

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE CONSTRUÇÃO CIVIL
CURSO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO CIVIL

PATRICIA FONTANA

**DESENVOLVIMENTO DE APLICATIVO EM VBA PARA DIMENSIONAMENTO
DAS ARMADURAS DE FRETAGEM EM VIGAS PROTENDIDAS**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

CURITIBA

2011

DESENVOLVIMENTO DE APLICATIVO EM VBA PARA DIMENSIONAMENTO DAS ARMADURAS DE FRETAGEM EM VIGAS PROTENDIDAS

Trabalho de conclusão de curso de graduação, apresentado à disciplina de Projeto Final 2, do curso de Engenharia de Produção Civil do Departamento Acadêmico de Construção Civil da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campus Curitiba, como requisito parcial para obtenção do título de Engenheiro.

Orientador: Professor Mestre Amacin Rodrigues Moreira.

CURITIBA

2011

FOLHA DE APROVAÇÃO
DESENVOLVIMENTO DE APLICATIVO EM VBA PARA
DIMENSIONAMENTO DAS ARMADURAS DE FRETAGEM EM VIGAS
PROTENDIDAS

Por
PATRÍCIA FONTANA

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia de Produção Civil, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, defendido e aprovado em 03 de dezembro de 2011, pela seguinte banca de avaliação:

Prof. Orientador – Amacin Rodrigues Moreira, MSc.
UTFPR

Eng. MSc. Yassunori Hayashi, Dr..
UTFPR

Prof. Dr. Wellington Mazer, Dr.
UTFPR

RESUMO

FONTANA, Patricia. **Desenvolvimento de aplicativo em VBA para dimensionamento das armaduras de fretagem em vigas protendidas.** 2011. 81 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Curso de Engenharia de Produção Civil. Universidade tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2011.

O concreto quando protendido é solicitado por tensões elevadas na região da ancoragem. Para essa região, portanto, deve ser realizado um tratamento especial a fim de possibilitar a distribuição dessas tensões ao longo do elemento sem a ocorrência de danos ou patologias à estrutura. As regiões próximas à ancoragem, onde a distribuição das tensões não é uniforme, devem ser analisadas a fim de se determinar os esforços de tração atuantes e, então, as armaduras necessárias para combate desses esforços, as chamadas armaduras de fretagem. Neste trabalho será desenvolvida uma planilha eletrônica com o objetivo de determinar as armaduras de fretagem para vigas protendidas, minimizando assim as operações repetitivas manuais no cálculo, que usualmente são necessárias, visto que não existem no mercado atual programas comerciais tradicionais que analisam essa situação.

Palavras chave: Concreto armado, protensão, fretagem, esforços concentrados.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Representação do Princípio de Saint Venant: elemento sob a ação de carga concentrada.....	10
Figura 2: Sequência construtiva de vigas com armaduras pré-tracionadas.....	12
Figura 3: Sequência construtiva de vigas com armaduras pós-tracionadas.	13
Figura 4: Utilização de protensão externa sem aderência para reforço de pontes..	14
Figura 5: Viga em concreto protendido com cabos com cordoalhas engraxadas....	14
Figura 6: Distribuição das tensões em bloco parcialmente carregado.....	15
Figura 7: Introdução da protensão.....	16
Figura 8: Desenvolvimento das tensões em uma ancoragem por aderência.....	17
Figura 9: Transferência dos esforços por aderência.	18
Figura 10: Fissuras de fendilhamento na região de ancoragem sem armadura transversal.....	18
Figura 11: Fendilhamento longitudinal visível.....	19
Figura 12: Tensões de tração na região das ancoragens.....	20
Figura 13: Exemplos de arranjos das armaduras das ancoragens centradas.....	21
Figura 14: Ancoragens excêntricas.....	21
Figura 15: Ancoragens excêntricas.....	22
Figura 16: Ancoragens múltiplas equilibradas.....	23
Figura 17: Ancoragens múltiplas não equilibradas.....	23
Figura 18: Ancoragens múltiplas equilibradas.....	24
Figura 19: Distribuição das tensões de tração no caso de ancoragens múltiplas não equilibradas.....	26
Figura 20: Ancoragens múltiplas não equilibradas.....	26
Figura 21: Interferência das zonas de regularização.....	27
Figura 22: Fissuração superficial.....	28
Figura 23: Distribuição das tensões na zona de regularização para um elemento estrutural qualquer de concreto.....	29
Figura 24: Zonas de regularização de tensões.....	29
Figura 25: Forças transversais nas ancoragens.....	30
Figura 26: Forças transversais de equilíbrio.....	32
Figura 27: Cisalhamento longitudinal na zona de regularização.....	33
Figura 28: Divisão de um modelo em elementos finitos.....	35

Figura 29: Aplicação do método de bielas e tirantes no caso de um bloco sobre duas estacas.....	37
Figura 30: Modelo de bielas e tirantes em bloco parcialmente carregado.....	37
Figura 31: Planilha para entrada de dados.....	40
Figura 32: Seção caixão simplificada para estudo das armaduras de fretagem.....	41
Figura 33: Células de entrada de dados das dimensões da seção e gráfico gerado com base nesses dados.....	41
Figura 34: Apresentação das propriedades da seção.....	42
Figura 35: Fatias analisadas para determinação das tensões.....	43
Figura 36: Apresentação dos valores das tensões.....	44
Figura 37: Seção analisada para verificação da planilha.....	49
Figura 38: Dados de entrada da viga seção I.....	50
Figura 39: Planilha com os resultados das propriedades da seção, tensões e resultantes das forças de protensão.....	51
Figura 40: Planilha com a apresentação dos resultados finais: esforços de tração e armaduras de fretagem.....	52

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	7
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	9
2.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS.....	9
2.2 CONCRETO PROTENDIDO.....	10
2.3 INTRODUÇÃO DAS FORÇAS DE PROTENSÃO E ZONA DE REGULARIZAÇÃO.....	14
2.4 ANCORAGENS NA PROTENSÃO.....	16
2.4.1 ANCORAGENS CENTRADAS.....	18
2.4.2 ANCORAGENS EXCÊNTRICAS.....	20
2.4.3 ANCORAGENS MÚLTIPLAS	22
2.5 TENSÕES NA VIZINHANÇA DOS APOIOS.....	26
2.6 ARMADURAS.....	27
2.7 MÉTODOS PARA DETERMINAÇÃO DAS ARMADURAS DE FRETAGEM DE MANUTENÇÃO DE EQUILÍBRIO	34
3. DESENVOLVIMENTO DA PLANILHA ELETRÔNICA	38
3.1 ENTRADA DE DADOS	38
3.2 PROPRIEDADES DA SEÇÃO.....	41
3.3 TENSÕES DE TRAÇÃO DE MANUTENÇÃO DO EQUILÍBRIO.....	41
3.4 DETERMINAÇÃO DA POSIÇÃO DA FORÇA RESULTANTE.....	42
3.5 DETERMINAÇÃO DOS ESFORÇOS DE TRAÇÃO DE MANUTENÇÃO DO EQUILÍBRIO.....	43
3.6 DETERMINAÇÃO DOS ESFORÇOS DE TRAÇÃO DE FENDILHAMENTO E DE FISSURAÇÃO SUPERFICIAL.....	44
3.7 DETERMINAÇÃO DAS ARMADURAS DE FRETAGEM	45
4. VERIFICAÇÃO DA PLANILHA E RESULTADOS	48
5. CONCLUSÃO	52
REFERÊNCIAS	53
ANEXO A – Programação do aplicativo	55

1. INTRODUÇÃO

Durante anos a baixa resistência à tração do concreto, e até mesmo o seu limite de resistência à compressão, limitaram as alternativas de construções da sociedade. A necessidade de maior mobilidade, aproveitamento dos espaços e também com o avanço da arquitetura na sociedade, fez-se necessário que novos sistemas construtivos fossem criados.

Com isso inicia-se o estudo do concreto protendido, o qual elimina algumas limitações do concreto, pois insere no sistema estrutural forças externas que balanceiam as forças solicitantes do sistema. Com o concreto protendido passa a existir uma maior flexibilidade das construções, possibilitando a execução de estruturas que anteriormente não eram possíveis, permitindo ainda que maiores vãos sejam vencidos e que desafios arquitetônicos se concretizem.

Porém, assim como todo avanço tecnológico, o concreto protendido exige uma atenção especial para seu cálculo. Estudos complementares aos previstos no concreto armado convencional devem ser realizados. Um desses assuntos é, portanto, aqui abordado: as armaduras de fretagem.

As armaduras de fretagem são utilizadas para combater os esforços de tração existentes no elemento estrutural devido à aplicação da protensão. A força de protensão, por ser aplicada concentrada nas ancoragens, gera um fluxo interno de tensões no concreto que não pode ser estudado pelos conceitos básicos da Resistência dos Materiais. A região onde esse fluxo de tensões não é uniforme deve ser estudada detalhadamente a fim de se determinar os esforços solicitantes existentes e, então, as armaduras de fretagem.

1.1 OBJETIVO PRINCIPAL

O objetivo principal do presente trabalho consiste na elaboração de uma planilha eletrônica para determinação dos esforços da chamada zona de regularização de tensões, na qual o fluxo de tensões é variável. Nessa zona deverão ser utilizadas armaduras de fretagem, as quais são armaduras transversais utilizadas para combater os esforços de tração gerados no interior da peça estrutural na zona considerada.

1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

A planilha será desenvolvida em linguagem VBA (*Visual Basic for Application*), com o uso do *software* Excel da Microsoft. O uso do *software* em questão, associado à programação em VBA, permite a elaboração de um programa computacional de fácil desenvolvimento e, principalmente, de fácil compreensão e manipulação.

Para a determinação das armaduras de fretagem é necessário inicialmente calcular os esforços de tração no interior da peça analisada. Para isso será utilizado o conceito de bielas e tirantes, através da simplificação do modelo de distribuições de tensões por um modelo de representação de bielas comprimidas e tirantes tracionados.

1.3 JUSTIFICATIVA

Como os *softwares* atuais de cálculos estruturais não fazem o estudo individual das zonas onde a distribuição das tensões é irregular, os cálculos das armaduras de fretagem são feitos manualmente, o que faz com o processo de cálculo estrutural se torne mais lento no caso do uso de protensão. Por isso a necessidade de se otimizar o cálculo dessas estruturas protendidas com o uso de uma planilha eletrônica de cálculo de armaduras de fretagens.

O uso de uma planilha eletrônica minimiza os erros dos cálculos, uma vez que o processo passa a ser desenvolvido por um sistema computacional, evitando que desatenções humanas sejam cometidas. Ainda, tem-se como vantagem o fato de se poder, dentro do processo da planilha, criar condições de verificações e análise de alternativas, as quais também facilitam para que os resultados obtidos sejam satisfatórios.

1.4 LIMITAÇÃO

A planilha eletrônica será desenvolvida para o cálculo de armaduras de fretagem em vigas protendidas, onde se observam esforços concentrados nas ancoragens. Dessa forma, demais casos que envolvam a análise de cargas concentradas, como exemplo blocos sobre estacas, concentrações de esforços em pilares, não serão estudados.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

Nas estruturas protendidas os cabos de protensão são ancorados em pontos isolados, nos quais são aplicadas forças elevadas de protensão. Conforme apresentado por Fusco (1995), essas forças geram tensões que se difundem na viga e até uma certa distância da ancoragem, denominada zona de regularização de tensões, a distribuição de tensões na seção não se rege pelas leis elementares usualmente admitidas na análise estrutural corrente.

Esse conceito apresentado por Fusco é baseado no “Princípio de Saint Venant”, que estabelece o seguinte:

“Se existirem dois sistemas estaticamente equivalentes de forças sendo aplicados na mesma região de um contorno, em corpos diferentes mas geometricamente idênticos, as diferenças ocorridas nas tensões serão desprezíveis em regiões suficientemente afastadas da área de aplicação das cargas. No entanto, imediatamente abaixo do ponto de aplicação das cargas, surgirão diferenças significativas de tensão.” (Souza, 2004).



Figura 1: Representação do Princípio de Saint Venant: elemento sob a ação de carga concentrada.

Sendo assim, tem-se que na região próxima à aplicação do esforço concentrado existe uma grande variação dos valores das tensões. Torna-se necessário então um tratamento especial nessa zona, uma vez que nela as tensões

longitudinais de compressão são acompanhadas de tensões transversais de tração. Dentre esses esforços transversais de tração estão aqueles que podem provocar o fendilhamento longitudinal da peça, tensões de fissuração superficial e tensões de manutenção do equilíbrio.

O tratamento é feito com o uso de armaduras de fretagem nas zonas de regularização. Essas armaduras têm a função de resistir aos esforços de tração decorrentes da aplicação concentrada das forças de protensão e controlar uma possível fissuração.

Nos itens seguintes desse capítulo serão apresentados os conceitos principais necessários para o entendimento da necessidade das armaduras de fretagem.

2.2 CONCRETO PROTENDIDO

O concreto é um material que tem como característica uma alta resistência à compressão e baixa resistência à tração. A deficiência com relação à tração fez com que começasse a se pensar em aplicar uma compressão prévia nas regiões onde as solicitações produzissem tensões de tração. E é esse o princípio da protensão.

De acordo com Pfeil (1984), “a protensão pode ser definida como o artifício de introduzir, numa estrutura, um estado prévio de tensões, de modo a melhorar sua resistência ou seu comportamento, sob ação de diversas solicitações.”

No concreto armado convencional os esforços internos de compressão são absorvidos pelo concreto, enquanto os esforços de tração são resistidos pela armadura de aço. Ainda, conforme apresentado por Pfeil (1984), o aço pode apresentar elevados valores de resistência à tração, porém a utilização desse material fica limitada pela fissuração do concreto. Dessa forma, a fissuração do concreto ocorrerá sempre que a força a ser transmitida pelo aço superar a resistência à tração do concreto. Matematicamente, quando $A_s \cdot \sigma_s > A_c \cdot f_{ct}$.

Dessa forma, assim como apresentado na norma NBR 6118/2003, a protensão tem a finalidade de “em condições de serviço, impedir ou limitar a fissuração e os deslocamentos da estrutura e propiciar o melhor aproveitamento de aços de alta resistência no ELU (estado limite de último)”. Minimiza-se então a importância da fissuração como um limitante no dimensionamento do elemento.

2.2.1 TIPOS DE PROTENSÃO

A protensão do concreto é realizada por meio de cabos de aço tracionados e ancorados no próprio concreto. O método pode ser executado de três maneiras distintas, sendo por aderência inicial (pré tensão), por aderência posterior (pós tensão) ou ainda sem aderência.

A protensão por aderência inicial é obtida tensionando-se a armadura de protensão antes do endurecimento do concreto e, dessa forma, a armadura protendida fica aderente ao concreto em toda a extensão da viga. A figura 2, a seguir, apresenta um esquema do funcionamento da protensão por aderência inicial.

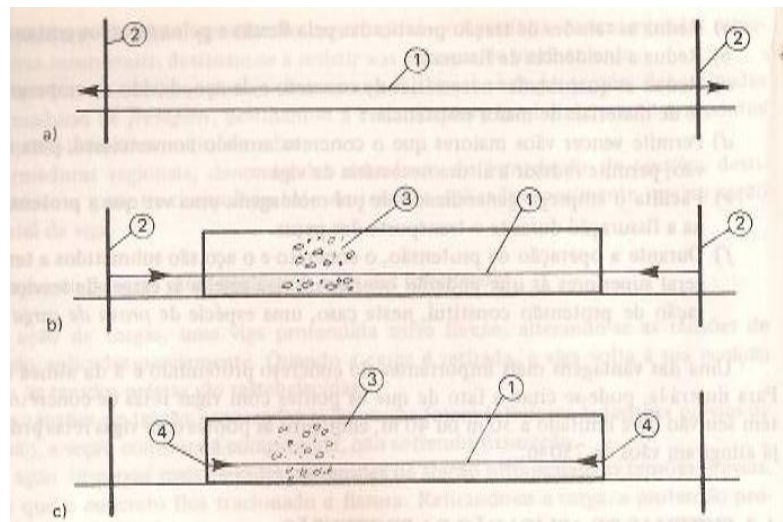


Figura 2: Sequência construtiva de vigas com armaduras pré-tensionadas.

Fonte: Pfeil (1984, pg. 6)

Segundo Pfeil (1984), a sequência do processo de pré tensão se dá da seguinte forma: “a) as armaduras de aço (1) são esticadas entre dois pontos (2), ficando ancoradas provisoriamente nos mesmos; b) o concreto (3) é colocado dentro das formas, envolvendo as armaduras.” Pfeil completa com a informação de que as ancoragens são liberadas após o concreto atingir resistência suficiente sendo possível então a transferência da força para a viga, por aderência (4) entre aço e concreto.

Conforme apresentado por Leonhardt (1983), na protensão por aderência posterior, ou pós tensão, a armadura de protensão é colocada solta em dutos ou bainhas dispostos no interior da peça a concretar. As bainhas devem ser perfeitamente estanques de forma que quando o elemento for concretado não haja

penetração de concreto ou calda de cimento no seu interior, deixando assim o espaço livre para a armadura de protensão.

Após o concreto ter atingido resistência suficiente a armadura de protensão é tensionada e ancorada nas extremidades da peça. Nesse caso a aderência se dará posteriormente com a injeção de calda de cimento nas bainhas após a protensão. A figura 3, abaixo, ilustra o processo.

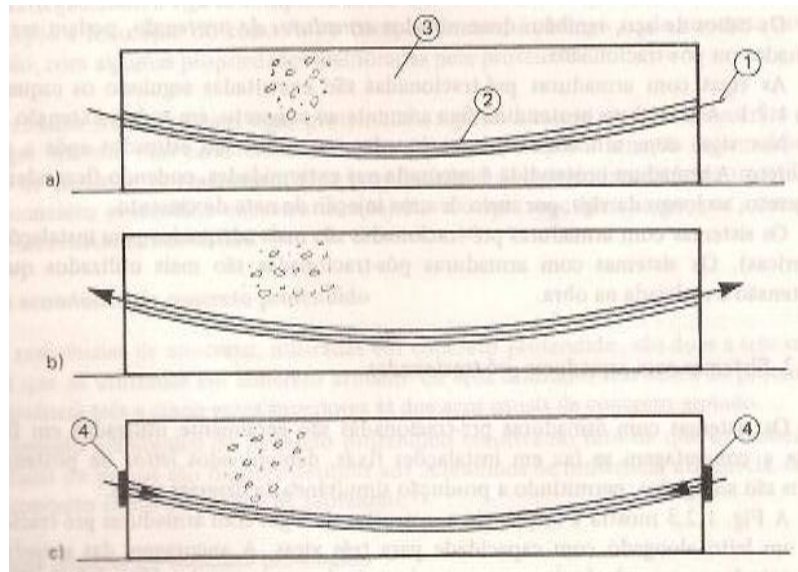


Figura 3: Sequência construtiva de vigas com armaduras pós-tracionadas.

Fonte: Pfeil (1984, pg. 6)

Resumidamente, a sequência da protensão com aderência posterior, apresentada por Pfeil (1984), é a seguinte:

“a) o concreto (3) é moldado e deixado endurecer; cabos de aço (1) são colocados no interior das bainhas (2), podendo deslocar-se no interior da viga; b) após o concreto haver atingido resistência suficiente, os cabos são esticados pelas extremidades, até atingirem o alongamento desejado; c) os cabos são ancorados nas faces da viga com dispositivos mecânicos (4), aplicando um esforço de compressão no concreto.”

Segundo Veríssimo (1998), na protensão sem aderência a força de protensão “é aplicada sobre uma peça de concreto já endurecido não havendo, entretanto, aderência entre os cabos e o concreto.” Na figura 4 se observa um exemplo de protensão sem aderência.

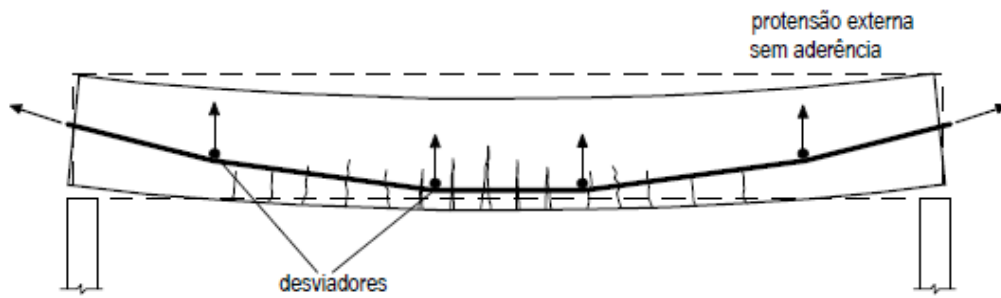


Figura 4: Utilização de protensão externa sem aderência para reforço de pontes.

Fonte: Veríssimo (1998, pg. 41).

A norma NBR 6118 (ABNT, 2003) define o concreto protendido sem aderência como aquele em que “o pré alongamento da armadura ativa é realizado após o endurecimento do concreto, sendo utilizado como apoios, partes do próprio elemento estrutural, mas não sendo criada aderência com o concreto, ficando a armadura ligada ao concreto apenas em pontos localizados.”

A forma mais comum de protensão sem aderência, conforme apresentado por Chust, se dá com o uso de cordoalhas envoltas em graxa e encapadas com capa plástica protetora. “Desta forma a capa faz a função da bainha isolando o concreto do cabo e a graxa além de preencher os vazios entre cabo e capa plástica ajuda na fase de protensão permitindo o seu estiramento ao diminuir bastante o atrito na superfície do cabo.” Na figura 5 a seguir é apresentada essa situação.

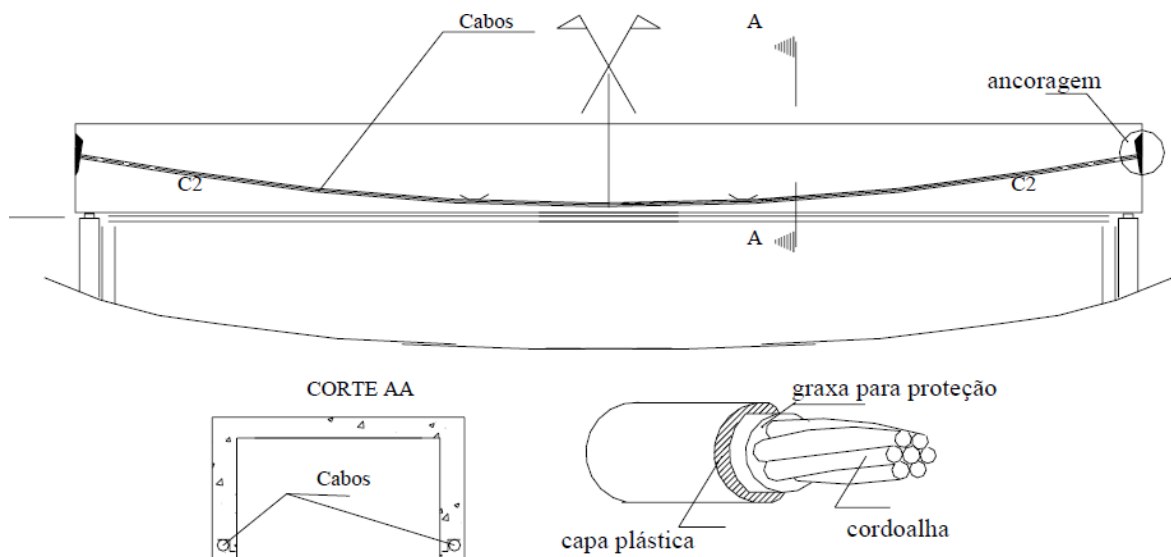


Figura 5: Viga em concreto protendida com cabos com cordoalhas engraxadas

Fonte: Chust (pg. 08).

2.3 INTRODUÇÃO DAS FORÇAS DE PROTENSÃO E ZONA DE REGULARIZAÇÃO

A força de protensão, aplicada na extremidade do elemento, deverá ser analisada como um esforço concentrado. Fusco (1995) analisou um elemento de seção transversal de dimensões $a \times b$ (figura 6) e uma força de compressão F_{co} aplicada em uma área restrita $a_o \times b_o$, menor que a área da seção transversal do elemento estudado. Nesse modelo, chamado de bloco parcialmente carregado, estará sendo gerada uma tensão no elemento dada por

$$\sigma_{co} = \frac{F_{co}}{A_{co}} = \frac{F_{co}}{a_o \times b_o} \quad (1)$$

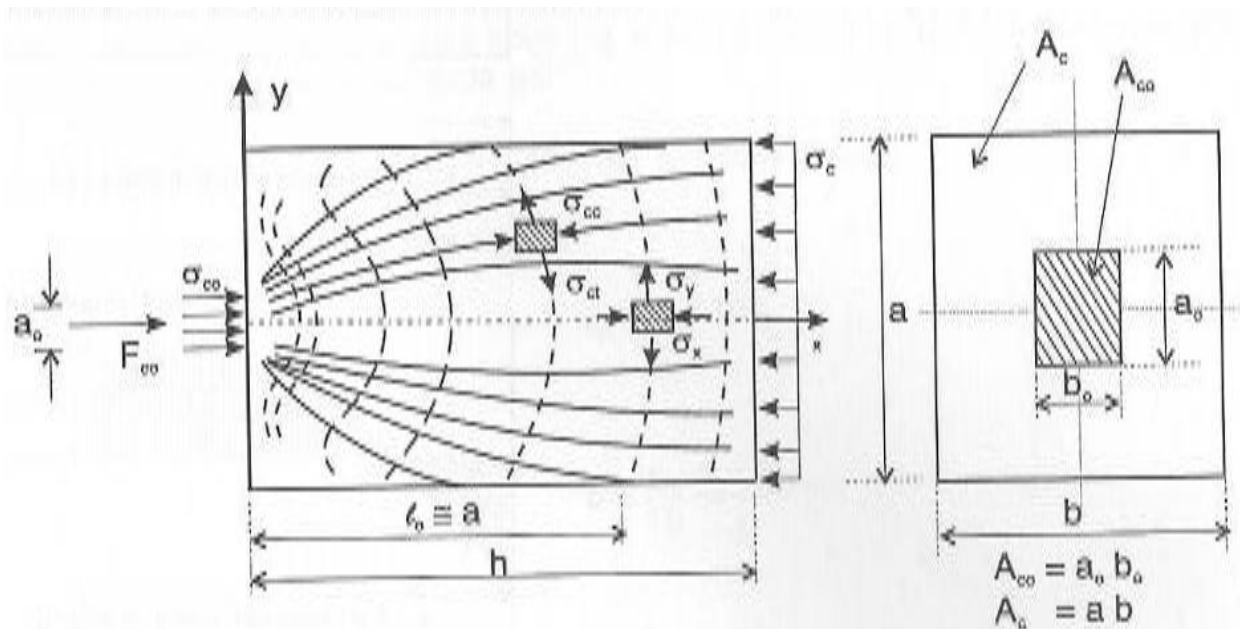


Figura 6: Distribuição das tensões em bloco parcialmente carregado.

Fonte: Fusco (1995, pg. 111)

De acordo com Fusco (1995), pelo fato de a força F_{co} ser aplicada numa área parcial, o material da peça analisada fica sujeito a estados múltiplos de tensão.

“Ao longo do eixo da peça, na direção longitudinal, a tensão σ_x será sempre de compressão. Nas duas direções transversais, as tensões transversais σ_y e σ_z serão de compressão apenas nas imediações da face de carregamento, sendo de tração no restante de comprimento de perturbação.”

Segundo o Princípio de Saint Venant, a distribuição dessas tensões não é uniforme ao longo de um comprimento ℓ_o , que é chamado de comprimento de

regularização de tensões. De acordo com o item 9.6.2 da NBR 6118 (ABNT, 2003), “as tensões induzidas no concreto pelas ancoragens de protensão somente podem ser consideradas linearmente distribuídas na seção transversal do elemento estrutural a uma distância da extremidade dessas armaduras, chamada distância de regularização.”

Ainda, como apresentado na NBR 6118 (ABNT, 2003), esse comprimento ℓ_o apresenta diferentes valores para elementos pós-tracionados e pré-tracionados. Para o primeiro caso, ℓ_o é determinado admitindo-se que a difusão da força se faça a partir da ancoragem, no interior de um ângulo de abertura β , tal que $\text{tg } \beta = 2/3$, como indicado na figura 7.

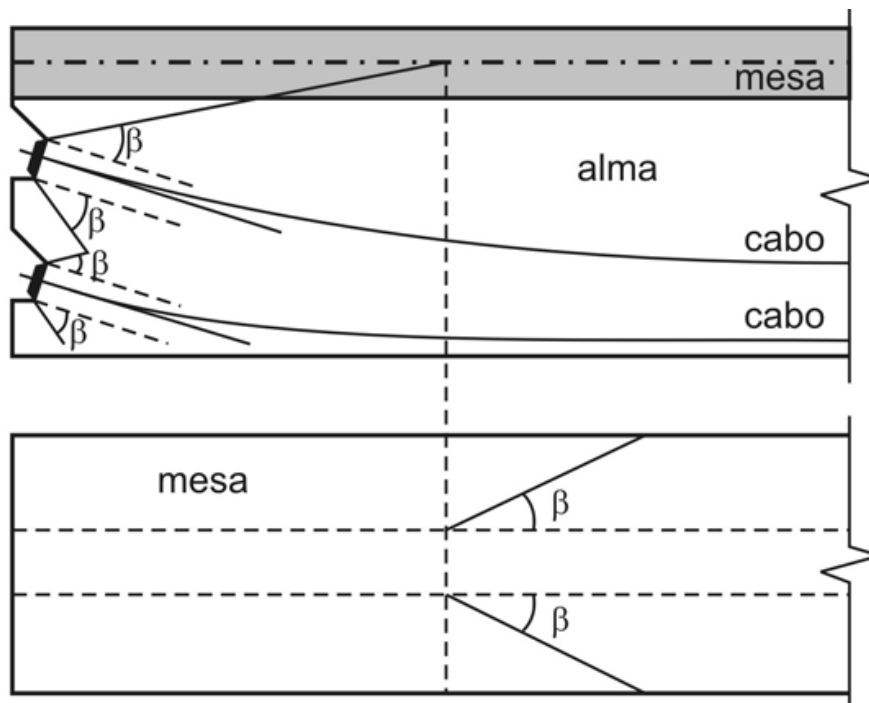


Figura 7: Introdução da protensão.

Fonte: NBR 6118/2003 (pg. 45)

Para o segundo caso, que se trata da pré-tensão, tem-se a seguinte equação

$$\ell_o = h^2 + (0,60\ell_{\text{bpt}})^2 \quad (2)$$

Sendo,

h = altura do elemento estrutural.

ℓ_{bpt} = comprimento de transferência; é o comprimento necessário para transferir por aderência a totalidade da força de protensão ao fio.

Segundo Fusco (1995), de forma simplificada “admite-se também que o comprimento da zona de regularização de tensões seja igual à maior dimensão da

seção transversal da peça, nesse plano de regularização”.

2.4 ANCORAGENS NA PROTENSÃO

As ancoragens são conjuntos de peças mecânicas que tem por função fixar o aço para a protensão e transmitir permanentemente a força da protensão ao concreto. Sendo assim, torna-se de extrema importância o estudo das ancoragens, uma vez que os esforços de protensão são transmitidos ao elemento estrutural através delas.

Segundo apresentado por Leonhardt (1983), no caso de protensão com aderência, a força de protensão aplicada na ancoragem é equilibrada pelas forças de compressão introduzidas no concreto na região da ancoragem. “As trajetórias de compressão se iniciam com uma certa inclinação e depois se desenvolve com uma determinada curvatura”, a qual origina uma tração transversal espacial.

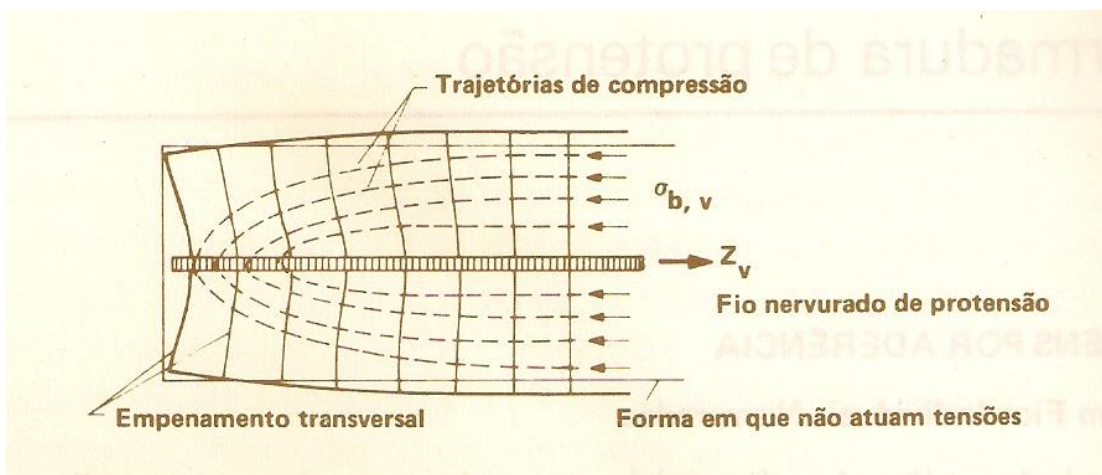


Figura 8: Desenvolvimento das tensões em uma ancoragem por aderência.

Fonte: Leonhardt (1983, pg 88)

Fusco (1995) afirma que as tensões de tração geradas criam no concreto uma região microfissurada no entorno das barras de aço e, ainda, tendem a provocar o fendilhamento do concreto paralelamente ao eixo da barra de aço, assim como pode ser observado nas figuras 9 e 10. O fenômeno do fendilhamento poderá provocar a ruptura longitudinal da peça, que pode chegar à superfície da peça, comprometendo seriamente a resistência à corrosão da armadura e a durabilidade da peça, assim como pode ser observado na figura 11.

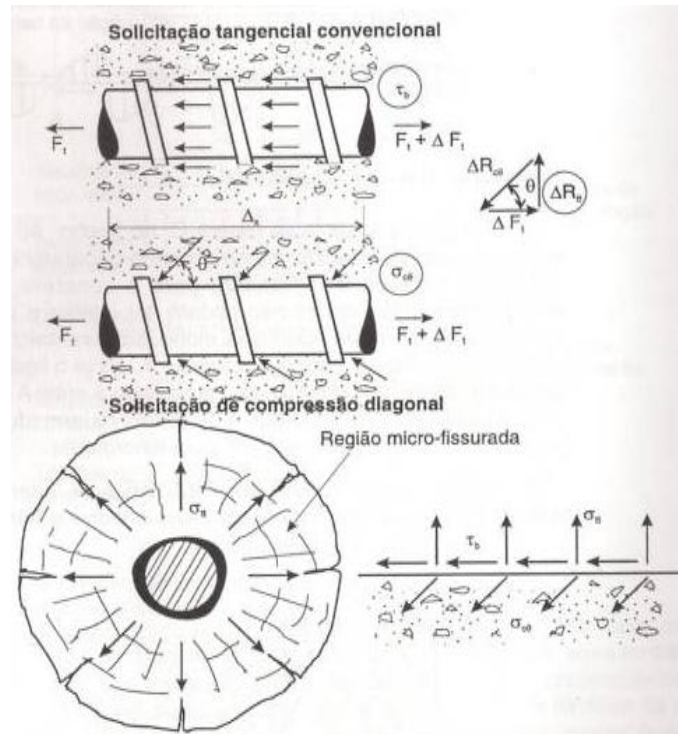


Figura 9: Transferência dos esforços por aderência.

Fonte: Fusco (1995, pg. 146)

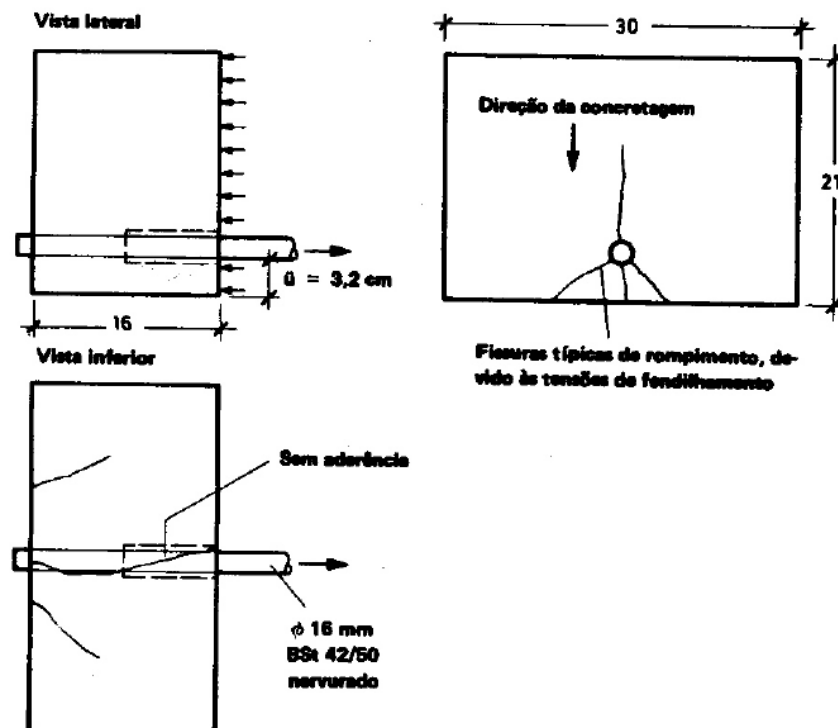


Figura 10: Fissuras de fendilhamento na região de ancoragem sem armadura transversal.

Fonte: Bastos (2006, pg 7)

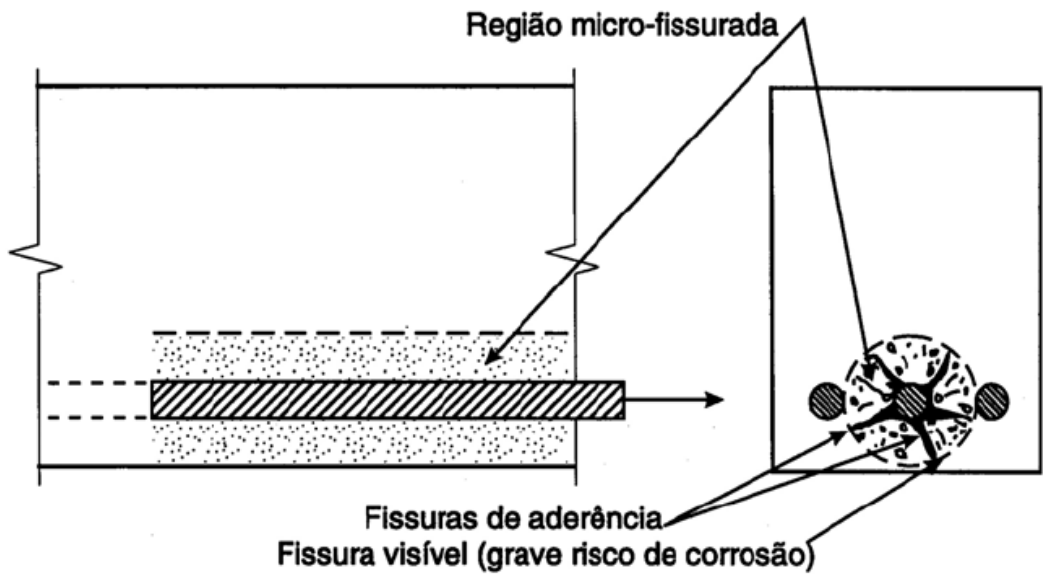


Figura 11: Fendilhamento longitudinal visível.

Fonte: Fusco (1995, pg. 148)

“A ancoragem só se mantém se o concreto não fendilhar devido a estas forças de tração transversais (também denominadas tensões de fendilhamento). No caso de forças relativamente elevadas e localizadas, é necessário, em geral, adotar uma armadura transversal para absorver estas forças, de preferência na forma de espiral cintando a região de ancoragem.” Leonhardt (1983)

A determinação dessa armadura transversal citada por Leonhardt (1983) será apresentada logo mais no item 2.6.

As ancoragens de protensão podem ser classificadas da seguinte forma: ancoragens centradas, ancoragens excêntricas e, ainda, ancoragens múltiplas. A seguir são apresentadas os conceitos envolvidos para cada uma das situações.

2.4.1 ANCORAGENS CENTRADAS

Conforme apresentado por Fusco (1995), “as ancoragens dos cabos de protensão centradas em relação à peça de concreto têm o funcionamento básico de um bloco parcialmente carregado.” Existirão então tensões de tração na zona de regularização, dadas pelas tensões de fendilhamento citadas anteriormente e, ainda, tensões de tração que agem na periferia da peça, as chamadas tensões de fissuração superficial.

Na figura 12, a seguir, pode-se observar a distribuição das tensões de tração na região da ancoragem, quando de ancoragens centradas, para diferentes áreas de aplicação da força de compressão F_{co} .

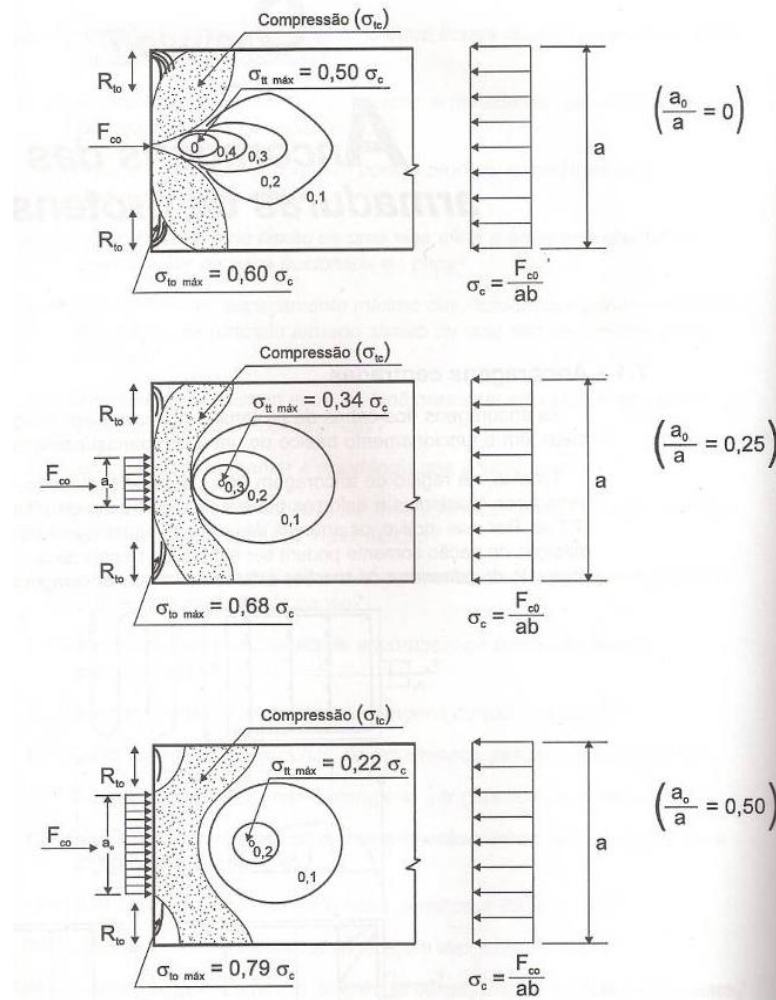


Figura 12: Tensões de tração na região das ancoragens.

Fonte: Fusco (1995, pg. 198)

“Embora as tensões superficiais $\sigma_{to, máx}$ sejam muito elevadas, a força de tração resultante é de baixa intensidade, pois essas tensões agem em zonas de pequena profundidade da periferia da peça.” Fusco (1995)

A indicação, segundo Fusco (1995), é que a armadura transversal contra o fendilhamento seja distribuída de acordo com os diagramas de tensões transversais de tração e de forma a se obter um arranjo que permita uma concretagem isenta de ninhos, sendo por isto preferível um menor número de camadas de armadura. Já, para a armadura contra a fissuração superficial, é sugerido uma armação junto a periferia e que não se confunda com a armadura contra o fendilhamento. Na figura 13, a seguir, pode-se observar um modelo de distribuição das armaduras em

questão.

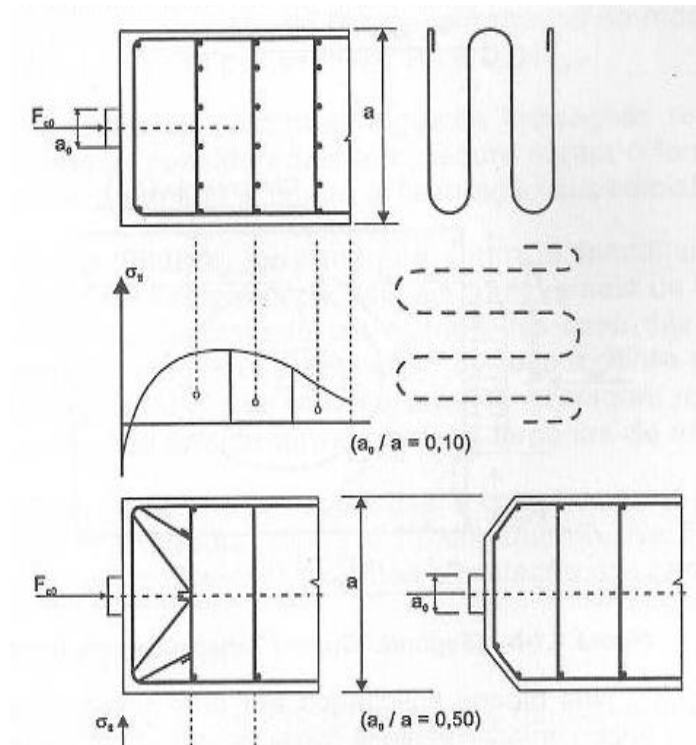


Figura 13: Exemplos de arranjos das armaduras das ancoragens centradas.

Fonte: Fusco (1995, pg. 197)

2.4.2 ANCORAGENS EXCÊNTRICAS

Fusco (1995) analisou elementos com ancoragens excêntricas como um modelo simplificado de bloco simétrico equivalente, assim como pode ser visto na figura 14, a seguir.

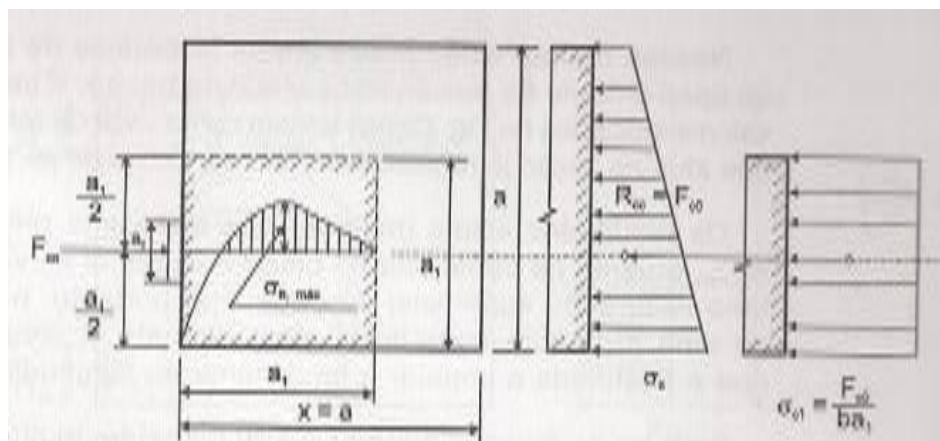


Figura 14: Ancoragens excêntricas.

Fonte: Fusco (1995, pg. 200)

Diferentemente do caso de ancoragens centradas, em que a força aplicada F_{co} é distribuída uniformemente em toda a seção da peça, para ancoragens excêntricas o diagrama de tensões σ_{co} não será uniforme, concentrando-se as tensões na região mais próxima da linha de ação de F_{co} (figura 15). De acordo com Fusco, “nesse caso haverá um menor efeito de distribuição transversal, resultando em menores esforços transversais de tração.”

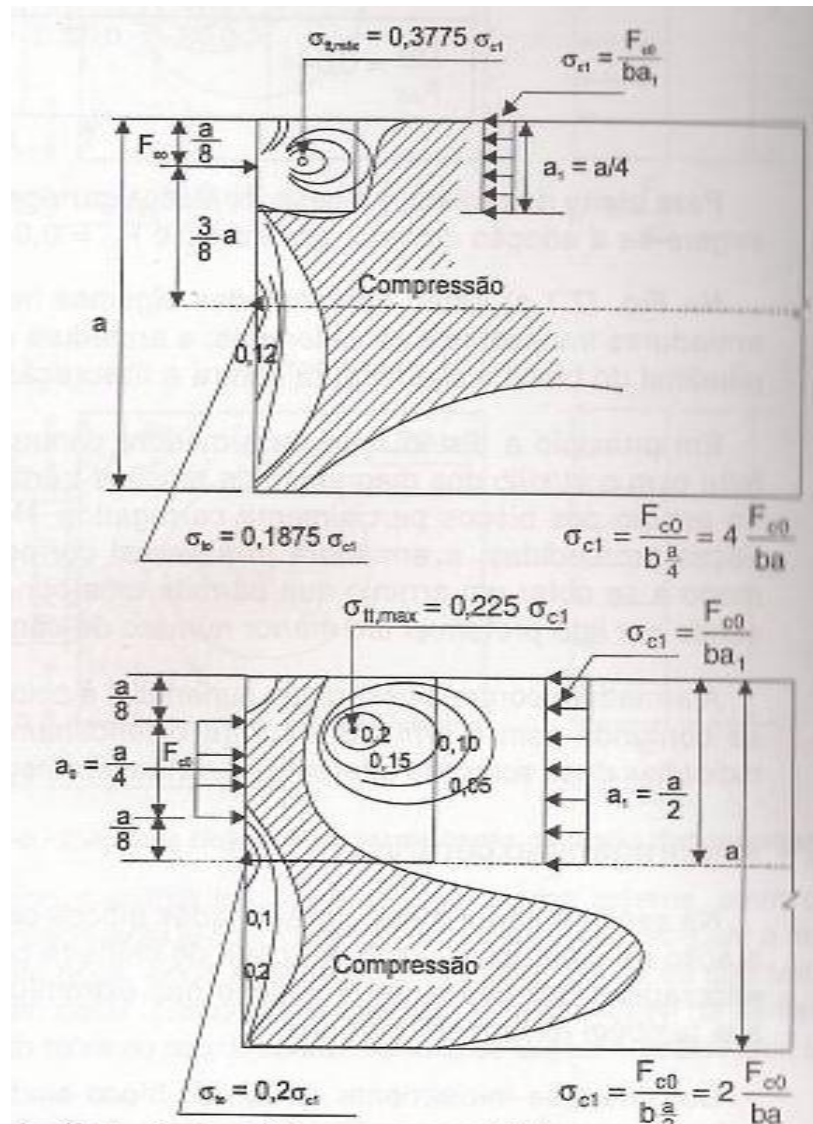


Figura 15: Ancoragens excêntricas

Fonte: Fusco (1995, pg. 200)

Pode-se observar, ainda na figura 15, que para ancoragens excêntricas as zonas sujeitas à fissuração superficial são maiores que aquelas que ocorrem no caso de ancoragens centradas.

2.4.3 ANCORAGENS MÚTIPLAS

O uso de ancoragens múltiplas na protensão de peças de concreto é o mais comum dentre os tipos já apresentados de ancoragem.

Quando da análise da protensão com múltiplas ancoragens pode-se ter duas situações. A primeira é aquela na qual ocorre a distribuição de cargas de forma equilibrada, ou seja, a resultante das tensões σ_c na peça, fora da zona de perturbação, tem a mesma linha de ação que a carga externa F_{co} (figura 16), assim como ocorre no caso de ancoragens centradas. E a segunda quando a distribuição não ocorre de forma equilibrada (figura 17).

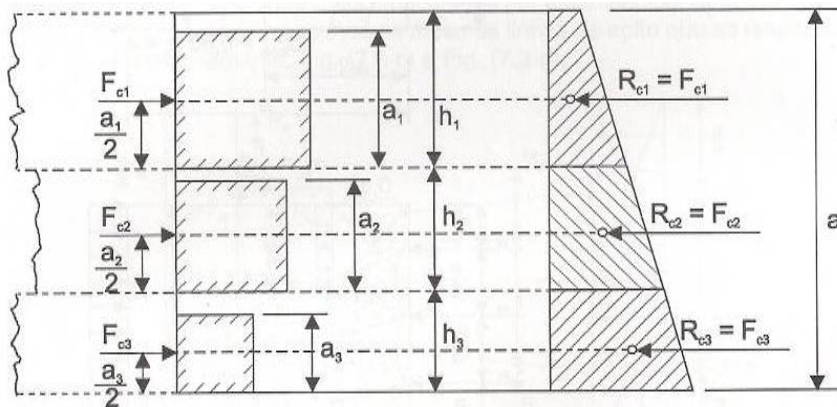


Figura 16: Ancoragens múltiplas equilibradas.

Fonte: Fusco (1995, pg. 203)

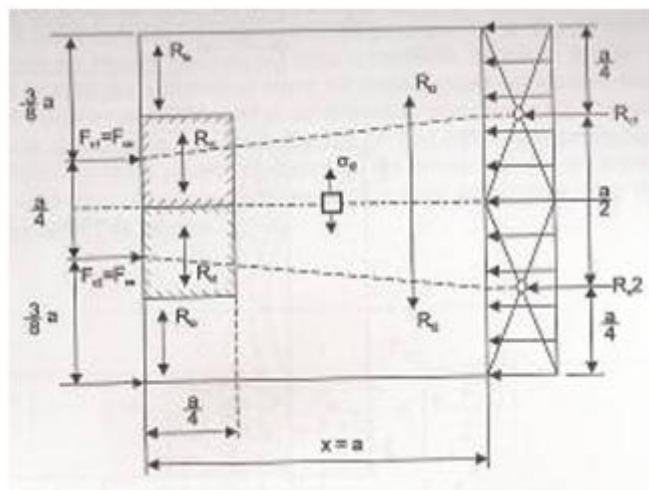


Figura 17: Ancoragens múltiplas não equilibradas.

Fonte: Fusco (1995, pg. 205)

Para a situação de equilíbrio, as forças externas (F_c) são aplicadas na mesma linha de ação que as resultantes parciais (R_c) e, dessa forma, conforme apresentado

por Fusco (1995), pode-se subdividir o bloco de altura total a em blocos parciais de alturas h_1 , h_2 e h_3 .

As forças externas (F_c) não precisam necessariamente estar centradas no bloco parcial. Sendo assim, o conceito utilizado de bloco simétrico equivalente, já apresentado, pode também ser aplicado no caso de ancoragens múltiplas. Cada bloco parcial deverá ser analisado isoladamente dos demais, cada qual com seu bloco simétrico, no caso, de alturas a_1 , a_2 , e a_3 . Essas alturas estão relacionadas às distâncias da aplicação da carga F_c no bloco parcial assimétrico. A altura do bloco simétrico equivalente será igual ao dobro da menor distância da força F_c aos limites da faixa em questão.

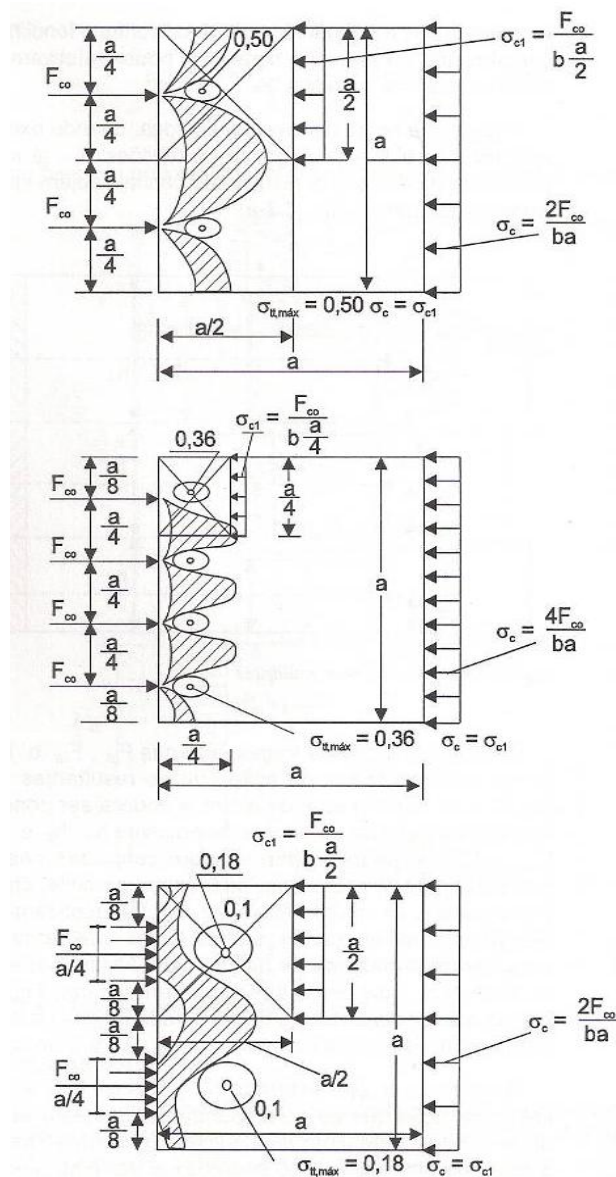


Figura 18: Ancoragens múltiplas equilibradas.

Fonte: Fusco (1995, pg. 204)

Fusco (1995) demonstra, ainda, que nesse caso, como a distribuição das cargas é equilibrada, o comprimento da zona de perturbação fica reduzido ao comprimento do maior dos blocos simétricos equivalentes, uma vez que só existem tensões transversais de tração correspondente à fissuração superficial da peça e ao fendilhamento dos blocos simétricos equivalentes.

Na figura 18 são apresentados alguns resultados obtidos por Guyon (1965 apud Fusco, 1995), e que “mostram que a força transversal que tende a provocar o fendilhamento longitudinal e a força que tende a produzir fissuração superficial podem ser calculadas, a favor da segurança, de maneira simplificada já considerada.”

Para a situação onde não existe o equilíbrio das cargas aplicadas, ou seja, a força externa não se encontra no mesmo alinhamento que as forças resultantes, o conceito de blocos simétricos equivalente não é o suficiente já que, além dos esforços de tração que tendem a produzir a fissuração superficial e o fendilhamento, passarão a existir esforços de tração de manutenção do equilíbrio.

Segundo Fusco (1995), “esses novos esforços transversais de tração decorrem dos desvios que devem existir no fluxo de tensões, a fim de que o equilíbrio possa ser estabelecido, uma vez que as forças F_{c1} e F_{c2} não agem segundo as mesmas linhas de ação que as resultantes R_{c1} e R_{c2} , respectivamente.”

Para o caso particular de duas ancoragens, podem ser observadas duas situações distintas. A primeira, que é representada na figura 19, é quando as forças aplicadas têm linhas de ação internas à faixa delimitada pelas resultantes parciais. Nesse caso, “a zona de tendência à fissuração superficial fica subdividida em três regiões” (Fusco, 1995). Além dessas regiões com tensões superficiais ainda são observadas a zona de tendência ao fendilhamento no interior da peça e uma zona de tração de manutenção do equilíbrio. A posição dessas zonas pode ser observada na figura 19, a seguir.

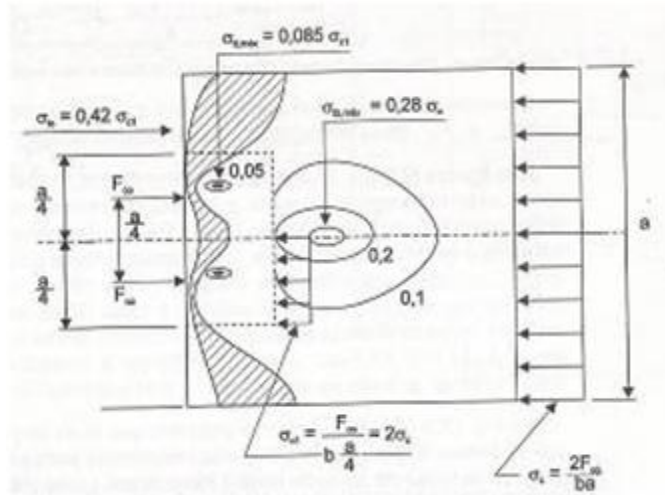


Figura 19: Distribuição das tensões de tração no caso de ancoragens múltiplas não equilibradas.

Fonte: Fusco (1995, pg. 205)

A segunda situação é aquela em que as duas cargas aplicadas têm linhas de ação externas à faixa definida pelas resultantes parciais (figura 20).

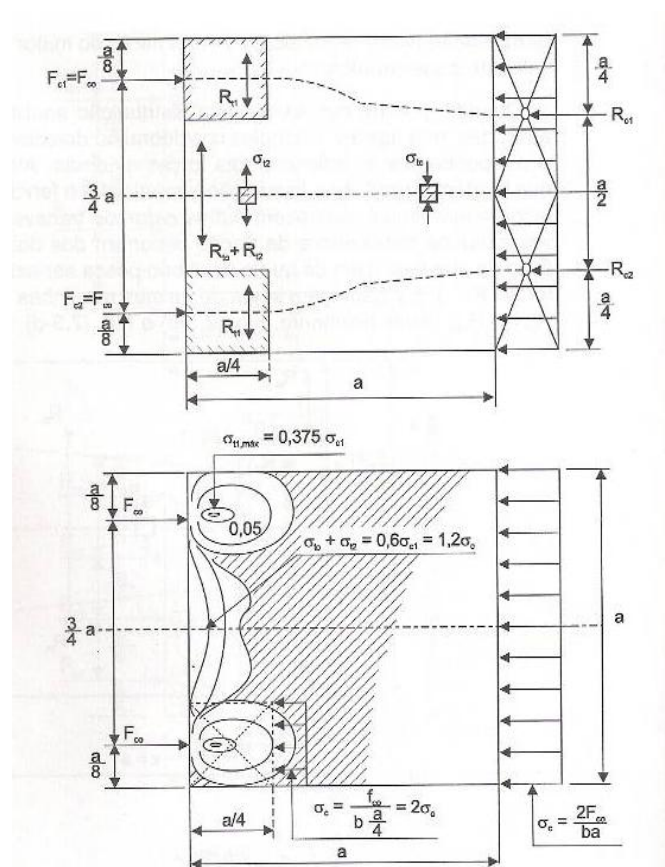


Figura 20: Ancoragens múltiplas não equilibradas.

Fonte: Fusco (1995, pg. 206)

“O equilíbrio leva a nova zona de tração transversal para a periferia da peça, a qual engloba a região de fissuração superficial entre as duas cargas aplicadas. Nesse caso, Leonhardt sugere que o bloco seja considerado como uma viga parede situada no plano de difusão dos esforços.” (Fusco, 1995).

2.5 TENSÕES NA VIZINHANÇA DOS APOIOS

Nas regiões de apoio das vigas existe uma reação R , que são forças com valores significativos aplicadas em áreas reduzidas. Essa força, assim como as forças devido a protensão, irão gerar um fluxo de tensões na peça que poderá causar uma interferência no fluxo de tensão das forças de protensão (figura 21).

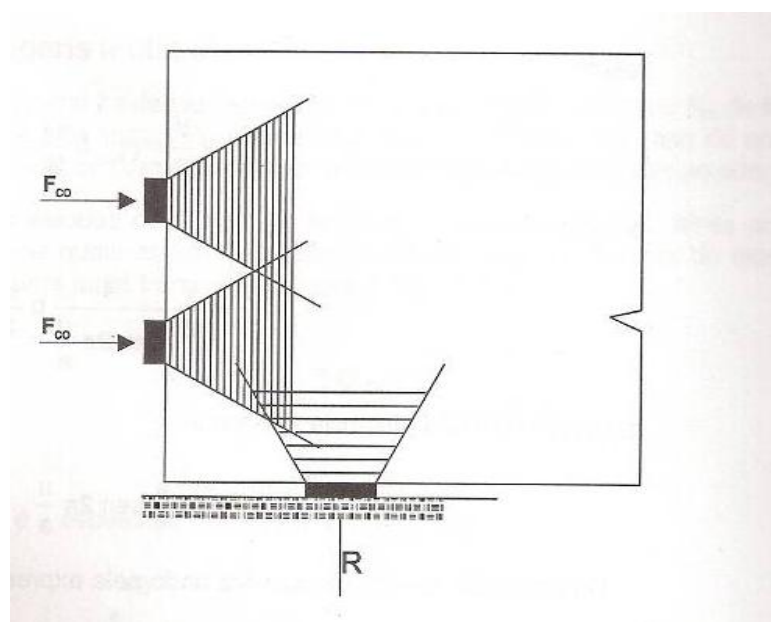


Figura 21: Interferência das zonas de regularização.

Fonte: Fusco (1995, pg. 210)

No caso de ancoragens múltiplas, o caso mais comum nas vigas protendidas, quando uma ancoragem se encontra próxima ao apoio, os esforços transversais dessa ancoragem ficam reduzidos em função da interferência dos esforços ocasionados pela resultante no apoio. Sendo assim, segundo apresentado por Fusco (1995), “tendo em vista uma simplificação de projeto, no cálculo dos esforços transversais correspondentes às ancoragens, pode ser desprezada a influência da reação de apoio eventualmente existente.”

2.6 ARMADURAS

Dentre os conceitos apresentados anteriormente tem-se, então, a ação de três forças de tração ao longo da zona de regularização, sendo elas a de fendilhamento, a de fissuração superficial e a força transversal de equilíbrio.

A armadura de controle de fissuração (A_{sto}) é determinada pela seguinte expressão:

$$A_{sto} = \frac{R_{to} \times \gamma_f}{f_{yd}} \quad (3)$$

Onde,

$$R_{to} = \left[0,04 + 0,2 \times \left(\frac{d_1 - d_2}{d_1 + d_2} \right)^3 \right] \times F_{co} \quad (4)$$

Na figura 22, a seguir, é possível observar as correspondentes distâncias referentes a d_1 e d_2 .

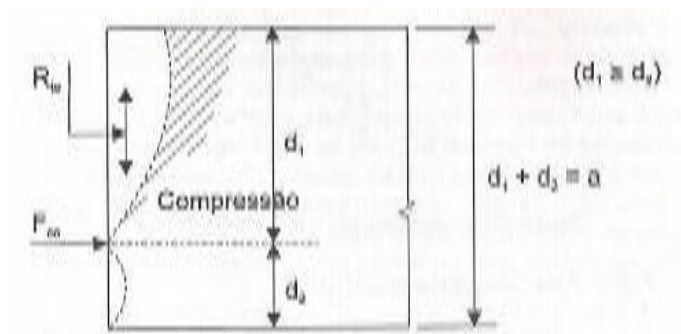


Figura 22: Fissuração superficial.

Fonte: Fusco (1995, pg. 201)

Usualmente para R_{to} pode ser adotado o valor simplificado,

$$R_{to} = 0,04 \times F_{co} \quad (5)$$

A área de aço da armadura de controle do fendilhamento é dada por:

$$A_{st1} = \frac{R_{t1} \times \gamma_f}{f_{yd}} \quad (6)$$

Sendo,

$$R_{t1} = 0,3 \times \left(1 - \frac{a}{a_0} \right) \times F_{co} \quad (7)$$

Com a sendo a maior dimensão do elemento analisado e a_0 a dimensão, na mesma direção de a , da área de aplicação da carga concentrada F_{co} . Na figura 23, a seguir, pode-se observar representação das dimensões citadas.

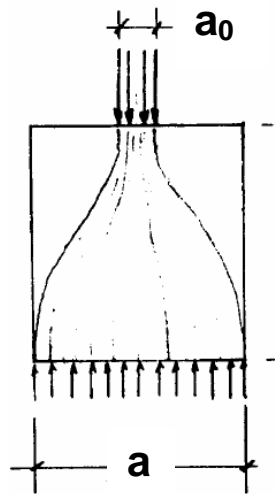


Figura 23: Distribuição das tensões na zona de regularização para um elemento estrutural qualquer de concreto.

Fonte: Melges (2004, pg. 02)

A determinação da armadura de manutenção do equilíbrio, principal objetivo do presente trabalho, conforme apresentado por Fusco (1995), é feita com base em um modelo que Guyon sugere, apresentado na figura 24, a seguir. “No modelo a zona de regularização das tensões é considerada como uma viga transversal. As seções transversais dessa viga ideal serão seções longitudinais da peça em estudo.”

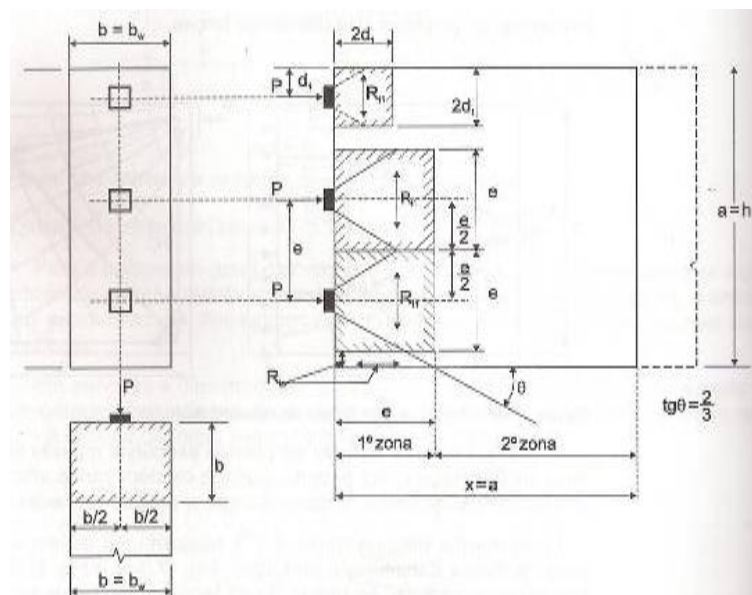


Figura 24: Zonas de regularização de tensões.

Fonte: Fusco (1995, pg. 214)

Ainda de acordo com Fusco (1995), “considerando diferentes seções longitudinais, com afastamentos y da borda superior do bloco, nelas atuarão os seguintes esforços:”

$$M_y = \sum_y F_{ci}(y - d_i) - R_{cy} \cdot e_y \quad (8)$$

E,

$$V_x = \sum_y F_{ci} - R_{cy} \quad (9)$$

Onde,

$$R_{cy} = \int_y^0 \sigma_c b dy \quad (10)$$

Considerando o valor do braço de alavanca das forças transversais de equilíbrio R_{t2} como sendo igual a $a/2$, resulta-se na seguinte expressão:

$$R_{t,2} = \frac{M_{y,máx}}{\frac{a}{2}} = \frac{2 \cdot M_{y,máx}}{a} \quad (11)$$

No caso das ancoragens inclinadas ainda surge uma força transversal V , como na figura 25.

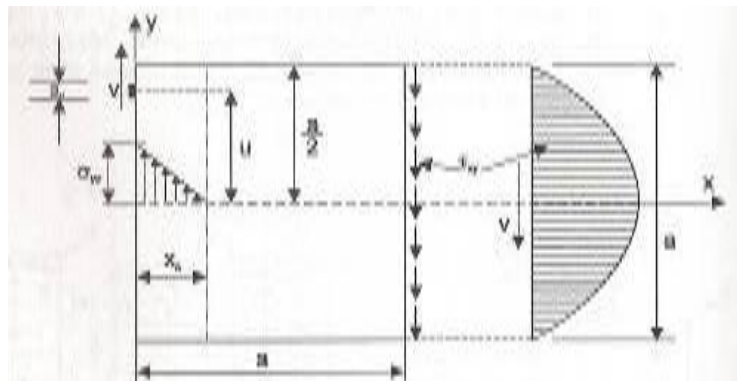


Figura 25: Forças transversais nas ancoragens.

Fonte: Fusco (1995, pg. 208)

Essa força transversal será responsável pelo aparecimento de uma tensão transversal σ_y no eixo do bloco analisado, dada por:

$$[\sigma_y]_{x=0,y=0} = \sigma_{y0} = \frac{V}{ab} \cdot \frac{4}{\sin 2\pi \frac{u}{a}} \quad (12)$$

Onde **b** é a espessura da peça e **V** dado pela expressão abaixo.

$$V = \int_0^a \tau_{xy} b dy$$

Considerando o equilíbrio das forças transversais que agem na metade superior do trecho de comprimento x_0 (figura 23), obtém-se:

$$V - \int_0^{a/2} \tau_{xy} b dy = \sigma_{y0} b \frac{x_0}{2} \quad (13)$$

Como,

$$\int_0^{a/2} \tau_{xy} b dy = \frac{V}{2} \quad (14)$$

E, conforme a expressão 10,

$$\frac{V}{2} = \frac{V}{ab} \cdot \frac{4}{\sin 2\pi \frac{u}{a}} \cdot b \frac{x_0}{2} \quad (15)$$

Obtendo-se para a distância x_0 o valor,

$$x_0 = \frac{a}{4} \sin 2\pi \frac{u}{a}$$

A tensão σ_{y0} será dado, portanto, pela expressão abaixo:

$$\sigma_{y0} = \frac{\frac{V}{2}}{b \frac{x_0}{2}} = \frac{V}{bx_0} \quad (16)$$

“Nos casos práticos, sendo a força transversal V acompanhada por uma força longitudinal F_{c0} , σ_{c0} nunca superará 5% do valor da tensão $\sigma_c = F_{c0}/ba$. Por isso, os efeitos dessas forças transversais podem ser desprezados, ou então considerados de modo simplificado, dando-se, a favor da segurança, um aumento de 10% aos esforços transversais calculados como se não houvesse inclinação das forças externas aplicadas.” (Fusco, 1995).

Portanto, para ancoragens inclinadas R_{t2} é determinado com a seguinte expressão:

$$R_{t,2} = 1,1 \times \frac{2 \times M_{y,m\acute{a}x}}{a} \quad (17)$$

Para a determinação da força transversal de equilíbrio R_{t2} ainda devem ser consideradas as limitações para as tensões de tração σ_{yt} , para as tensões tangenciais τ_p , decorrentes da solicitação tangencial longitudinal V_x e ainda tensões tangenciais τ_v devidas às forças cortantes V_y decorrentes das ações diretas que agem na zona de regularização, as quais podem ser observadas na figura 26.

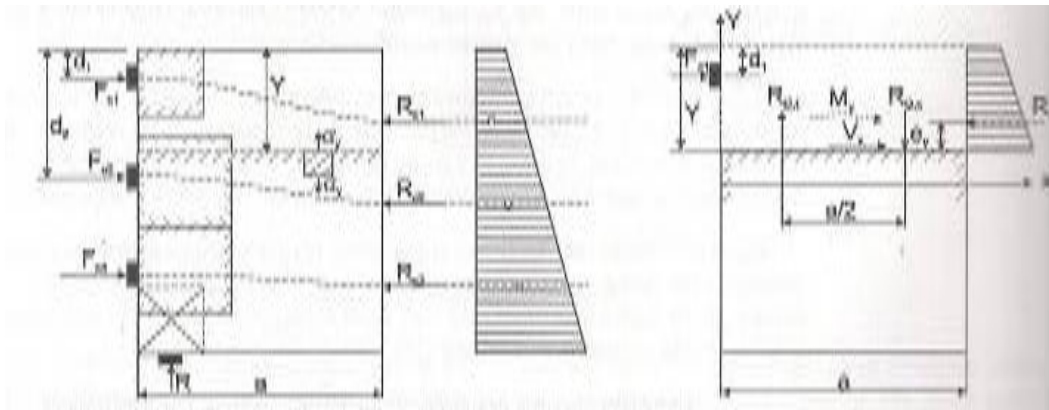


Figura 26: Forças transversais de equilíbrio.

Fonte: Fusco (1995, pg. 217)

Com base nas expressões convencionais de Resistência dos Materiais, com b_w sendo a largura e a a altura do elemento analisado, tem-se:

$$\sigma_{yt,m\acute{a}x} = \frac{6M_y}{b_w \cdot a^2} \quad (18)$$

Essa tensão deve respeitar a seguinte limitação, imposta para se evitar possíveis estados-limites de fissuração,

$$\sigma_{yt, m\acute{a}x} \leq f_{ctm}$$

$$\text{Sendo } f_{ctm} = 1,5 f_{ctj}.$$

E, f_{ctj} a resistência à tração correspondente à idade do concreto igual a j na qual será aplicada a protensão.

As tensões tangenciais, no entanto, ao contrário das tensões de tração σ_{yt} que são analisadas em relação aos estados-limites de utilização, serão verificadas

em relação aos estados-limites de ruptura, uma vez que essas tensões tenderão à romper a peça no sentido longitudinal, como visto na figura 25, abaixo.

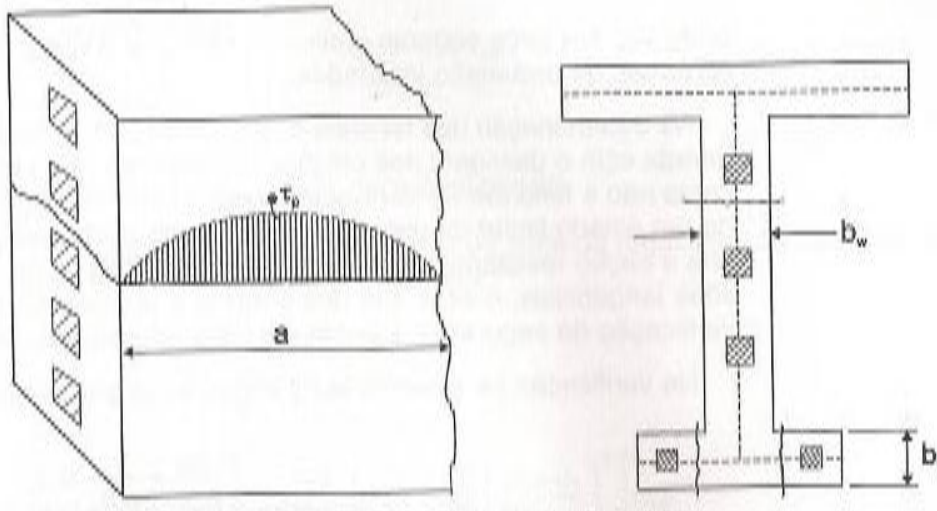


Figura 27: Cisalhamento longitudinal na zona de regularização.

Fonte: Fusco (1995, pg. 217)

Como apresentado na figura 27, as tensões τ_p apresentam uma distribuição parabólica ao longo do comprimento a da seção longitudinal resistente. A expressão abaixo é a que determina o valor dessas tensões.

$$\tau_{pd} = \gamma_p \frac{2V_{x,max}}{a \cdot b_w} \quad (19)$$

sendo $\gamma_p = 1,1$ para situações transitórias e $\gamma_p = 0,9$ para situações permanentes.

As tensões tangenciais devidas às forças cortantes são determinadas pela expressão

$$\tau_{Vd} = \frac{V_{rd}}{a \cdot b_w} \quad (20)$$

onde V_{rd} é o valor de cálculo da força cortante reduzida, que de forma genérica pode ser escrito por

$$V_{Vd} = V_{d,ef} - \Delta V_p \quad (21)$$

com $V_{d,ef}$ sendo a força cortante efetiva de calculo e ΔV_p o desconto correspondente às forças de protensão inclinadas.

Lembrando que para o cálculo de ambas as tensões tangencias a largura b_w da seção resistente é considerada com o desconto dos orifícios das bainhas que cruzam a seção.

Como limitação, portanto, tem-se que

$$\tau_d = \tau_{pd} + \tau_{vd} = \frac{2V_{x,max}}{a \cdot b_w} + \frac{V_{rd}}{a \cdot b_w} \leq \tau_u \quad (22)$$

sendo τ_u o valor limite da tensão tangencial de cálculo.

“Quando τ_p e τ_{vd} tiverem o mesmo sinal, essas tensões deverão ser realmente somadas para a determinação de τ_d . No entanto, quando τ_p e τ_{vd} tiverem sinais contrários, não se descontará uma tensão da outra, considerando-se apenas o maior dos dois valores, para a verificação da zona de regularização.” (Fusco, 1995).

Fusco (1995) sugere ainda que a verificação seja realizada analisando-se duas etapas, uma vez que a verificação envolve a superposição de esforços de protensão aos esforços devidos às ações diretas.

A primeira verificação se trata da fase de protensão, sendo válidas para essa situação as seguintes expressões.

$$\tau_{pd} = 1,1 \frac{2V_{x,max}}{a \cdot b_w} \quad (23)$$

$$\tau_{vd} = \frac{V_{rd,min}}{a \cdot b_w} \quad (24)$$

onde $V_{rd,min}$ é o valor mais desfavorável, considerando-se a força cortante V_{gi} devida à parcela inicial g_i da carga permanente mobilizada pela protensão e à força cortante V_p devida à presença dos cabos inclinados.

$$\tau_u = \frac{0,30f_{ckj}}{1,4} \quad (25)$$

A segunda verificação se dá para a condição de solicitações máximas, sendo suas tensões de projeto e últimas expressas nas seguintes equações:

$$\tau_{pd} = 0,9 \frac{2V_{x,max}}{a \cdot b_w} \quad (26)$$

$$\tau_{vd} = \frac{V_{rd,máx}}{a \cdot b_w} = \frac{1}{a \cdot b_w} [Y_f(V_{gk} + V_{gk}) - 0,9V_{p,inf}] \quad (27)$$

$$\tau_u = 0,30f_{cd} \quad (28)$$

2.7 MÉTODOS PARA DETERMINAÇÃO DAS ARMADURAS DE FRETAGEM DE MANUTENÇÃO DE EQUILÍBRIO

Serão apresentados aqui dois métodos principais para determinação da armadura de fretagem de manutenção de equilíbrio A_{st2} . Uma forma simplificada já foi apresentada no item 2.6, porém, em algumas situações torna-se necessário a determinação dos esforços de tração e, conseqüentemente, das armaduras de fretagem, de forma mais detalhadas.

A seguir são apresentados o método das bielas e tirantes e o método utilizando elementos finitos.

2.7.1 MÉTODO DOS ELEMENTOS FINITOS

Segundo Souza (2004), o método dos elementos finitos consiste em uma discretização de um problema inicial em vários elementos de dimensão bastante reduzida, chamados de elementos finitos. “Os elementos finitos são interconectados através de nós, que são pontos onde uma solução aproximada pode ser adotada e onde equações de equilíbrio podem ser estabelecidas.”

O primeiro passo, portanto, para utilização do método dos elementos finitos é a subdivisão do modelo analisado em um conjunto de regiões menores, formando uma malha de elementos finitos. Cada um dos elementos apresentará um número de pontos nodais. Na figura 28, a seguir, pode ser observado um elemento e seus pontos nodais.

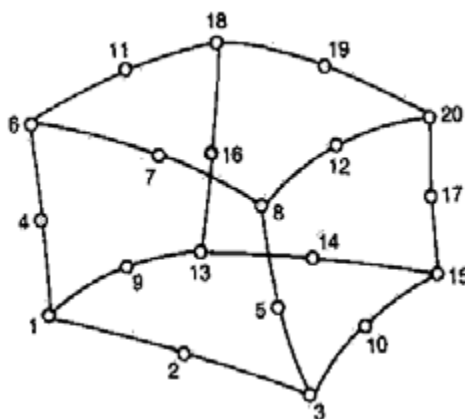


Figura 28: Divisão de um modelo em elementos finitos.

Fonte: Souza (2011, pg. 19)

Com isso, é possível fazer uma aproximação da solução em cada elemento utilizando interpolação polinomial e então obter as equações correspondentes a cada elemento, as quais deverão ser condensadas em um sistema global de equações. Com a resolução do sistema obtido encontra-se então a solução final do modelo analisado.

A aplicação do método dos elementos finitos é possível com o uso de *softwares*, os quais facilitam a análise e a solução de diversos problemas de concentração de tensões.

2.7.2 MÉTODO DAS BIELAS E TIRANTES

O método das bielas e tirantes pode ser utilizado para a determinação da posição das forças de tração transversais que surgem na protensão da peça.

Segundo apresentado por Souza (2004), o método das bielas e tirantes pode ser definido como uma representação discreta dos campos de tensão nos elementos estruturais. Nessa representação, as escoras representam os campos principais de compressão e os tirantes os campos principais de tração.

Para uma determinada estrutura, existem diversas estruturas equivalentes de bielas e tirantes que representam a trajetória da distribuição das tensões na zona de regularização. Porém, as tensões têm a tendência de percorrer o caminho das mínimas forças e deformações. Dessa forma, se torna mais simples a determinação da trajetória das tensões ao longo da zona de regularização.

Essas trajetórias das tensões são definidas após se determinar as forças resultantes. Com isso, é possível determinar a posição das bielas e tirantes, substituindo as tensões de compressão por bielas e as de tração por tirantes. Segundo Munhoz (2004), o processo de caminho de cargas deve seguir os seguintes passos: os caminhos de cargas, que se dão do local da aplicação da carga até a força resultante no final da zona de regularização, devem ser desenhados, alinhados e não podem se interceptar. Esses caminhos devem ser os mais curtos possíveis. Em seguida, as linhas curvas devem ser substituídas por linhas retas.

Na figura 29 pode ser observado um exemplo de distribuição de tensões representado por bielas e tirantes.

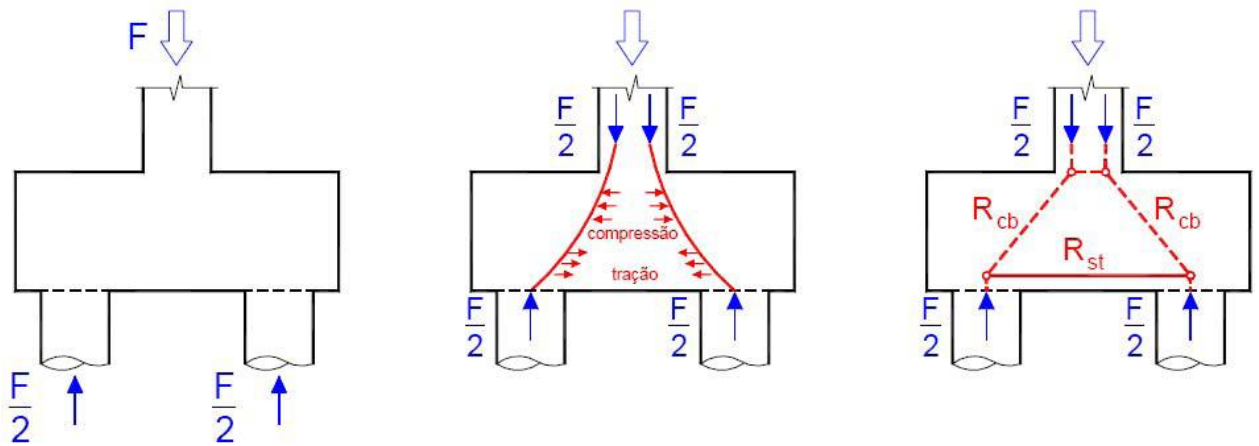


Figura 29: Aplicação do método de bielas e tirantes no caso de um bloco sobre duas estacas.
Fonte: Barros (2009, pg. 94)

Conforme apresentado por Fusco (1995), o ângulo θ de inclinação das bielas comprimidas ficará sempre no intervalo $\arctg(1/2) \leq \theta \leq \arctg(2)$. Isso porque quando o ângulo ultrapassa o limite do valor de $\arctg(2)$ poderão surgir fissurações intensas na peça. A posição do ângulo θ em questão pode ser visto na figura abaixo.

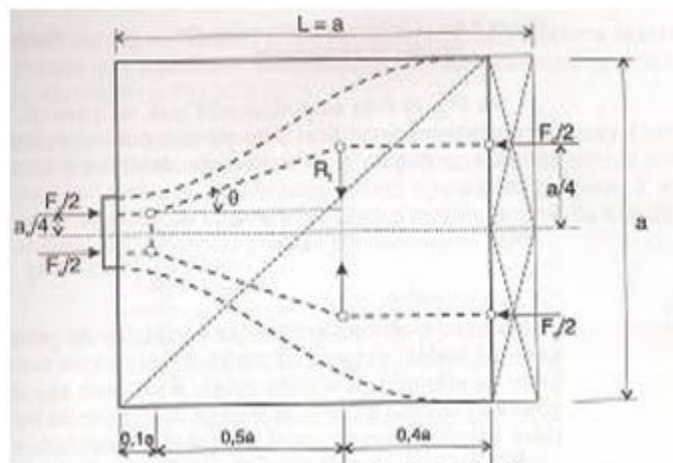


Figura 30: Modelo de bielas e tirantes em bloco parcialmente carregado.
Fonte: Fusco (1995, pg. 123)

Nos casos em que as bielas tenham comprimentos muito grandes com relação à dimensão da zona de regularização, é sugerido que sejam inseridos tirantes a fim de facilitar o processo.

Segundo Fusco (1995), os tirantes devem ser dimensionados à tração simples e suas extremidades devidamente ancoradas por aderência ou por dobramentos. Já as bielas comprimidas são dimensionadas em função de suas

dimensões.

Ainda conforme apresentado por Fusco (1995), as seções críticas estão sempre junto aos nós das bielas, uma vez que, pelo efeito da regularização, as tensões diminuem à medida que se consideram pontos cada vez mais afastados dos nós. Portanto, assim como as bielas e tirantes, as regiões nodais também devem ser analisadas e determinadas.

3. DESENVOLVIMENTO DA PLANILHA ELETRÔNICA

A planilha eletrônica de cálculo das armaduras de fretagem para vigas protendidas apresentará como resultado as áreas de aço de todas as armaduras necessárias para combater os esforços de tração possíveis nesse tipo de elemento estrutural. Assim como já apresentado anteriormente, esses esforços são os seguintes: esforços de fendilhamento, de fissuração superficial e de manutenção de equilíbrio.

Os esforços de fendilhamento e de fissuração são determinados de acordo com as definições apresentadas no item 2.6. Para a determinação dos esforços de manutenção de equilíbrio faz-se necessário o uso cálculos mais complexos. Foram apresentadas duas opções para a análise dos esforços de manutenção de equilíbrio que são as mais convencionais: a primeira utilizando o método dos elementos finitos e a segunda com base no método das bielas e tirantes. Na planilha será utilizado o método das bielas e tirantes, que apresenta resolução mais clara e objetiva.

Os cálculos abordados na planilha podem ser divididos em 7 etapas principais, as quais são listadas a seguir:

- 1°. Entrada de dados.
- 2°. Determinação das propriedades da seção.
- 3°. Determinação do diagrama de tensões a uma distância a igual à altura do elemento, que corresponde à zona de regularização de tensões.
- 4°. Determinação da posição da força resultante.
- 5°. Com base no diagrama de tensões e posições das forças resultantes, calcular os vetores verticais do esforço de tração de manutenção do equilíbrio $R_{t, eq}$.
- 6°. Determinação dos esforços de tração de fendilhamento e de fissuração superficial.
- 7°. Determinação das áreas de aço.

A seguir são detalhadas as etapas de elaboração da planilha.

3.1 ENTRADA DE DADOS

Para entrada de dados foi elaborada uma aba individual, onde devem ser inseridos os dados da seção da viga analisada e, ainda, alguns dados de protensão. Na figura 31 a seguir é possível observar o layout da planilha.

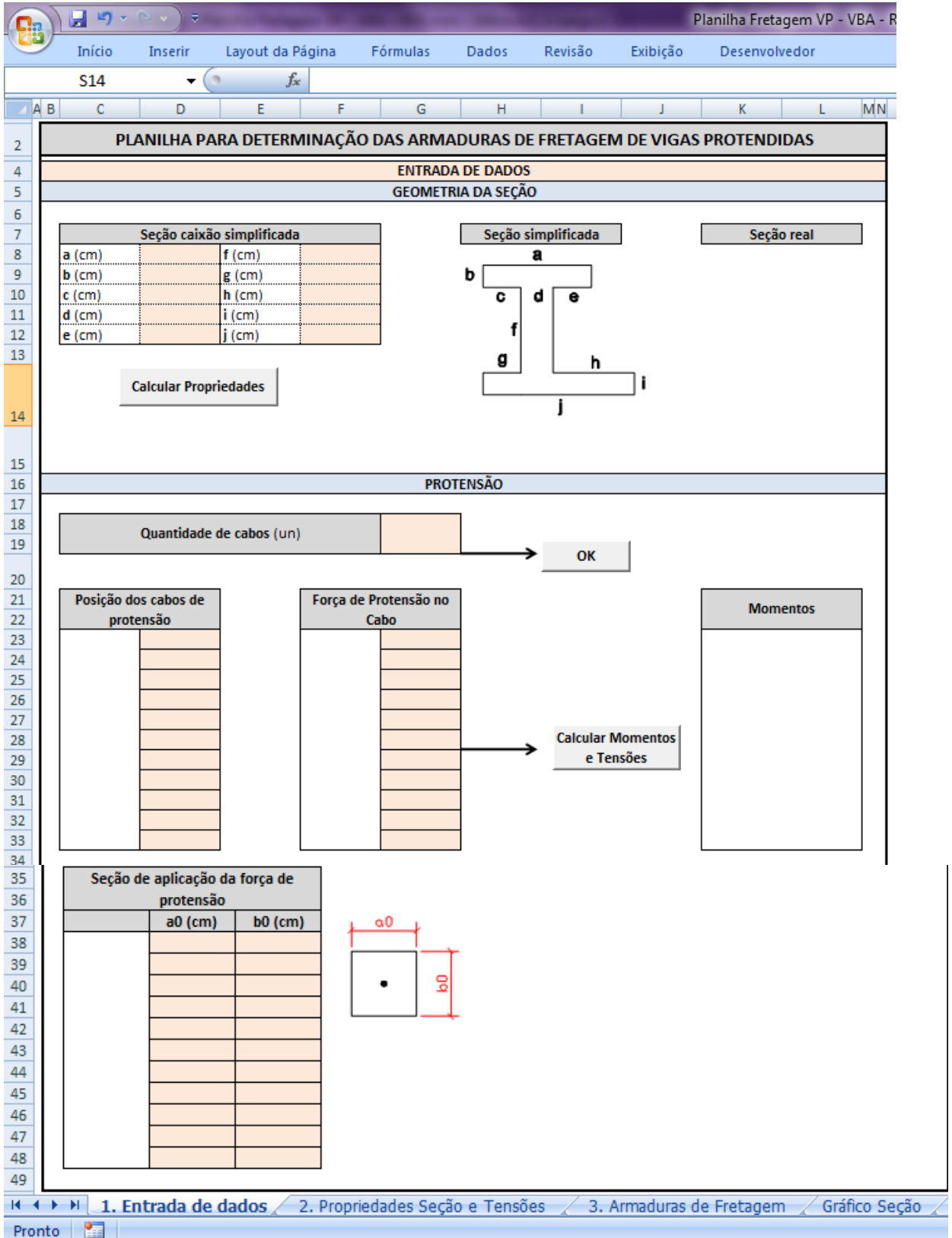


Figura 31: Planilha para entrada de dados.

A seguir, são apresentados alguns detalhes com relação à entrada de dados.

a. Dimensões da seção

Foi adotada como seção padrão para análise da planilha a seção caixão simplificada apresentada na figura 32 abaixo.

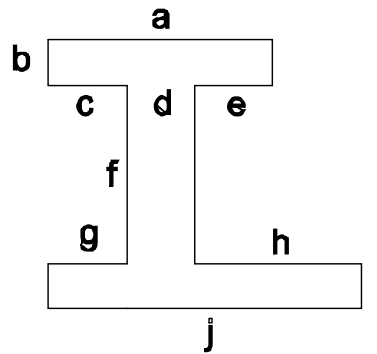


Figura 32: Seção caixão simplificada para estudo das armaduras de fretagem.

A planilha foi elaborada de forma tal que algumas incógnitas das dimensões da seção podem ter seus valores igualados a zero e, portanto, chegar-se ainda a seções T, I e retangular.

Sendo assim, tem-se que a planilha abrange as principais seções adotadas para vigas protendidas: seção caixão, T, I e retangular.

À medida que é feita a entrada de dados das dimensões da seção é gerado um gráfico com a representação real da seção, o que permite ao usuário da planilha a conferência visual dos valores inseridos.

PLANILHA PARA DETERMINAÇÃO DAS ARMADURAS DE FRETAGEM DE VIGAS PROTENDIDAS			
ENTRADA DE DADOS			
GEOMETRIA DA SEÇÃO			
Seção caixão simplificada			
a (cm)	110	f (cm)	95
b (cm)	12	g (cm)	14
c (cm)	34	h (cm)	14
d (cm)	42	i (cm)	18
e (cm)	34	j (cm)	70

Figura 33: Células de entrada de dados das dimensões da seção e gráfico gerado com base nesses dados.

b. Protensão

Deverão ser fornecidos os dados de protensão e de ancoragem. São eles a quantidade de cabos de protensão, suas posições e correspondentes forças de protensão e, ainda, a seção de aplicação da força de protensão (placa de ancoragem).

3.2 PROPRIEDADES DA SEÇÃO

Para determinação das tensões de tração existentes na zona de regularização é preciso inicialmente determinar algumas propriedades da seção da viga. São elas:

- Área.
- Inércia.
- Módulo de resistência.
- Centro de gravidade.

Todas essas variáveis são calculadas de acordo com os dados inseridos na aba “Entrada de dados” e apresentadas na segunda aba da planilha “Propriedades da Seção e Tensões”. Na figura abaixo se pode observar a apresentação desses dados.

Centro de gravidade		Área		Inércia		Módulo de Resistência	
Y_1	119,00 cm	A_1	1320,00 cm ²	I_1	15840 cm ⁴	W_{inf}	165884,38 cm ³
Y_2	65,50 cm	A_2	3990,00 cm ²	I_2	3000812,5 cm ⁴	W_{sup}	182104,56 cm ³
Y_3	9,00 cm	A_3	1260,00 cm ²	I_3	34020 cm ⁴		
Y_{inf}	65,41 cm	A_{total}	6570,00 cm ²	I_{total}	10851028 cm ⁴		
Y_{sup}	59,59 cm						

Figura 34: Apresentação das propriedades da seção.

3.3 TENSÕES DE TRAÇÃO DE MANUTENÇÃO DO EQUILÍBRIO

As tensões de tração serão calculadas para cada uma das fatias apresentadas na figura 35:

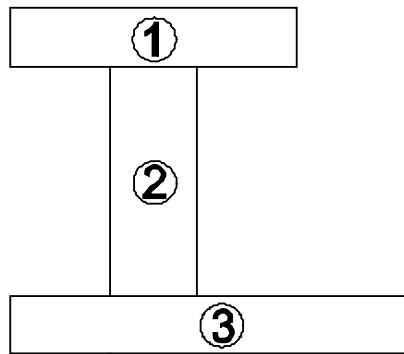


Figura 35: Fatias analisadas para determinação das tensões.

As tensões são dadas pelas seguintes expressões:

$$\sigma_1 = \frac{P}{A} + \frac{M}{w_{\text{sup}}} \quad (29)$$

$$\sigma_4 = \frac{P}{A} + \frac{M}{w_{\text{inf}}} \quad (30)$$

$$\sigma_2 = \frac{(\sigma_4 - \sigma_1) \times b}{H} \quad (31)$$

$$\sigma_3 = \frac{(\sigma_4 - \sigma_1) \times (H - i)}{H} \quad (32)$$

Sendo M igual ao momento devido à força de protensão em relação ao eixo da seção, a uma distância $x = H$ da ancoragem.

As tensões finais serão dadas pelas somas das tensões de cada cabo.

3.4 DETERMINAÇÃO DA POSIÇÃO DA FORÇA RESULTANTE

Sabe-se que o valor da força resultante para cada cabo é igual ao valor da força de protensão aplicada. Para determinação da posição dessa força, são determinados inicialmente os valores das tensões multiplicadas pelas larguras equivalentes. Com esses valores e utilizando-se de um processo de iteração é possível determinar a posição das forças resultantes:

$$\sigma \times b \times \Delta h = R_{\text{prot}} \quad (33)$$

Com,

σ = tensão em kN/cm².

b = largura da seção transversal no ponto, em cm.

Δh = variação da espessura das fatias (processo de iteração), em cm.

R_{prot} = resultante da força de protensão.

Os valores encontrados das tensões e dos produtos das tensões vezes a largura são apresentados na segunda aba da planilha “Propriedades da Seção e Tensões” acompanhados de gráficos de representação dessas tensões, assim como pode ser observado na figura 36, a seguir.

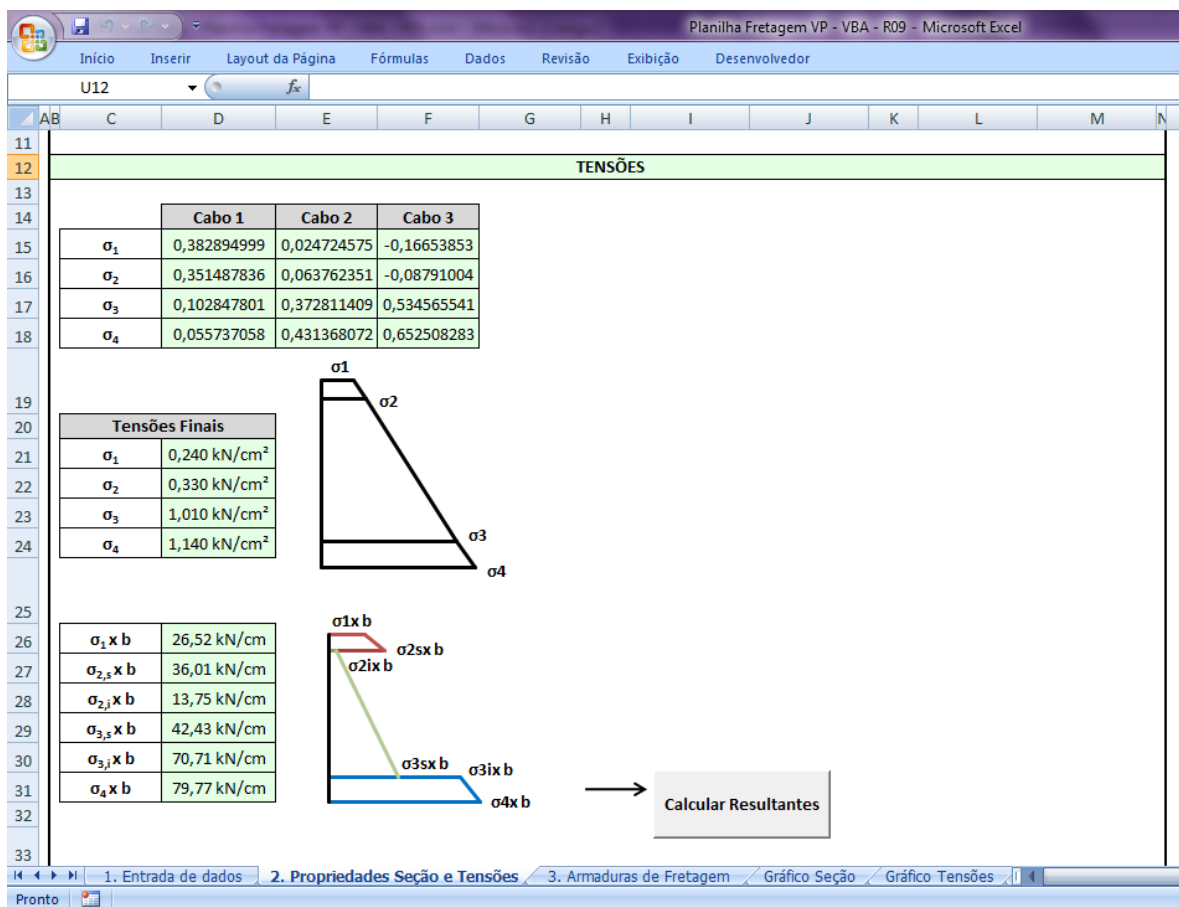


Figura 36: Apresentação dos valores das tensões.

3.5 DETERMINAÇÃO DOS ESFORÇOS DE TRAÇÃO DE MANUTENÇÃO DO EQUILÍBRIO

Com base nos conceitos apresentados de bielas e tirantes foi possível a determinação dos esforços de tração de manutenção de equilíbrio atuantes na zona de regularização das tensões.

Sabe-se que a zona de regularização de tensões tem um comprimento aproximado igual à altura da seção transversal. Mas, para determinação da força de tração de manutenção do equilíbrio, considera-se um braço de alavanca de $0,7H$. Tem-se, então, que a força é dada por:

$$R_{t,eq} = \text{sen}\beta \times P_i \quad (34)$$

$$P_i = \text{cos}\beta \times P \quad (35)$$

$$\beta = \text{arctg}\left(\frac{h_n}{0,7 \times H}\right) \quad (36)$$

Sendo,

P_i = componente inclinada da força de protensão.

h_n = diferença das cotas (verticais) entre a força de protensão e a força resultante R_{prot} .

β = ângulo formado entre a força de protensão P e a resultante da força de protensão R_{prot} .

3.6 DETERMINAÇÃO DOS ESFORÇOS DE TRAÇÃO DE FENDILHAMENTO E DE FISSURAÇÃO SUPERFICIAL

Os esforços de tração de fendilhamento ($R_{t,fen}$) e de fissuração superficial ($R_{t,fiss}$) são determinados com as seguintes expressões:

$$R_{t,fend} = 0,3 \times \left(1 - \frac{a_0}{d}\right) \times P \quad (37)$$

$$R_{t,fiss} = 0,04 \times P \quad (38)$$

Sendo,

P = força de protensão aplicada na ancoragem em kN.

d = largura da seção onde é aplicada a força de protensão, em cm.

a_0 = largura da placa de ancoragem onde é aplicada a força de protensão, em cm.

3.7 DETERMINAÇÃO DAS ARMADURAS DE FRETAGEM

As áreas de aço das armaduras de fretagem são dadas por:

$$A_{st} = \frac{R_t \times \gamma_f}{f_{yd}} \quad (39)$$

Sendo f_{yd} a tensão da armadura de fretagem.

Além das armaduras de fretagem vertical de manutenção do equilíbrio e das armaduras horizontais de controle da fissuração e do fendilhamento, ainda devem ser determinadas as armaduras de fretagem das mesas. A seguir são apresentados os cálculos necessários para determinação de cada uma das armaduras citadas anteriormente.

a. Armadura de fretagem horizontal de controle do fendilhamento

A armadura de fretagem horizontal de controle do fendilhamento é determinada com base no valor do esforço de tração de fendilhamento, determinado conforme apresentado no item 3.6 anterior.

$$A_{st,fend} = \frac{R_{t,fend} \times \gamma_f}{f_{yd}} \quad (40)$$

b. Armadura de fretagem horizontal de controle da fissuração

Assim como a armadura de fendilhamento, a armadura de fretagem horizontal de controle do fendilhamento também é determinada com base no valor do esforço de tração, conforme apresentado no item 3.6.

$$A_{st,fiss} = \frac{R_{t,fiss} \times \gamma_f}{f_{yd}} \quad (41)$$

c. Armadura de fretagem vertical de manutenção do equilíbrio

Obtido o esforço de tração transversal de manutenção do equilíbrio para cada cabo, a armadura de fretagem de manutenção de equilíbrio será determinada considerando o esforço no cabo que apresentou maior valor de $R_{t,eq}$.

(42)

$$A_{st,eq} = \frac{R_{t,eq} \times \gamma_f}{f_{yd}}$$

d. Armadura de fretagem na mesa superior

As armaduras de fretagem na mesa superior são necessárias para controle dos esforços de tração que se distribuem ao longo da mesa e que podem causar fissuração e fendilhamento do elemento.

A força de tração atuante é determinada de acordo com a força atuante na mesa, a qual é dada por:

$$N = (\sigma_x b)_{m\u00e9dia} \times h_{ms} \quad (43)$$

Sendo,

N = força atuante na mesa superior (kN).

$(\sigma_x b)_{m\u00e9dia}$ = m\u00e9dia do produto da tens\u00e3o vezes a largura na mesa superior (kN/cm²).

h_{ms} = altura da mesa superior (cm).

A força de tração \u00e9 dada ent\u00e3o, por:

$$R_{t,ms} = 0,3 \times \left(1 - \frac{a_0}{d}\right) \times N \quad (44)$$

d = largura da mesa superior (em cm).

a_0 = largura da alma da viga (em cm).

A \u00e1rea de a\u00e7o ser\u00e1 determinada com a seguinte express\u00e3o:

$$A_{st,ms} = \frac{R_{t,ms} \times \gamma_f}{f_{yd}} \quad (45)$$

e. Armadura de fretagem na mesa inferior

A determina\u00e7\u00e3o dos esfor\u00e7os atuantes na mesa inferior se d\u00e1 com a considera\u00e7\u00e3o de um modelo viga-parede.

Inicialmente \u00e9 determinada a for\u00e7a horizontal atuante na mesa inferior que, assim como na mesa superior, \u00e9 determinada de acordo com as tens\u00f5es na mesa.

$$N = (\sigma_x b)_{m\u00e9dia} \times h_{mi} \quad (46)$$

Sendo,

N = for\u00e7a atuante na mesa inferior (kN).

$(\sigma_x b)_{m\u00e9dia}$ = m\u00e9dia do produto da tens\u00e3o vezes a largura na mesa inferior (kN/cm²).

h_{mi} = altura da mesa inferior (cm).

Encontra-se o valor do momento atuante:

$$M = \frac{q \times \ell^2}{8} \quad (47)$$

Sendo ℓ dado pela largura de distribuição dos esforços e dado por:

$$\ell = 2 \times b_{fi} - b_w$$

b_{fi} = largura da mesa inferior (cm).

b_w = largura da alma da viga (cm).

E, ainda, q igual a carga distribuída atuante na região, determinada com a força N descrita anteriormente:

$$q = \frac{N}{b_{fi}} \quad (48)$$

A força de tração atuante na mesa inferior é dada, então, por:

$$R_{t,mi} = \frac{M}{0,67 \times \ell} \quad (49)$$

Por fim, a área de aço da armadura de fretagem da mesa inferior é:

$$A_{st,mi} = \frac{R_{t,mi} \times \gamma_f}{f_{yd}} \quad (50)$$

4. VERIFICAÇÃO DA PLANILHA E RESULTADOS

Para verificação da planilha foram desenvolvidos os cálculos para uma situação real. Foi considerada uma viga protendida em seção I com a atuação de protensão em 3 cabos. As dimensões da seção e posições da protensão podem ser observadas na figura 37, a seguir.

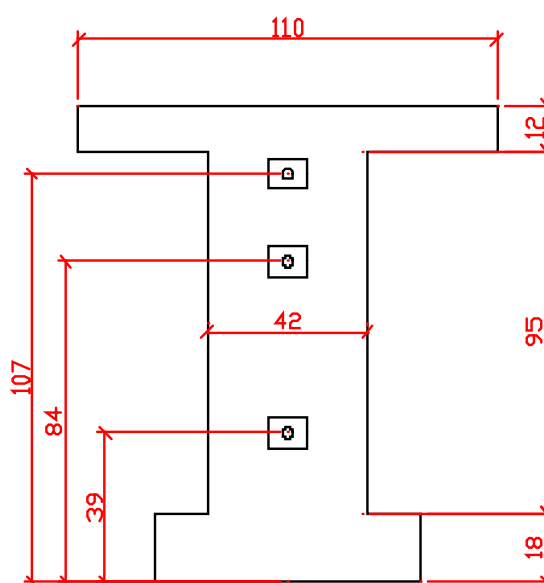


Figura 37: Seção analisada para verificação da planilha.

Assim como já apresentado, para a entrada de dados, além das dimensões das seções e das cotas dos cabos de protensão, é necessário ainda os esforços de protensão, que nesse caso são dados por:

$$P_1 = 1491 \text{ kN}$$

$$P_2 = 1436 \text{ kN}$$

$$P_3 = 1471 \text{ kN}$$

Na figura 38 é mostrada a planilha com os dados de entrada da viga estudada.

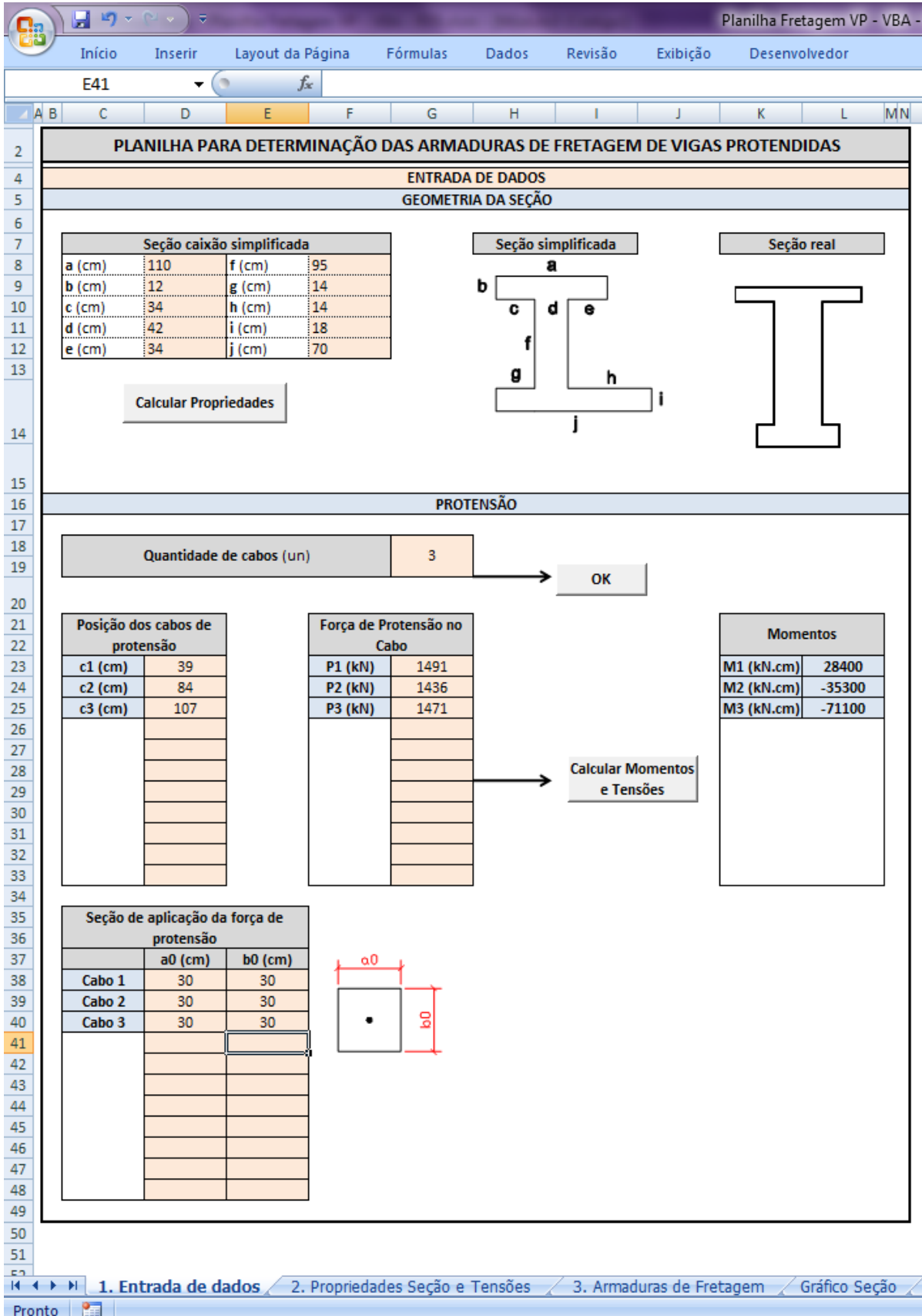


Figura 38: Dados de entrada da viga seção I.

Nas figuras a seguir são apresentados os resultados obtidos na planilha.

Planilha Fretagem VP - VBA - R10 - Microsoft Excel

Início Inserir Layout da Página Fórmulas Dados Revisão Exibição Desenvolvedor

T14

AB C D E F G H I J K L M N

2 **PLANILHA PARA DETERMINAÇÃO DAS ARMADURAS DE FRETAGEM EM VIGAS PROTENDIDAS**

3

4 **PROPRIEDADES DA SEÇÃO**

5

6

Centro de gravidade		Área		Inércia		Módulo de Resistência	
Y_1	119,00 cm	A_1	1320,00 cm ²	I_1	15840 cm ⁴	W_{inf}	165884,38 cm ³
Y_2	65,50 cm	A_2	3990,00 cm ²	I_2	3000812,5 cm ⁴	W_{sup}	182104,56 cm ³
Y_3	9,00 cm	A_3	1260,00 cm ²	I_3	34020 cm ⁴		
Y_{inf}	65,41 cm	A_{total}	6570,00 cm ²	I_{total}	10851028 cm ⁴		
Y_{sup}	59,59 cm						

7

8

9

10

11

12

13 **TENSÕES**

14

	Cabo 1	Cabo 2	Cabo 3
σ_1	0,382894999	0,024724575	-0,16653853
σ_2	0,351487836	0,063762351	-0,08791004
σ_3	0,102847801	0,372811409	0,534565541
σ_4	0,055737058	0,431368072	0,652508283

15

16

17

18

19

20

Tensões Finais	
σ_1	0,240 kN/cm ²
σ_2	0,330 kN/cm ²
σ_3	1,010 kN/cm ²
σ_4	1,140 kN/cm ²

21

22

23

24

25

26

$\sigma_1 \times b$	26,52 kN/cm
$\sigma_{2,s} \times b$	36,01 kN/cm
$\sigma_{2,i} \times b$	13,75 kN/cm
$\sigma_{3,s} \times b$	42,43 kN/cm
$\sigma_{3,i} \times b$	70,71 kN/cm
$\sigma_4 \times b$	79,77 kN/cm

27

28

29

30

31

32

33

34

35 **POSIÇÃO DAS RESULTANTES**

36

37

Forças resultantes por fatias		Altura das fatias		Centro de gravidade das fatias		Componentes Verticais da Resultante	
R_{f1}	375,18 kN	h_{f1}	65 cm	$Y_{G, f1}$	32 cm	$R_{t, eq1}$	118,52 kN
R_{f2}	2668,55 kN	h_{f2}	42 cm	$Y_{G, f2}$	85 cm	$R_{t, eq2}$	-16,41 kN
R_{f3}	1354,32 kN	h_{f3}	19 cm	$Y_{G, f3}$	115 cm	$R_{t, eq3}$	-133,38 kN

38

39

40

41

42

43

44

45

46

47

48

1. Entrada de dados 2. Propriedades Seção e Tensões 3. Armaduras de Fretagem Gráfico Seção Gráfico Tensões

Pronto

Figura 39: Planilha com os resultados das propriedades da seção, tensões e resultantes das forças de protensão.

Planilha Fretagem VP - VBA - R10 - Microsoft Excel

U14

PLANILHA PARA DETERMINAÇÃO DAS ARMADURAS DE FRETAGEM EM VIGAS PROTENDIDAS			
f_{yd} (Mpa)	30	Coefficiente de majoração de cargas γ_f	1,4
Armadura de fretagem horizontal de controle do fendilhamento			
	Cabo 1	Cabo 2	Cabo 3
R_{t, fend} (kN)	127,80	123,09	126,09
A_{s, fend} (cm ²)	4,26	4,10	4,20
Armadura de fretagem horizontal de controle da fissuração superficial			
	Cabo 1	Cabo 2	Cabo 3
R_{t, fiss} (kN)	59,64	57,44	58,84
A_{s, fiss} (cm ²)	1,99	1,91	1,96
Armadura de fretagem de manutenção do equilíbrio			
Fretagem Vertical na Alma			
R_{t, eq} (kN)	133,74		
A_{s, eq} (cm ²)	4,46		
Tensões transversais na mesa superior			
R_{t, fend ms} (kN)	69,58		
A_{s, fend ms} (cm ²)	2,32		
R_{t, fiss ms} (kN)	15,01		
A_{s, fiss ms} (cm ²)	0,50		
Tensões transversais na mesa inferior			
R_{t, mi} (kN)	353,74		
A_{s, mi} (cm ²)	11,79		

Figura 40: Planilha com a apresentação dos resultados finais: esforços de tração e armaduras de fretagem.

Os resultados obtidos foram comparados aos valores obtidos com os cálculos manuais que permitem a verificação da exatidão dos dados finais encontrados.

A planilha pode ser utilizada para a análise de vigas de diferentes seções e ainda com a atuação de um número variável de cabos, abrangendo, então, a maior parte das situações de estudo de vigas protendidas. Permite ainda, de maneira rápida, alterar as variáveis para seleção da alternativa mais adequada no projeto.

Pode ser observado na planilha final um caráter acadêmico, visto que são apresentadas as etapas do processamento, o que permite ao usuário a verificação do processo realizado e dos resultados obtidos.

5. CONCLUSÃO

Este trabalho apresentou um procedimento de cálculo de armaduras de fretagem em vigas protendidas através da implantação do processo em uma planilha eletrônica.

O resultado final obtido com o desenvolvimento da planilha eletrônica no *software* Excel, com uso de linguagem VBA, foi satisfatório, uma vez que a planilha mostrou-se prática, didática e eficiente. A flexibilidade da planilha, que permite a análise de diversas seções de vigas com a disposição de um número variado de cabos, é considerada uma das maiores vantagens da planilha, pois assim, podem ser realizados estudos de distintos projetos.

Como sugestão para trabalhos futuros, tem-se a possibilidade de desenvolver a planilha para a análise de vigas sujeitas à protensão com os cabos dispostos em mais de uma linha de protensão, visto que a planilha atual abrange apenas a situação de um número variável de cabos aplicados em uma mesma seção.

Pode-se ainda ser desenvolvido um estudo para a aplicação da planilha em outros casos de concentração de tensões, como blocos sobre estacas, vigas-parede, dentes gerber, dentre outras situações onde se observam descontinuidades na distribuição das tensões.

Uma última sugestão para desenvolvimento futuro do presente trabalho é a calibração do modelo através do método dos elementos finitos, obtendo-se, então, resultados mais precisos das análises das regiões de concentração de tensões nos elementos estruturais.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6118/2003 – Projeto de estruturas de concreto - Procedimento**. Rio de Janeiro, 2004.

BARROS, Rodrigo. **Análise de blocos de concreto armado sobre duas estacas com cálice totalmente embutido mediante presença de viga de travamento**. 2009. 196 f. Dissertação (Mestrado-Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Estruturas) – Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, 2009. Disponível em:
< http://www.set.eesc.usp.br/pdf/download/2009ME_RodrigoBarros.pdf >. Acesso em: maio 2011.

BASTOS, Paulo Sérgio dos Santos. **Ancoragem e emenda de armaduras**. 2006. UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA – Departamento de Engenharia Civil. Disponível em: < <http://wwwp.feb.unesp.br/pbastos/concreto2/Ancoragem.pdf> >. Acesso em: junho 2011.

CHUST, Roberto Carvalho. **Estruturas em concreto protendido: Cálculo e detalhamento, volume 1**.

FERRANTE, Agustin Juan. **Método dos elementos finitos**. Rio de Janeiro: Petrobrás CENPES-DIVEN, 1987.

FUSCO, Pérciles Brasilience. **Técnica de armar estruturas de concreto**. São Paulo: Pini, 1995.

LEONHARDT, Fritz. **Construções de concreto**: vol. 5. Concreto protendido. Rio de Janeiro: Editora Interciência LTDA, 1983.

MASON, Jayme. **Concreto armado e protendido**: princípios e aplicações. Rio de Janeiro: Livros técnicos e científicos editora S.A., 1976.

MELGES, José Luiz Pinheiro. **Blocos de transição ou de coroamento**. 2004. Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” - Departamento de Engenharia Civil. Disponível em:
< <http://www.dec.feis.unesp.br/melges/blococor.pdf> >. Acesso em: maio 2011.

MUNHOZ, F. S. **Análise do comportamento de blocos de concreto armado sobre estacas submetidos à ação de força centrada**. 2004. 160 f. Dissertação de

mestrado - Universidade de São Paulo – Departamento de Engenharia. Disponível em:

< <http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18134/tde-12072006-103303/pt-br.php> >. Acesso em: maio 2011.

PFEIL, Walter. **Concreto protendido**: vol. 1. Introdução. Rio de Janeiro: Livros técnicos e científicos editora S.A., 1984.

SOUZA, Rafael Alves de. **Concreto estrutural: Análise e dimensionamento de elementos com descontinuidades**. 2004. 442 f. Tese (Doutorado em Engenharia) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia de Estruturas e Fundações, 2004. Disponível em:

< http://www.lmc.ep.usp.br/people/tbitten/gmec/teses/tese_Rafael.pdf >. Acesso em: maio 2011.

VERÍSSIMO, Gustavo de Souza.; LENZ, Kléos M. C. Jr. **Concreto Protendido: Fundamentos Básicos**. 4ª edição. Universidade Federal de Viçosa – Departamento de Engenharia Civil. 1998. Disponível em:

< <http://wwwp.feb.unesp.br/lutt/Concreto%20Protendido/CP-vol1.pdf> >. Acesso em: julho 2011.

ANEXO A – Programação do aplicativo

‘MÓDULO 1: Propriedades da seção

Sub Fretagem()

'

' Fretagem Macro

' Programação para determinação da armadura de fretagem em vigas protendidas.

'

' Atalho do teclado: Ctrl+Shift+E

' 1. Declaração das variáveis

' 1.1 Geometria da seção:

Dim a As Currency

Dim b As Currency

Dim c As Currency

Dim d As Currency

Dim e As Currency

Dim f As Currency

Dim g As Currency

Dim H As Currency

Dim i As Currency

Dim j As Currency

a = Worksheets(1).Range("D8").Value

b = Worksheets(1).Range("D9").Value

c = Worksheets(1).Range("D10").Value

d = Worksheets(1).Range("D11").Value

e = Worksheets(1).Range("D12").Value

f = Worksheets(1).Range("F8").Value

g = Worksheets(1).Range("F9").Value

H = Worksheets(1).Range("F10").Value

i = Worksheets(1).Range("F11").Value

j = Worksheets(1).Range("F12").Value

' 1.2 Propriedades da seção (calculadas)

Dim y1 As Currency

Dim y2 As Currency

Dim y3 As Currency

Dim yinf As Currency

Dim ysup As Currency

Dim A1 As Currency

Dim A2 As Currency

Dim A3 As Currency

Dim Atotal As Currency

Dim I1 As Currency

Dim I2 As Currency

Dim I3 As Currency

Dim Itotal As Currency

Dim winf As Currency

Dim wsup As Currency

$$y1 = b / 2 + f + i$$

$$y2 = f / 2 + i$$

$$y3 = i / 2$$

Worksheets(2).Range("D6").Value = y1

Worksheets(2).Range("D7").Value = y2

Worksheets(2).Range("D8").Value = y3

$$A1 = a * b$$

$$A2 = d * f$$

$$A3 = i * j$$

$$Atotal = A1 + A2 + A3$$

Worksheets(2).Range("G6").Value = A1

Worksheets(2).Range("G7").Value = A2

Worksheets(2).Range("G8").Value = A3

```
Worksheets(2).Range("G9").Value = Atotal
```

```
yinf = (A1 * y1 + A2 * y2 + A3 * y3) / Atotal
```

```
Worksheets(2).Range("D9").Value = yinf
```

```
ysup = b + f + i - yinf
```

```
Worksheets(2).Range("D10").Value = ysup
```

```
I1 = a * b ^ 3 / 12
```

```
I2 = d * f ^ 3 / 12
```

```
I3 = j * i ^ 3 / 12
```

```
Itotal = I1 + (y1 - yinf) ^ 2 * A1 + I2 + (y2 - yinf) ^ 2 * A2 + I3 + (y3 - yinf) ^ 2 * A3
```

```
Worksheets(2).Range("J6").Value = I1
```

```
Worksheets(2).Range("J7").Value = I2
```

```
Worksheets(2).Range("J8").Value = I3
```

```
Worksheets(2).Range("J9").Value = Itotal
```

```
winf = Itotal / yinf
```

```
wsup = Itotal / ysup
```

```
Worksheets(2).Range("M6").Value = winf
```

```
Worksheets(2).Range("M7").Value = wsup
```

```
MsgBox "Dados da seção na Aba Resultados"
```

```
End Sub
```

‘MÓDULO 2: Inserção dos títulos das variáveis de cada cabo.

```

Sub Cabos()
'
' Cabos Macro
'
n = Worksheets(1).Range("G18").Value

Dim cb(50) As String
Dim ci As Integer
Dim P(50) As String

ci = 1

Do While ci <= n

Worksheets(1).Cells(22 + ci, 3).Value = "c" & ci & " (cm)"
Worksheets(1).Cells(22 + ci, 6).Value = "P" & ci & " (kN)"
Worksheets(1).Cells(22 + ci, 11).Value = "M" & ci & " (kN.m)"
Worksheets(2).Cells(14, 3 + ci).Value = "Cabo " & ci
Worksheets(2).Cells(37 + ci, 6).Value = "h, f" & ci
Worksheets(2).Cells(37 + ci, 9).Value = "yg, f" & ci
Worksheets(2).Cells(37 + ci, 12).Value = "Rt, eq" & ci
Worksheets(3).Cells(8, 3 + ci).Value = "Cabo " & ci
Worksheets(3).Cells(15, 3 + ci).Value = "Cabo " & ci
Worksheets(1).Cells(37 + ci, 3).Value = "Cabo " & ci

ci = ci + 1

Loop

MsgBox "Inserir posições dos cabos"

End Sub

```

‘MÓDULO 3: Cálculo das tensões

```
Public Sub CalculaTensão()
```

```
' 1.3 Dados de protensão
```

```
Dim n As Byte
```

```
n = Worksheets(1).Range("G18").Value
```

```
Dim cb(50) As String
```

```
Dim P(50) As String
```

```
Dim ci As Integer
```

```
Dim M(50) As String
```

```
Dim yinf As Currency
```

```
Dim H As Currency
```

```
Dim t1(50) As String
```

```
Dim t2(50) As String
```

```
Dim t3(50) As String
```

```
Dim t4(50) As String
```

```
Dim t1f As Currency
```

```
Dim t2f As Currency
```

```
Dim t3f As Currency
```

```
Dim t4f As Currency
```

```
Dim x As Currency
```

```
b = Worksheets(1).Range("d9").Value
```

```
i = Worksheets(1).Range("f11").Value
```

```
H = Worksheets(1).Range("f8").Value + b + i
```

```
yinf = Worksheets(2).Cells(9, 4).Value
```

t1f = 0

t2f = 0

t3f = 0

t4f = 0

ci = 1

Do While ci <= n

cb(ci) = Worksheets(1).Cells(22 + ci, 4).Value

P(ci) = Worksheets(1).Cells(22 + ci, 7).Value

'Momentos

Worksheets(1).Cells(22 + ci, 11).Value = "M" & ci & " (kN.cm)"

'VER DE TIRAR DAQUIIIII

'If cb(ci) > yinf Then

' M(ci) = P(ci) * (cb(ci) - yinf)

'Else

' M(ci) = P(ci) * (yinf - cb(ci))

'End If

* M(ci) = P(ci) * (yinf - cb(ci))

*Worksheets(1).Cells(22 + ci, 12).Value = M(ci)

!*

M(ci) = Worksheets(1).Cells(22 + ci, 12).Value

!*

'Tensões de protensão

wsup = Worksheets(2).Range("M7").Value

winf = Worksheets(2).Range("M6").Value

Atotal = Worksheets(2).Range("G9").Value

t1(ci) = (P(ci) / Atotal) + (M(ci) / wsup)

t4(ci) = P(ci) / Atotal - M(ci) / winf

Worksheets(2).Cells(15, 3 + ci).Value = CDbl(t1(ci))

Worksheets(2).Cells(18, 3 + ci).Value = CDbl(t4(ci))

t2(ci) = t1(ci) + ((t4(ci) - t1(ci)) * (b)) / H

t3(ci) = t1(ci) + ((t4(ci) - t1(ci)) * (H - i)) / H

Worksheets(2).Cells(16, 3 + ci).Value = CDbl(t2(ci))

Worksheets(2).Cells(17, 3 + ci).Value = CDbl(t3(ci))

t1f = t1f + t1(ci)

t2f = t2f + t2(ci)

t3f = t3f + t3(ci)

t4f = t4f + t4(ci)

ci = ci + 1

Loop

Worksheets(2).Range("D21").Value = t1f

Worksheets(2).Range("D22").Value = t2f

Worksheets(2).Range("D23").Value = t3f

Worksheets(2).Range("D24").Value = t4f

Dim b1 As Integer

Dim b2s As Integer

Dim b2i As Integer

Dim b3s As Integer

Dim b3i As Integer

Dim b4 As Integer

b1 = Worksheets(1).Range("d8").Value

b2s = Worksheets(1).Range("d8").Value

b2i = Worksheets(1).Range("d11").Value

b3s = Worksheets(1).Range("d11").Value

b3i = Worksheets(1).Range("f9").Value + Worksheets(1).Range("f10").Value +
Worksheets(1).Range("d11").Value

b4 = Worksheets(1).Range("f12").Value

Worksheets(2).Range("D26").Value = t1f * b1

Worksheets(2).Range("D27").Value = t2f * b2s

Worksheets(2).Range("D28").Value = t2f * b2i

Worksheets(2).Range("D29").Value = t3f * b3s

Worksheets(2).Range("D30").Value = t3f * b3i

Worksheets(2).Range("D31").Value = t4f * b4

End Sub

‘MÓDULO 4: Cálculo das resultantes de tração.

Sub PosiçãoResultante()

,

' PosiçãoResultante Macro

,

' Atalho do teclado: Ctrl+Shift+A

,

' Resultantes de Protensão

Dim n As Byte

n = Worksheets(1).Range("G18").Value

Dim cb(50) As String

Dim t(1000), tbf1(1000), tbf2(1000), tbf3(1000), tensao(100), ang(100), Fincl(50),

Rteq(50) As Currency

Dim P(50) As Currency

Dim ci As Integer

Dim txb(50) As String

Dim Rf1, Rf2, Rf3, b, i, f, Raux, Raux0, Raux1, Raux2, H, vt1, vt2, vt3, yf1, yf2, yf3,
yaux, yaux2, tb1, tb2, tb3, tb4, tb5, tb6 As Currency

Dim hf(50), hfaux(50), hfaux2(50), hff(50) As Currency

Dim yga, ygb, ygab, ygc, ygd, ygcd, yge, ygf, ygef, Ae, Af, Atotef, Aa, Ab, Ac, Ad,
Atotab, Atotcd, Atot, dt, taux(50), yg(50) As Currency

b = Worksheets(1).Range("d9").Value

i = Worksheets(1).Range("f11").Value

f = Worksheets(1).Range("f8").Value

H = f + b + i

ci = 1

'Cálculo das forças por fatias

tb1 = Worksheets(2).Range("D26").Value

tb2 = Worksheets(2).Range("D27").Value

tb3 = Worksheets(2).Range("D28").Value

tb4 = Worksheets(2).Range("D29").Value

tb5 = Worksheets(2).Range("D30").Value

tb6 = Worksheets(2).Range("D31").Value

Rf1 = (tb1 + tb2) / 2 * b

Rf2 = (tb3 + tb4) / 2 * f

Rf3 = (tb5 + tb6) / 2 * i

Worksheets(2).Range("D38").Value = Rf1

Worksheets(2).Range("D39").Value = Rf2

Worksheets(2).Range("D40").Value = Rf3

'Cálculo do tamanho das fatias

yf2 = 0

yf3 = 0

yaux = 0

yaux2 = 0

yaux3 = 0

hfaux(0) = 0

Do While ci <= n

P(ci) = Worksheets(1).Cells(22 + ci, 7).Value

If P(ci) < Rf1 Then

Raux0 = P(ci)

vt1 = (tb2 - tb1) / b

Do

$$tbf1(yaux) = tb1 + vt1 * yaux$$

$$t(yf1) = vt1 * yf1$$

$$Raux1 = (tbf1(yaux) + tb1 + t(yf1)) / 2 * (yf1 - yaux)$$

$$yf1 = yf1 + 0.01$$

Loop While (Raux0 > Raux1)

$$yaux = yf1$$

$$hf(ci) = yf1$$

$$hfaux2(ci) = yf1$$

$$Rf1 = 0$$

$$Rf2 = Rf2 - Raux0$$

$$tensao(ci) = vt1 * yf1$$

End If

If P(ci) > Rf1 Then

If P(ci) < (Rf1 + Rf2) Then

$$Raux = P(ci) - Rf1$$

$$vt2 = (tb4 - tb3) / f$$

Do

$$tbf2(yaux2) = tb3 + vt2 * yaux2$$

$$t(yf2) = vt2 * yf2$$

$$Raux2 = (tb3 + tbf2(yaux2) + t(yf2)) / 2 * (yf2 - yaux2)$$

$$yf2 = yf2 + 0.01$$

Loop While (Raux > Raux2)

$$yaux2 = yf2$$

$$tensao(ci) = vt2 * yf2$$

$$hf(ci) = b + yf2 - hf(ci - 1)$$

$$hfaux2(ci) = b + yf2$$

$$Rf1 = 0$$

$$Rf2 = Rf2 - Raux$$

Else

$$Raux3 = P(ci) - Rf2$$

$$vt3 = (tb6 - tb5) / i$$

Do

$$tbf3(yaux3) = tb5 + vt3 * yaux3$$

$$t(yf3) = vt3 * yf3$$

$$Raux4 = (tb5 + tbf3(yaux3) + t(yf3)) / 2 * (yf3 - yaux3)$$

$$yf3 = yf3 + 0.01$$

Loop While (Raux3 > Raux4)

yaux3 = yf3

hf(ci) = b + f + yf3 - hfaux2(ci - 1)

hfaux2(ci) = b + f + yf3

Rf2 = Rf2 - Raux3

tensao(ci) = vt3 * yf3

End If

If ci = n Then

hfaux2(ci) = H

hf(ci) = hfaux2(ci) - hfaux2(ci - 1)

End If

End If

Worksheets(2).Cells(37 + ci, 7).Value = hf(ci)

'Calcula cg das fatias

Dim A1, A2, yg1, yg2, A1a, A1b, A2a, A2b, A3a, A3b, yg3a, yg3b, yg1a, yg1b,
yg2a, yg2b As Currency

If hfaux2(ci) < b Then

$$A1 = tb1 * hf(ci)$$

$$yg1 = hf(ci) / 2$$

$$A2 = (tensao(ci)) * hf(ci) / 2$$

$$yg2 = hf(ci) / 3$$

$$yg(ci) = ((A1 * yg1 + A2 * yg2) / (A1 + A2)) + (b - hf(ci)) + f + i$$

End If

If hfaux2(ci) > b Then

If hfaux2(ci) = b + f Then

If hfaux2(ci - 1) <= b Then

$$A1a = (tensao(ci - 1) + tb1) * (b - hf(ci - 1))$$

$$A1b = (tb2 - (tensao(ci - 1) + tb1)) * ((b - hf(ci - 1)) / 2)$$

$$yg1a = (b - hf(ci - 1)) / 2$$

$$yg1b = (b - hf(ci - 1)) / 3$$

$$A2a = tb3 * f$$

$$A2b = (tb4 - tb3) * f / 2$$

$$yg2a = f / 2$$

$$yg2b = f / 3$$

$$A1 = A1a + A1b$$

$$A2 = A2a + A2b$$

$$yg1 = hfaux2(ci) - (b - (A1a * yg1a + A1b * yg1b) / (A1a + A1b))$$

$$yg2 = (A2a * yg2a + A2b * yg2b) / (A2a + A2b)$$

$$yg(ci) = hfaux2(ci) - ((A1 * yg1 + A2 * yg2) / (A1 + A2))$$

End If

If hfaux2(ci - 1) > b Then

$$A1 = (tensao(ci - 1) + tb3) * (hfaux2(ci) - (hfaux2(ci - 1)))$$

$$A2 = (tensao(ci) - tensao(ci - 1)) * (hfaux2(ci) - (hfaux2(ci - 1))) / 2$$

$$yg1 = (hfaux2(ci) - (hfaux2(ci - 1))) / 2$$

$$yg2 = (hfaux2(ci) - (hfaux2(ci - 1))) / 3$$

$$yg(ci) = hfaux2(ci) - ((A1 * yg1 + A2 * yg2) / (A1 + A2))$$

End If

End If

If hfaux2(ci) < b + f Then

If hfaux2(ci - 1) <= b Then

MsgBox "cabo " & ci

$$A1a = (tensao(ci - 1) + tb1) * (b - hf(ci - 1))$$

$$A1b = (tb2 - (tensao(ci - 1) + tb1)) * ((b - hf(ci - 1)) / 2)$$

$$yg1a = (b - hf(ci - 1)) / 2$$

$$yg1b = (b - hf(ci - 1)) / 3$$

$$A2a = tb3 * (hfaux2(ci) - b)$$

$$A2b = (tensao(ci)) * (hfaux2(ci) - b) / 2$$

$$yg2a = (hfaux2(ci) - b) / 2$$

$$yg2b = (hfaux2(ci) - b) / 3$$

$$A1 = A1a + A1b$$

$$A2 = A2a + A2b$$

$$yg1 = (A1a * yg1a + A1b * yg1b) / (A1a + A1b) + (hfaux2(ci) - b)$$

$$yg2 = (A2a * yg2a + A2b * yg2b) / (A2a + A2b)$$

$$yg(ci) = hfaux2(ci) - ((A1 * yg1 + A2 * yg2) / (A1 + A2))$$

End If

If hfaux2(ci - 1) > b Then

$$A1 = (tensao(ci - 1) + tb3) * (hfaux2(ci) - (hfaux2(ci - 1)))$$

$$A2 = (tensao(ci) - tensao(ci - 1)) * (hfaux2(ci) - (hfaux2(ci - 1))) / 2$$

$$yg1 = (hfaux2(ci) - (hfaux2(ci - 1))) / 2$$

$$yg2 = (hfaux2(ci) - (hfaux2(ci - 1))) / 3$$

$$yg(ci) = hfaux2(ci) - ((A1 * yg1 + A2 * yg2) / (A1 + A2))$$

End If

End If

If hfaux2(ci) > b + f Then

If hfaux2(ci - 1) <= b Then

$$A1a = (tensao(ci - 1) + tb1) * (b - hf(ci - 1))$$

$$A1b = (tb2 - (tensao(ci - 1) + tb1)) * ((b - hf(ci - 1)) / 2)$$

$$yg1a = (b - hf(ci - 1)) / 2$$

$$yg1b = (b - hf(ci - 1)) / 3$$

$$A2a = tb3 * f$$

$$A2b = (tb4 - tb3) * f$$

$$yg2a = f / 2$$

$$yg2b = f / 3$$

$$A3a = tb5 * (hfaux2(ci) - b - f)$$

$$A3b = (tensao(ci)) * (hfaux2(ci) - b - f) / 2$$

$$yg3a = (hfaux2(ci) - b - f) / 2$$

$$yg3b = (hfaux2(ci) - b - f) / 3$$

$$A1 = A1a + A1b$$

$$A2 = A2a + A2b$$

$$A3 = A3a + A3b$$

$$yg1 = hfaux2(ci) - (b - (A1a * yg1a + A1b * yg1b) / (A1a + A1b))$$

$$yg2 = hfaux2(ci) - (b + f - (A2a * yg2a + A2b * yg2b) / (A2a + A2b))$$

$$yg3 = (A3a * yg3 + A3b * ygb) / (A3a + A3b)$$

$$yg(ci) = hfaux2(ci) - ((A1 * yg1 + A2 * yg2 + A3 * yg3) / (A1 + A2 + A3))$$

End If

If hfaux2(ci - 1) > b Then

If hfaux2(ci - 1) < b + f Then

$$A1a = (tensao(ci - 1) + tb3) * (b + f - hfaux2(ci - 1))$$

$$A1b = (tb4 - tensao(ci - 1)) * (b + f - hfaux2(ci - 1)) / 2$$

$$yg1a = (b + f - hfaux2(ci - 1)) / 2$$

$$yg1b = (b + f - hfaux2(ci - 1)) / 3$$

$$A2a = tb5 * (hfaux2(ci) - b - f)$$

$$A2b = (tensao(ci)) * (hfaux2(ci) - b - f) / 2$$

$$yg2a = (hfaux2(ci) - b - f) / 2$$

$$yg2b = (hfaux2(ci) - b - f) / 3$$

$$A1 = A1a + A1b$$

$$A2 = A2a + A2b$$

$$yg1 = hfaux2(ci) - (b + f - (A1a * yg1a + A1b * yg1b) / (A1a + A1b))$$

$$yg2 = (A2a * yg2a + A2b * yg2b) / (A2a + A2b)$$

$$yg(ci) = hfaux2(ci) - ((A1 * yg1 + A2 * yg2) / (A1 + A2))$$

End If

If hfaux2(ci - 1) = b + f Then

$$A1 = tb5 * (hfaux2(ci) - b - f)$$

$$A2 = tensao(ci) * (hfaux2(ci) - b - f) / 2$$

$$yg1 = (hfaux2(ci) - b - f) / 2$$

$$yg2 = (hfaux2(ci) - b - f) / 3$$

$$yg(ci) = hfaux2(ci) - ((A1 * yg1 + A2 * yg2) / (A1 + A2))$$

End If

If hfaux2(ci - 1) > b + f Then

$$A1 = (tb5 + tensao(ci - 1)) * (hfaux2(ci) - hfaux2(ci - 1))$$

$$A2 = (tensao(ci) - tensao(ci - 1)) * (hfaux2(ci) - hfaux2(ci - 1)) / 2$$

$$yg1 = (hfaux2(ci) - hfaux2(ci - 1)) / 2$$

$$yg2 = (hfaux2(ci) - hfaux2(ci - 1)) / 3$$

$$yg(ci) = hfaux2(ci) - ((A1 * yg1 + A2 * yg2) / (A1 + A2))$$

End If

End If

End If

End If

Worksheets(2).Cells(37 + ci, 10).Value = yg(ci)

' Calcula Forcas Verticais

cb(ci) = Worksheets(1).Cells(22 + ci, 4).Value

ang(ci) = Atn((cb(ci) - yg(ci)) / (0.7 * H))

Fincl(ci) = Cos(ang(ci)) * P(ci)

Rteq(ci) = Fincl(ci) * Sin(ang(ci))

Worksheets(2).Cells(37 + ci, 13).Value = Rteq(ci)

'

ci = ci + 1

Loop

End Sub

‘MÓDULO 5: Cálculo das armaduras de fretagem.

Sub CalculaFretagem()

,

' CalculaFretagem Macro

,

' CalculaFretagem Macro

,

Dim a0(50) As Currency

Dim d As Currency

Dim P As Currency

Dim Rfend(50) As String

Dim Asfend(50) As String

Dim Rfiss(50) As String

Dim Asfiss(50) As String

Dim fyd As Currency

Dim n As Currency

Dim ang(50) As String

Dim yf(50) As Currency

Dim H As Currency

Dim aux(50) As String

Dim Fincl(50) As String

Dim Rteq(50) As Currency

Dim Aseq As Currency

Dim cb(50) As String

Dim ci, Rteq1, Rteqaux As Integer

Dim Nms, Rtfims, Rtfems, Rtmi, q, M, Nmi, AsRtfims, AsRtfems, AsRtmi, I As
Currency

fyd = Worksheets(3).Cells(4, 4).Value

n = Worksheets(1).Cells(18, 7).Value

H = (Worksheets(1).Range("D9").Value) + (Worksheets(1).Range("F8").Value) +

(Worksheets(1).Range("F11").Value)

ci = 1

Do While ci <= n

a0(ci) = Worksheets(1).Cells(37 + ci, 4).Value

Rfend(ci) = 0.3 * (1 - (a0(ci)) / (Worksheets(1).Cells(11, 4).Value)) *

Worksheets(1).Cells(22 + ci, 7).Value

Asfend(ci) = Rfend(ci) / fyd

Worksheets(3).Cells(9, 3 + ci).Value = CDbI(Rfend(ci))

Worksheets(3).Cells(10, 3 + ci).Value = CDbI(Asfend(ci))

Rfiss(ci) = 0.04 * Worksheets(1).Cells(22 + ci, 7).Value

Asfiss(ci) = Rfiss(ci) / fyd

Worksheets(3).Cells(16, 3 + ci).Value = CDbI(Rfiss(ci))

Worksheets(3).Cells(17, 3 + ci).Value = CDbI(Asfiss(ci))

'Calculo das forcas de manutencao do equilibrio

Rteq(ci) = Worksheets(2).Cells(37 + ci, 13)

Rteqaux = Rteq(ci)

If Abs(Rteqaux) > Abs(Rteq1) Then

Rteq1 = Abs(Rteq(ci))

End If

ci = ci + 1

Loop

Worksheets(3).Cells(23, 4).Value = CDbI(Rteq1)

Aseq = Rteq1 / fyd

Worksheets(3).Cells(24, 4).Value = CDbI(Aseq)

'Mesa superior

Nms = Worksheets(2).Range("D38").Value

Rtfems = 0.3 * (1 - ((Worksheets(1).Cells(11, 4).Value)) / (Worksheets(1).Cells(8, 4).Value)) * Nms

AsRtfems = Rtfems / fyd

Rtfims = 0.04 * Nms

AsRtfims = Rtfims / fyd

'Mesa inferior

Nmi = Worksheets(2).Range("D40").Value

q = Nmi / Worksheets(1).Range("F12").Value

I = 2 * Worksheets(1).Range("F12").Value - Worksheets(1).Range("D11").Value

M = q * I * I / 8

Rtmi = M / (0.67 * I)

AsRtmi = Rtmi / fyd

Worksheets(3).Range("D28").Value = Rtfems

Worksheets(3).Range("D30").Value = Rtfims

Worksheets(3).Range("D29").Value = AsRtfems

Worksheets(3).Range("D31").Value = AsRtfims

Worksheets(3).Range("D35").Value = Rtmi

Worksheets(3).Range("D36").Value = AsRtmi

' Atalho do teclado: Ctrl+Shift+F

,

End Sub

‘MÓDULO 6: Limpa planilha.

```
Sub LimparSeção()
```

```
,
```

```
' LimparSeção Macro
```

```
,
```

```
Worksheets("1. Entrada de dados").Range("D8").Value = ""
```

```
Worksheets("1. Entrada de dados").Range("D9").Value = ""
```

```
Worksheets("1. Entrada de dados").Range("D10").Value = ""
```

```
Worksheets("1. Entrada de dados").Range("D11").Value = ""
```

```
Worksheets("1. Entrada de dados").Range("D12").Value = ""
```

```
Worksheets("1. Entrada de dados").Range("F8").Value = ""
```

```
Worksheets("1. Entrada de dados").Range("F9").Value = ""
```

```
Worksheets("1. Entrada de dados").Range("F10").Value = ""
```

```
Worksheets("1. Entrada de dados").Range("F11").Value = ""
```

```
Worksheets("1. Entrada de dados").Range("F12").Value = ""
```

```
,
```

```
End Sub
```

```
Sub LimparProtensão()
```

```
,
```

```
' LimparProtensão Macro
```

```
,
```

```
Dim n, i As Integer
```

```
n = Worksheets(1).Range("G18").Value
```

```
i = 1
```

```
Do While i <= n
```

```
Worksheets("1. Entrada de dados").Cells(22 + i, 3).Value = ""
```

```
Worksheets("1. Entrada de dados").Cells(22 + i, 4).Value = ""
```

```

Worksheets("1. Entrada de dados").Cells(22 + i, 6).Value = ""
Worksheets("1. Entrada de dados").Cells(22 + i, 7).Value = ""
Worksheets("1. Entrada de dados").Cells(22 + i, 11).Value = ""
Worksheets("1. Entrada de dados").Cells(22 + i, 12).Value = ""
Worksheets("1. Entrada de dados").Cells(37 + i, 3).Value = ""
Worksheets("1. Entrada de dados").Cells(37 + i, 4).Value = ""
Worksheets("1. Entrada de dados").Cells(37 + i, 5).Value = ""
i = i + 1
Loop

'

End Sub
Sub LimparPropriedades()
'
' LimparPropriedades Macro
'

Worksheets("2. Propriedades Seção e Tensões").Range("D6").Value = ""
Worksheets("2. Propriedades Seção e Tensões").Range("D7").Value = ""
Worksheets("2. Propriedades Seção e Tensões").Range("D8").Value = ""
Worksheets("2. Propriedades Seção e Tensões").Range("D9").Value = ""
Worksheets("2. Propriedades Seção e Tensões").Range("D10").Value = ""

Worksheets("2. Propriedades Seção e Tensões").Range("G6").Value = ""
Worksheets("2. Propriedades Seção e Tensões").Range("G7").Value = ""
Worksheets("2. Propriedades Seção e Tensões").Range("G8").Value = ""
Worksheets("2. Propriedades Seção e Tensões").Range("G9").Value = ""

Worksheets("2. Propriedades Seção e Tensões").Range("J6").Value = ""
Worksheets("2. Propriedades Seção e Tensões").Range("J7").Value = ""
Worksheets("2. Propriedades Seção e Tensões").Range("J8").Value = ""
Worksheets("2. Propriedades Seção e Tensões").Range("J9").Value = ""

Worksheets("2. Propriedades Seção e Tensões").Range("M6").Value = ""
Worksheets("2. Propriedades Seção e Tensões").Range("M7").Value = ""

```

```
'  
End Sub  
Sub LimparTensões()  
'  
' LimparTensões Macro  
'  
Dim n, i As Integer  
  
n = Worksheets(1).Range("G18").Value  
i = 1  
  
Do While i <= n  
Worksheets("2. Propriedades Seção e Tensões").Cells(14, 3 + i).Value = ""  
Worksheets("2. Propriedades Seção e Tensões").Cells(15, 3 + i).Value = ""  
Worksheets("2. Propriedades Seção e Tensões").Cells(16, 3 + i).Value = ""  
Worksheets("2. Propriedades Seção e Tensões").Cells(17, 3 + i).Value = ""  
Worksheets("2. Propriedades Seção e Tensões").Cells(18, 3 + i).Value = ""  
i = i + 1  
Loop  
Worksheets("2. Propriedades Seção e Tensões").Range("D21").Value = ""  
Worksheets("2. Propriedades Seção e Tensões").Range("D22").Value = ""  
Worksheets("2. Propriedades Seção e Tensões").Range("D23").Value = ""  
Worksheets("2. Propriedades Seção e Tensões").Range("D24").Value = ""  
Worksheets("2. Propriedades Seção e Tensões").Range("D26").Value = ""  
Worksheets("2. Propriedades Seção e Tensões").Range("D27").Value = ""  
Worksheets("2. Propriedades Seção e Tensões").Range("D28").Value = ""  
Worksheets("2. Propriedades Seção e Tensões").Range("D29").Value = ""  
Worksheets("2. Propriedades Seção e Tensões").Range("D30").Value = ""  
Worksheets("2. Propriedades Seção e Tensões").Range("D31").Value = ""  
'  
End Sub  
Sub LimparFretagem()  
'
```



```

' LimparFretagem Macro
'

Dim n, i As Integer

n = Worksheets(1).Range("G18").Value
i = 1

Do While i <= n
Worksheets("3. Armaduras de Fretagem").Cells(8, 3 + i).Value = ""
Worksheets("3. Armaduras de Fretagem").Cells(9, 3 + i).Value = ""
Worksheets("3. Armaduras de Fretagem").Cells(10, 3 + i).Value = ""
Worksheets("3. Armaduras de Fretagem").Cells(15, 3 + i).Value = ""
Worksheets("3. Armaduras de Fretagem").Cells(16, 3 + i).Value = ""
Worksheets("3. Armaduras de Fretagem").Cells(17, 3 + i).Value = ""
i = i + 1
Loop

Worksheets("3. Armaduras de Fretagem").Range("D23").Value = ""
Worksheets("3. Armaduras de Fretagem").Range("D24").Value = ""

Worksheets("3. Armaduras de Fretagem").Range("D28").Value = ""
Worksheets("3. Armaduras de Fretagem").Range("D29").Value = ""
Worksheets("3. Armaduras de Fretagem").Range("D30").Value = ""
Worksheets("3. Armaduras de Fretagem").Range("D31").Value = ""

Worksheets("3. Armaduras de Fretagem").Range("D35").Value = ""
Worksheets("3. Armaduras de Fretagem").Range("D36").Value = ""

'

End Sub

Sub LimparForças()
Dim n, i As Integer

n = Worksheets(1).Range("G18").Value
i = 1

```

```
Worksheets("2. Propriedades Seção e Tensões").Cells(38, 4).Value = ""  
Worksheets("2. Propriedades Seção e Tensões").Cells(39, 4).Value = ""  
Worksheets("2. Propriedades Seção e Tensões").Cells(40, 4).Value = ""
```

```
Do While i <= n
```

```
Worksheets("2. Propriedades Seção e Tensões").Cells(37 + i, 6).Value = ""  
Worksheets("2. Propriedades Seção e Tensões").Cells(37 + i, 7).Value = ""  
Worksheets("2. Propriedades Seção e Tensões").Cells(37 + i, 9).Value = ""  
Worksheets("2. Propriedades Seção e Tensões").Cells(37 + i, 10).Value = ""  
Worksheets("2. Propriedades Seção e Tensões").Cells(37 + i, 12).Value = ""  
Worksheets("2. Propriedades Seção e Tensões").Cells(37 + i, 13).Value = ""
```

```
i = i + 1
```

```
Loop
```

```
End Sub
```