

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS  
ESCOLA DE ENGENHARIA  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE ESTRUTURAS  
CURSO DE ESPECIALIZAÇÃO EM ESTRUTURAS

**DESENVOLVIMENTO DE SOFTWARE PARA  
DIMENSIONAMENTO DE SEÇÕES DE CONCRETO  
ARMADO RETANGULARES E T SUBMETIDAS À FLEXÃO  
NORMAL SIMPLES E COMPOSTA**

AUTOR: BRUNO CANOZA DA SILVA  
PROF. ORIENTADOR: NEY AMORIM SILVA

2016

AUTORIZO A REPRODUÇÃO TOTAL OU PARCIAL DESTE TRABALHO, POR QUALQUER MEIO CONVENCIONAL OU ELETRÔNICO, PARA FINS DE ESTUDO E PESQUISA, DESDE QUE CITADA A FONTE.

*dedicatória*

*A todos meus amigos, familiares e professores,  
Meus pais, Wilson e Lúcia,  
Minha esposa Ana Paula e minha filha Alice.*

## AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus pelas oportunidades em minha vida, pelo minha família, amigos, professores que cruzaram o meu caminho.

Agradeço à minha esposa Ana Paula pela paciência, compreensão, tolerância, resiliência que me permitiram concluir mais esta etapa.

Guardarei comigo nesta caminhada boas recordações, em especial ao retornar em casa, por volta das 22 horas onde, muitas vezes, minha filha Alice acordava somente para recepcionar o papai. Claro que a mamãe ficava brava porque tinha acabado de por ela para dormir.

Valeu a pena todo sacrifício e luta.

## EPÍGRAFE

*“Comece fazendo o que é necessário, depois o  
que é possível, e de repente você estará  
fazendo o impossível”*

**São Francisco de Assis**

# Resumo

---

Silva, B. C. (2016). **Desenvolvimento de Software para dimensionamento de seções de concreto armado retangulares e T submetidas à flexão normal simples e composta.** Trabalho Final de Conclusão de Curso. Departamento de Engenharia de Estruturas, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2016.

Para ajudar os engenheiros a resolverem as atividades com modelagem menos complexa, neste trabalho deu-se início a uma ferramenta para análise e dimensionamento de estruturas de concreto armado, onde foram desenvolvidos uma plataforma CAE e módulo de dimensionamento de estruturas de concreto composto por: seção retangulares e T submetidas à *Flexão Normal Simples (FNS)*, *Flexão Normal Composta (FNC)* e *Flexão Normal Composta com Armadura Simétrica (FNCAS)*.

Os resultados de dimensionamentos feitos no programa desenvolvido (Torney) estão próximos (ou idênticos) aos exemplos da literatura consultada.

Palavras-chave: estrutura de concreto, flexão normal composta, flexão normal simples.

## LISTA DE FIGURAS

---

Figura 2. 1: Domínios de deformação NBR 6118 (Silva (2014)); .....	
Figura 2. 2: Formulário de cálculo seção retangular (Silva 2014). .....	
Figura 2. 3: Formulário de cálculo seção retangular (Silva 2014). .....	6
Figura 2. 4: Formulário <i>FNC</i> para o caso 1 e 2. ....	7
Figura 2. 5: Formulário <i>FNC</i> para o caso 3 e 4. ....	8
Figura 2. 6: Seção retangular com armadura simétrica .....	9
Figura 3. 1: Ambiente de desenvolvimento Eclipse. ....	10
Figura 3. 2: Convenções adotadas. ....	12
Figura 4. 1: Tela inicial do Torney. ....	16
Figura 4. 2: Flutuante do comando Retângulo e Rotacionar. ....	19
Figura 4. 3: Flutuante para atalho .....	20
Figura 4. 4: Mensagem de alerta. ....	20
Figura 4. 5: Localização dos comandos Propriedades, Retângulo e T. ....	22
Figura 5. 1: Vértice inicial do retângulo para entrada de dados feita pelo teclado. ....	23
Figura 5. 2: Propriedades da seção T.....	23
Figura 5. 3: Comando material.....	24
Figura 5. 4: a) tela do comando material, b) tela do adicionar novo material. ....	24
Figura 5. 5: Comando Flexão Normal Simples .....	26
Figura 5. 6: Tela inicial do comando <i>FNS</i> .....	26
Figura 5. 7: Tela inicial do comando <i>FNS</i> .....	27
Figura 5. 8: Tela configuração de parâmetros <i>FNS</i> .....	28
Figura 5. 9: Comando Flexão Normal Composta.....	28
Figura 5. 10: Tela do dimensionamento a <i>FNC</i> .....	29
Figura 5. 11: Comando Flexão Normal Composta.....	29
Figura 5. 12: Tela do dimensionamento a <i>FNCAs</i> .....	30

## LISTA DE TABELAS

Tabela 2. 1: Valores máximos de $x$ e $k_{limite}$ . .....	4
Tabela 3. 1: Tipo de dimensionamento conforme a seção. ....	11
Tabela 3. 2: Unidade padrão para as grandes. ....	14
Tabela 4. 1: Comandos do Torney. ....	17
Tabela 6. 1: Validação dos cálculos para $FNS$ – Seção Retangular.....	31
Tabela 6. 2: Validação dos cálculos para $FNS$ – Seção T.....	32
Tabela 6. 3: Validação dos cálculos para $FNC$ – Seção Retangular .....	33
Tabela 6. 4: Validação dos cálculos para $FNCAs$ – Seção Retangular .....	33



## LISTA DE ABREVIATURAS E SÍMBOLOS

$A_s$ :	Área de aço mais tracionada ou menos comprimida.
$A_s'$ :	Área de aço mais comprimida ou menos tracionada.
$A_{s, inf}$ :	Área de aço da armadura próxima à borda superior.
$A_{s, sup}$ :	Área de aço da armadura próxima à borda superior.
$d'$ :	Distância da armadura até a borda da seção.
$FNC$ :	Flexão Normal Composta
$FNCAs$ :	Flexão Normal Composta com Armadura Simétrica
$FNS$ :	Flexão Normal Simples
$k$ :	Parâmetro adimensional que mede a intercidade do momento fletor na $FNS$
$w$ :	Taxa Mecânica de armadura.
$x$ :	Posição da linha neutra.

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>1</b>
1.1 OBJETIVOS .....	1
1.2 ESTRUTURA DO TRABALHO .....	2
<b>2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....</b>	<b>3</b>
2.1 INTRODUÇÃO .....	3
2.2 DIMENSIONAMENTO A FLEXÃO NORMAL SIMPLES .....	4
2.3 DIMENSIONAMENTO A FLEXÃO NORMAL COMPOSTA .....	7
2.4 DIMENSIONAMENTO A FLEXÃO NORMAL COMPOSTA – ARMADURA SIMÉTRICA.....	8
<b>3. MATERIAIS E MÉTODOS.....</b>	<b>10</b>
3.1 MATERIAIS .....	10
3.1.1 Linguagem de Programação e Ambiente de desenvolvimento do programa .....	10
3.2 MÉTODOS .....	11
3.2.1 Interação entre o usuário e o Torney .....	11
3.2.2 Fluxo para Dimensionamento.....	11
3.2.3 Convenções.....	12
3.2.4 Algoritmos para Dimensionamentos .....	13
3.2.5 Sistemas de Unidades .....	14
<b>4. SOFTWARE DESENVOLVIDO .....</b>	<b>15</b>
4.1 INTRODUÇÃO .....	15
4.2 INICIANDO O TORNEY .....	15
4.3 COMANDOS BÁSICOS.....	17
4.4 UTILIZANDO O MOUSE .....	18
4.5 UTILIZANDO TECLADO .....	19
4.6 CANCELANDO UM COMANDO .....	20
4.7 MENSAGENS DE ALERTA .....	20

<b>5</b>	<b>DIMENSIONANDO SEÇÕES RETANGULARES E T DE CONCRETO ARMADO UTILIZANDO O SOFTWARE TORNEY .....</b>	<b>22</b>
5.2	DESENHANDO UMA SEÇÃO.....	22
5.2.1	Comando Retângulo .....	23
5.2.1	Comando T .....	23
5.3	APLICANDO E CADASTRANDO UM MATERIAL.....	24
5.3.1	Cadastro de Materiais .....	25
5.3.2	Aplicando um material .....	25
5.4	DIMENSIONAMENTO A FLEXÃO NORMAL SIMPLES .....	25
5.5	DIMENSIONAMENTO A FLEXÃO NORMAL COMPOSTA .....	28
5.6	DIMENSIONAMENTO A FLEXÃO NORMAL COMPOSTA – ARMADURA SIMÉTRICA.....	29
<b>6</b>	<b>VALIDAÇÃO DE CÁLCULOS .....</b>	<b>31</b>
6.1	INTRODUÇÃO .....	31
6.2	VALIDAÇÃO DOS CÁLCULOS PARA <i>FNS</i> , SEÇÃO RETANGULAR .....	31
6.3	VALIDAÇÃO DOS CÁLCULOS PARA <i>FNS</i> , SEÇÃO T.....	32
6.4	VALIDAÇÃO DOS CÁLCULOS PARA <i>FNC</i> , SEÇÃO RETANGULAR.....	32
6.5	VALIDAÇÃO DOS CÁLCULOS PARA <i>FNCA<sub>s</sub></i> , SEÇÃO RETANGULAR. ....	33
<b>7.</b>	<b>CONCLUSÕES .....</b>	<b>34</b>
	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>35</b>

## 1. INTRODUÇÃO

A engenharia de estrutura é comumente associada à análise e dimensionamento de sistemas estruturais complexos com uso de softwares sofisticados. Para atividades simples como dimensionamento de uma viga, um pilar de canto, etc, o grande esforço de modelagem e necessidade de conhecimento profundo da ferramenta acabam por desmotivar o seu uso.

Para ajudar os engenheiros a resolverem as atividades com modelagem menos complexa, neste trabalho deu-se início a uma ferramenta para análise e dimensionamento de estruturas de concreto armado.

Para atingir este objetivo, diversas ferramentas devem ser desenvolvidas, como, por exemplo: 1) plataforma base, 2) módulo de análise estrutural (elementos de placas, elementos de barra, etc), 3) rotinas de cálculo numérico (solução de sistemas lineares, integração, etc), 4) módulo de dimensionamento de estruturas de concreto.

Por ter um escopo muito abrangente, neste trabalho será abordado apenas o desenvolvimento da plataforma base e parte do módulo de dimensionamento de estruturas de concreto: seção retangulares e T submetidas à *Flexão Normal Simples (FNS)*, *Flexão Normal Composta (FNC)* e *Flexão Normal Composta com Armadura Simétrica (FNCAS)*.

### 1.1 OBJETIVOS

O objetivo amplo deste trabalho é a construção de uma plataforma para análise e dimensionamento de estruturas de concreto. Objetivo específico é desenvolver um programa para dimensionamento de seções retangulares e T de concreto armado submetidas à *Flexão Normal Simples (FNS)*, *Flexão Normal Composta (FNC)* e *Flexão Normal Composta com Armadura Simétrica (FNCAs)*.

## 1.2 ESTRUTURA DO TRABALHO

Este trabalho foi estruturado em sete capítulos, a saber:

1. Capítulo 1: apresenta uma introdução ao tema abordado, objetivos da pesquisa e organização do trabalho.
2. Capítulo 2: é mostrada a revisão bibliográfica dos temas relacionados ao presente trabalho.
3. Capítulo 3: materiais e métodos usados.
4. Capítulo 4: detalhamento do software desenvolvido.
5. Capítulo 5: breve roteiro de como utilizar o programa para dimensionamento.
6. Capítulo 6: comparação dos resultados calculados no Torney e exemplos.
7. Capítulo 7: apresenta uma conclusão sobre o trabalho desenvolvido.

## 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 INTRODUÇÃO

No Brasil, o dimensionamento de estruturas de concreto deve seguir as prescrições contidas na NBR 6118, cuja última revisão ocorreu no ano de 2014.

O dimensionamento das seções de concreto deve ser feito respeitando os domínios de deformação contidos na NBR 6118 (2014), apresentados na Figura 2. 1.

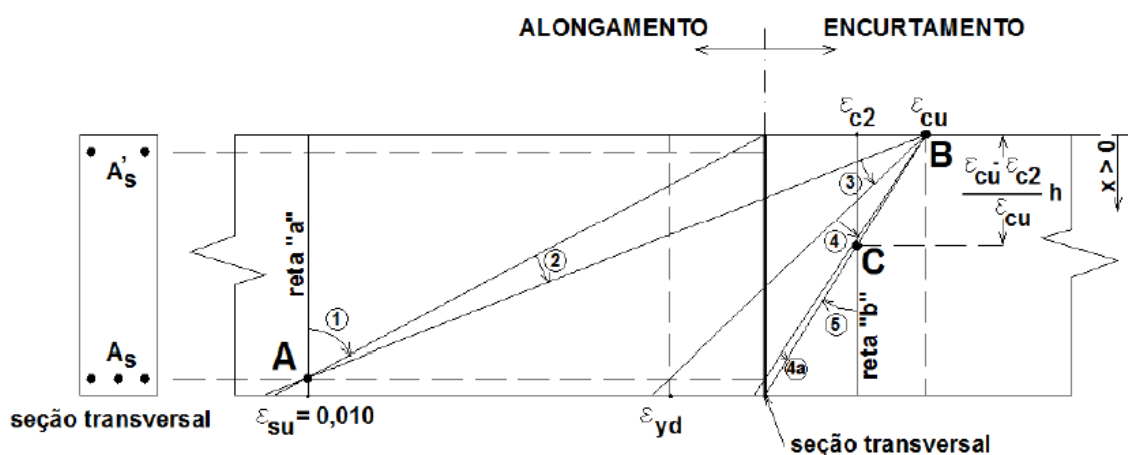


Figura 2. 1: Domínios de deformação NBR 6118 (Silva (2014));

Um breve resumo de cada domínio é apresentado abaixo. Em Silva (2014) eles encontram-se detalhados.

1. Domínio 1: Caracteriza-se pela seção totalmente tracionada, com ou sem momentos. O Estado Limite Último (ELU) é caracterizado pelo alongamento máximo de 0,1% da armadura mais tracionada.
2. Domínio 2: Neste domínio aparecem tensões de tração e compressão na seção. As deformações no concreto não atingem o valor máximo permitido e a ruptura no ELU também se dá pelo alongamento máximo de 0,1% da armadura mais tracionada.
3. Domínio 3: Nele também aparecem tensões de tração e compressão na seção, entretanto, a ruptura no ELU ocorre quando a deformação no concreto provoca sua ruptura e as armaduras se plastificam sem romper.
4. Domínio 4: É idêntico ao domínio 3, exceto pelas armaduras que trabalham no regime elástico.

5. Domínio 4a: A seção encontra-se totalmente comprimida e fletida, sua principal característica e que a deformação na fibra inferior mais tracionada é nula.
6. Domínio 5: Neste domínio toda a seção encontra-se comprimida e a linha neutra fora da seção.

Para dimensionar as estruturas de concreto, além dos domínios de deformação acima, é necessário conhecer o comportamento mecânico do concreto e aço, fórmulas para combinação dos esforços solicitantes e cálculo dos esforços resistentes. Parte deste assunto consta na NBR 6118 (2014). Em Silva (2014) todo este assunto é devidamente detalhado.

## 2.2 DIMENSIONAMENTO A FLEXÃO NORMAL SIMPLES

Silva (2014) apresenta a metodologia desenvolvida pelo professor Tepedino para cálculo da armadura em seções retangulares (Figura 2. 2) e T (Figura 2. 3) submetidas à *Flexão Normal Simples (FNS)* já adequada às novas orientações da NBR 6118 (2014).

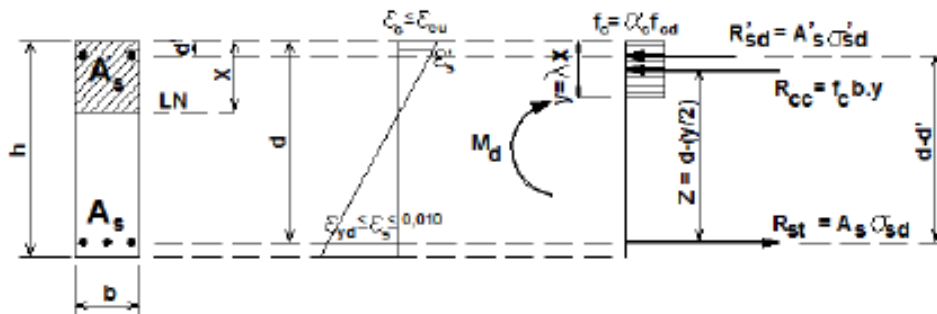
Ela utiliza o parâmetro adimensional  $k$  que mede a intensidade do momento fletor externo solicitante de cálculo. A NBR 6118 (2014) define a profundidade máxima da linha neutra ( $x$ ) na seção, implicando num valor máximo para o parâmetro  $k$ , denominado  $k_{limite}$ . Para a NBR 6118 (2014), tem-se:

Tabela 2. 1: Valores máximos de  $x$  e  $k_{limite}$ .

<b>fck</b>	<b>x/d</b>	<b><math>k_{limite}</math></b>
$\leq 50 \text{ MPa}$	0,45	0,295
$50 \text{ MPa} < fck \leq 90 \text{ MPa}$	0,35	$0,238 \leq k_{limite} \leq 0,215$

Todo o desenvolvimento teórico encontra-se detalhado em Silva (2014). O formulário de cálculo para as seções retangulares e T são apresentados Nas Figura 2. 2 e Figura 2. 3.

**FLEXÃO NORMAL SIMPLES - SEÇÃO RETANGULAR (TEPEDINO)**



$$K = \frac{M_d}{f_c b d^2} \quad \left\{ \begin{array}{l} K \leq K_L \quad \longrightarrow \quad K' = K \\ K > K_L \quad \longrightarrow \quad K' = K_L \end{array} \right.$$

$$A_s \geq A_{s1} + A_{s2} \quad \left\{ \begin{array}{l} A_{s1} = \frac{f_c b d}{f_{yd}} (1 - \sqrt{1 - 2K'}) \\ A_{s2} = \frac{f_c b d}{f_{yd}} \frac{K - K'}{1 - (d'/d)} \end{array} \right.$$

$$A'_s = (A_{s2}) / \varphi$$

$\lambda = 0,8$	$\alpha_c = 0,85$	$(x/d)_L = 0,45$	$(f_{ck} \leq 50 \text{ MPa})$
$\lambda = 0,8 - (f_{ck} - 50) / 400$	$\alpha_c = 0,85 [1 - (f_{ck} - 50) / 200]$	$(x/d)_L = 0,35$	$(f_{ck} > 50 \text{ MPa})$

Valores de $K_L$									
Classe	Até C50	C55	C60	C65	C70	C75	C80	C85	C90
$\kappa_L$	0,295	0,238	0,234	0,231	0,228	0,225	0,222	0,218	0,215

Valores máximos da relação $(d'/d)$ para se ter $\varphi = 1$									
Classe	Até C50	C55	C60	C65	C70	C75	C80	C85	C90
CA 25	0,317	0,234	0,224	0,218	0,214	0,212	0,211	0,211	0,211
CA 50	0,184	0,118	0,099	0,085	0,077	0,073	0,072	0,071	0,071
CA 60	0,131	0,072	0,049	0,032	0,023	0,018	0,016	0,016	0,016

Cálculo de  $\varphi$  para  $\sigma'_{sd} < f_{yd}$

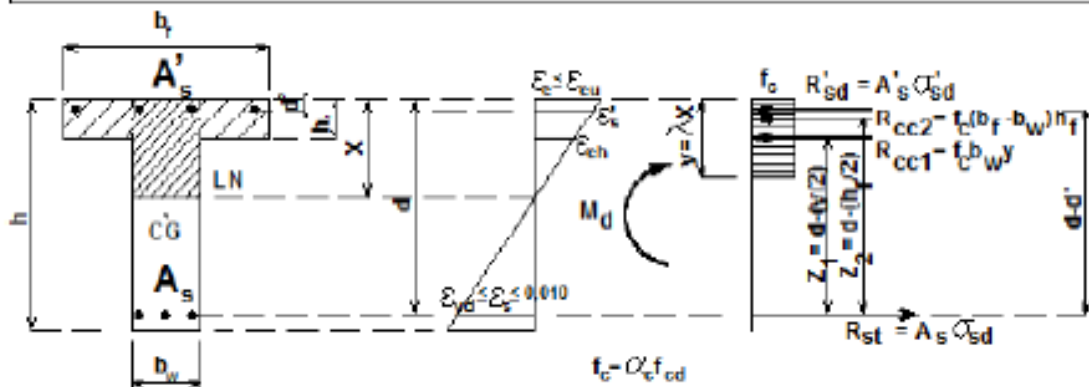
$$\varphi = \frac{\epsilon_{cu} E_s}{f_{yd}} \frac{(x/d)_L - (d'/d)}{(x/d)_L} < 1$$

2.30

Figura 2. 2: Formulário de cálculo seção retangular (Silva 2014).



### FLEXÃO NORMAL SIMPLES - SEÇÃO T OU L (TEPEDINO)



$$K = \frac{M_d}{f_c b_w d^2} - \left( \frac{b_f}{b_w} - 1 \right) \frac{h_f}{d} \left( 1 - \frac{h_f}{2d} \right) \begin{cases} K \leq K_L \longrightarrow K' = K \\ K > K_L \longrightarrow K' = K_L \end{cases}$$

$$A_s \geq A_{s1} + A_{s2} \begin{cases} A_{s1} = \frac{f_c b d}{f_{yd}} \left[ \left( 1 - \sqrt{1 - 2K'} \right) + \left( \frac{b_f}{b_w} - 1 \right) \frac{h_f}{d} \right] \\ A_{s2} = \frac{f_c b d}{f_{yd}} \frac{K - K'}{1 - (d'/d)} \end{cases}$$

$$A'_s = (A_{s2}) / \varphi$$

$\lambda = 0,8$	$\alpha_c = 0,85$	$(x/d)_L = 0,45$ ( $f_{ck} \leq 50$ MPa)
$\lambda = 0,8 - (f_{ck} - 50) / 400$	$\alpha_c = 0,85 [ 1 - (f_{ck} - 50) / 200 ]$	$(x/d)_L = 0,35$ ( $f_{ck} > 50$ MPa)

Valores de $K_L$									
Classe	Até C50	C55	C60	C65	C70	C75	C80	C85	C90
$K_L$	0,295	0,238	0,234	0,231	0,228	0,225	0,222	0,218	0,215

Valores máximos da relação $(d'/d)$ para se ter $\varphi = 1$									
Classe	Até C50	C55	C60	C65	C70	C75	C80	C85	C90
CA 25	0,317	0,234	0,224	0,218	0,214	0,212	0,211	0,211	0,211
CA 50	0,184	0,118	0,099	0,085	0,077	0,073	0,072	0,071	0,071
CA 60	0,131	0,072	0,049	0,032	0,023	0,018	0,016	0,016	0,016

**Cálculo de  $\varphi$  para  $\sigma'_{sd} < f_{yd}$**        $\varphi = \frac{\varepsilon_{cu} E_s}{f_{yd}} \frac{(x/d)_L - (d'/d)}{(x/d)_L} < 1$

Figura 2. 3: Formulário de cálculo seção retangular (Silva 2014).

## 2.3 DIMENSIONAMENTO A FLEXÃO NORMAL COMPOSTA

O dimensionamento à *Flexão Normal Composta* seguirá a metodologia desenvolvida pelo professor Tepedino e apresentada em Silva(2014). Nela, são possíveis de ocorrer os seguintes casos:

1. Caso 1: pelo o menos uma armadura tracionada.
2. Caso 2: seção de concreto parcialmente comprimida.
3. Caso 3: seção de concreto totalmente comprimida (domínio 5);
4. Caso 4: seção totalmente tracionada.

Os formulários de cálculo são apresentados nas figuras abaixo.

FLEXÃO NORMAL COMPOSTA - SEÇÃO RETANGULAR (TEPEDINO)	
<b>CASO 1</b>	
$K = \frac{M_d + N_d(d - h/2)}{f_c b d^2}$	$\left\{ \begin{array}{ll} K \leq K_\ell & \longrightarrow K' = K \\ K > K_\ell & \longrightarrow K' = K_\ell \end{array} \right.$
$K_\ell = 0,295 \text{ p/ } f_{ck} \leq 50 \text{ MPa}$	
$A_s \geq A_{s1} + A_{s2}$	$\left\{ \begin{array}{l} A_{s1} = \frac{f_c b d (1 - \sqrt{1 - 2K'}) - N_d}{f_{yd}} \\ A_{s2} = \frac{f_c b d}{f_{yd}} \frac{K - K'}{1 - (d'/d)} \end{array} \right.$
$A'_s = (A_{s2}) / \varphi$	
<b>CA 50 p/ (d'/d) &lt; 0,184, <math>\varphi = 1,6905[1 - 2,222(d'/d)]</math>, caso contrário <math>\varphi = 1</math>.</b>	
<b><math>A'_s \leq 0</math> (passar ao caso 2) - <math>K &lt; 0</math> (passar ao caso 4)</b>	
<b>CASO 2</b>	
$y = d' + \sqrt{(d')^2 + 2 \frac{N_d(h/2 - d') - M_d}{f_c b}} \leq h \quad \begin{array}{l} x > d' \text{ (x/d) > (d'/d)} \\ y > 0,8d' \text{ (y/d') > 0,8} \end{array}$	
$A_s = 0$	
$A'_s = \frac{N_d - f_c b y}{\varphi f_{yd}} \geq 0$	
<b>Caso <math>y &gt; h</math>, passar ao caso 3.</b> <b>Caso <math>A'_s &lt; 0</math>, nenhuma armadura é necessária teoricamente. A dotar armadura mínima.</b>	
<b>CA 50 p/ (d'/d) &lt; <math>\xi_{2\ell} = 0,259</math> e <math>(y/d') &lt; 0,137(d'/d) + 0,663</math></b> $\varphi = 4,83[1,25(y/d') - 1] / [(d'/d) - 1,25(y/d')]$ , caso contrário $\varphi = 1$	
<b>CA 50 p/ (d'/d) &gt; <math>\xi_{2\ell} = 0,259</math> e <math>(y/d') &lt; 1,959(d'/d)</math></b> $\varphi = 1,6905[1,25(y/d') - 1] / [1,25(y/d')] \leq 1$ , caso contrário $\varphi = 1$	

Figura 2. 4: Formulário *FNC* para o caso 1 e 2.

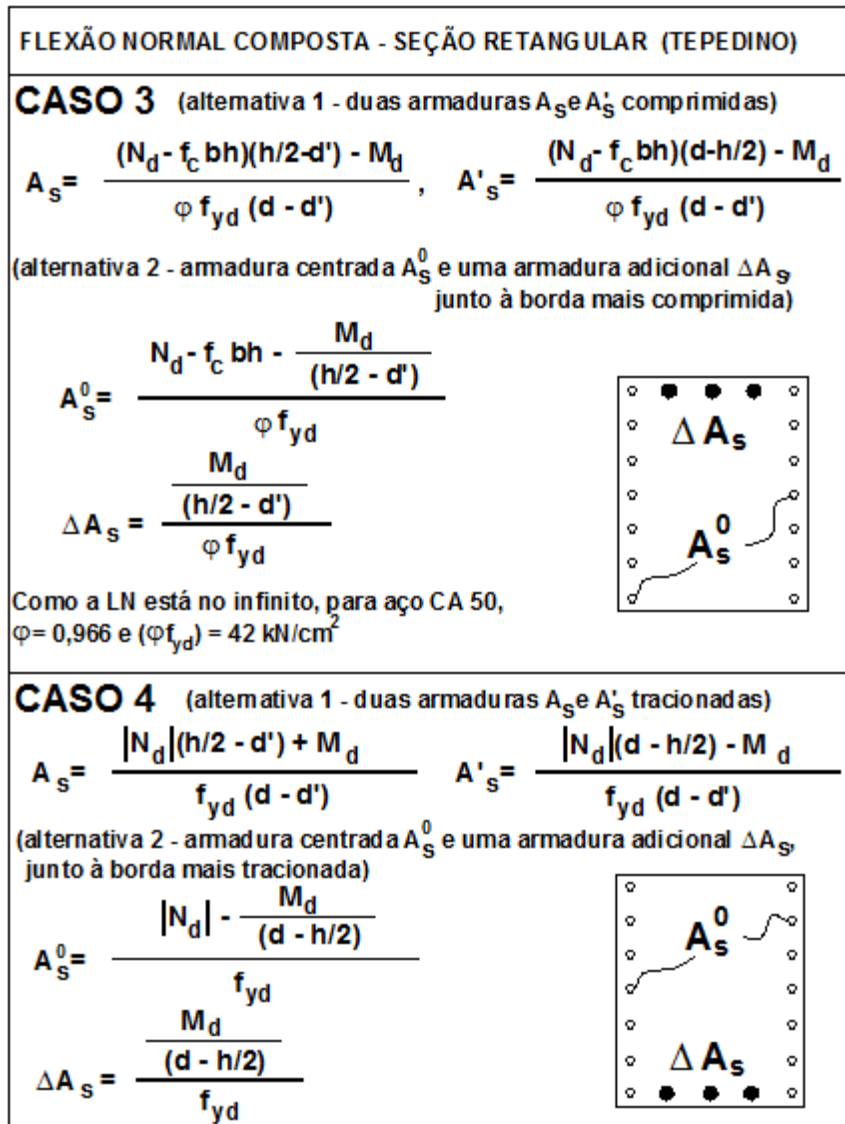


Figura 2. 5: Formulário *FNC* para o caso 3 e 4.

## 2.4 DIMENSIONAMENTO A FLEXÃO NORMAL COMPOSTA – ARMADURA SIMÉTRICA

VENTURINI E RODRIGUES (1987) apresentam uma metodologia para cálculo de seções retangulares simétricas (Figura 2. 6) com qualquer arranjo de armaduras submetidas à flexão normal composta. Ela consiste em variar a posição da linha neutra e área das barras de aço e calcular o momento e força normal resistente.

Para cada posição da linha neutra, as deformações são compatibilizadas conforme os domínios.

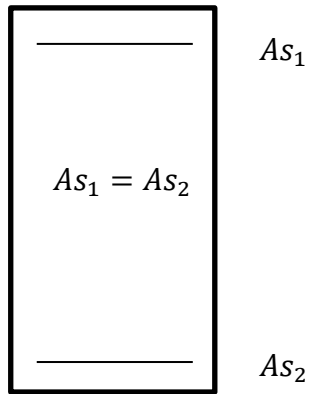


Figura 2. 6: Seção retangular com armadura simétrica

### 3. MATERIAIS E MÉTODOS

#### 3.1 MATERIAIS

##### 3.1.1 Linguagem de Programação e Ambiente de desenvolvimento do programa

A linguagem de programação escolhida foi JAVA por ser orientada a objeto, gratuita, com muitas bibliotecas disponível e ambiente de desenvolvimento produtivo.

O Torney foi inteiramente programado no ambiente de desenvolvimento integrado *Eclipse*, por este ser completo, gratuito, frequentemente atualizado e mantido por grandes empresas. Uma tela do ambiente de programação é apresentada na figura abaixo.

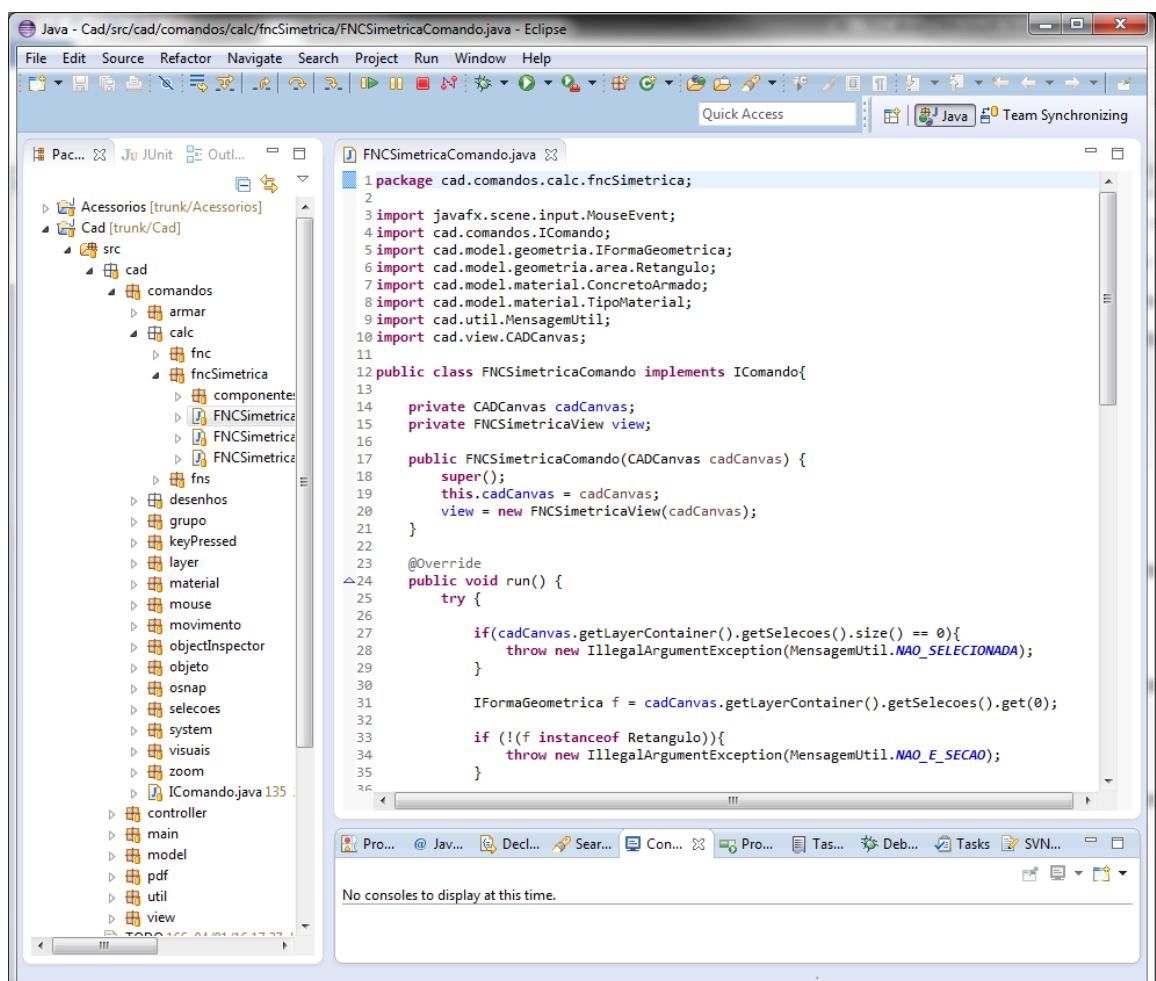


Figura 3. 1: Ambiente de desenvolvimento Eclipse.

Adotou-se a estrutura de programação *MVC* (*model, view, controller*), onde cada funcionalidade é composta por 3 camadas, a saber: 1ª) camada de visualização: onde são criadas as telas do programa, 2ª) camada de modelo: contêm as classes que representam os objetos, 3ª) camada de controle, cuja função é conectar a camada de modelo com a de visualização e armazenar as regras.

## 3.2 MÉTODOS

### 3.2.1 Interação entre o usuário e o Torney

Um fator chave para que o Torney seja amplamente utilizado está relacionado com a forma de o usuário interagir com programa: esta deve ser simples, amigável, pouco burocrática e intuitiva.

Optou-se por desenvolver o programa como uma plataforma CAD por ela ser frequentemente utilizada em softwares de engenharia, proporcionar todo o arcabouço de representação gráfica necessária para implementação da interface com usuários e, no futuro, permitir desenvolver o módulo de análise estrutural.

### 3.2.2 Fluxo para Dimensionamento

O fluxo para dimensionamento adotado foi:

- 1) Desenhar da seção T ou retangular.
- 2) Cadastrar e atribuir o material à seção.
- 3) Escolher o tipo de dimensionamento conforme a Tabela 3. 1.
- 4) Configurar os parâmetros de cálculo  $d'$ ,  $\gamma_f$ ,  $\gamma_c$ ,  $\gamma_s$ .
- 5) Adicionar as solicitações características de cálculo.

Tabela 3. 1: Tipo de dimensionamento conforme a seção.

Seção	FNS	FNC	FNCAs
Retangular	SIM	SIM	SIM
T	SIM	SIM	NÃO

O programa calculará automaticamente para cada solicitação a área de armadura necessária e a posição da linha neutra.

### 3.2.3 Convenções

Para dimensionamento das seções de concreto convencionou-se que:

1. Profundidade da linha neutra ( $x$ ): definida a partir da fibra mais comprimida.
2.  $A_s$ : armadura mais tracionada ou menos comprimida.
3.  $A'_s$ : armadura mais comprimida ou menos tracionada.
4. Armadura superior: próxima à face superior (acima do centro de gravidade).
5. Armadura inferior: próxima à face inferior (abaixo do centro de gravidade).
6. Forção Normal de Compressão e Tração: sinal positivo para compressão e negativo para tração.
7. Momentos fletores: sinal positivo comprime a face superior da seção, sinal positivo a inferior.
8. As solicitações devem ser informadas com seus valores característicos.
9. O dimensionamento se dará sempre em relação ao eixo local.

O resumo das Convenções adotadas é apresentado na figura abaixo.

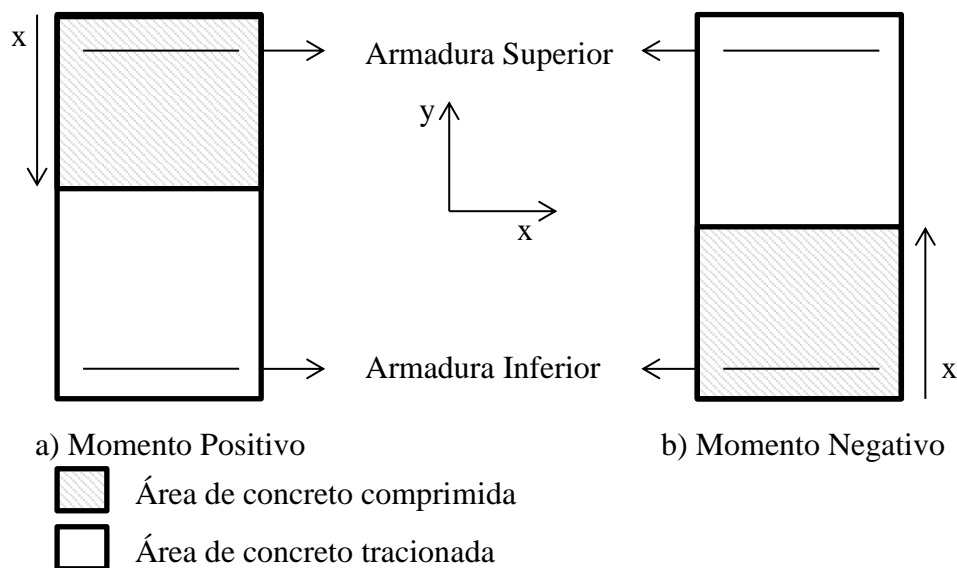


Figura 3. 2: Convenções adotadas.

Especial atenção deve ser dada ao item 9. Por exemplo, caso o usuário queira dimensionar uma seção retangular 60x20 ele não poderá desenhar aproveitar uma seção 20x60 já desenhada e aplicar uma rotação de 90°. Para este caso ele deverá criar um novo retângulo com as dimensões desejadas.

O dimensionamento de seções rotacionadas será implementado no futuro.

### 3.2.4 Algoritmos para Dimensionamentos

Os algoritmos utilizados para dimensionamento das seções de concreto retangulares e T a *FNS* e *FNC* se basearam nos formulários contidos na apostila do SILVA (2014). Para seções retangulares com armadura simétrica implementou-se a metodologia de geração de ábacos apresentada em VENTURINI E RODRIGUES (1987) com substituição do diagrama *tensão vs deformação* do concreto pelo diagrama parábola-retângulo simplificado.

O programa não dimensiona seções agrupadas, polígonos ou circulares, mas permite desenhá-los. Desta forma, por exemplo, o sistema não reconhecerá seções T desenhadas como dois retângulos agrupados.

O algoritmo implementado para dimensionamento da armadura na *FNCAs* procura a taxa mecânica de armadura ( $w$ ) e a posição da linha neutra ( $x$ ) pelo método das tentativas. Os critérios para encerrar a busca são:

$$N_{calculado} > N_d \quad \text{Equação 3. 1}$$

$$M_{calculado} > M_d \quad \text{Equação 3. 2}$$

$$\Delta w \leq 0,5/\% \quad \text{Equação 3. 3}$$

É conveniente determinar um número máximo de pesquisa para evitar mal funcionamento do programa. Para a *FNCAs* foi escolheu-se 50.000 iterações como limite máximo.

A posição da linha neutra é incrementada em cada tentativa com variação mínima de 1% da altura.



### 3.2.5 Sistemas de Unidades

O sistema de unidades do programa é flexível, ou seja, o usuário pode definir as unidades de entrada de dados em cada solicitação.

Tabela 3. 2: Unidade padrão para as grandes.

<b>GRANDEZAS</b>	<b>SIGLA</b>
Comprimento:	m
Área:	cm <sup>2</sup>
Força:	kN
Momento:	kN cm
Inércia:	cm <sup>4</sup>
Ângulo:	°
Módulo de Resistência:	cm <sup>3</sup>
Massa Específica:	kg/m <sup>3</sup>
Diâmetro:	mm
Fck:	MPa
Módulo de Elasticidade:	GPa
Coefficiente de dilatação térmica	°C <sup>-1</sup>

Os resultados dos cálculos são apresentados conforme as unidades definidas pelo usuário do *Torney*. As unidades iniciais para cada grande é apresentada na Tabela 3. 2. O usuário poderá alterá-las a qualquer momento por meio da tela de configuração do sistema.

## 4. SOFTWARE DESENVOLVIDO

### 4.1 INTRODUÇÃO

Torney é uma plataforma CAD desenvolvida em JAVA para dimensionamento de seções retangulares e T submetidas à Flexão Normal Simples (*FNS*), Flexão Normal Composta (*FNC*) com ou sem armadura simétrica.

O nome é homenagem ao prof. Dr. Ney, que, em sua vida profissional, foi chamado diversas vezes de engenheiro doutor Ney, ou na pressa, simplesmente, Torney.

Abaixo são apresentadas as principais funcionalidades do programa desenvolvido.

### 4.2 INICIANDO O TORNEY

Ao abrir o programa, o programa exibirá uma tela inicial composta por: 1) barra de botões superior, 2) barra de botões lateral, 3) área de desenho e 4) barra de informações, conforme ilustrado na Figura 4. 1.

As coordenadas do mouse são mostradas na barra de informações conforme a unidade definida pelo usuário e são atualizadas sempre que se movimentar o mouse.

Para acionar um comando basta o clicar no botão desejado. Eles poderão ser executados: 1) somente com o mouse (exemplos: linha, retângulo, mover), 2) somente com entrada das informações pelo teclado (exemplo: digitando o ponto inicial do retângulo a sua largura e altura; 3) com mouse e ainda solicitar dados a serem digitados (exemplo: copiar, T) ou 4) abrir uma janela com formulários de informações (exemplos: fns, fnc, fncas).

Adicionalmente, os comandos podem ser acionados por atalhos bastando o usuário digitar o acrônimo correspondente. A lista de atalhos encontra-se disponível para consulta dentro do programa (comando *Configurações*, aba *Atalhos*). Ademais, não há distinção entre atalhos digitados com letras maiúsculas ou minúsculas (exemplo: *mo* = *MO* = *Mo* = *mO*).

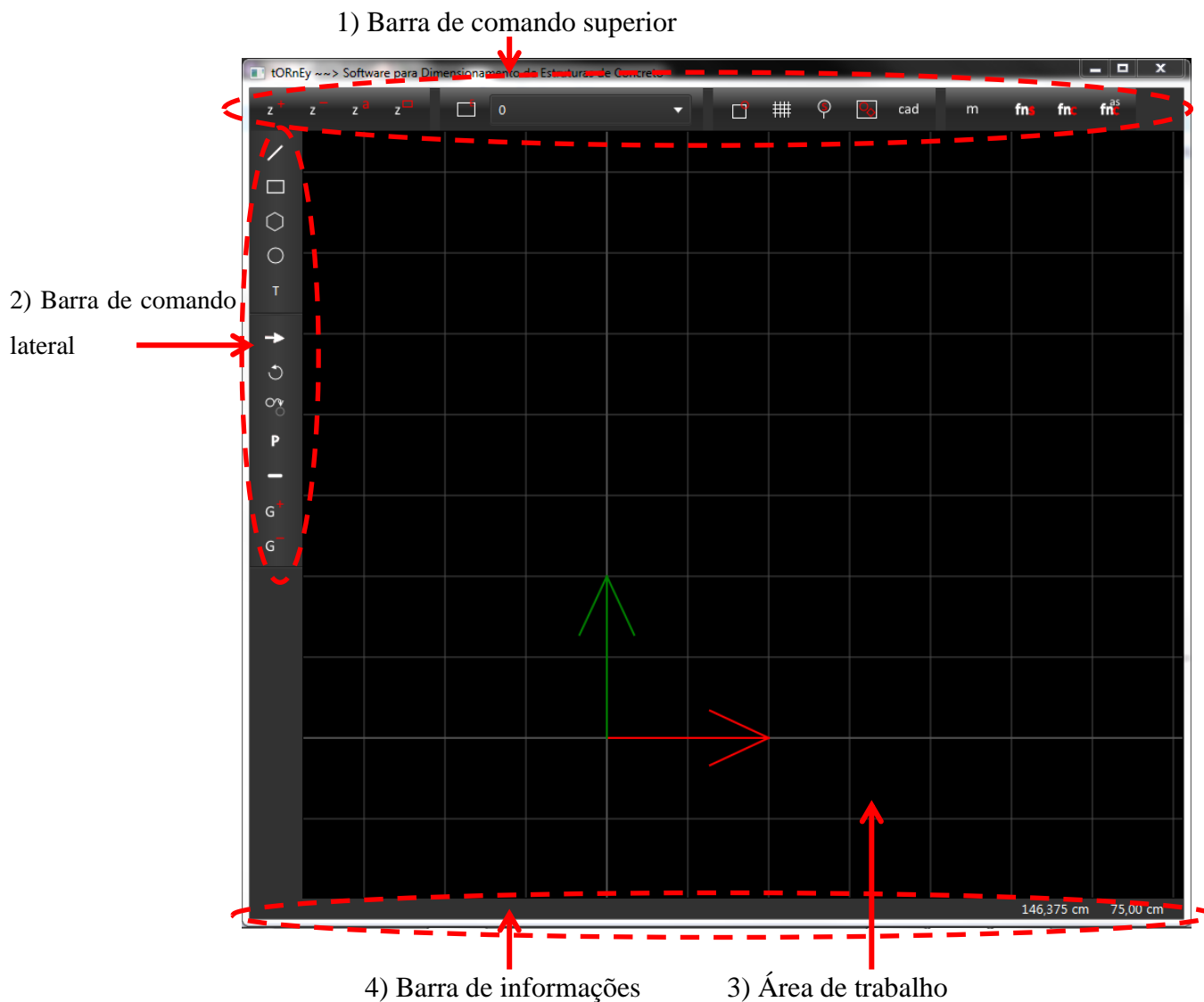


Figura 4. 1: Tela inicial do Torney.

A área de trabalho possui o desenho do sistema de coordenadas  $x$  (horizontal e para direita) e  $y$  (vertical para cima) desenhados no ponto  $0,0$ . Existem também linhas horizontais e verticais compondo o *grid*.

Os *grids* podem ser do tipo principal, espaçados a cada 100 cm, e secundário, a cada 10 cm. O usuário pode alterar o espaçamento, alterar a visibilidade e cores por meio do comando *grid*.

### 4.3 COMANDOS BÁSICOS

A tabela abaixo apresenta os comandos contidos nas barras superior e lateral.

Tabela 4. 1: Comandos do Torney.

COMANDO		DESCRIÇÃO	ICONES	ATALHO
1	Zoom in	Aumenta o zoom da tela.		Mouse Scroll
2	Zoom Out	Diminui o zoom da tela.		Mouse Scroll
3	Zoom All	Ajusta o zoom para que todos os objetos sejam exibidos.		za
4	Zoom Window	Da um zoom dentro de uma janela definida pelo usuário.		zw
5	Linha	Desenha uma linha.		l
6	Retângulo	Desenha um retângulo.		r
7	Polígono	Desenho um polígono.		p
8	Circulo	Desenha um circulo.		c
9	T	Desenha uma seção T.		t
10	Mover	Movimenta objetos selecionados.		mo
11	Rotacionar	Rotaciona objetos selecionados.		ro
12	Copiar	Copia objetos selecionados.		cp
13	Propriedades	Mostra a propriedade do objeto selecionado.		prop
14	Deletar	Apaga objetos selecionados.		E
15	Agrupar	Agrupar objetos selecionados.		
16	Desagrupar	Desagrupa objetos selecionados.		
17	Editar Layer	Abre a janela de edição de layer.		
18	Osnap	Abre a janela para habilitar e desabilitar a ferramenta de posicionamento do mouse.		
19	Grid	Abre a janela de configuração do grid.		
20	Object Inspector	Abre uma janela com toda a estrutura desenhada no CAD, onde são apresentados os objetos desenhados em cada layer.		
21	Objetos	Abre uma janela que mostra os objetos		

COMANDO		DESCRIÇÃO	ICONES	ATALHO
	Selecionados	selecionados pelo usuário.		
22	Configurações	Abre a janela de configuração do Torney.	cad	
23	Materiais	Abre a janela para cadastro e edição de materiais.	m	
24	FNS	Abre a janela de dimensionamento a FNS.	fns	
25	FNC	Abre a janela de dimensionamento a FNC.	fnc	
26	FNCAs	Abre a janela de dimensionamento a FNCAs.	fnc <sup>as</sup>	

Ainda há diversos comandos a serem desenvolvidos como trim, chanfro, mirror, etc.

#### 4.4 UTILIZANDO O MOUSE

O mouse é a principal ferramenta de interação entre o usuário e o Torney. O botão esquerdo é reservado para enviar informações sobre click em objetos, seleção de coordenadas e etc. O botão direito não possui nenhuma funcionalidade atribuída (está reservado para implementações futuras).

O scroll do mouse, quando rotacionado, aproxima e afasta a tela do usuário (comando zoom). Se o mouse for movimento com o botão scroll apertado a tela é translacionada (comando Pan).

O mouse também é utilizado para selecionar objetos desenhados ( um objeto selecionado fica com a linha do seu contorno tracejada). É possível selecionar objetos das seguintes formas: 1) clicando no seu contorno com o botão esquerdo e 2) clicando com no botão esquerdo num ponto qualquer da área de trabalho e arrastando-o frente ou para trás (para frente seleciona todos os objetos contidos no retângulo desenhado, para trás todos os objetos que interceptam o retângulo desenhado).

O padrão de funcionamento do mouse adotado é o mais usual das plataformas *CAD*.

#### 4.5 UTILIZANDO TECLADO

O usuário poderá usar o teclado no Torney para: 1) acionar um atalho e 2) fornecer informações para um comando.

A inserção de dados se dá por meio de uma ferramenta chamada de *flutuante*, que aparecerá sempre que uma tecla do teclado é pressionada ou um comando iniciado. Na Figura 4. 2 é mostrado o flutuante do comando Retângulo e Rotacionar.

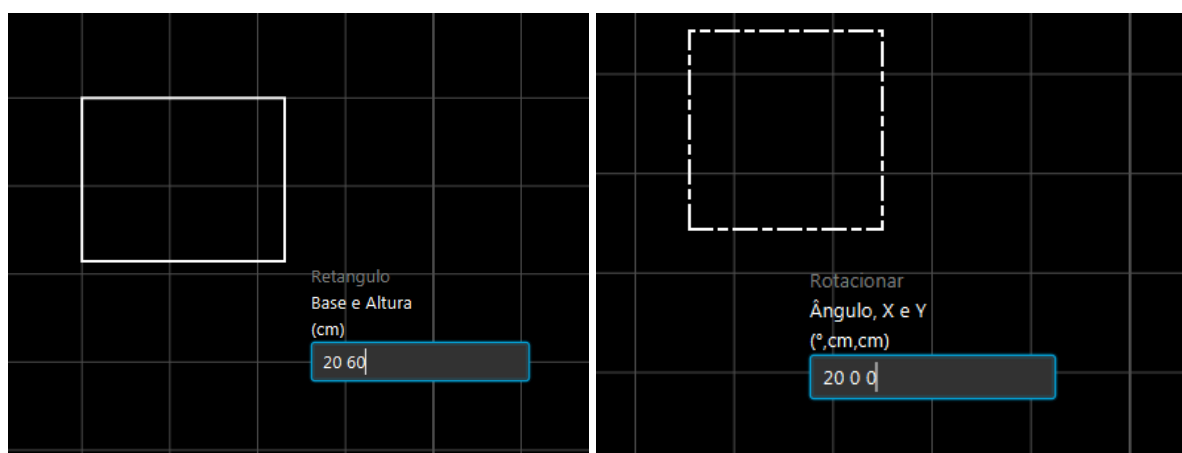


Figura 4. 2: Flutuante do comando Retângulo e Rotacionar.

O flutuante de comandos é composto pelos seguintes campos: 1) nome do comando, 2) informações solicitadas (pode ser mais de 1 e devem ser separadas por espaços), 3) unidades de referência e 4) área de digitação.

Por exemplo, no flutuante: 1) do comando retângulo o usuário definiu a base e altura como, respectivamente, 20 e 60 cm e 2) no rotacionar a figura selecionada será rotacionada em 20° em torno do ponto com coordenadas 0, 0 cm;

Quando uma tecla é pressionada sem que um comando esteja em execução o flutuante de atalho é habilitado. Nele o usuário digita o acrônimo desejado para iniciar o programa. Para auxiliar o uso dos atalhos, a medida que o usuário insere letras, o flutuante filtra e mostra uma lista com os acrônimos disponíveis seguido de uma breve descrição do comando que ele aciona.

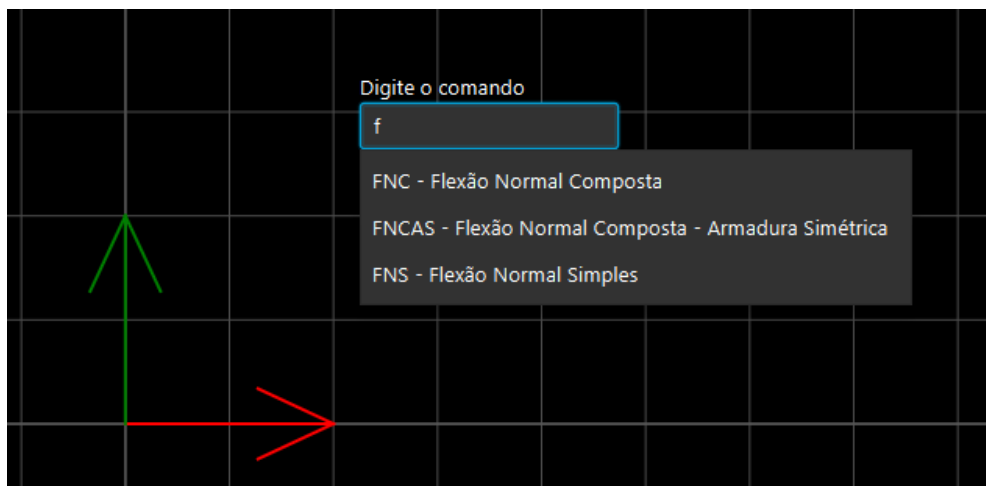


Figura 4. 3: Flutuante para atalho

Uma vez digitada as informações no flutuante o usuário deverá apertar a tecla *ENTER* para dar prosseguimento ao comando.

#### 4.6 CANCELANDO UM COMANDO

Um comando iniciado pode ser cancelado apertando a tecla *ESC* do teclado.

#### 4.7 MENSAGENS DE ALERTA

Quando o usuário digita uma informação de forma equivocada ou tenta iniciar um comando sem ter preenchido seus requisitos mínimos, o programa exibe uma mensagem de alerta na parte superior direita da tela.

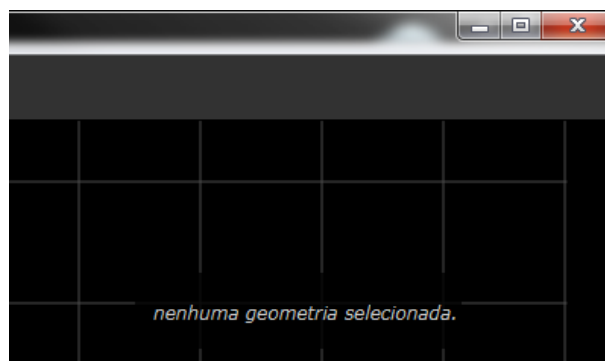


Figura 4. 4: Mensagem de alerta.

Nem todos os comandos possuem sistema de mensagem de alerta implementados. Isto será desenvolvido nas próximas versões do Torney.



## 5 DIMENSIONANDO SEÇÕES RETANGULARES E T DE CONCRETO ARMADO UTILIZANDO O SOFTWARE TORNEY

### 5.1 INTRODUÇÃO

Este capítulo tem como objeto apresentar o passo a passo para dimensionar seções retangulares e T de concreto armado no Torney.

O fluxo de trabalho consiste em:

1. Desenhar uma seção.
2. Cadastrar e aplicar um material.
3. Escolher um tipo de dimensionamento.
4. Configurar os parâmetros de cálculo.
5. Adicionar solicitações.

### 5.2 DESENHANDO UMA SEÇÃO

O primeiro passo consiste em desenhar uma seção T ou retangular acionando os comandos pela barra de botões ou teclas de atalho.

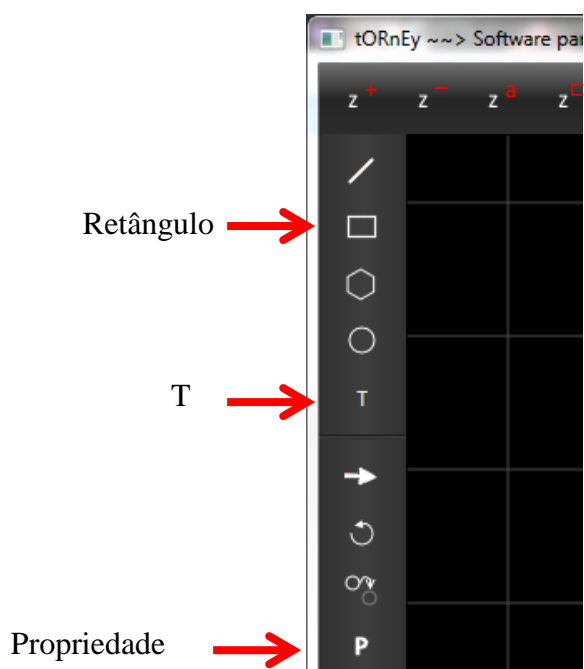


Figura 4. 5: Localização dos comandos Propriedades, Retângulo e T.

Toda consultar e/ou alterar as propriedades geométricas da seção desenhada o usuário poderá utilizar o comando Propriedades

### 5.2.1 Comando Retângulo

O comando retângulo desenha um retângulo na área de trabalho seguindo o seguinte procedimento:

1. Definir a coordenada do vértice inicial.
2. Definir a altura e largura da seção movimentando o mouse ou digitando no flutuante.

Quando a entrada dos dados se dá pelo teclado, o vértice inicial é o inferior esquerdo (vide figura abaixo).

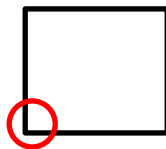


Figura 5. 1: Vértice inicial do retângulo para entrada de dados feita pelo teclado.

### 5.2.1 Comando T

No comando T, o usuário desenha uma seção T seguindo o seguinte procedimento:

1. Definir a coordenada do vértice inicial.
2. Digitar os valores das propriedades da alma:  $tw$  e  $hw$ .
3. Digitar os valores das propriedades da mesa:  $bf$  e  $tf$ .

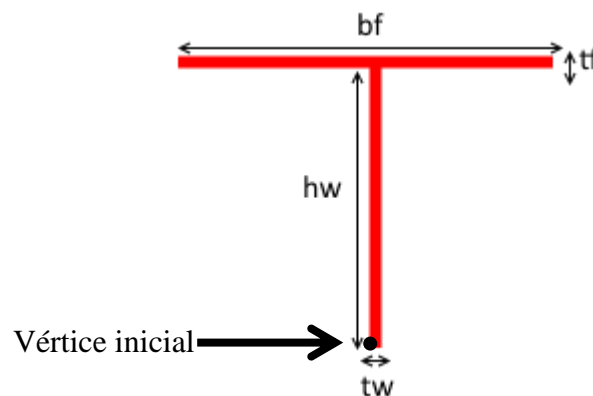


Figura 5. 2: Propriedades da seção T

A única propriedade que pode ser fornecida pelo mouse é a do vértice inicial. As propriedades são apresentadas na Figura 5. 2.

### 5.3 APLICANDO E CADASTRANDO UM MATERIAL

O comando material encontra-se na barra de comandos superior (Figura 5. 3). Ao ser clicado, aparecerá uma tela (Figura 5. 4 a.) onde o usuário poderá: 1) adicionar um novo material, 2) deletar um material existente 3) alterar um material cadastrado e 4) aplicar o material na seção selecionada.

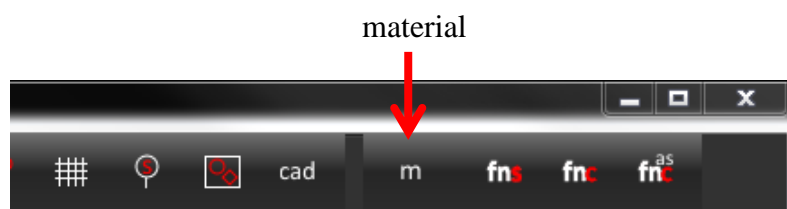


Figura 5. 3: Comando material

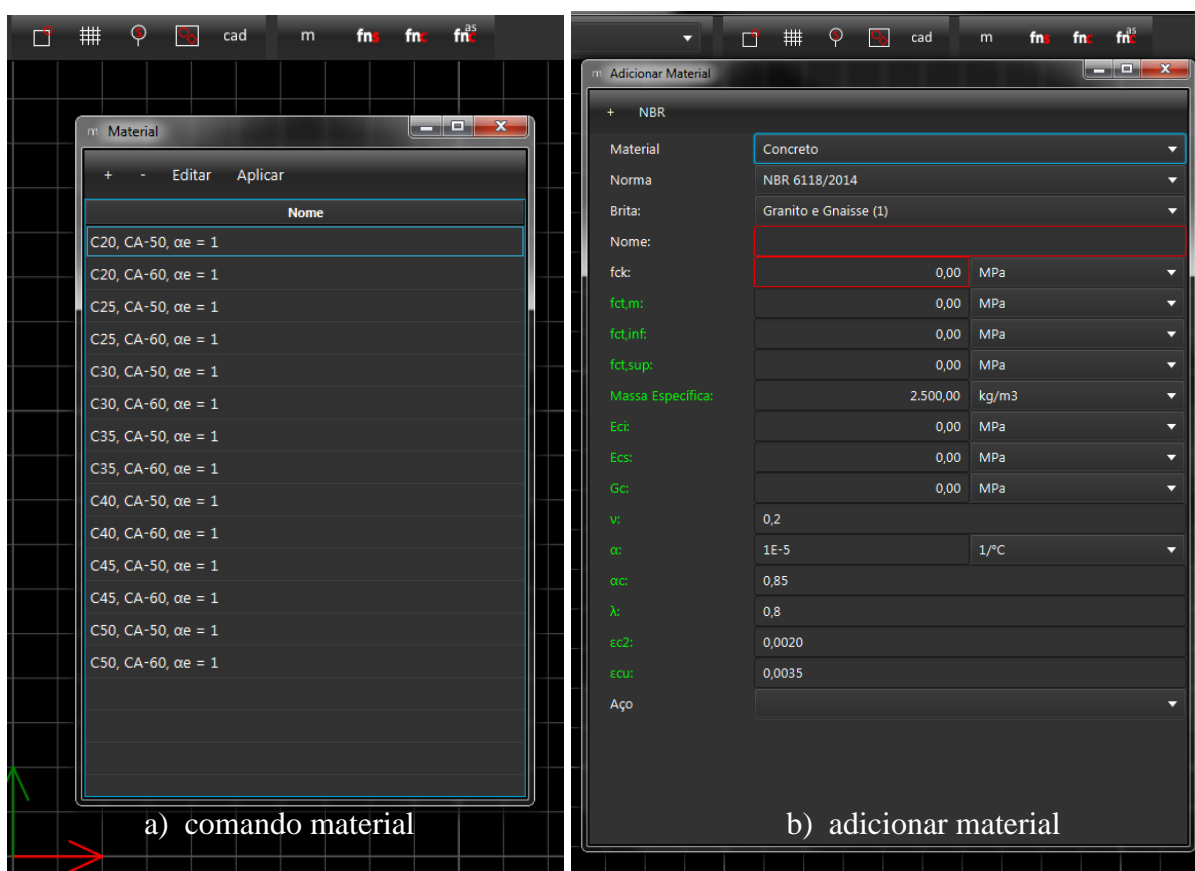


Figura 5. 4: a) tela do comando material, b) tela do adicionar novo material.

### 5.3.1 Cadastro de Materiais

O programa permite cadastrar dois tipos de material: um genérico, denominado Elástico, e outro, com nome Concreto (Figura 5. 4 b). O material Elástico será utilizado em análises lineares a serem desenvolvidas no futuro. Para dimensionamento de estruturas de concreto, deve-se cadastrar o material do tipo concreto.

O usuário tem a possibilidade de cadastrar o concreto seguindo as orientações das normas NBR 6118/2003, 6118/2014 ou entrar manualmente com todos os parâmetros solicitados, a saber: resistência a tração superior, média e inferior, massa específica, módulo de elasticidade secante e inicial, coeficiente de dilatação térmica, parâmetros, deformação específica plástica e última. O aço cadastrado será do tipo CA-25, CA-50 e CA-60 e seguirá os parâmetros contidos na norma selecionada.

Para facilitar o uso, o Torney já vem cadastrado com Concretos C20 a C50, CA-50 e CA-60, Norma NBR 6118/2014, Brita Granito ou gnaisse.

### 5.3.2 Aplicando um material

Para aplicar um material o usuário deverá seguir os seguintes procedimentos:

1. Selecionar todas as seções que deseja aplicar o material.
2. Iniciar o comando o material.
3. Selecionar o material desejado.
4. Clicar no botão aplicar.

O usuário poderá utilizar o procedimento acima se desejar substituir o material aplicado.

## 5.4 DIMENSIONAMENTO A FLEXÃO NORMAL SIMPLES

O comando para dimensionamento a Flexão Normal Simples encontra-se na barra de comandos superior (Figura 5. 5);

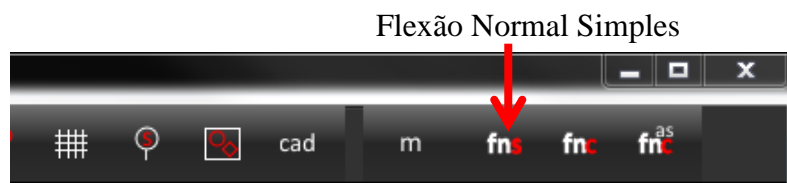


Figura 5. 5: Comando Flexão Normal Simples

O usuário somente poderá iniciar o comando se selecionar uma seção retangular ou T com material do tipo Concreto aplicado. Caso seja selecionada mais de uma forma geométrica, o programa considerará que o usuário deseja dimensionar a primeira selecionada.

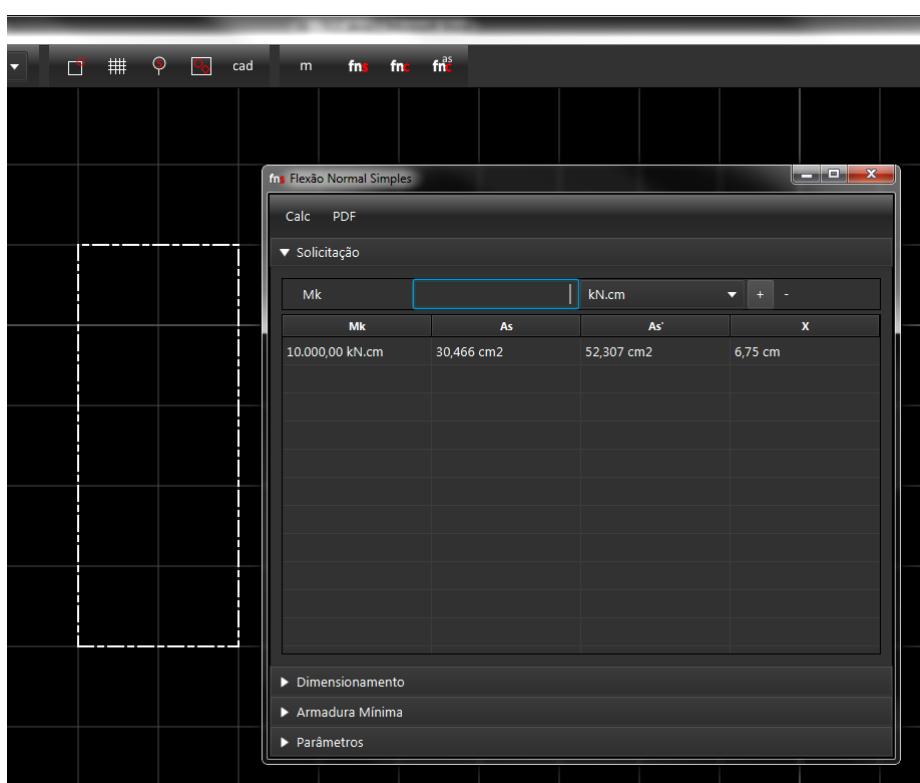


Figura 5. 6: Tela inicial do comando *FNS*.

Ao iniciar o comando, será aberta a tela inicial do comando *FNS* (Figura 5. 6). Ela é composta por quatro módulos:

1. Solicitação: onde o usuário entra com os momentos de calculo e o programa apresenta a armadura *As* calculada.
2. Dimensionamento: apresenta o máximo valor cálculo das armaduras e o número de barras necessárias para todos os diâmetros.
3. Armadura Mínima: valor da armadura mínima a ser adotada.
4. Parâmetros: apresenta os valores dos parâmetros de cálculo.

Para adicionar uma solicitação o usuário deverá digitar o valor do momento fletor característico, escolher a unidade desejada e clicar no botão adicionar, cujos campos encontram-se indicados na Figura 5. 7.

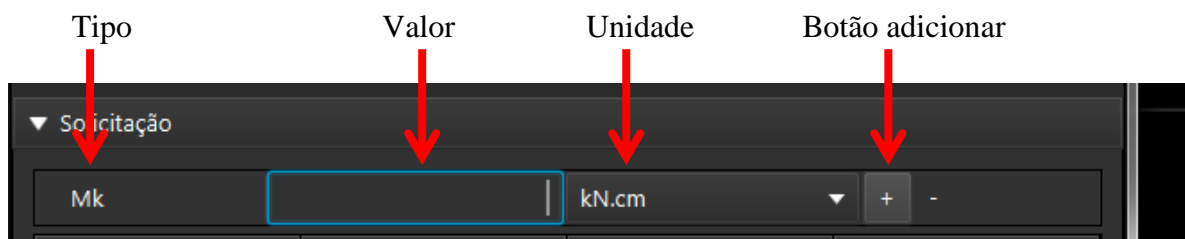


Figura 5. 7: Tela inicial do comando *FNS*.

Na parte superior encontra-se uma barra de comando com dois botões:

1. Calc: que recalcula todas as áreas.
2. PDF: gera um arquivo no formato *pdf* contendo a memória de cálculo (um exemplo é apresentado no anexo deste relatório).

Inicialmente, o usuário deverá configurar os parâmetros de cálculo: 1) coeficiente de majoração dos esforços solicitantes ( $\gamma_f$ ), 2) coeficiente de minoração da resistência do concreto ( $\gamma_c$ ), 3) coeficiente de minoração da resistência do aço ( $\gamma_s$ ), 4) distância da armadura superior a borda superior ( $d'_{sup}$ ), 5) distância da armadura inferior a borda inferior ( $d'_{inf}$ ). Adicionalmente, o usuário poderá alterar o material aplicado, e as propriedades geométricas das seções. Para que as alterações sejam efetivadas, o usuário deverá clicar no botão alterar (Figura 5. 10);

Configurado o módulo, o usuário poderá adicionar novas solicitações, o resumo do dimensionamento e a armadura mínima calculada. Toda vez que o usuário alterar algum parâmetro de cálculo ele deverá recalculer as armaduras.

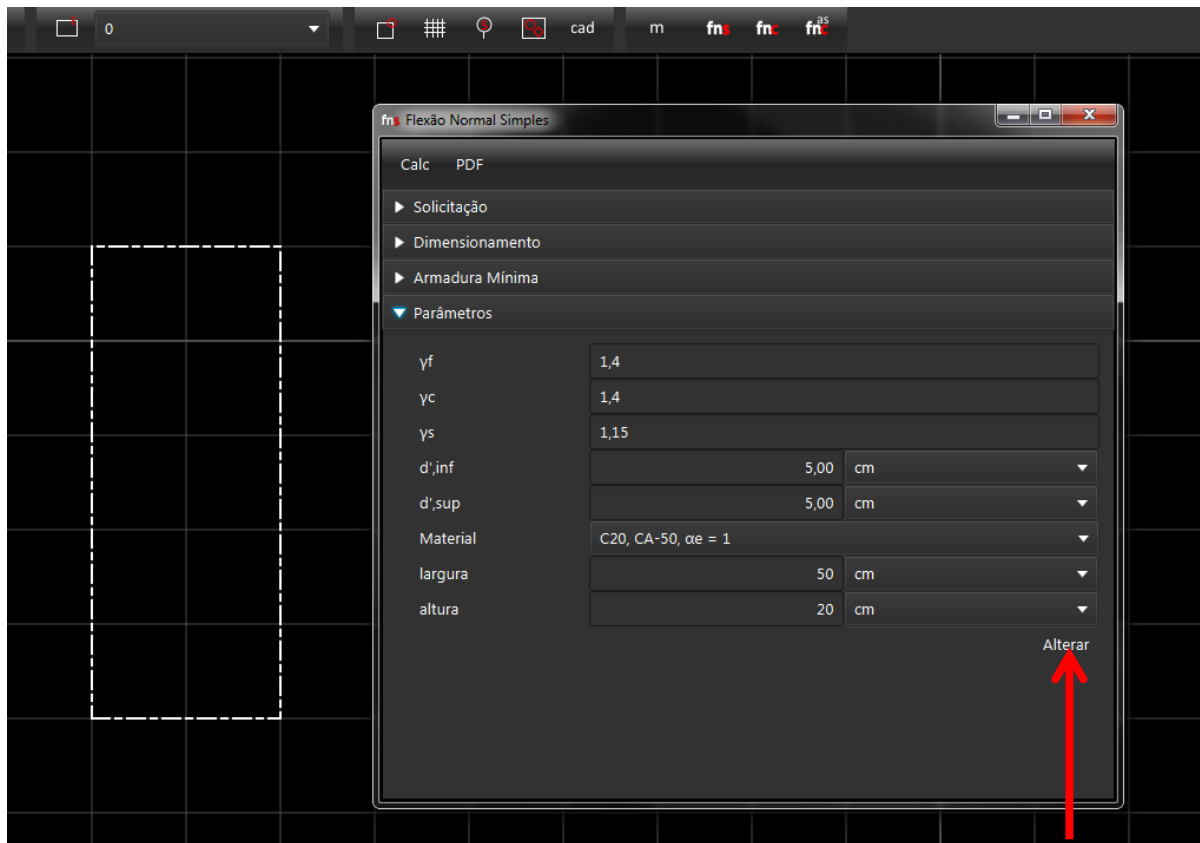


Figura 5. 8: Tela configuração de parâmetros *FNS*.

Botão Alterar

## 5.5 DIMENSIONAMENTO A FLEXÃO NORMAL COMPOSTA

O comando *Flexão Normal Composta* é similar ao *FNS*. Ele se localiza na barra superior de comando (Figura 5. 9).

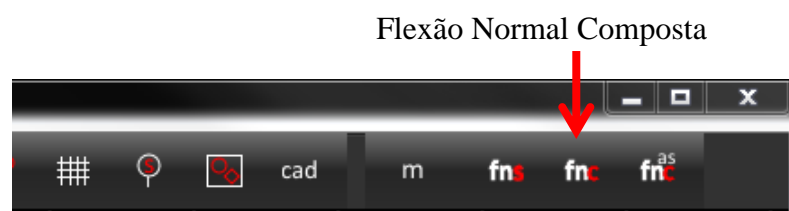


Figura 5. 9: Comando Flexão Normal Composta

Há apenas duas diferenças: 1) as solicitações de calculo é composta por um par de momento fletor e força normal e 2) o programa informa o caso de dimensionamento adotado. A tela do módulo de dimensionamento à *FNC* é apresentado abaixo.

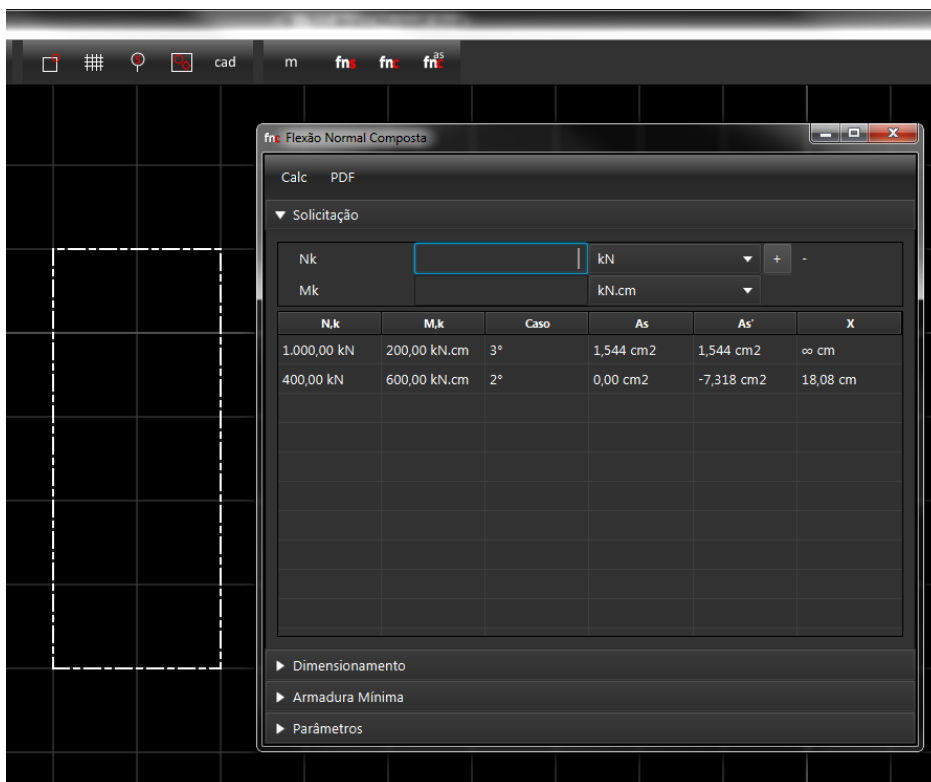


Figura 5. 10: Tela do dimensionamento a *FNC*

A forma de adicionar solicitação e configurar os parâmetros é o mesmo utilizado na *FNS*.

## 5.6 DIMENSIONAMENTO A FLEXÃO NORMAL COMPOSTA – ARMADURA SIMÉTRICA

O comando para dimensionamento a *Flexão Normal Composta – Armadura Simétrica* encontra-se na barra de comandos superior (vide Figura 5. 11). Configurado todos os parâmetros o usuário poderá iniciar os cálculos. O seu funcionamento é idêntico ao módulo de *FNC*.

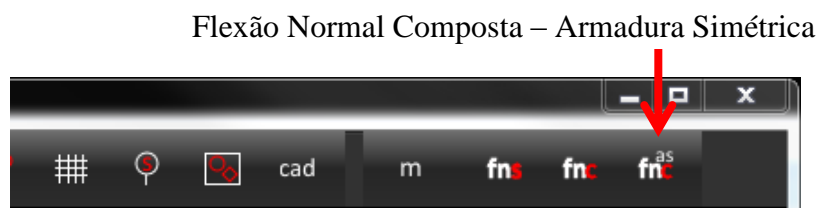


Figura 5. 11: Comando Flexão Normal Composta



Abaixo é apresentada a tela do módulo *FNCAs*.

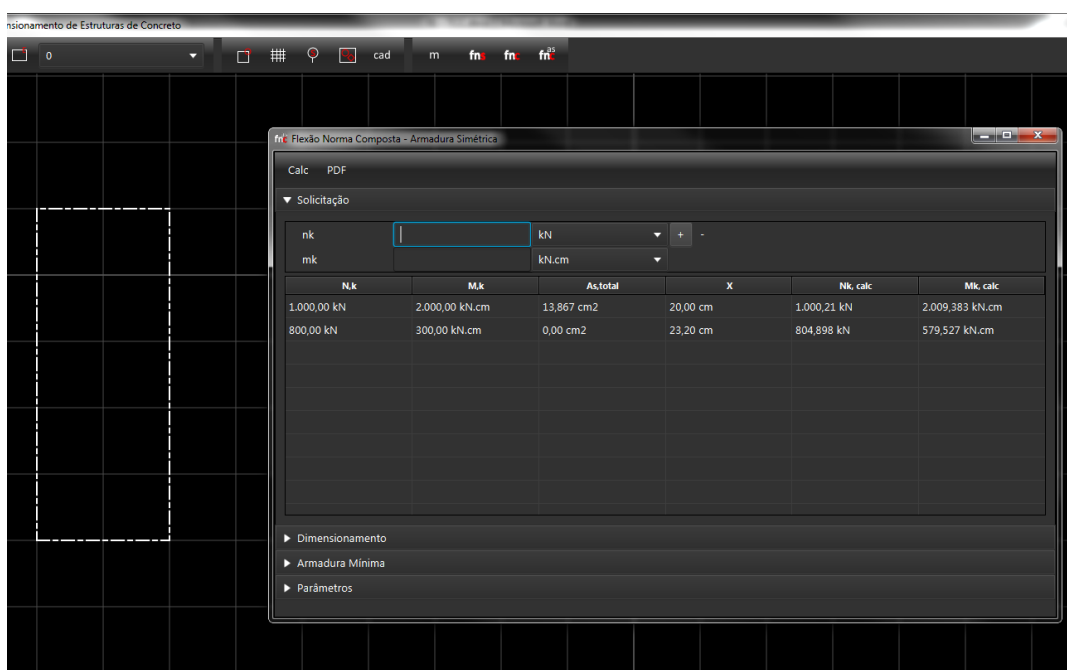


Figura 5. 12: Tela do dimensionamento a *FNCAs*

## 6 VALIDAÇÃO DE CÁLCULOS

### 6.1 INTRODUÇÃO

Neste capítulo é apresentada uma série de dimensionamentos realizados no Torney a partir de exemplos retirados da bibliográfica consultado.

### 6.2 VALIDAÇÃO DOS CÁLCULOS PARA *FNS*, SEÇÃO RETANGULAR

O seguinte exemplo consta em SILVA (2014), pg 7.19. Foram utilizados os seguintes parâmetros de cálculo:

- A. Seção retangular 15x50.
- B.  $d' = 5$  cm.
- C.  $F_{ck} = 35$  MPa.
- D. Aço: CA-50
- E.  $\gamma_f = 1,4$ .

Tabela 6. 1: Validação dos cálculos para *FNS* – Seção Retangular

Mk (kN m)	Md (kN m)	$A_{S_{Silva(2014)}} (cm^2)$	$A_{S_{Torney}} (cm^2)$
18,0	25,2	1,31	1,31
109,4	153,16	9,07	9,08
14,4	20,16	1,05	1,05
73,6	103,04	5,77	5,77
15,4	21,56	1,12	1,12
95,5	133,7	7,74	7,74
25,3	35,42	1,86	1,86
115,3	161,42	9,66	9,68
As, min		1,13	1,13

Os valores calculados no Torney e os de referência são apresentados na Tabela 6. 1 e são praticamente idênticos.

### 6.3 VALIDAÇÃO DOS CÁLCULOS PARA *FNS*, SEÇÃO T

O seguinte exemplo consta em SILVA (2014), pg 2.75. Foram utilizados os seguintes parâmetros de cálculo:

- A. Seção T:  $b_f = 90$  cm,  $t_f = 10$  cm,  $t_w = 20$  cm,  $h_w = 40$  cm.
- B.  $d' = 5$  cm.
- C.  $F_{ck} = 30$  MPa.
- D. Aço: CA-50
- E.  $\gamma_f = 1,4$ .

Tabela 6. 2: Validação dos cálculos para *FNS* – Seção T

Mk (kN m)	Md (kN m)	$A_{S_{SILVA(2014)}} (cm^2)$	$A_{S_{Torney}} (cm^2)$
150	210,0	11,09	11,10
400	560,0	31,97	31,97
As, min		1,77	1,80

Os valores calculados no Torney e os de referência são apresentados na Tabela 6. 2 e são praticamente idênticos.

### 6.4 VALIDAÇÃO DOS CÁLCULOS PARA *FNC*, SEÇÃO RETANGULAR.

O seguinte exemplo consta em SILVA (2014), pg 12.57. Foram utilizados os seguintes parâmetros de cálculo:

- A. Seção retangular 20x50.
- B.  $d' = 5$  cm.
- C.  $F_{ck} = 20$  MPa.
- D. Aço: CA-50.
- E.  $\gamma_f = 1,4$ .

Os valores calculados no Torney e os de referência são apresentados na Tabela 6. 3 e são praticamente idênticos.

Tabela 6. 3: Validação dos cálculos para *FNC* – Seção Retangular

Nd (Kn)	Md (kN cm)	Base (cm)	Altura (cm)	$A_{S_{Silva(2014)}}$ (cm <sup>2</sup> )	$A_{S_{Torney}}$ (cm <sup>2</sup> )
875	4419	50	20	As = 0, As' = 14,50	As = 0, As' = 14,50
875	2625	20	50	As = 0, As' = 2,08	As = 0, As' = 2,08
As, min				4,22	4,23

## 6.5 VALIDAÇÃO DOS CÁLCULOS PARA *FNCAs*, SEÇÃO RETANGULAR.

O seguinte exemplo consta em SILVA (2014), pg 12.57. Foram utilizados os seguintes parâmetros de cálculo:

- A. Seção retangular 20x50.
- B.  $d' = 5$  cm.
- C.  $F_{ck} = 20$  MPa.
- D. Aço: CA-50.
- E.  $\gamma_f = 1,4$ .

Tabela 6. 4: Validação dos cálculos para *FNCAs* – Seção Retangular

Nk (Kn)	Mk (kN cm)	Base (cm)	Altura (cm)	$A_{S_{Silva(2014)}}$ (cm <sup>2</sup> )	$x_{Silva(2014)}$ (cm)	$A_{S_{Torney}}$ (cm <sup>2</sup> )	$x_{Torney}$ (cm)
875	4419	50	20	26,80	14,22	27,27	14,20
875	2625	20	50	3,90	56,80	4,238	57,00
As, min				4,22		4,23	

Os valores calculados no Torney e os de referência são apresentados na Tabela 6. 4. A posição da linha neutra difere devido ao modelo de discretização utilizado em cada software. O Torney tende a calcular valores de armadura maior porque nele os valores das solicitações são sempre inferiores aos resistentes, enquanto o de referência permite um erro de 0,5% para mais ou menos.

## 7. CONCLUSÕES

O Torney é um programa novo, que necessita ser exaustivamente testado por usuários diferentes para aumentar a confiabilidade nos resultados gerados e melhorar a forma de interação com o usuário. Entretanto, os dimensionamentos realizados com Torney estão próximos aos da bibliografia de referência, aumentando a confiança em utilizá-lo.

Nas simulações feitas pelo o autor, o fator que mais interferiu na precisão e desempenho do módulo *FNCA*s é a discretização das possíveis posições da linha neutra: quanto maior o número de divisões, melhor a precisão, pior o desempenho.

Há necessidade desenvolvimento de funções básicas como salvar e abrir arquivos, edições de figuras geométricas (trim, mirror, união e intercessão), cálculo de seções circulares e poligonais, módulo de análise estrutural, entre outros.

A ferramenta CAD do Torney permite o desenvolvimento futuro de novas funcionalidades, em especial o módulo de análise estrutural.

## **REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6118:2003 – Projeto de Estruturas de Concreto, Rio de Janeiro, 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6118:2014 – Projeto de Estruturas de Concreto, Rio de Janeiro, 2014.

SILVA, N. A.; **Apostila de Concreto 1**, Belo Horizonte, 2012.

SILVA, N. A.; **Apostila de Concreto 1**, Belo Horizonte, 2014.

SILVA, N. A.; **Apostila de Concreto 2**, Belo Horizonte, 2014.

VENTURINI, W. S; RODRIGUES. R. O. **Dimensionamento de peças retangulares de concreto armado solicitadas à flexão reta**, São Carlos, 1987.