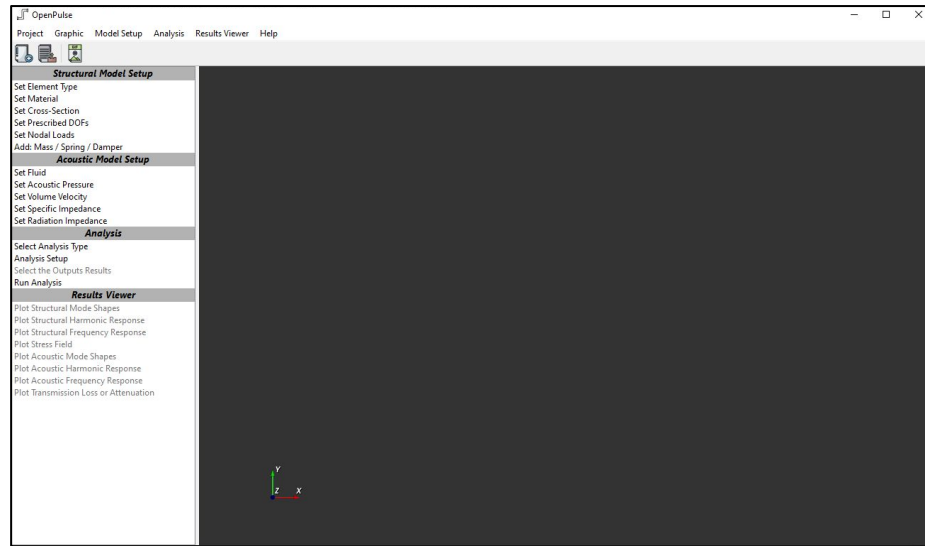


# Tutorial Simplificado

## Análise Estrutural

(Portuguese - PT)

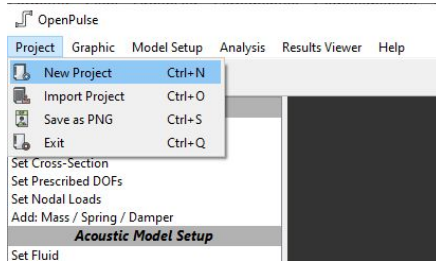


Esta é a tela principal do OpenPulse.

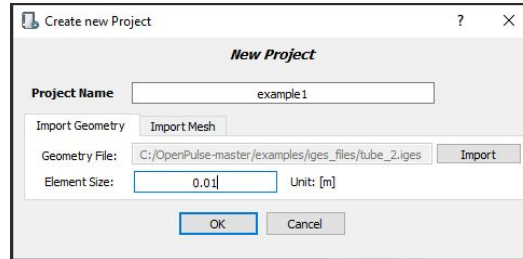
# OpenPulse

<https://github.com/open-pulse/OpenPulse>

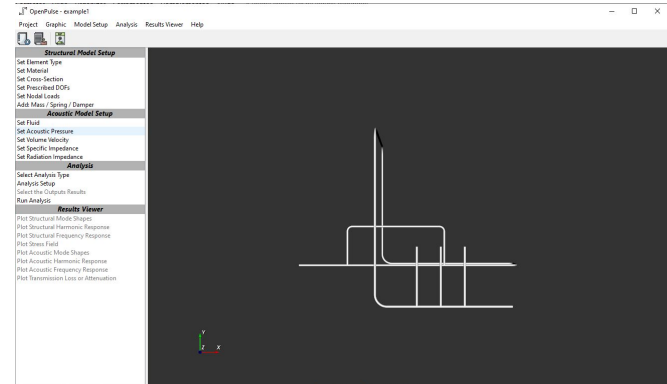
OBS.: a geometria precisa ter sido modelada em “metros”.



Inicie um novo projeto.

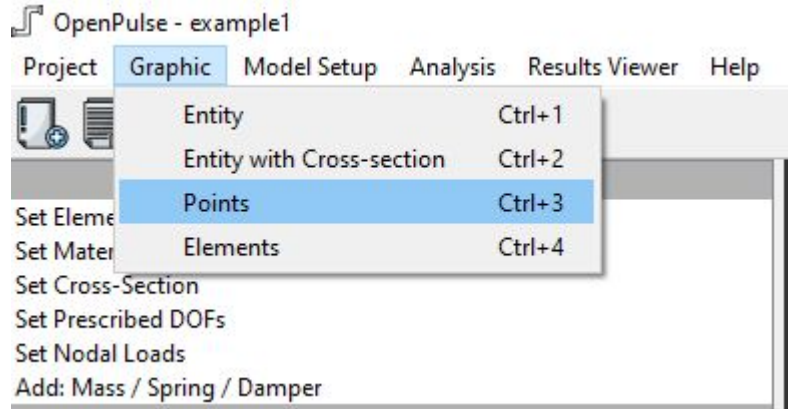


Dê um nome ao projeto. Neste primeiro tutorial, importe o arquivo de geometria *tube\_2.iges*. O tamanho do elemento a ser usado deve ser definido (por exemplo, 0.01m), e a malha é automaticamente gerada. A topologia elementar é de uma linha reta com 2 nós. A mesma malha será utilizada para a análise estrutural (viga Timoshenko FEM) e a análise acústica (1D FETM).



Ao confirmar OK, a geometria é apresentada sem malha e com diâmetro simbólico, apenas para representação das linhas.

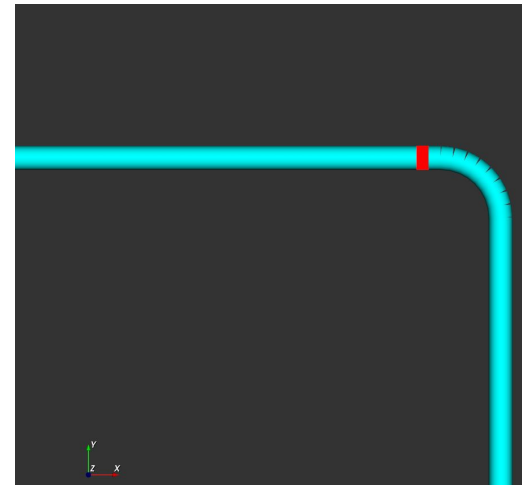
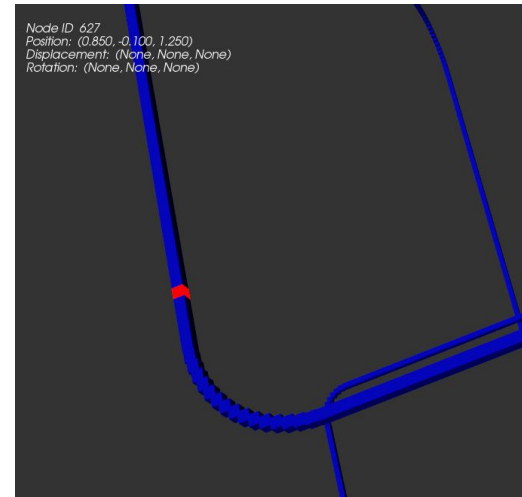
# Tutorial Simplificado (PT)



Neste momento, já é possível visualizar as linhas (*Entity*), os nós (ainda erroneamente chamados de *Points*) e os elementos (*Elements*) da malha, seus IDs e conectividade (no caso dos elementos). Ferramenta ainda em aprimoramento.

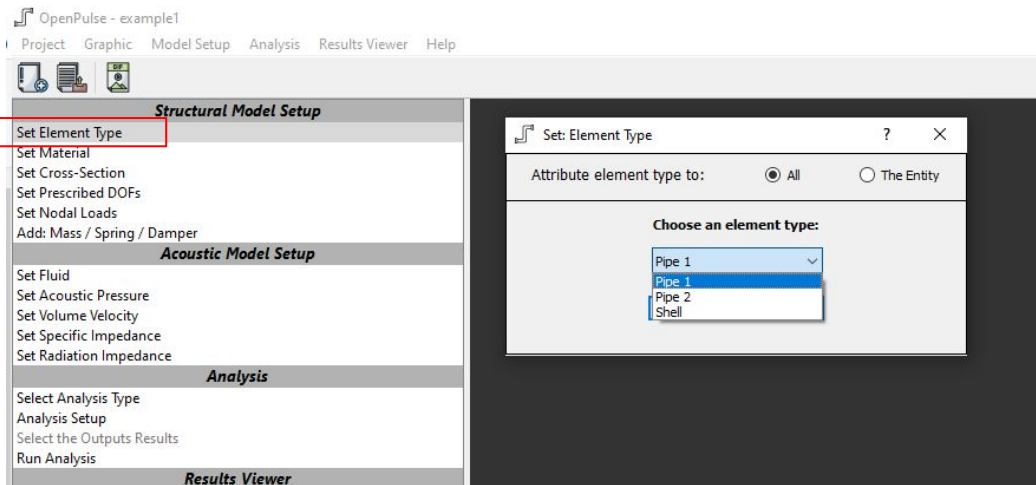
Nenhuma propriedade ainda foi atribuída. Portanto, nesta etapa ainda não é possível visualizar *Entity with Cross-section*.

OpenPulse



Este tutorial é focado na Análise Estrutural. Neste momento, prepararemos o modelo usando o conjunto de opções localizados em ***Structural Model Setup***.

## Definindo o tipo de elemento estrutural



O elemento *Pipe 2* ainda está em desenvolvimento. Trata-se de uma implementação diferenciada, com mais detalhamento teórico.

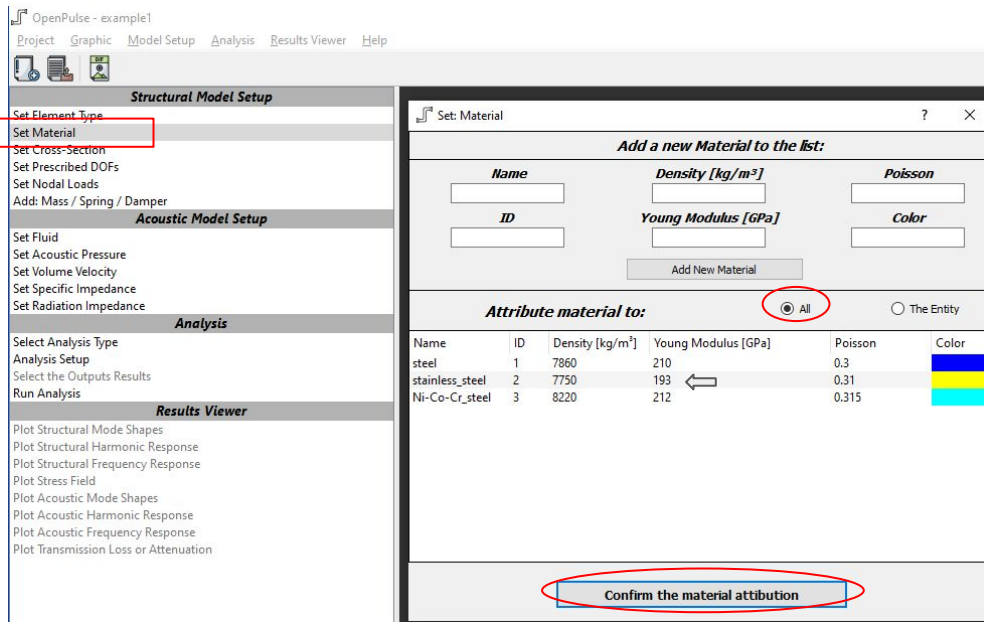
O elemento *Shell* ainda não foi implementado.

No atual estágio do projeto, o OpenPulse apresenta 2 elementos estruturais: *Pipe 1* e *Pipe 2*. O *Pipe 1* é o elemento a ser usado neste exemplo. Trata-se de Timoshenko Beam 3D modelado com propriedades das seções transversais obtidas por integração (podendo admitir quaisquer formas), e com tecnologia padrão de elementos finitos (matrizes elementares não são obtidas analiticamente, mas sim com base em funções de forma lineares e integração numérica).

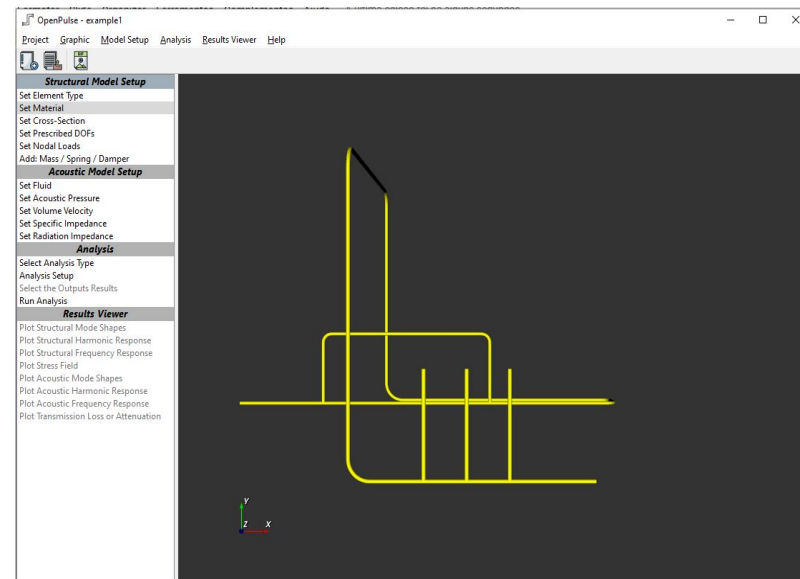
A partir deste momento, o OpenPulse está preparado para receber as informações de seção, de material e de condições de contorno, a serem atribuídas à malha construída na etapa anterior.

# Tutorial Simplificado (PT)

## Definindo os materiais



Na parte inferior da janela *Set Material* há uma lista de materiais pré definidos (ainda a ser aumentada), com cores que os representam nas linhas da geometria. No exemplo acima, clicamos em *Attribute material to All*, e selecionamos o *stainless\_steel*. Clique em *Confirm the material attribution*.



Note que, neste caso, toda a estrutura apresentará a cor do material selecionado (caso não ocorra, clique em *Graphic > Entity*).

# Tutorial Simplificado (PT)

## Definindo os materiais

Há também a opção de se inserir um novo material à lista, conforme exemplo abaixo, com definição do ID, propriedades de cor RGB.

**Set: Material**

**Add a new Material to the list:**

<b>Name</b> Example 3	<b>Density [kg/m³]</b> 7400	<b>Poisson</b> 0.29
<b>ID</b> 6	<b>Young Modulus [GPa]</b> 200	<b>Color</b> [100, 50, 5]

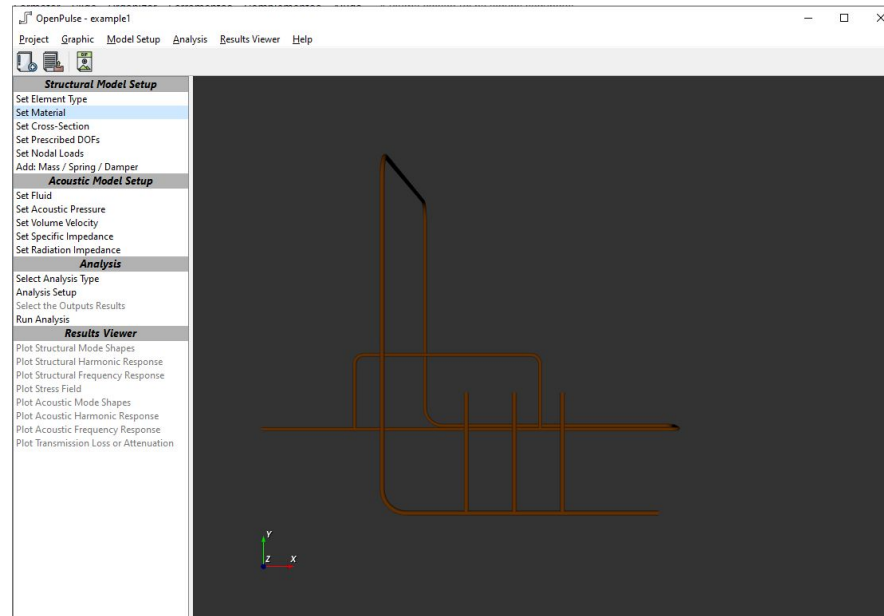
**Add New Material**

**Attribute material to:** ☒ All ☐ The Entity

Name	ID	Density [kg/m³]	Young Modulus [GPa]	Poisson	Color
steel	1	7860	210	0.3	Blue
stainless_steel	2	7750	193	0.31	Yellow
Ni-Co-Cr_steel	3	8220	212	0.315	Cyan
Example 1	4	7400	200	0.29	Black
Example 2	5	7400	200	0.29	Brown
Example 3	6	7400	200	0.29	Brown

**Confirm the material attribution**

Primeiramente, adicione o novo material (botão *Add New Material*). Depois, *Confirm the material attribution*.

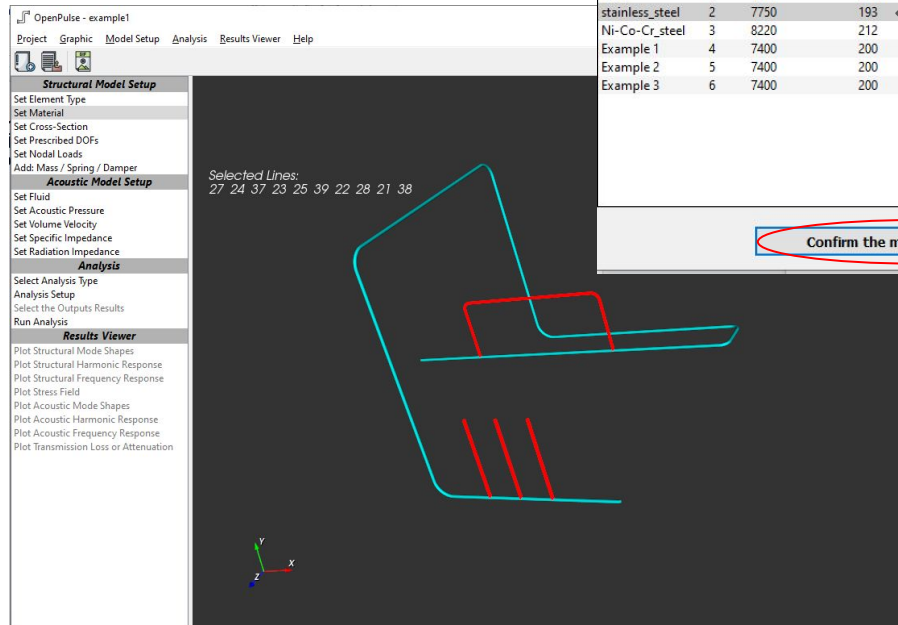


Note que, neste caso, toda a estrutura apresentará a cor do novo material inserido e selecionado.

# Tutorial Simplificado (PT)

## Definindo os materiais

Suponha que toda a estrutura foi anteriormente definida com o material ID 3, e que agora você deseja mudar algumas linhas para o material ID 2.



Set: Material

Add a new Material to the list:

Name	Density [kg/m <sup>3</sup> ]	Poisson
<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
ID	Young Modulus [GPa]	Color
<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>

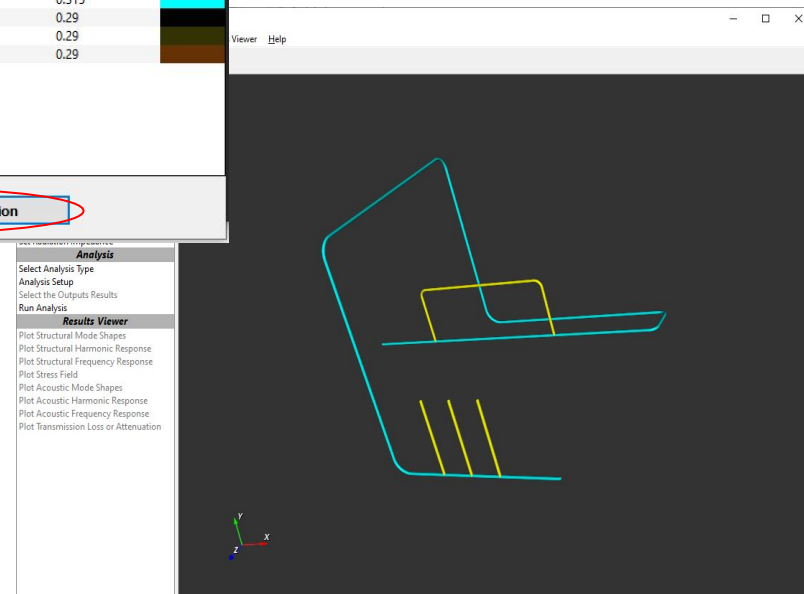
Add New Material

Attribute material to: ☐ All ☒ The Entity

Name	ID	Density [kg/m <sup>3</sup> ]	Young Modulus [GPa]	Poisson	Color
steel	1	7860	210	0.3	
stainless_steel	2	7750	193	0.31	
Ni-Co-Cr_steel	3	8220	212	0.315	
Example 1	4	7400	200	0.29	
Example 2	5	7400	200	0.29	
Example 3	6	7400	200	0.29	

Confirm the material attribution

Vá novamente em **Set Material**, clique em **The Entity**, escolha o novo material, e **Confirm the material attribution**.

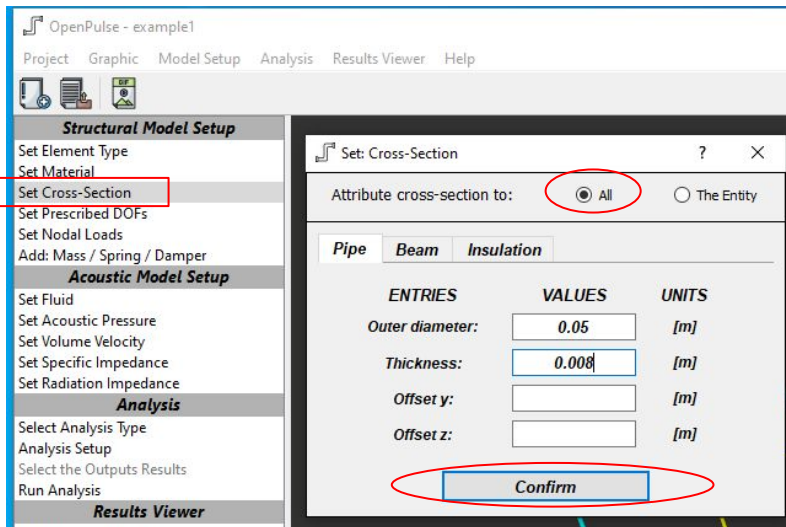


Primeiramente, feche a janela **Set Material**. Em seguida, vá em **Graphic**, e peça para plotar **Entity**. Agora, clique nas linhas que deseja modificar as propriedades. Acima, por exemplo, as linhas selecionadas estão em vermelho.

Veja as diferentes cores para os diferentes materiais atribuídos ao longo da estrutura.

# Tutorial Simplificado (PT)

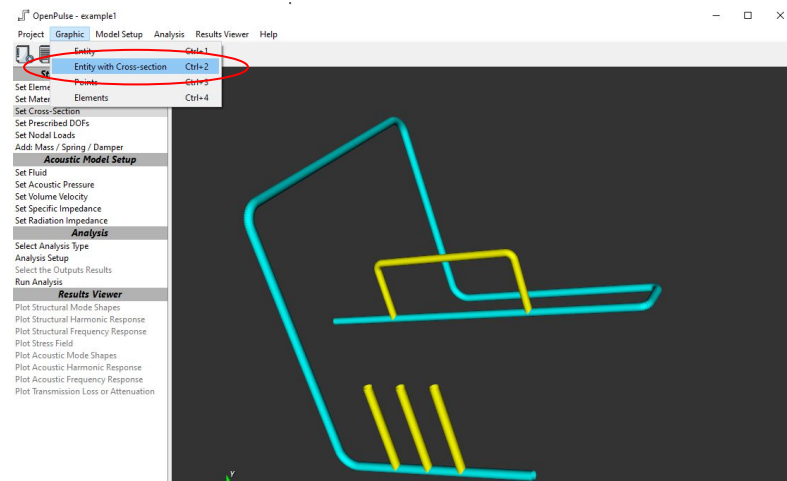
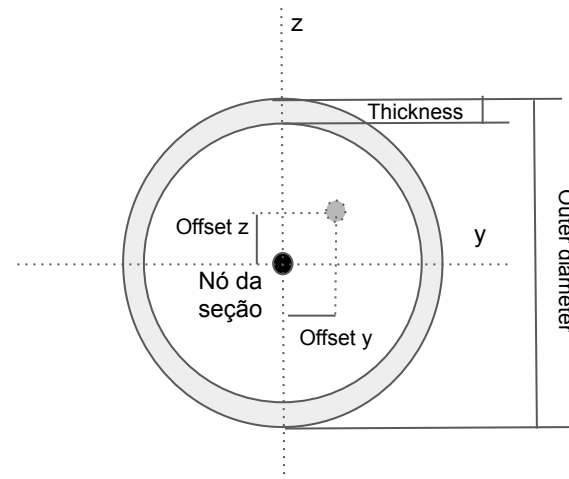
## Definindo as seções transversais dos tubos



Em *Set Cross-Section*, na aba *Pipe*, insira o diâmetro externo e a espessura da parede do tubo para o trecho de análise. Clicando em *All*, toda a estrutura terá a seção escolhida. Clique em *Confirm*.

A aba *Beam* será utilizada na próxima versão do OpenPulse para o dimensionamento de vigas genéricas, como as de reforço/sustentação.

A aba *Insulation* ainda não está em operação.

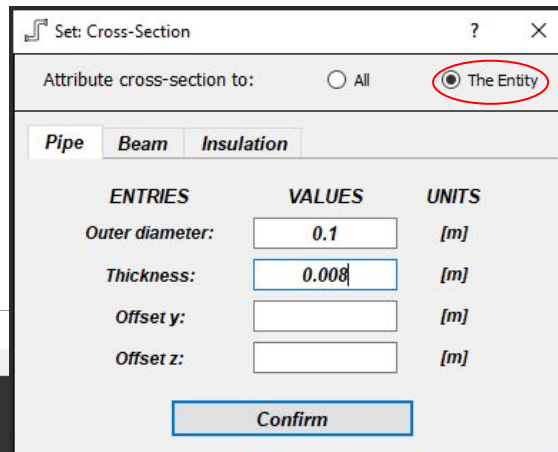
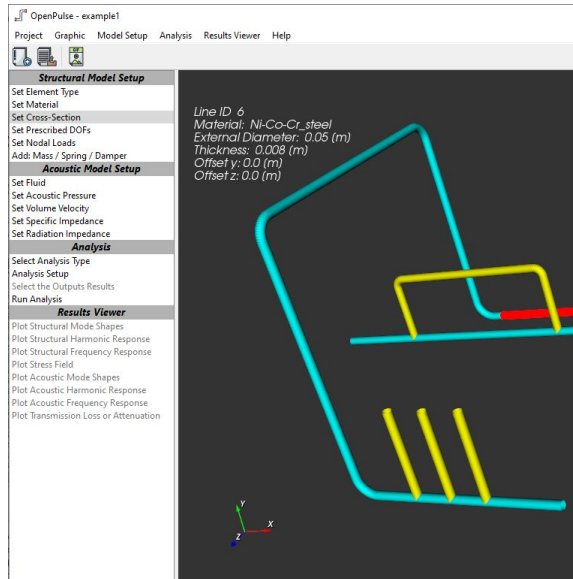


Agora sim poderá visualizar as seções em *Graphic > Entity with Cross-section*.

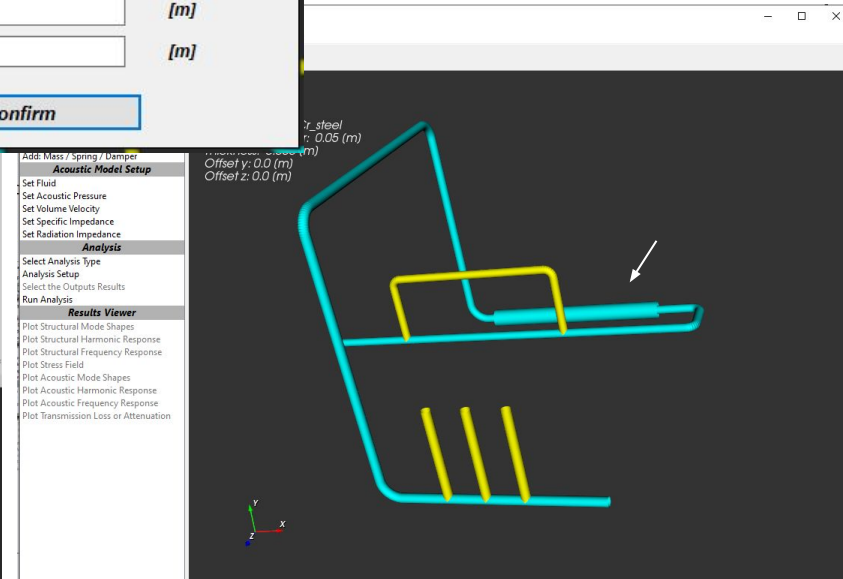
# Tutorial Simplificado (PT)

## Definindo as seções transversais dos tubos

Suponha que toda a estrutura foi anteriormente definida com uma dada seção, e que agora você deseja mudar algumas linhas com novo diâmetro externo e espessura.



Vá novamente em *Set Cross-Section*, clique em **The Entity**, escolha as novas dimensões, e *Confirm*.



Primeiramente, feche a janela *Set Cross-Section*. Agora, clique nas linhas que deseja modificar as propriedades. Acima, por exemplo, a linha selecionada está em vermelho.

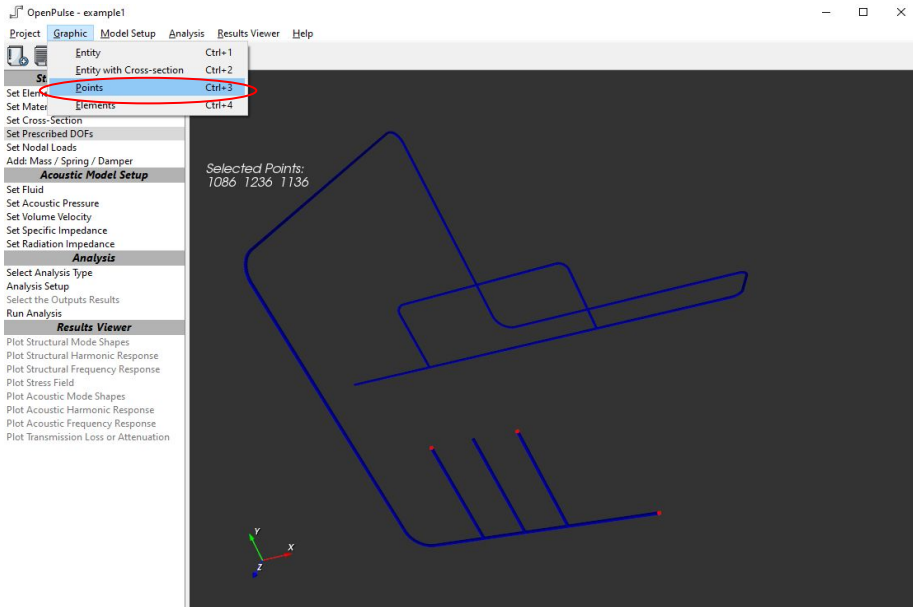
Veja os diferentes diâmetros ao longo da estrutura. Caso não veja, vá em *Graphic > Entity with Cross-section*.



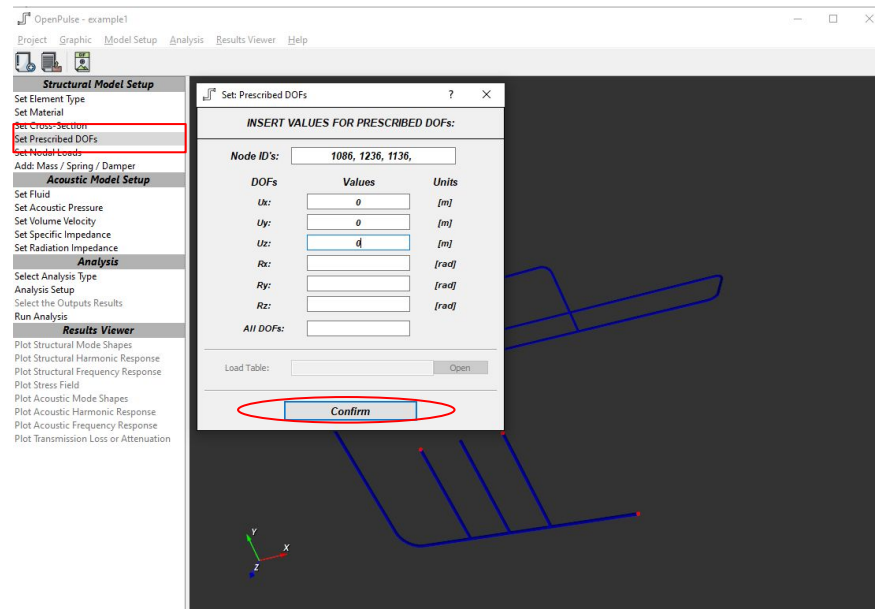
# Tutorial Simplificado (PT)

## Definindo as condições de contorno

### \* Atribuindo deslocamentos



Primeiro, plote os nós da estrutura em *Graphics > Points*. Você pode clicar nos nós desejados para descobrir seus IDs e adicioná-los manualmente na próxima etapa do processo. Ou, assim como para materiais e seções, ao deixar selecionados os nós de interesse, estes aparecerão na próxima etapa do processo.



Clicando em *Set Prescribed DOFs*, os nós anteriormente selecionados aparecerão na caixa de IDs. Ou, adicione manualmente. Você pode inserir valor zero para **restrição** de qualquer grau de liberdade, isoladamente ou em agrupamento qualquer. Você também pode atribuir um valor diferente de zero, no caso da aplicação de valores de vibrações medidos/conhecidos. No caso acima, aplicamos 0 em  $U_x$ ,  $U_y$  e  $U_z$  dos nós escolhidos. Confirme. Esses valores valerão para todas as frequências de excitação a serem ainda definidas. A leitura de tabelas oriundas de medições será habilitada em próxima versão do OpenPulse, onde valores complexos poderão variar com a frequência.

# Tutorial Simplificado (PT)

## Definindo as condições de contorno

### \* Atribuindo deslocamentos

Set: Prescribed DOFs

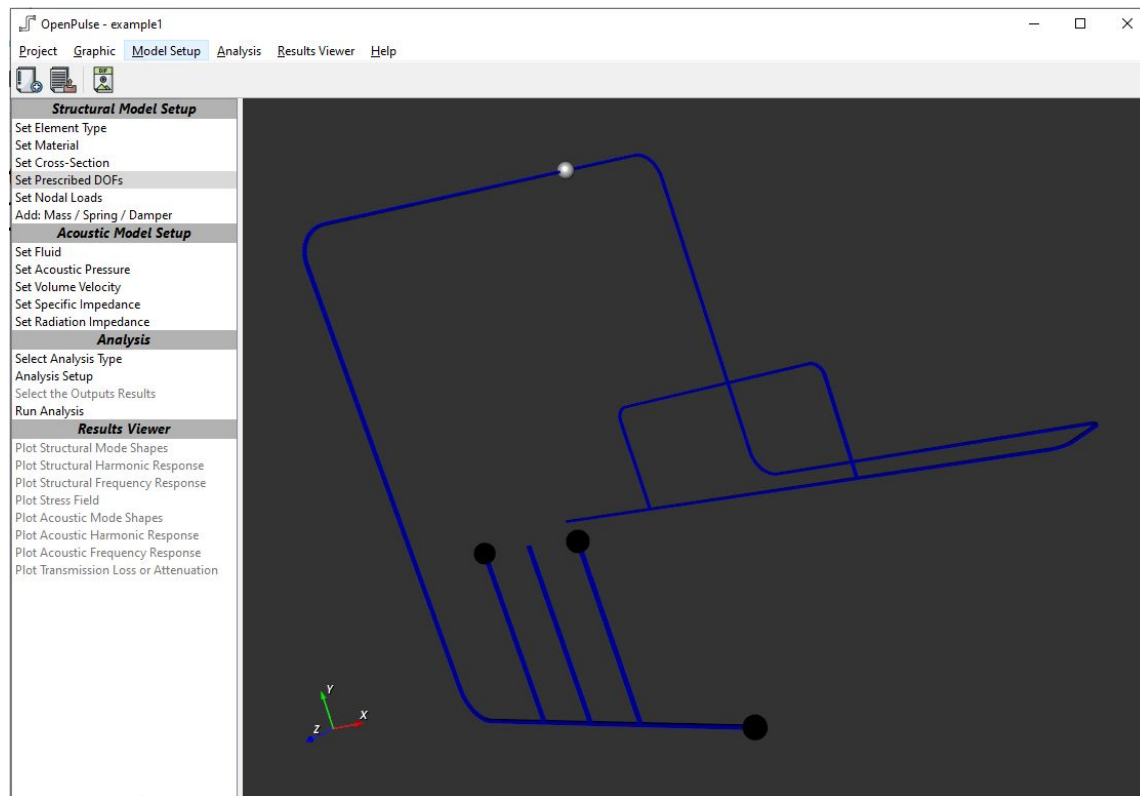
INSERT VALUES FOR PRESCRIBED DOFs:

Node ID's:

DOFs	Values	Units
Ux:	<input type="text" value="1"/>	[m]
Uy:	<input type="text"/>	[m]
Uz:	<input type="text"/>	[m]
Rx:	<input type="text"/>	[rad]
Ry:	<input type="text"/>	[rad]
Rz:	<input type="text"/>	[rad]
All DOFs:	<input type="text"/>	

Load Table:

Aqui, um exemplo entrando diretamente com o ID do nó, clicando novamente em *Set Prescribed DOFs*. Neste caso, atribuímos um valor diferente de zero:  $U_x = 1$  m, que valerá para todas as frequências de excitação a serem ainda definidas.

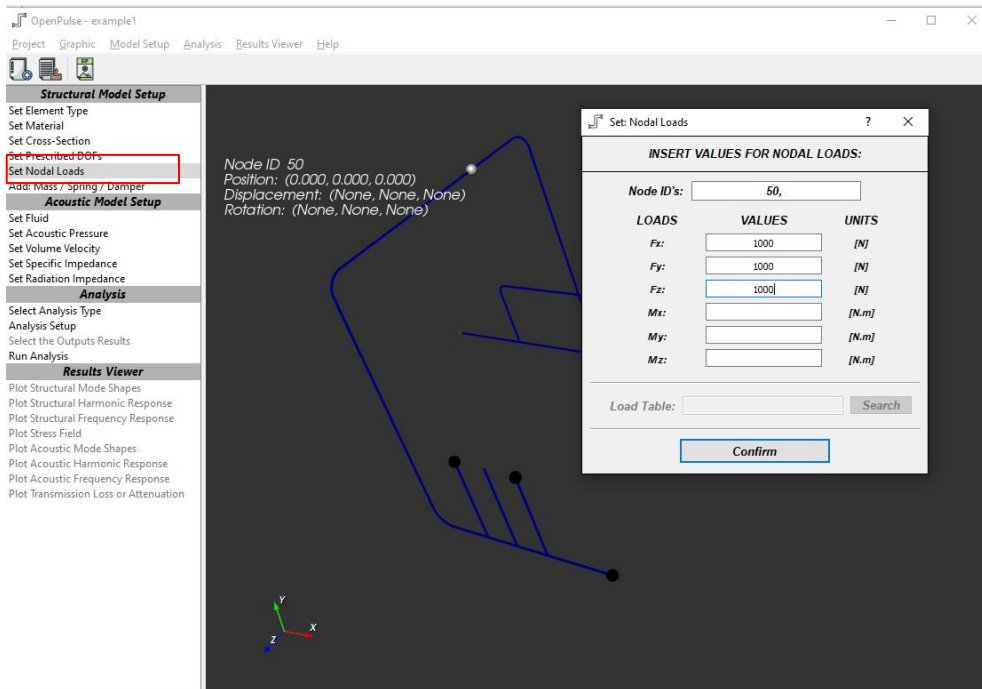


Nesta versão, a visualização das condições de contorno está simplificada. As esferas pretas indicam DOFs prescritos com 0, enquanto que as prateadas indicam DOFs prescritos com valores diferentes de zero. Esta visualização nesta etapa é possível apenas em *Graphic > Points*.

# Tutorial Simplificado (PT)

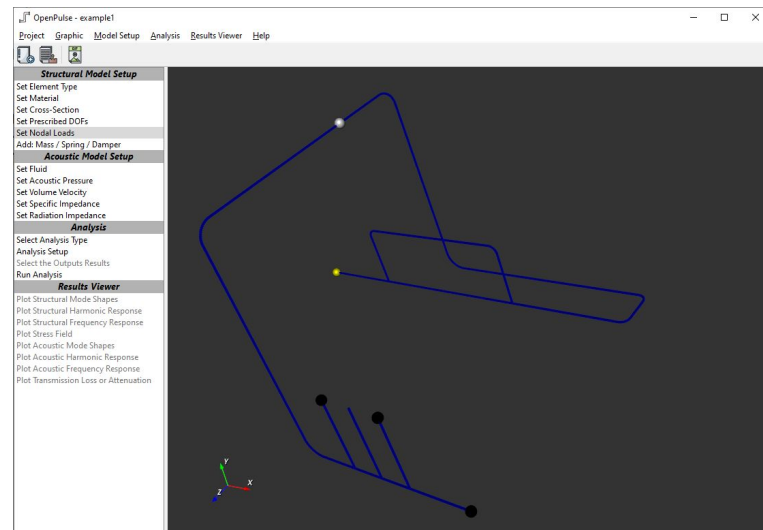
## Definindo as condições de contorno

### \* Definindo excitações (forças e momentos)



Da mesma forma como para os DOFs, primeiro plote os nós da estrutura em *Graphics > Points*. Você pode clicar nos nós desejados para descobrir seus IDs e adicioná-los manualmente na próxima etapa do processo. Ou, ao deixar selecionados os nós de interesse, estes aparecerão na próxima etapa do processo.

Os valores das forças e momentos podem, então, ser atribuídos aos nós de interesse (por grau de liberdade isolado, ou para qualquer conjunto requerido). Esses valores valerão para todas as frequências de excitação a serem ainda definidas. Na próxima versão, haverá a opção de carregamento por tabelas.

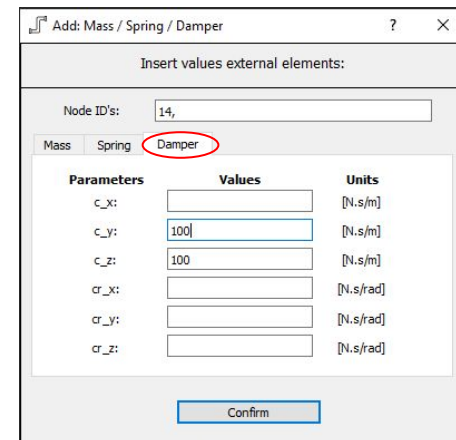
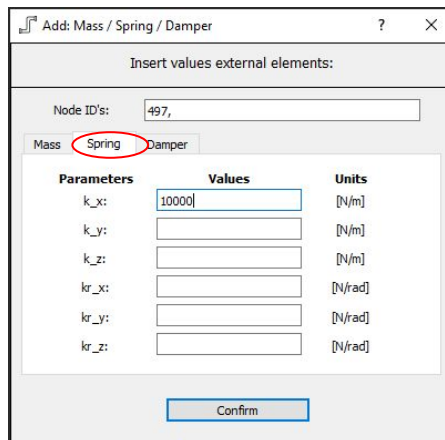
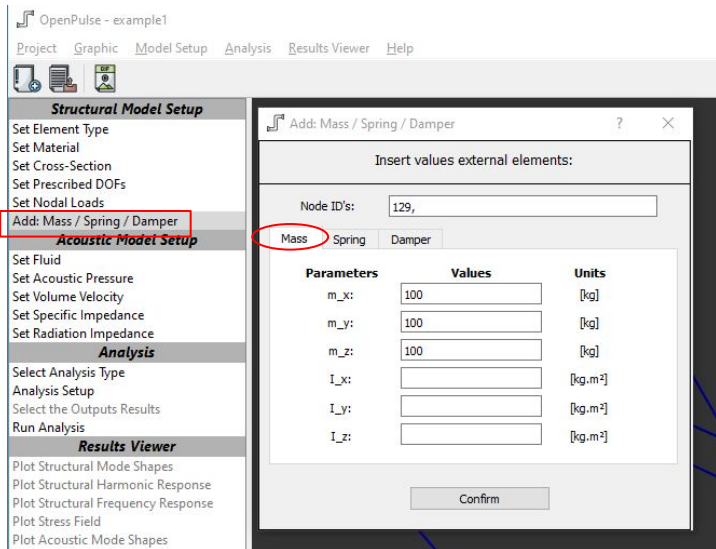


Após confirmação, as esferas amarelas indicarão os nós com carregamento.

# Tutorial Simplificado (PT)

## Definindo massas, molas e amortecedores (concentrados)

Aqui os nós são selecionados da mesma forma que para atribuição de DOFs e forças. O parâmetro concentrado conecta o nó de interesse (no grau de liberdade especificado) com o ground.

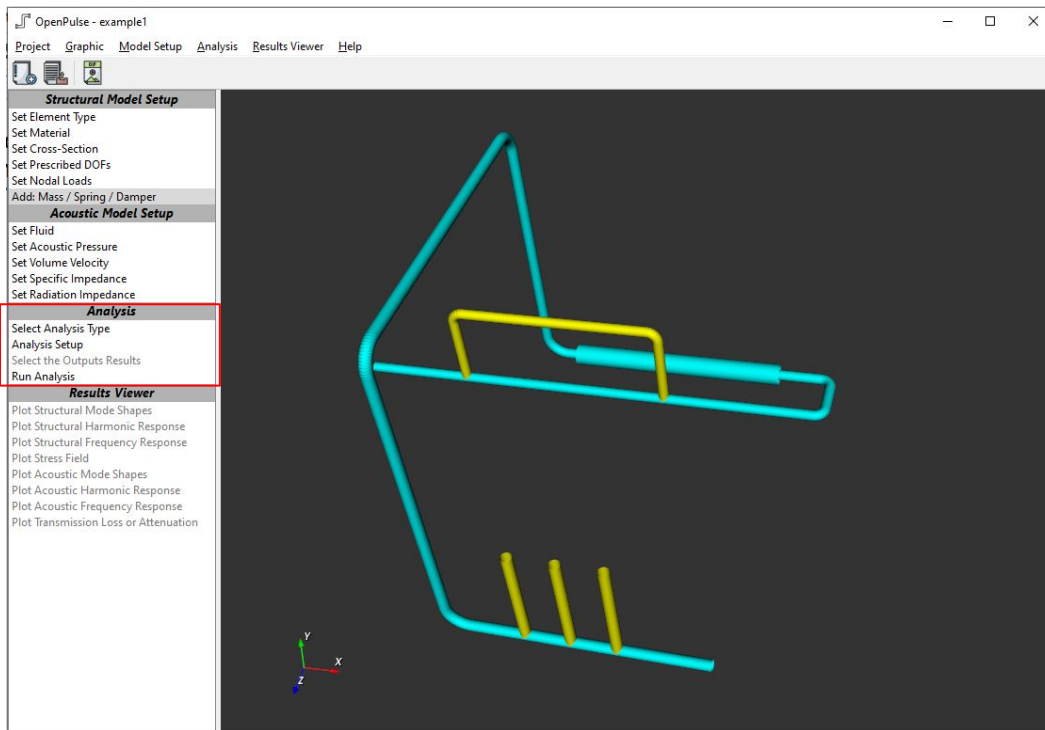


Acesse a função quantas vezes forem necessárias, trocando nós, graus de liberdade, valores dos parâmetros.

Na versão atual, ainda não temos representação gráfica para estes elementos.

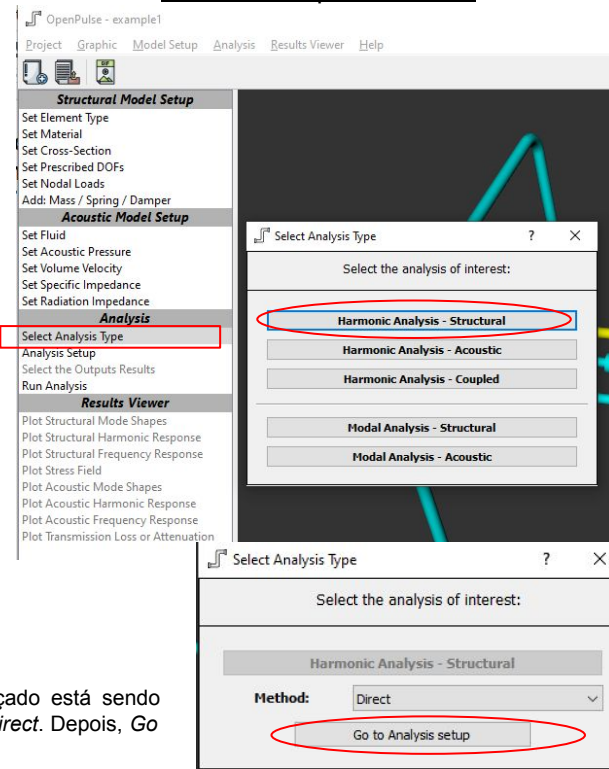
# Tutorial Simplificado (PT)

Com geometria, elemento, materiais, seções e condições de contorno definidos, parte-se para **Analysis**.



Neste tutorial simplificado, faremos apenas uma Análise Harmônica pelo Método Direto. Um tutorial avançado está sendo preparado. Clique em *Select Analysis Type*, e depois em *Harmonic Analysis - Structural*. Escolha o *Method > Direct*. Depois, *Go to Analysis setup*.

## Definindo o tipo de análise



## Definindo os parâmetros da análise

Analysis setup

**ANALYSIS SETUP:**

**Structural Harmonic Analysis  
Direct Method**

**Frequency Setup** Damping

ENTRIES	VALUES	UNITS
Freq min:	0.0	[Hz]
Freq max:	200.0	[Hz]
df:	1	[Hz]

Confirm

Analysis setup

**ANALYSIS SETUP:**

**Structural Harmonic Analysis  
Direct Method**

Frequency Setup **Damping**

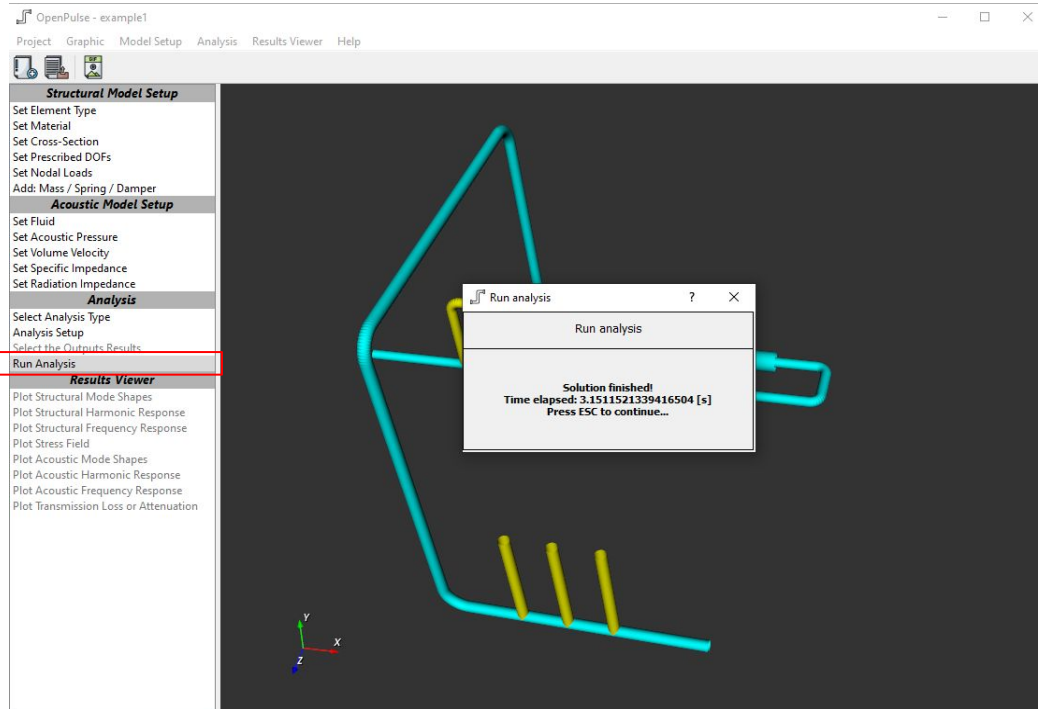
MODEL	ENTRIES	VALUES	UNITS
Proportional Viscous	$\alpha_v$ :		[1/s]
	$\beta_v$ :		[s]
Proportional Hysteretic	$\alpha_h$ :		[1/s <sup>2</sup> ]
	$\beta_h$ :	1e-6	[-]

Confirm

Agora escolha as frequências mínima e máxima, o incremento de frequência, o modelo de amortecimento e o valor dos parâmetros de amortecimento. Em seguida, *Confirm*.

# Tutorial Simplificado (PT)

## Realizando a análise



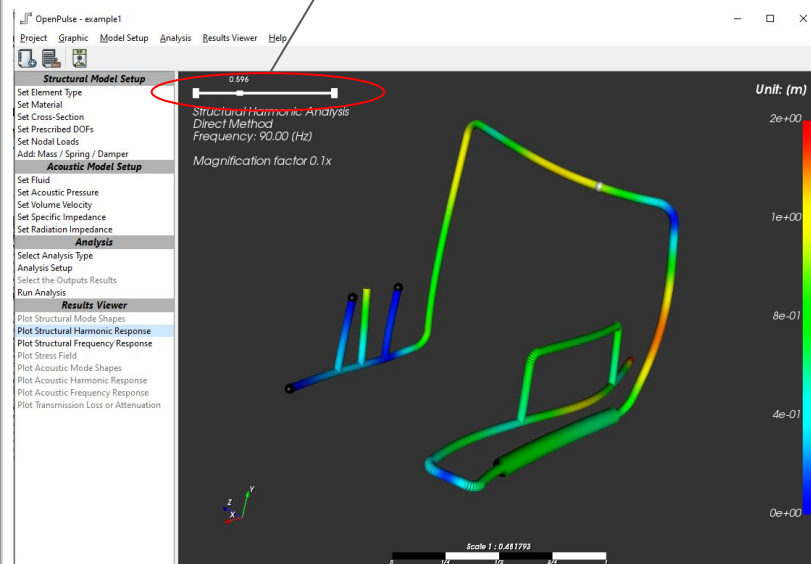
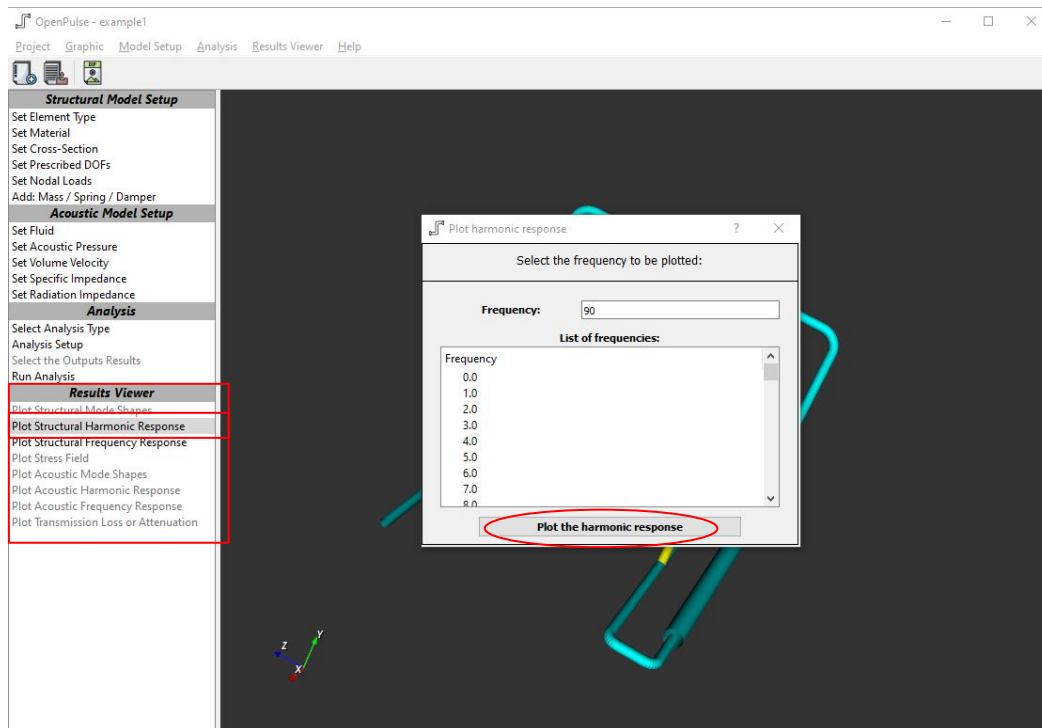
Só resta clicar em *Run Analysis* para proceder com a solução. Uma pequena janela aparecerá ao término da solução, apresentando o tempo total da análise.

# Tutorial Simplificado (PT)

Com a solução obtida, pode-se visualizar os resultados em  
**Results Viewer.**

## Visualizando a resposta forçada da estrutura

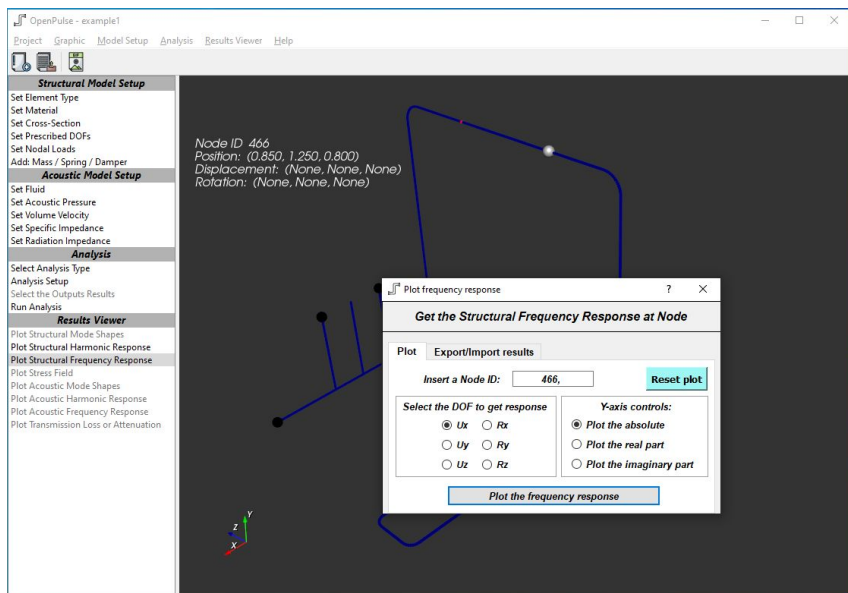
Dependendo da frequência, você poderá melhorar a visualização ajustando o *Magnification Factor*.



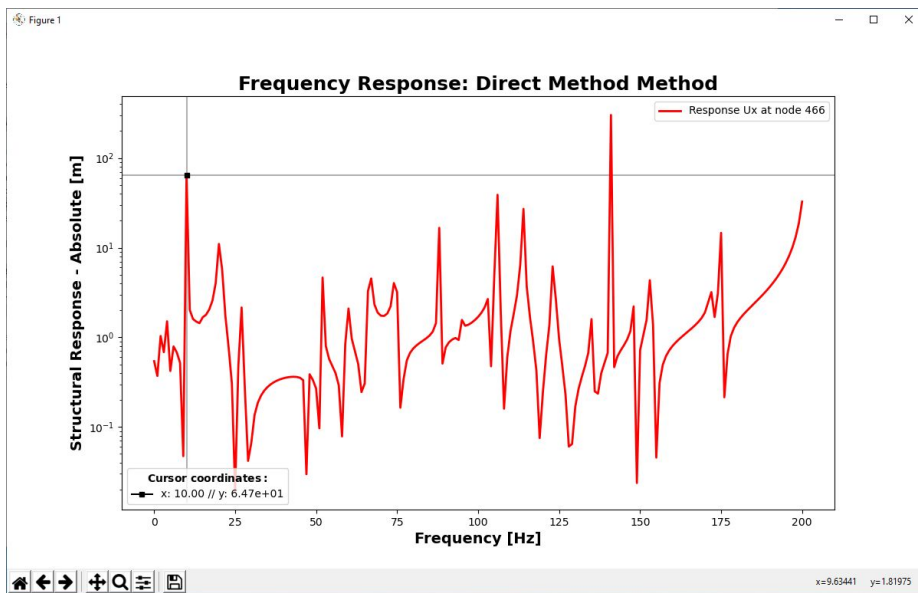
Primeiramente, clique em *Plot Structural Harmonic Response* para visualização da estrutura deformada (parte real dos deslocamentos) em uma dada frequência de interesse (dentro do range e incremento utilizados na análise harmônica). Escolha na lista, ou digite a frequência. Depois, *Plot the harmonic response*.



## Visualizando a resposta em frequência de deslocamentos/rotações



Da mesma forma como para os DOFs ou carregamentos, primeiro plote os nós da estrutura em **Graphics > Points**. Você pode clicar no nó desejado para descobrir seu ID e adicioná-lo manualmente na próxima etapa do processo. Ou, ao deixar selecionado o nó de interesse, este aparecerá na próxima etapa do processo (como acima). Um nó por vez.



Você poderá escolher qualquer grau de liberdade para a representação da resposta em frequência, um de cada vez. Poderá também escolher entre o valor absoluto, parte real e parte imaginária. No exemplo, é apresentado o valor absoluto do deslocamento Ux para o nó 466.