




# OPENCADD

MODEL - BASED DESIGN DRIVEN COMPANY

*Modeling  
for Life!*



## EXPERIÊNCIA NA PUC-RIO NO DESENVOLVIMENTO DE SOFTWARE EDUCACIONAL EM MATLAB

Luiz Fernando Martha

## DESENVOLVENDO UM SOFTWARE PARA CÁLCULO ESTRUTURAL EM MATLAB

Rafael Rangel



# EXPERIÊNCIA NA PUC-RIO NO DESENVOLVIMENTO DE SOFTWARE EDUCACIONAL EM MATLAB

- O MATLAB é um ambiente de programação com alto nível de abstração que permite a criação de aplicativos gráficos-interativos com muita rapidez
- Professores e alunos podem criar programas de simulação com alta qualidade de interface gráfica com pouco conhecimento de técnicas de computação gráfica
- O MATLAB é uma poderosa ferramenta para o ensino de engenharia, matemática, física e química não só pelo ambiente de programação, mas também porque aplicativos educacionais *stand-alones* podem ser desenvolvidos e utilizados no aprendizado em virtualmente todas as áreas técnico-científicas



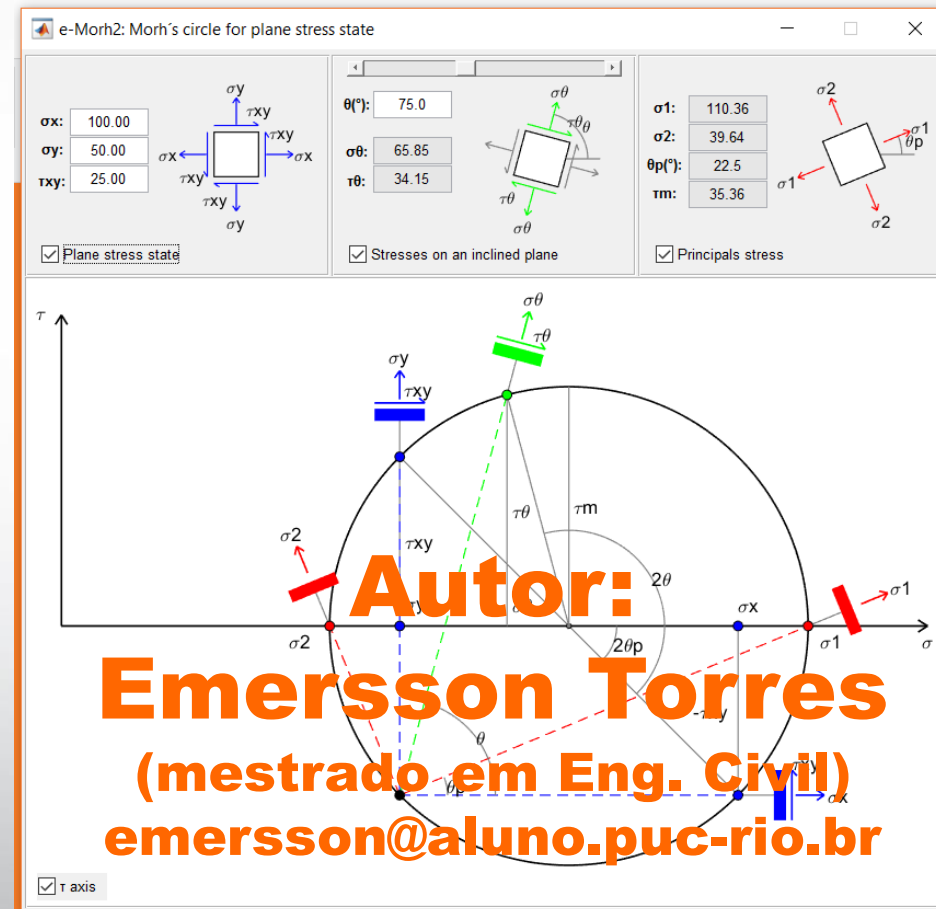
# EXPERIÊNCIA NA PUC-RIO NO DESENVOLVIMENTO DE SOFTWARE EDUCACIONAL EM MATLAB

- O Instituto Tecgraf/PUC-Rio, seguindo tradição e experiência no desenvolvimento de *software* educacional para engenharia, está ativo no uso do MATLAB para aumentar sua contribuição na área
- Dois exemplos:
  - e-Mohr: programa gráfico interativo para ensino de círculo de Mohr para estado bidimensional de tensões
  - LESM: Linear Elements Structure Model, *software* para análise estrutural
- Outros departamentos e laboratórios também já iniciaram desenvolvimentos de programas educacionais
- O Centro Técnico Científico (CTC) da PUC-Rio está atento para essa nova realidade e planeja cursos para desenvolvimento de aplicativos gráficos no ambiente MATLAB



# e-Mohr2

Este programa demonstra como funciona o Círculo de Mohr para estado plano de tensões, de uma forma gráfica e interativa. Foi desenvolvido no contexto da programação orientada a objetos (POO).

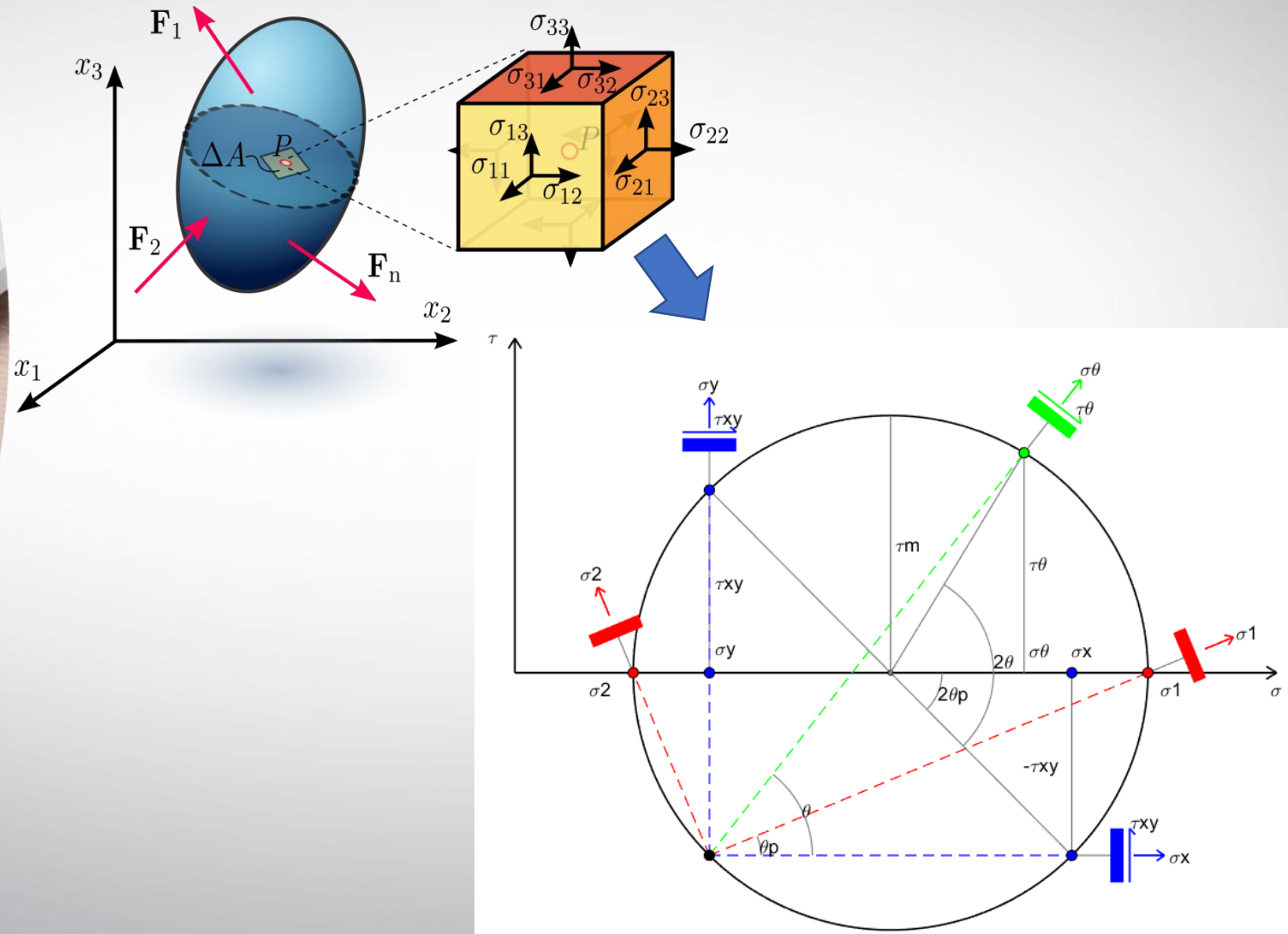


**Autor:**  
**Emersson Torres**  
(mestrado em Eng. Civil)  
emersson@aluno.puc-rio.br



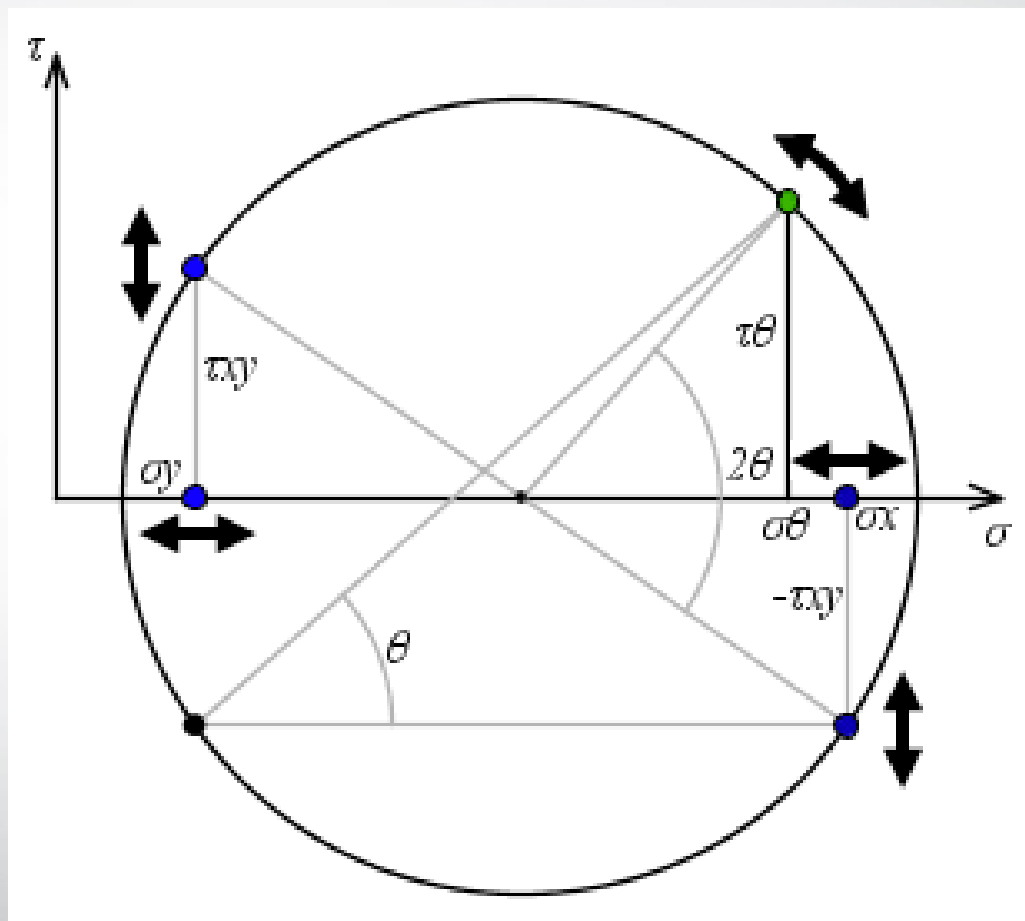
# Círculo de Mohr

Método gráfico para representar o comportamento da tensão em um ponto de um elemento.

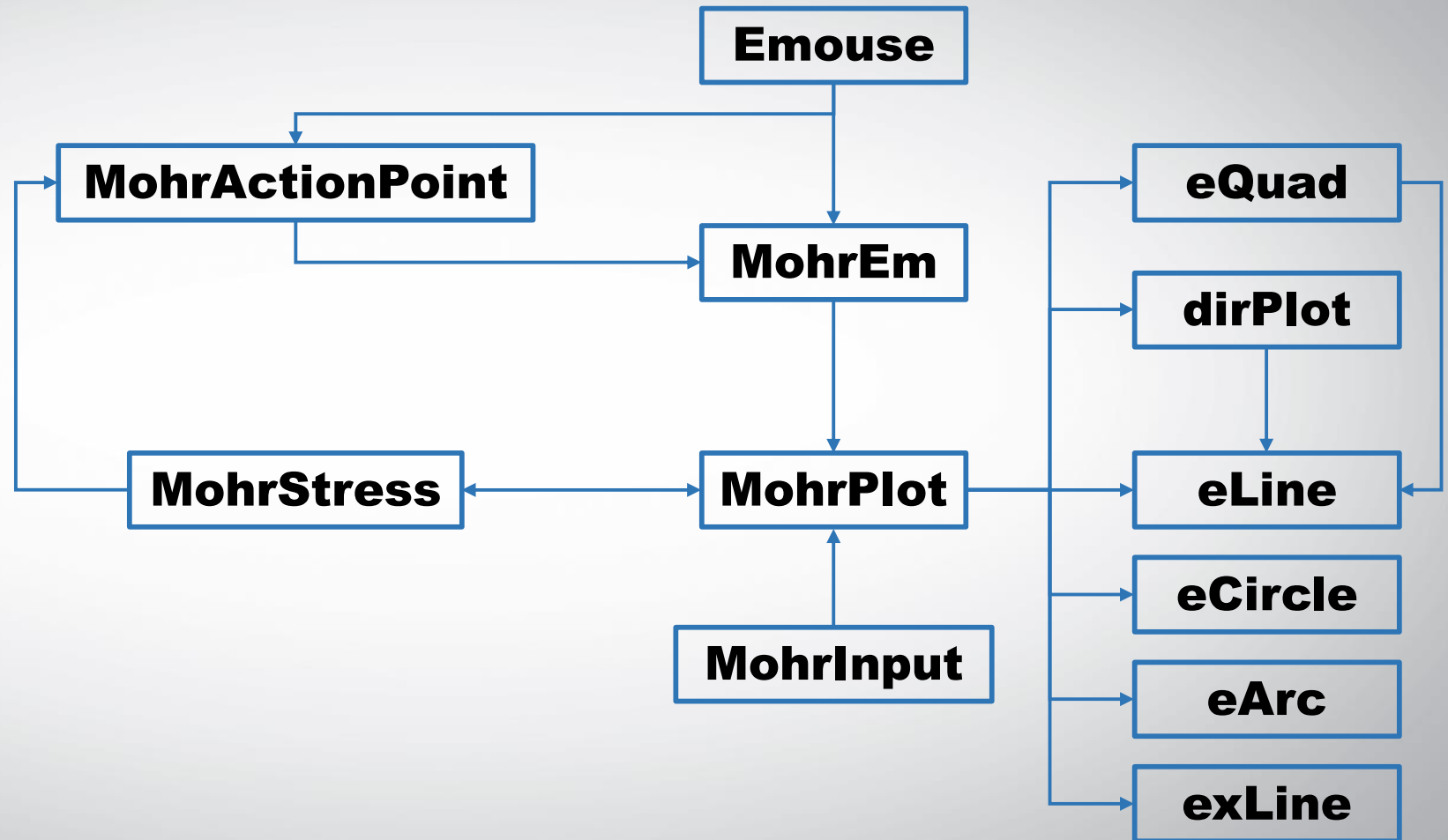


# Pontos de Controle

No programa, as componentes de tensão podem ser ajustadas através da manipulação interativa do mouse.



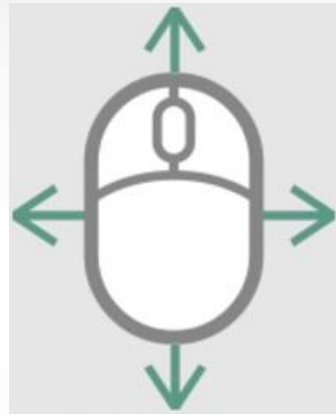
# Diagrama de Fluxo



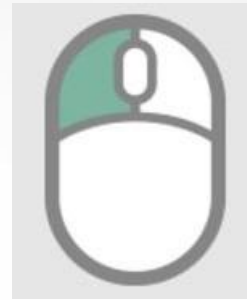


# Classe Emouse

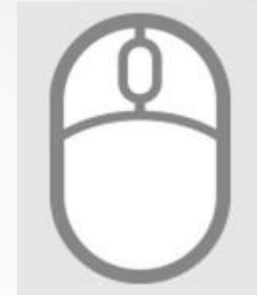
```
set( gcf, 'windowbuttonmotionfcn', @mouseMove );  
set( gcf, 'windowbuttondownfcn', @ebuttonDown );  
set( gcf, 'windowbuttonupfcn', @ebuttonUp );
```



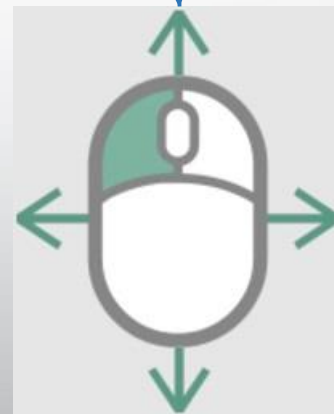
**mouseMove**



**ebuttonDown**



**ebuttonUp**



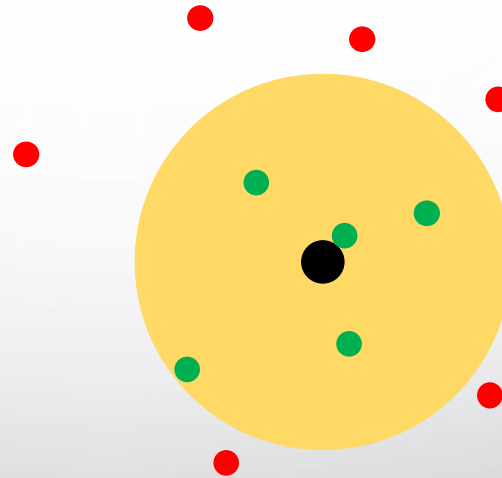
# MohrActionPoint

**Detecta se o ponto do cursor do mouse está em um dos pontos de ação.**

**$x = \text{radius} * \cos(\text{angle}) + xc;$**

**$y = \text{radius} * \sin(\text{angle}) + yc;$**

**$p = \text{inpolygon}(\text{mousePX}, \text{mousePY}, x, y );$**





# DESENVOLVENDO UM SOFTWARE PARA CÁLCULO ESTRUTURAL EM MATLAB



# Software para Análise Estrutural

- **Análise Estrutural:**

Estudo dos efeitos de cargas sobre estruturas físicas, representadas por modelos simplificados, para a determinação de seus deslocamentos e esforços internos.

- **Modelo Estrutural:**

Idealização da estrutura real assumindo diversas hipóteses simplificadoras sobre o seu comportamento que permitam a sua modelagem matemática.

- **Métodos de Análise:**

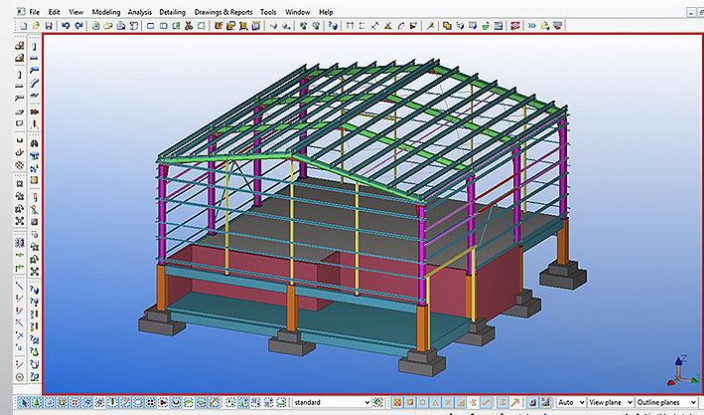
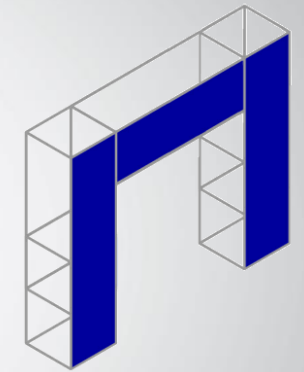
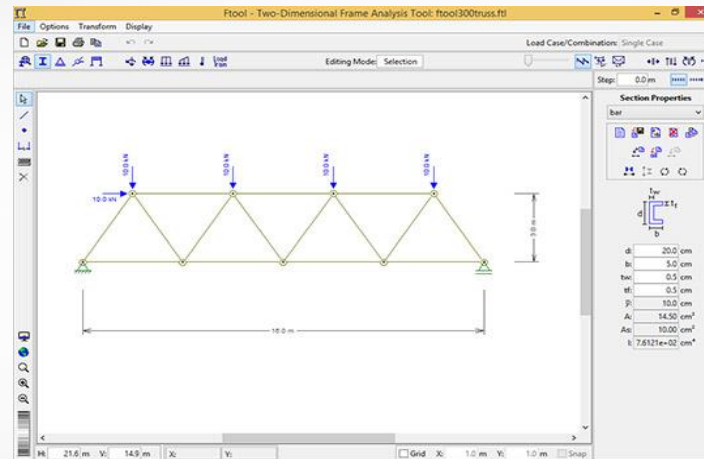
Consistem na discretização de um modelo estrutural em um conjunto de parâmetros cujos valores são calculados para representar as soluções analíticas contínuas, considerando o equilíbrio, a compatibilidade de deslocamentos e as propriedades dos materiais.

Ex: Método dos Deslocamentos, Rigidez Direta, Elementos Finitos, etc.



# Software para Análise Estrutural

Um software de análise estrutural permite o cálculo rápido e preciso dos resultados desejados, além da visualização dos modelos e resultados através de técnicas de computação gráfica.



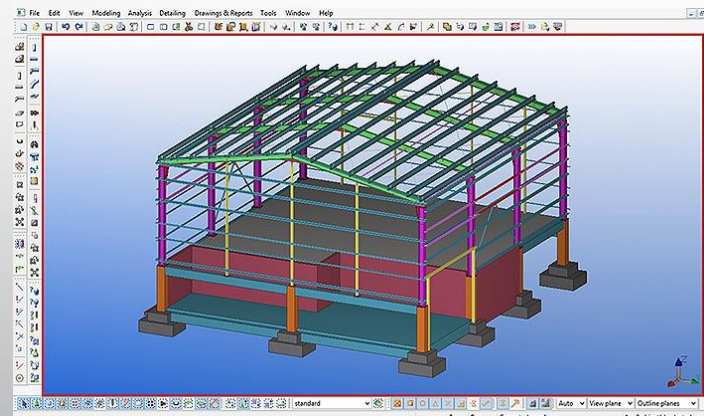
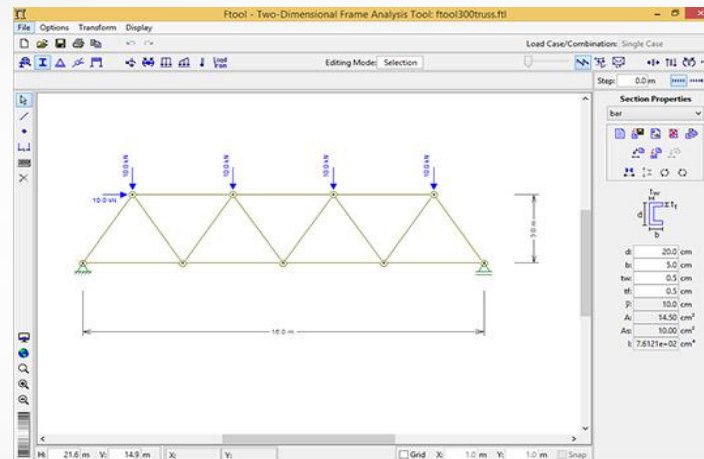
SAP2000

ANSYS®



# Software para Análise Estrutural

Um software de análise estrutural permite o cálculo rápido e preciso dos resultados desejados, além da visualização dos modelos e resultados através de técnicas de computação gráfica.



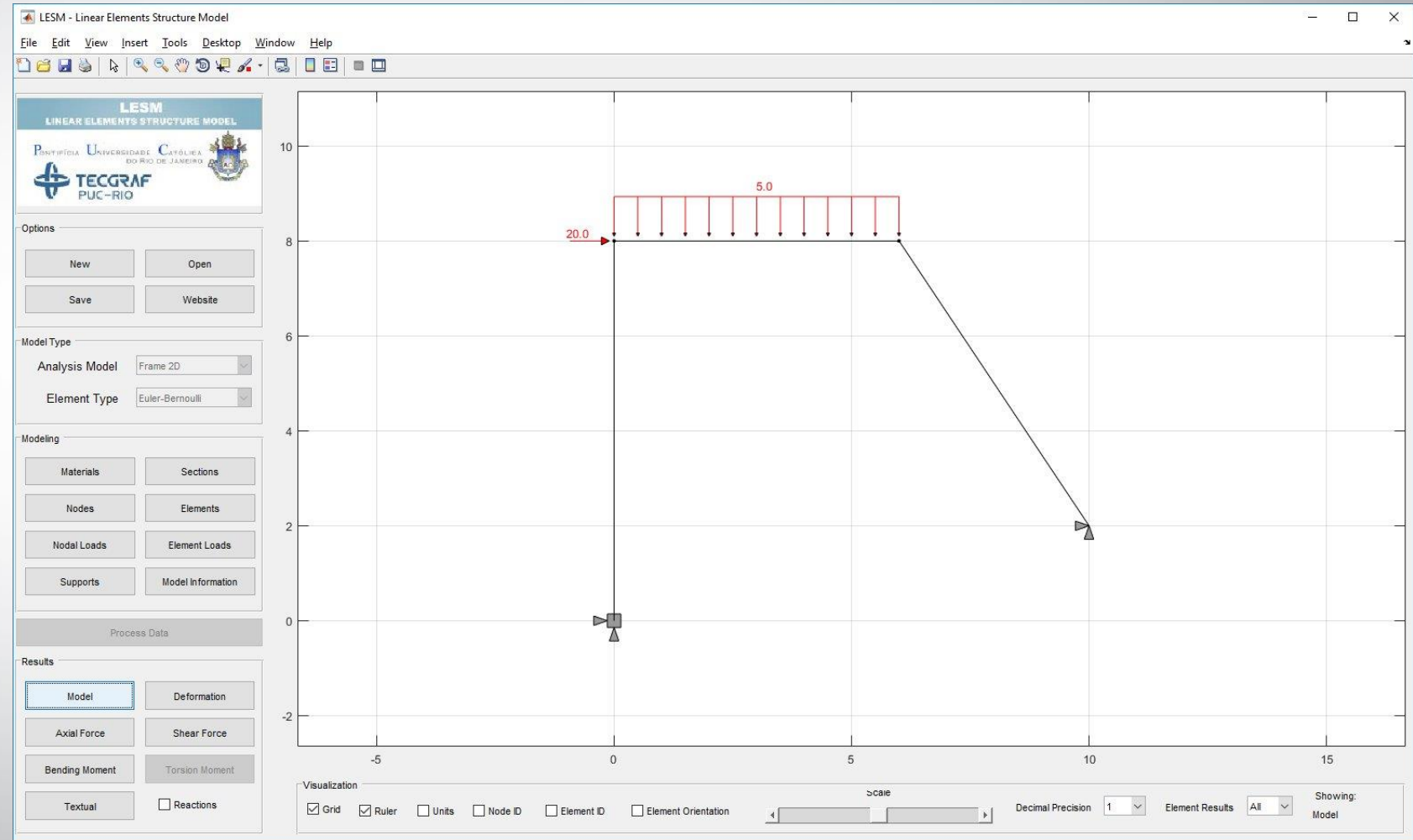
SAP2000

ANSYS®



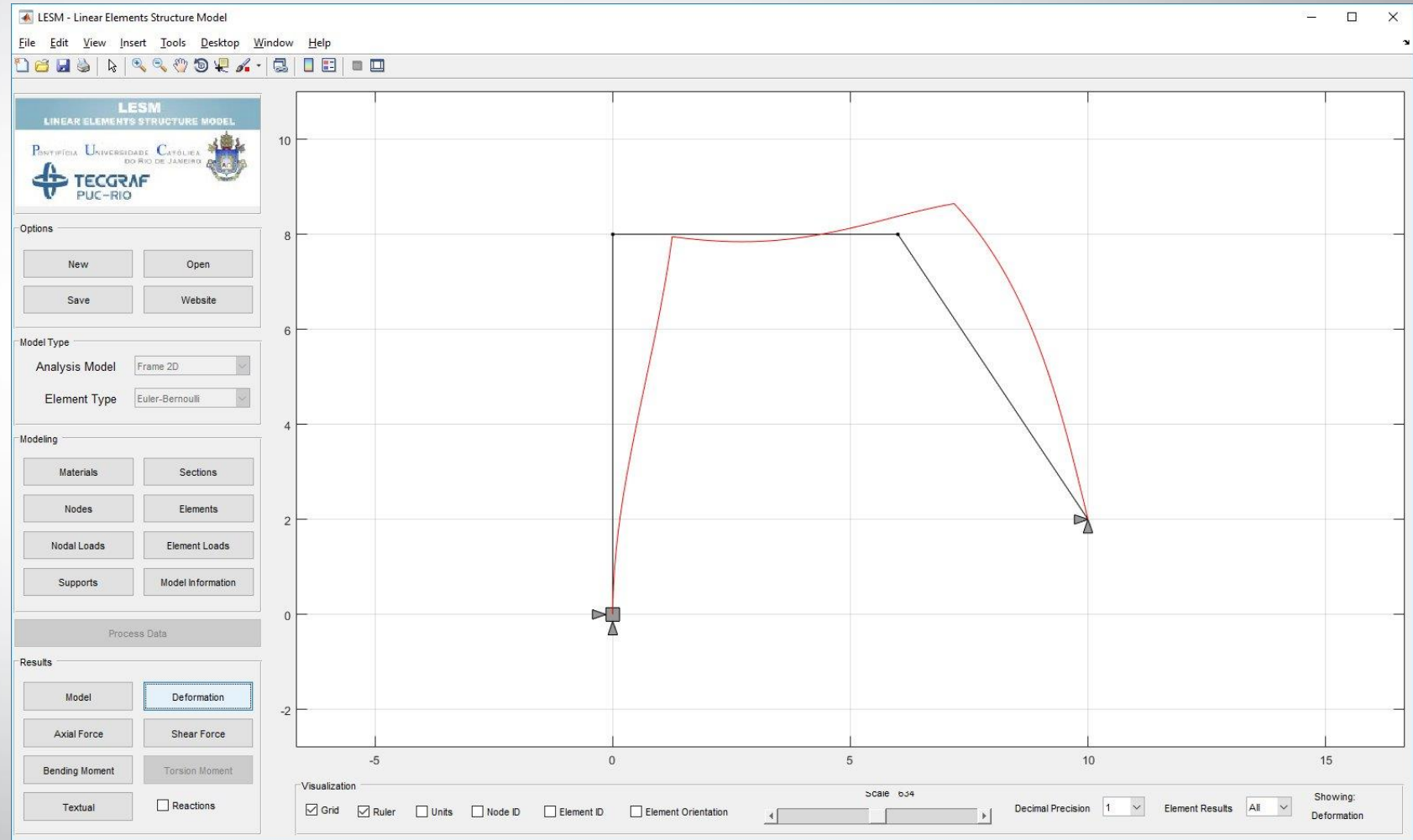
# LESM – Linear Elements Structure Model

- Modelos estruturais reticulados.
- Método da Rigidez Direta.



# LESM – Linear Elements Structure Model

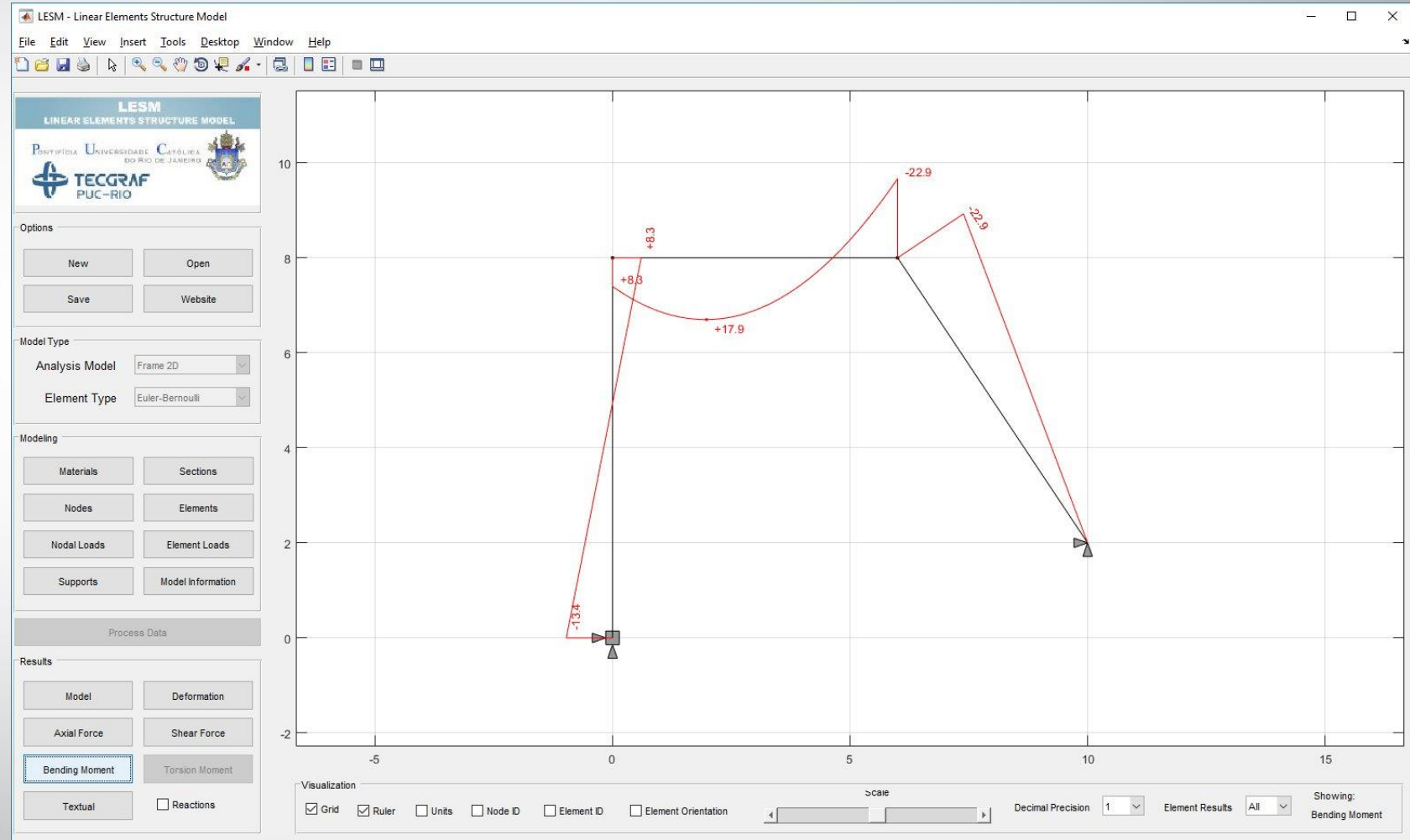
- Modelo com desenho da configuração deformada





# LESM – Linear Elements Structure Model

- Modelo com desenho do diagrama de momentos fletores



# Desenvolvimento de um Software de Análise Estrutural

**Mecânica Computacional = Princípios Mecânicos + Ciência da Computação**

Mecânica Computacional é a disciplina que utiliza métodos computacionais para estudar fenômenos governados pelos princípios da mecânica.

- Obtenção de um modelo matemático do problema.
- Criação de um modelo discreto aproximado a partir de um modelo contínuo original
- Implementação de um algoritmo para calcular os valores dos parâmetros discretos

Busca-se sempre técnicas de programação que visam a maior eficiência computacional para a implementação do método de análise e obtenção dos resultados.



# Desenvolvimento de um Software de Análise Estrutural

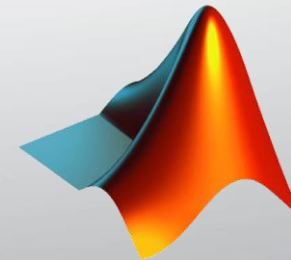
## Estágios de Processamento:

- **Pré-processamento:** Fornecimento, captura e preparação dos dados do modelo à ser analisado (interface gráfica).
- **Processamento:** Cálculo dos resultados baseado nos dados fornecidos.
- **Pós-processamento:** Disponibilização dos resultados através de saídas gráficas (sistema gráfico)



# Motivação

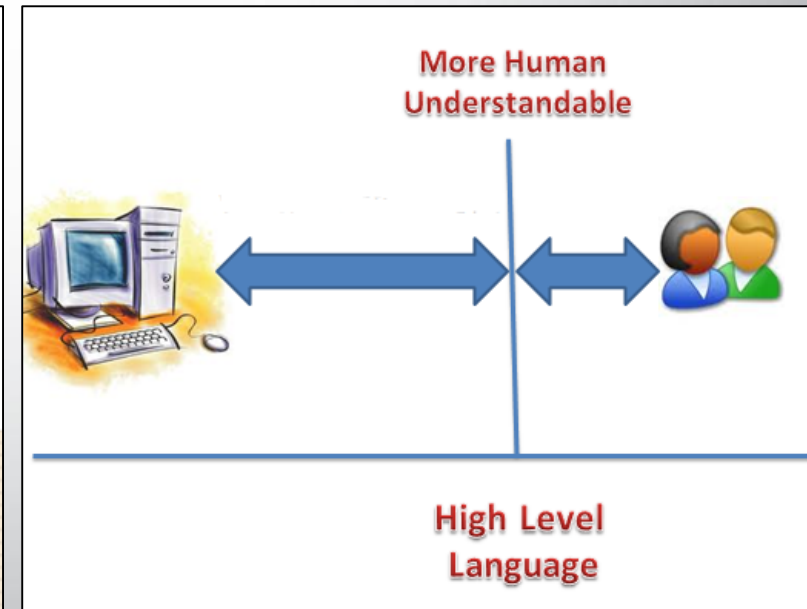
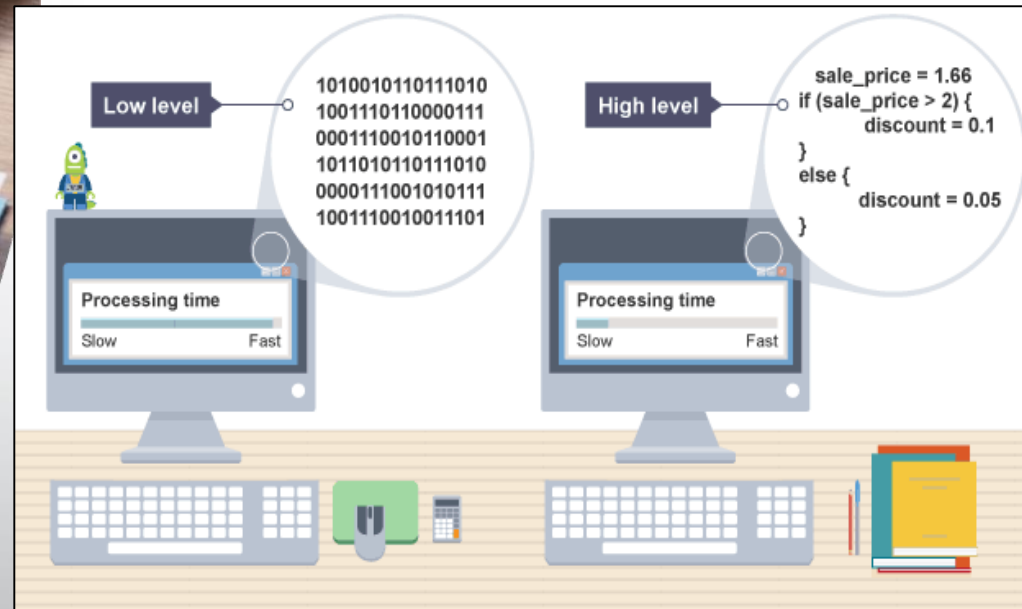
- Um código aberto e didático para o ensino do Método da Rigidez Direta.
- Priorização da clareza do código em relação à eficiência.
- Facilidade no desenvolvimento de uma interface gráfica e visualização dos resultados.



# Vantagens do uso do MATLAB para Aplicações de Mecânica Computacional

- **Linguagem de programação de alto nível:**  
Nível de abstração elevado, longe do código de máquina e próximo à linguagem humana.

MATLAB é uma linguagem de programação interpretada e considerada de 4ª geração.



# Vantagens do uso do MATLAB para Aplicações de Mecânica Computacional

- **Variáveis Matriciais:**

- \* Todas as variáveis são interpretadas como matrizes.
- \* Operações matriciais entre as variáveis podem ser executadas facilmente

Torna muito mais fácil a implementação de um método matricial como é o caso do Método da Rigidez Direta

Ex.:  $[A]\{X\} = \{B\} \longrightarrow X = B \setminus A;$

Não é necessário declarar variáveis e seus tipos.



# Vantagens do uso do MATLAB para Aplicações de Mecânica Computacional

- Ambiente de desenvolvimento integrado:

Ambiente de Programação com Orientação a Objetos

+

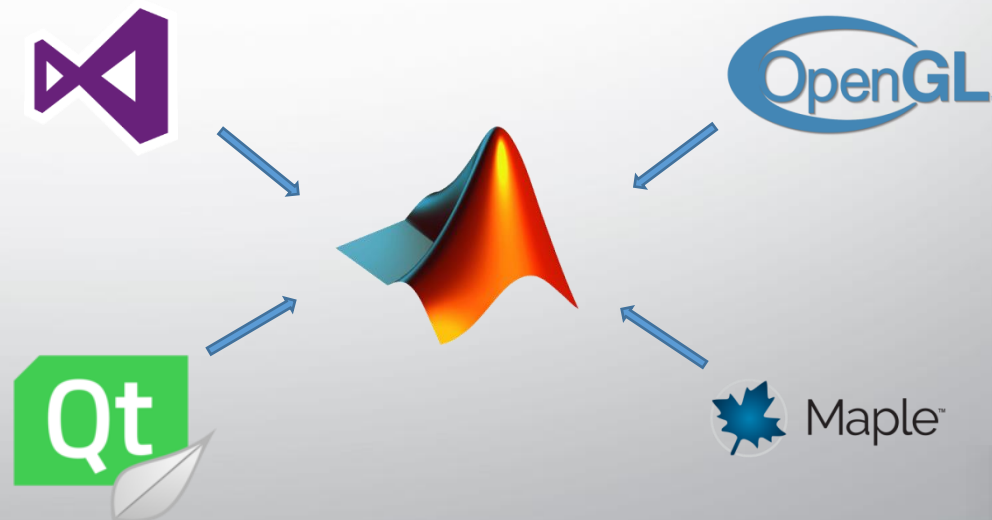
Desenvolvimento de Interface

+

Sistema Gráfico

+

Álgebra Simbólica



# Programação Orientada a Objetos (OOP)

Baseia-se na composição e interação de unidades de software chamadas objetos.

## Definições importantes:

- **Classe:** Representa um conjunto de variáveis e funções que agrupam objetos.
- **Objetos:** São instâncias de uma classe.
- **Atributos:** São as variáveis que representam as características dos objetos.
- **Métodos:** São as funções que definem as habilidades de um objeto.
- **Herança:** Permite o aproveitamento do código de uma classe base para implementações específicas em subclasses.

<b>Pessoa</b>	
- Nome	propriedades
- Telefone	
- Endereço	
- Email	
- Sexo	
- Data de nascimento	
+ Andar	métodos
+ Falar	
+ Dormir	
+ Pensar	

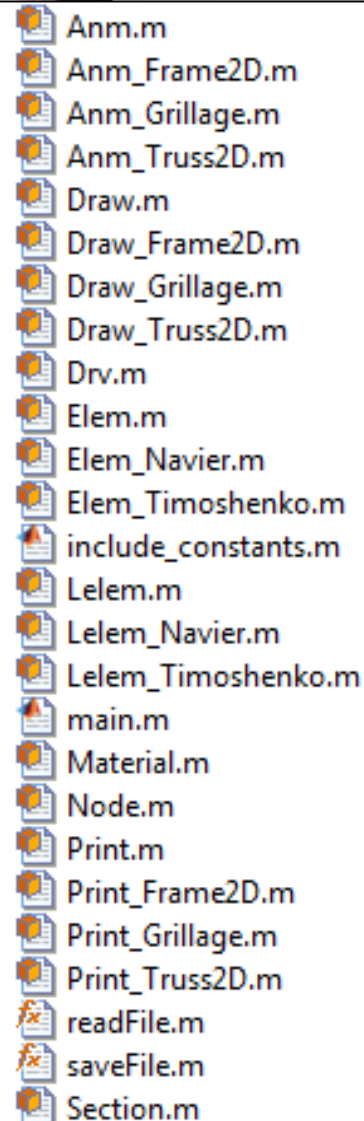
OOP permite a expansão do programa sem a alteração de das classes já existentes.





# Programação Orientada a Objetos (OOP)

Organização do programa em arquivos *.m* com scripts (rotinas) de código.



- Anm.m
- Anm\_Frame2D.m
- Anm\_Grillage.m
- Anm\_Truss2D.m
- Draw.m
- Draw\_Frame2D.m
- Draw\_Grillage.m
- Draw\_Truss2D.m
- Drv.m
- Elem.m
- Elem\_Navier.m
- Elem\_Timoshenko.m
- include\_constants.m
- Lelem.m
- Lelem\_Navier.m
- Lelem\_Timoshenko.m
- main.m
- Material.m
- Node.m
- Print.m
- Print\_Frame2D.m
- Print\_Grillage.m
- Print\_Truss2D.m
- readFile.m
- saveFile.m
- Section.m

Classes *Anm*: Implementam funções que se diferenciam entre os tipos de modelo estrutural.

Classes *Draw*: Responsáveis por implementar funções para desenhar o modelo e os diagramas dos resultados.

Classe *Drv*: Classe que dirige o processo de análise e que possui todas as informações do modelo

Classes *Elem*: Implementam funções relacionadas à rigidez que se diferenciam entre os tipos de modelos matemáticos das barras.

Classes *Lelem*: Implementam funções relacionadas ao carregamento que se diferenciam entre os tipos de modelos matemáticos das barras.

Classe *Material*: Classe com as propriedades físicas dos materiais.

Classe *Node*: Classe com informações sobre os pontos de discretização do modelo.

Classes *Print*: Responsáveis por imprimir os resultados da análise em forma textual.

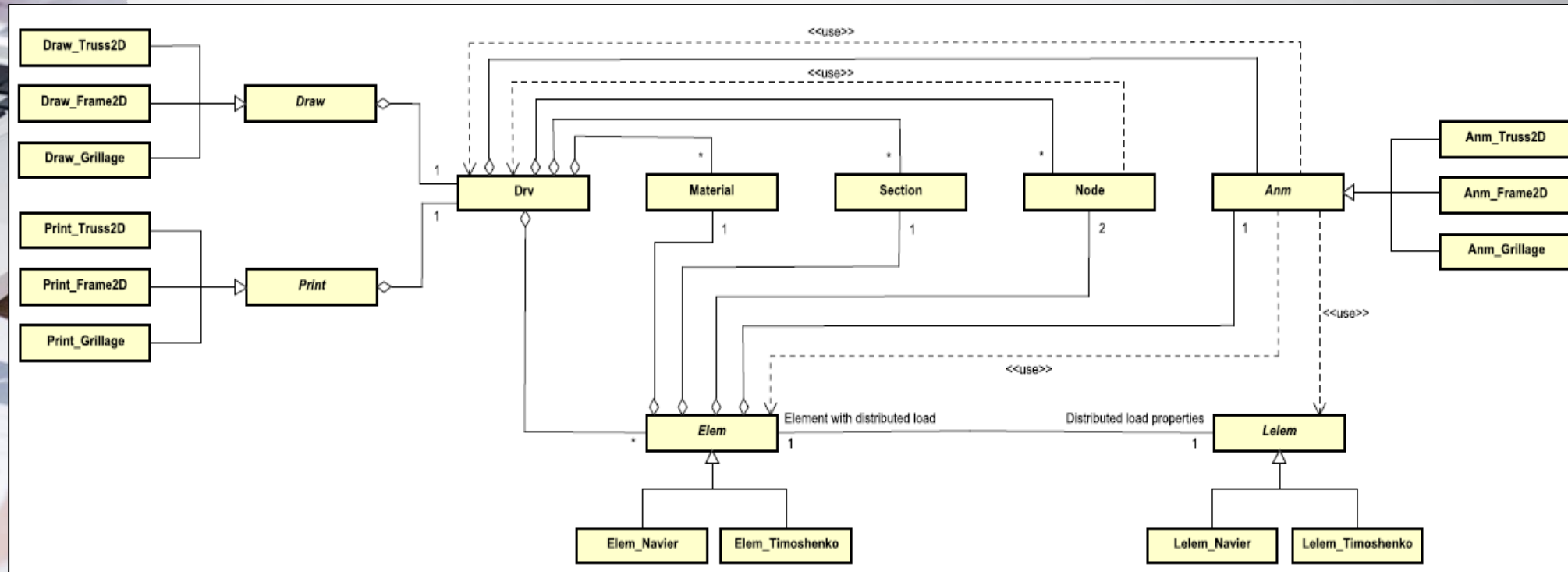
Classe *Section*: Classe com as propriedades geométricas das seções transversais.



# Programação Orientada a Objetos (OOP)

## Diagrama de Classes (padrão UML):

Apresenta uma visão estática da organização das classes do programa e a forma com a qual elas se relacionam.



O MATLAB fornece um ambiente de compilação dos arquivos em um executável stand-alone.

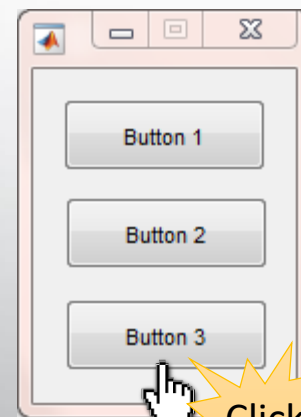


# O Ambiente GUIDE

- Ambiente para o desenvolvimento de interface gráfica de forma interativa.
- Os componentes são adicionados por meio de sistema de *drag-and-drop*.
- Um arquivo *.m* baseado no paradigma de Orientação a Eventos é automaticamente gerado

## Orientação a Eventos

- O fluxo do código é guiado por indicações externas chamadas eventos.
- Eventos são as diferentes ações que usuários podem realizar sobre os componentes adicionados à interface.
- Cada evento está associado à uma função chamada *Callback*, disparada quando se verifica a ocorrência de tal evento, que define a reação do programa.



```
Button1_click_CallbackFuntion  
{...}
```

```
Button2_click_CallbackFuntion  
{...}
```

```
Button3_click_CallbackFuntion  
{...}
```



# Livescript e Álgebra Simbólica

- Ambiente de manipulação de equações matemáticas e expressões em forma simbólica.
- Utilizado para gerar as expressões dos modelos matemáticos que representam o comportamento das barras.

$$N2v(x) = \frac{2x^3}{L^3} - \frac{3x^2}{L^2} + 1$$

$$N3v(x) = x - \frac{2x^2}{L} + \frac{x^3}{L^2}$$

$$N5v(x) = \frac{3x^2}{L^2} - \frac{2x^3}{L^3}$$

$$N6v(x) = \frac{x^3}{L^2} - \frac{x^2}{L}$$



$$N2v(x) = (2*x^3)/L^3 - (3*x^2)/L^2 + 1$$

$$N3v(x) = x - (2*x^2)/L + x^3/L^2$$

$$N5v(x) = (3*x^2)/L^2 - (2*x^3)/L^3$$

$$N6v(x) = x^3/L^2 - x^2/L$$



# Documentação

- O comando *Publish*:

A documentação do código é geralmente feita através de comentários, sendo importante para deixá-lo claro e compreensível.

O MATLAB, através de uma certa disciplina de comentários e o comando *Publish*, permite criar arquivos formatados apresentáveis para serem publicados e compartilhados.

```
%% LESM - Linear Elements Structure Model
%
% This is the main driver file of LESM. This is a MATLAB program for
% linear-elastic, displacement-based, linear elements structure model
% analysis, using the direct stiffness method.
% The program may be used in a non-graphical version or in a GUI
% (Graphical User Interface) version.
% The non-graphical version reads a structural model from a neutral
% format file and prints model information and analysis results in the
% the default output (command window).
% In the GUI version, an user may create a structural model with
% attributes through the program graphical interface. The program can
% save and read a structural model data stored in a neutral format file.
% Detailed information on using the graphical interface can be found
% <gui_manual.html here>.
% For each structural analysis, the program assembles a system of
% equations, solves the system and displays the analysis results.
%
%% Authors
%%
% * Luiz Fernando Martha (lfm@tecgraf.puc-rio.br)
%%
% * Rafael Lopez Rangel (rafaelrangel@tecgraf.puc-rio.br)
%%
% Pontifical Catholic University of Rio de Janeiro - PUC-Rio
%
% Department of Civil Engineering and Tecgraf Institute of
% Technical-Scientific
% Software Development of PUC-Rio (Tecgraf/PUC-Rio)
```

```
LESM - Linear Elements Structure Model

This is the main driver file of LESM. This is a MATLAB program for linear-elastic, displacement-based, linear elements structure model analysis, using the direct stiffness method. The program may be used in a non-graphical version or in a GUI (Graphical User Interface) version. The non-graphical version reads a structural model from a neutral format file and prints model information and analysis results in the the default output (command window). In the GUI version, an user may create a structural model with attributes through the program graphical interface. The program can save and read a structural model data stored in a neutral format file. Detailed information on using the graphical interface can be found here. For each structural analysis, the program assembles a system of equations, solves the system and displays the analysis results.

Contents


- Authors
- Analysis model types
- Structural element types
- Load types
- Components of concentrated nodal loads
- Local axes of a member
- Components of distributed forces on members
- Load cases
- Object oriented classes
- Auxiliary functions and files
- History
- Clear memory
- Non-graphical version
- GUI version



Authors


- Luiz Fernando Martha (lfm@tecgraf.puc-rio.br)
- Rafael Lopez Rangel (rafaelrangel@tecgraf.puc-rio.br)



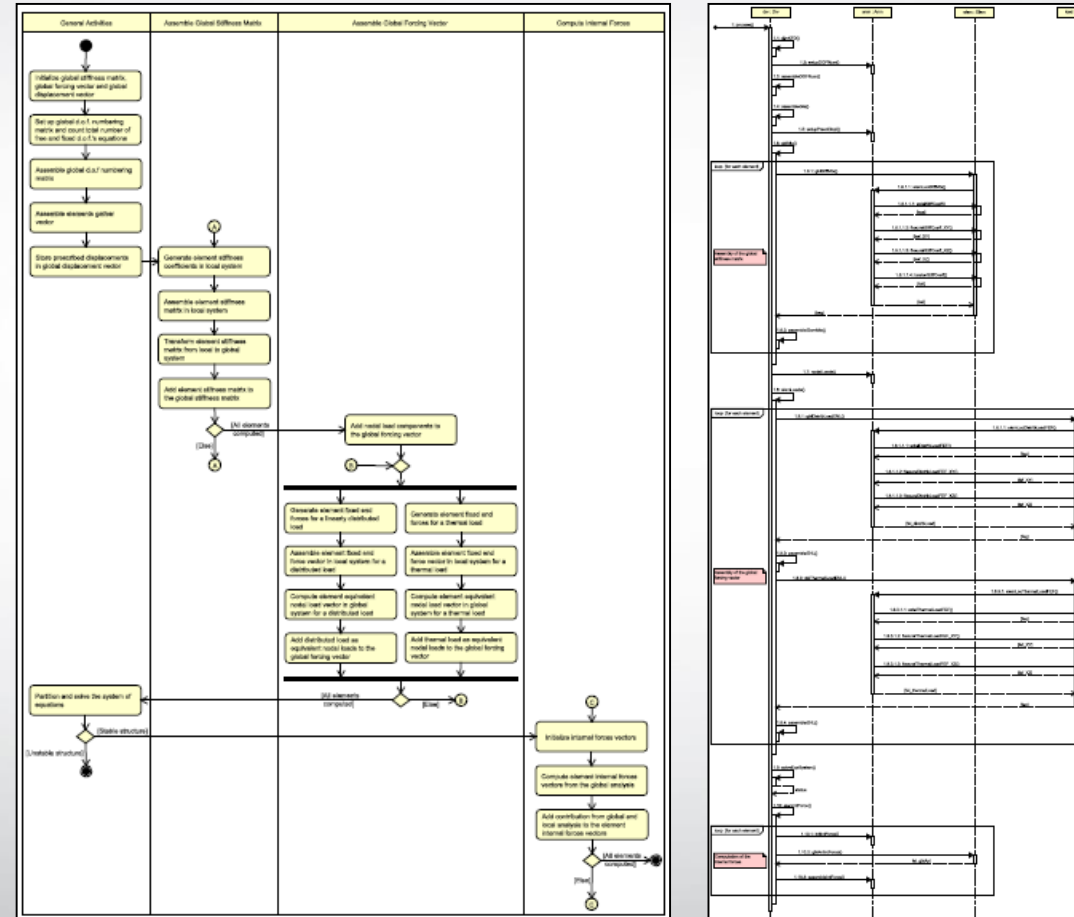
Pontifical Catholic University of Rio de Janeiro - PUC-Rio

Department of Civil Engineering and Tecgraf Institute of Technical-Scientific Software Development of PUC-Rio (Tecgraf/PUC-Rio)
```



# Documentação

- **Diagramas UML (Unified Modeling Language):**  
Auxiliam a visualização da comunicação entre as classes e objetos do programa, através de diagramas padronizados.



[www.tecgraf.puc-rio/lesm](http://www.tecgraf.puc-rio/lesm)





# OPENCADD

MODEL - BASED DESIGN DRIVEN COMPANY

*Modeling  
for life!*

**OBRIGADO!**

**Luiz Fernando Martha – [lfm@tecgraf@puc-rio.br](mailto:lfm@tecgraf@puc-rio.br)**

**Rafael Lopez Rangel – [rafaelrangel@tecgraf.puc-rio.br](mailto:rafaelrangel@tecgraf.puc-rio.br)**

**[www.tecgraf.puc-rio/lesm](http://www.tecgraf.puc-rio/lesm)**