



Anais do VI Simpósio EPUSP sobre Estruturas de Concreto
Abril / 2006 ISBN 85-86686-36-0
Protensão e Industrialização de Estruturas de Concreto
Trabalho SIMP0188 - p. 1132-1144

DIMENSIONAMENTO POR COMPUTADOR DE VIGAS SIMPLEMENTE APOIADAS DE CONCRETO PROTENDIDO PÓS TRACIONADAS

Computer aided design of simply supported pre-stressed concrete beams

Ralf Klein (1); Daniel Domingues Loriggio (2)

(1) *M.Eng., Departamento de Engenharia Civil,
Universidade Regional de Blumenau
email: klein@furb.br*

(2) *Prof.Dr., Departamento de Engenharia Civil,
Universidade Federal de Santa Catarina
email: loriggio@ecv.ufsc.br*

Rua Petrópolis, 222, Blumenau-SC, Cep 89010-240

Resumo

Apresentam-se neste trabalho procedimentos e rotinas computacionais para o dimensionamento aos estados limites de serviço de vigas simplesmente apoiadas de concreto protendido, pós-tracionadas. Fornecendo o vão e o carregamento da viga, o nível de protensão desejado e as características dos materiais a serem utilizados na sua fabricação, o programa indicará o módulo de resistência mínimo da seção transversal. Adotada uma seção, o programa escolherá automaticamente os cabos de protensão visando minimizar o consumo de aço. O lançamento dos cabos de protensão é feito de forma semi-automática. Definido o traçado dos cabos serão calculadas as perdas de protensão e as tensões normais nas bordas das seções consideradas na análise. O programa traça também as curvas da força de protensão ao longo da viga já descontadas as perdas, para as perdas por atrito, cravação, elásticas e progressivas. O aplicativo foi desenvolvido na linguagem de programação Visual Basic.

Palavras-Chave: *protensão; vigas protendidas; dimensionamento automático.*

Abstract

Procedures and routines for the design of simply supported prestressed concrete beams are developed in this work. Given the length of span, beam loading, the desired level of prestress and material characteristics, the program aims to calculate the expected minimum specification for cross-section geometry. Once a cross-section has been specified the program will automatically choose the prestressing tendons. The positioning of the tendons is performed semi-automatically and requires input from the user. The prestressing losses are determined when the layout of the tendons is defined. The normal stresses at the borders of several sections are then calculated and compared to the limit stresses. Graphs of the prestressing force along the beam, computed the prestressing losses, are plotted by the program. The program were developed using Visual Basic.

Keywords: *prestressing; prestressed beams; computer aided design.*

1 Introdução

A utilização de peças de concreto protendido apresenta muitas vantagens em relação às peças de concreto armado em vários aspectos tais como os de engenharia, econômico-financeiros, sociais e ambientais. Com vigas de concreto protendido consegue-se vencer maiores vãos em comparação às de concreto armado, devido ao aproveitamento mais eficiente da peça. Nas peças de concreto protendido, pode-se eliminar a fissuração, fato que tem efeito direto na durabilidade do elemento estrutural. Maiores vãos e maior durabilidade significa que se pode gastar menos matéria prima e utilizá-la durante maior espaço de tempo. Isto gera economia de recursos materiais e naturais. A economia de recursos naturais gera aspectos ambientais positivos. A economia de recursos materiais permite que estes sejam utilizados em outros empreendimentos.

O projeto de uma viga de concreto protendido consiste de uma extensa seqüência de passos com elevada demanda de tempo. Além disso, o projeto é um processo iterativo, pois dificilmente se encontrará a melhor solução na primeira tentativa. Se esta tarefa tiver que ser desenvolvida manualmente ou com o auxílio de ferramentas computacionais parciais (programas para determinadas etapas), possivelmente levará a uma abreviação do trabalho antes de se encontrar a solução ideal.

Atualmente os programas computacionais voltados ao concreto protendido ainda são poucos, muitos deles, desenvolvidos pelos próprios escritórios de engenharia para uso exclusivo desses mesmos escritórios, como outrora acontecia com os programas computacionais para concreto armado. Existe, assim, uma carência de programas computacionais para projeto de estruturas de concreto protendido, o que tem contribuído para a não utilização desta técnica em benefício da utilização do concreto armado que dispõe de inúmeros programas computacionais, largamente comercializados no mercado.

Com o aperfeiçoamento dos materiais e acessórios que são utilizados na confecção das peças de concreto protendido, dos equipamentos necessários que se tornam cada vez menores e menos dispendiosos, o concreto protendido vem experimentando, nestes últimos tempos, significativos impulsos na sua utilização. Uma das razões pelas quais o concreto protendido não é mais utilizado é de ordem tecnológica, ou seja, carência de ferramentas e profissionais de projeto e execução envolvidos com esta técnica. Com a finalidade de estimular o estudo e o aprendizado da tecnologia do concreto protendido foi desenvolvido um programa computacional para o projeto de vigas simplesmente apoiadas de concreto protendido, pós-tracionadas.

O programa computacional considera vigas prismáticas de seção transversal com pelo menos um eixo de simetria, que deve estar na posição vertical. Os cabos de protensão deverão ter traçado parabólico e ou retilíneo e ancoragens ativas em ambas extremidades da viga. O programa abrange o dimensionamento da viga aos estados limites de serviço.

2 O programa computacional

O programa efetua o dimensionamento de vigas simplesmente apoiadas de concreto protendido, pós-tracionadas, a tensões normais nos estados limites de serviço.

2.1 Estrutura geral do programa computacional

A estrutura do programa computacional desenvolvido segue basicamente a rotina de trabalho do dimensionamento e detalhamento convencional e manual utilizada no projeto de vigas simplesmente apoiadas de concreto protendido, pós-tracionadas.

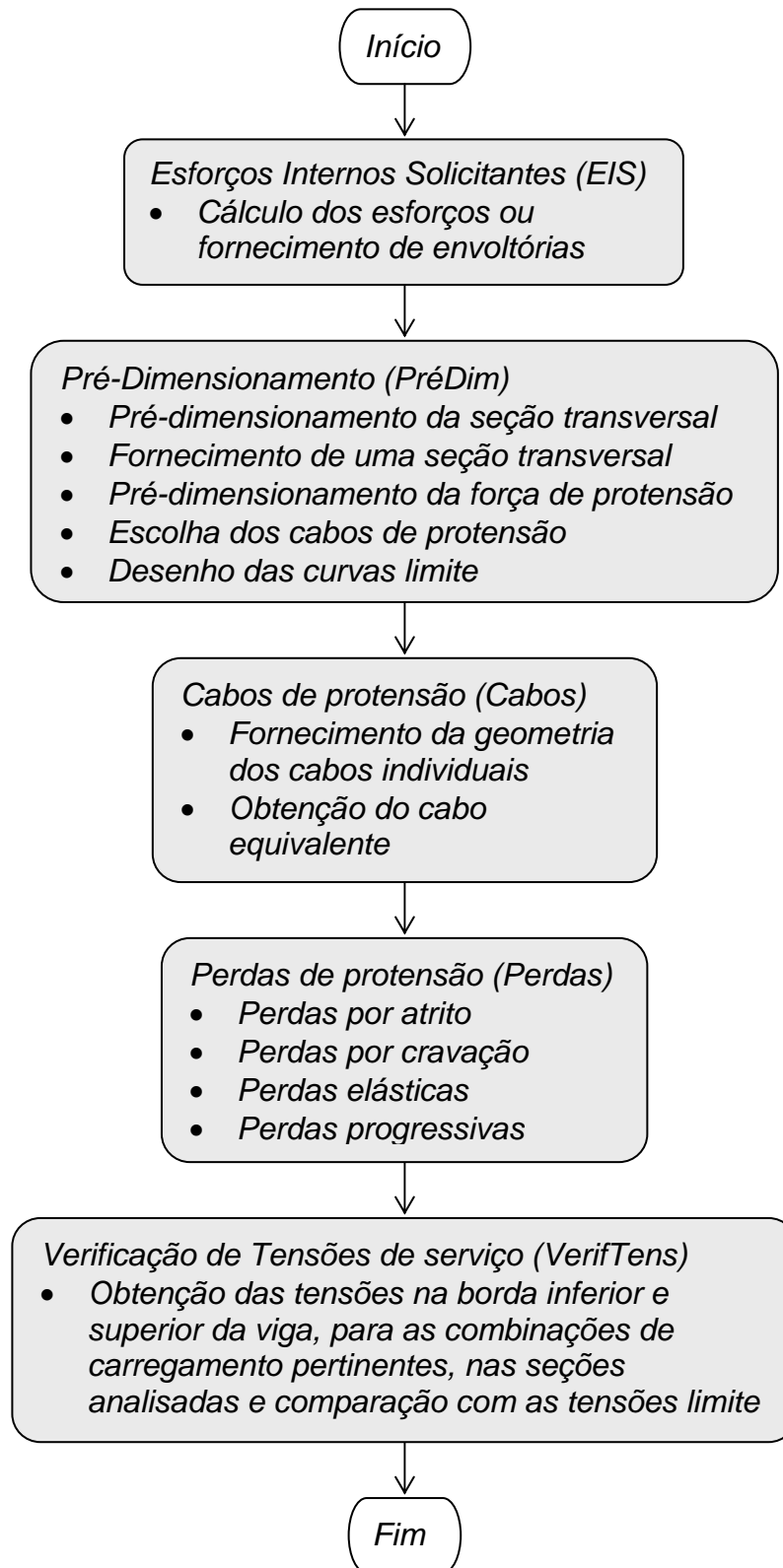
Admitir-se-á que o elemento estrutural tenha comportamento linear, assim admite-se que:

- A mudança de configuração da estrutura deformada é desprezível.
- O material é elástico-linear (segue a Lei de Hooke).

A protensão é considerada como uma força normal aplicada na seção transversal, no ponto de passagem do cabo, que é a maneira mais conveniente de se tratar a protensão no dimensionamento e detalhamento de peças isostáticas em condições de serviço

As rotinas computacionais foram dispostas em cinco módulos. Cada módulo corresponde a um conjunto de tarefas do projeto da viga. A organização das rotinas foi feita como descrito abaixo. O fluxograma da Figura 1 sintetiza as tarefas de projeto executadas em cada um dos 5 módulos do programa computacional.

- Inicialmente são determinados os Esforços Internos Solicitantes (EIS). Estes poderão ser calculados a partir dos carregamentos ou também poderão ser fornecidas as envoltórias de esforços para os diversos casos de carregamento. Neste módulo EIS, também será fornecido o número de seções da viga a serem consideradas na análise, ou seja, as seções em que devem ser calculados os esforços internos solicitantes, as perdas na força de protensão e as tensões.
- No módulo de Pré-Dimensionamento (PréDim), calcular-se-á inicialmente o módulo de resistência mínimo que deve ter a seção transversal. Na seqüência, deverá ser escolhida uma seção transversal entre as disponibilizadas pelo programa ou então ser fornecida uma nova seção transversal. No módulo PréDim, também será calculada a força de protensão necessária na seção do meio do vão, baseada na limitação da tensão de tração na borda inferior. De uma relação de cabos de protensão de utilização usual, o programa escolherá os cabos de protensão de menor seção transversal que atendem a força de protensão determinada. Ainda neste módulo, serão desenhadas as curvas limite dentro das quais deverá estar o cabo de protensão equivalente.
- No módulo Cabos, serão lançados os cabos de protensão. Aqui será fornecida a geometria dos cabos individuais para então ser obtido o cabo equivalente, que é um cabo único equivalente a totalidade dos cabos individuais. Este cabo equivalente deverá estar dentro do espaço delimitado pelas curvas limite obtidas na etapa anterior. Da atual etapa, sairão a excentricidade do cabo de protensão equivalente e a variação na inclinação do cabo equivalente relativamente à seção da ancoragem do cabo. Estas informações serão necessárias para a determinação das perdas de protensão.
- No módulo Perdas, serão calculadas as perdas na força de protensão por atrito entre a bainha e o cabo, as perdas por deslizamento da armadura na ancoragem e acomodação da ancoragem (perdas por cravação), as perdas por encurtamento elástico do concreto na fase de protensão (perdas elásticas) e as perdas progressivas. Estas perdas serão calculadas nas seções determinadas no 1º módulo (EIS).
- No último módulo, o de Verificação de Tensões (VerifTens), serão calculadas nas seções consideradas as tensões na borda superior e inferior da viga para as combinações de ações correspondentes ao nível de protensão desejado. Estas tensões serão comparadas com as tensões limite das respectivas combinações de ações.



Obs.: A entrada de dados e saída de resultados ocorre em todos os blocos.

Figura 1 – Fluxograma geral do programa

Os dados necessários ao processamento computacional são escolhidos de tabelas embutidas no programa ou solicitados pelo programa ao usuário à medida que se fazem necessários nos diversos módulos descritos acima. Resultados intermediários são mostrados ao longo das diversas etapas, sendo permitido ao usuário interagir com o programa, ou seja, conforme os resultados obtidos, o usuário poderá avançar ou retornar no programa, modificar dados anteriormente fornecidos, reprocessar etapas e assim por diante.

2.2 As telas do programa computacional

2.2.1 Tela EIS

A Figura 2 mostra a tela EIS que é a tela inicial do aplicativo. Neste módulo inicial (EIS), são determinadas as seções a serem consideradas na análise da viga e, a seguir, serão calculados os esforços internos solicitantes nestas seções.

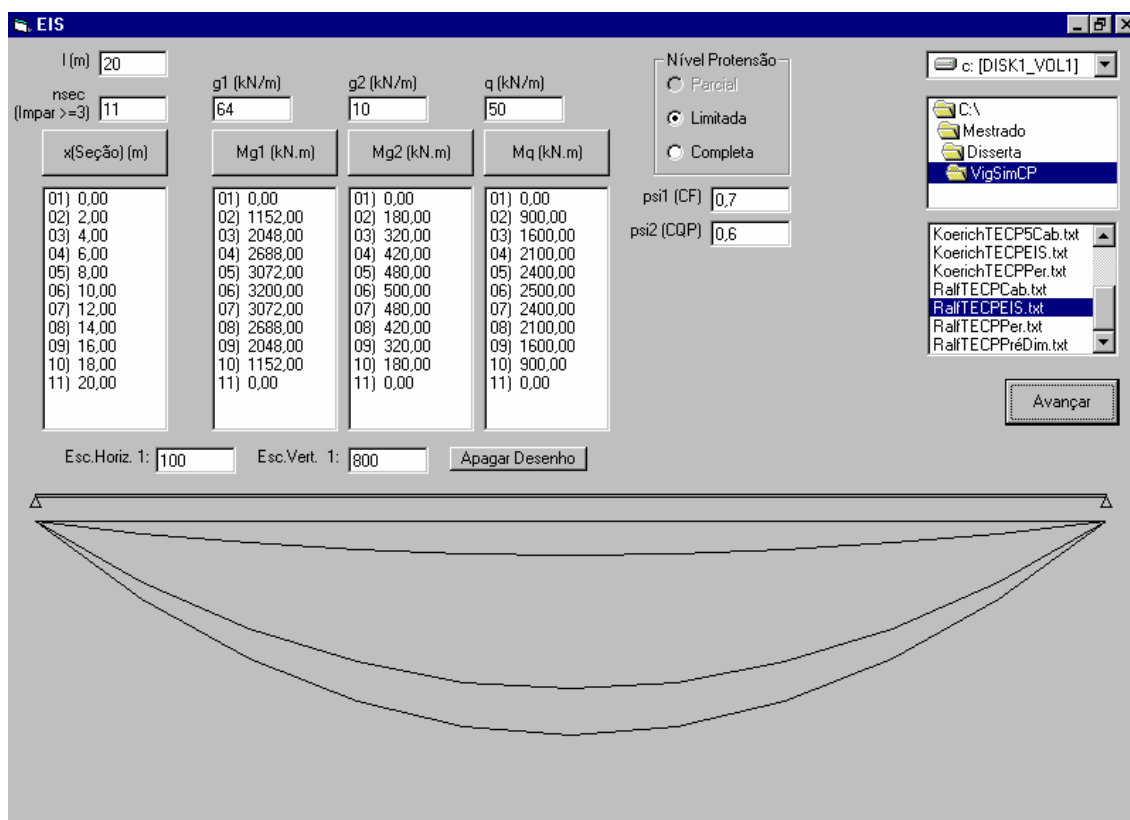


Figura 2 – Tela EIS

O programa calcula os momentos fletores nas seções consideradas para cargas uniformemente distribuídas em todo o vão. Se houver necessidade de fornecer diagramas de momento para outros tipos de carregamentos, é possível informar os valores dos diagramas diretamente por arquivos de texto, através da caixa de lista de arquivos, acima do botão de comando Avançar da Figura 2.

Fornecendo-se o comprimento da viga e o número de seções (nº trechos + 1) a serem consideradas na análise da viga, o programa calculará as abcissas das diversas seções. O número máximo de seções considerado pelo programa é 50 (cinquenta). É nestas

seções que serão calculados os esforços internos solicitantes, a força de protensão já descontadas as perdas de protensão, e as tensões nas bordas da viga.

Informando-se os carregamentos, poderão ser calculados os esforços internos solicitantes que serão simultaneamente listados e plotados. Na tela EIS, também deverá ser fornecido o nível de protensão desejado para a viga e os fatores de redução das ações variáveis.

2.2.2 Telas PréDim e PréDimCab

No módulo anterior (EIS), foram determinados os esforços internos solicitantes, neste módulo (PréDim), será fornecida uma seção transversal e o programa escolherá os cabos de protensão.

A indicação do tipo de seção transversal ficará a cargo do engenheiro, considerando que existem muitos tipos de seções e também que a seção adequada depende da obra em questão. As vigas consideradas pelo programa são prismáticas, de seção transversal, com pelo menos um eixo de simetria, que deve estar na direção vertical.

Com base na variação dos momentos atuantes na seção transversal do meio do vão (ΔM) e na variação de tensões admissíveis para cada borda ($\Delta \sigma$), serão determinados os módulos de resistência mínimos que devem ter a borda inferior (i) e superior (s) da seção transversal ($W_{i,mín}$, $W_{s,mín}$), ver expressões (1). A variação de tensões admissível numa determinada borda depende do nível de protensão e da combinação de ações considerada; ψ - fator de redução para a ações variáveis.

$$\begin{aligned} |W_{i,mín}| &= \frac{\Delta M}{\Delta \sigma_i} = \frac{M_{g2} + \psi \cdot M_q}{\Delta \sigma_i} \\ |W_{s,mín}| &= \frac{\Delta M}{\Delta \sigma_s} = \frac{M_{g2} + \psi \cdot M_q}{\Delta \sigma_s} \end{aligned} \quad (1)$$

Na tela PréDim (Figura 3), ao ser fornecida a resistência característica do concreto e a data da protensão, é determinado o módulo de elasticidade do concreto. Fornecendo-se o tipo de seção transversal a ser adotado no projeto da viga, pode ser determinado o módulo de resistência mínimo que deve ter a seção transversal. Escolhe-se, então, uma seção transversal entre as disponibilizadas pelo programa, ou então, introduz-se uma nova seção, fornecendo os dados geométricos solicitados.

Informando-se a excentricidade do cabo de protensão equivalente na seção do meio do vão (excentricidade positiva acima do eixo baricêntrico), baseado na limitação da tensão de tração na borda inferior e considerando todos os carregamentos agindo, é determinada a força de protensão necessária na seção do meio do vão. Esta força de protensão no meio do vão no tempo infinito é usada para escolher os cabos de protensão a serem utilizados. É escolhida a menor seção transversal de aço que atende a força de protensão determinada. Este pré-dimensionamento dos cabos de protensão se baseia numa estimativa de 24% [Pfeil, 1983] para a totalidade das perdas de protensão (tempo infinito) na seção do meio do vão. As características dos cabos de protensão selecionados são listados na tela PréDim (Figura 3). Caso se deseje alterar a quantidade de cabos de protensão a serem utilizados, basta informar, na tela PréDim, o número de cabos a serem adotados. O programa considera sempre o tipo de cabo da última seleção efetuada. Se for conveniente utilizar apenas um ou alguns tipos de cabo de protensão no projeto da viga, pode-se marcar ou desmarcar os cabos que forem convenientes na tela PréDimCab

(Figura 4). A tela PrédimCab é chamada acionando o botão de comando SelecProj da tela Prédim (Figura 3).

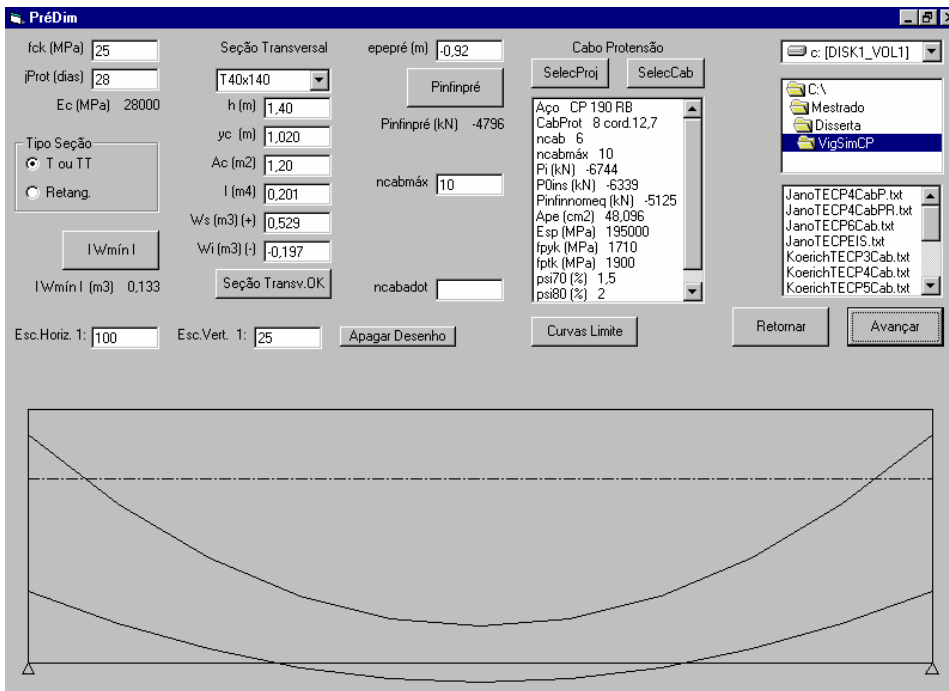


Figura 3 - Tela Prédim

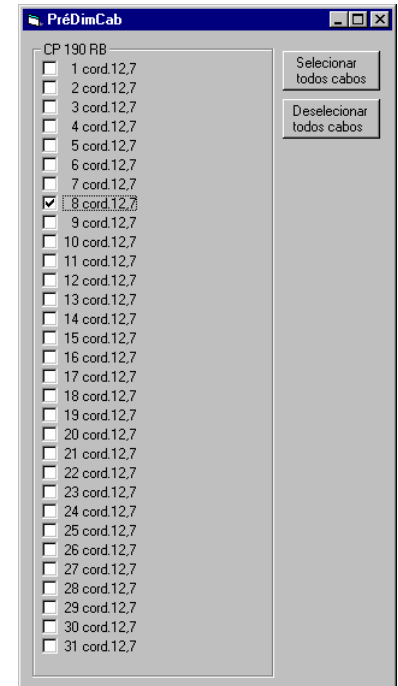


Figura 4 - Tela PrédimCab

Definidos os cabos de protensão a serem utilizados, podem ser desenhadas as curvas limite. As curvas limite determinam uma região desejável de localização do cabo de protensão equivalente. Para a determinação da curva da posição limite inferior do cabo de protensão equivalente considerou-se a força de protensão após a ocorrência das perdas imediatas de protensão que foram estimadas em 6% [Pfeil, 1983]. Para a determinação da curva da posição limite superior do cabo de protensão equivalente considerou-se a força de protensão após a ocorrência da totalidade das perdas de protensão (imediatas e progressivas) que foram estimadas em 24% [Pfeil, 1983].

2.2.3 Tela Cabos

O tipo de cabo e a quantidade de cabos de protensão a serem utilizados na viga foram determinados no módulo anterior (Prédim). Neste módulo (Cabos), tratar-se-á do traçado geométrico dos cabos individuais e da obtenção do cabo equivalente.

Os cabos de protensão terão traçado curvilíneo e ou retilíneo, deverão apresentar simetria relativamente ao meio do vão e terão ancoragens ativas em ambas faces extremas da viga. Estas restrições geométricas são, no entanto, usuais em vigas simplesmente apoiadas. O traçado de cada cabo, no programa computacional, é composto de três trechos. Inicia com um trecho parabólico, seguido de um trecho retilíneo e termina com um trecho parabólico como se vê na Figura 5. Este procedimento para traçado dos cabos acima descrito permite o traçado de cabos totalmente retilíneos, totalmente parabólicos e cabos compostos por um trecho retilíneo no centro da viga e trechos parabólicos nas extremidades, conforme pode ser visto na Figura 6.

O cabo equivalente é um cabo único que representa todos os cabos de protensão individuais presentes na viga. O seu traçado geométrico, na maioria dos casos, não será

composto de trechos parabólicos e ou retilíneos como o são os cabos individuais que ele representa. As perdas de protensão bem como a verificação final de tensões na viga será feita utilizando-se o cabo de protensão equivalente. Todos os cabos de protensão individuais deverão ser do mesmo tipo, ou seja, mesma seção transversal e mesmo aço. O cabo equivalente tem área da seção transversal igual à soma das áreas dos cabos individuais e estará localizado no baricentro dos cabos individuais. Calculado o baricentro do cabo equivalente nas seções em análise, o mesmo poderá ser desenhado. A inclinação do cabo equivalente numa determinada seção é obtida pela média aritmética da inclinação dos cabos individuais nesta mesma seção.

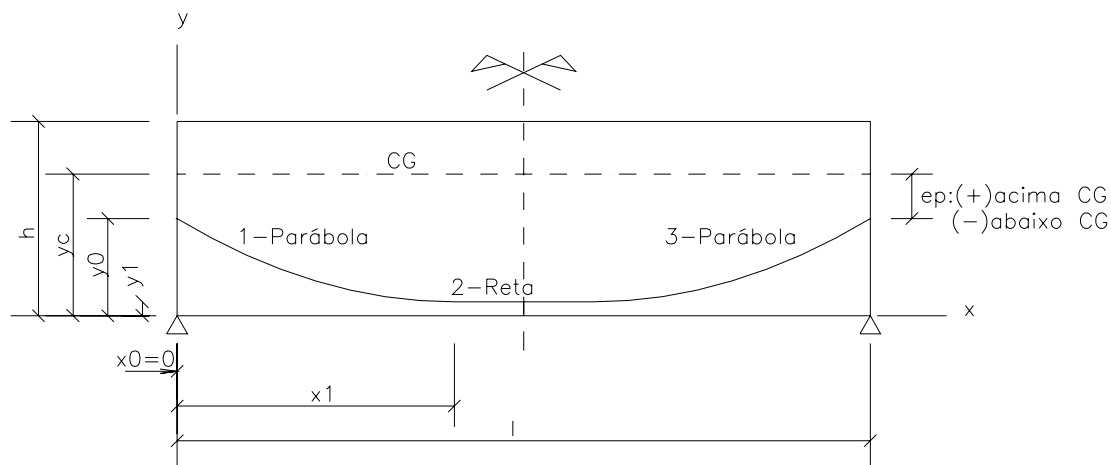


Figura 5 - Geometria dos cabos.

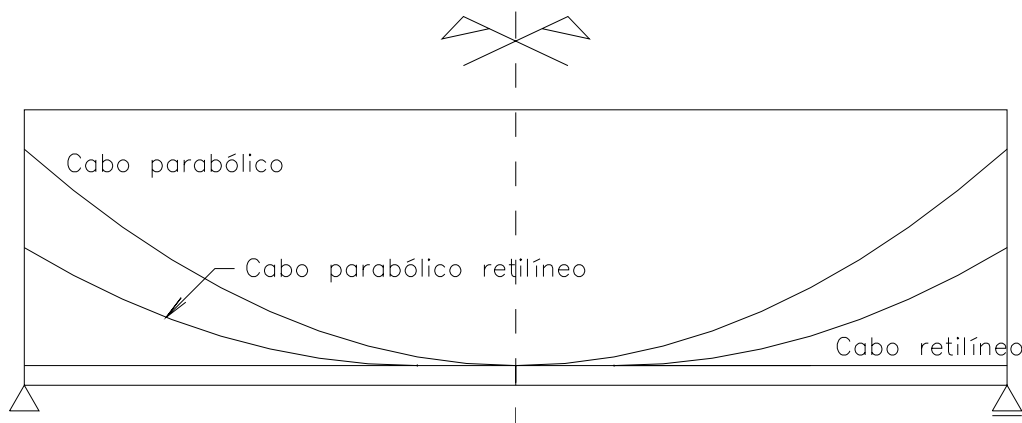


Figura 6 - Geometria dos cabos, casos particulares.

A relaxação das cordoalhas para protensão (ψ) é a medida da perda de tensão de amostras mantidas sob comprimento constante, durante determinado tempo e a uma certa temperatura. Com relação à relaxação, existem as cordoalhas de relaxação normal (RN) e as cordoalhas de relaxação baixa (RB). No Brasil, as cordoalhas para protensão são fabricadas pela Belgo Bekaert Arames S.A., que atualmente produz somente o tipo de cordoalha CP190RB, de resistência característica de ruptura à tração $f_{ptk} = 1900$ MPa [Fujii, 2002]. Segundo a NBR 7483/1990, a relaxação máxima das cordoalhas de 7 fios de relaxação baixa, após 1000 h, a 20 °C, para a carga inicial de 70% e 80% de f_{ptk} é 2,5% e 3,5% respectivamente. Os valores reais da relaxação das cordoalhas de 7 fios de relaxação baixa (RB) da Belgo Bekaert, após 1000 h, a 20 °C, segundo Issao Fujii [Fujii, 2002], são:

- 0,8% a 1,5% para 70% de f_{ptk} (ψ_{70})
- 1% a 2% para 80% de f_{ptk} (ψ_{80})

No programa computacional, foram implementados cabos de protensão formados por 1 a 31 cordoalhas de 7 fios de 12,7mm CP190RB (Figura 4). Foram considerados para relaxação das cordoalhas os valores $\psi_{70} = 1,5\%$ e $\psi_{80} = 2\%$, e para o módulo de elasticidade o valor $E_{sp} = 195000$ MPa.

O traçado das curvas limite e a posição do baricentro da seção transversal da viga poderão ser reproduzidos na tela Cabos (Figura 7), para auxiliar no lançamento dos cabos de protensão.

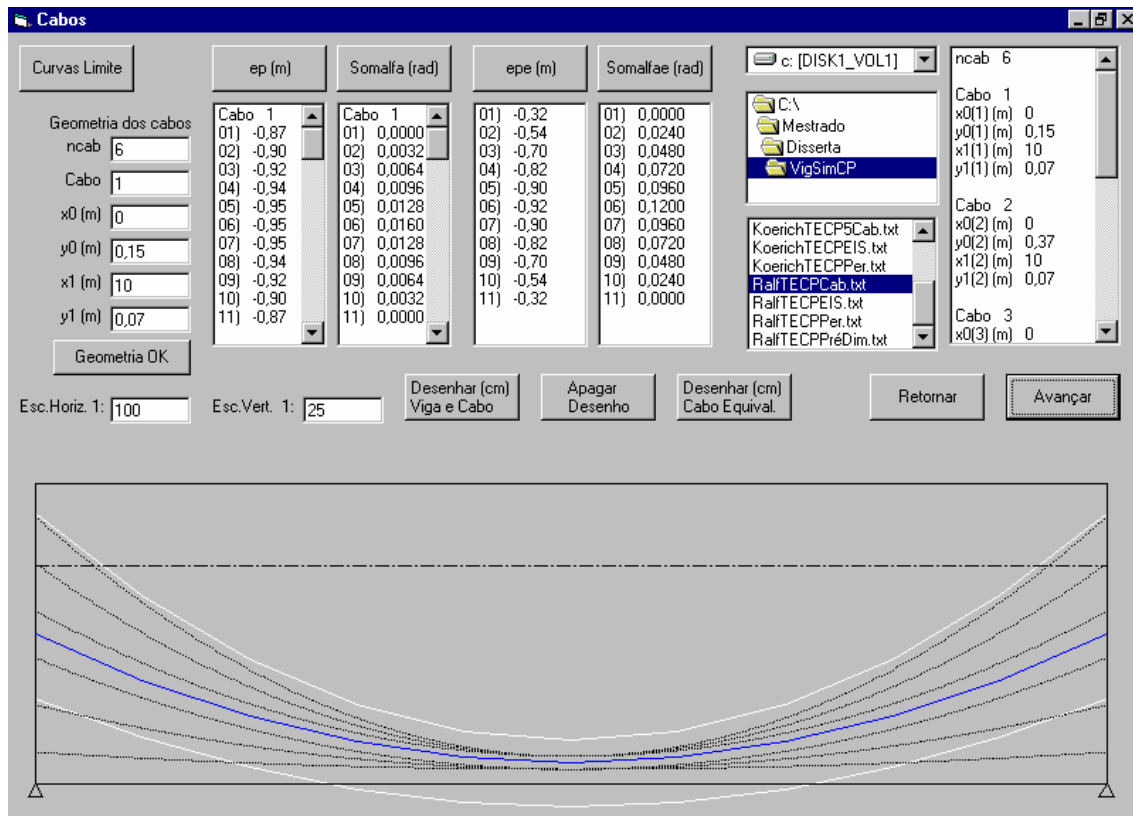


Figura 7 - Tela Cabos

Para o lançamento dos cabos individuais deverá ser fornecido o número total de cabos, determinado no módulo PréDim, e, para cada cabo, o número do cabo e suas respectivas condições de contorno geométricas conforme indicado na Figura 5, sendo então calculados os parâmetros das curvas dos cabos. Poderá, então, ser desenhado o cabo, calculada a sua excentricidade em relação ao eixo baricêntrico da viga e a variação na inclinação do cabo relativamente à seção de ancoragem, para todas as seções analisadas. Fornecida a geometria de todos os cabos individuais poderá ser obtido o cabo equivalente, seu desenho e a listagem de suas características de geometria.

2.2.4 Tela Perdas

No módulo anterior (Cabos), foram determinadas as características geométricas dos cabos de protensão, necessárias ao cálculo das perdas. Neste módulo (Perdas), serão determinadas as perdas de protensão, perdas estas que serão calculadas sobre o cabo equivalente. As perdas de protensão para o caso de pós-tração incluem as perdas imediatas e as perdas progressivas.

Para o cálculo das perdas na força de protensão, deverão ser fornecidos os dados solicitados na tela Perdas (Figura 8), que são: o coeficiente de atrito aparente entre o cabo de protensão e a bainha (μ), o deslocamento do cabo de protensão por deslizamento da armadura na ancoragem (δ), o valor final do coeficiente de fluência do concreto (ϕ_{∞}) e o valor final da deformação específica por retração do concreto ($\epsilon_{cs,\infty}$). Fornecido o dado ou dados solicitados, poderão ser calculadas as correspondentes perdas, com simultânea listagem e plotagem da força de protensão após as perdas, nas seções transversais da viga consideradas na análise.

Para se obter uma melhor visualização das curvas correspondentes à força de protensão, já descontadas as perdas, os diagramas foram truncados na ordenada $0,6P_i$ (P_i – força máxima aplicada à armadura de protensão pelo equipamento de tração), ou seja, os valores da força de protensão descontadas as perdas são plotados, subtraindo-se 60% do valor da força máxima aplicada à armadura pelo dispositivo de tração. Este truncamento é feito apenas nos valores plotados, nas caixas de lista são mostrados os valores totais da força de protensão descontadas as perdas.

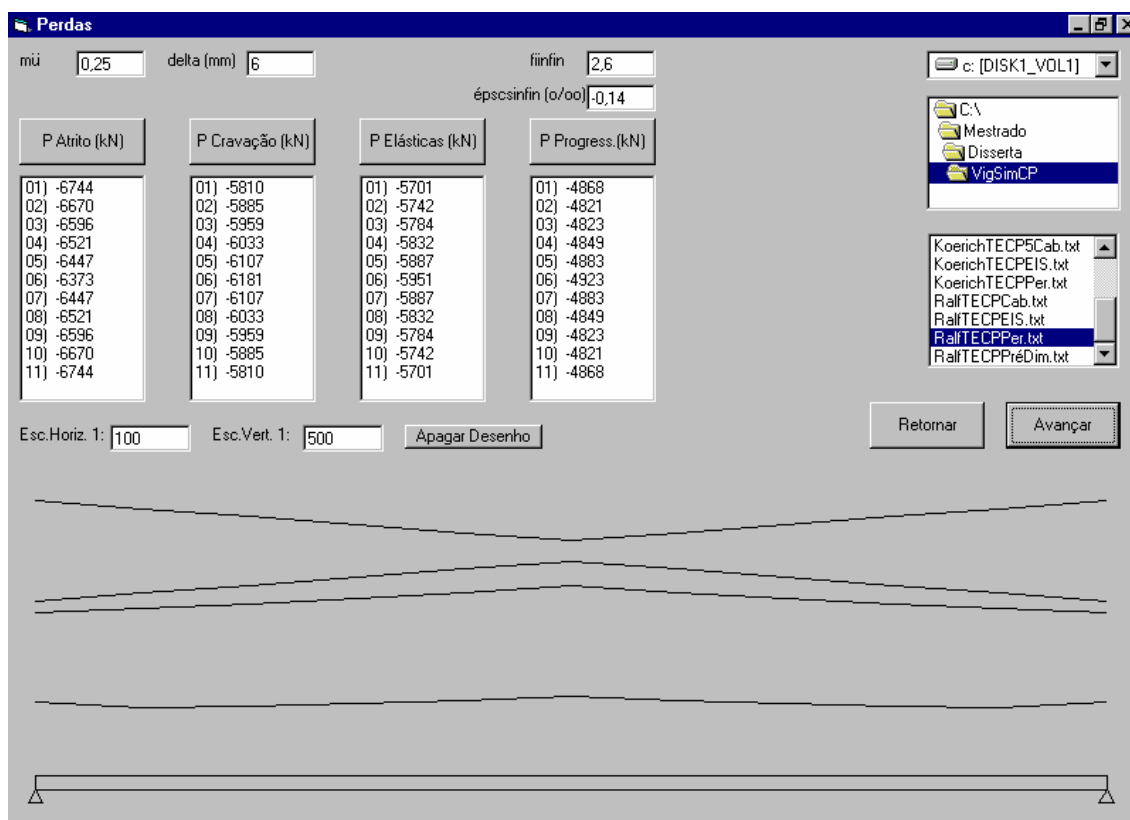


Figura 8 - Tela Perdas

2.2.5 Tela VerifTens

Neste estágio do processamento, já foram fornecidos e ou calculados os dados relevantes, tais como geometria longitudinal e da seção transversal da viga, nível de protensão desejado, carregamentos e combinações de ações, traçado dos cabos de protensão, características dos materiais e as perdas de protensão.

Neste módulo (VerifTens), serão calculadas as tensões na borda superior e inferior da seção transversal, nas seções em análise, para as combinações de ações de serviço a serem consideradas. Estas tensões devem atender às exigências dos estados limites de

serviço correspondentes às combinações de ações, de acordo com o nível de protensão desejado.

Todos os dados necessários à verificação de tensões nas seções em análise já estão disponíveis ao programa nesta ocasião. Acionando o botão de comando VerifTens (Figura 9), o programa listará:

- As principais características da viga consideradas na atual análise.
- As tensões na borda superior e inferior das seções consideradas para todos os carregamentos.
- As tensões na borda superior e inferior das seções consideradas para as combinações de ações correspondentes ao nível de protensão desejado.

Acionando os botões de comando Retornar das diversas telas é possível se deslocar a qualquer módulo, alterar dados e novamente avançar nos processamentos até se obter resultados satisfatórios.

VerifTens Tabela de Verificação de Tensões de Serviço

Seç. Transv. T40x140

I (m) 20

Protensão limitada g1 (kN/m) 64

fck (MPa) 25 g2 (kN/m) 10

Ec (MPa) 28000 q (kN/m) 50

Ac (m2) 1,2

I (m4) 0,201

Ws (m3) 0,529

Wi (m3) -0,197

Aço CP 190 RB

CabProt 8 cord.12,7

ncab 6

Ape (cm2) 48,096

Pi (kN) -6744

Esp (MPa) 195000

SigmaELSCE (MPa) -17,5 / -15,0

SigmaELSF (MPa) 2,1

SigmaELSD (MPa) 0

Seção	epe (m)	SigmaS (MPa)	SomSigmaS (MPa)	SigmaI (MPa)	SomSigmaI (MPa)
Seção 01	-0,32				
	PO (kN)	-5701	-1,3	-1,3	-14,0
Protensão	Mg1 (kN.m)	0	0,0	-1,3	0,0
	Mg2 (kN.m)	0	0,0	-1,3	0,0
Final Constr.	0,5Prog. (kN)	417	0,1	-1,2	1,0
	0,7Mq (kN.m)	0	0,0	-1,2	0,0
Comb.Freq.	0,5Prog. (kN)	417	0,1	-1,1	1,0
	0,6Mq (kN.m)	0	0,0	-1,2	0,0
Comb.Q.Perm.	0,5Prog. (kN)	417	0,1	-1,1	1,0
Seção 02	-0,54				
	PO (kN)	-5742	1,0	1,0	-20,4
Protensão	Mg1 (kN.m)	1152	-2,2	-1,1	5,8
	Mg2 (kN.m)	180	-0,3	-1,5	0,9
Final Constr.	0,5Prog. (kN)	460	-0,1	-1,6	1,6
	0,7Mq (kN.m)	630	-1,2	-2,8	3,2
Comb.Freq.	0,5Prog. (kN)	460	-0,1	-2,8	1,6
	0,6Mq (kN.m)	540	-1,0	-2,6	2,7
Comb.Q.Perm.	0,5Prog. (kN)	460	-0,1	-2,7	1,6
Seção 03	-0,70				

Figura 9 - Tela VerifTens

3 Considerações finais

Considerando que programas computacionais nacionais voltados ao projeto de elementos estruturais de concreto protendido ainda são praticamente inexistentes a disponibilização, ao meio acadêmico e à comunidade em geral, de uma ferramenta computacional para o dimensionamento de vigas simplesmente apoiadas de concreto protendido é importante a diversos segmentos técnicos da engenharia civil.

Para a comunidade acadêmica é um recurso didático valioso. Os professores da disciplina de concreto protendido podem utilizá-lo para mostrar particularidades que se observam no desenvolvimento de um projeto, como por exemplo:

- Modificação das curvas limite por alteração dos cabos de protensão utilizados
- Modificação dos valores da força de protensão após as perdas e suas respectivas curvas, por alteração do traçado dos cabos de protensão, etc.
- Podem utilizá-lo também para auxiliar na correção de exercícios.

Os alunos podem utilizá-lo como diretriz, quando da elaboração do seu primeiro projeto e para analisar outras soluções.

Os pesquisadores podem utilizá-lo como ponto de partida para outros trabalhos, ou seja, é suficiente tomar conhecimento do aplicativo desenvolvido, e implementá-lo para as necessidades da pesquisa.

A comunidade profissional de engenharia pode se valer deste programa computacional e implementá-lo para os mais diversos fins.

4 Referências

ABNT, Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 6118:2003, Projeto de estruturas de concreto - Procedimento.**

APARICIO, A.C.; CASAS, J.R., RAMOS, G.. **Computer aided design of prestressed concrete highway bridges.** Computers & Structures, vol.60, nº 6, pp. 957-969, Great Britain, 1996.

CHOLFE, L., BONILHA, L.A.S.. **Concreto protendido** – teoria 1 e 2, notas de aula. Escola de Engenharia da Universidade Mackenzie, São Paulo, 1999.

DUARTE, E.P. **Projeto e cálculo de uma viga isostática de concreto protendido.** Mac Protensão e Cia. Siderúrgica Belgo Mineira, Rio de Janeiro, 1995.

FUJII, I. / Belgo Bekaert Arames S.A. **Relaxação das cordoalhas para protensão.** Comunicação pessoal, 2002.

KLEIN, R. **Dimensionamento por computador de vigas simplesmente apoiadas de concreto protendido pós-tracionadas,** dissertação de mestrado. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2002.

LA ROVERE, H.L. **Análise matricial de estruturas,** notas de aula. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2001.

LORIGGIO, D. D. **Tópicos especiais de concreto protendido,** notas de aula. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1999.

NILSON, A.H. **Design of concrete structures,** 12th. edition. McGraw-Hill, Singapore, 1997.

PFEIL, W.. **Concreto protendido,** vol.1 e 2, 2^o edição. Livros Técnicos e Científicos Editora S.A., Rio de Janeiro, 1988.

VASCONCELOS, A.C.. **Manual prático para a correta utilização dos aços no concreto protendido em obediência às normas atualizadas.** Livros Técnicos e Científicos Editora S.A., Rio de Janeiro, 1980.

VERÍSSIMO, G.S.; CÉSAR Jr., K.M.L.. **Concreto protendido** - fundamentos básicos e perdas de protensão, 4ª edição, notas de aula. Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1998.