



**CAPACITAÇÃO**

# INTRODUÇÃO AO FTOOL



**Juliane Falcão**

## Sumário

1.	APRESENTAÇÃO DA DISCIPLINA .....	3
1.1	Introdução .....	3
1.1.1	Autor.....	3
1.1.2	<i>Software</i> .....	3
2.	MANIPULAÇÃO DE ARQUIVOS .....	4
3.	COMANDO <i>GRID</i> E <i>SNAP</i> .....	5
4.	CRIAÇÃO E MANIPULAÇÃO DA ESTRUTURA .....	5
5.	CONTROLES DE VIZUALIZAÇÃO .....	11
6.	CONTROLE DE COORDENADAS .....	11
7.	MENU <i>OPTIONS</i> .....	12
8.	MENU <i>DISPLAY</i> .....	14
9.	ATRIBUIÇÃO DE PROPRIEDADES PARA NÓS E BARRAS.....	15
9.1	Características comuns dos submenus .....	15
9.2	Submenu de Parâmetro dos Materiais .....	15
9.3	Submenu de Propriedades das Seções Transversais .....	16
9.4	Submenu de condições de apoio .....	17
9.5	Submenu de Propriedades de Articulação de barras.....	17
9.6	Submenu de Restrições de Deformações de Barras .....	18
10.	APLICAÇÃO DE CARGAS.....	18
10.1	Menu de controle de cargas .....	18
10.2	Submenu de Cargas Concentradas e Nodais.....	19
10.3	Submenu de Cargas Momentos em Extremidades de Barras.....	19
10.4	Submenu de Cargas Distribuídas Uniformes e Lineares .....	20
10.5	Submenu de Solicitações de Variação de Temperatura.....	20
10.6	Submenu de cargas móveis (Trens-tipo).....	21
11.	RESULTADOS .....	22
11.1	Diagramas de resultados.....	22
11.2	Linhas de Influência.....	24
11.3	Carregamento trem-tipo .....	24
11.4	Escala dos Diagramas .....	25
12.	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	25
13.	EXEMPLOS .....	26

## **1. APRESENTAÇÃO DA DISCIPLINA**

### **1.1 Introdução**

O Ftool é uma das mais conhecidas ferramentas para análise estrutural bidimensional. Com ele é possível montar uma grande variedade de esquemas estruturais e, especificando alguns parâmetros, construir os gráficos de momento fletor, esforço normal e cortante, linha elástica e gráfico de configuração deformada. O programa foi desenvolvido na PUC-RIO.

Do seu objetivo básico decorre a necessidade do Ftool ser uma ferramenta simples, unindo em uma única interface recursos para uma eficiente criação e manipulação do modelo (pré-processamento) aliados a uma análise da estrutura rápida e transparente e a uma visualização de resultados rápida e efetiva (pós processamento).

#### **1.1.1 Autor**

O Ftool (Two-dimensional Frame Analysis Tool) foi desenvolvido inicialmente através de um projeto de pesquisa integrado, coordenado pelo professor Marcelo Gattass do Departamento de Informática da PUC-Rio e diretor do Instituto Tecgraf/PUC-Rio (Instituto Tecgraf de Desenvolvimento de Software Técnico Científico) e com apoio do CNPq (Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico). O responsável pelo programa é o professor Luiz Fernando Martha do Departamento de Engenharia Civil da PUC-Rio.

Luiz Fernando Martha, professor associado do Departamento de Engenharia Civil da PUC-Rio e também do Instituto Tecgraf/PUC-Rio (Instituto Tecgraf de Desenvolvimento de Software Técnico Científico) foi o idealizador dessa ferramenta. O programa vem passando por atualizações desde 1997 e é uma ferramenta importante no campo da educação de Engenharia Civil.

#### **1.1.2 Software**

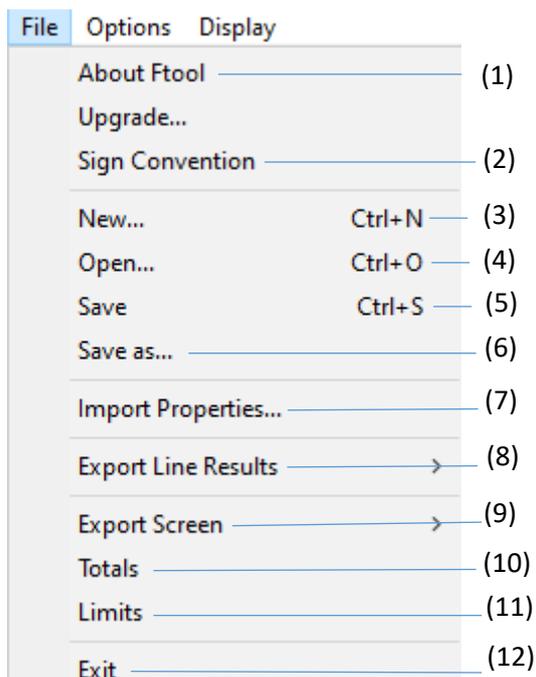
O Ftool é um programa que se destina ao ensino do comportamento estrutural de pórticos planos, ocupando um espaço pouco explorado por programas educativos, que se preocupam mais com o ensino das técnicas numéricas de análise, ou por versões educacionais de programas comerciais, mais preocupados em introduzir os estudantes às suas interfaces. Seu objetivo básico é motivar o aluno para aprender o comportamento estrutural. A experiência de ensino nesta área tem mostrado que o processo de aprendizado dos métodos de análise estrutural não é eficiente sem o conhecimento sobre o comportamento estrutural.

Destaca-se que, é muito difícil motivar o aluno padrão a aprender a teoria dos métodos de análise sem entender como o modelo sendo analisado se comporta na

prática. O processo de aprendizado dos métodos de análise melhoraria bastante se o estudante pudesse aprender sobre o comportamento estrutural simultaneamente.

Durante o período do final de 1997 ao início de 1998, o Ftool foi reescrito pelo professor Luiz Fernando Martha utilizando o sistema de interface IUP e o sistema gráfico CD, desenvolvidos pelo Tecgraf/PUC-Rio. Esta interface gráfica permite que o programa seja executado tanto no ambiente Windows quanto no ambiente Unix/X-windows.

## 2. MANIPULAÇÃO DE ARQUIVOS



- (1) Algumas informações sobre o Ftool;
- (2) Convenção de sinais (esforços normais, cortantes, fletores e linha de influência);
- (3) Cria uma nova página em branco;
- (4) Abre arquivos já realizados anteriormente;
- (5) e (6) Possibilita salvar e nomear o arquivo;
- (7) Importa as propriedades de um arquivo já existente;
- (8) Exportar os resultados;
- (9) Captura a imagem da tela para a área de transferência ou exporta em formatos específicos disponíveis;
- (10) Disponibiliza a quantidade de nós e barras presentes;
- (11) Define os limites da tela;
- (12) Sair do programa.

Com base nas opções mais utilizadas no “File”, o programa disponibiliza atalhos, os quais são mostrados abaixo.



- (1) Nova página;
- (2) Abre um arquivo existente;
- (3) Salva o arquivo;
- (4) Imprimir o arquivo;
- (5) A partir do modelo, gera um arquivo em formato *clipboard*.

### 3. COMANDO *GRID* E *SNAP*

O *Grid* e *Snap* são ferramentas que auxiliam na precisão durante o desenvolvimento do modelo.



*Grid*: Insere uma grade de pontos na tela que facilita a marcação de nós e barras, através das opções X e Y, é possível escolher o distanciamento dos pontos nos eixos horizontal e vertical respectivamente.

*Snap*: Facilita a marcação, já que o cursor é atraído para os pontos mais próximos.

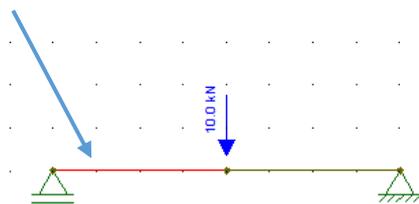
### 4. CRIAÇÃO E MANIPULAÇÃO DA ESTRUTURA

No programa, a direita, encontram-se reunidos as opções as quais serão utilizadas para a criação da estrutura a ser estudada.

 Modo seleção (Atalho – ESC)

Através do modo seleção é possível visualizar todas as informações de um elemento clicando com o botão direito sobre ele. Na imagem abaixo é possível visualizar um exemplo.

Clique com o segundo botão do mouse.



Informações do elemento selecionado

```

Member
Attributes

Length = 4.00 m

Material: Concreto
Type: Isotropic
E = 25000 MPa
Poisson = 0.20
gamma = 77.0 kN/m³
alpha = 0.000010 /°C

Section: Rec
Type: Rectangle
d = 100 mm
b = 100 mm
A = 1.0000e+04 mm²
As = 8.3333e+03 mm²
I = 8.3333e+06 mm⁴
depth = 100 mm
ygc = 50 mm

Flexible member:
Axial deformation.
No shear deformation.

Load Case:
Load Case 01

End Moments:
None.

Distributed Load:
None.

Thermal Load:
None.

```

A seleção de um conjunto de elementos pode ser feita mantendo a tecla *shift* pressionada enquanto é feita a seleção dos elementos desejados. Além disso, a seleção de elementos pode ser feita através da abertura de um retângulo, pressionando o botão esquerdo do mouse ao mesmo tempo que desliza o cursor. Assim, da esquerda para direita, o retângulo em questão será vermelho e selecionará apenas os elementos que estiverem dentro dele, já da direita para a esquerda há a abertura de um retângulo verde, no qual mesmo que apenas um pedaço do elemento esteja dentro retângulo, todo será selecionado.

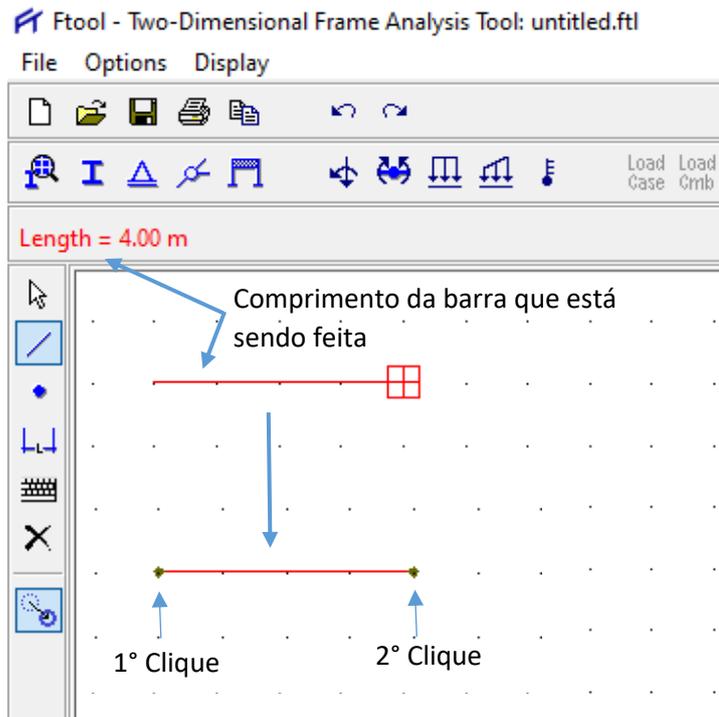
É possível visualizar os elementos selecionados através da sua mudança de cor para vermelho. Ressalta-se que o programa não permite a seleção de nós e barras ao mesmo tempo, podendo ser feita apenas a seleção de um conjunto de barras ou de nós.

Ainda, através da ferramenta seleção pode ser feita exclusão de elementos, clicando com o botão esquerdo no elemento e selecionando a opção  ou a tecla *Delete* do teclado.



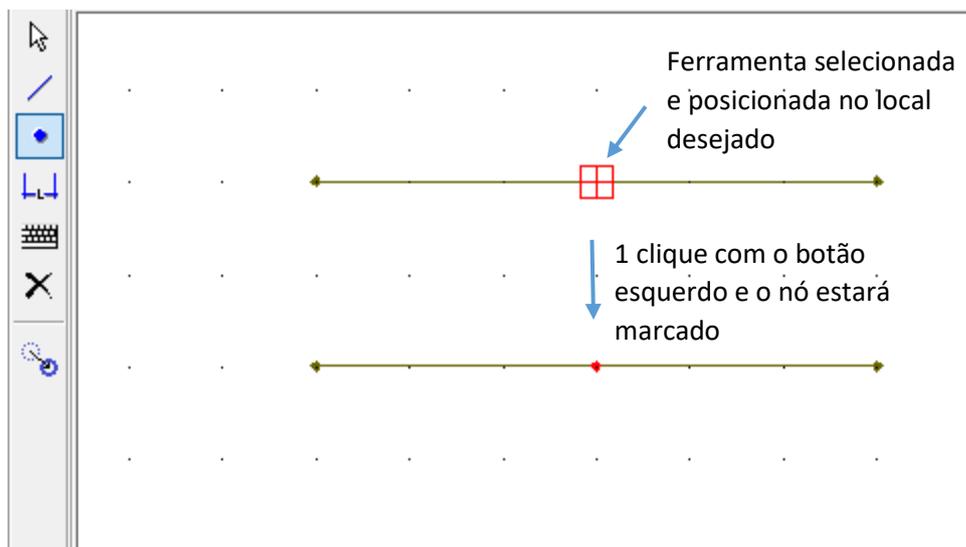
Inserir barras (Atalho – M)

Através deste comando é possível fazer a inserção de barras no modelo, basta selecioná-lo e então clicar no botão esquerdo do mouse e arrastar, visualiza-se o seu comprimento em vermelho no canto esquerdo da tela, além das coordenadas na parte inferior. Ainda, a tecla *shift* quando pressionada durante a feição da barra restringe os ângulos à 45°, garantindo uma maior precisão.



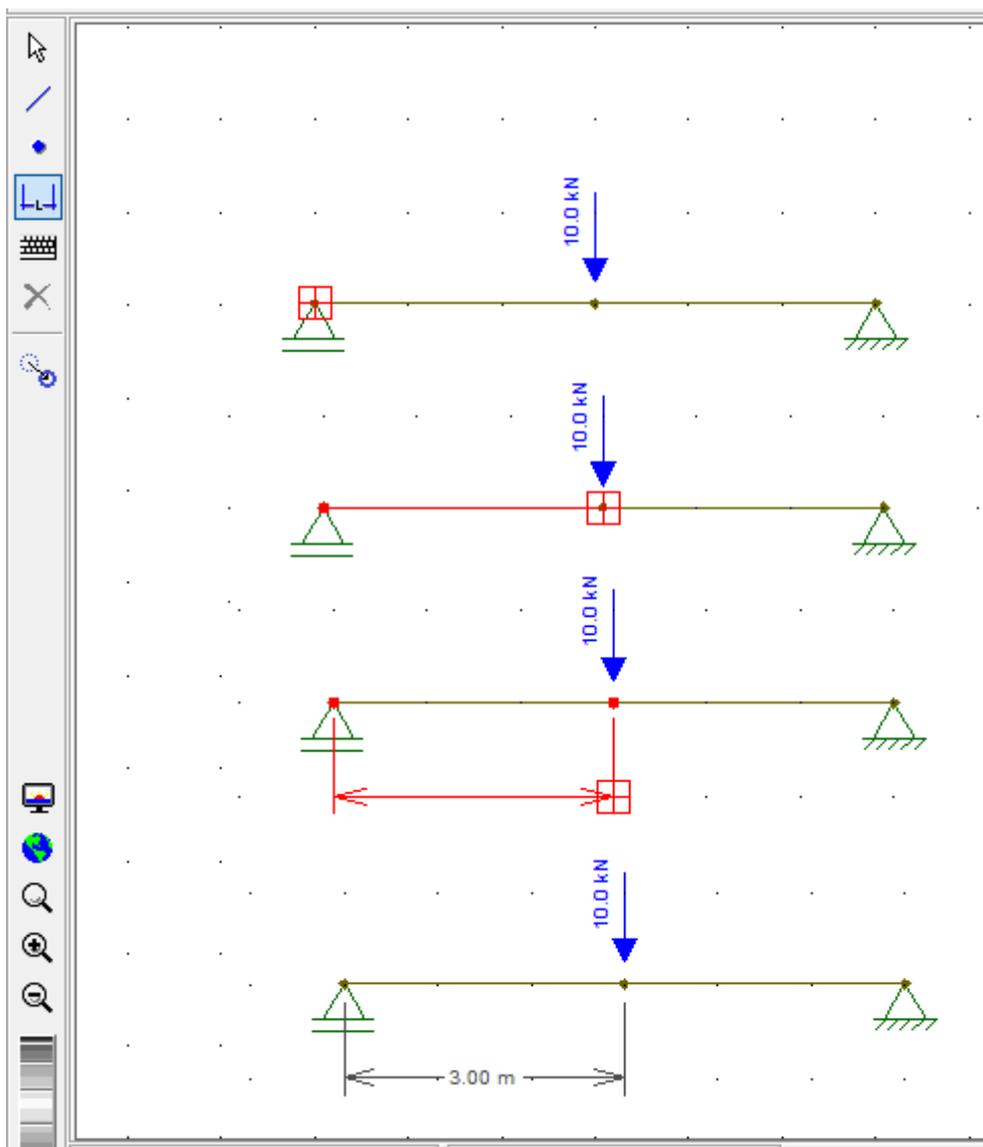
-  Inserir nós (Atalho – N)

Através desta ferramenta é possível acrescentar nós às barras já feitas anteriormente ou ainda os acrescentar anteriormente a feição das barras. Conforme mostrado abaixo.



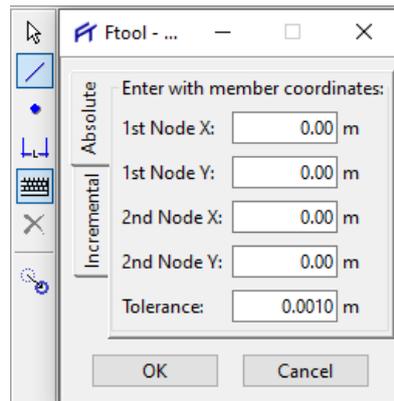
 Linha de cota (Atalho – D)

Através desta ferramenta é possível determinar o comprimento entre nós ou ao decorrer da barra. Com a opção “*Insert Dimension Line*” selecionada, clique no primeiro ponto e arraste até onde desejar e clique com o botão esquerdo novamente, o terceiro ponto trata-se da distância da barra até a linha de cota. As linhas de cota são paralelas a barra que está sendo dimensionada.

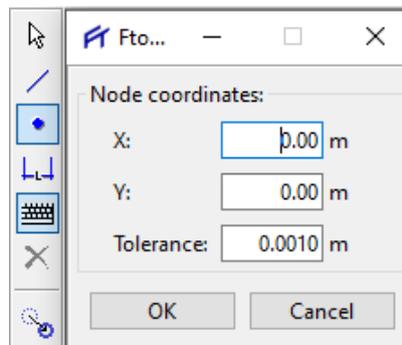
 Modo teclado (Atalho – K)

Através do modo teclado é possível fazer nós, barras e cotas com o auxílio das coordenadas do plano cartesiano.

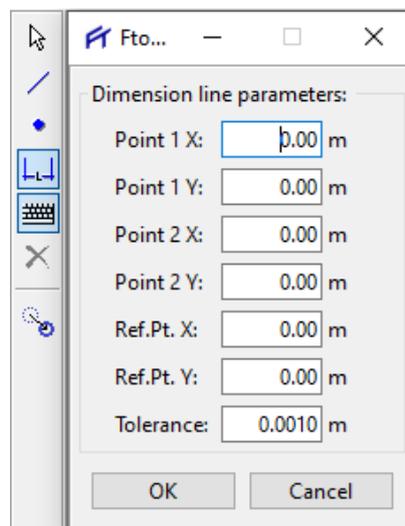
Para criar barras com a ferramenta, basta primeiramente clicar em “*Keyboard mode*” e posteriormente em “*Insert member*”, com isso, a seguinte janela será aberta.



Para criar nós, primeiramente clique na ferramenta “*Keyboard mode*” e após, na opção “*Insert node*”, assim, a janela será aberta.

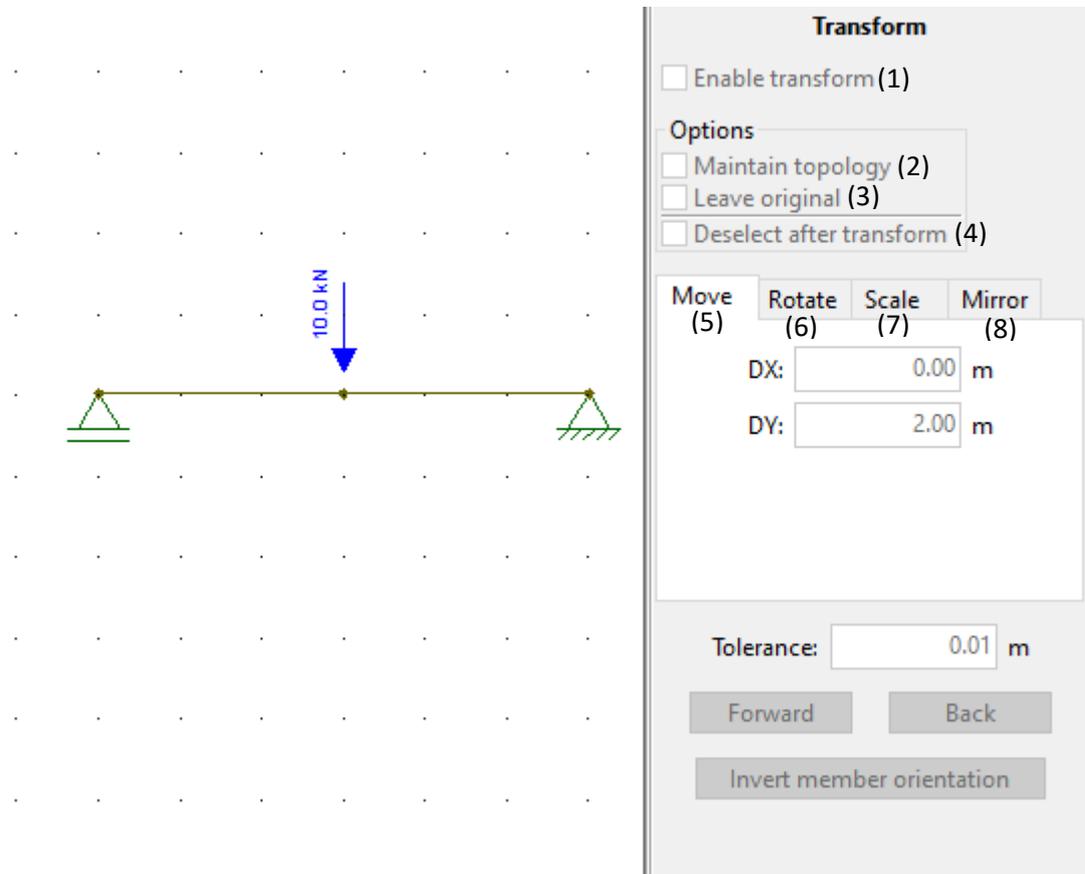


Ainda com a ferramenta é possível cotar a estrutura, basta clicar primeiramente na opção “*Keyboard mode*” e na opção “*Insert dimension line*”, a partir disso será possível traçar as linhas de cota através do Modo Teclado.



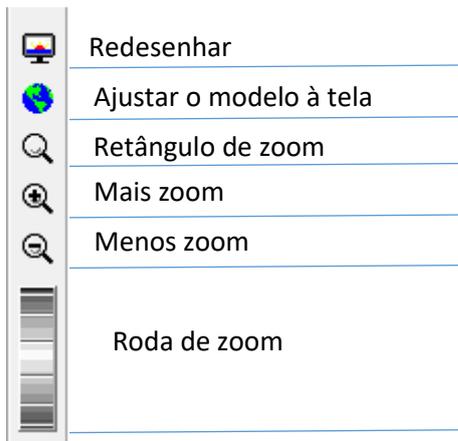
 Transformar (Atalho – T)

Através da ferramenta transformar é possível, mover, rotacionar, espelhar e aplicar um fator de escala. Quando selecionado uma janela é aberta no canto direito da tela. Como mostrado a imagem a seguir.



- (1) Habilitar transformar: habilita painel de “options” e o modo teclado;
- (2) Manter topologia: com esta ferramenta selecionada não é possível utilizar a opção “mirror”;
- (3) O modelo original é mantido após a utilização de outras ferramentas;
- (4) Com essa opção selecionada, após a transformação o modelo não ficará selecionado;
- (5) Mover: é possível mover a estrutura para outras coordenadas;
- (6) Rotacionar: é possível alterar o ângulo através de algum eixo escolhido;
- (7) Escala: é possível alterar a escala do modelo;
- (8) Espelhar: possibilita espelhar a estrutura.

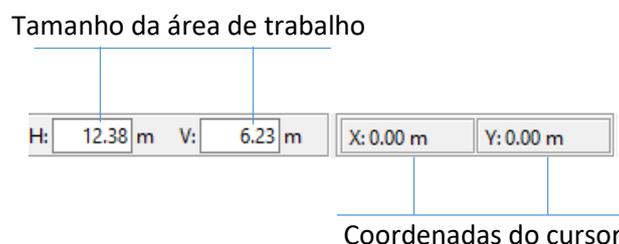
## 5. CONTROLES DE VIZUALIZAÇÃO



- A ferramenta Resenhar apenas atualiza o *canvas* com o modelo atual;
- A opção ajustar à tela tem como objetivo enquadrar o modelo a área de desenho com uma margem;
- A ferramenta retângulo de zoom possibilita escolher a àrea de vizualiação através de um retângulo, construído a partir de dois “cliques” do mouse, onde a àrea de zoom desejada deve estar dentro do retângulo;
- As ferramentas de mais zoom e menos zoom, aumentam e diminuem o modelo na tela respectivamente, o mesmo pode ser feito girando a opção nomeada roda de zoom.

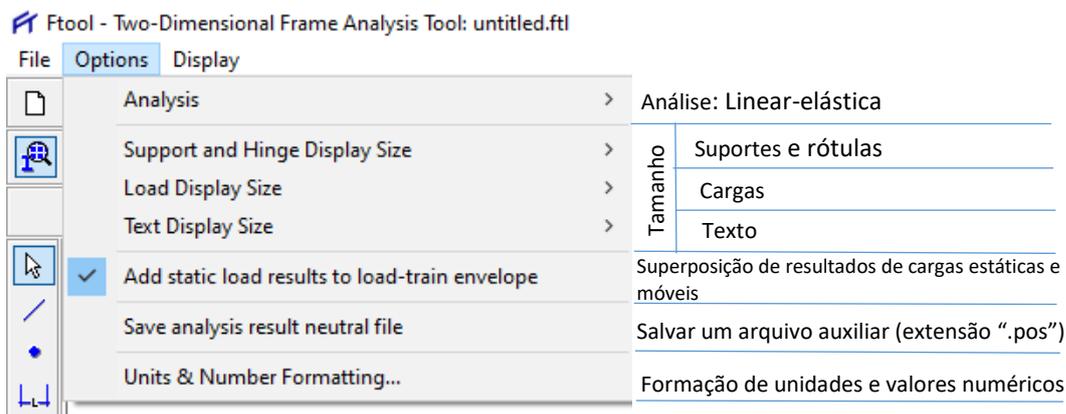
## 6. CONTROLE DE COORDENADAS

Através deste menu é possível visualizar características sobre o painel de visualização. Com isso, as siglas H e V são referentes ao tamanho da janela de visualização. Ao lado, encontram-se as coordenadas do cursor (X e Y), muito importante quando o modo teclado é utilizado.



## 7. MENU OPTIONS

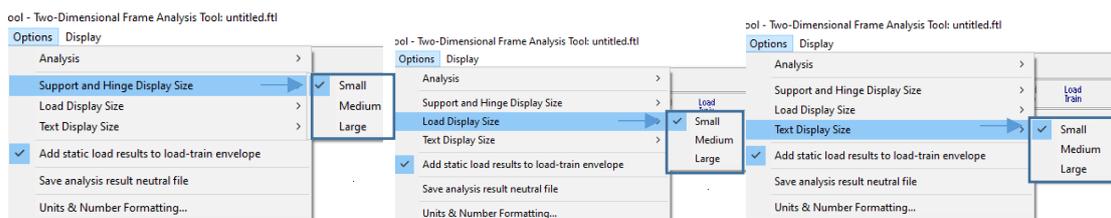
O menu “options” possibilita o usuário fazer algumas alterações no programa quanto a formatação, como, o tamanho de rótulas, cargas, suportes, texto no desenho e o sistema de unidades. As opções são mostradas abaixo.



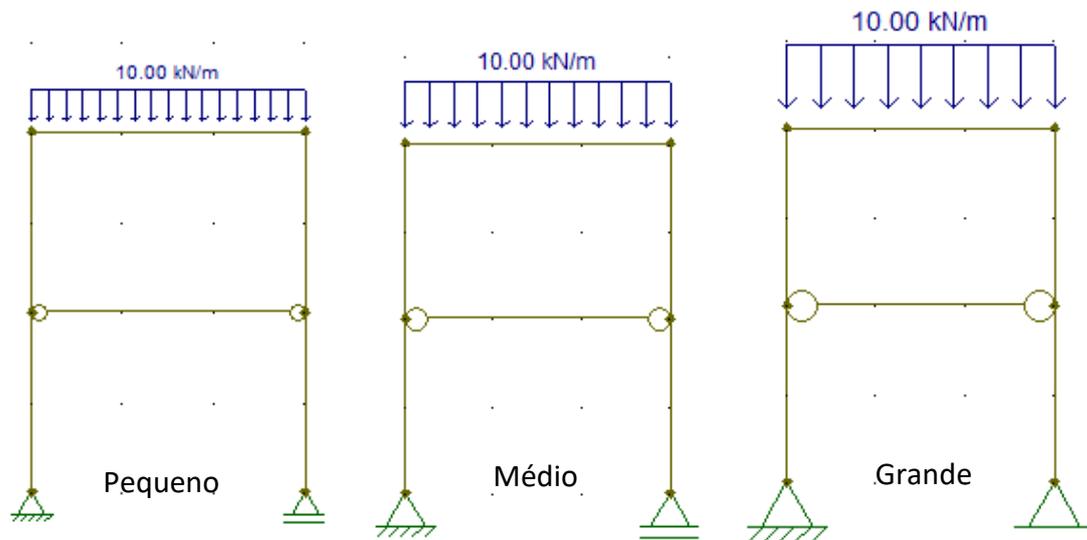
A única opção de análise disponível no programa é a linear-elástica.

- Tamanho

O Ftool disponibiliza diferentes tamanhos para os elementos (pequeno, médio e grande), sendo possível alterá-los selecionando a opção desejada. Como mostrado abaixo.



Na próxima imagem, são mostradas três estruturas com diferentes tamanhos de elementos, pequeno, médio e grande respectivamente. Ressalta-se que, não é necessário deixar todos os elementos do mesmo tamanho, a imagem abaixo visa apenas a visualização entre as diferentes possibilidades.



- Superposição de resultados de cargas estáticas e móveis

A opção “*Add static load results to load-train envelope*” adiciona os efeitos de cargas estáticas no cálculo da envoltória de esforços internos resultantes das cargas móveis.

- Salvar um arquivo auxiliar

Através desta opção é possível salvar um arquivo na extensão “.pos”, fazendo a comunicação com o módulo interno de análise (*solver*). Esta opção em programas a partir da versão 3.0 é pouco utilizada já que a comunicação é feita em memória RAM. Porém, em versões anteriores essa era a opção que alimentava análise.

- Formatação de unidades e valores numéricos

Nessa opção é possível ter acesso ao sistema de unidades e a formatação numérica adotada, como também alterar todos os valores. Com isso, os sistemas de unidades disponíveis são: Sistema Internacional (SI), todas as unidades em kilonewton e metros (KN-m) e Sistema Americano (US).

Ftool - Units & Number Formatting

SI      kN-m      US

Length:	meter [ m ]	Format:	x.xx
Displacement:	millimeter [ mm ]	Format:	x.xxx e±xx
Rotation:	radian [ rad ]	Format:	x.xxx e±xx
Section Sizes:	millimeter [ mm ]	Format:	x
Section Area:	[ mm <sup>2</sup> ]	Format:	x.xxxx e±xx
Section Inertia:	[ mm <sup>4</sup> ]	Format:	x.xxxx e±xx
Force:	kilo-Newton [ kN ]	Format:	x.x
Moment:	[ kNm ]	Format:	x.x
Distrib. Load:	[ kN/m ]	Format:	x.xx
Temperature:	centigrade [ °C ]	Format:	x
Elastic Param.:	mega-Pascal [ MPa (N/mm <sup>2</sup> ) ]	Format:	x
Specific Weight:	[ kN/m <sup>3</sup> ]	Format:	x.x
Thermal Expan.:	[ 1/°C ]	Format:	x.xxxxxx
Translat. Spring:	[ kN/m ]	Format:	x.xxx e±xx
Rotation Spring:	[ kNm/rad ]	Format:	x.xxx e±xx
Force Infl. Line:	[ ]	Format:	x.xxxx
Moment Infl. Line:	meter [ m ]	Format:	x.xxxx

OK      Cancel

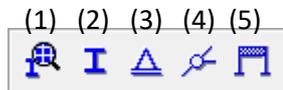
## 8. MENU *DISPLAY*

As opções do menu *Display* podem ser visualizadas através da imagem abaixo.

Display		
<input checked="" type="checkbox"/> White Background	Cor do plano de fundo	Branco
<input type="checkbox"/> Gray Background		Cinza
<input type="checkbox"/> Black Background		Preto
<input type="checkbox"/> Black Foreground		Desenho com todas as entidades em preto
<input checked="" type="checkbox"/> Dimension Lines	Mostrar linhas de cota	
<input type="checkbox"/> Member Orientation	Mostrar a orientação de barras	
<input checked="" type="checkbox"/> Supports	Mostrar apoios	
<input checked="" type="checkbox"/> Loading while Editing	Mostrar carregamentos durante a edição	
<input type="checkbox"/> Loading with Results	Mostrar carregamentos com resultado	
<input checked="" type="checkbox"/> Load Values	Mostrar valores dos carregamentos	
<input checked="" type="checkbox"/> Result Values	Mostrar valores dos resultados	
<input type="checkbox"/> Step Lines	Mostrar hachuras passo-a-passo	
<input type="checkbox"/> Step Values	Mostrar valores passo-a-passo	
<input type="checkbox"/> Transversal Values	Mostrar valores de resultados transversalmente	
<input type="checkbox"/> Bending Moment Sign	Mostrar sinal do momento fletor	
<input type="checkbox"/> Reactions	Mostrar reações	
<input type="checkbox"/> Reaction Values	Mostrar valores das reações	
<input type="checkbox"/> Node Numbers	Mostrar numeração dos nós com resultados	
<input type="checkbox"/> Member Numbers	Mostrar numeração das barras com resultados	

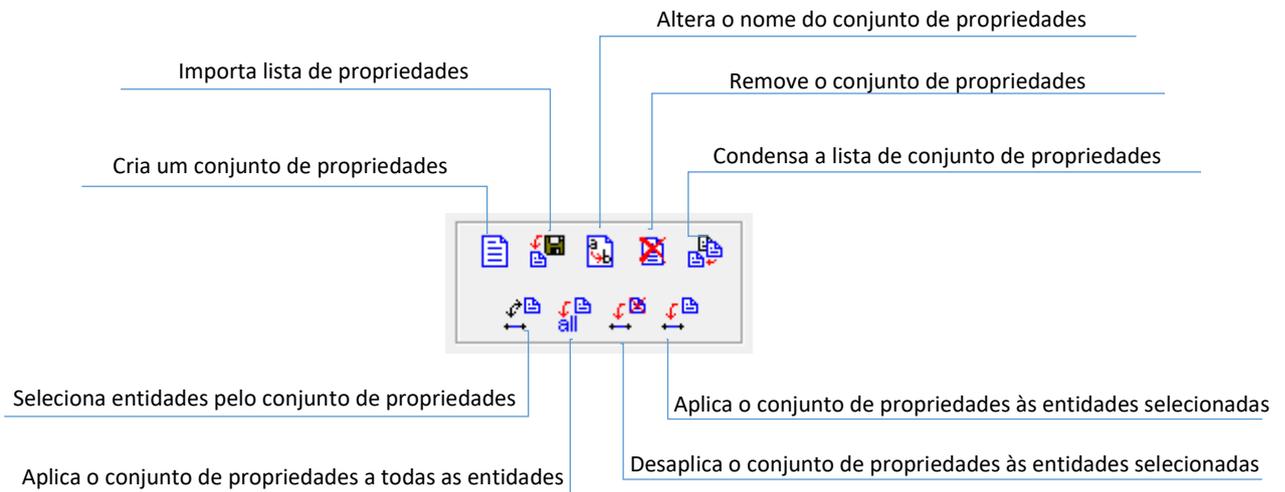
## 9. ATRIBUIÇÃO DE PROPRIEDADES PARA NÓS E BARRAS

Após desenhar a estrutura o operador necessita atribuir algumas propriedades aos nós e as barras, as atribuições são descritas na imagem abaixo.



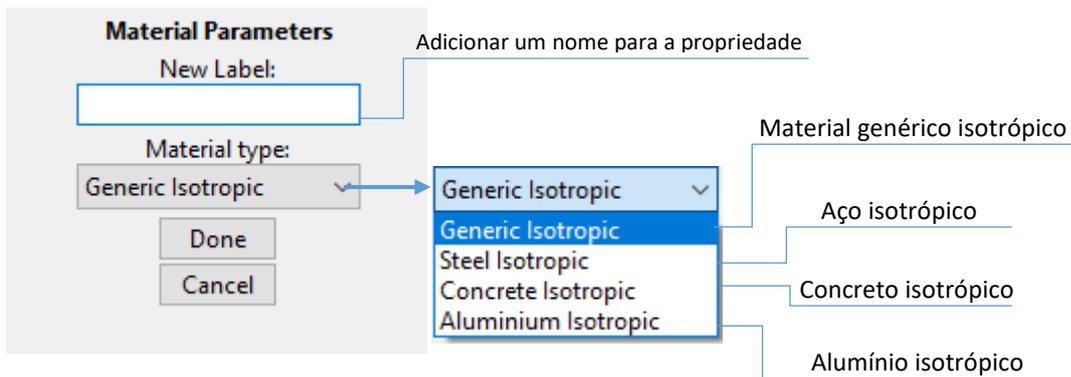
- (1) Adiciona um submenu de propriedades dos materiais;
- (2) Adiciona um submenu de propriedades de sessões transversais;
- (3) Adiciona um submenu de condições de apoio;
- (4) Adiciona um submenu com as possibilidades de articulação de barras;
- (5) Adiciona um submenu com as possibilidades de restrição de deformações.

### 9.1 Características comuns dos submenus

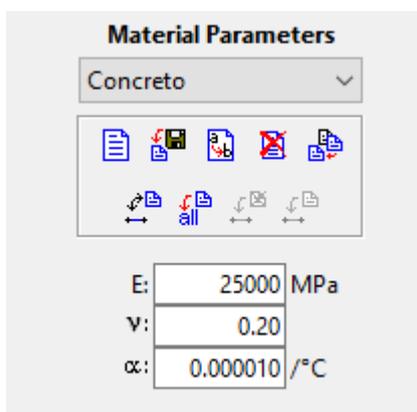


### 9.2 Submenu de Parâmetro dos Materiais

Para criar um novo junto de parâmetros de materiais, deve-se selecionar o botão  e selecionar a opção desejada, como mostrado abaixo.



Após escolhido o material, os seguintes parâmetros são fornecidos pelo programa, caso seja de interesse do usuário, estes podem ser modificados.



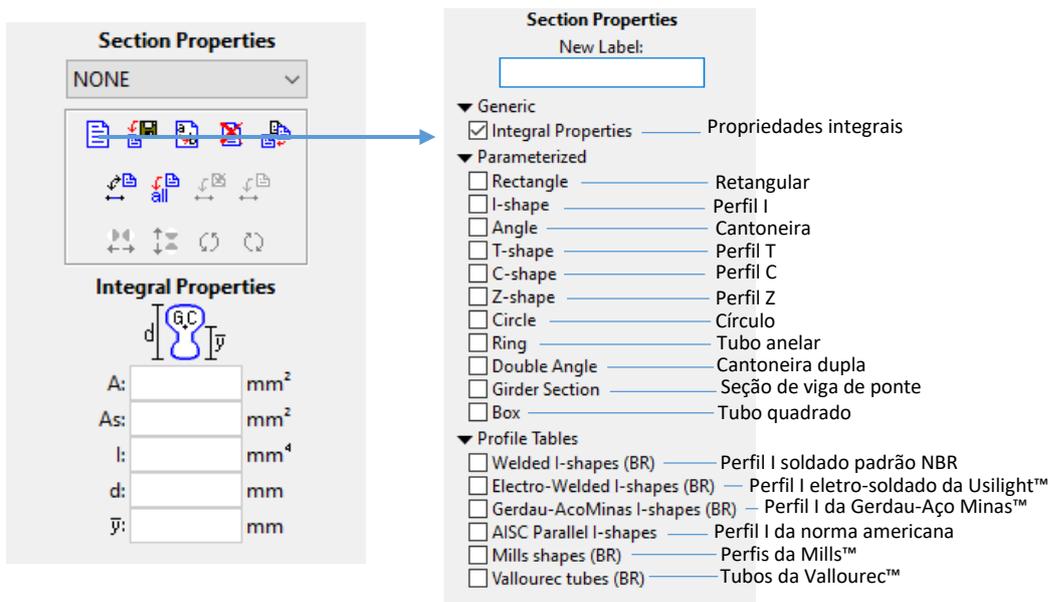
E: Modulo de elasticidade

v: Coeficiente de Poisson

$\alpha$ : Usado no caso de solicitações por variação de temperatura em barras

### 9.3 Submenu de Propriedades das Seções Transversais

Através da opção é possível criar um novo conjunto de propriedades para a seção transversal do modelo, como mostrado abaixo.



Após a escolha da seção transversal, o usuário deverá fornecer ao programa as medidas desejadas.

#### 9.4 Submenu de condições de apoio

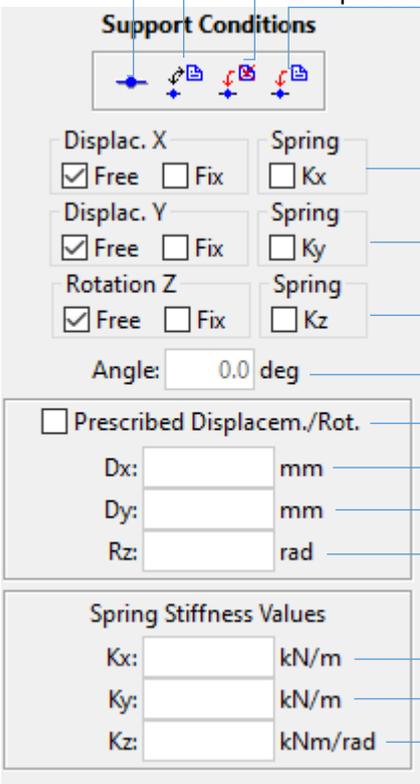
Através deste menu é possível definir os diferentes tipos de apoios para a estrutura. Com isso, determina-se os componentes de deslocamento na direção X e Y e a rotação no eixo Z. Como também, o ângulo do apoio, rotação e se há algum apoio elástico em qualquer das direções.

Limpa os parâmetros

Seleciona os nós com condição de apoio atual

Desaplica condições de apoios a nós selecionados

Aplica condições de apoios a nós selecionados



Displac. X  Free  Fix  Spring  Kx — Libera/Fixa deslocamento na direção X ou atribui apoio elástico

Displac. Y  Free  Fix  Spring  Ky — Libera/Fixa deslocamento na direção Y ou atribui apoio elástico

Rotation Z  Free  Fix  Spring  Kz — Libera/Fixa rotação em torno de Z ou atribui apoio elástico

Angle:  deg — Ângulo de rotação do apoio (positivo no sentido anti-horário)

Prescribed Displacem./Rot. — Prescreve deslocamentos/rotação (assentamento ou recalque)

Dx:  mm — Descolamento aplicado na direção X (assentamento ou recalque)

Dy:  mm — Descolamento aplicado na direção Y (assentamento ou recalque)

Rz:  rad — Rotação aplicada em torno de Z (assentamento ou recalque)

Spring Stiffness Values

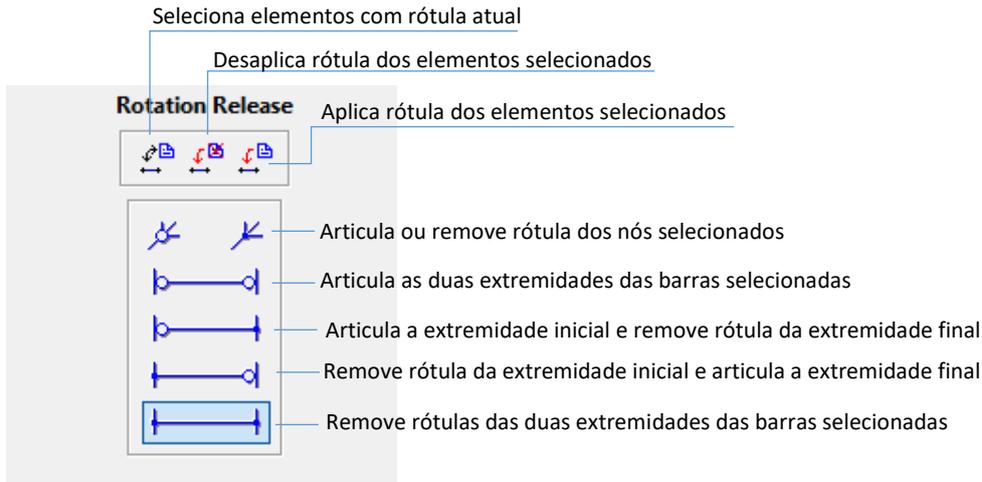
Kx:  kN/m — Constante de mola (apoio elástico translacional) na direção X

Ky:  kN/m — Constante de mola (apoio elástico translacional) na direção Y

Kz:  kNm/rad — Constante de mola (apoio elástico translacional) em torno de Z

#### 9.5 Submenu de Propriedades de Articulação de barras

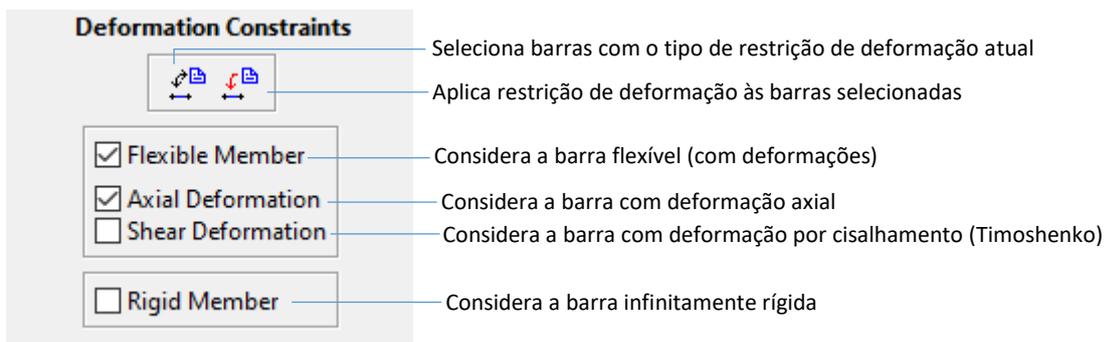
Através desse menu é possível atribuir rótulas aos nós ou as barras. A imagem abaixo exemplifica as opções do menu.



## 9.6 Submenu de Restrições de Deformações de Barras

Esta seção permite a inserção por parte do usuário de condições de contorno quanto a deformação em determinadas barras. Garante que os membros sejam flexíveis com ou sem restrição de deformação axial ou transversal, ou ainda, suficientemente rígidos a ponto de evitar deformações axiais e transversais.

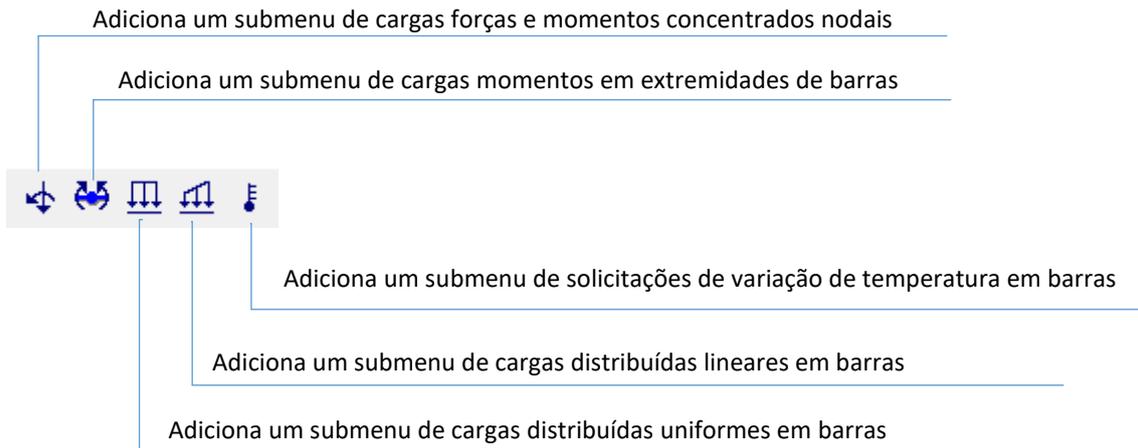
A rigidez relativa entre os membros estruturais pode ser colocada em cálculo pelo *software*, isto é, caso a caixa para membros flexíveis esteja ativada, o programa gera, a partir da sobrecarga, relação entre o módulo de Young e a geometria das barras, conclusões que definem a deformação e a transferência de esforços no corpo estrutural. O menu é exemplificado abaixo.



## 10. APLICAÇÃO DE CARGAS

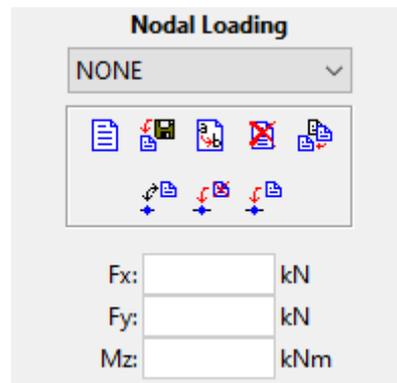
### 10.1 Menu de controle de cargas

A partir desse menu é possível estabelecer a atribuição de carregamentos às entidades, como, carga concentrada, carga distribuída retangular, carga distribuída triangular, além de solicitações de variação de temperaturas em barras.



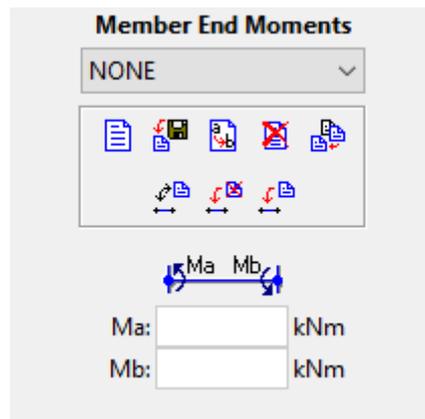
## 10.2 Submenu de Cargas Concentradas e Nodais

Possibilita que sejam impostas cargas concentradas (forças e momentos) aos nós selecionados da barra. Para criar uma nova carga concentrada, o usuário deve selecionar a opção , nomear a força, e então digitar sua grandeza na direção desejada, X ou Y, ou ainda definir um momento em Z.



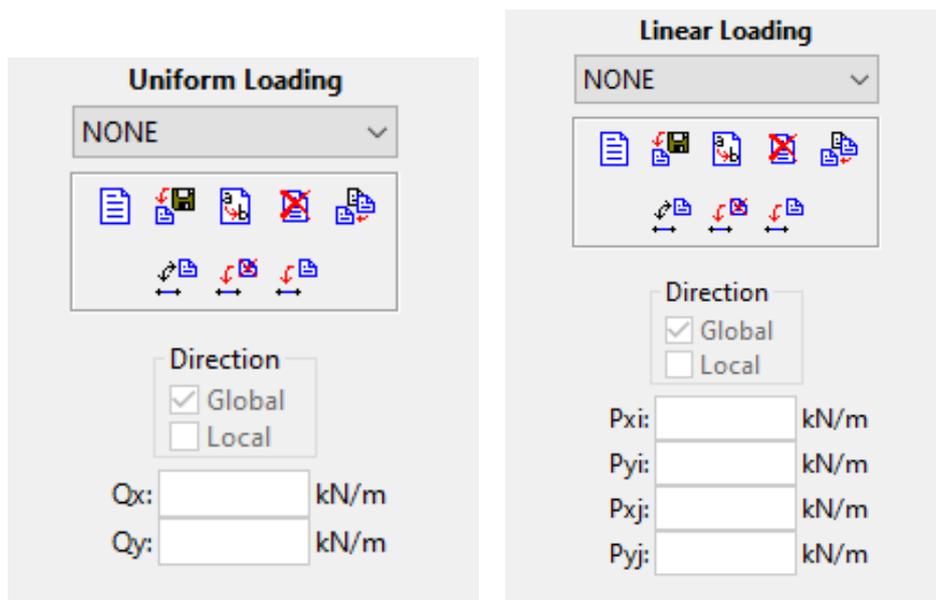
## 10.3 Submenu de Cargas Momentos em Extremidades de Barras

Possibilita que sejam criados e aplicados momentos concentrados nas seções extremas das barras. São positivos os momentos aplicados no sentido anti-horário e negativos os aplicados no sentido horário. O usuário deve selecionar a opção , nomear o momento e então digitar a sua grandeza na extremidade inicial da barra ( $M_a$ ) e/ou na extremidade final da barra ( $M_b$ ).



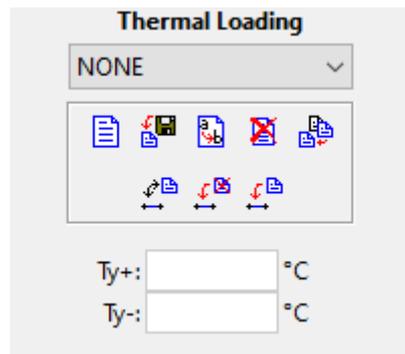
#### 10.4 Submenu de Cargas Distribuídas Uniformes e Lineares

Possibilita que sejam criadas cargas lineares ou uniformes às barras, podendo-se utilizar como referência o sistema de coordenadas global ou local da barra. Para adicioná-las, o usuário deve selecionar a opção , nomear a carga e então preencher os campos com as grandezas necessárias.



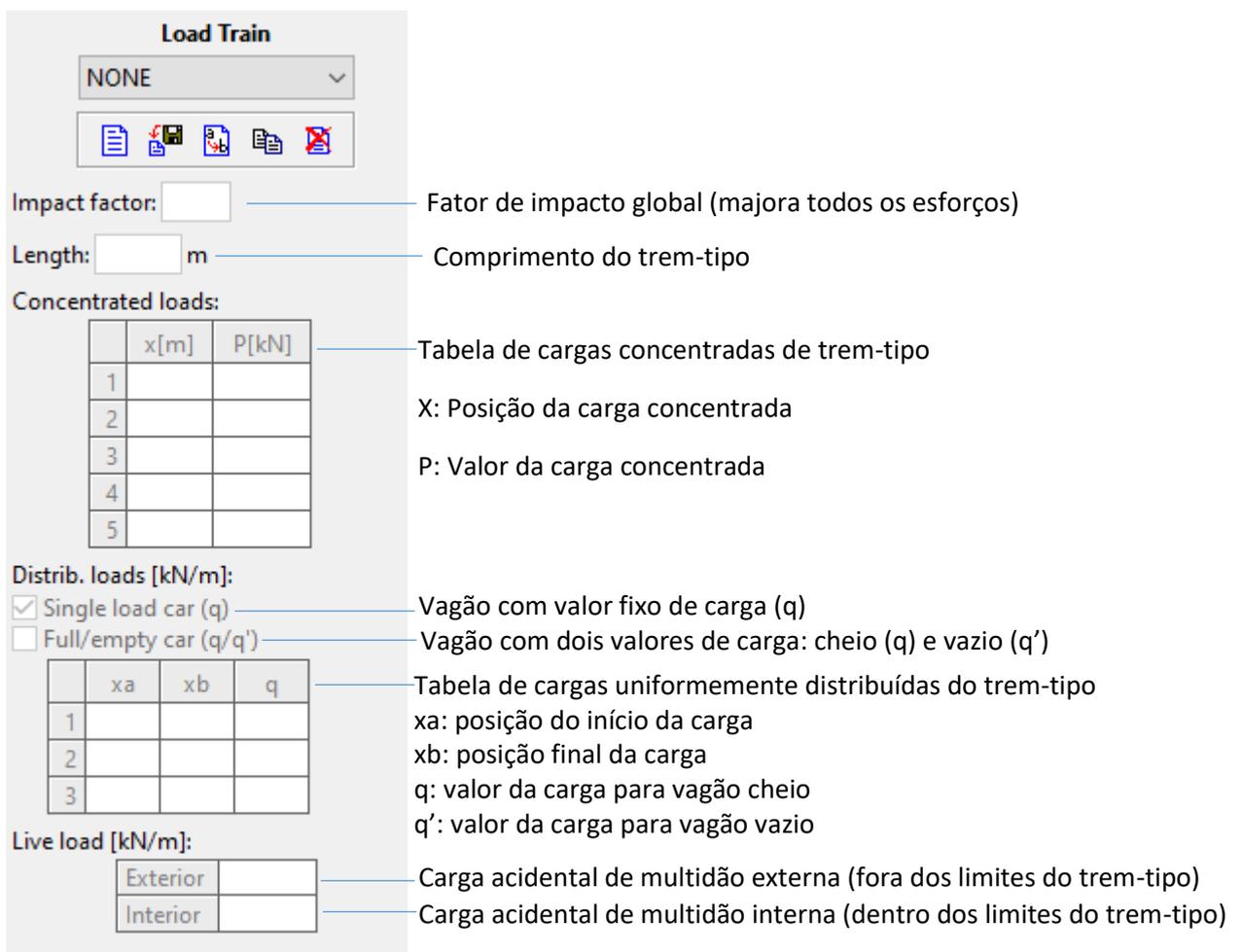
#### 10.5 Submenu de Solicitações de Variação de Temperatura

Possibilita que sejam impostas solicitações de variação de temperatura às barras. O usuário deve selecionar a opção , nomear a solicitação de temperatura e então, especificar a variação de temperatura no bordo superior (na fibra do lado positivo do eixo local y) e no bordo inferior (na fibra do lado negativo do eixo local y) da seção transversal.



### 10.6 Submenu de cargas móveis (Trens-tipo)

Possibilita que sejam impostas cargas móveis no modelo, o trem-tipo é composto por cargas concentradas, cargas uniformemente distribuídas e cargas acidentais (cargas de multidão). A imagem abaixo exemplifica as opções desse menu.



**Load Train**

NONE

Impact factor: [ ] Fator de impacto global (majora todos os esforços)

Length: [ ] m Comprimento do trem-tipo

Concentrated loads:

	x[m]	P[kN]
1		
2		
3		
4		
5		

Tabela de cargas concentradas de trem-tipo

X: Posição da carga concentrada

P: Valor da carga concentrada

Distrib. loads [kN/m]:

Single load car (q) Vagão com valor fixo de carga (q)

Full/empty car (q/q') Vagão com dois valores de carga: cheio (q) e vazio (q')

	xa	xb	q
1			
2			
3			

Tabela de cargas uniformemente distribuídas do trem-tipo

xa: posição do início da carga

xb: posição final da carga

q: valor da carga para vagão cheio

q': valor da carga para vagão vazio

Live load [kN/m]:

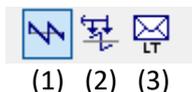
Exterior	[ ]
Interior	[ ]

Carga acidental de multidão externa (fora dos limites do trem-tipo)

Carga acidental de multidão interna (dentro dos limites do trem-tipo)

## 11. RESULTADOS

O software Ftool, em todas as suas versões, somente exibe os resultados com a condição de que o arquivo está salvo. Existem três modos de resultados da análise de pórticos planos no Ftool: Diagrama (*Diagram*), Linha de Influência (*Influence Line*) e Envoltória de efeitos de trem-tipo (*Load-Train Envelope*).



- (1) Resultados do diagrama;
- (2) Resultados de linha de influência;
- (3) Envelope de resultados do trem-tipo.



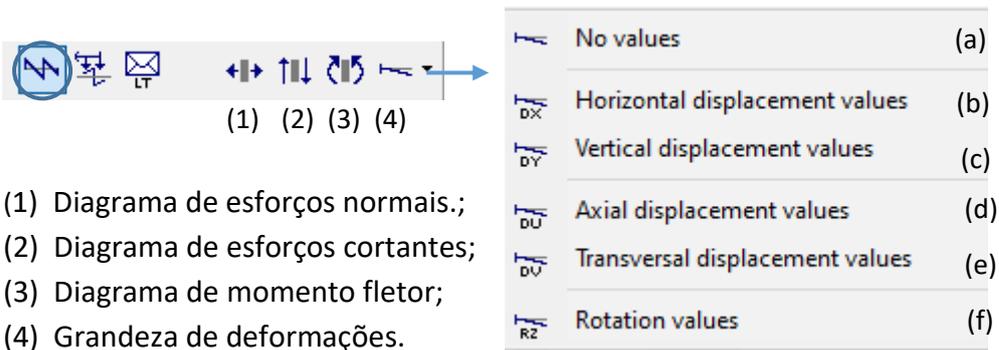
- (1) Especifica passo para consulta de resultados de diagrama ao longo da barra;
- (2) Uniformiza passo para consulta ao longo da barra;
- (3) Utiliza passo para consulta ao longo da barra sem uniformizar.

Para consulta de esforços ou deformações basta que as seleções pertinentes estejam ativadas, como o Diagrama de Resultados. O passo é a distância pela qual o programa exibe os resultados além de onde haja máximo e mínimo local e global no diagrama de resultados, linhas de influências ou envoltórias de carregamento trem-tipo. No modo de Linha de Influência o *software* solicita que o usuário escolha a seção transversal a ser objeto da análise.

### 11.1 Diagramas de resultados

Os diagramas podem apontar as tensões internas, ou ainda, o deslocamento rotacionado ou transladado causado por um conjunto de esforços. O cálculo das ditas linhas de estado é função da geometria estrutural plana, do carregamento e dos vínculos aos graus de liberdade.

Quando o usuário seleciona esta opção, fica disponível os diagramas, de modo singular, devido a forças axiais, força cisalhante, momento fletor e a grandeza de deformações dos componentes estruturais. Conforme mostrado abaixo.



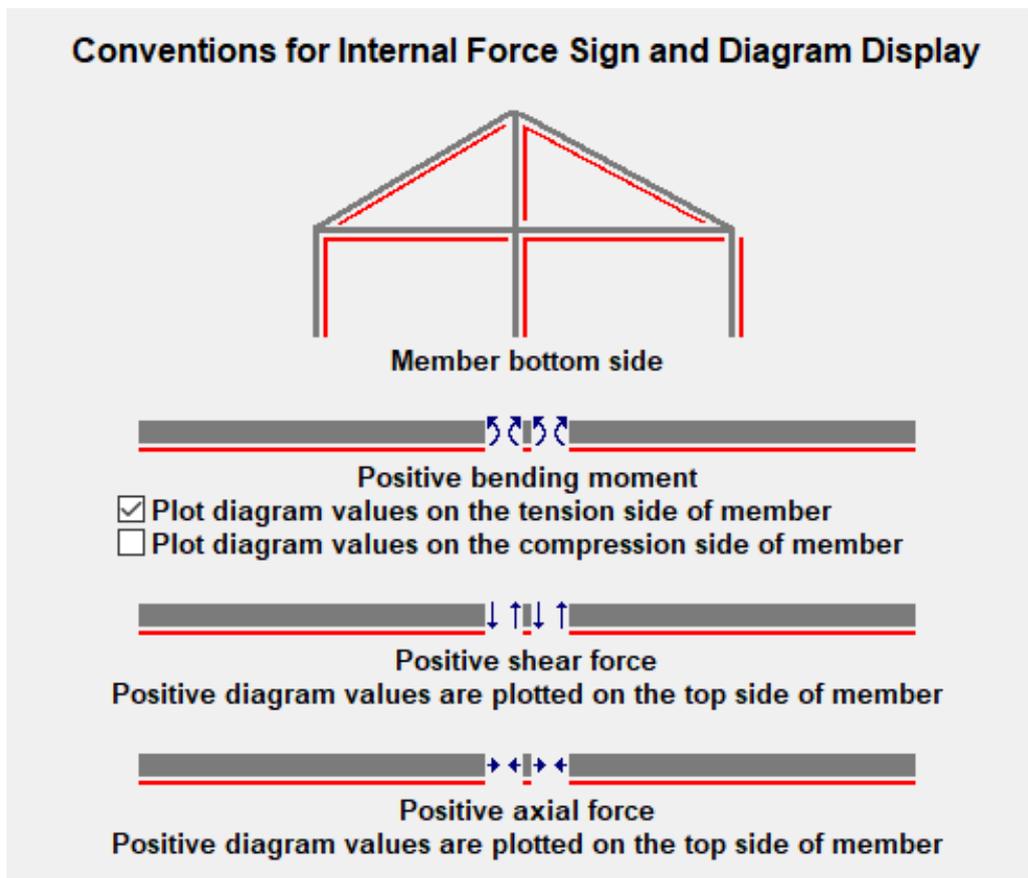
(1) (2) (3) (4)

	No values	(a)
	Horizontal displacement values	(b)
	Vertical displacement values	(c)
	Axial displacement values	(d)
	Transversal displacement values	(e)
	Rotation values	(f)

- (1) Diagrama de esforços normais.;
- (2) Diagrama de esforços cortantes.;
- (3) Diagrama de momento fletor.;
- (4) Grandeza de deformações.

- (a) Deformada sem valores.;
- (b) Deformada com deslocamentos horizontais.;
- (c) Deformada com deslocamentos verticais.;
- (d) Deformada com deslocamentos axiais.;
- (e) Deformada com deslocamentos transversais.;
- (f) Deformada com rotações.

A convenção de sinais adotadas para exibição de resultados é compatível com a literatura nacional e pode ser simplificada da seguinte forma:



### 11.2 Linhas de Influência



- (1) Linha de influência de força axial;
- (2) Linha de influência de força cortante;
- (3) Linha de influência de momento fletor;
- (4) Selecionar seção para traçar linha de influência.

A linha de influência representa o esforço resultado em uma seção S da estrutura a partir de uma carga de vetor unitário direcionado para baixo ao longo do membro ou membros estruturais, não importando a direção desses. O resultado independe de qualquer carga aplicada a estrutura. A aplicação deste conhecimento permite o cálculo de pontes e viadutos com trânsito de cargas móveis.

Enquanto a seleção de seção para traçado de linha de influência estiver azul, o *software* entende que deve realizar um novo traçado a cada clique na estrutura. Para evitar o fato, recomenda-se que o usuário desative a seleção do traçado de linha de influência. Deste modo, é possível consultar valores intermediários e pontuais sem redefinir o traçado completo.

### 11.3 Carregamento trem-tipo



- (1) Envoltória de trem-tipo de força axial;
- (2) Envoltória de trem-tipo de força cortante;
- (3) Envoltória de trem-tipo de momento fletor.

O trem-tipo é uma carga padrão representativa de uma carga de multidão com suas devidas representações em cargas pontuais e distribuídas. A simulação do trem-tipo ao longo de uma viga permite encontrar a pior condição de um carregamento, conjuntamente com o peso próprio da estrutura dada a uma seção específica de interesse.

Durante a seleção de trem-tipo, o *software* o reproduz nas partes superiores e inferiores da linha de influência, nas posições críticas que causam os esforços mínimo (negativo) e máximo (positivo), respectivamente. O resultado será representado apenas nos membros que pertencem ao caminho do trem-tipo.

### 11.4 Escala dos Diagramas

Apesar do Ftool dispor de uma escala inicial mais ajustada possível a tela, essa pode ser alterada pelo potenciômetro à esquerda do menu de resultados.



Para diagramas de esforços e envoltórias de esforços, basta editar o valor da régua de controle situada entre o “carregamento do trem-tipo” e os modos de resultados. No caso de deformadas, a mesma ação serve para ajuste do fator de escala. Na linha de influência, a escala inicial é a melhor ajustável aos máximos e mínimos globais, entretanto, assim como os demais, essa pode ser alterada pelo potenciômetro ou pelo fator de escala, à critério do usuário.

## 12. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Assim como há a recomendação do *software*, reitera-se que o Ftool, qualquer um de seus idealizadores ou até mesmo qualquer apostila ou manual não são responsáveis pelo mau uso do programa ou pelos resultados mal interpretados. O usuário assume total responsabilidade por qualquer dano que possa ocorrer pelo uso incorreto das teorias pertinentes ao cálculo estrutural, seja esse causado a pessoas ou companhias, direta ou indiretamente.

Não há compromisso ou garantia de responsabilização aos idealizadores e fornecedores do *software*, de apostila e manuais. Apesar de ser uma ferramenta simples, a utilização correta potencializa os resultados, e pode desenvolver estudos abrangentes e extensos no âmbito da Mecânica Estática.

### 13. EXEMPLOS

Traçar os diagramas de esforço normal, esforço cortante e momento fletor.

1)

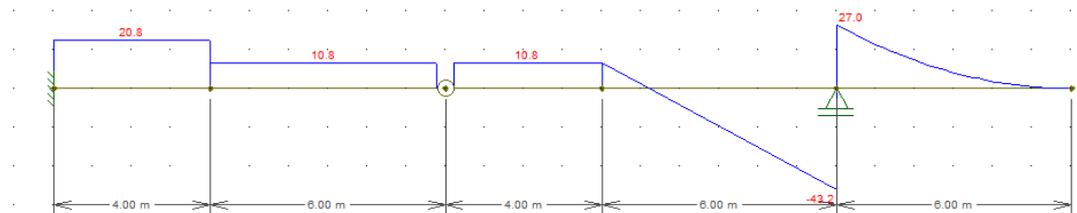
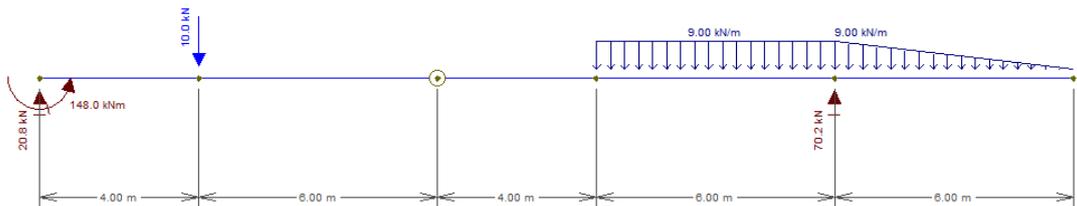
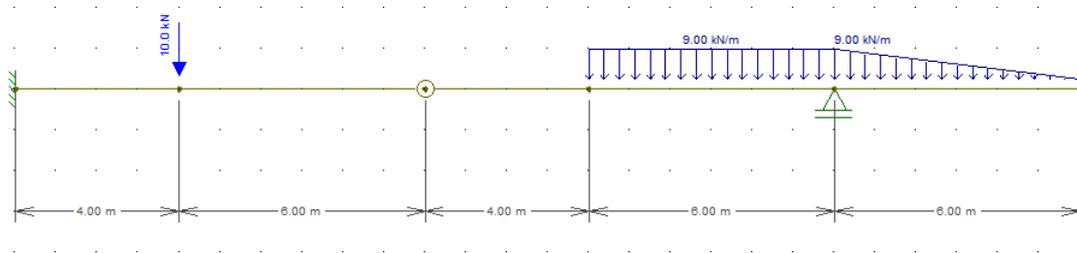
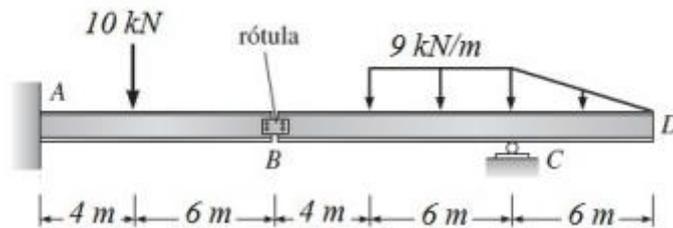


Diagrama de Esforço Cortante (DEC)

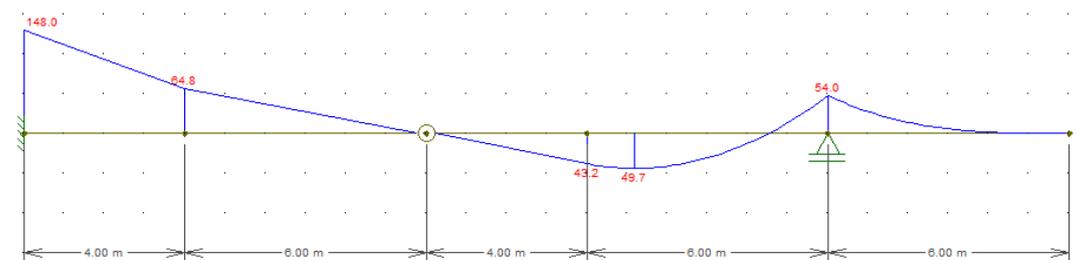
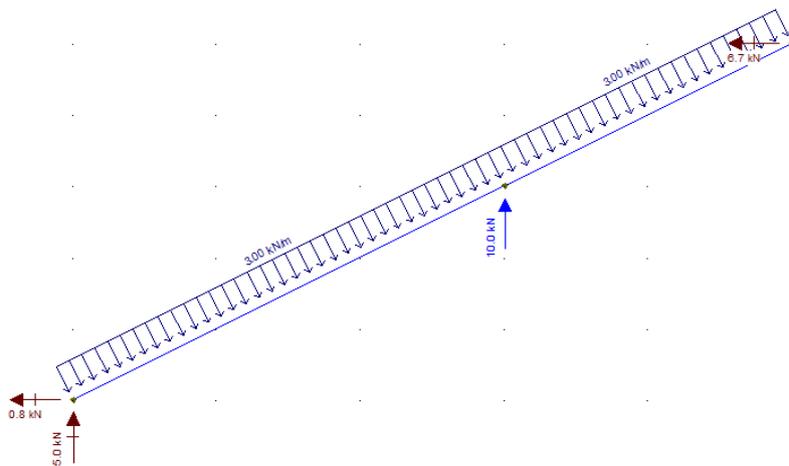
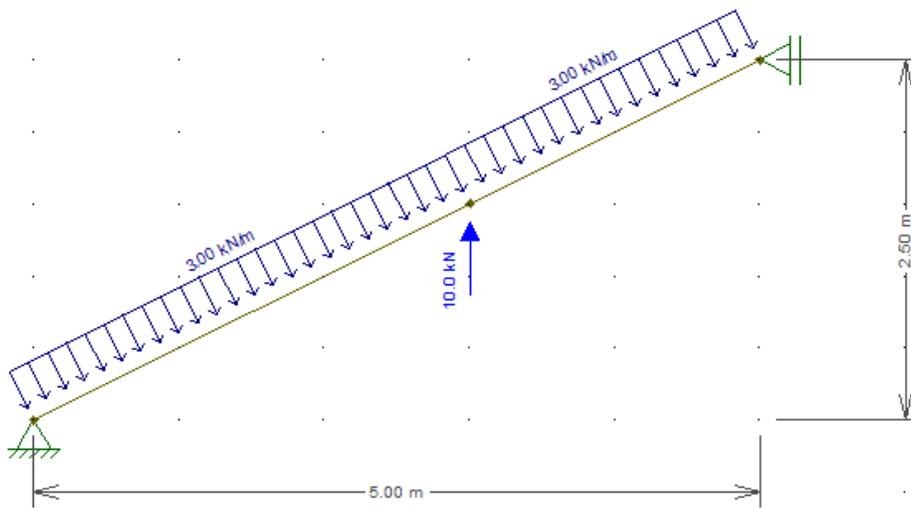
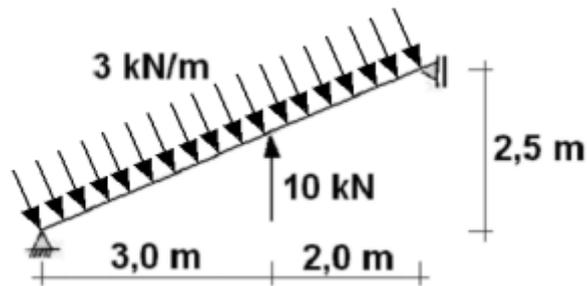


Diagrama de Momento Fletor (DMF)

2)



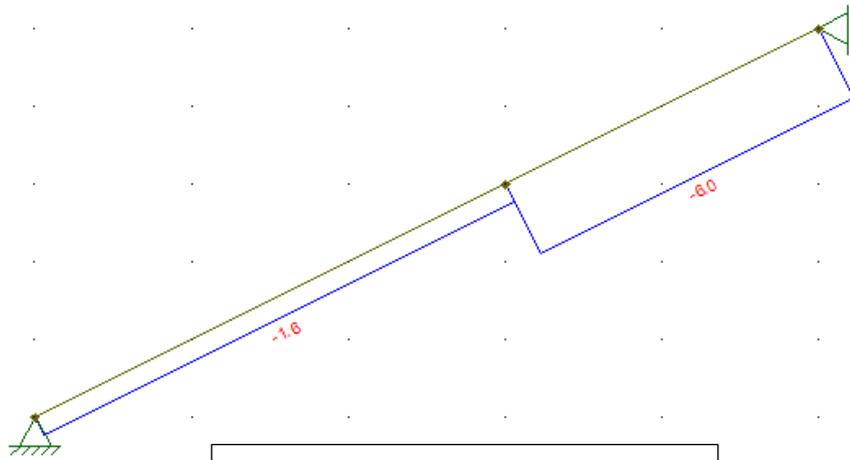


Diagrama de Esforço Normal (DEN)

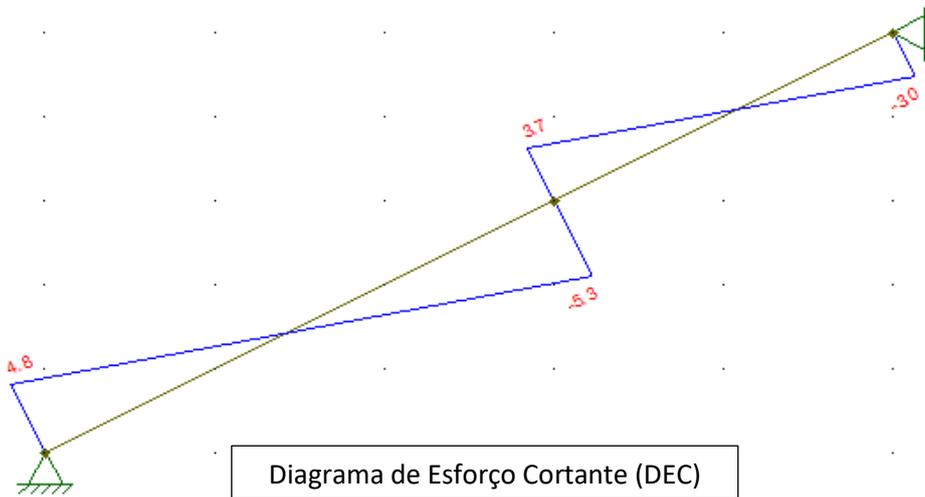


Diagrama de Esforço Cortante (DEC)

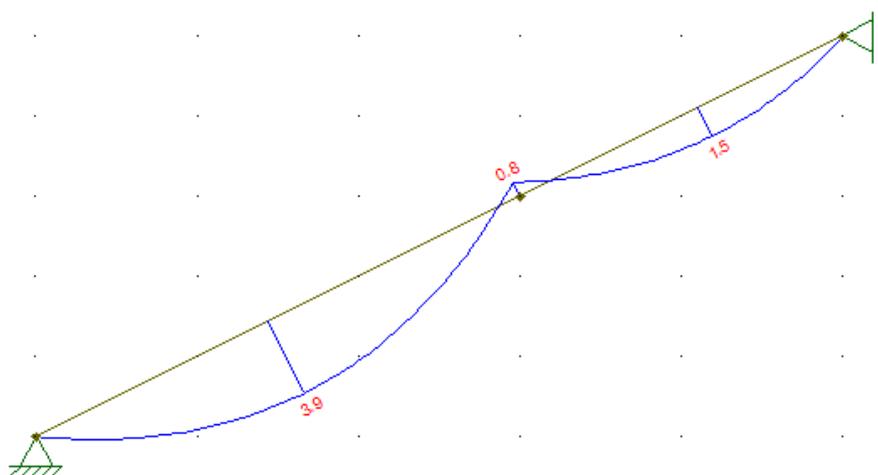
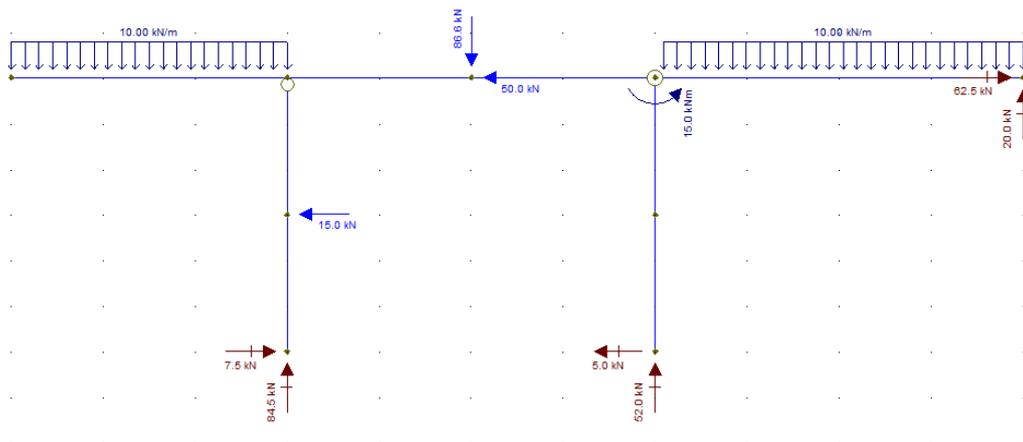
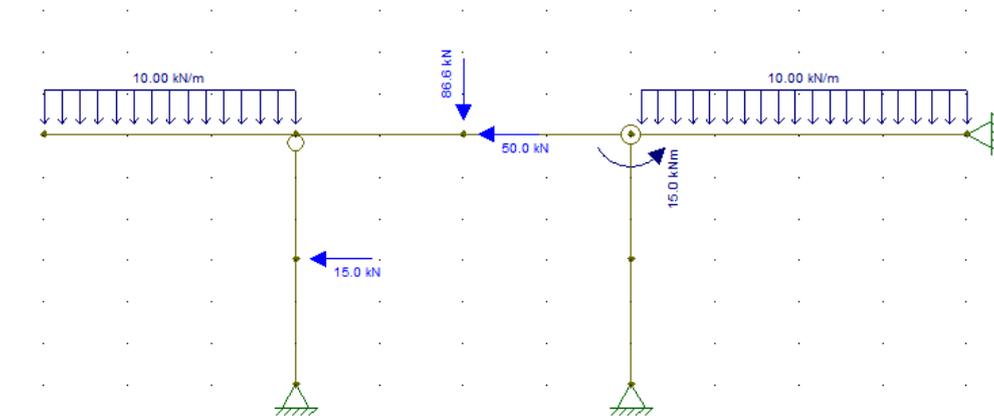
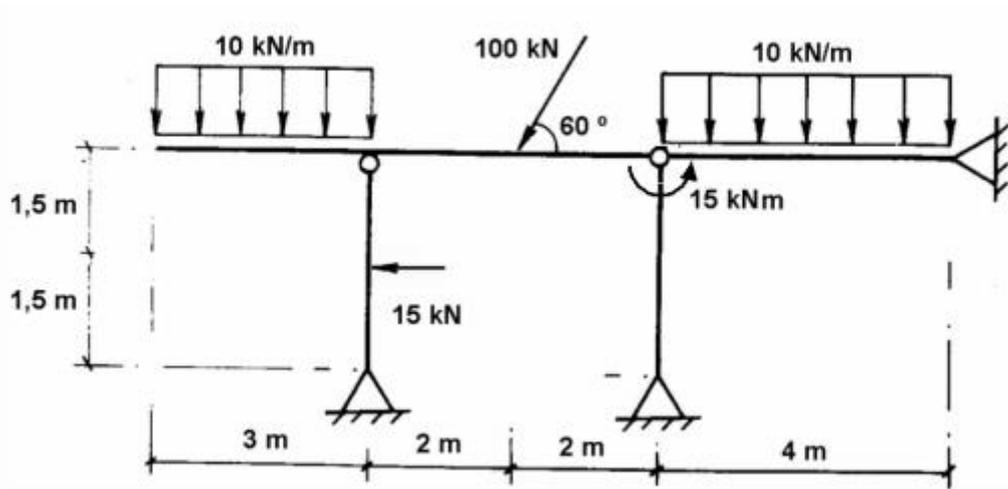


Diagrama de Momento Fletor (DMF)

3)



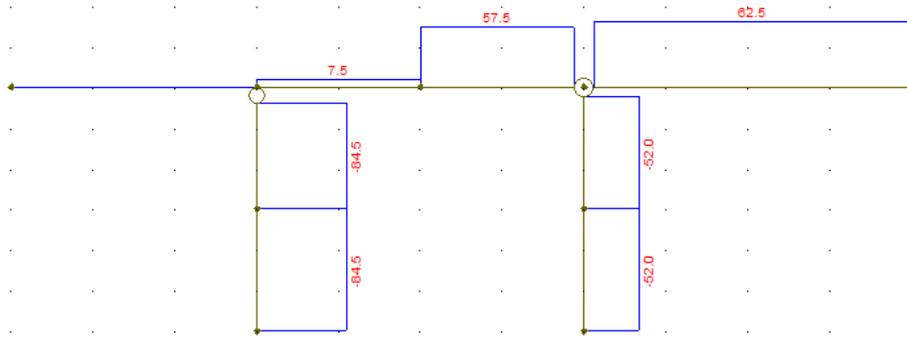


Diagrama de Esforço Normal (DEN)

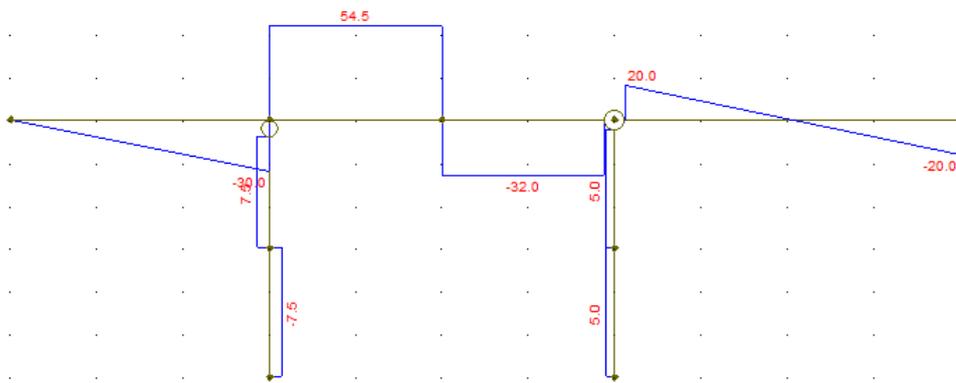


Diagrama de Esforço Cortante (DEC)

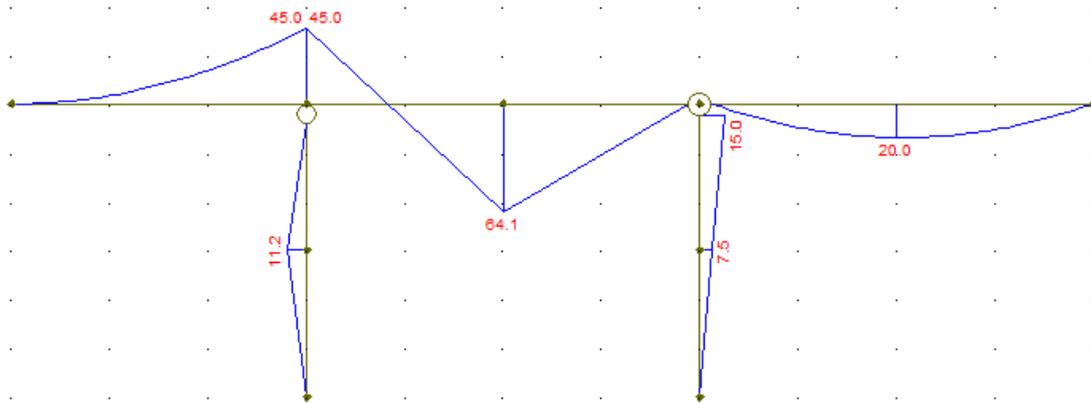


Diagrama de Momento Fletor (DMF)

4) Determinar o deslocamento vertical do ponto A da treliça. Cada barra da treliça tem área de seção transversal de  $600 \text{ mm}^2$  e é feita de aço com  $E = 200 \text{ GPa}$ . Assumir que todas as barras estão conectadas por pinos em suas extremidades.

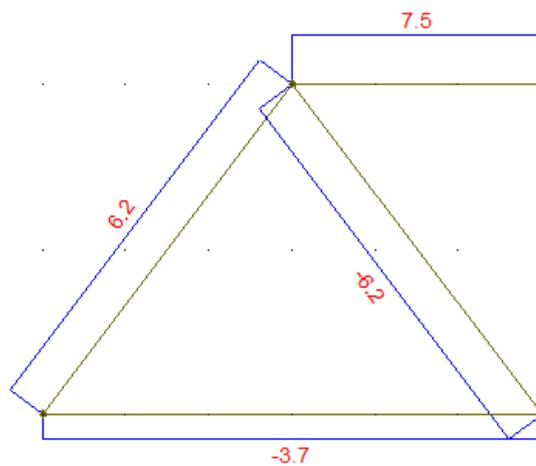
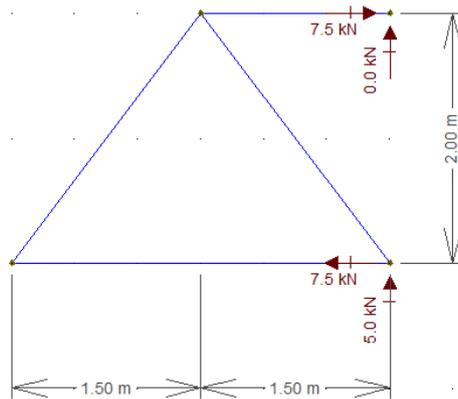
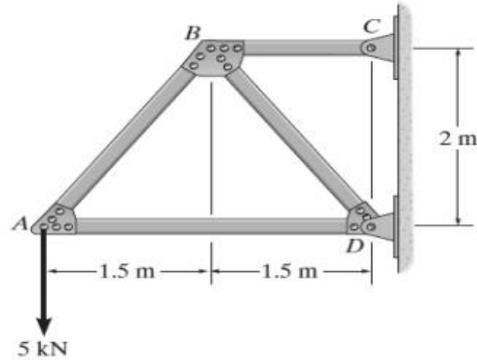
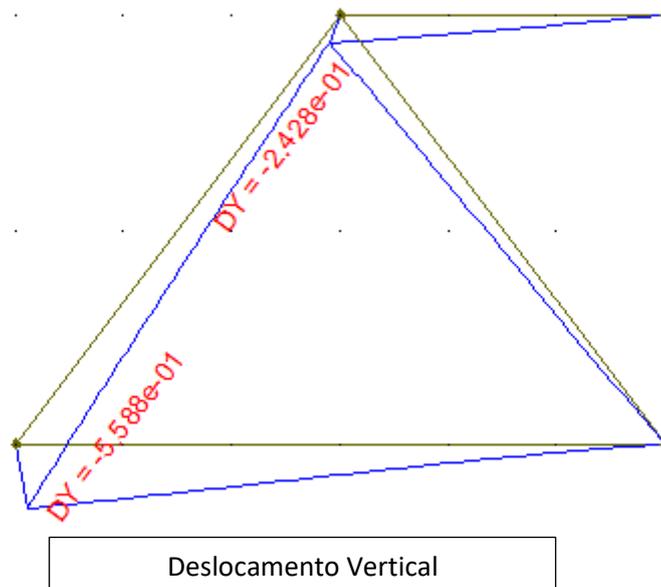


Diagrama de Esforço Normal (DEN)



**Integrantes do grupo PET – Engenharia Civil FURG:** Antoniele Nascimento, Bruno Alvarenga, Carolina Padilha, Cindy Botelho, Fernanda Barbosa, Gilberto Rech, Giulia Vassão, Isadora Bandeira, Juliane Falcão, Kaiane Rosa, Lorenzo Porto, Maria Júlia Carvalho, Mariana Levien, Matheus Pereira e Suane Augusta

**Tutor:** Prof<sup>o</sup> Milton Luiz Paiva de Lima

**É proibida a reprodução total ou parcial da seguinte apostila sem a devida inclusão da referência bibliográfica.**