



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

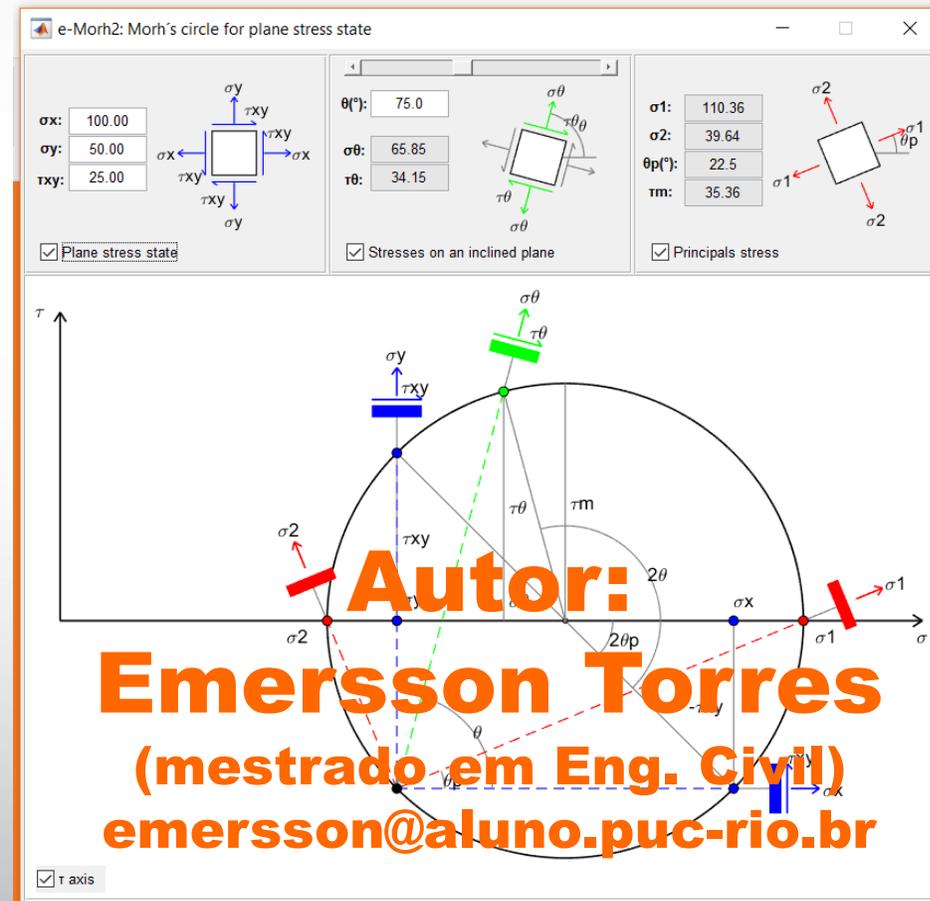
- O Instituto Tecgraf/PUC-Rio, seguindo tradição e experiência no desenvolvimento de *software* educacional para engenharia, está ativo no uso do MATLAB para aumentar sua contribuição na área
- Dois exemplos:
e-Mohr: programa gráfico interativo para ensino de círculo de Mohr para estado bidimensional 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).

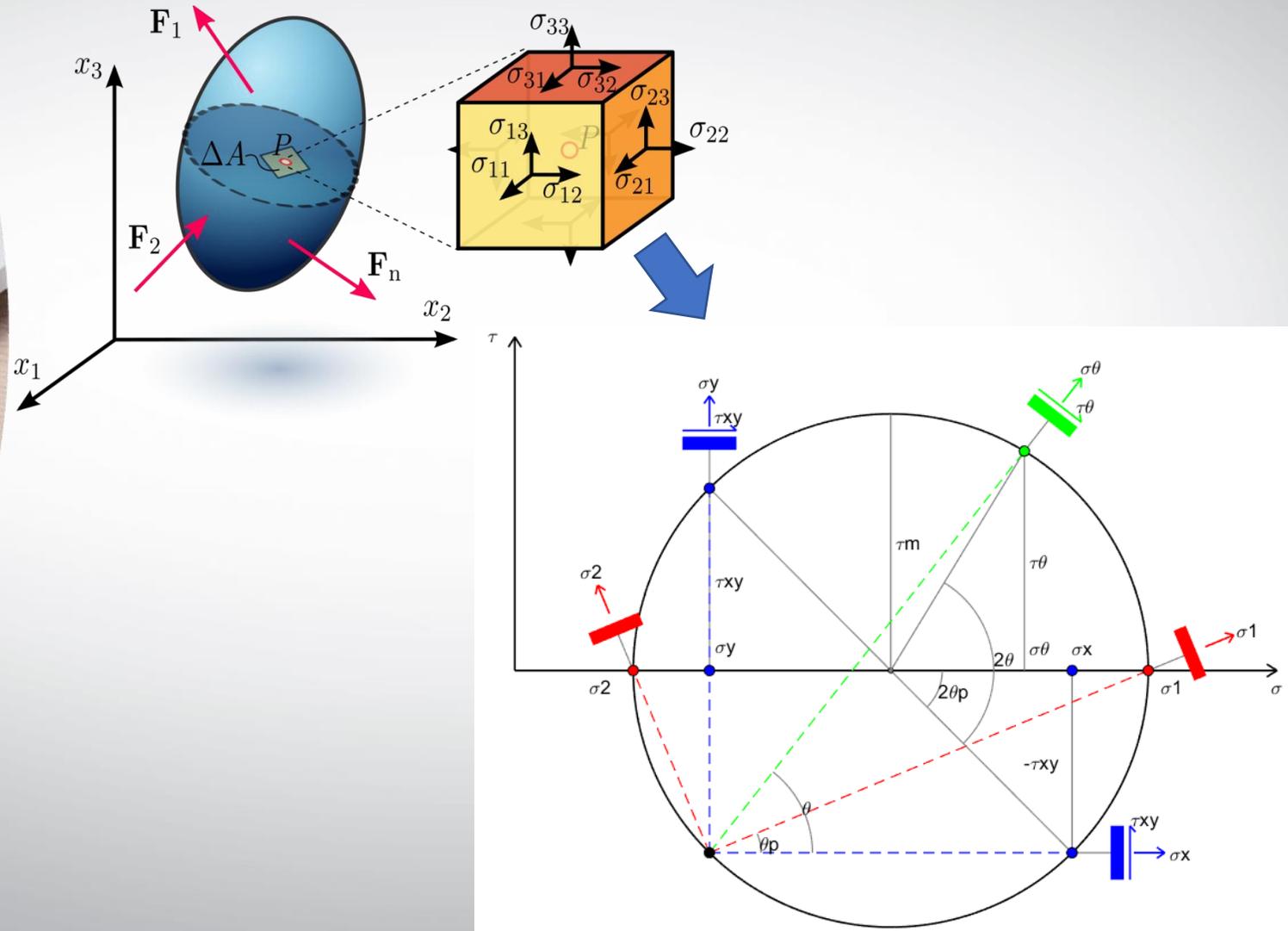


Autor:
Emersson Torres
(mestrado em Eng. Civil)
emersson@aluno.puc-rio.br



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.

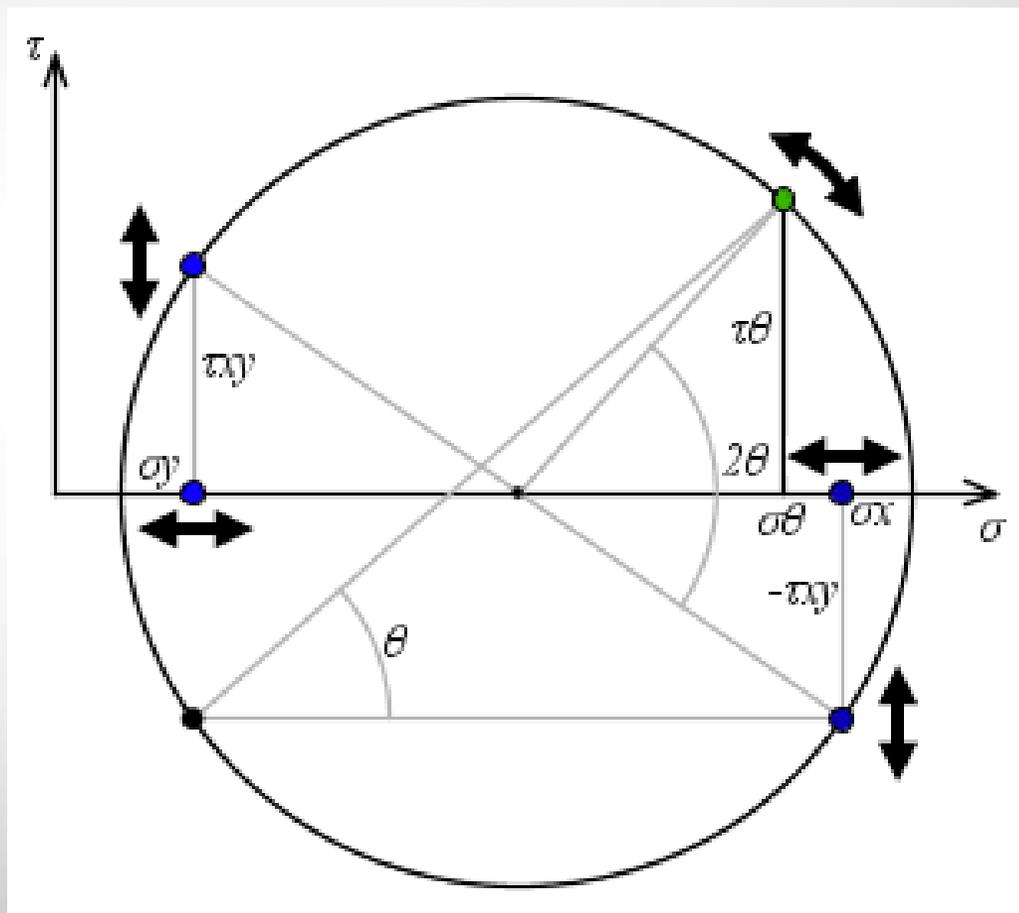
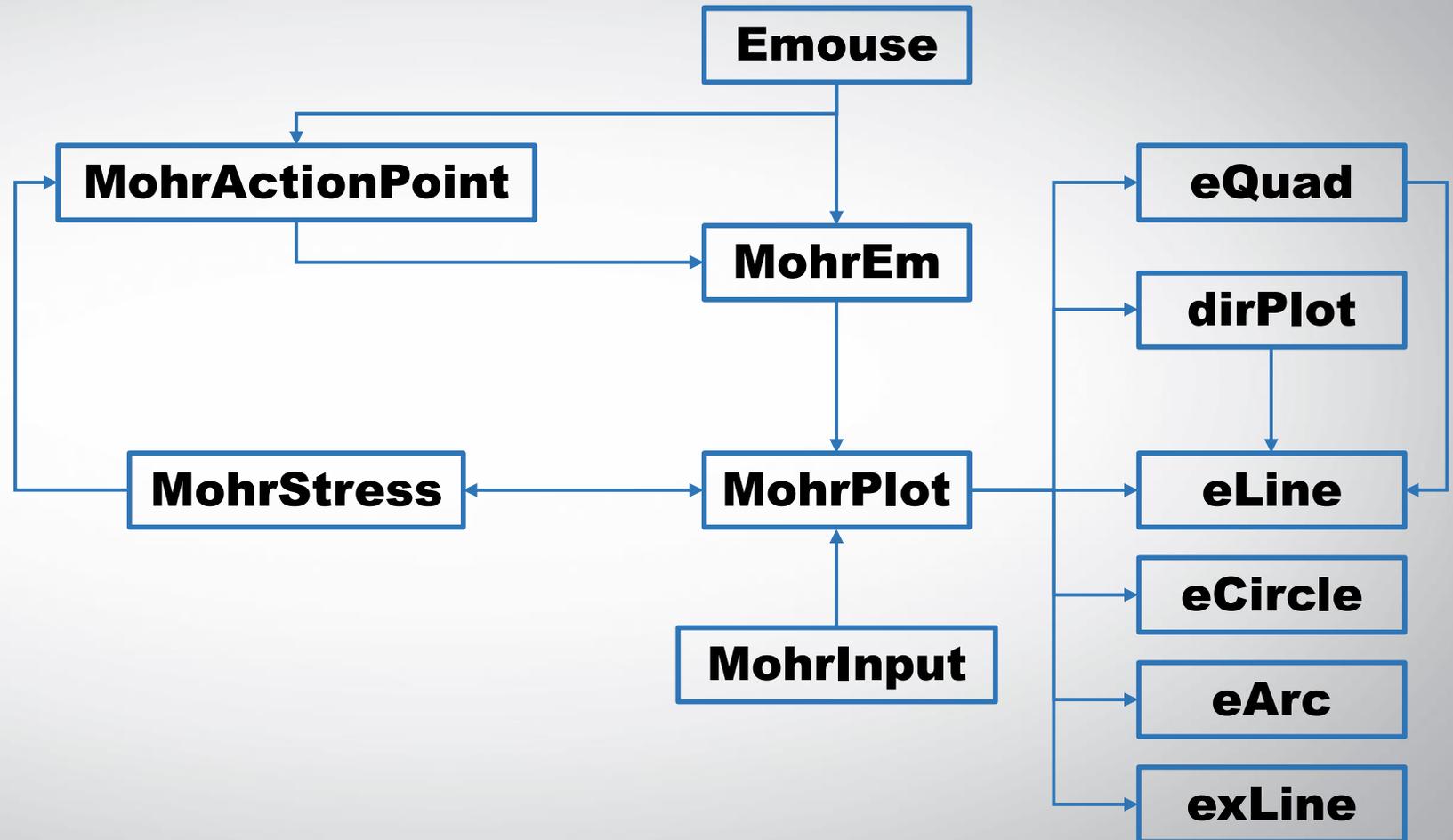
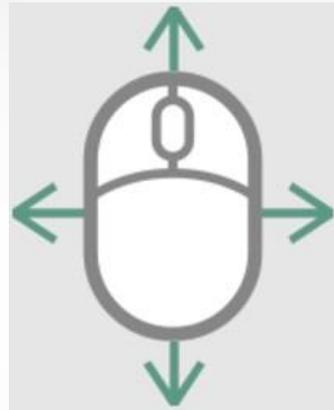


Diagrama de Fluxo

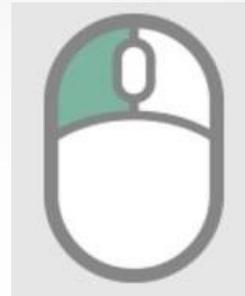


Classe Emouse

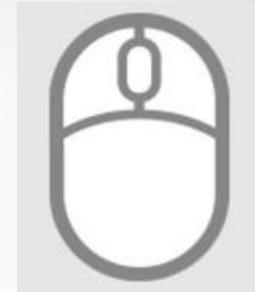
```
set( gcf, 'windowbuttonmotionfcn', @mouseMove );  
set( gcf, 'windowbuttondownfcn', @ebuttonDown );  
set( gcf, 'windowbuttonupfcn', @ebuttonUp );
```



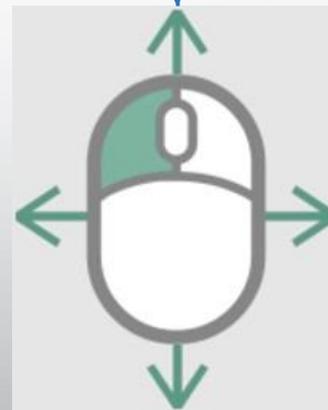
mouseMove



ebuttonDown



ebuttonUp



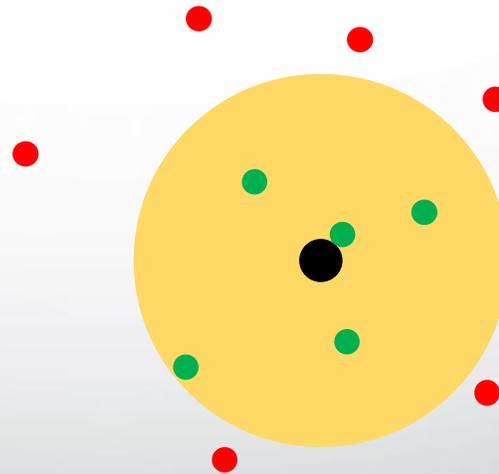
MohrActionPoint

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:**

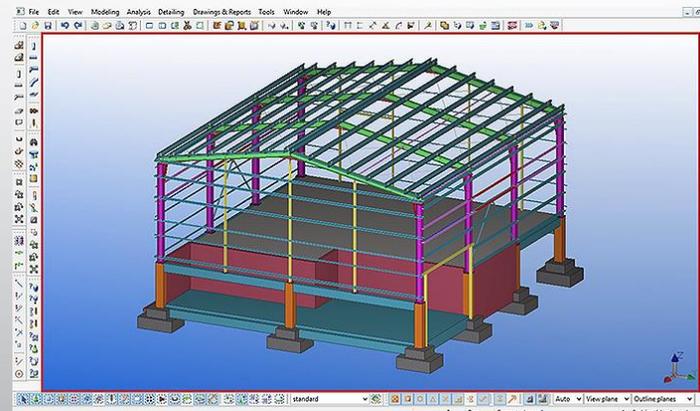
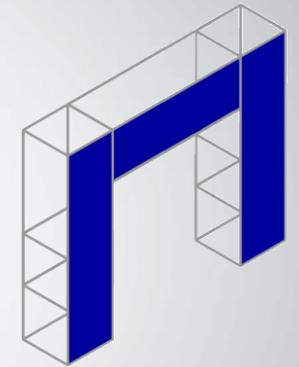
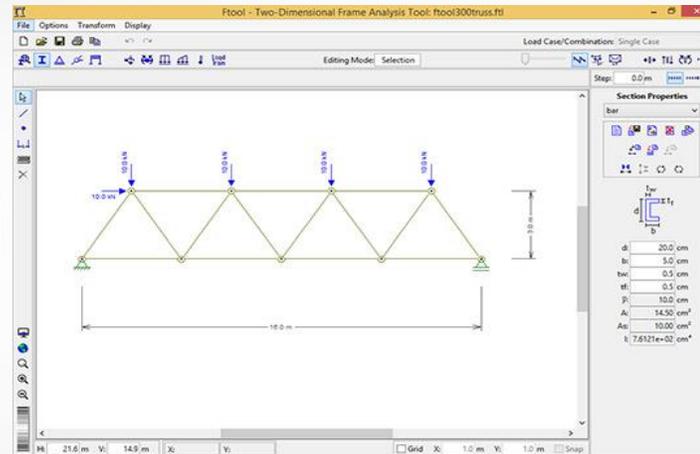
Consistem na discretização de um modelo estrutural em um conjunto de parâmetros cujos valores são calculados para representar as soluções analíticas contínuas, considerando o equilíbrio, a compatibilidade de deslocamentos e as propriedades dos materiais.

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.



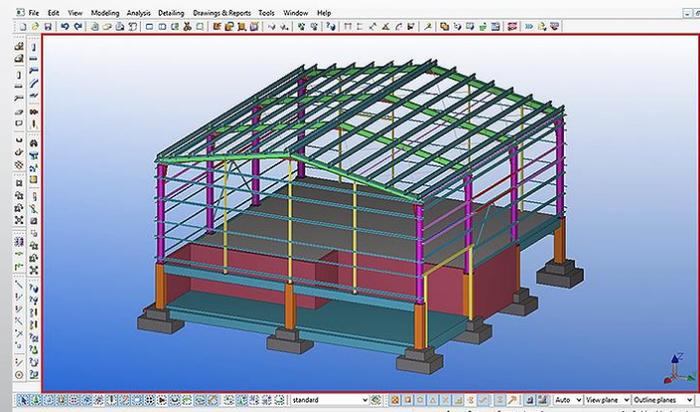
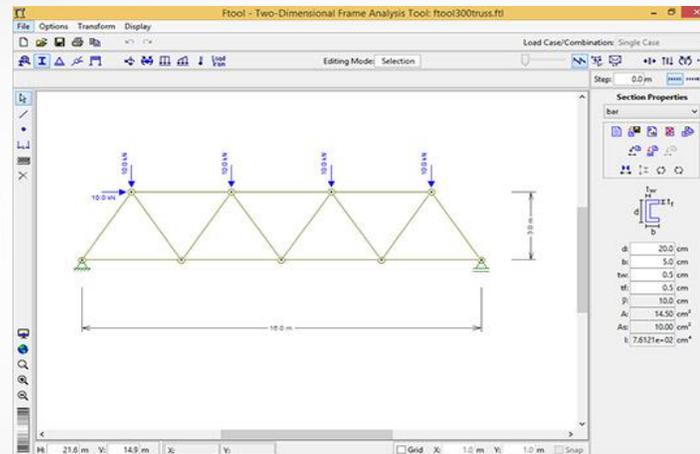
SAP2000

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.



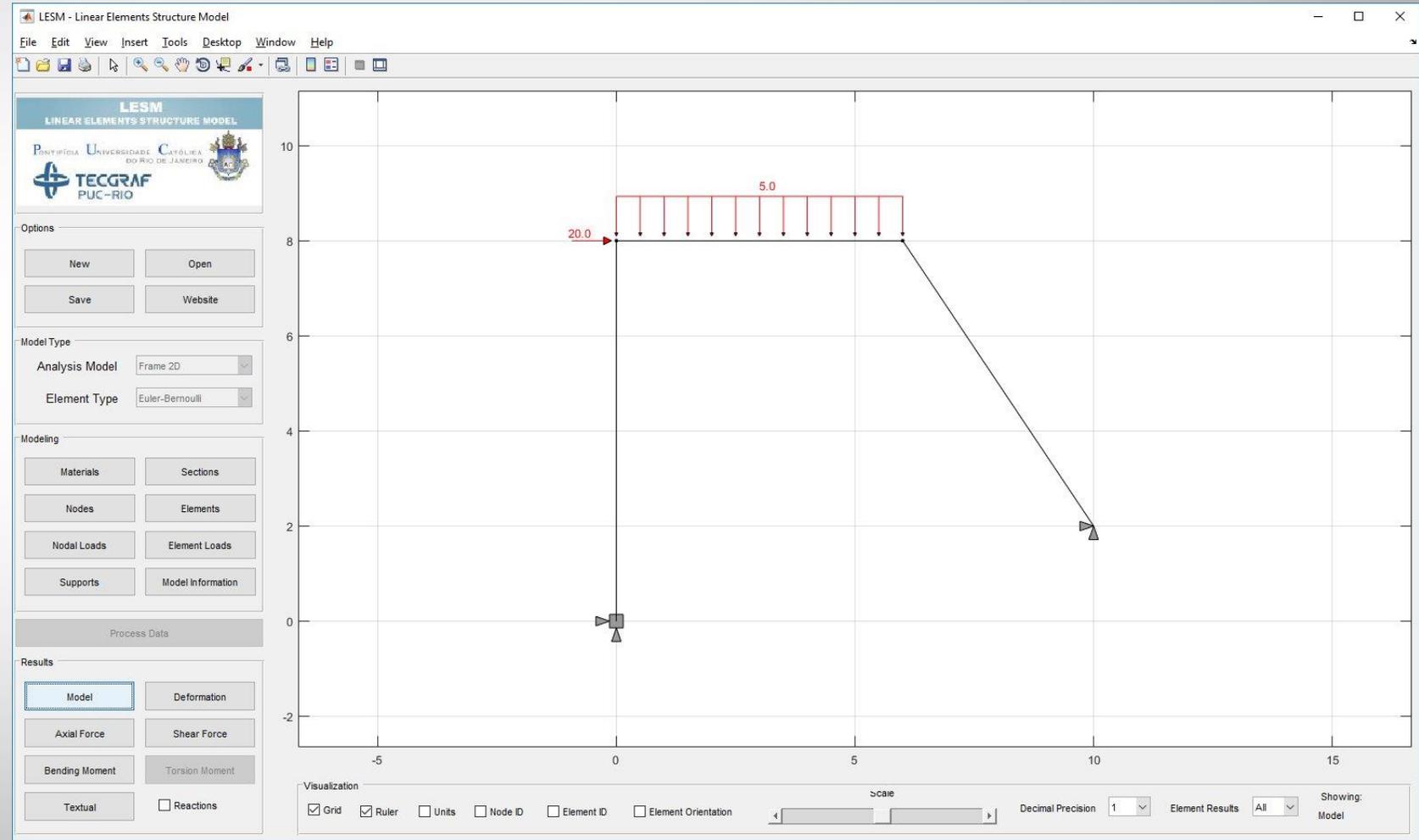
SAP2000

ANSYS®



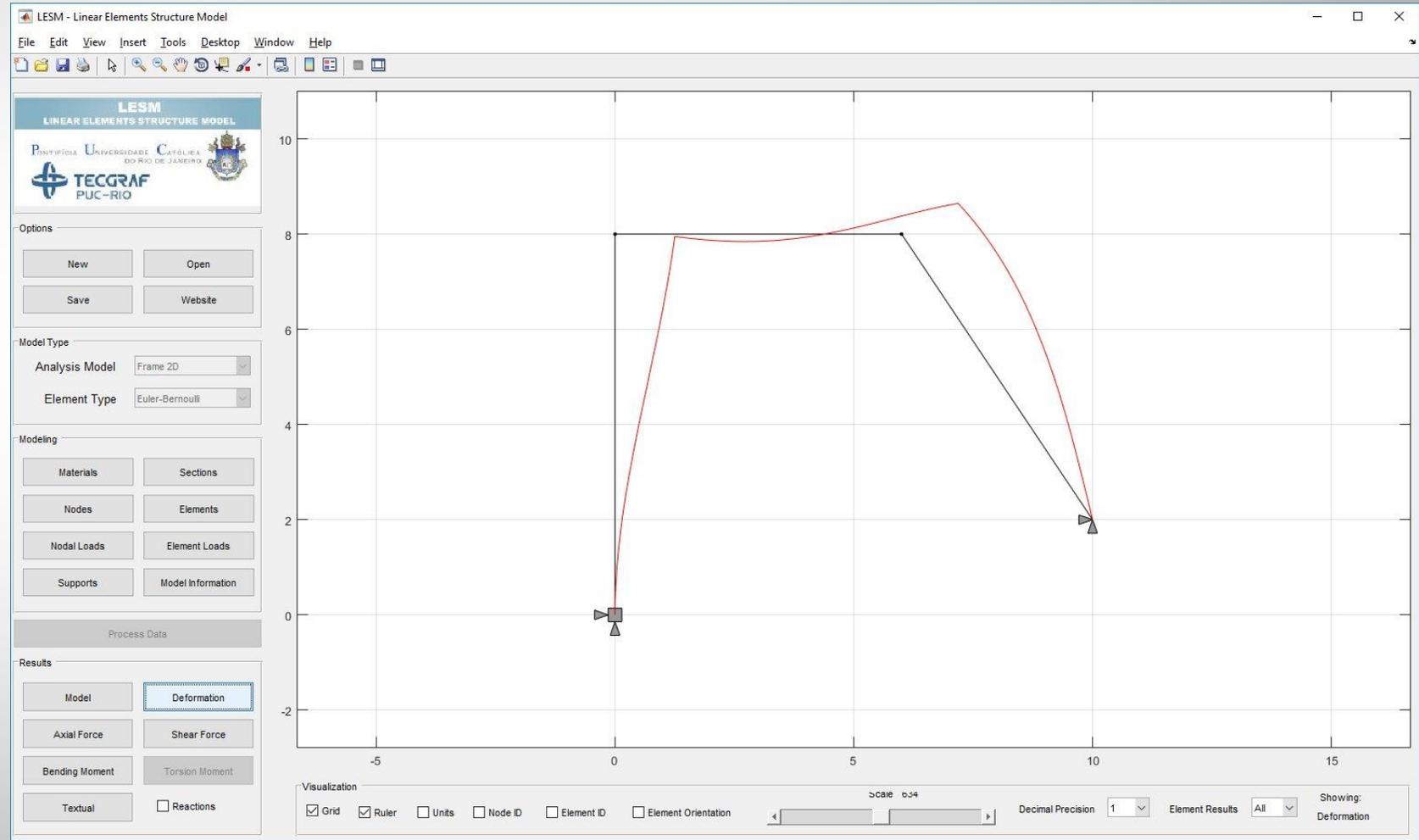
LESM – Linear Elements Structure Model

- Modelos estruturais reticulados.
- Método da Rigidez Direta.



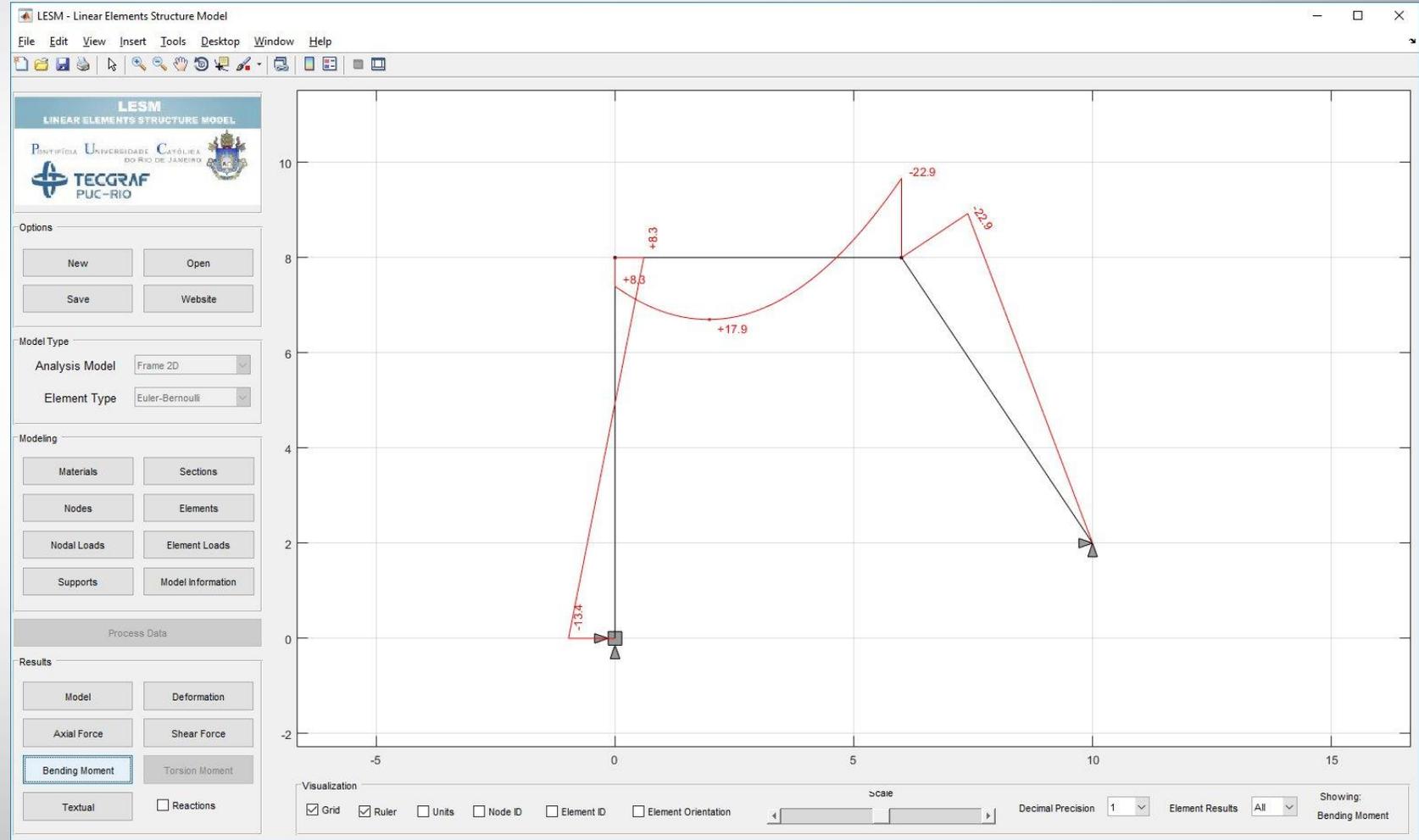
LESM – Linear Elements Structure Model

- 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:

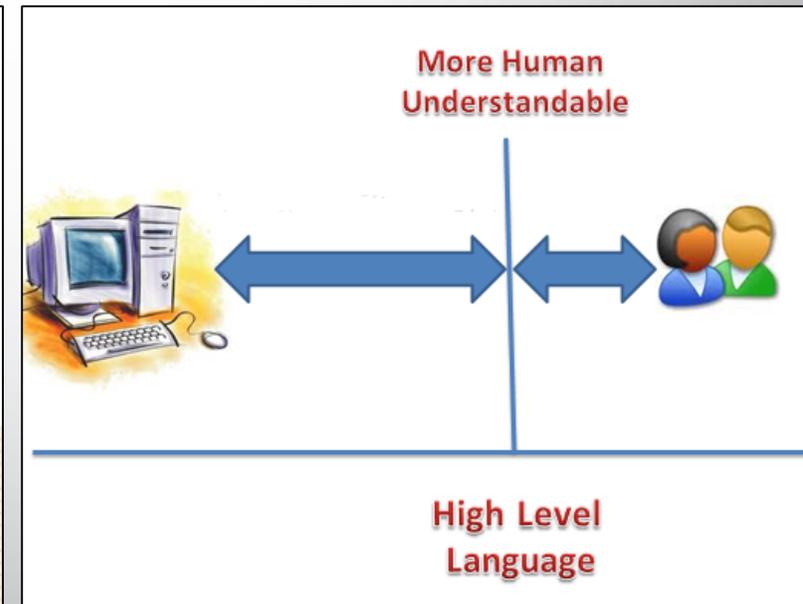
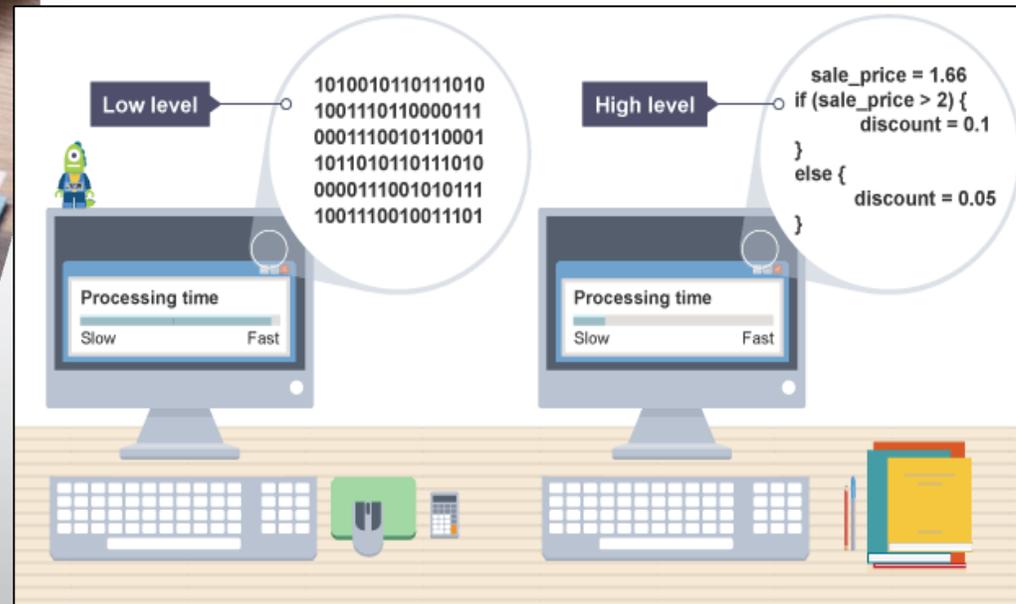
- **Pré-processamento:** Fornecimento, captura e preparação dos dados do modelo à ser analisado (interface gráfica).
- **Processamento:** Cálculo dos resultados baseado nos dados fornecidos.
- **Pós-processamento:** Disponibilização dos resultados através de saídas gráficas (sistema gráfico)



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

+

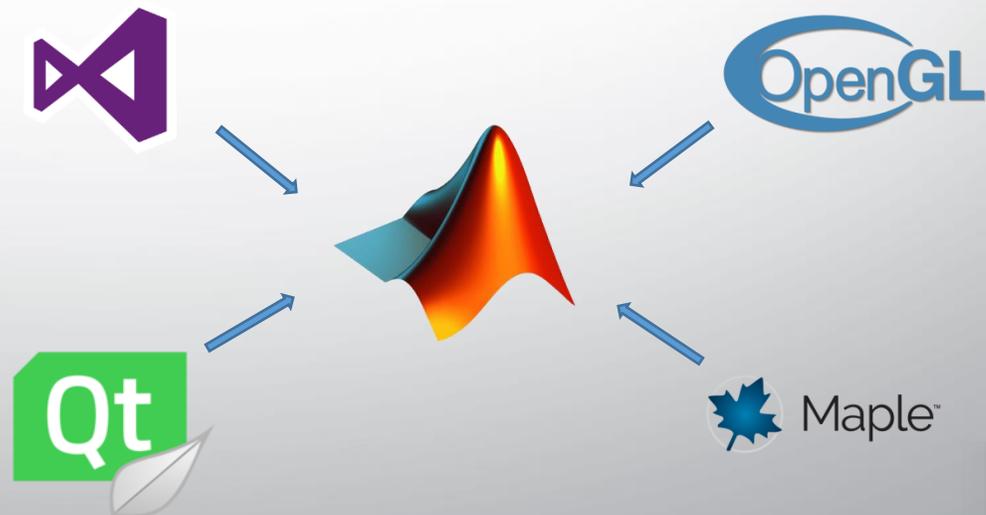
Desenvolvimento de Interface

+

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.

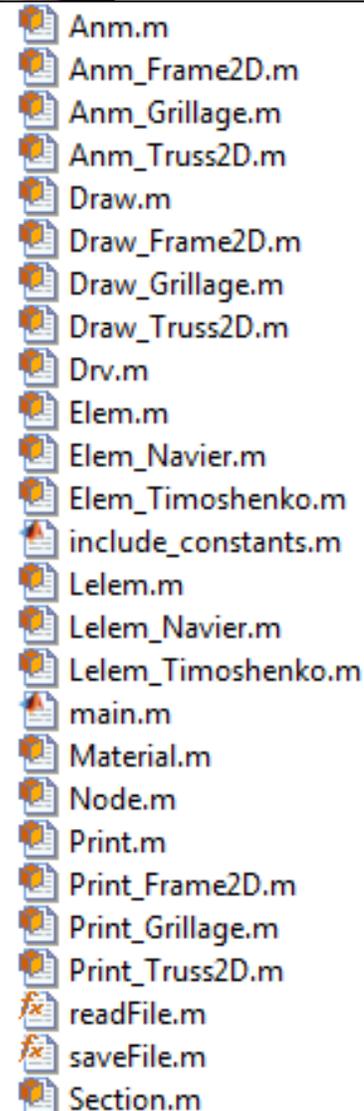
Pessoa	
- Nome	propriedades
- Telefone	
- Endereço	
- Email	
- Sexo	
- Data de nascimento	
+ Andar	métodos
+ Falar	
+ Dormir	
+ Pensar	

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.

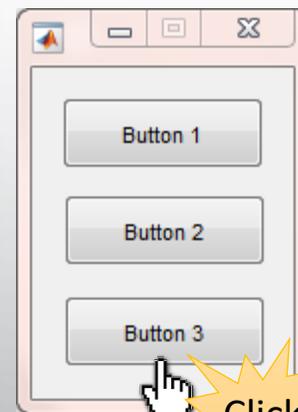


O Ambiente GUIDE

- 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)
```

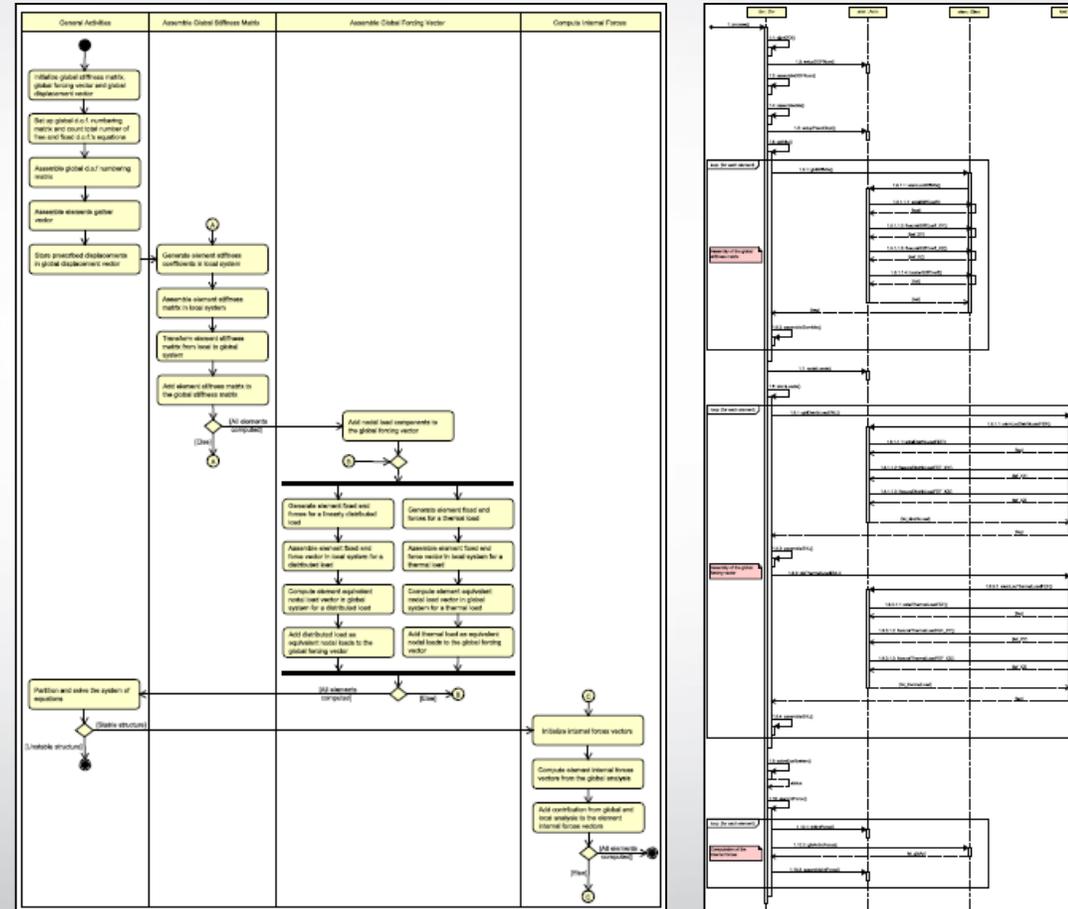
Arquivo .m

Arquivo .html



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

Diagrama de Atividade

Diagrama de Sequência





OPENCADD

MODEL - BASED DESIGN DRIVEN COMPANY

*Modeling
for life!*

OBRIGADO!

Luiz Fernando Martha – lfm@tecgraf@puc-rio.br

Rafael Lopez Rangel – rafaelrangel@tecgraf.puc-rio.br

www.tecgraf.puc-rio/lesm