



FTOOL

Um Programa Gráfico-Interativo para
Ensino de Comportamento de Estruturas
Versão Educacional 2.08
Agosto de 2000



Sumário

APRESENTAÇÃO	3
Visão Geral.....	3
Download	4
Histórico	4
Melhoramentos das versões 2.06 e 2.07 (abril de 2000)	5
Melhoramentos da versão 2.08 (agosto de 2000)	5
Créditos no Manual	6
Autoria do FTOOL.....	6
MANIPULAÇÃO DE ARQUIVOS	7
Menu File.....	7
Exportação de imagem através do Clipboard (Área de transferência).....	8
CRIAÇÃO E MANIPULAÇÃO DA ESTRUTURA.....	9
Menu de Edição.....	9
Criação de Barras e Nós	9
Criação de Linhas de Cota	9
Atração do Cursor (Snap).....	10
Modo Teclado	10
Modo Seleção.....	10
Menu de Undo e Redo	11
Menu Transform.....	11
CONTROLES DE VISUALIZAÇÃO.....	12
Controle de Visualização.....	12
Controle de Coordenadas	13
Menu Display	13
CONFIGURAÇÕES	14
Menu Options.....	14
Formatação de Unidades e Valores Numéricos.....	14
Sistemas de Unidades	15
ATRIBUTOS DE NÓS E BARRAS	17
Menu de Controle dos Atributos dos Nós e Barras	17
Características Comuns aos Submenus.....	17
Submenu de Parâmetros dos Materiais	18
Submenu de Propriedades das Seções Transversais	19
Submenu das Propriedades de Apoio.....	19
Submenu das Propriedades de Articulação das Barras	20
ATRIBUIÇÃO DE CARGAS.....	21
Menu de Controle das Cargas.....	21
Informações Gerais	21
Submenu de Cargas Concentradas	23
Submenu de Cargas Uniformes	23
Submenu de Cargas Lineares	24
Submenu de Variação de Temperatura	24
PÓS-PROCESSAMENTO.....	25
Menu de Pós-Processamento	25
Escala dos Diagramas	25
Resultados Pontuais	26
Convenção de Sinais para Esforços Internos	26



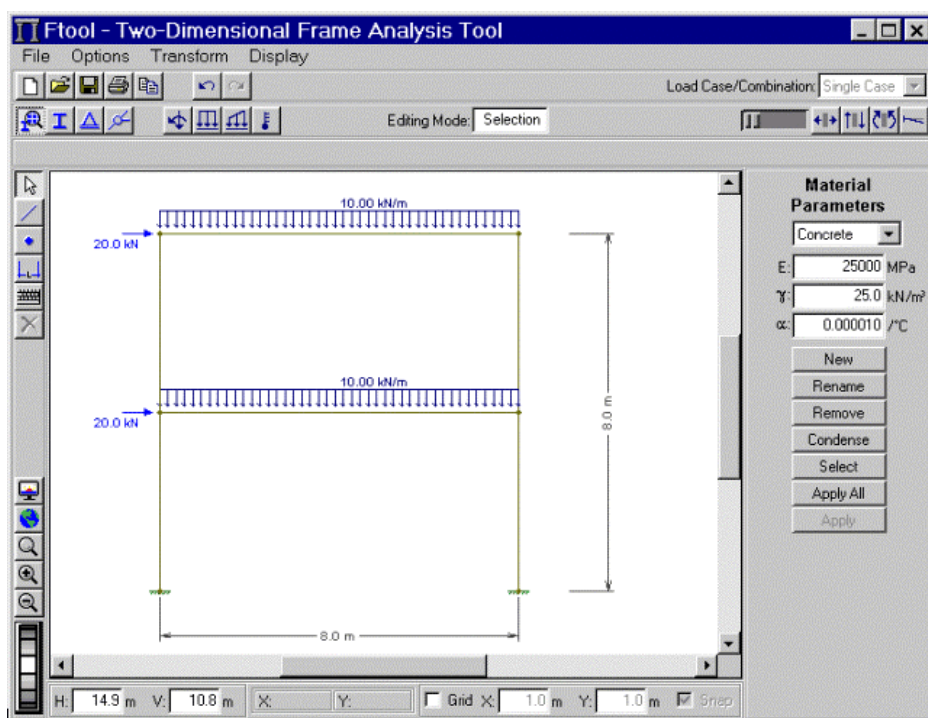
Apresentação

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), de uma análise numérica rápida e transparente, e de uma visualização de resultados rápida e efetiva (pós-processamento).

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.





Download

- Ftool Versão 2.08 para Windows:
<ftp://ftp.tecgraf.puc-rio.br/pub/lfm/ftool208win.zip>
- Ftool Versão 2.08 para Linux:
<ftp://ftp.tecgraf.puc-rio.br/pub/lfm/ftool208linux.tgz>
A versão disponibilizada é compatível com a biblioteca glibc 2.0 para Linux e utiliza as bibliotecas do OSF Motif (<http://www.openmotif.org>).
- Download deste manual em formato PDF:
<ftp://ftp.tecgraf.puc-rio.br/pub/lfm/ftoolman208.pdf>

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 Grupo de Tecnologia em Computação Gráfica (Tecgraf/PUC-Rio) 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 do programa os 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, que trabalhou no desenvolvimento da biblioteca de funções HED (*Half-Edge Data struture*), 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.

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. Deste então sucessivas versões do FTOOL foram lançadas, cada uma com pequenos melhoramentos, até a última versão 2.07 de abril de 2000.

Neste período, 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 brasileiras (PUC-Rio, EPUSP, UERJ, UNICAMP, entre outras) e estrangeiras (BUCKNELL, CORNELL).



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.

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.

Créditos no Manual

Este manual foi desenvolvido por Luís Fernando Kaefer.

Aluno de Doutorado,

Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (EPUSP)

Departamento de Engenharia de Estruturas e Fundações (PEF) e

Laboratório de Mecânica Computacional (LMC).

URL: <http://www.lmc.ep.usp.br/people/lfk>

Este manual foi feito utilizando o *toolkit* ManJS, desenvolvido em JavaScript por

Antonio Escaño Scuri (<http://www.tecgraf.puc-rio.br/~scuri/manjs>).

Autoria do FTOOL

Luiz Fernando Campos Ramos Martha

Professor Associado

Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro (PUC-Rio)

Departamento de Engenharia Civil (DEC) e

Grupo de Tecnologia em Computação Gráfica (Tecgraf/PUC-Rio)

Rua Marquês de São Vicente, 225, Gávea

22453-900 - Rio de Janeiro - BRASIL

Fone: (0XX+21) 512-5984

Fax: (0XX+21) 511-1546

e-mail: lfm@tecgraf.puc-rio.br

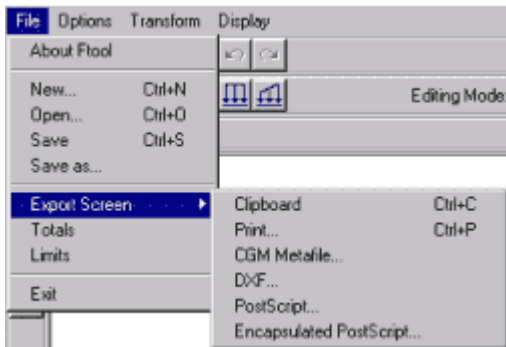
URL: <http://www.tecgraf.puc-rio.br/~lfm>



Manipulação de Arquivos

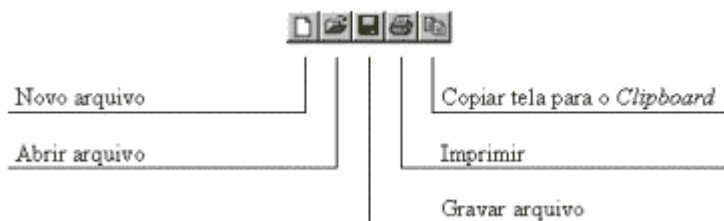
Menu File

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



O Menu File contém opções de informações sobre o programa (**About Ftool**) e opções para criar um novo modelo (**New**), para carregar na memória o modelo gravado em um arquivo armazenado em disco (**Open**), para gravar o modelo corrente em um arquivo em disco com o mesmo nome (**Save**) ou com um nome diferente (**Save as**), para exportar a imagem da tela (**Export Screen**) para a área de transferência do Windows (**Clipboard**) ou arquivos com formatos específicos, para verificar o número total de barras e nós existentes no modelo (**Totals**), para determinar o limite da janela de trabalho (**Limits**) e por fim a opção para de saída do programa (**Exit**).


Os comandos mais utilizados do menu **File** foram agrupados no conjunto de botões abaixo do menu **File**.





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

Para obter os melhores resultados, siga os seguintes passos:

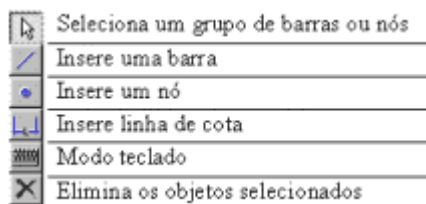
- Escolha a opção *Export Screen/Clipboard* do menu *File*, ou aperte o botão , ou ainda tecle *Ctrl+C* (clitando com o mouse antes na tela principal para deixar o foco nela). Isso vai copiar **toda** a imagem da tela principal do FTOOL para o *Clipboard* (Área de transferência). Observe que toda a imagem 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 Special...* (*Colar Especial...*) do menu *Edit (Editar)*. Em seguida, selecione a opção *Picture (Figura)*. **NÃO** selecione a opção *Picture (Enhanced Metafile) (Figura (Metarquivo avançado))* pois isso vai criar uma figura com tamanho demasiadamente grande. Por outro lado, a opção *Picture (Figura)* vai gerar uma imagem pequena que pode ser ampliada precionando o botão do mouse sobre um dos cantos da figura selecionada. Esta figura é gerada pequena pois foi salva com um tamanho cinco vezes maior do que a tela do Ftool. Isto resulta em uma melhor precisão de desenho.
- Edite a figura resultante clicando duas vezes com o mouse na figura. Pode acontecer que círculos resultantes de rótulas ou momentos apareçam preenchidos de preto ao se editar a figura. Não se conseguiu descobrir como evitar isso. Para corrigir, basta selecionar o objeto e retirar a cor de fundo ou preencher de branco (ou da cor do fundo). Você pode engrossar as linhas (1/2 pt é uma boa sugestão), trocar as cores dos elementos, acrescentar cotas, 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 no Ftool. 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.



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 "clique-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 "clique" 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.

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 correspondente no menu de edição e "clique" 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.

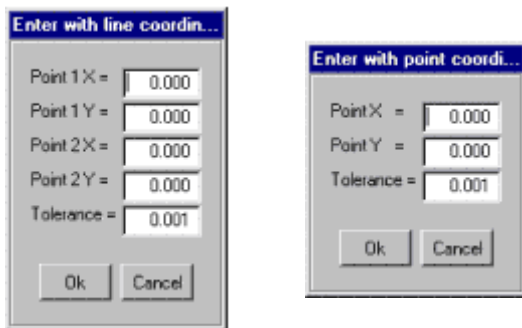


Atração do Cursor (*Snap*)


A inserção de barras ou nós 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 Visualização).


Modo Teclado

Selecionando o modo teclado (botão ) , pode-se criar nós e barras 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, "clikando" 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 "clikando" 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 Menu *Transform*). 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.



Menu *Transform*

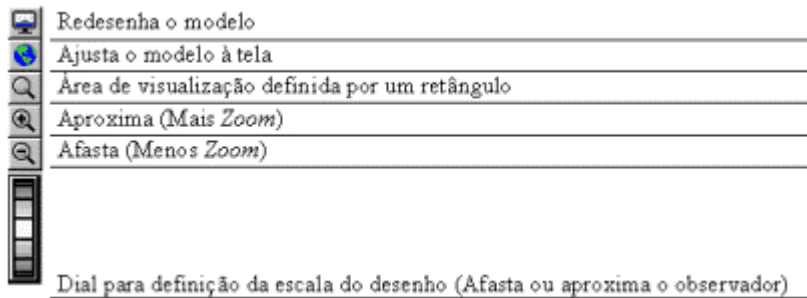


O menu *Transform* fornece opções para manipular entidades já criadas. Existem opções de mover (*Move*), espelhar (*Mirror*), rotacionar (*Rotate*), aplicar um fator de escala (*Scale*) e repetir a última transformação (*Repeat*). Selecionando *Leave Original*, a transformação é aplicada em uma cópia das entidades selecionadas.

Controles de Visualização

Controle de Visualização

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



A opção para redesenhar o modelo é necessária para "limpar" o desenho da estrutura quando modificações locais, que não provocam um redesenho global, deixam "impurezas" na imagem.

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 labels *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*.

Tamanho da área de trabalho		Aciona o <i>Grid</i>	
<div></div>		Espaçamento dos pontos do <i>Grid</i>	
H: 16.54 m	V: 12.00 m	<input type="checkbox"/> Grid X: 1.00 m Y: 1.00 m	<input type="checkbox"/> Snap
Posição do cursor		Aciona o <i>Snap</i>	

Menu *Display*

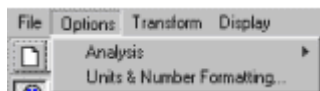
Neste menu o usuário pode escolher qual a cor de fundo de tela, tendo para cada cor de fundo selecionada diferentes cores relacionadas com as barras e nós do modelo. Outra opção é trabalhar com todos os elementos do modelo com a cor preta e fundo de tela branco. Isto permite que a imagem do modelo possa 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.

File Options Transform Display	
✓ White Background	Fundo de tela Branco
Gray Background	Cinza
Black Background	Perto
Black Foreground	
Member Orientation	Modelo com todos elementos pretos
✓ Loading	Orientação do Elemento
Loading with Results	Carregamento
✓ Load Values	Carregamento e Resultados
✓ Supports	Valores do carregamento
Result Values	Suportes
Reactions	Valores dos resultados
Reaction Values	Reações nos apoios
Node Numbers	Valores das reações
Member Numbers	Numeração dos nós
	Numeração dos elementos

Configurações

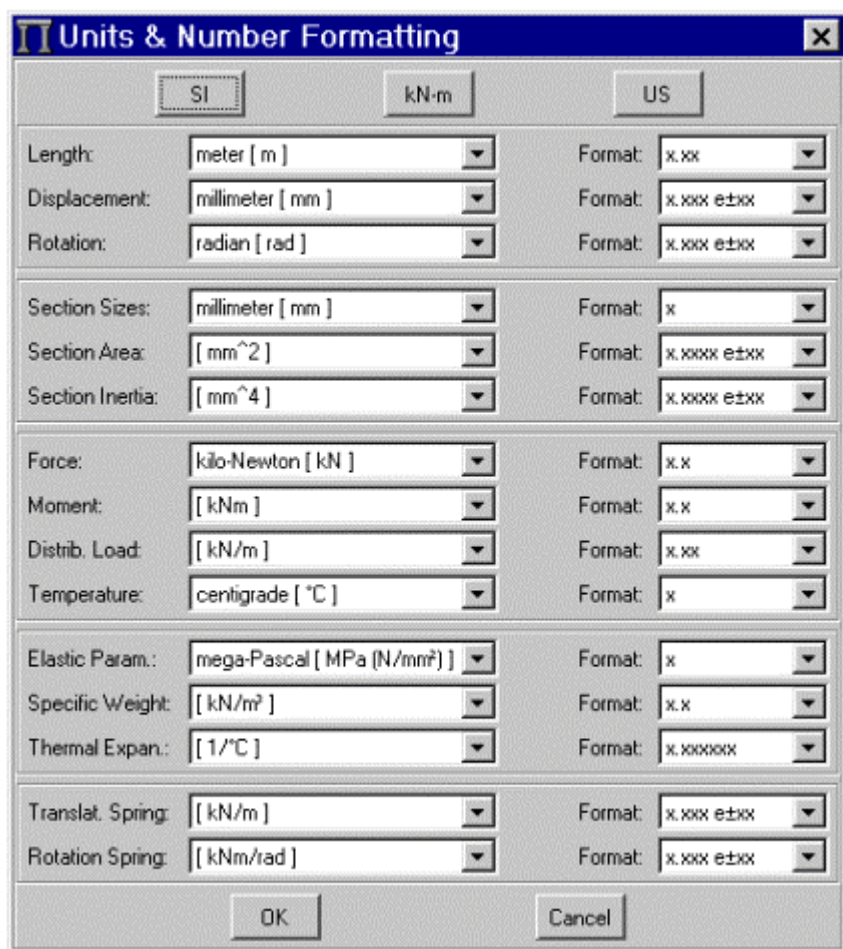
Menu Options

Atualmente as únicas configurações possíveis no FTOOL são as de sistemas de unidades e de formatação de valores numéricos. A opção *Units & Number Formatting* do menu *Options* faz exibir um diálogo que permite estas configurações.



Formatação de Unidades e Valores Numéricos

Através do diálogo de interface *Units & Number Formatting*, o usuário pode definir unidades para as 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 diálogo. O usuário pode sempre alterar uma unidade ou formatação padrão para o que achar mais conveniente.



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



Sistemas de Unidades

- As tabelas a seguir mostram, para cada parâmetro usado, as unidades implementadas no FTOOL e os correspondentes 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:
 $1 \text{ tf} = 10^3 \text{ kg} \cdot g$
 Para conversão, foi adotada a aceleração da gravidade $g = 9.81 \text{ m/seg}^2$.
- Unidades Pascal:
 $1 \text{ Pa} = 1 \text{ N/m}^2$
 $1 \text{ kPa} = 10^3 \text{ N/m}^2 = 1 \text{ kN/m}^2$
 $1 \text{ MPa} = 10^6 \text{ N/m}^2 = 10^3 \text{ kN/m}^2 = 1 \text{ N/mm}^2$
 $1 \text{ GPa} = 10^9 \text{ N/m}^2 = 10^6 \text{ kN/m}^2 = 1 \text{ kN/mm}^2$

Parâmetro	Unidades SI			Unidades US		
	Símbolo	Nome	Fator da unid. ref. SI	Símbolo	Nome	Fator da unid. ref. SI
Distância e Comprimento	m	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
	m	metro	1.0			
Rotação	rad	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
	m	metro	1.0			
Area de Seção	mm ²		0.000001	in ²	polegada ²	0.0254 ²
	cm ²		0.0001	ft ²	pé ²	0.3048 ²
	m²		1.0			
Momento de inércia	mm ⁴		1.0e-12	in ⁴	polegada ⁴	0.0254 ⁴
	cm ⁴		1.0e-08	ft ⁴	pé ⁴	0.3048 ⁴
	m⁴		1.0			
Força	kN	kilo-Newton	1.0	kip	kilo-libra	4.448
	N	Newton	0.001	lb	libra (força)	0.004448
	tf	tonel. força	9.81			
Momento	kNm		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			
	tfc		0.0981			
	kNmm		0.001			
	Nmm		0.000001			
	tfrm		0.00981			
Carga Distribuída	kN/m		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/pé	0.1751
	N/cm		0.1			
	tf/cm		981.0			
	kN/mm		1000.0			
	N/mm		1.0			
	tf/mm		9810.0			

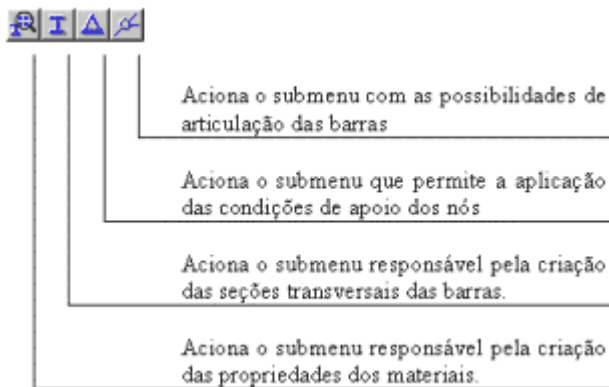


Parâmetro	Unidades SI			Unidades US		
	Símbolo	Nome	Fator da unid. ref. SI	Símbolo	Nome	Fator da unid. ref. SI
Temperatura	°C	grau Celsius	1.0	°F	grau Fahrenheit	$(T-32) \times 5/9$
Módulo de Elasticidade	MPa GPa tf/mm ² N/cm ² kN/cm ² tf/cm ² Pa kN/m² tf/m ²	mega-Pascal giga-Pascal Pascal (N/m ²) kilo-Pascal	1000.0 1000000.0 9810000.0 10.0 10000.0 98100.0 0.001 1.0 9.81	ksi psi k/ft ² lb/ft ²	klb./polegada ² libra/polegada ² klb./pé ² libra/pé ²	6895.0 6.895 47.878 0.047878
Peso Específico	kN/m³ N/m ³ tf/m ³ kN/cm ³ N/cm ³ tf/cm ³ kN/mm ³ N/mm ³ tf/mm ³		1.0 0.001 9.81 1000000.0 1000.0 9810000.0 1.0e+09 1000000.0 9.81e+09	pcf k/ft ³ lb/in ³ k/in ³	libra/pé ³ klb./pé ³ libra/polegada ³ klb./polegada ³	0.1571 157.1 271.434 271434.0
Coef. de Dilataç. Térmica	1/°C		1.0	1/°F		1.8
Rigidez Translacional de Mola	kN/m N/m tf/m kN/cm N/cm tf/cm kN/mm N/mm tf/mm		1.0 0.001 9.81 100.0 0.1 981.0 1000.0 1.0 9810.0	k/ft lb/ft k/in lb/in	klb./pé libra/pé klb./polegada libra/pé	14.593 0.014593 175.1 0.1751
Rigidez Rotacional de Mola	kNm/rad Nm/rad tfm/rad kNcm/rad Ncm/rad tfcm/rad kNmm/rad Nmm/rad tfmm/rad kNm/deg Nm/deg tfm/deg kNcm/deg Ncm/deg tfcm/deg kNmm/deg Nmm/deg tfmm/deg		1.0 0.001 9.81 0.01 0.00001 0.0981 0.001 0.000001 0.00981 180.0/π 0.18/π 1765.8/π 1.8/π 0.0018/π 17.658/π 0.18/π 0.00018/π 1.7658/π	ft-k/rad ft-lb/rad in-k/rad in-lb/rad ft-k/deg ft-lb/deg in-k/deg in-lb/deg	pé-klb./rad pé-libra/rad poleg.klb./rad poleg.libra/rad pé-klb./grau pé-libra/grau poleg.klb./grau poleg.libra/grau	1.356 0.001356 0.11298 0.00011298 244.08/π 0.24408/π 20.3364/π 0.0203364/π

Atributos de Nós e Barras

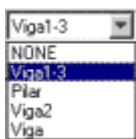
Menu de Controle dos Atributos dos Nós e Barras

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.

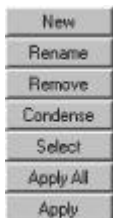


Características Comuns aos Submenus

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.



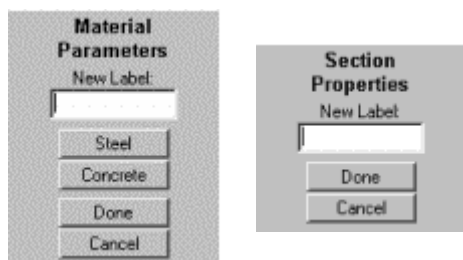
Os botões da próxima figura permitem a manipulação destes conjuntos de propriedades.



- **New:** Cria um novo conjunto de propriedades.
- **Rename:** Altera o nome do conjunto de propriedades corrente.
- **Remove:** Exclui o conjunto de propriedades corrente.
- **Condense:** Condensa o conjunto de propriedades, excluindo aquelas que não estiverem sendo usadas.
- **Select:** Seleciona elementos que possuem o conjunto de propriedades corrente ou atual.
- **Apply All:** Aplica o conjunto de propriedades corrente a todos elementos (presente em Material Parameters e Section Properties).
- **Apply:** Aplica o conjunto de propriedades corrente ao elemento.



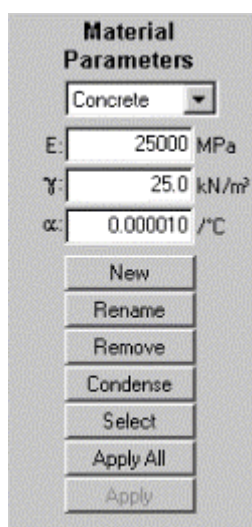
Para criar um novo conjunto de propriedades, deve-se selecionar o botão *New* e atribuir um nome diferente das outras propriedades.



Quando se cria um conjunto de materiais, selecionando os botões *Steel* e *Concrete* cria-se automaticamente os materiais aço ($E = 205 \text{ GPa}$) e concreto ($E = 25 \text{ GPa}$).

Submenu de Parâmetros dos Materiais

Os parâmetros de material considerados são o módulo de elasticidade, o peso específico (não utilizado para nada no momento) e coeficiente de dilatação térmica.





Submenu de Propriedades das Seções Transversais

Deve-se fornecer a área, o momento de inércia em relação ao centro de gravidade da seção transversal, a altura da seção e a posição do centro de gravidade.

Submenu das Propriedades de Apoio

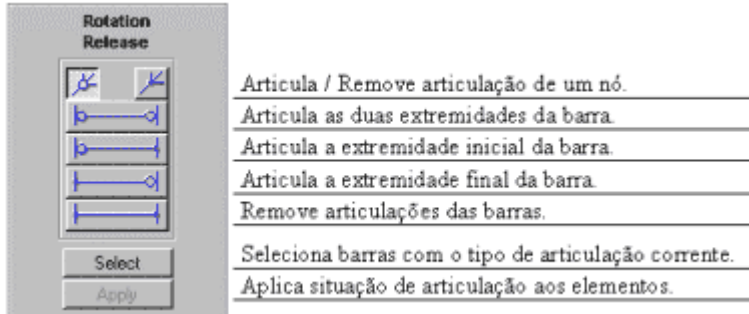
Através deste submenu, o usuário define as componentes de deslocamentos na direção x e y e a rotação em torno do eixo z estão liberados ou não. Define-se também o ângulo do apoio, bem como se há algum deslocamento ou rotação prescrita ou apoio elástico em qualquer das direções.

Support Conditions	
Displac. X	Spring
<input checked="" type="checkbox"/> Free <input type="checkbox"/> Fix	<input type="checkbox"/> Kx
Displac. Y	Spring
<input checked="" type="checkbox"/> Free <input type="checkbox"/> Fix	<input type="checkbox"/> Ky
Rotation Z	Spring
<input checked="" type="checkbox"/> Free <input type="checkbox"/> Fix	<input type="checkbox"/> Kz
Angle: 0.0 deg	Ângulo de rotação do apoio
<input type="checkbox"/> Prescribed Displacem.	Prescreve deslocamentos
Dx: mm	Deslocamento aplicado (no eixo "X" global).
Dy: mm	Deslocamento aplicado (no eixo "Y" global).
Rz: rad	Rotação aplicada.
Spring Stiffness Values	Constante de mola (na direção do eixo "X" global)
Kx: kN/m	Constante de mola (na direção do eixo "Y" global)
Ky: kN/m	Constante de mola (na direção do eixo "Z" global)
Kz: kNm/rad	
Reset	Limpa os parâmetros
Select	Seleciona nós que possuem a mesma condição de apoio atual.
Apply	Aplica os parâmetros definidos aos nós.



Submenu das Propriedades de Articulação das Barras

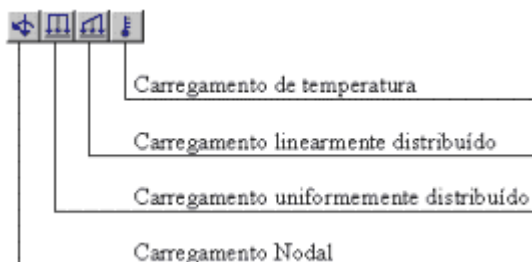
Este menu permite que se atribuam rótulas a barras ou nós.



Atribuição 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, cargas uniformemente ou linearmente distribuídas aplicadas a barras e variações de temperatura aplicadas a barras.



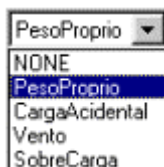
Informações Gerais

- **Caso de carregamento único**

Todas as cargas aplicadas a uma estrutura 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.



- **New:** Cria uma nova carga.
- **Rename:** Altera o nome da carga corrente.
- **Remove:** Exclui a carga corrente.
- **Condense:** Condensa a lista de cargas, excluindo aquelas que não estiverem sendo usadas.
- **Select:** Seleciona elementos que possuem a carga corrente.
- **Apply:** Aplica a carga corrente às barras ou nós selecionados.

A carga corrente é a que vai ser aplicada à entidades selecionadas. Deve-se selecionar as barras ou nós de interesse e aplicar a carga através do botão **Apply**.

- **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, e o eixo Y é vertical com sentido de baixo para cima.

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 y local é perpendicular ao eixo x e o seu sentido é tal que o produto vetorial $x \times y$, usando a regra da mão direita, resulta em um vetor saindo do plano da estrutura.

- **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.

- **Sistemas de eixos para 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).

- **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.



Submenu de Cargas Concentradas

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

Nodal Loading

F

Fx: 10.0 kN

Fy: 0.0 kN

Mz: 0.0 kNm

New

Rename

Remove

Condense

Select

Apply

Submenu de Cargas Uniformes

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

Uniform Loading

Q

Direction

☒ Global

☐ Local

Qx: 0.00 kN/m

Qy: 0.00 kN/m

New

Rename

Remove

Condense

Select

Apply



Submenu de Cargas Lineares

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

The 'Linear Loading' dialog box features a title bar with the text 'Linear Loading'. Below the title bar is a dropdown menu currently set to 'G'. Underneath is a 'Direction' section with two radio buttons: 'Global' (which is selected) and 'Local'. Below this are four input fields for load components: 'Pxi' (0.00 kN/m), 'Pyi' (0.00 kN/m), 'Pxj' (0.00 kN/m), and 'Pyj' (0.00 kN/m). At the bottom of the dialog are six buttons: 'New', 'Rename', 'Remove', 'Condense', 'Select', and 'Apply'.

Submenu 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 'Thermal Loading' dialog box has a title bar with the text 'Thermal Loading'. Below the title bar is a dropdown menu currently set to 'TempVar'. Underneath are two input fields for temperature variation: 'Ty+' (set to -5 °C) and 'Ty-' (set to 10 °C). At the bottom of the dialog are six buttons: 'New', 'Rename', 'Remove', 'Condense', 'Select', and 'Apply'.



Pós-Processamento

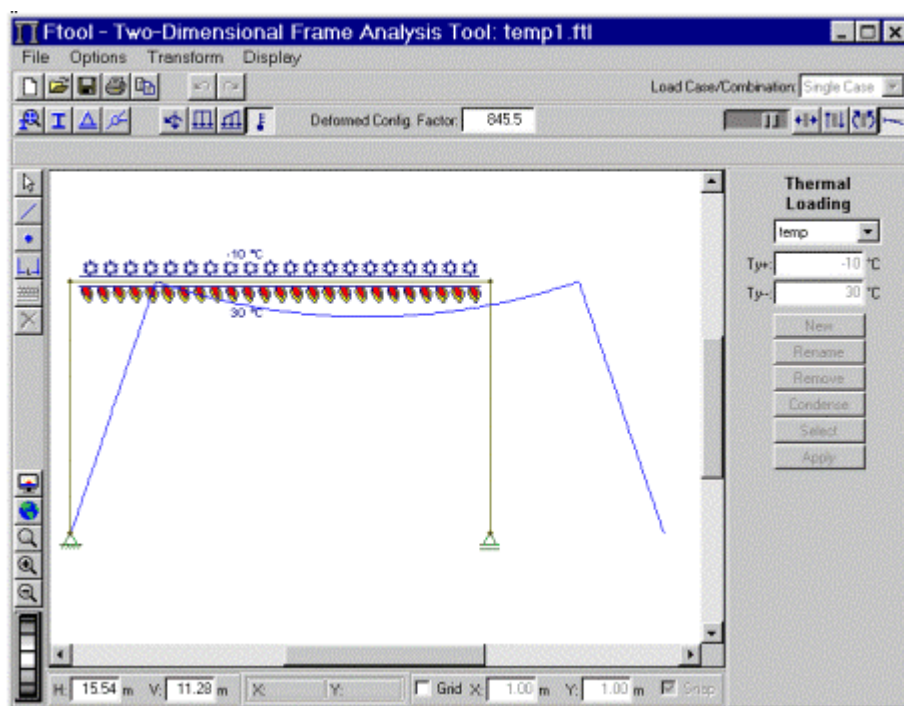
Menu de Pós-Processamento

A estrutura é automaticamente calculada quando algum botão do pós-processamento é selecionado. Cada botão é responsável pela visualização de um tipo de resultado:



Escala dos Diagramas

Os diagramas de esforços e a configuração deformada têm uma escala inicial definida na tela de forma que o valor máximo de um diagrama apereça razoavelmente na tela. Esta escala pode ser alterada utilizando o potenciômetro que fica à esquerda dos botões do menu de resultados. No caso da configuração deformada da estrutura, o fator de escala dos deslocamentos da estrutura (*Deformed Config. Factor*) é mostrado na régua de controle, entre os botões de atribuição de cargas e os botões de pós-processamento. Este fator pode ser editado pelo usuário.





Resultados Pontuais

"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 diagrama correspondente para aquele ponto. Se for usado o botão direito do mouse, aparecem na área lateral da tela informações adicionais sobre a barra com respeito ao diagrama sendo visualizado. O mesmo ocorre 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.

Convenção de Sinais para Esforços Internos

- **Os sinais dos esforços internos fornecidos pelo FTOOL não são mostrados no desenho dos diagramas de esforços.**

Esta é uma questão sempre polêmica. Existem algumas propostas para convenção de sinais de esforços internos em barras de quadros. Entretanto, livros e profissionais utilizam diversas convenções. Por esse motivo, optou-se por não colocar o sinal nos valores que aparecem no desenho dos diagramas de esforços. Por outro lado, os sinais aparecem na linha de mensagem no topo da tela quando se seleciona com o botão do mouse um ponto na barra para se consultar valores do diagrama que estiver ativo na tela.

- **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.

- **Convenção de sinais.**

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

- *Esforços normais (axiais):*

Esforços normais positivos são de tração e negativos de compressão. Na linha de mensagem, além do sinal do valor do esforço normal, 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. O sinal aparece na linha de mensagem quando um ponto na barra é selecionado.

Como para esforços axiais, valores positivos são desenhados do lado das fibras superiores e negativos do outro lado.

- *Momentos fletores:*

O diagrama de momentos fletores é sempre desenhado do lado da fibra tracionada. O sinal que aparece na linha de mensagem adota a seguinte convenção: momentos são positivos quando tracionam as fibras inferiores e negativos quando tracionam as fibras superiores.