



Um Programa Gráfico-Interativo para  
Ensino de Comportamento de Estruturas

Versão Educacional 3.01

Agosto de 2015

<http://www.tecgraf.puc-rio.br/ftool>



Os usuários desta **versão educacional** do programa estão livres de qualquer compromisso para usá-lo. Entretanto, nem o autor, nem a PUC-Rio, nem o Tecgraf/PUC-Rio, nem qualquer outra Instituição relacionada são responsáveis pelo uso ou mau uso do programa e de seus resultados. Os acima mencionados não têm nenhum dever legal ou responsabilidade para com qualquer pessoa ou companhia pelos danos causados direta ou indiretamente resultantes do uso de alguma informação ou do uso do programa aqui disponibilizado. O usuário é responsável por toda ou qualquer conclusão feita com o uso do programa. Não existe nenhum compromisso de bom funcionamento ou qualquer garantia.



## Sumário

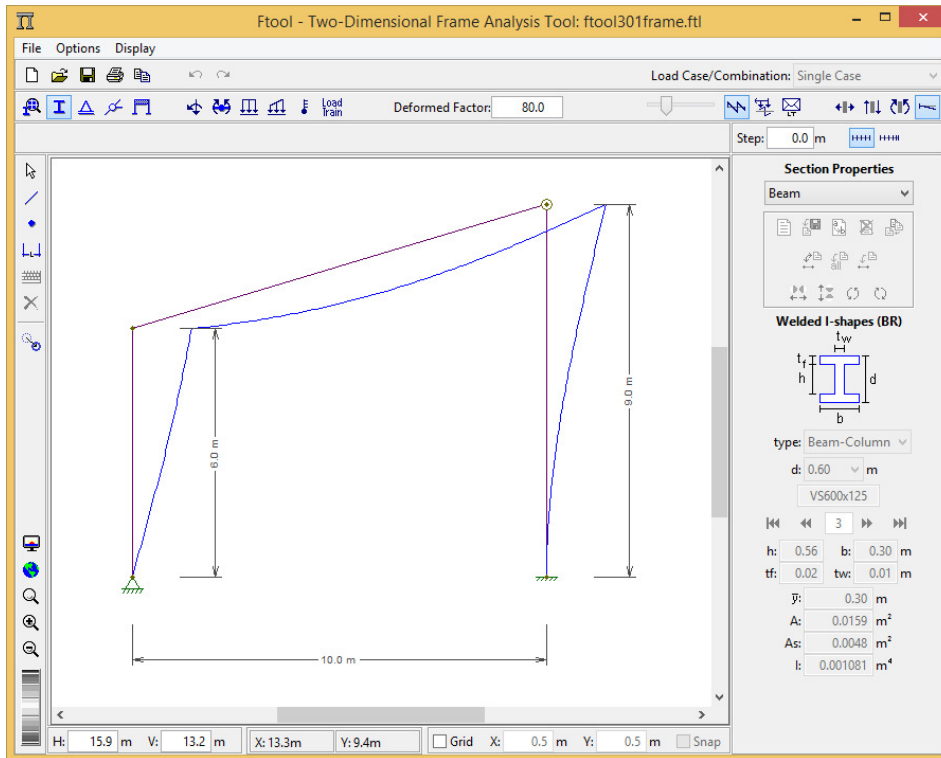
<b>Apresentação</b> .....	5
Autoria do FTOOL .....	5
Visão Geral .....	6
Download .....	6
Histórico .....	7
Melhoramentos da versão 3.01 (abril de 2015).....	8
Melhoramentos da versão 3.00 (agosto de 2012).....	8
Melhoramentos da versão 2.12 (fevereiro de 2008).....	10
Melhoramentos da versão 2.11 (agosto de 2002).....	11
Melhoramentos da versão 2.10 (novembro de 2001).....	12
Melhoramentos da versão 2.09 (janeiro de 2001).....	12
Melhoramentos da versão 2.08 (agosto de 2000).....	13
Melhoramentos das versões 2.06 e 2.07 (abril de 2000).....	13
Créditos adicionais.....	13
<b>Manipulação de Arquivos</b> .....	15
Menu <i>File</i> .....	15
Exportação de imagem através do <i>Clipboard</i> (Área de transferência).....	16
<b>Criação e Manipulação da Estrutura</b> .....	17
Menu de Edição.....	17
Criação de Barras e Nós.....	17
Criação de Linhas de Cota.....	18
Modo Teclado.....	19
Modo Seleção .....	19
Menu de <i>Undo</i> e <i>Redo</i> .....	19
Transformações .....	20
<b>Controles de Visualização</b> .....	23
Menu de Controle de Visualização .....	23
Controle de Coordenadas.....	23
Menu <i>Display</i> .....	24
<b>Configurações</b> .....	25
Menu <i>Options</i> .....	25
Tipo de Análise.....	25
Tamanhos de suportes, rótulas, cargas e texto no desenho .....	26
Superposição de resultados de cargas estáticas e móveis.....	27
Arquivo de comunicação com módulo de análise.....	27
Formatação de Unidades e Valores Numéricos .....	27
Sistemas de Unidades .....	28
<b>Atributos de Nós e Barras</b> .....	31
Menu de Controle dos Atributos dos Nós e Barras .....	31
Características comuns aos submenus .....	31
Submenu de Parâmetros dos Materiais .....	32
Submenu de Propriedades das Seções Transversais.....	33
Submenu de Condições de Apoio .....	35
Submenu de Propriedades de Articulação de Barras.....	35
Submenu de Restrições de Deformações de Barras .....	36
<b>Aplicação de Cargas</b> .....	37
Menu de Controle das Cargas .....	37
Informações Gerais.....	37
Submenu de Cargas Concentradas Nodais.....	39
Submenu de Cargas Momentos em Extremidades de Barras.....	39
Submenu de Cargas Distribuídas Uniformes e Lineares.....	40
Submenu de Solicitações de Variação de Temperatura .....	40
Submenu de Cargas Móveis (Trens-tipo) .....	40
<b>Resultados</b> .....	43
Modos de resultados .....	43
Menu de resultados de Diagrama.....	43
Menu de resultados de Linhas de Influência.....	44
Menu de resultados de Envoltórias .....	45
Convenção de Sinais para Esforços Internos .....	45
Escala dos Diagramas e das Linhas de Influência e Envoltórias de Esforços .....	47
Configuração deformada.....	48
Diagrama de esforços normais (axiais).....	49
Diagrama de esforços cortantes .....	49



Diagrama de momentos fletores .....	50
Linha de Influência de esforços normais (axiais).....	50
Linha de Influência de esforços cortantes.....	51
Linha de Influência de momentos fletores .....	51
Envoltórias de esforços normais para cargas móveis.....	52
Envoltórias de esforços cortantes para cargas móveis .....	52
Envoltórias de momentos fletores para cargas móveis .....	53
Resultados Pontuais .....	53



# Apresentação



## Autoria do FTOOL

Luiz Fernando Martha  
 Professor Associado  
 Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro (PUC-Rio)  
 Departamento de Engenharia Civil (DEC) e Instituto Tecgraf/PUC-Rio (Instituto Tecgraf de Desenvolvimento de Software Técnico Científico)  
 Rua Marquês de São Vicente, 225, Gávea  
 22451-900 - Rio de Janeiro - BRASIL  
**Fone:** 55+21+3527-1190  
**Fax:** 55+21+3527-1195  
 e-mail: lfm@tecgraf.puc-rio.br  
 URL: <http://www.tecgraf.puc-rio.br/~lfm>





## Visão Geral

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. 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.

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).

## Download

- Ftool Versão 3.01 para Windows 32 bits (também funciona em Windows 64 bits):  
[http://www.tecgraf.puc-rio.br/ftp\\_pub/lfm/ftool301win32.zip](http://www.tecgraf.puc-rio.br/ftp_pub/lfm/ftool301win32.zip)
- Ftool Versão 3.01 para Linux - Ubuntu 12.04 (Kernel 3.2 & gcc 4.6) - GTK 2.24 - 64 bits:  
[http://www.tecgraf.puc-rio.br/ftp\\_pub/lfm/ftoo301linux32\\_64.tgz](http://www.tecgraf.puc-rio.br/ftp_pub/lfm/ftoo301linux32_64.tgz)
- Ftool Versão 3.01 para Linux - Ubuntu 14.04 (Kernel 3.13 & gcc 4.8) - GTK 3.10 - 64 bits:  
[http://www.tecgraf.puc-rio.br/ftp\\_pub/lfm/ftoo301linux313\\_64.tgz](http://www.tecgraf.puc-rio.br/ftp_pub/lfm/ftoo301linux313_64.tgz)
- Ftool Versão 3.01 para Linux - Fedora 22 (Kernel 4.0 & gcc 5.1) - GTK 2.24 - 64 bits:  
[http://www.tecgraf.puc-rio.br/ftp\\_pub/lfm/ftoo301linux40\\_64.tgz](http://www.tecgraf.puc-rio.br/ftp_pub/lfm/ftoo301linux40_64.tgz)
- *Download* deste manual em formato CHM (*Compiled HTML Help*, em português):  
[http://www.tecgraf.puc-rio.br/ftp\\_pub/lfm/ftoolman301-pt.chm](http://www.tecgraf.puc-rio.br/ftp_pub/lfm/ftoolman301-pt.chm)
- *Download* deste manual em formato PDF (em português):  
[http://www.tecgraf.puc-rio.br/ftp\\_pub/lfm/ftoolman301-pt.pdf](http://www.tecgraf.puc-rio.br/ftp_pub/lfm/ftoolman301-pt.pdf)
- *Download* de roteiro (formato PDF, em português) e arquivo-modelo para criação e análise de um pórtico simples com o FTOOL:  
[http://www.tecgraf.puc-rio.br/ftp\\_pub/lfm/ftool301roteiroportico.zip](http://www.tecgraf.puc-rio.br/ftp_pub/lfm/ftool301roteiroportico.zip)
- *Download* de roteiro (formato PDF, em português) e arquivo-modelo para criação e análise de uma treliça com o FTOOL:  
[http://www.tecgraf.puc-rio.br/ftp\\_pub/lfm/ftool301roteirotrelica.zip](http://www.tecgraf.puc-rio.br/ftp_pub/lfm/ftool301roteirotrelica.zip)
- *Download* de roteiro (formato PDF, em português) e arquivo-modelo para criação de um modelo de ponte com dois trem-tipos e visualização de posições críticas dos trem-tipos ao longo de linhas de influência e de envoltórias de esforços internos com o FTOOL:  
[http://www.tecgraf.puc-rio.br/ftp\\_pub/lfm/ftool301roteirotremtipo.zip](http://www.tecgraf.puc-rio.br/ftp_pub/lfm/ftool301roteirotremtipo.zip)



## Histórico

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 idealizador e responsável pelo programa é o professor Luiz Fernando Martha do Departamento de Engenharia Civil da PUC-Rio. Participaram no desenvolvimento inicial do programa os ex-alunos de graduação Eduardo Thadeu Leite Corseuil, Vinícius Samu de Figueiredo e Adriane Cavalieri Barbosa, todos do Departamento de Engenharia Civil da PUC-Rio, como bolsistas de iniciação científica no período de março de 1991 a dezembro de 1992. O programa, desenvolvido na plataforma DOS, sofreu alguns aprimoramentos até abril de 1995.

Também colaborou para este programa o então aluno de doutorado da PUC-Rio Waldemar Celes Filho (atualmente professor do Departamento de Informática da PUC-Rio), que trabalhou no desenvolvimento da biblioteca de funções HED (*Half-Edge Data structure*), para representação interna dos dados, e no desenvolvimento do programa MTOOL, cuja interface gráfica e estrutura de dados foram tomadas como ponto de partida deste programa. O módulo de análise numérica do programa recebeu a colaboração do então aluno de doutorado da PUC-Rio Ivan Fábio Menezes (atualmente professor do Departamento de Engenharia Mecânica da PUC-Rio).

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. Em fevereiro de 1998 foi lançada a versão 2.00 do FTOOL. Desde então, sucessivas versões do FTOOL foram lançadas, cada uma com alguns melhoramentos.

Em agosto de 2000, a versão 2.08 foi também liberada na plataforma Linux. Na versão 2.09 de janeiro de 2001, foram incorporados procedimentos específicos para o auxílio ao ensino de análise estrutural, tais como consideração de barras inextensíveis ou infinitamente rígidas, e a aplicação de momentos concentrados em extremidades de barras para modelar cargas de hiperestáticos momentos fletores. Na versão 2.10 de novembro de 2001, foram adicionados o traçado de linhas de influência e a consulta de resultados por passos ao longo das barras. Na versão 2.11 de agosto de 2002, foi melhorada a definição de seções transversais de barras, sendo criados diversos tipos de seções transversais especificadas por parâmetros e duas tabelas de perfis I. Também foram criadas importação de propriedades e atributos de modelos do FTOOL de outros arquivos, opção para desenhar diagramas de momentos fletores do lado das fibras tracionadas ou comprimidas da barra, opção para desenho de resultados transversalmente às barras e opção para desenho de valores por passos ao longo da barra, além de outras melhorias.

Na versão 2.12 de fevereiro de 2008, foi criado um menu para edição de cargas móveis (trens-tipo). Dessa forma, criou-se também a definição de posições críticas de cargas móveis e valores limites de esforços internos associados ao traçado de linhas de influência, além da criação do traçado de envoltória de esforços internos resultantes da ação de cargas móveis. Também foram adicionadas novas tabelas de perfis I. Na versão 3.00 de agosto de 2012, a interface gráfica do programa foi atualizada em função da evolução do sistema de interface IUP utilizado pelo FTOOL, sendo que na versão Linux a interface gráfica utiliza o pacote GTK. Isso proporciona uma interface gráfica para a versão Linux bem melhor do que a versão anterior. Além de outras melhorias e correções, a principal modificação foi a consideração de barras com deformação por cisalhamento (barras de Timo-



shenko). Outra melhoria importante foi a eliminação do arquivo auxiliar (extensão ".pos") que fazia a comunicação com o módulo interno de análise (*solver*) do FTOOL. Esse arquivo ainda pode ser criado, mas como por opção explícita do usuário. Na última versão 3.01, a interface gráfica para transformações foi alterada e adicionou-se a possibilidade de fazer transformações mantendo a topologia da estrutura durante a visualização de esforços estáticos e linhas de influência, com os resultados atualizando dinamicamente. Tabelas de perfis das empresas Vallourec e Mills também foram adicionadas.

Desde o início, o FTOOL demonstrou ser uma valiosa ferramenta para o ensino de engenharia, sendo utilizado nos cursos de Análise Estrutural, Estruturas de Concreto Armado e Estruturas de Aço dos cursos de Engenharia Civil de diversas universidades no Brasil e no exterior.

### Melhoramentos da versão 3.01 (julho de 2015)

- A interface gráfica para transformações foi modificada. Ao invés de utilizar o menu *Transform*, o usuário agora clica em um botão (localizado no lado esquerdo do *canvas*, abaixo do botão *Delete*) que abre na área multi-uso o menu de transformações.
- Transformações podem agora ser definidas como permitindo ou não que a topologia da estrutura seja modificada.
- No menu de transformações, o usuário pode definir valores para os parâmetros de transformação. Dessa forma, transformações agora podem ser feitas tanto pelo mouse quanto pelo teclado, independentemente do “modo teclado” global estar ativo ou não.
- Transformações onde a topologia não pode ser modificada são permitidas quando visualizando esforços estáticos ou linhas de influência. Os diagramas são atualizados dinamicamente.
- Uma nova transformação foi desenvolvida, permitindo a modificação da orientação de barras.
- Menu de seleção do tipo de seção transversal agora apresenta uma árvore de seleção ao invés do *drop-down* antigo.
- Tabelas de perfis metálicos das empresas Mills e Vallourec foram adicionadas.
- O tipo de seção transversal (*Rectangle*, *C-shape*, *Gerdau-AcoMinas I-shapes*, etc) é agora apresentado no menu de definição das dimensões da seção.
- Criado botão *Step Lines* no menu *Display*. Ativando este e desabilitando *Step Values*, pode-se então desenhar as linhas no diagrama para efeito de hachura sem os resultados em cada segmento.
- Criado material alumínio (*Aluminium*).
- Se, ao visualizar diagramas ou envoltórias, o usuário clicar na área de desenho sem selecionar uma barra, a barra de mensagens acima da área de desenho volta a apresentar a instrução relevante (ex. “Select a point on a member to get shear force result”).
- Correção no cálculo da área de cisalhamento de algumas seções transversais.
- Corrigiu-se um erro onde *Labels* muito longos para os diversos atributos paravam o programa. *Labels* agora são limitados a 31 caracteres.
- Corrigiu-se um erro onde o diagrama gráfico de esforço normal para cargas axiais com variação linear era apresentado como linear e não quadrático.

### Melhoramentos da versão 3.00 (agosto de 2012)

- A interface gráfica do programa foi atualizada em função da evolução dos sistemas de interface nativos das plataformas Windows e Linux. Em função dessa evolução, o sistema de interface IUP utilizado pelo FTOOL foi atualizado, sendo que na versão Linux a interface gráfica utiliza





o pacote GTK. Isso proporciona uma interface gráfica para a versão Linux bem melhor do que a versão anterior que era baseada no pacote MOTIF.

- Criada uma opção para considerar deformação por cisalhamento em barra (vigas de Timoshenko). O padrão é que as barras são criadas sem deformação por cisalhamento.
- Adicionado coeficiente de Poisson às propriedades dos materiais.
- Adicionado parâmetro para área efetiva para cisalhamento para todos os tipos de seções transversais.
- Modificado menu que especifica restrições nas deformações das barras. Existem duas opções excludentes: barra flexível e barra rígida. Para a barra flexível, existem duas opções não excludentes para ativar ou desativar deformação axial e para ativar ou desativar deformação por cisalhamento. Quando um novo modelo é criado, a opção para deformação axial está ativada e a opção para deformação por cisalhamento está desativada. Se um modelo aberto de um arquivo tiver todas as barras com deformação por cisalhamento permitida, a opção de deformação por cisalhamento na interface gráfica é ativada automaticamente.
- Modificada cor de desenho das barras com deformação por cisalhamento para magenta escura.
- Em modo de pós-processamento, quando são consultados valores pontuais de configuração de formada de uma barra, o valor da rotação da seção transversal selecionada também é mostrado. Além disso, foram adicionados valores de rotação nos arquivos de exportação de resultados de configuração deformada.
- Eliminado parâmetro de peso específico de materiais porque não estava sendo utilizado.
- Criadas opções para selecionar tamanhos de desenho de suportes, carregamentos e texto no *canvas*, com três opções de tamanho: pequeno, médio e grande. Suportes e rótulas são tratados igualmente para definição de tamanho de desenho.
- Modificado o desenho de cargas distribuídas de tal forma que o tamanho da seta reflete a intensidade da carga.
- Modificado o desenho da seta que indica a orientação de uma barra: o tamanho da seta foi reduzido pela metade.
- Criada uma opção para executar análise salvando ou não o arquivo neutro que passa os dados para o módulo de análise (arquivo com extensão ".pos"). O padrão é rodar análise sem salvar arquivo. Este padrão é forçado quando um arquivo é aberto.
- Modificado desenho de linha de influência incluindo uma marca de cor vermelha na seção transversal de referência.
- Liberado o uso de espaços em branco nos nomes dos atributos.
- Impedida a modificação da orientação de seção transversal em modo de pós-processamento.
- Modificado desenho de linha de influência de tal maneira que o diagram da linha de influência é desenhado apenas nas barras que pertencem ao caminho percorrido pelo trem-tipo. Antes, o diagrama da linha de influência era desenhado em todas as barras do modelo. No caso em que não existe um trem-tipo corrente, o diagram de linha de influência continua sendo desenhado em todas as barras.
- Eliminado o lançamento automático do diálogo de créditos quando o programa é ativado.
- Adicionadas duas opções de teclado: CTRL+Z para desfazer (*undo*) operações de pré-processamento, e CTRL+Y ou CTRL+R para desfazer (*redo*) última operação de pré-processamento que foi desfeita.
- Corrigido erro na tabela de seções transversais de perfis Gerdau-Aço Minas, família *I Shape*, altura 610 mm: o número de perfis com essa altura (6) era ultrapassado e a navegação vazava para outra família.
- Corrigido erro na tabela de seções transversais de perfis Gerdau-Aço Minas, família *H Shape*: o programa não permitia que perfis com altura maior do que 200 mm fossem selecionados.



## Melhoramentos da versão 2.12 (fevereiro de 2008)

- Implementada análise estrutural para cargas móveis. Referência: Envelopes of internal forces due to load-trains in bridges using an evolution strategy. de Gisele C. Holtz, Luiz F. Martha, and Luiz E. Vaz (<http://www.tecgraf.puc-rio.br/~lfm/papers/HoltzWCSMO2005.pdf>).
- Criado menu para trem-tipo: opções para criação e manipulação de listas de trens-tipo genéricos, com número variável de cargas concentradas, cargas distribuídas (vagão cheio e vagão vazio), e cargas acidentais de multidão externas e internas.
- Criada visualização de posições críticas de trem-tipo em relação à linha de influência corrente. As posições críticas são as posições do trem-tipo que provocam valores mínimos e máximos para um esforço interno (axial, cortante ou momento fletor).
- Criada opção para visualização de envoltórias de esforços internos mínimos e máximos para um trem-tipo selecionado.
- No menu "Options", criado um item para adicionar efeitos de carga estática (caso único de carga) às envoltórias de esforços internos para trem-tipo.
- Feita uma revisão completa da interface gráfica da versão do programa para Linux: fontes e tamanhos dos elementos de interface gráfica foram redefinidos.
- Melhorados os diálogos de interface gráfica para entrada de dados numéricos via teclado. Os novos diálogos usam as unidades e formatação numérica definidos correntemente (isso não ocorria em versões anteriores).
- Renomeada tabela de seções transversais "NBR Welded I-shapes" para "Welded I-shapes (BR)".
- Renomeada tabela de seções transversais "Usilight I-shapes" para "Electro-Welded I-shapes (BR)".
- Criadas duas novas tabelas para seções transversais: "Gerdau AçoMinas I-shapes (BR)" e "ASCI Parallel Flange I-shapes".
- Criada opção para exportar um arquivo texto formatado com resultados de análise ao longo de um cadeia de barras (membros). Os resultados podem ser exportados em passos ou na resolução de desenho na tela.
- Modificada política para seleção e deseleção de entidades (barras, nós, ou linhas de cota): se a tecla SHIFT estiver pressionada durante a seleção, o status de seleção (selecionado ou deselecionado) fica invertido. Antes, uma entidade selecionada permanecia com este status se a tecla SHIFT estivesse pressionada.
- Modificado tratamento de seleção de linhas de cota de tal forma que novas linhas de cota ficam deselecionadas após a sua criação. Antes as linhas de cota criadas tinham o status de selecionadas.
- Modificado o desenho de linhas de cota de tal maneira que as pontas das setas não são desenhadas se o tamanho da linha de cota é pequeno na tela.
- Modificado lançamento de diálogos de interface gráfica para entrada de dados via teclado durante a entrada de dados via mouse. Para entrada de dados via teclado, pressione o botão do meio do mouse junto com a tecla CTRL pressionada (antes isso era feito com o botão do meio do mouse sem pressionar a tecla CTRL).
- Modificado controle do tamanho do quadrado de tolerância do cursor do mouse de tal maneira que o tamanho do quadrado agora é modificado usando o botão da direita do mouse junto com a tecla CTRL pressionada (nas versões anteriores isso era feito usando o botão do meio do mouse).
- Implementado controle de "zoom in" e "zoom out" da janela de visualização usando a roda do botão do meio do mouse.
- Implementada a translação da janela de visualização arrastando o mouse com o botão do meio pressionado.



- Implementada a translação automática da janela de visualização durante a seleção do segundo nó de uma barra (membro).
- Modificada a exportação de arquivos de imagem nos formatos PS e EPS de tal maneira que o papel é colocado na orientação de paisagem, utilizando fontes vetoriais ao invés de fontes matriciais, e com uma resolução de 600 DPI.
- Adicionadas opções para exportar arquivos de imagem nos formatos PDF, DGN e CD-Metafile.
- Especificada uma resolução de 24 pixels por milímetro para exportação de arquivos de imagem nos formatos DXF, PDF e DGN.
- Diminuído tamanho dos fontes na exportação de arquivos de imagem.
- Eliminado o desenho de marcas de nós e pontos de "grid" na exportação de arquivos de imagem.
- Aumentada a espessura de linhas na exportação de arquivos de imagem.
- Aumentado o número máximo de barras permitido de 96 para 480.
- Feitas modificações para tratar o caso especial de linhas de influência de esforço cortante em seções na extremidade livre de balanço. Essa linha de influência é apenas um valor pontual unitário na seção. Na versão anterior, o programa definia um linha de influência completamente nula para esse caso.
- Modificado sinal de valores de diagramas de esforços internos para ficar compatível com a convenção de sinais adotada.
- Modificado cálculo do máximo local de momento fletor para ficar consistente com a convenção de sinais adotada.
- Corrigido erro na conversão de unidades para molas rotacionais quando se utilizava unidades diferentes de kNm/rad.
- Corrigido problema na exportação de arquivos de imagem que continham espaços em branco no seu nome, incluindo o caminho completo de diretórios. Se tivesse espaços em branco o arquivo não era salvo.
- Corrigido problema de subdivisão de uma barra (membro) que estava selecionada: as duas barras resultantes da subdivisão permaneciam selecionadas após a subdivisão. Agora apenas o novo nó resultante da subdivisão permanece selecionado.
- Modificado desenho do fundo opaco de textos na exportação de arquivos de imagem de tal forma que o fundo é sempre desenhado com a cor branca. Em versões anteriores, a cor utilizada era a cor de fundo corrente na tela (branca, cinza ou preta).

### **Melhoramentos da versão 2.11 (agosto de 2002)**

- Melhorada a definição de seções transversais de barras, sendo criados diversos tipos de seções transversais especificadas por parâmetros e duas tabelas de perfis I.
- Criada uma opção para mudança do padrão para traçado do diagrama de momentos fletores. O diagrama pode ser desenhado com valores positivos tanto do lado da fibra tracionada quanto do lado da fibra comprimida.
- Criada uma opção para mudança do padrão para traçado de linhas de influência. Valores positivos podem ser desenhados do lado das fibras inferiores ou o traçado da linha de influência de um determinado esforço interno segue o padrão para traçado de diagrama do esforço interno correspondente.
- Criadas opções para importação de parâmetros globais (sistema de unidades, parâmetros de visualização, etc.) e de atributos (tabelas de propriedades de materiais e de seções transversais, tabelas de cargas, etc.) de um outro arquivo criado pelo FTOOL. As propriedades podem ser importadas globalmente ou tabelas de atributos e cargas também podem ser importadas em separado.



- Criada opção para mostrar valores de resultados dos diagramas desenhados transversalmente às barras de forma a não acavalar os valores.
- Criada opção para mostrar valores de resultados em passos definidos ao longo das barras no desenho dos diagramas.
- Disponibilizado na interface gráfica do programa o fator de escala utilizado para desenhar os diagramas de esforços internos. A escala é definida em termos de unidade de esforço por unidade de comprimento. A escala dos diagrama também pode ser ajustada pelo usuário editando o valor mostrado na régua de controle.
- Corrigido problema de ajuste da imagem do modelo na tela quando diagramas são mostrados. Agora o ajuste considera o tamanho total da imagem, incluindo o desenho do diagrama.
- Corrigido problema para realizar a análise da estrutura para arquivo de modelo com nome muito longo.

### Melhoramentos da versão 2.10 (novembro de 2001)

- Criado o traçado de linhas de influência.
- Criado passo para consulta de resultados ao longo de barras e para definição de seção transversal para traçado de linhas de influência.
- Adicionado desenho do valor de um resultado na consulta a valores locais de diagramas.
- Adicionada exibição na área lateral de valores de resultados (passo a passo) ao longo de uma barra consultada (pressionando botão da direita do mouse na barra).
- Criado diálogo com a definição da convenção de sinais de esforços internos adotada no programa.
- Adicionado sinal nos valores dos diagramas de esforço normal e esforço cortante. Adicionada opção para mostrar sinal dos valores de momentos fletores no diagrama. A opção inicial é para não mostrar sinal de momentos fletores.
- Adicionado um traço no centro da seta que representa reações de apoio.
- Corrigido um erro na conversão de unidades de comprimento de polegada para metro (usado internamente no programa).

### Melhoramentos da versão 2.09 (janeiro de 2001)

- Criados atributos para restrições de deformações de barras. Pode-se impedir as deformações axiais de barras ou considerar barras como sendo infinitamente rígidas.
- Criadas cargas momentos concentrados aplicadas em extremidades de barras. Isto permite a consideração de pares de momentos adjacentes a rótulas, frequentemente empregados como hiperestáticos (incógnitas) dentro da metodologia do Método das Forças para análise de estruturas hiperestáticas.
- Implementado o cálculo de rotações em extremidades articuladas de barras. As rotações calculadas correspondem à rotação da tangente à elástica na extremidade articulada com respeito à configuração indeformada da barra.
- Os apoios que têm deslocamentos prescritos (recalques) são desenhados como apoios simples (para deslocamento horizontal ou vertical prescrito) e chapa (rotação prescrita) mostrados em separado. Esta representação é usual dentro da metodologia do Método dos Deslocamentos.
- Foram feitas diversas modificações para melhorar a imagem da estrutura na tela. A principal delas é que, na versão para Windows, o modelo é desenhado em *double buffering*, isto é, a imagem é atualizada de uma única vez na tela, acarretando em um melhor resultado perceptual. Também foi melhorado o desenho dos diagrama de esforços internos, respeitando a presença de articulações: o diagrama é desenhado em cada barra sempre entre articulações (se existirem).



## Melhoramentos da versão 2.08 (agosto de 2000)

- Liberada versão para Linux.
- Criada solicitação de variação de temperatura em barras. O usuário especifica 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. Para tanto, foi adicionado aos parâmetros de materiais o coeficiente de dilatação térmica e foram adicionados às propriedades de seção transversal a altura da seção e a posição do centro de gravidade da seção.
- Criadas linhas de cotas (*dimension lines*) para anotar distâncias na imagem da estrutura.
- Criada opção para abrir arquivo de estrutura via *drag-and-drop*, isto é, arrastando o ícone do arquivo e soltando o botão do mouse em cima da tela do programa. Esta opção só funciona na versão Windows.
- Modificado o programa para permitir a criação de atributos (parâmetros de materiais e propriedades de seção transversal) e cargas sem ser necessário criar uma estrutura antes. Assim o usuário pode manter um arquivo com os atributos e cargas mais utilizados, assim como as unidades e formatações numéricas preferidas, e usar este arquivo como ponto de partida para uma nova estrutura.

## Melhoramentos das versões 2.06 e 2.07 (abril de 2000)

- Criado o item *Units & Number Formatting* no menu *Options* que dispara um diálogo que configura unidades e formatação de números. O usuário pode especificar unidades para cada um dos parâmetros no FTOOL, bem como sua formatação numérica. Existem opções para especificar unidades padrão em SI (Sistema Internacional), em US (Sistema Americano), ou todas as unidades em kilo-Newtons e metros. As unidades padrão podem ser sempre trocadas pelo usuário.
- O menu *Member Properties* foi substituído pelos menus *Material Parameters* (parâmetros de materiais) e *Section Properties* (propriedades geométricas de seções transversais). Foram criadas opções para especificar propriedades padrão para Concreto e Aço.
- Criados apoios elásticos de molas translacionais e rotacionais.
- Textos passaram a ser desenhados na tela usando fontes em pixels (*raster*). As imagens exportadas ainda utilizam fontes vetoriais, com exceção dos formatos *postscripts*.
- Criadas opções para visualizar valores de cargas e reações de apoio junto com o desenho das cargas e reações.
- Criada uma opção para visualizar as cargas juntamente com os diagramas de esforços e configuração deformada da estrutura.
- A área lateral de informações passa a utilizar um texto multi-linha ao invés de simples rótulos (*Labels*) passivos como nas versões anteriores. Isso permite que o usuário possa copiar (*copy - Ctrl+C*) o texto de informações e colar (*paste - Ctrl+V*) em um editor de texto. O botão direito do mouse também pode ser usado para copiar (*copy*) para o *Clipboard* (Área de transferência).
- Modificada a seleção de objetos com cerca (retângulo) envolvente de tal maneira que, quando nenhum objeto está selecionado, a seleção fica automaticamente direcionada para barras.

## Créditos adicionais

- A primeira versão deste manual (para a versão 2.07) foi criada por Luís Fernando Kaefer, ex-aluno de mestrado e doutorado da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (EPUSP), Departamento de Engenharia de Estruturas e Fundações (PEF) e Laboratório de Mecânica Computacional (LMC).



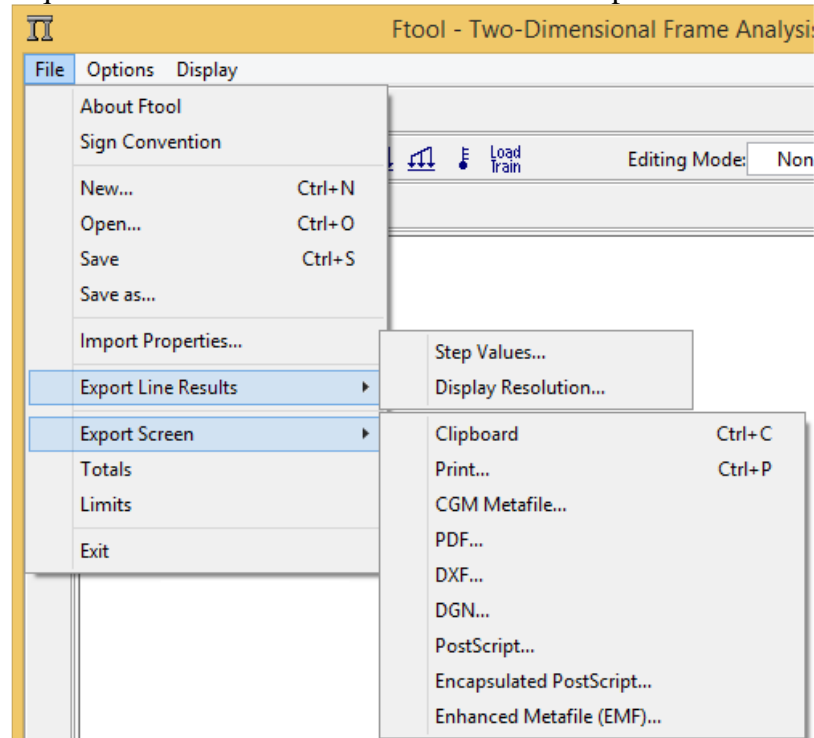
- A implementação de diversos tipos de seções transversais no FTOOL teve colaboração de Christiana Niskier, ex-aluna de graduação e mestrado em Engenharia Civil na PUC-Rio.
- A atualização do manual da versão 2.11 teve a colaboração de Pedro Cordeiro Marques, ex-aluno de graduação em Engenharia Civil na PUC-Rio.
- O desenvolvimento das envoltórias de esforços internos para cargas móveis foi realizado pela pesquisadora do Tecgraf/PUC-Rio Gisele Cristina da Cunha Holtz, com base na sua dissertação de mestrado “Traçado Automático de Envoltórias de Esforços em Estruturas Planas devido a Cargas Móveis utilizando um Algoritmo Evolucionário” (<http://www.tecgraf.puc-rio.br/~lfm/teses/GiseleCunhaHoltz-Mestrado-2005.pdf>) defendida no Departamento de Engenharia Civil da PUC-Rio em 2005. A pesquisadora também trabalhou ativamente na atualização da versão 2.12 do FTOOL.
- A consideração de barras com deformação por cisalhamento (barras de Timoshenko), introduzida na versão 3.00 do FTOOL, utiliza soluções analíticas que foram desenvolvidas em parceria com Rodrigo Bird Burgos, ex-aluno de Engenharia Civil da PUC-Rio, com mestrado e doutorado em Engenharia Civil (Estruturas) também pela PUC-Rio, e atualmente professor do Departamento da Estruturas e Fundações da UERJ – Universidade do Estado do Rio de Janeiro.
- Muitos dos melhoramentos da versão 3.00 tiveram a contribuição de Antonio Scuri, que é responsável pelo desenvolvimento do sistema de interface com usuário IUP.
- A conclusão da versão 3.00 do FTOOL só foi possível porque o autor tirou uma licença sabática durante o primeiro semestre de 2012 no IST – Instituto Superior Técnico de Lisboa. Essa é a razão do nome “Lisboa” para esta versão. O autor é muito grato com muitos professores do IST, em particular com José Paulo Moitinho de Almeida, Carlos Tiago Fernandes e Orlando Pereira, pelas produtivas discussões a respeito do FTOOL e sobre análise de estruturas.
- A implementação da versão 3.01 foi patrocinada pela Mills<sup>®</sup> e teve a colaboração de Pedro Kaj Kjellerup Nacht, ex-aluno de graduação e mestrado em Engenharia Civil (Estruturas) na PUC-Rio.



## Manipulação de Arquivos

### Menu *File*

A manipulação de arquivos no FTOOL se dá através do menu suspenso *File*.



O Menu *File* permite o usuário:

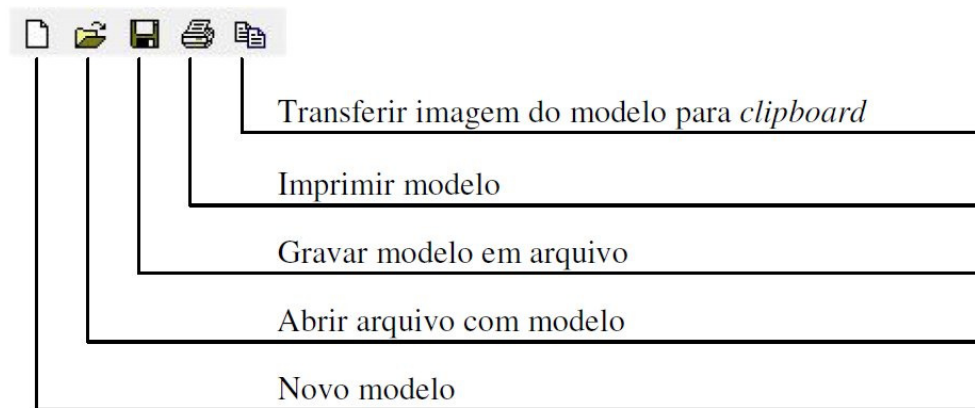
- Obter informações sobre a versão atual do programa e autoria (*About Ftool*) (ver seção *Autoria do FTOOL*);
- Mostrar convenção de sinais de esforços internos e definir o padrão para traçado de diagramas (*Sign Convention*) – veja detalhamento da convenção de sinais na seção sobre pós-processamento (*Resultados*);
- Criar um novo modelo (*New*);
- Carregar na memória modelo gravado em um arquivo armazenado em disco (*Open*). Os arquivos de modelo do FTOOL têm a extensão ".ftl";
- Gravar o modelo corrente em um arquivo em disco com o mesmo nome (*Save*) ou com um nome diferente (*Save as*);
- Importar propriedades de outro arquivo do FTOOL (*Import Properties*);
- Exportar para um arquivo resultados (diagramas de esforços internos, configuração deformada, linhas de influência ou envoltórias de esforços internos para trem-tipos) ao longo de uma cadeia de barras selecionadas. Estes resultados podem ser salvos no arquivo indicado utilizando o passo corrente para visualização de resultados (*Step Values* – veja seção sobre pós-processamento – *Resultados*) ou o passo que é utilizado para desenhar os diagramas na tela (*Display Resolution*).
- Exportar a imagem da tela (*Export Screen*) para a área de transferência do Windows (*Clipboard*) ou para arquivos com formatos específicos;
- Verificar o número total de barras e nós existentes no modelo (*Totals*);
- Determinar os limites da janela de trabalho (*Limits*);



- Sair do programa (*Exit*).


A importação de propriedades (*Import Properties*) do menu *File* incorpora ao modelo corrente todos os parâmetros globais (sistema de unidades, parâmetros de visualização, etc.) e todos os atributos (tabelas de propriedades de materiais e de seções transversais, tabelas de cargas, etc.) existentes em um outro arquivo criado pelo FTOOL. Quando esta opção é selecionada, o programa pede para o usuário indicar o arquivo para importação. Tabelas de atributos e cargas também podem ser importadas em separado (veja seções *Atributos de Nós e Barras* e *Atribuição de Cargas*).

Os comandos mais utilizados do menu *File* foram agrupados no conjunto de botões da régua de controle no topo da tela do FTOOL:



## Exportação de imagem através do *Clipboard* (Área de transferência)

Para obter os melhores resultados, siga os seguintes passos:

Escolha a opção *Export Screen/Clipboard* do menu *File*, ou aperte o botão , ou ainda tecle CTRL+C (clitando com o mouse antes na tela principal para deixar o foco nela). Isso vai copiar **toda** a imagem da tela principal do FTOOL para o *Clipboard* (Área de transferência). Observe que toda a imagem vai ser copiada e não somente os objetos que estiverem selecionados naquele instante.

Abra o aplicativo que vai importar a imagem, por exemplo o MS-Word. No MS-Word, selecione a opção *Paste ... (Colar...)* do menu *Edit (Editar)* ou tecle CTRL+V. Em Windows, pode-se usar a opção *Paste Special... (Colar Especial...)*, selecionando, em seguida, a opção *Picture (Figura)* ou a opção *Picture (Enhanced Metafile) – Figura (Metarquivo avançado)*.

Edite a figura resultante. Você pode engrossar as linhas (1/2 pt ou 3/4 pt são boas opções), trocar as cores dos elementos, etc.

Se a impressora for preto-e-branco, melhores resultados serão obtidos se, antes de exportar a imagem, a opção de imagem preto-e-branco for selecionada. Esta é a opção *Black Foreground* do menu *Display*.





# Criação e Manipulação da Estrutura

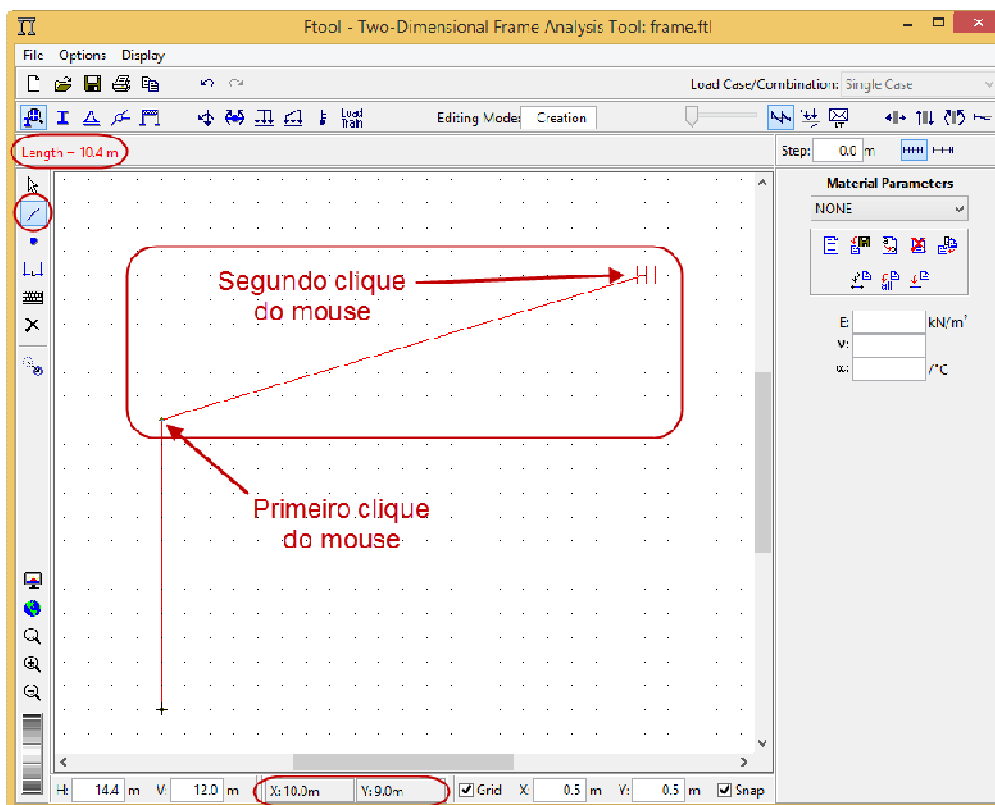
## Menu de Edição

O menu de edição reúne os botões para a criação e modificação do modelo.



- Seleciona um grupo de barras ou nós
- Insere barra
- Insere nó
- Insere linha de cota
- Modo teclado
- Elimina objetos selecionados
- Transforma objetos selecionados

A inserção de barras, nós ou linhas de cota no FTOOL possui um comportamento que automaticamente atrai o cursor do mouse para uma entidade existente (um nó ou uma barra). O processo de criação pode ser auxiliado pelo uso do *Snap* (atração) para uma grade (*Grid*) de pontos (veja na seção de *Controles da Visualização*).

## Criação de Barras e Nós



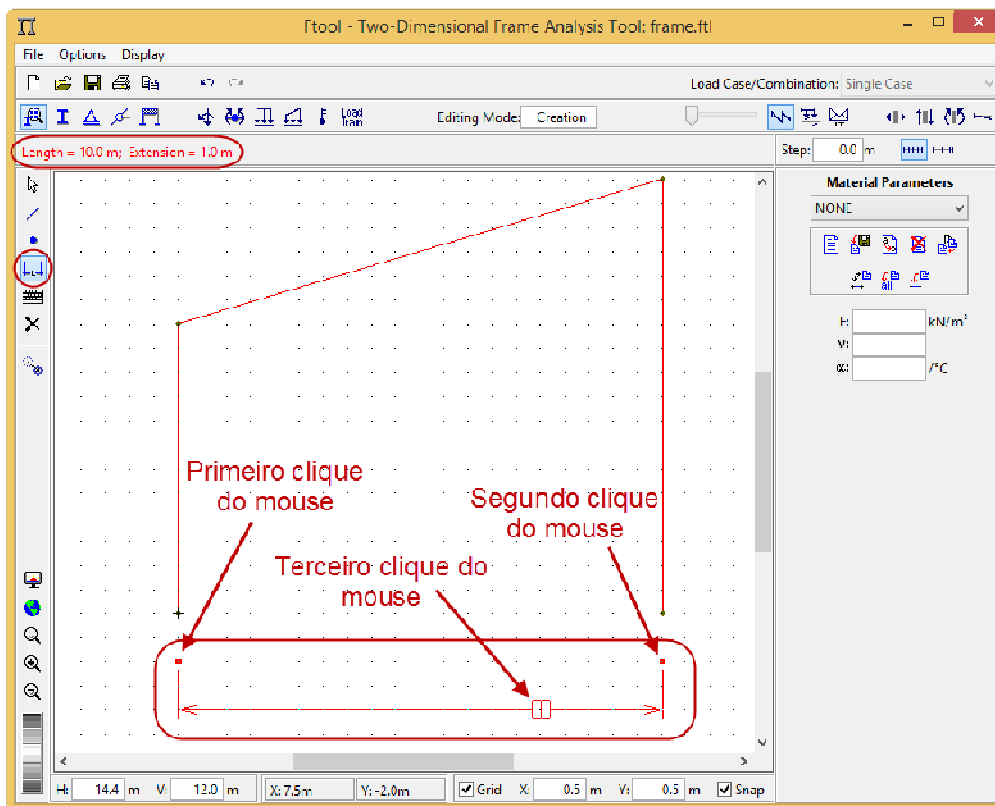



A criação de uma barra ou um nó se faz de maneira direta. Para inserir uma barra (*Member*), basta selecionar o botão  e "clique" em dois pontos do *canvas*. Instantaneamente são criados os nós nas extremidades da barra. Se a barra inserida interceptar uma barra existente, o nó da interseção das duas barras é automaticamente criado. Neste caso as duas barras são automaticamente subdivididas. Analogamente, para criar um nó, seleciona-se  e clica-se com o mouse em um ponto do *canvas*. Se o ponto clicado estiver em uma barra existente, a barra é dividida em duas barras com a inserção do novo nó.

A entrada de linhas via mouse para a criação de barras é feita com dois cliques do mouse: um para o primeiro nó da barra e o outro para o segundo nó. Usualmente a entrada de linhas via mouse segue a regra "pressiona botão - arrasta mouse - libera botão". O modo em dois cliques permite que o usuário desista da inserção da barra depois do primeiro ponto, bastando para isso clicar com o botão da direita do mouse ou teclar *Esc*. Este tipo de entrada de linha também permite que o usuário dê um zoom ou translate a janela de desenho depois de ter entrado com o primeiro nó e antes de entrar com o segundo.

As coordenadas de qualquer posição do cursor do mouse são indicadas em uma caixa de texto na base da tela (veja seção de *Controles de Visualização*). Durante a inserção de uma barra, o comprimento da barra antes do segundo clique do mouse é indicado em uma linha de mensagens no topo da tela.

## Criação de Linhas de Cota




Linhas de Cota (*Dimension Lines*) são linhas auxiliares que servem para criar anotações de distância na imagem da estrutura. Para inserir uma linha de cota, basta selecionar o botão  no menu de edição e clicar em três pontos do *canvas*. Os dois primeiros pontos são os pontos de referência para cotagem de distância. O terceiro ponto serve para definir onde a linha de cota propriamente dita vai

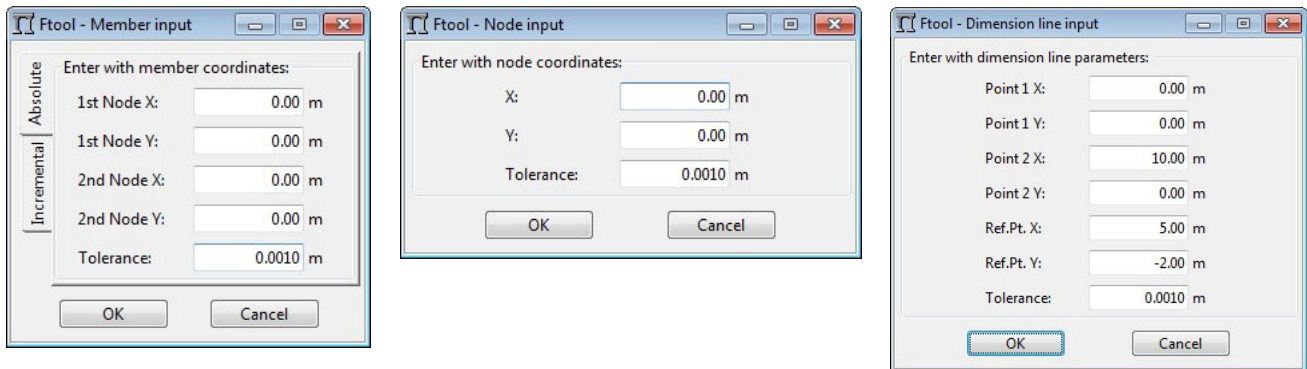


ficar localizada. Durante a construção da linha de cota, o programa atualiza na tela o desenho da linha de cota, até que o usuário entre com o terceiro ponto.


O modo de criação da linha de cota em três cliques permite que o usuário desista da inserção da linha antes de entrar com o ponto, bastando para isso "clique com o botão da direita do mouse ou teclar *Esc*". Este tipo de interação também permite que o usuário dê um zoom ou translate a janela de desenho depois de ter entrado com o primeiro ponto ou o segundo ponto e antes de entrar com o terceiro.


## Modo Teclado

Selecione o modo teclado (botão ) , pode-se criar barras, nós e linhas de cota digitando suas coordenadas nos diálogos das figuras abaixo, onde o valor de tolerância (*Tolerance*) é utilizado para atração para entidades existentes (nunca utilize valor nulo para tolerância):



## Modo Seleção

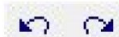
O botão  coloca o FTOOL em modo de seleção. Neste modo, clicando com o botão direito do mouse sobre uma barra ou um nó, pode-se visualizar seus atributos na área do menu lateral. Usando o botão esquerdo seleciona-se uma entidade de um tipo (o programa nunca permite que barras e nós fiquem selecionados simultaneamente). A seleção de um conjunto de barras ou um conjunto de nós pode ser feita clicando com o botão esquerdo do mouse concomitantemente com a tecla *Shift*. Um conjunto de entidades também pode ser selecionado definindo-se um retângulo (*Fence*) de seleção. Para definir um *Fence* de seleção deve-se pressionar o botão esquerdo do mouse e arrastá-lo com o botão pressionado. O retângulo de seleção fica definido pelo ponto onde o botão do mouse é liberado.

A seleção de entidades tem três objetivos. O primeiro é a eliminação de entidades. Para tanto deve-se usar o botão . O segundo objetivo é a transformação das entidades selecionadas (vide seção Transformações). O terceiro objetivo é a aplicação de atributos ou cargas, que são sempre aplicados às barras ou nós que estiverem selecionados no instante.

## Menu de Undo e Redo

A opção de *Undo* permite desfazer as últimas ações. A opção de *Redo* permite refazer a última ação desfeita.

Undo (desfaz operação)

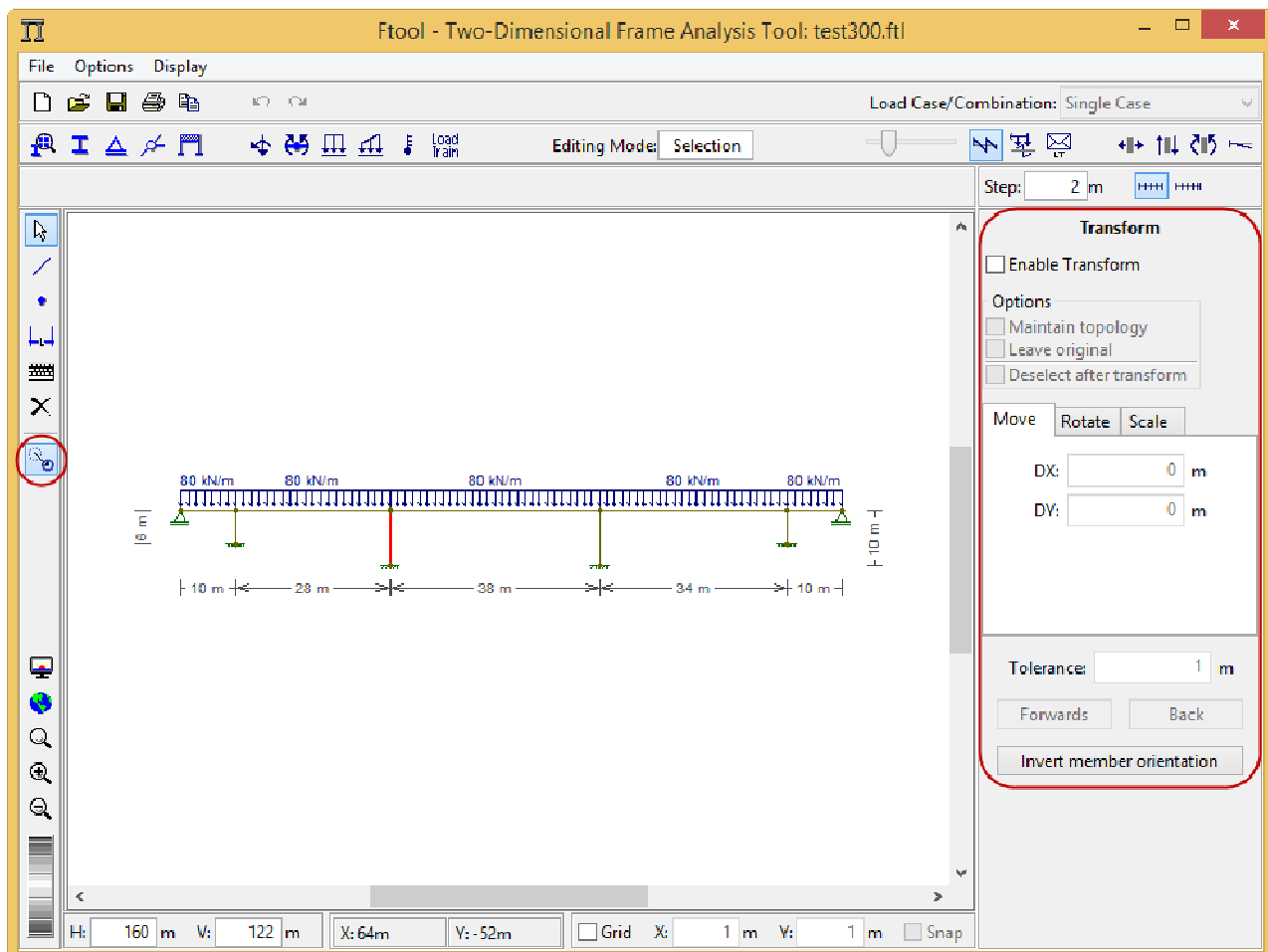


Redo (refaz operação)



## Transformações

Ao selecionar o botão *Transform*, a área lateral da direita apresenta o menu de transformações de objetos. Se nenhum objeto (barra, nó ou linha de cota) estiver selecionado quando o botão for clicado, a área estará completamente desabilitada. Se o usuário então selecionar um (ou mais) objeto(s), a opção “Enable Transform” ficará disponível. Ao selecionar esta opção, o usuário já pode começar a transformar os objetos selecionados.



Quatro transformações estão disponíveis: translação (*Move*), rotação (*Rotate*), aplicar um fator de escala (*Scale*) e espelhamento (*Mirror*). A transformação a ser aplicada é definida selecionando a aba relevante.

As transformações apresentam três opções, sendo duas mutuamente exclusivas. Estas são: impedir que a transformação altere a topologia da estrutura (impedindo assim novas interseções, por exemplo) (*Maintain Topology*), e manter o objeto original (criando uma cópia na nova posição) (*Leave Original*). O usuário pode escolher desabilitar ambas opções ou ativar uma – não é possível ativar ambas simultaneamente. Com a opção de manter a topologia da estrutura, a transformação por espelhamento não é permitida. Outra opção é de, no término da transformação, os objetos transformados não permanecerem selecionados (*Deselect after transform*). O padrão é que esta opção esteja desabilitada, logo objetos permanecerão selecionados após as transformações.



As transformações em si podem ser feitas tanto pelo mouse quanto pelo teclado. O “modo teclado” definido na barra à esquerda da área de desenho não é relevante para transformações. A operação a ser adotada depende da transformação desejada:

- Translação:
  - Pelo mouse: O usuário clica uma vez na área de desenho para definir a origem da translação, arrasta o mouse e clica novamente para definir o fim da translação.
  - Pelo teclado: O usuário define a translação no eixo horizontal ( $DX$ ) e vertical ( $DY$ ) e então clica no botão *Forwards* para aplicar a transformação.
- Rotação:
  - Pelo mouse: O usuário clica uma vez para definir a origem da rotação, arrasta o mouse, clica novamente para definir o início do arco de rotação, arrasta o mouse e clica novamente para definir o fim do arco (e logo o ângulo) de rotação.
  - Pelo teclado: O usuário define as coordenadas da origem da rotação ( $X$  e  $Y$ ) e o ângulo ( $Angle$ ) e então clica no botão *Forwards* para aplicar a transformação.
- Fator de escala:
  - Pelo mouse: O usuário clica uma vez para definir a origem da transformação, arrasta o mouse, clica novamente para definir o vetor de referência, arrasta o mouse e clica novamente para definir o vetor transformado e logo o fator de escala (igual à razão dos comprimentos dos vetores transformado e de referência).
  - Pelo teclado: O usuário define a origem da transformação ( $X$  e  $Y$ ) e o fator de escala ( $Factor$ ) e então clica no botão *Forwards* para aplicar a transformação.
- Espelhamento:
  - Pelo mouse: O usuário clica uma vez para definir um ponto, arrasta o mouse e clica novamente para definir a linha de espelhamento.
  - Pelo teclado: O usuário define as coordenadas de dois pontos ao longo da linha de espelhamento ( $X1$ ,  $Y1$ ,  $X2$  e  $Y2$ ) e então clica no botão *Forwards* para aplicar a transformação.

Outra opção ao aplicar transformações por teclado é utilizar o botão *Back*, que aplica uma transformação inversa à definida (se o usuário definir uma rotação de  $15^\circ$  e clicar *Back*, a rotação será de  $-15^\circ$ , por exemplo).

Se a opção de manter a topologia da estrutura não for ativada, ao aplicar transformações com o mouse, um *feedback* será desenhado na tela indicando as posições finais das barras a serem transformadas, porém os objetos em si serão alterados apenas ao final da operação. Por outro lado, se a opção de manter a topologia estiver ativa, a transformação dos objetos é imediata, com todos os objetos sendo transformados conforme o usuário arrasta o mouse. Ao fazer tais transformações mantendo a topologia estrutural, sugere-se arrastar o mouse lentamente.

Toda transformação deve respeitar uma tolerância. Se a transformação for feita via teclado, a tolerância adotada pode ser definida pelo usuário na caixa de texto *Tolerance*, cujo valor padrão é igual ao menor valor possível com o atual formato numérico de comprimentos (1, 0.1, 0.01, 0.001, etc.) ou, no caso de formatos exponenciais,  $1.0e-4$ . Para maiores detalhes sobre formatos numéricos, ver seção Sistemas de Unidades. Se a transformação for feita através do mouse, a caixa de texto *Tolerance* é desprezada e a tolerância é definida internamente em função da escala (*zoom*) do desenho.

Com uma das caixas de texto ( $DX$  ou  $DY$  da translação, por exemplo) selecionada, também é possível utilizar os seguintes atalhos: aperte *Enter* no teclado para aplicar a transformação ou *Ctrl+Enter* para aplicar a transformação inversa.



Transformações também podem ser feitas visualizando diagramas de esforços estáticos, a configuração deformada da estrutura ou linhas de influência. Nestes casos, a transformação deve obrigatoriamente manter a topologia da estrutura. Os resultados são automaticamente atualizados mantendo sua escala. Para mais informações, ver as subseções relevantes em *Resultados*.

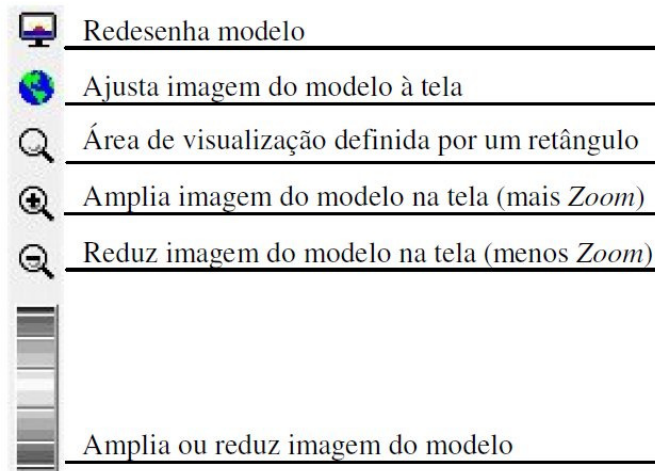
Outra transformação possível é de alterar a orientação de barras (*Invert member orientation*). Ao selecionar barras (sem visualizar resultados), esta opção se torna disponível e permite espelhar a orientação da barra. Esta opção pode ser útil quando se utilizar cargas aplicadas no eixo local da barra.



## Controles de Visualização

### Menu de Controle de Visualização

Este menu agrupa todos os controles para definição da janela de visualização do modelo.



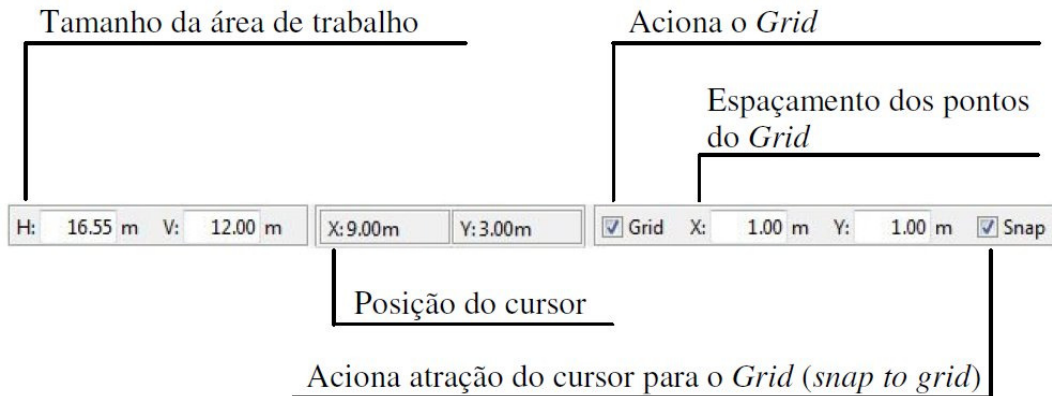
A opção para ajustar o modelo à tela enquadra a estrutura na área de desenho do programa deixando uma margem de folga.

A escala do desenho na tela pode ser alterada de várias formas. A primeira é definindo um retângulo de zoom (área de visualização definida por um retângulo). A entrada de dois cantos opostos do retângulo de visualização é feita com dois "cliques" do mouse. O modo em dois "cliques" permite que o usuário desista da redefinição da área de visualização depois do primeiro ponto do retângulo, bastando para isso "clique" com o botão da direita do mouse ou teclar *Esc*. Se os dois "cliques" forem dados no mesmo ponto da tela, ocorrerá um zoom centrado neste ponto.

O botão de *Zoom+* aumenta o tamanho do modelo na tela, enquanto o botão de *Zoom-* diminui o tamanho. Este efeito também pode ser conseguido "girando" o potenciômetro (*dial*) que controla a escala do desenho. Em ambos os casos, a escala do desenho se dá centrada no ponto médio da área de desenho.

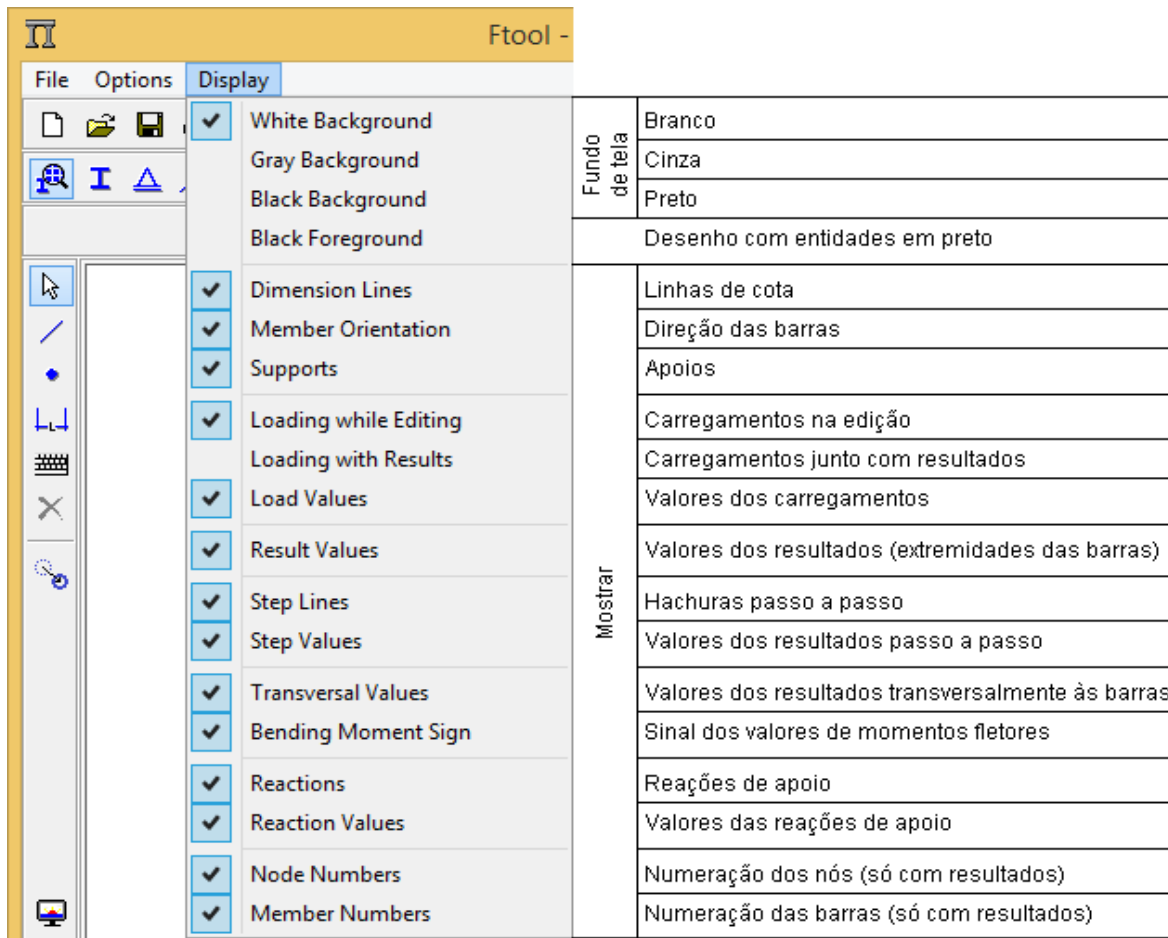
### Controle de Coordenadas

Neste menu se encontram as informações sobre a superfície de visualização. Os campos *H* e *V* armazenam o tamanho da janela de visualização e permitem a alteração destes valores. As mensagens *X* e *Y* mostram a posição do cursor na tela. Disponibiliza-se também a opção do usuário definir uma grade (*Grid*) de pontos na tela e outra para ativar a atração (*Snap*) do cursor para os pontos do *Grid*.



### Menu Display

Neste menu o usuário pode escolher qual a cor de fundo de tela, tendo para cada cor de fundo selecionada diferentes cores relacionadas com as barras e nós do modelo. Outra opção é trabalhar com todos os elementos do modelo com a cor preta e fundo de tela branco. Isto permite que a imagem do modelo possa ser impressa em uma impressora monocromática. Pode-se também especificar quais os atributos que devem ser mostrados na tela durante o manuseio do programa. Deve-se observar que certas opções aplicam-se somente ao pré-processamento e outras somente ao pós-processamento.





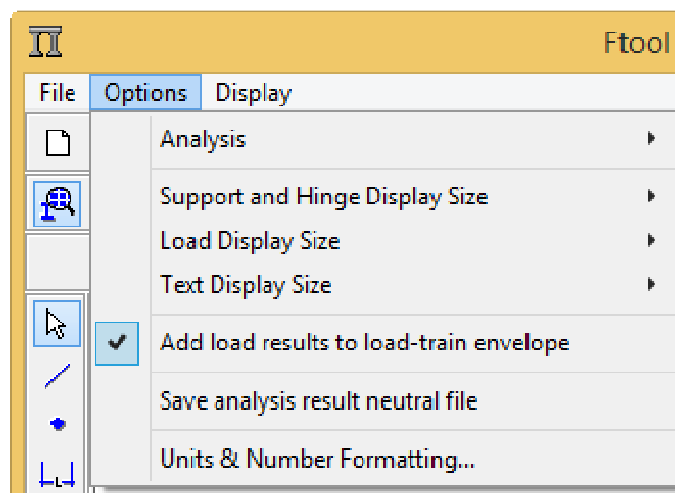


# Configurações

## Menu *Options*

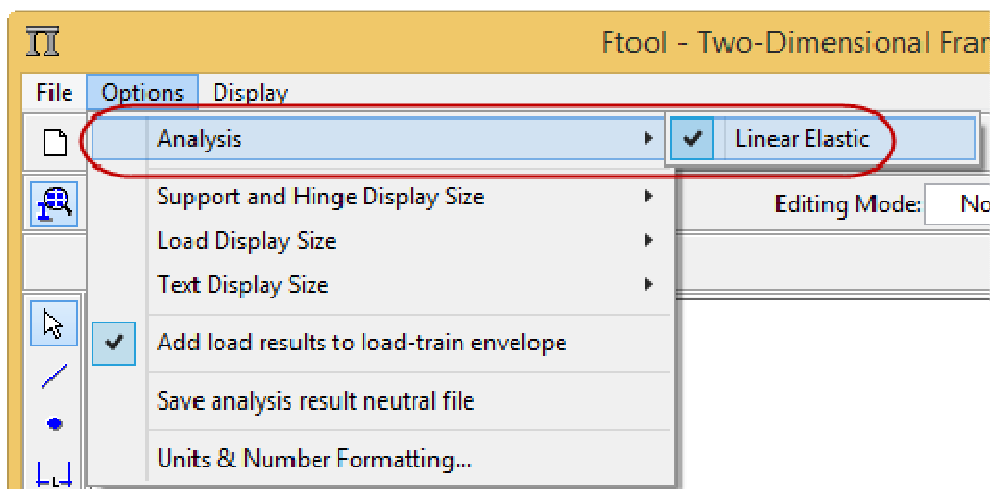
No FTOOL é possível configurar:

- Tamanhos de suportes, rótulas, cargas e texto no desenho do modelo na tela;
- Opção para considerar ou não a carga estática no cálculo da envoltória de esforços resultantes das cargas móveis;
- Opção para salvar arquivo auxiliar (extensão ".pos") que faz a comunicação com o módulo interno de análise (*solver*) do FTOOL. O padrão é não salvar este arquivo. Esse padrão é forçado quando um novo modelo é criado ou aberto;
- Sistema de unidades e de formatação de valores numéricos.



## Tipo de Análise

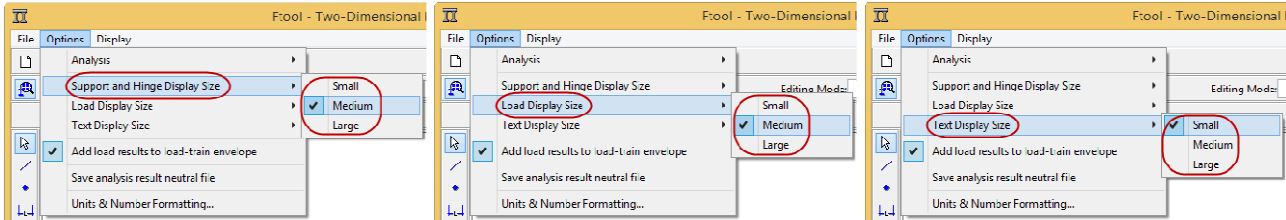
Na versão atual do FTOOL o único tipo de análise possível é a linear-elástica:





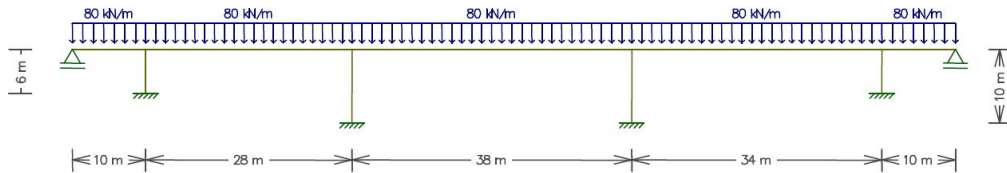
## Tamanhos de suportes, rótulas, cargas e texto no desenho

No menu *Options* tem itens que permitem configurar os tamanhos de suportes, rótulas, cargas e texto no desenho do modelo na tela:

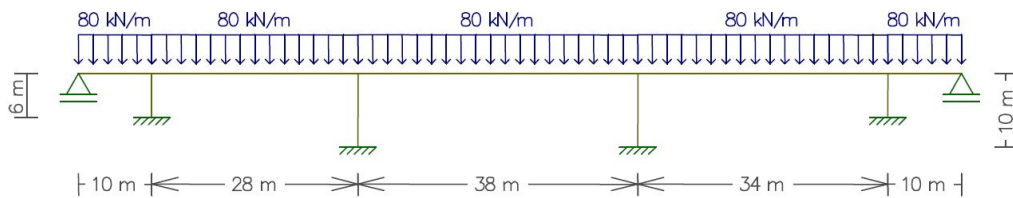


Para cada tipo de entidade, o tamanho do desenho pode ser pequeno (*Small*), médio (*Medium*) ou grande (*Large*). Os resultados da configuração desses tamanhos podem ser comparados nos desenhos do modelo de uma ponte:

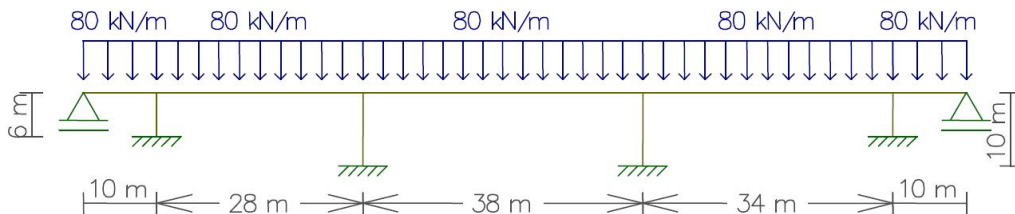
### Tamanhos pequenos



### Tamanhos médios



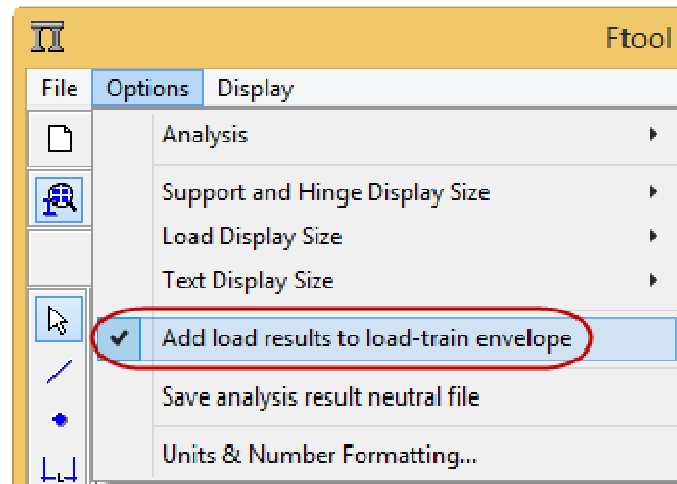
### Tamanhos grandes





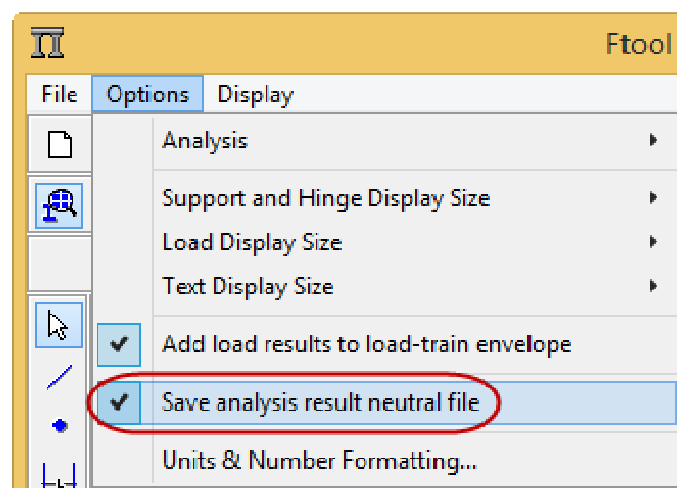
## Superposição de resultados de cargas estáticas e móveis

O FTOOL, na configuração padrão, adiciona os efeitos de cargas estáticas no cálculo da envoltória de esforços internos resultantes das cargas móveis. Essa opção pode ser desativada através de um item do menu *Options*. Quando um novo modelo é criado ou lido de um arquivo, a configuração padrão é retornada.



## Arquivo de comunicação com módulo de análise

O programa tem um módulo interno que realiza a análise (*solver*) do modelo estrutural corrente. É possível salvar em um arquivo auxiliar os dados que são passados para o módulo de análise. Em versões anteriores à versão 3.00, esse arquivo era a única opção para alimentar a análise. Após a versão 3.00, essa comunicação é feita em memória RAM. Entretanto, existe uma opção no menu *Options* que permite que esse arquivo seja salvo. O arquivo tem o mesmo nome do arquivo do modelo corrente, mas com a extensão ".pos". Essa opção é desativada quando um novo modelo é criado ou aberto de um arquivo.

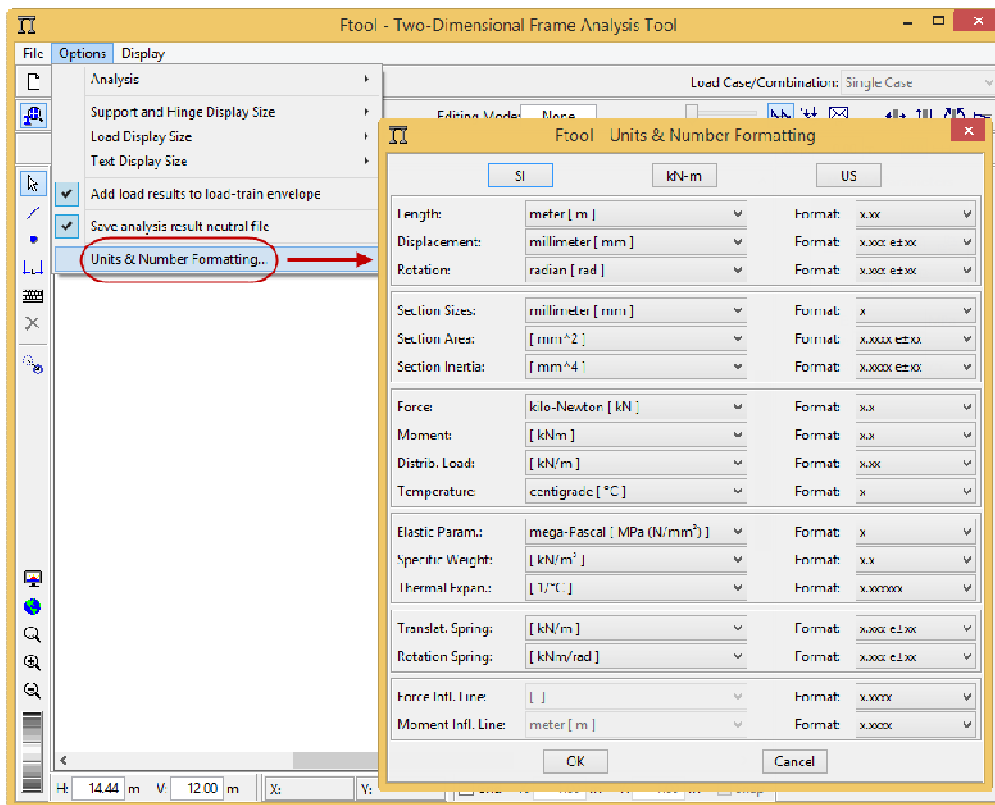


## Formatação de Unidades e Valores Numéricos

Através do diálogo de interface *Units & Number Formatting*, o usuário pode definir unidades para os diversos parâmetros envolvidos em uma análise estrutural pelo FTOOL, bem como os formatos



para exibição dos valores numéricos associados a estes parâmetros. Existem opções para especificar unidades padrão em SI (Sistema Internacional), em US (Sistema Americano), ou todas as unidades em kilo-Newtons e metros. Para especificar unidades padrão e as correspondentes formatações de valores, basta selecionar o botão correspondente no topo do diálogo. O usuário pode sempre alterar uma unidade ou formatação padrão para o que achar mais conveniente.



## Sistemas de Unidades

- As tabelas a seguir mostram, para cada parâmetro usado, as unidades implementadas no FTOOL e os correspondes fatores de conversão para as unidades de referência interna, que estão indicadas em **negrito>**. Internamente, o programa converte todas as unidades para estas unidades de referência.
- A primeira unidade de cada parâmetro é a unidade que aparece automaticamente quando o usuário seleciona unidades SI (Sistema Internacional) ou unidades US (Sistema Americano).
- Na conversão para unidades que utilizam tonelada força (tf), foi adotado:  
 $1 \text{ tf} = 10^3 \text{ kg}\cdot\text{g}$   
Para conversão, foi adotada a aceleração da gravidade  $g = 9.81 \text{ m}/\text{seg}^2$ .
- Unidades Pascal:  
 $1 \text{ Pa} = 1 \text{ N}/\text{m}^2$   
 $1 \text{ kPa} = 10^3 \text{ N}/\text{m}^2 = 1 \text{ kN}/\text{m}^2$   
 $1 \text{ MPa} = 10^6 \text{ N}/\text{m}^2 = 10^3 \text{ kN}/\text{m}^2 = 1 \text{ N}/\text{mm}^2$   
 $1 \text{ GPa} = 10^9 \text{ N}/\text{m}^2 = 10^6 \text{ kN}/\text{m}^2 = 1 \text{ kN}/\text{mm}^2$



Parâmetro	Unidades SI			Unidades US		
	Símbolo	Nome	Fator da unid. ref. SI	Símbolo	Nome	Fator da unid. ref. SI
Distância e Comprimento	<b>m</b>	metro	1.0	ft	pé	0.3048
	cm	centímetro	0.01	in	polegada	0.0254
	mm	milímetro	0.001			
Deslocamento	mm	milímetro	0.001	in	polegada	0.0254
	cm	centímetro	0.01	ft	pé	0.3048
	<b>m</b>	metro	1.0			
Rotação	<b>rad</b>	radiano	1.0	rad	radiano	1.0
	deg	grau	$\pi/180.0$	deg	grau	$\pi/180.0$
Tamanho de Seção Transversal	mm	milímetro	0.001	in	polegada	0.0254
	cm	centímetro	0.01	ft	pé	0.3048
	<b>m</b>	metro	1.0			
Área de Seção	mm <sup>2</sup>		0.000001	in <sup>2</sup>	polegada <sup>2</sup>	0.0254 <sup>2</sup>
	cm <sup>2</sup>		0.0001	ft <sup>2</sup>	pé <sup>2</sup>	0.3048 <sup>2</sup>
	<b>m<sup>2</sup></b>		1.0			
Momento de inércia	mm <sup>4</sup>		1.0e-12	in <sup>4</sup>	polegada <sup>4</sup>	0.0254 <sup>4</sup>
	cm <sup>4</sup>		1.0e-08	ft <sup>4</sup>	pé <sup>4</sup>	0.3048 <sup>4</sup>
	<b>m<sup>4</sup></b>		1.0			
Força	<b>kN</b>	kilo-Newton	1.0	kip	kilo-libra	4.448
	N	Newton	0.001	lb	libra (força)	0.004448
	tf	tonel. força	9.81			
Momento	<b>kNm</b>		1.0	ft-k	pé-klb.	1.356
	Nm		0.001	ft-lb	pé-libra	0.001356
	tfm		9.81	in-k	polegada-klb.	0.11298
	kNcm		0.01	in-lb	polegada-libra	0.00011298
	Ncm		0.00001			
	tfcm		0.0981			
	kNmm		0.001			
	Nmm		0.000001			
	tfmm		0.00981			
Carga Distribuída	<b>kN/m</b>		1.0	k/ft	klb./pé	14.593
	N/m		0.001	lb/ft	libra/pé	0.014593
	tf/m		9.81	k/in	klb./polegada	175.1
	kN/cm		100.0	lb/in	libra/polegada	0.1751
	N/cm		0.1			
	tf/cm		981.0			
	kN/mm		1000.0			
	N/mm		1.0			
	tf/mm		9810.0			
Temperatura	<b>°C</b>	grau Celsius	1.0	°F	grau Fahrenheit	$(T-32) \times 5/9$
Módulo de Elasticidade	MPa	mega-Pascal	1000.0	ksi	klb./polegada <sup>2</sup>	6895.0
	GPa	giga-Pascal	1000000.0	psi	libra/polegada <sup>2</sup>	6.895
	tf/mm <sup>2</sup>		9810000.0	k/ft <sup>2</sup>	klb./pé <sup>2</sup>	47.878
	N/cm <sup>2</sup>		10.0	lb/ft <sup>2</sup>	libra/pé <sup>2</sup>	0.047878
	kN/cm <sup>2</sup>		10000.0			
	tf/cm <sup>2</sup>		98100.0			
	Pa	Pascal (N/m <sup>2</sup> )	0.001			
	<b>kN/m<sup>2</sup></b>	kilo-Pascal	1.0			
tf/m <sup>2</sup>		9.81				



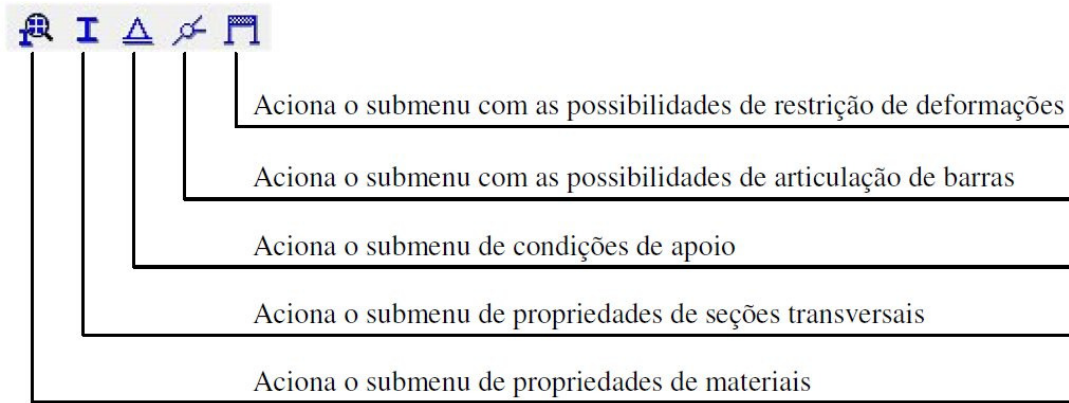
Parâmetro	Unidades SI			Unidades US		
	Símbolo	Nome	Fator da unid. ref. SI	Símbolo	Nome	Fator da unid. ref. SI
Peso Específico	<b>kN/m<sup>3</sup></b>		1.0	pcf	libra/pé <sup>3</sup>	0.1571
	N/m <sup>3</sup>		0.001	k/ft <sup>3</sup>	klb./pé <sup>3</sup>	157.1
	tf/m <sup>3</sup>		9.81	lb/in <sup>3</sup>	libra/polegada <sup>3</sup>	271.434
	kN/cm <sup>3</sup>		1000000.0	k/in <sup>3</sup>	klb./polegada <sup>3</sup>	271434.0
	N/cm <sup>3</sup>		1000.0			
	tf/cm <sup>3</sup>		9810000.0			
	kN/mm <sup>3</sup>		1.0e+09			
	N/mm <sup>3</sup>		1000000.0			
tf/mm <sup>3</sup>		9.81e+09				
Coef. de Dilataç. Térmica	<b>1/°C</b>		1.0	1/°F		1.8
Rigidez Translacional de Mola	<b>kN/m</b>		1.0	k/ft	klb./pé	14.593
	N/m		0.001	lb/ft	libra/pé	0.014593
	tf/m		9.81	k/in	klb./polegada	175.1
	kN/cm		100.0	lb/in	libra/polegada	0.1751
	N/cm		0.1			
	tf/cm		981.0			
	kN/mm		1000.0			
	N/mm		1.0			
tf/mm		9810.0				
Rigidez Rotacional de Mola	<b>kNm/rad</b>		1.0	ft-k/rad	pé.klb./rad	1.356
	Nm/rad		0.001	ft-lb/rad	pé-libra/rad	0.001356
	tfm/rad		9.81	in-k/rad	poleg. .klb./rad	0.11298
	kNcm/rad		0.01	in-lb/rad	poleg. .libra/rad	0.00011298
	Ncm/rad		0.00001	ft-k/deg	pé.klb./grau	244.08/π
	tfc/rad		0.0981	ft-lb/deg	pé-libra/grau	0.24408/π
	kNm/rad		0.001	in-k/deg	poleg. .klb./grau	20.3364/π
	Nm/rad		0.000001	in-lb/deg	poleg. .libra/grau	0.0203364/π
	tfm/rad		0.00981			
	kNm/deg		180.0/π			
	Nm/deg		0.18/π			
	tfm/deg		1765.8/π			
	kNcm/deg		1.8/π			
	Ncm/deg		0.0018/π			
	tfc/deg		17.658/π			
	kNm/deg		0.18/π			
	Nm/deg		0.00018/π			
	tfm/deg		1.7658/π			



# Atributos de Nós e Barras

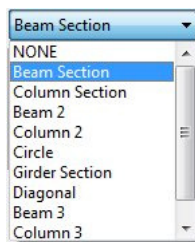
## Menu de Controle dos Atributos dos Nós e Barras

Os botões deste menu permitem visualizar os diversos submenus responsáveis pela criação e atribuição de propriedades às entidades do modelo. Estes submenus aparecem na área lateral da tela do programa.

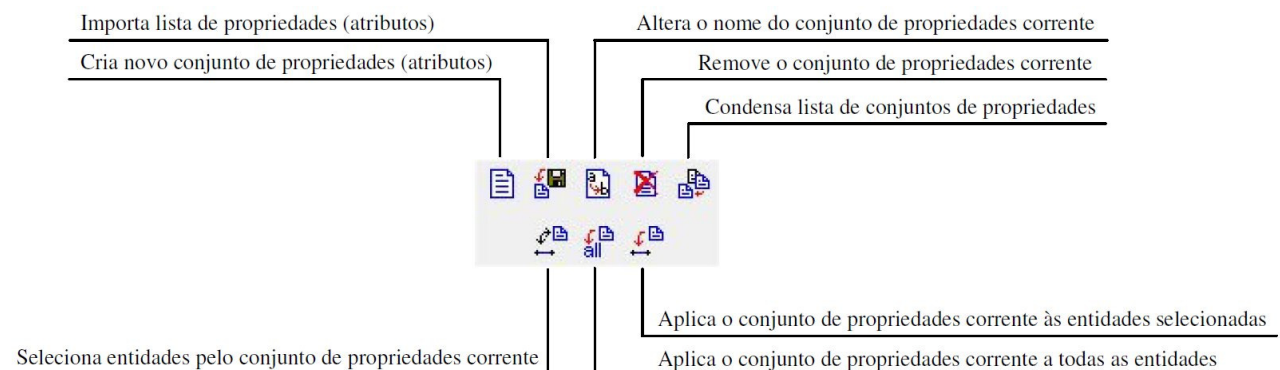


## Características comuns aos submenus


Os submenus para manipulação dos parâmetros de materiais, propriedades de seções transversais e valores de cargas possuem funcionamento básico igual. A lista *drop-down* (próxima figura) permite que seja selecionado um conjunto de propriedades através de seu nome. Os valores desta propriedade serão automaticamente visualizadas nos campos do submenu, permitindo sua edição.




Os botões mostrados na figura abaixo permitem a manipulação destes conjuntos de propriedades.






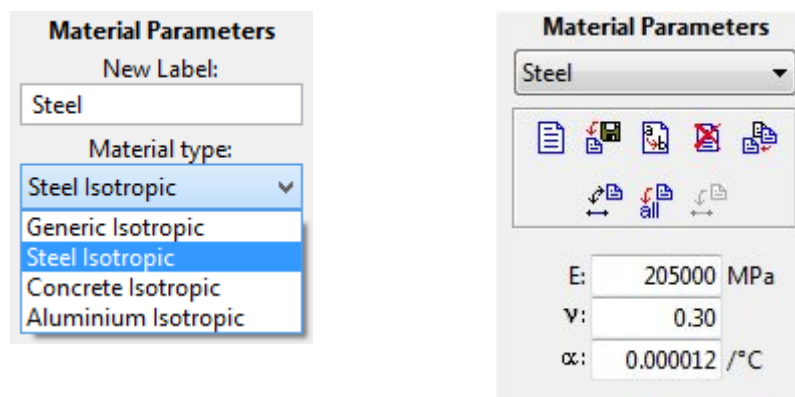
Para criar um novo conjunto de propriedades, deve-se selecionar o botão  e atribuir um nome diferente das outras propriedades.

O botão  aciona a importação da lista de conjunto de propriedades de outro arquivo gerado pelo FTOOL, porém o usuário deve atentar que se no arquivo importado existirem propriedades com o mesmo nome de propriedades do modelo corrente, elas serão ignoradas.

A função que condensa o conjunto de propriedades elimina aquelas que não estão em uso.

## Submenu de Parâmetros dos Materiais

Para criar um novo conjunto de parâmetros de material, deve-se selecionar o botão  e atribuir um nome diferente dos outros conjuntos existentes (figura abaixo à esquerda). Para criar um material, seleciona-se um dos itens da lista *drop-down*: *Generic Isotropic* (material genérico isotrópico), *Steel Isotropic* (aço isotrópico), *Concrete Isotropic* (concreto isotrópico) ou *Aluminium Isotropic* (alumínio isotrópico).




Os parâmetros de material considerados são o módulo de elasticidade ( $E$ ), o coeficiente de Poisson ( $\nu$ ) – usado em barras com deformação por cisalhamento – e coeficiente de dilatação térmica ( $\alpha$ ) – usado no caso de solicitações por variação de temperatura em barras. O programa sugere valores para os parâmetros dos materiais, por exemplo, para o aço, módulo de elasticidade  $E = 205000$  MPa e, para o concreto,  $E = 25000$  MPa. Esses valores podem ser alterados pelo usuário.

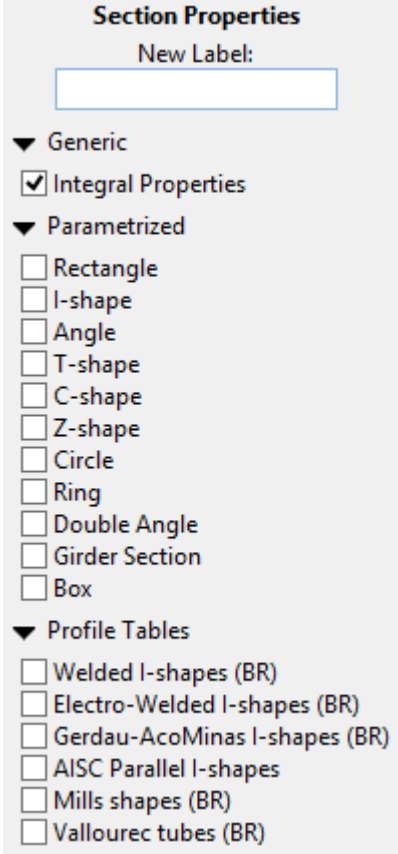




## Submenu de Propriedades das Seções Transversais

Neste submenu através do botão  é criado um novo conjunto de propriedades de seção transversal. No instante da criação deve-se escolher o tipo de seção (*Section type*) dentre as alternativas:

- Paramétricas:
  - genérica (*Generic*);
  - retangular (*Rectangle*);
  - perfil I (*I-shape*);
  - cantoneira (*Angle*);
  - perfil T (*T-shape*);
  - perfil C (*C-shape*);
  - perfil Z (*Z-shape*);
  - barra circular (*Circle*);
  - tubo anelar (*Ring*);
  - cantoneira dupla (*Double Angle*);
  - seção de viga de ponte (*Girder Section*);
  - tubo quadrado (*Box*);
- Tabeladas:
  - perfil I soldado padrão NBR (*Welded I-shapes BR*);
  - perfil I eletro-soldado da Usilight™ (*Electro-Welded I-shapes BR*);
  - perfil I da Gerdau-Aço Minas™ (*Gerdau-AcoMinas I-shapes BR*);
  - perfil I da norma americana (*AISC Parallel I-shapes*);
  - perfis da Mills™ (*Mills shapes BR*);
  - tubos da Vallourec™ (*Vallourec tubes BR*);



**Section Properties**

New Label:

▼ Generic

Integral Properties

▼ Parametrized

Rectangle

I-shape

Angle

T-shape

C-shape

Z-shape

Circle

Ring

Double Angle

Girder Section

Box

▼ Profile Tables

Welded I-shapes (BR)

Electro-Welded I-shapes (BR)

Gerdau-AcoMinas I-shapes (BR)

AISC Parallel I-shapes

Mills shapes (BR)

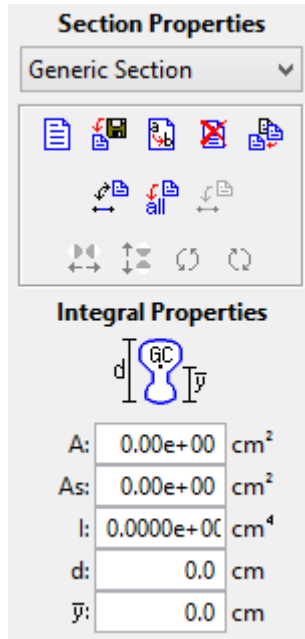
Vallourec tubes (BR)

De acordo com o tipo de seção selecionada, na área lateral da tela deverão ser fornecidos os parâmetros que definem a seção transversal, conforme o desenho esquemático que acompanha o diálogo.



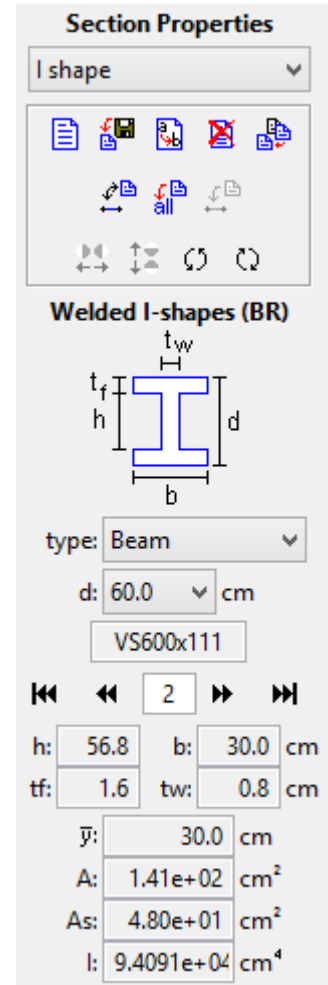
No caso de seções paramétricas, os parâmetros da seção transversal deverão ser definidos. No caso da seção genérica, como na figura ao lado, os parâmetros da seção transversal são:

- $A$ : área
- $A_s$ : área efetiva para cisalhamento
- $I$ : momento de inércia da seção transversal
- $d$ : altura da seção
- $\bar{y}$ : posição do centro de gravidade



No caso de seções tabeladas, o usuário deve apenas definir o perfil desejado. No caso do Perfil I soldado padrão NBR, como na figura ao lado, escolhe-se o tipo de perfil (*Beam*, *Column* ou *Beam-Column*) e altura da seção " $d$ ".

O FTOOL possui os dados dos perfis padrão NBR, bastando que o usuário selecione através das setas aquele que desejar.



Os parâmetros  $A$  e  $I$  são sempre necessários.  $A_s$  é usado para barras com deformação por cisalhamento.  $d$  e  $\bar{y}$  são usados para solicitações de variação de temperatura em barras.

Dependendo do tipo de seção transversal selecionado, os botões , , e (todos, nenhum ou somente alguns) ficarão disponíveis. Os botões e espelham a seção ao redor do seu eixo vertical e horizontal, respectivamente. Já os e rotacionam a seção no sentido anti-horário e horário, respectivamente.



### Submenu de Condições de Apoio

Através deste submenu, o usuário define as componentes de deslocamentos na direção X e Y e a rotação em torno do eixo Z (saindo do plano) que estão liberadas ou não. Define-se também o ângulo do apoio, bem como se há algum deslocamento prescrito ou rotação prescrita, ou ainda se há algum apoio elástico em qualquer das direções.

	Limpa os parâmetros (torna os deslocamentos e a rotação livres)
	Seleciona os nós com o conjunto de parâmetros correntes
	Aplica o conjunto de parâmetros corrente aos nós selecionados
Displac. X <input checked="" type="checkbox"/> Free <input type="checkbox"/> Fix	Libera/Fixa deslocamento na direção X ou atribui apoio elástico
Spring <input type="checkbox"/> Kx	Libera/Fixa deslocamento na direção Y ou atribui apoio elástico
Displac. Y <input checked="" type="checkbox"/> Free <input type="checkbox"/> Fix	Libera/Fixa rotação em torno de Z ou atribui apoio elástico
Spring <input type="checkbox"/> Ky	Ângulo de rotação do apoio (positivo no sentido anti-horário)
Rotation Z <input checked="" type="checkbox"/> Free <input type="checkbox"/> Fix	Prescreve deslocamentos/rotação (assentamento ou recalque)
Spring <input type="checkbox"/> Kz	Deslocamento aplicado na direção X (assentamento ou recalque)
Angle: 0.0 deg	Deslocamento aplicado na direção Y (assentamento ou recalque)
<input type="checkbox"/> Prescribed Displacem./Rot.	Rotação aplicada em torno de Z (assentamento ou recalque)
Dx: <input type="text"/> m	Constante de mola (apoio elástico translacional) na direção X
Dy: <input type="text"/> m	Constante de mola (apoio elástico translacional) na direção Y
Rz: <input type="text"/> rad	Constante de mola (apoio elástico rotacional) em torno de Z
Spring Stiffness Values	
Kx: <input type="text"/> kN/m	
Ky: <input type="text"/> kN/m	
Kz: <input type="text"/> kNm/rad	

### Submenu de Propriedades de Articulação de Barras

Este menu permite que se atribuam rótulas a barras ou nós. Quando uma barra é criada, o padrão é considerar ligações rígidas entre suas extremidades e os nós do modelo estrutural.

	Seleciona nós ou barras com a configuração corrente de rótula
	Aplica a configuração de rótula corrente aos nós ou barras selecionados
	Articula ou remove rótula dos nós selecionados
	Articula as duas extremidades das barras selecionadas
	Articula a extremidade inicial e remove rótula da extremidade final
	Remove rótula da extremidade inicial e articula a extremidade final
	Remove rótula das duas extremidades das barras selecionadas



### Submenu de Restrições de Deformações de Barras

Este menu permite que se restrinjam deformações de barras. Existem duas opções excludentes: barra flexível e barra infinitamente rígida. Para a barra flexível, existem duas opções não excludentes para ativar ou desativar deformação axial e para ativar ou desativar deformação por cisalhamento. Quando um novo modelo é criado, a opção para deformação axial está ativada e a opção para deformação por cisalhamento está desativada. Se um modelo aberto de um arquivo tiver todas as barras com deformação por cisalhamento permitida, a opção de deformação por cisalhamento na interface gráfica é ativada automaticamente.

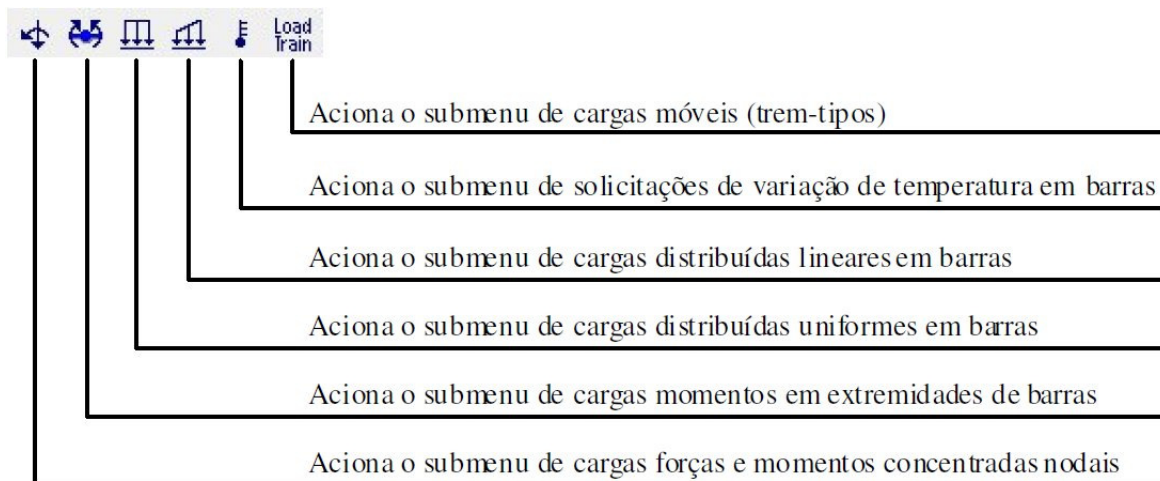
Deformation Constraints	
	Seleciona barras com o tipo de restrição de deformação corrente
	Aplica restrição de deformação às barras selecionadas
<input checked="" type="checkbox"/> Flexible Member	Considera barra flexível (com deformações)
<input checked="" type="checkbox"/> Axial Deformation	Considera barra com deformação axial
<input type="checkbox"/> Shear Deformation	Considera barra com deformação por cisalhamento (Timoshenko)
<input type="checkbox"/> Rigid Member	Considera barra infinitamente rígida



## Aplicação de Cargas

### Menu de Controle das Cargas

Os botões deste menu permitem acionar os diversos submenus responsáveis pela criação e atribuição de carregamentos às entidades do modelo. Estes submenus aparecem na área lateral da tela do programa. Os tipos de cargas disponíveis são cargas concentradas aplicadas a nós, momentos aplicados em extremidades de barras, cargas uniformemente ou linearmente distribuídas aplicadas a barras, variações de temperatura aplicadas a barras e cargas móveis (trens-tipo).



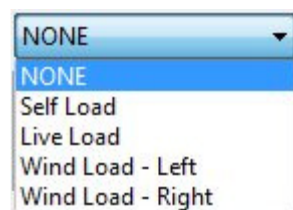
### Informações Gerais

- **Caso de carregamento único**

Todas as cargas aplicadas a um modelo estrutural na versão atual do FTOOL atuam concomitantemente. Isto é, cada arquivo de dados do FTOOL corresponde a um caso de carregamento único.

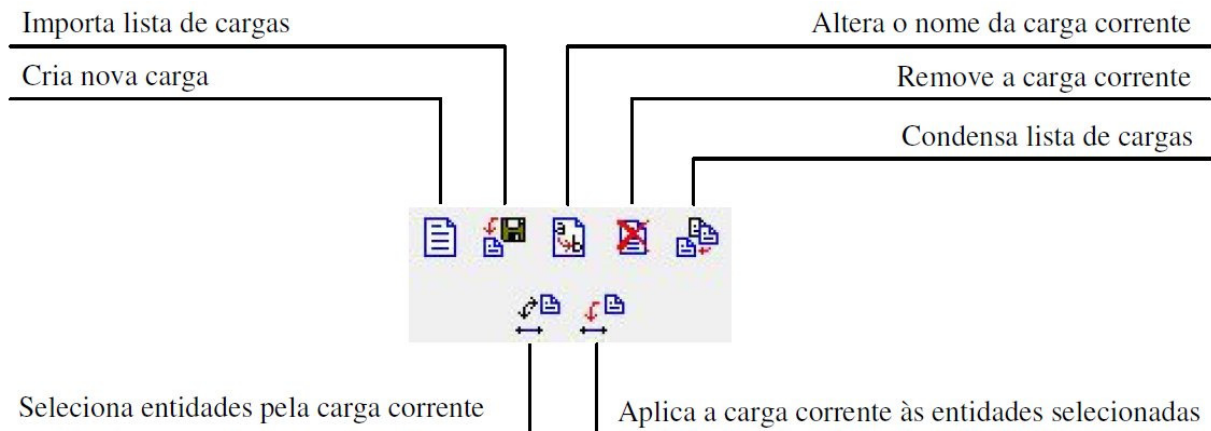
- **Aplicação de cargas**



O sistema de atribuição dos cargas é igual ao procedimento de aplicação de atributos de barras (material e seção transversal). Deve-se inicialmente criar um tipo de carga, que fica associado a um nome fornecido e é adicionado na lista de cargas correspondente. A figura abaixo mostra uma lista tipo *drop-down* de cargas distribuídas definidas pelos seus nomes. Os valores das cargas associadas ao nome selecionado serão automaticamente visualizados nos campos do submenu, permitindo sua edição.





Os botões da próxima figura permitem a manipulação das cargas de uma lista.



A carga corrente é a que vai ser aplicada aos elementos selecionados. Deve-se selecionar os elementos de interesse e aplicar a carga através do botão , para o casos de barras, ou o botão , para o caso de nós.

- **Sistemas de eixos no FTOOL**

No FTOOL existe um sistema de eixos globais da estrutura e um sistema de eixos locais para cada uma das barras (membros). No sistema global, o eixo  $X$  é horizontal com sentido da esquerda para a direita, o eixo  $Y$  é vertical com sentido de baixo para cima, e o eixo  $Z$  tem sentido positivo saindo do plano da estrutura. O sistema de eixos locais de uma barra é tal que o eixo  $x$  local coincide com o eixo da barra e tem o sentido de criação da barra, isto é, do nó inicial para o nó final. O sentido do eixo local  $x$  pode ser visualizado no programa selecionando a opção *Member Orientation* do menu *Display*. O eixo local  $z$  é sempre positivo saindo do plano da estrutura. O eixo  $y$  local é perpendicular ao eixo  $x$  e o seu sentido positivo é obtido pelo produto vetorial  $y = z \times x$ , usando a regra da mão direita.

- **Aplicação de cargas concentradas**

No FTOOL, cargas concentradas (forças e momentos) só podem ser aplicadas em nós da estrutura. Isto é assim para simplificar a interface do programa com o usuário, não existindo nenhum impedimento técnico para se aplicar uma carga concentrada no interior de uma barra. Se for preciso aplicar uma carga concentrada no interior de uma barra, basta inserir um nó na posição desejada, dividindo a barra em duas. As cargas concentradas são aplicadas sempre com os sentidos dos eixos globais da estrutura, sendo o sinal positivo quando as forças tiverem os sentidos dos eixos globais, e o sinal negativo quando contrário. Os momentos aplicados serão positivos quando tiverem o sentido anti-horário e negativos quando tiverem o sentido horário.

- **Aplicação de cargas distribuídas**

No FTOOL, a aplicação de uma carga distribuída em uma barra pode ser feita no sistema de eixos globais ou no sistema de eixos locais. Os sinais dos carregamentos serão positivos quando coincidirem com o sentido dos eixos globais ou locais, conforme for o caso, e negativo quando tiverem o sentido contrário. Na interface do programa, nos menus de aplicação de cargas distribuídas uniformes ou lineares, existe uma opção para especificar o sistema de eixos da carga distribuída (global ou local). Para simplificar a interface gráfica com o usuário, cargas distribuídas sempre abrangem o comprimento total das barras. No caso de uma carga distribuída com aplicação parcial ao longo de



uma barra, pode-se inserir nós no interior da barra para definir a extensão de aplicação do carregamento distribuído.

- **Aplicação de cargas distribuídas parciais**

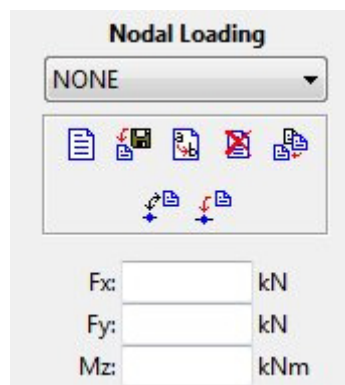
Para aplicar cargas distribuídas que atuam parcialmente em uma barra, pode-se inserir nós no interior da barra, criando novas barras resultantes da divisão da barra original. As cargas distribuídas são, então, aplicadas ao trecho de barra (divisão) desejada. Mas uma vez, isso é feito dessa maneira por uma decisão de política de interface com usuário. Assim é muito mais simples do que especificar as posições de atuação das cargas distribuídas parciais.

- **Remoção de cargas de nós ou barras**

Para remover qualquer carga que atua em barras ou nós selecionados, deve-se selecionar o primeiro elemento da lista *drop-down* (nada: *NONE*) e pressionar o botão de aplicar. Em outras palavras, “remover uma carga de entidades selecionadas no FTOOL é aplicar nada”.

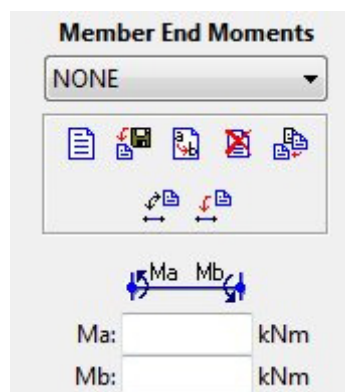
## Submenu de Cargas Concentradas Nodais

Permite que sejam criadas e aplicadas cargas concentradas (forças e momentos) aos nós da estrutura. O sistema de coordenadas é o global.



## Submenu de Cargas Momentos em Extremidades de Barras

Permite que sejam criados e aplicados momentos concentrados nas seções extremas de barras. Momentos aplicados no sentido anti-horário são positivos e no sentido horário são negativos, sendo "Ma" o momento aplicado na extremidade inicial da barra e "Mb" o momento aplicado na extremidade final da barra.





## Submenu de Cargas Distribuídas Uniformes e Lineares

Permite que sejam criadas e aplicadas cargas distribuídas uniformes ou lineares às barras. Pode-se adotar como sistema de referência o sistema de coordenadas global ou o sistema local da barra.

No caso de cargas lineares, os vetores de carregamento nas extremidades devem ser paralelos, podendo apresentar variações de magnitude e sentido. O programa força o paralelismo destes vetores.

The image shows two side-by-side dialog boxes for defining distributed loads. The left dialog is titled "Uniform Loading" and the right is "Linear Loading". Both have a "NONE" dropdown menu at the top. Below the dropdown is a toolbar with icons for file operations (new, open, save, print, delete) and two directional selection icons. Underneath the toolbar is a "Direction" section with two checkboxes: "Global" (checked) and "Local" (unchecked). At the bottom, the "Uniform Loading" dialog has two input fields: "Qx: kN/m" and "Qy: kN/m". The "Linear Loading" dialog has four input fields: "Pxi: kN/m", "Pyi: kN/m", "Pxj: kN/m", and "Pyj: kN/m".

## Submenu de Solicitações de Variação de Temperatura

Permite que sejam criadas e aplicadas solicitações de variação de temperatura às barras. O usuário especifica 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.

The image shows a dialog box titled "Thermal Loading". It has a "NONE" dropdown menu at the top. Below the dropdown is a toolbar with icons for file operations (new, open, save, print, delete) and two directional selection icons. At the bottom, there are two input fields: "Ty+: °C" and "Ty -: °C".

## Submenu de Cargas Móveis (Trens-tipo)

Permite que sejam criadas cargas móveis que são usadas nos cálculos de envoltórias de esforços internos (veja seção de *Resultados*). O trem-tipo é composto por cargas concentradas, cargas uniformemente distribuídas e cargas acidentais (cargas de multidão). Ao inserir qualquer carga no trem-tipo, considera-se que ela seja orientada no sentido de cima para baixo e, por isso, conforme a convenção de sinais do FTOOL, as cargas sempre aparecem com um sinal negativo, mesmo quando este não é colocado durante a edição.





**Load Train**

TB-360

Impact factor: 1.00

Length: 8 m

Concentrated loads:

	x[m]	P[kN]
1	1	-360.0
2	3	-360.0
3	5	-360.0
4	7	-360.0
5		

Distrib. loads [kN/m]:

Single load car (q)

Full/empty car (q/q')

	xa	xb	q	q'
1	1	3	-10	-2
2	3	5	-10	-2
3	5	7	-10	-2

Live load [kN/m]:

	Exterior	Interior
	-12	-4

Nome do trem-tipo na lista de trem-tipos

Fator de impacto global do trem-tipo (amplifica todos os efeitos)

Comprimento (extensão) do trem-tipo

Aumenta/diminui número de linhas da tabela de cargas concentradas

**Tabela de cargas concentradas do trem-tipo**

x: posição da carga em relação ao início do trem-tipo

P: valor da carga concentrada

Aumenta/diminui número de linhas da tabela de cargas distribuídas

Vagão com valor fixo de carga (q)

Vagão com dois valores de carga: cheio (q) e vazio (q')

**Tabela de cargas uniformemente distribuídas do trem-tipo**

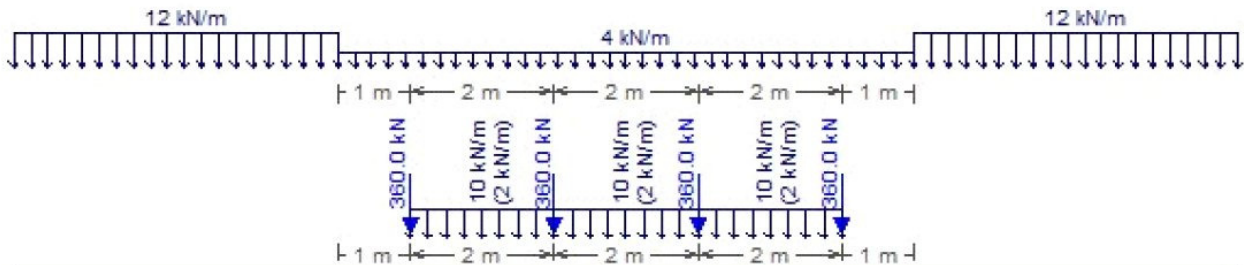
xa: posição do início da carga      xb: posição do final da carga

q: valor da carga para vagão cheio

q': valor da carga para vagão vazio

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

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



• **Fator de impacto**

É um fator de amplificação das cargas do trem-tipo, que permite levar em consideração o efeito dinâmico da ação do trem-tipo nas estruturas. O valor desse fator deve ser sempre maior que um.

• **Comprimento do trem-tipo**

Limita o intervalo onde atuam as cargas concentradas, distribuídas e de multidão interior.

• **Cargas concentradas**

A matriz de cargas concentradas é composta por duas colunas, com os seguintes parâmetros:

- $x$  – posição de uma carga em relação à origem do trem-tipo;
- $P$  – valor de uma carga.

Não se permite criar um trem-tipo com cargas concentradas ocupando a mesma posição, nem com posição menor que a origem ou maior que o comprimento do trem-tipo. Para adicionar uma nova carga concentrada ao trem-tipo, deve-se primeiro entrar com a posição e depois com o va-



lor da carga. À medida que são inseridas novas cargas, estas são automaticamente ordenadas pela posição, da menor para a maior. Acima da matriz existem dois botões que permitem aumentar e diminuir o número de linhas da matriz.

- **Cargas uniformemente distribuídas**

A matriz de cargas distribuídas varia conforme o tipo de trem-tipo. Quando o trem-tipo possui um único valor para a carga distribuída, aparecem três colunas na matriz, com os seguintes parâmetros:

- $xa$  – posição inicial de uma carga distribuída em relação à origem do trem-tipo;
- $xb$  – posição final de uma carga distribuída em relação à origem do trem-tipo;
- $q$  – valor da carga uniformemente distribuída.

Quando se opta em determinar dois valores para a carga distribuída, a matriz de carga distribuída aparece com quatro colunas, com os seguintes parâmetros:

- $xa$  – posição inicial de uma carga distribuída em relação à origem do trem-tipo;
- $xb$  – posição final de uma carga distribuída em relação à origem do trem-tipo;
- $q$  – valor da carga, que no caso do trem-tipo ferroviário, considerando o vagão cheio;
- $q'$  – valor da carga considerando o vagão vazio, usada para trem-tipo ferroviário.

Não se permite criar um trem-tipo com cargas distribuídas que se sobreponham. As posições inicial e final da carga devem ser maiores que a origem e menores que o comprimento do trem-tipo. Para adicionar uma nova carga distribuída ao trem-tipo, deve-se primeiro entrar com as posições inicial e final e depois com o valor (ou valores) da carga. No caso do trem-tipo ferroviário, a primeira carga a ser editada deve ser  $q$  e depois  $q'$ . À medida que são inseridas novas cargas, estas são automaticamente ordenadas pela posição inicial, da menor para a maior. Quando o valor de  $xa$  é maior que  $xb$ , ou  $q$  é menor do que  $q'$ , automaticamente invertem-se estes valores. É possível modificar o tipo do trem-tipo, mesmo após terem sido inseridas cargas distribuídas. Ao transformar um trem-tipo que inicialmente possuía apenas um valor para a carga distribuída, para um com dois valores de carga distribuída, os valores da carga  $q$  são replicados para os da carga  $q'$ .

- **Cargas acidentais de multidão**

Podem existir dois tipos de carga acidental de multidão:

- Externa: atua nos intervalos que não estão sob o trem-tipo;
- Interna: atua no mesmo intervalo ocupado pelo trem-tipo.

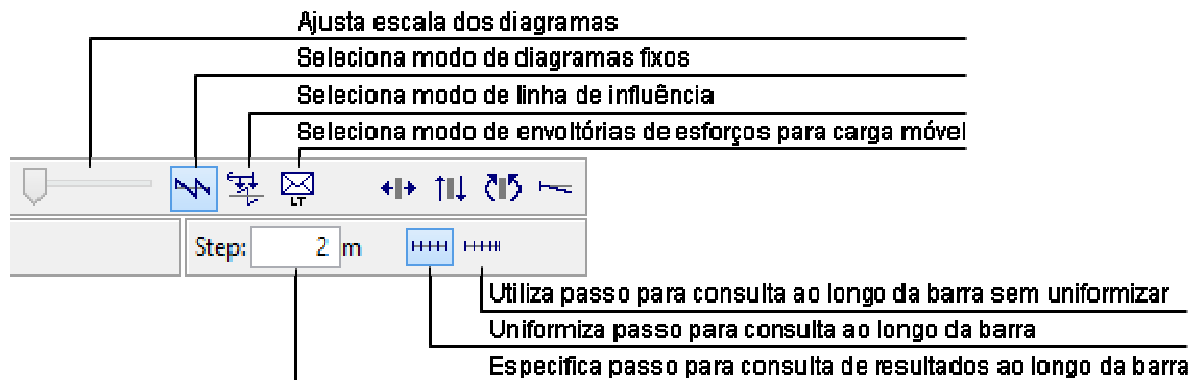
As cargas de multidão podem atuar parcialmente ao longo da estrutura. O que se busca são as posições de atuação das cargas interna e externa que maximizam ou minimizam um determinado esforço. O valor máximo de um determinado esforço é obtido quando as cargas de multidão estão posicionadas sobre ordenadas positivas da linha de influência, e o valor mínimo é obtido quando estiverem posicionadas sobre ordenadas negativas da linha de influência.



## Resultados

### Modos de resultados

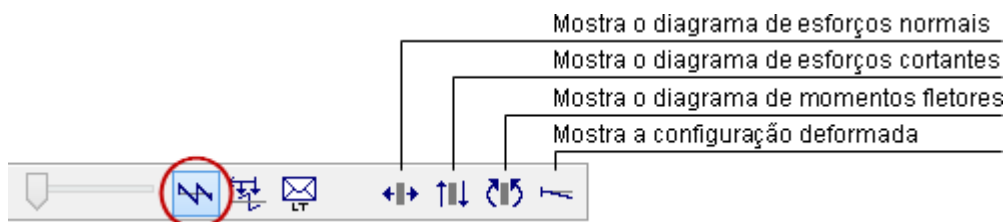
Existem três modos de resultados da análise de pórticos planos no FTOOL: Diagrama (*Diagram*), Linha de Influência (*Influence Line*) e Envoltória de efeitos de trem-tipo (*Load-Train Envelope*). A seleção do modo desejado é feita através dos botões no menus de resultados, conforme descrito a seguir.



Os resultados de diagramas ou envoltórias são exibidos bastando pressionar o botão correspondente ao resultado desejado. A estrutura é automaticamente analisada (o *solver* é executado) quando algum botão para mostrar resultado é selecionado. No modo de Diagrama ou de Envoltórias, os resultados são traçados diretamente. No modo de Linha de Influência, o programa solicita ao usuário que selecione uma seção transversal de um membro para fazer o traçado.

### Menu de resultados de Diagrama

O modo de Diagrama (*Diagram results*) considera a visualização de diagramas de esforços internos (esforço normal, esforço cortante e momento fletor) e a visualização de configuração deformada da estrutura sob o efeito dos carregamentos estáticos.



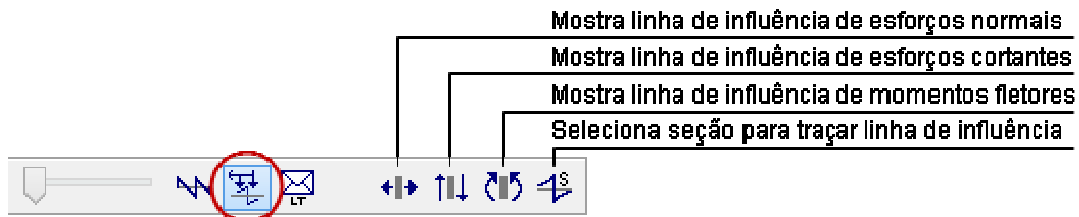
Valores pontuais de diagramas de esforços internos ou configuração deformada podem ser consultados, bastando selecionar um ponto em uma barra do modelo. Os valores desejados são mostrados na linha de mensagem no topo da tela. Se o botão direito do mouse for utilizado, resultados adicionais são mostrados na área lateral da tela (veja seção *Resultados Pontuais*).

Neste modo o usuário pode aplicar transformações que não alteram a topologia da estrutura (ver seção *Transformações*). Para tal, deve-se abrir a janela de transformações, selecionar os objetos desejados e então aplicar as transformações. Os resultados são atualizados automaticamente, mantendo sua escala.



## Menu de resultados de Linhas de Influência

No modo de Linha de Influência (*Influence Line*) pode-se visualizar linhas de influência de esforço normal, esforço cortante e momento fletor em uma seção transversal selecionada. O traçado de uma linha de influência independe de qualquer carga aplicada na estrutura. Uma linha de influência representa os valores de um esforço interno na seção selecionada em função de uma carga unitária que percorre a estrutura. No FTOOL, a carga unitária é sempre vertical de cima para baixo, não importando a direção da barra por onde a carga passa.



Sempre que houver um trem-tipo selecionado, ele é desenhado na parte superior e inferior da Linha de Influência, nas posições críticas que causam os esforços mínimo (negativo) e máximo (positivo), respectivamente. Nesse caso, a linha de influência é desenhada somente nas barras que pertencem ao caminho do trem-tipo. No caso em que não existe um trem-tipo selecionado, a linha de influência é desenhada em todas as barras da estrutura.

Quando não é possível detectar automaticamente o caminho que o trem-tipo deve percorrer, o usuário é avisado que deve voltar ao modo de seleção para selecionar um conjunto de barras que definem um caminho contínuo e suave para o trem-tipo. Uma vez determinado o caminho a ser percorrido pelo trem-tipo, o programa armazena a informação e o usuário só será solicitado a determinar novamente o caminho caso o modelo seja alterado.

Enquanto o botão para selecionar uma nova seção para traçado de linha de influência estiver pressionado, o programa faz um novo traçado para cada seção selecionada. Para evitar que uma nova seção para traçado de linha de influência seja selecionada, o botão que faz a seleção da seção para traçar a linha de influência (botão da direita no menu) deve ser liberado. Assim, consultas a valores locais (resultados pontuais) podem ser feitas sem redefinir a linha de influência em exibição. Os valores consultados são mostrados na linha de mensagem no topo da tela. Resultados adicionais de uma barra podem ser consultados, selecionando a barra com o botão da direita do mouse (veja seção *Resultados Pontuais*).

Neste modo o usuário pode aplicar transformações que não alteram a topologia da estrutura (ver seção *Transformações*). Para tal, deve-se gerar a linha de influência para algum esforço em um dado ponto e então abrir a janela de transformações, selecionar os objetos desejados e aplicar as transformações. As linhas de influência são atualizadas automaticamente, mantendo sua escala. Caso o usuário queira então verificar outra linha de influência, este deve apenas selecionar o esforço desejado novamente (ou o botão para selecionar a seção desejada para traçar a linha de influência). Caso deseje-se então aplicar novas transformações (já com a janela de transformações aberta), deve-se selecionar o botão *Select* para permitir a seleção de objetos antes da transformação.



## Menu de resultados de Envoltórias

O modo de Envoltória (*Load-train envelope results*) determina as envoltórias limites de um determinado esforço em uma estrutura. As envoltórias são diagramas de valores mínimos e máximos deste esforço provocados pela carga móvel (trem-tipo) corrente. Só é possível entrar no modo de envoltória de esforços caso haja um trem-tipo selecionado e um caminho a ser percorrido, que deve ser obrigatoriamente selecionado pelo usuário quando não é detectado automaticamente.



As envoltórias de esforços podem ser calculadas superpondo os efeitos da carga móvel (trem-tipo) com os efeitos das cargas estáticas. O diagrama de esforços internos para as cargas estáticas é desenhado em linhas tracejadas junto com as envoltórias. O menu *Options* apresenta um item (veja seção de *Configurações*) que ativa ou desativa a superposição de resultados de cargas estáticas e móveis. Na configuração padrão, esta opção está ativa. Esta é reativada sempre que um novo modelo for criado ou aberto de um arquivo.

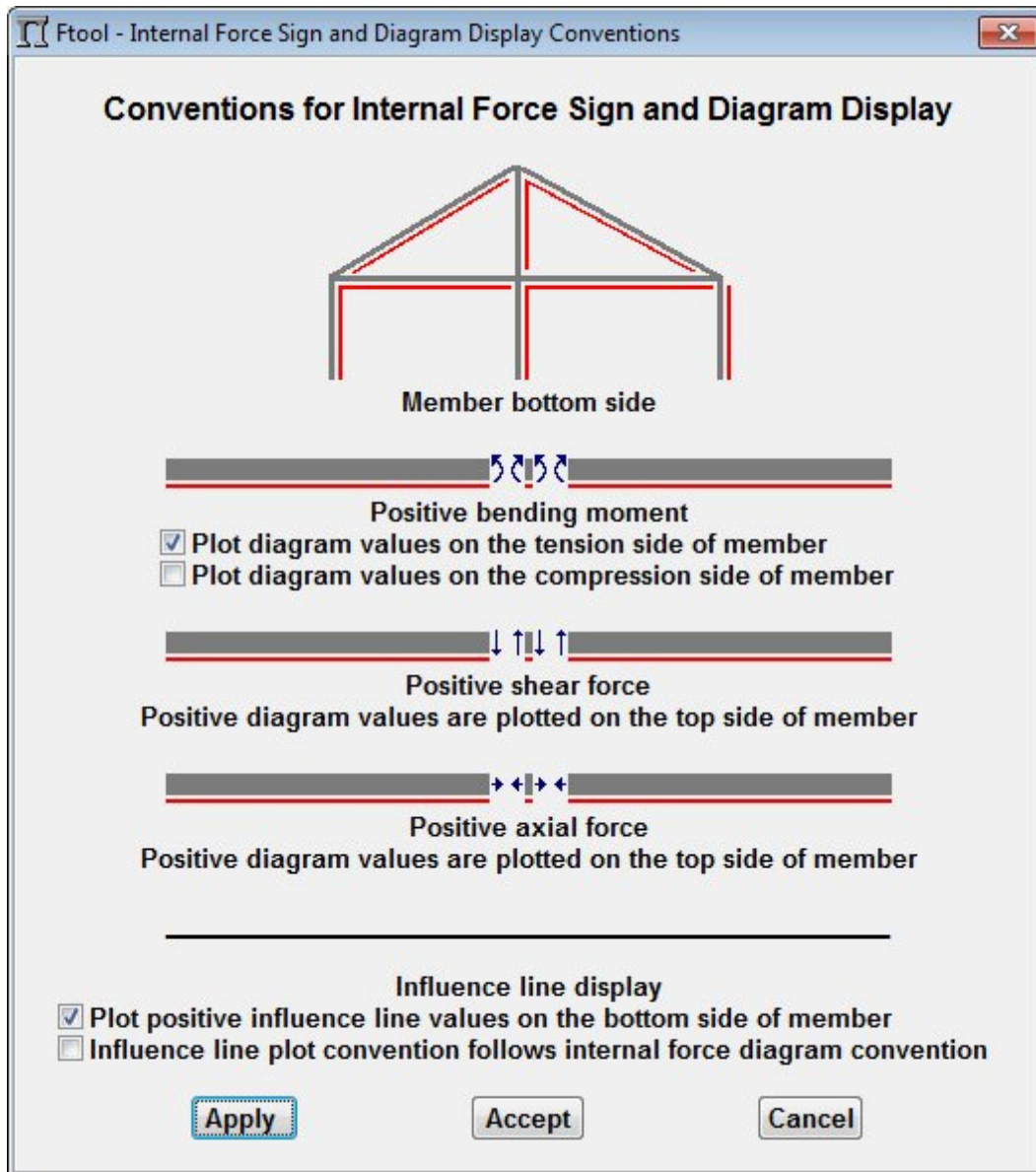
O traçado das envoltórias é feito por interpolação de resultados de mínimos e máximos calculados em seções transversais selecionadas automaticamente ao longo das barras da estrutura. Para cada seção transversal selecionada, o programa traça a linha de influência correspondente e determina as posições críticas do trem-tipo corrente que provocam os valores mínimo e máximo naquela seção. As envoltórias são diagramas que interpolam linearmente os valores mínimos e máximos determinados nas seções transversais selecionadas. O mesmo tamanho de passo utilizado para o traçado dos diagramas de esforços internos, configuração deformada ou linhas de influência é adotado para a seleção das seções transversais utilizadas no cálculo das envoltórias. Caso a opção relevante esteja ativa (ver acima), a envoltória é então superposta ao diagrama de esforços estáticos.

Resultados pontuais das envoltórias são consultados selecionando um ponto em uma barra. Os valores mínimo e máximo das envoltórias no ponto selecionado são mostrados na linha de mensagens no topo da tela. Se o botão direito do mouse for utilizado, resultados adicionais são mostrados na área lateral da tela (veja seção *Resultados Pontuais*).

Neste caso não é permitido fazer transformações nos objetos.

## Convenção de Sinais para Esforços Internos

A convenção de sinais para esforços internos pode ser visualizada no programa selecionando a opção *Sign Convention* do menu *File*. Quando isso é feito aparece um diálogo na tela que permite visualizar a convenção de sinais e definir o padrão para traçado de diagramas de esforços internos e linhas de influência.



- **Fibras superiores e inferiores**

A convenção de sinais para esforços internos depende da definição de quais são as fibras inferiores e superiores das seções transversais das barras. No FTOOL, nas barras horizontais e inclinadas, as fibras inferiores são as fibras de baixo quando se olha o eixo vertical da tela na sua orientação natural (cabeça do observador para cima). Nas barras verticais as fibras inferiores são as da direita. A figura no topo do diálogo de convenção de sinais indica as fibras inferiores de uma estrutura que contém barras com todas as direções possíveis.

- **Convenção de sinais e padrões para traçado de diagramas**

O FTOOL adota a seguinte convenção para os sinais dos esforços internos e para o desenho dos diagramas:

- *Esforços normais (axiais):*

Esforços normais positivos são de tração e negativos de compressão. Na linha de mensagem também é indicado se é compressão ou tração. Valores positivos são desenhados do lado das fibras superiores e negativos do outro lado.



- **Esforços cortantes:**  
Esforços cortantes são positivos quando, entrando com as forças à esquerda de uma seção transversal (olhando com a cabeça voltada das fibras inferiores para as superiores), a resultante das forças na direção vertical local for no sentido para cima. Como para esforços axiais, valores positivos são desenhados do lado das fibras superiores e negativos do outro lado.



- **Momentos fletores:**  
Momentos fletores são positivos quando tracionam as fibras inferiores e negativos quando tracionam as fibras superiores. O diagrama de momentos fletores pode ser desenhado com valores positivos tanto do lado da fibra tracionada quanto do lado da fibra comprimida, sendo esta configuração definida através de uma opção específica no diálogo de convenções de sinais. O sinal negativo do momento fletor no diagrama pode ser mostrado como opção, que pode ser acionada no menu *Display* (veja seção de *Configurações*).



- **Traçado de linhas de influência**  
As linhas de influência de esforços internos em seções selecionadas seguem a convenção de sinais mostrada acima. O padrão para traçado das linhas de influência pode ser definido no diálogo de convenções de sinais. Existem duas opções: valores positivos são desenhados do lado das fibras inferiores ou o traçado da linha de influência de um determinado esforço interno segue o padrão descrito acima para traçado de diagrama do esforço interno correspondente.
- **Traçado de envoltórias de esforços**  
As envoltórias de esforços internos seguem a convenção de sinais descrita acima para traçado de diagrama do esforço interno correspondente.

## Escala dos Diagramas e das Linhas de Influência e Envoltórias de Esforços

Os diagramas de esforços, a configuração deformada, as linhas de influência e as envoltórias de esforços têm uma escala inicial definida na tela de forma que o valor máximo de um diagrama apareça razoavelmente na tela. Esta escala pode ser alterada utilizando o potenciômetro que fica à esquerda dos botões dos menus de resultados.

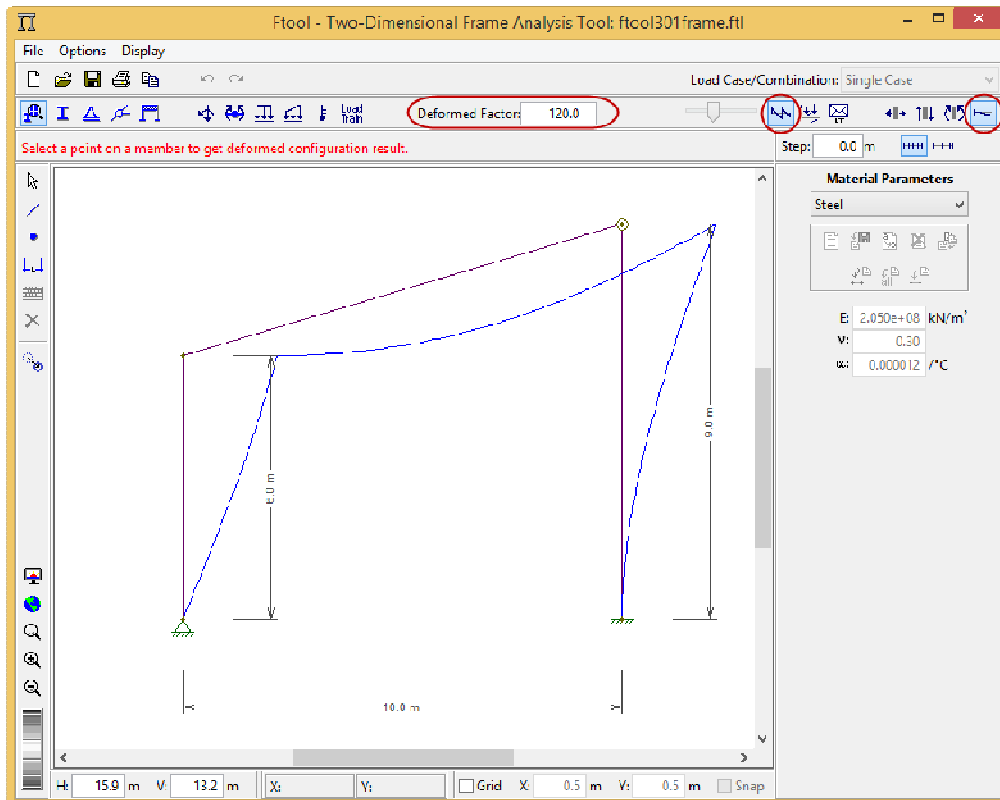
O fator de escala dos resultados também pode ser ajustado pelo usuário editando o valor mostrado na régua de controle, entre os botões de atribuição de cargas e o potenciômetro de resultados. Nos modos de diagramas e envoltórias de esforços, a escala é definida em termos de unidade de esforço por unidade de comprimento. Na configuração deformada da estrutura, o fator de escala é um fator de ampliação dos deslocamentos (*Deformed Factor*). Nas linhas de influência, o fator de escala é



um parâmetro adimensional que controla a escala do desenho da linha de influência em relação ao modelo.

As imagens das seções a seguir salientam a caixa de texto na interface gráfica onde o valor da escala pode ser editado e os botões que são selecionados para a obtenção dos resultados.

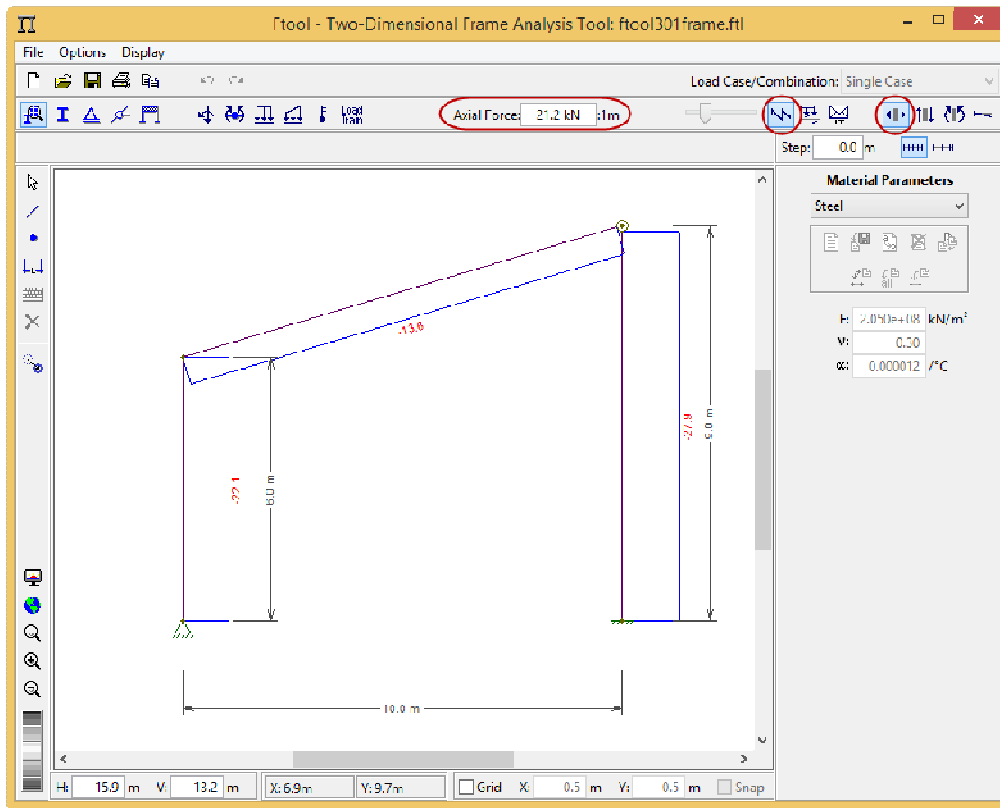
### Configuração deformada



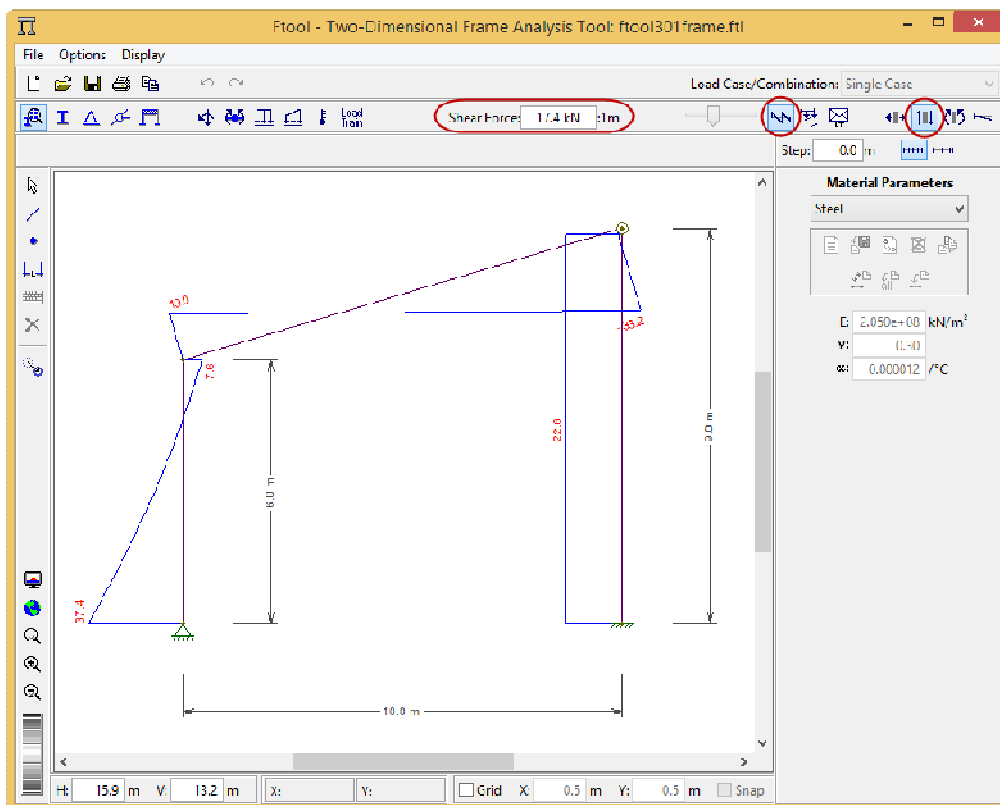




### Diagrama de esforços normais (axiais)

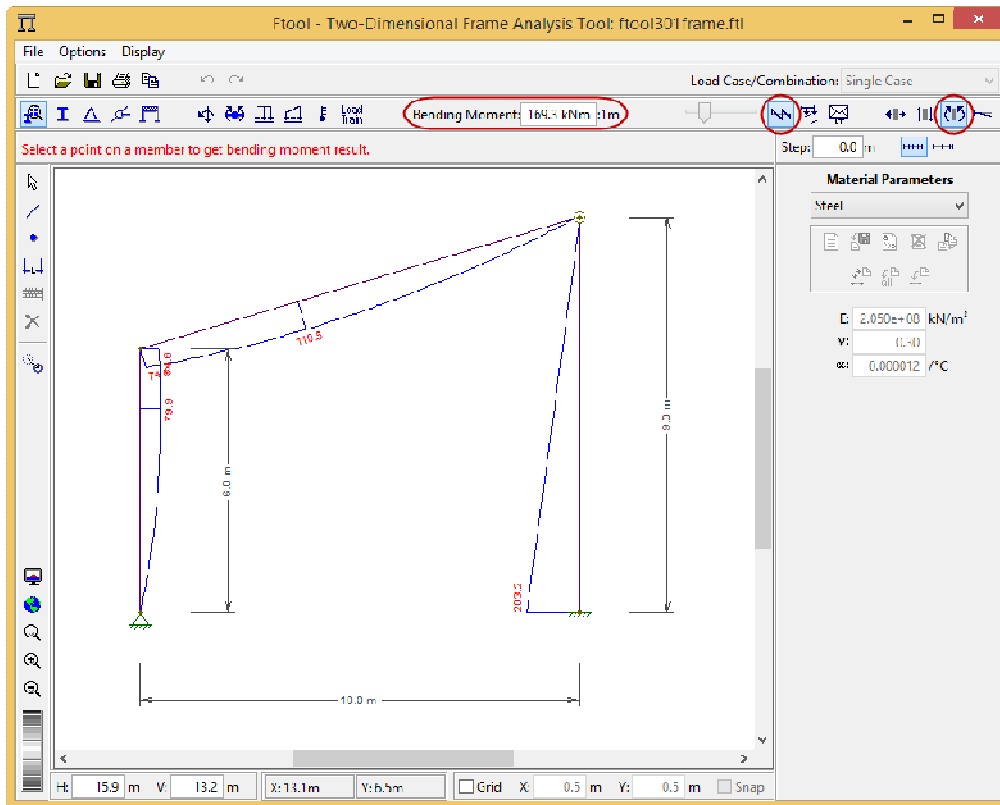


### Diagrama de esforços cortantes

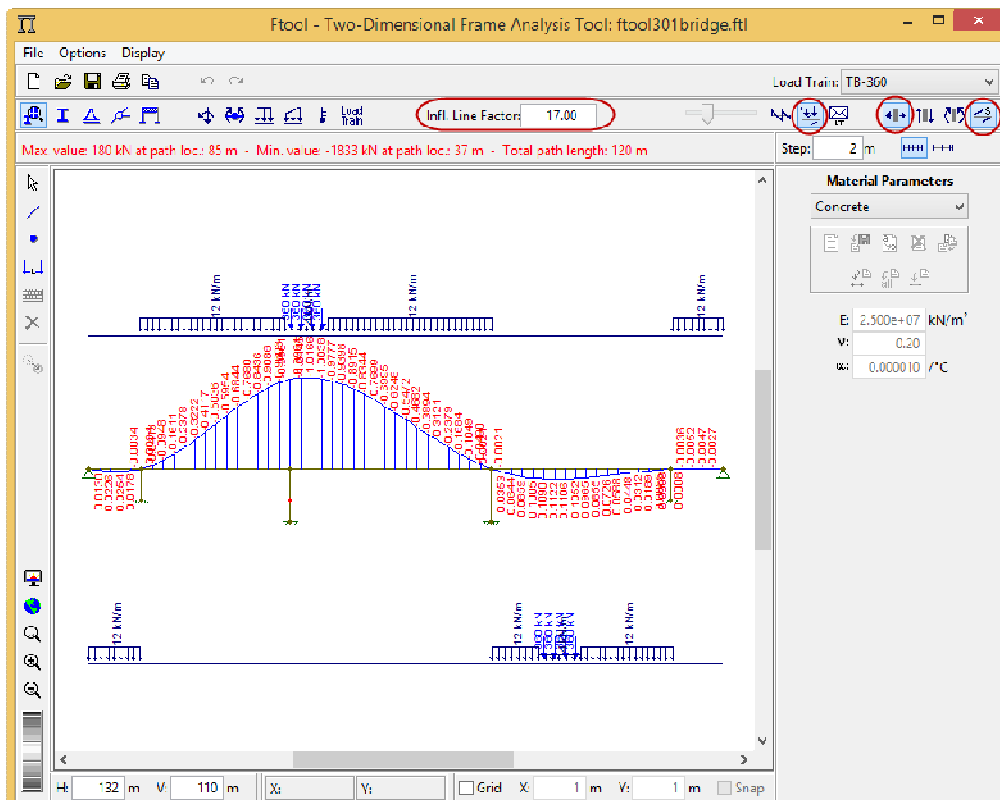




### Diagrama de momentos fletores

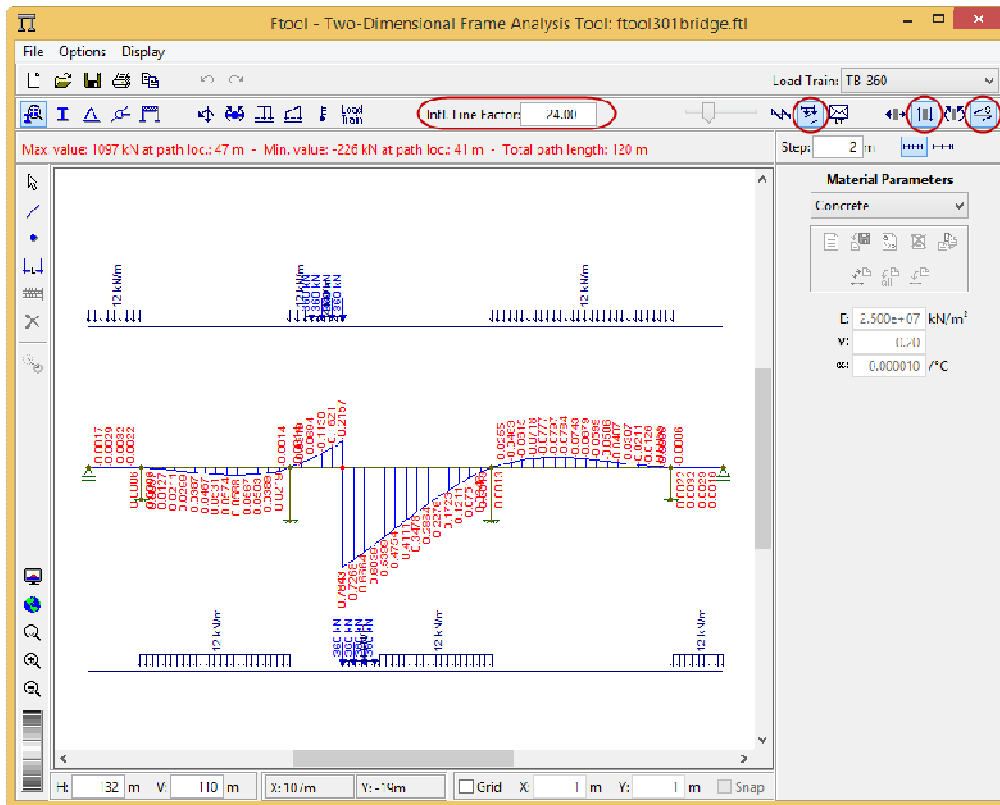


### Linha de Influência de esforços normais (axiais)

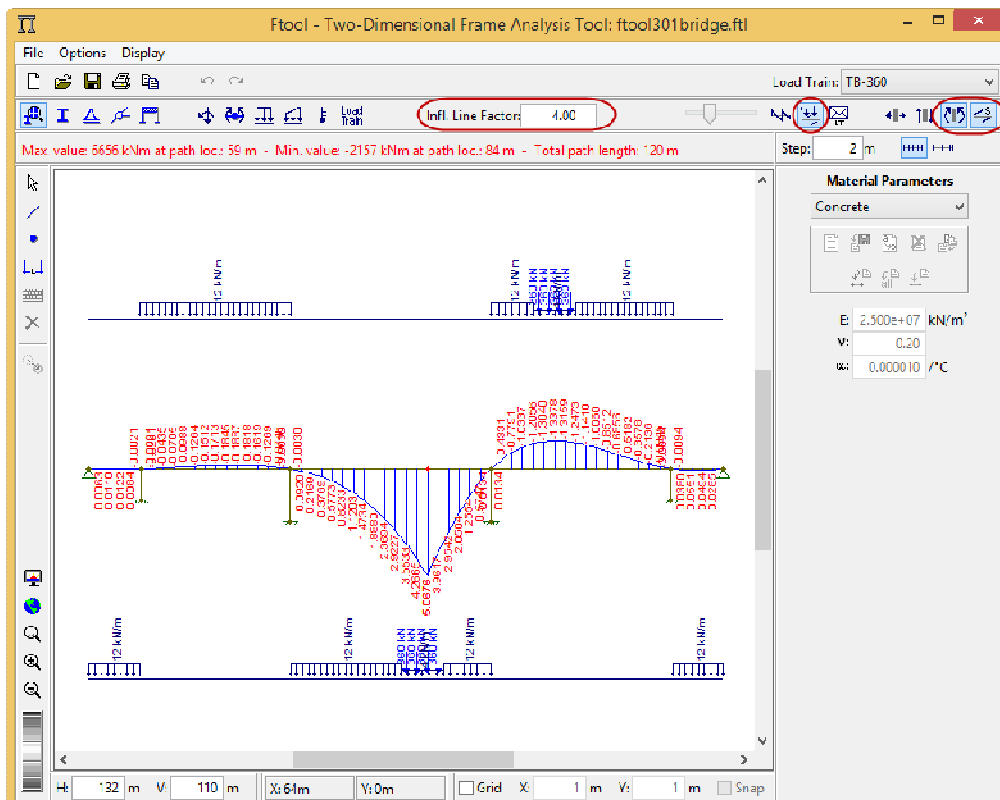




### Linha de Influência de esforços cortantes

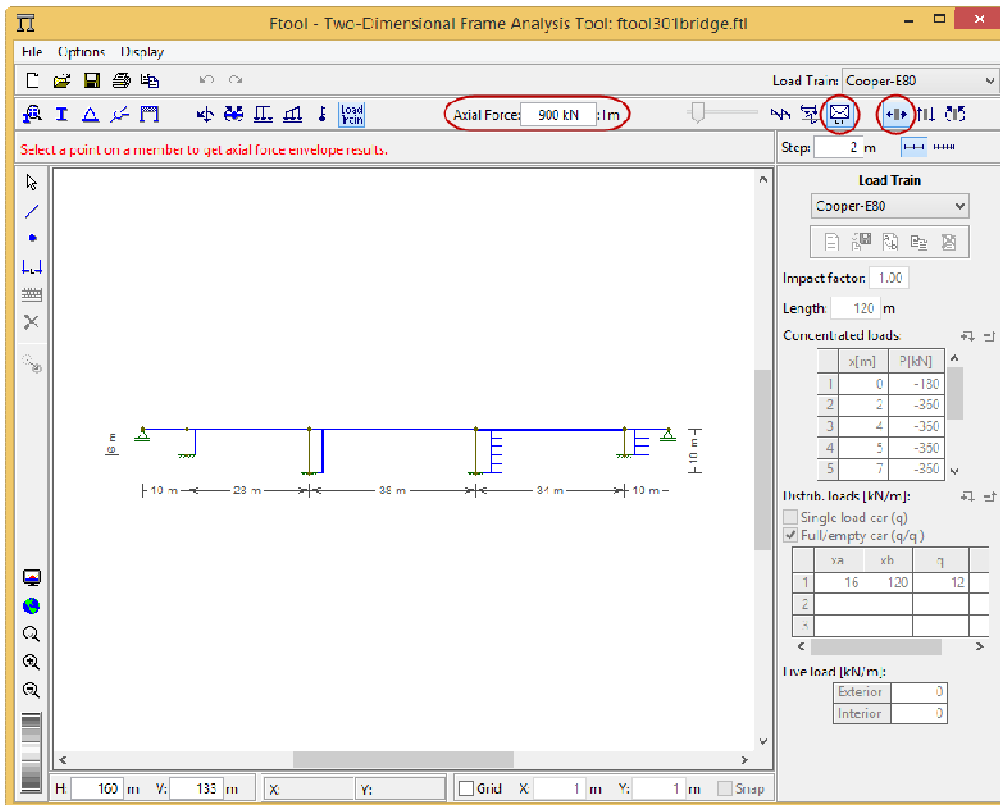


### Linha de Influência de momentos fletores

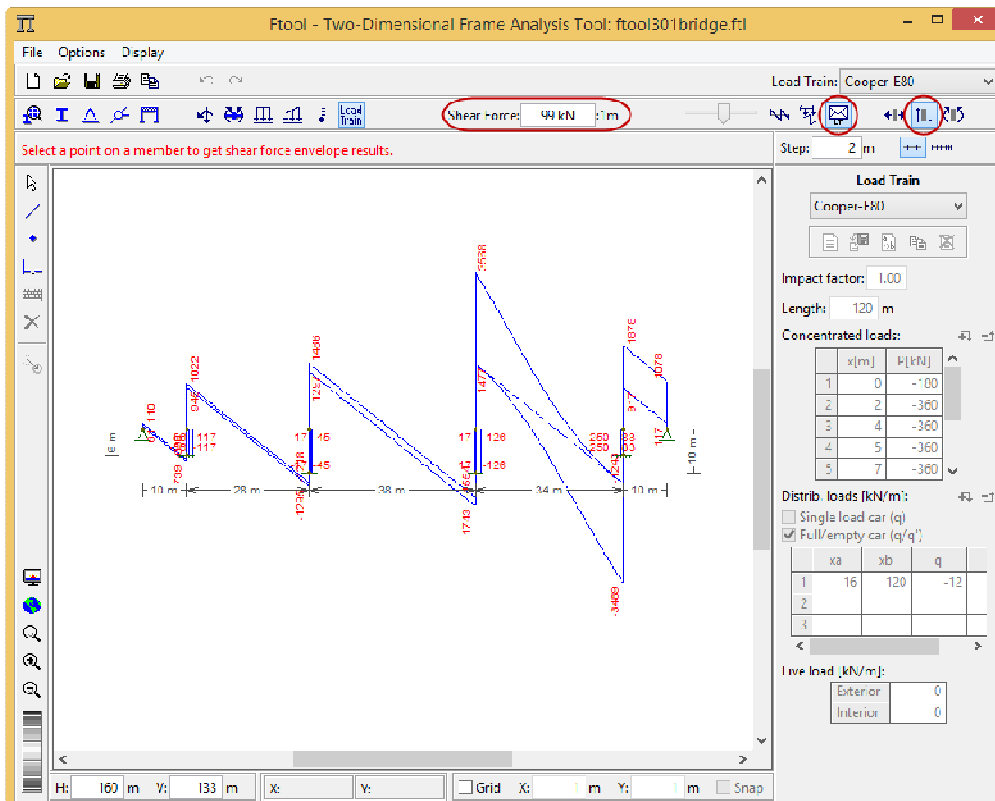




### Envoltórias de esforços normais para cargas móveis

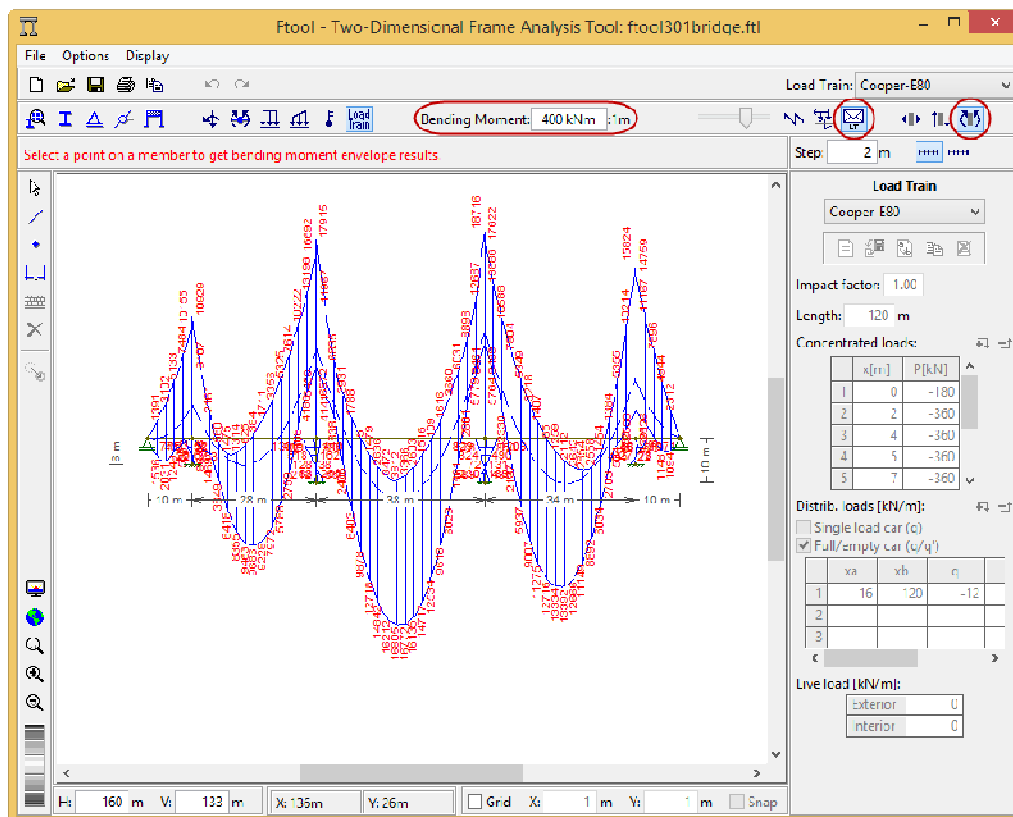


### Envoltórias de esforços cortantes para cargas móveis





## Envoltórias de momentos fletores para cargas móveis



### Resultados Pontuais

Em modo de Diagrama (*Diagram*), clicando em um ponto sobre uma barra com o botão esquerdo do mouse, aparece na barra de mensagem acima da área de desenho o valor do correspondente diagrama para aquele ponto. Também no modo de Diagrama, se o botão direito do mouse for clicado sobre um nó, informações sobre os resultados de análise do nó, tais como deslocamentos e reações de apoio, são indicados na área lateral.

Em modo de Linha de Influência (*Influence Line*), se a opção para selecionar uma nova seção para traçado NÃO estiver selecionada, "clicando" em um ponto sobre uma barra com o botão esquerdo do mouse, aparece na barra de mensagem acima da área de desenho o valor da correspondente linha de influência naquele ponto.

Em modo de Envoltória de Esforços de Cargas Móveis (*Load-train Envelope*), clicando em um ponto sobre uma barra com o botão esquerdo do mouse, aparece na barra de mensagem acima da área de desenho os valores máximo e mínimo da envoltória no ponto.

Os valores para cada passo ao longo das barras também podem ser mostrados no desenho dos diagramas, linhas de influência ou envoltórias. Isso é exemplificado na imagem abaixo, que mostra resultados de um diagrama de momentos fletores com valores de passos indicados no desenho e na área lateral na direita da tela para a barra selecionada. O tamanho do passo é definido pela caixa de texto *Step* no canto superior direito da tela. Existe uma opção específica para isso (*Step Values*) que pode ser acionada no menu *Display* (veja seção de *Controles de Visualização*).



Em todos os modos, se for usado o botão direito do mouse, aparecem na área lateral na direita da tela informações adicionais sobre a barra com respeito ao resultado que está sendo visualizado. Além disso, se um passo para consulta de resultados estiver definido (*Step*), serão exibidos na mesma área os resultados por passos ao longo da barra selecionada.

