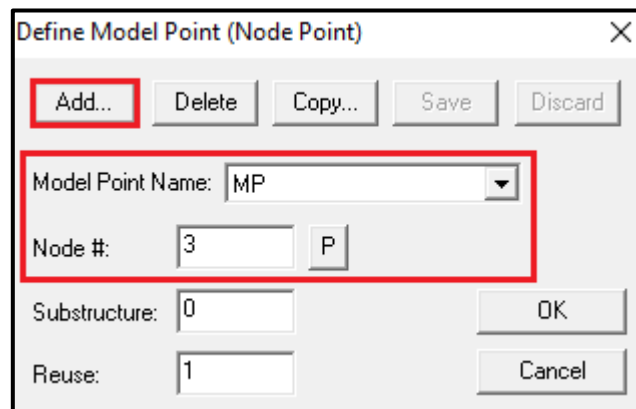


Figura 56

Disposição da resposta dinâmica no domínio do tempo

Antes de gerar o gráfico da resposta, deve-se “limpar” a tela de exibição, a fim que o gráfico não se sobreponha à malha.

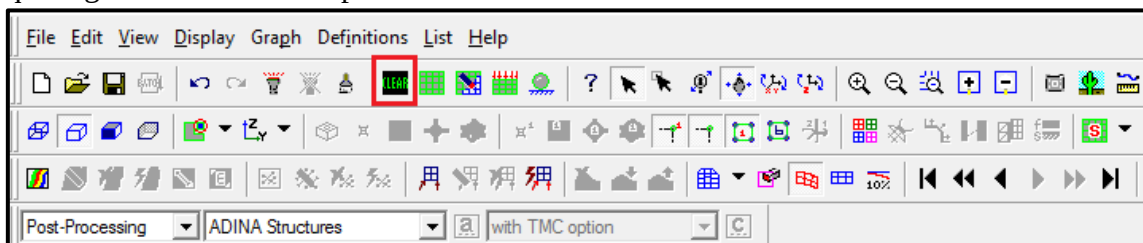


Figura 57

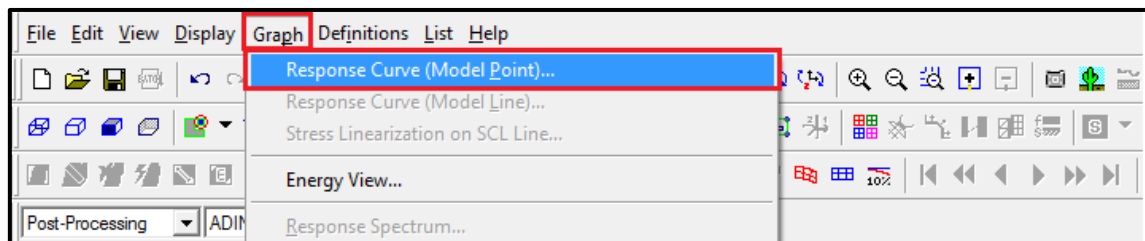


Figura 58

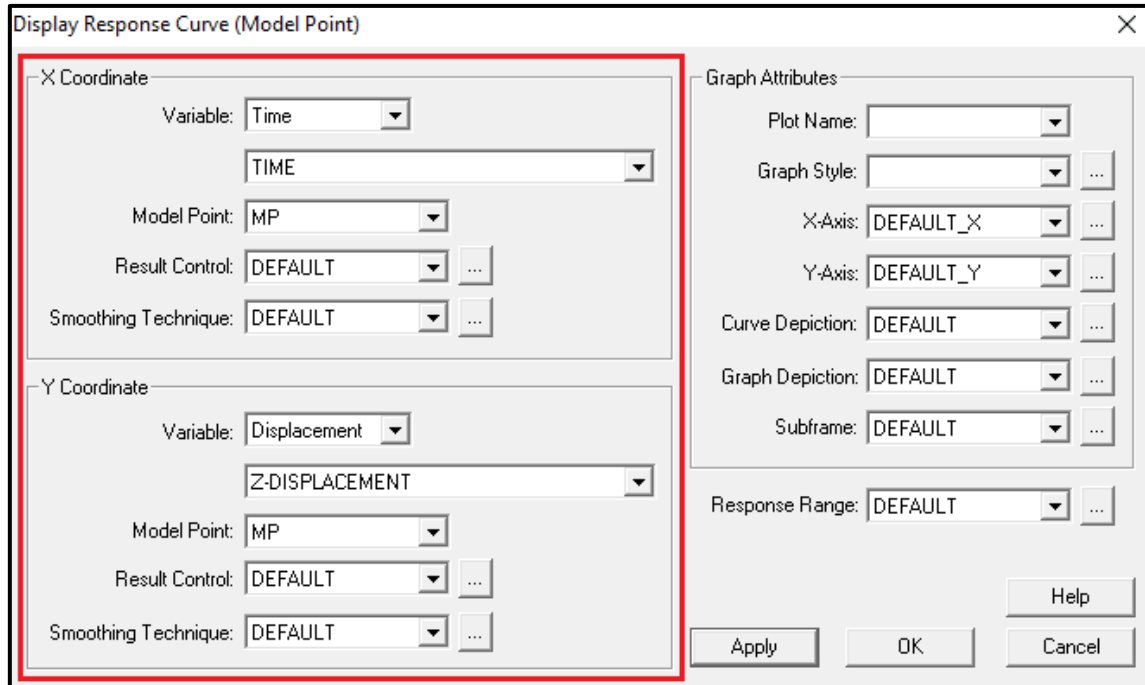


Figura 59

Eis a resposta dinâmica no domínio do tempo:

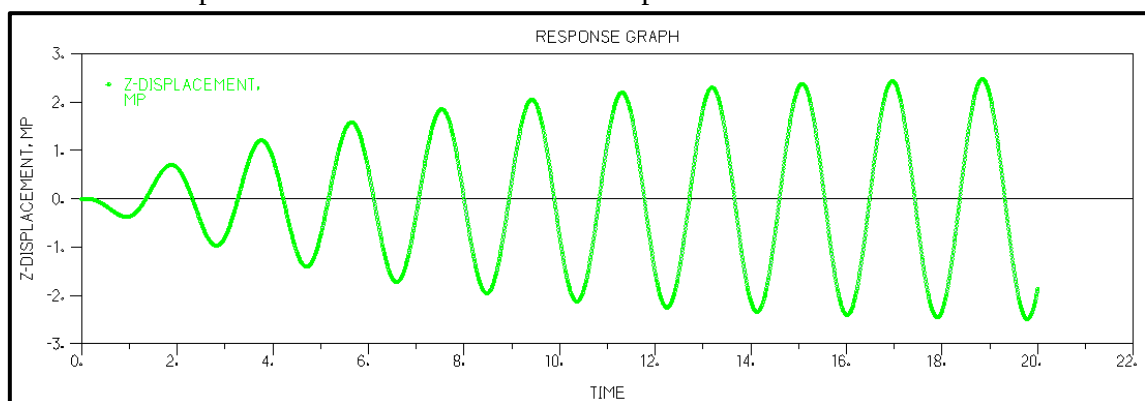


Figura 60

Note-se que esta resposta oscila em torno de zero e não em torno do deslocamento estático no mesmo ponto. Caso se deseje que a solução dinâmica oscile em torno do flecha estática, pode-se, por exemplo:

1. Acrescentar, durante a modelagem, uma carga de intensidade 1000 N no instante zero. Já a carga dinâmica deverá ser aplicada após a estabilização da vibração devida à primeira carga. Este instante poderá ser verificado pelo usuário após um primeiro processamento.

2. Gerar uma variável personalizada dada por “**Z-displacement + flecha estática**”, por meio do caminho “**Definitions / Variable / Resultant**”. A flecha estática, neste caso, pode ser definida a partir da solução analítica.

Referências bibliográficas

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