

Conhecida a flecha absoluta, poder-se-á determinar a flecha relativa (L / xxx), observando os apoios das zonas adjacentes ao ponto de máxima flecha absoluta e considerando o vão menor das possíveis contíguas. Em lajes maciças e nervuradas, devem-se respeitar umas alturas razoáveis para os vãos habituais e cargas normais de construção dentro das esbeltezes que as normas indicam (menores se for possível), assim como uma distribuição de suportes verticais com vãos compensados, é a melhor garantia para não Ter problemas de deformações. Uma execução adequada com recobrimentos corretos também nos assegurará um comportamento bom perante deformações excessivas.

Utilize os isovalores para visualizar os deslocamentos verticais, com as indicações anteriormente mencionadas

1.16.5. Elementos de fundação

Consulte o capítulo correspondente a sapatas, maciços de encabeçamento de estacas, vigas de equilíbrio e lintéis.

1.16.2. Lajes de vigotas

Calcula-se a flecha. Consulte as opções correspondentes à flecha no manual **Lajes de vigotas** desta memória.

1.16.3. Lajes mistas

Consulte o manual **de Lajes mistas**

1.16.4. Lajes maciças e nervuradas

Proporcionam-se em qualquer nó da malha de todos os pisos os valores dos deslocamentos por ações simples (aquelas que se tiverem definido no projeto: permanentes ou peso próprio; variáveis, que incluem sobrecargas gerais, separadas, ...; vento e sismo). Em particular, pode-se obter o deslocamento máximo por ações de cada laje.

Fica ao critério do usuário a estimativa da flecha ativa, com os coeficientes de fluência que considerar oportuno, e a partir da determinação manual das flechas instantâneas conhecidas, deduzidas dos deslocamentos verticais por hipóteses que o programa fornece.

Recorda-se que numa laje maciça os deslocamentos verticais são absolutos, isto é, que se consultar num nó junto a um pilar ou apoio vertical, verá que também têm deslocamentos verticais (segundo o eixo z). Assim, para determinar a flecha entre dois pilares, importa determinar um deslocamento relativo em relação aos apoios extremos, ou pontos de inflexão numa direção dada da deformação. Este efeito é mais denunciado nos pisos altos dos edifícios pelo encurtamento elástico dos pilares de concreto.

Se os deslocamentos de pilares forem muito pequenos, pode-se estimar a soma dos deslocamentos sobrecargas) e multiplicadas por um valor entre 2.5 e 3, segundo o processo construtivo. Desta forma obtêm-se uns valores aproximados na prática habitual de cálculo de edifícios.

da flecha seja metade ou o dobro, pelo que os valores indicados no programa são orientadores, e podem servir para umas condições favoráveis habituais de construção.

1.16. Deformações em lajes

1.16.1. Lajes alveolares

De forma opcional, podem-se definir os seguintes limites de flecha:

•Flecha instantânea:

Permanente

Sobrecarga

Total

•Flecha total a prazo infinito

•Flecha ativa

Para cada uma delas pode-se limitar o valor relativo L/xxx ou $L/xxx + xx$ cm; ou a flecha absoluta em cm.

Cada norma pode estabelecer diferentes limites e o usuário pode fixar o que considerar pertinente para cada cálculo.

O mais habitual é a flecha ativa.

Para a determinação da flecha total a prazo infinito, indicou-se nas opções a definição dos coeficientes de fluência a prazo infinito a aplicar, tanto para carga permanente como para sobrecarga, que multiplicarão a flecha instantânea, para obter a flecha diferida.

A flecha total será a soma da flecha instantânea com a diferida.

Analisando uma série de pontos obtém-se a inércia bruta, homogeneizada, fissurada e a rotação por hipóteses, calculada a partir da lei de variação de curvaturas.

O programa calcula os esforços e deslocamentos por ação, partindo do valor do módulo de elasticidade longitudinal secante do concreto, pelo que a redução desse módulo de elasticidade em função do clima, cura, etc., deverá corrigir-se por meio dos correspondentes coeficientes de fluência a aplicar às deformações instantâneas e diferidas.

A flecha que se obtém, chamada ativa, é a diferida mais a instantânea devida às cargas permanentes (depois de construir as paredes) e às cargas variáveis.

Os coeficientes de fluência (ou multiplicadores da flecha instantânea) para o cálculo das deformações em vigas podem-se consultar nas opções gerais, assim como os valores por padrão.

Calcula-se a flecha pelo método indicado devido às cargas permanentes (f_G) e às cargas variáveis (f_Q). A

flecha ativa total será:

$$f_a = Y_g * f_g + Y_q * F_q$$

sendo

Y_g : Coeficiente global de fluência para as cargas permanentes

Y_q : Coeficiente global de fluência para as cargas variáveis.

Estes valores podem modificar-se em função das percentagens de cada fração das cargas definidas como permanentes e variáveis no diálogo de opções de **Coeficientes de Fluência-Flecha Ativa**, assim como dos próprios coeficientes que se definirem para o seu efeito instantâneo ou diferido.

Recomenda-se consultar a norma de aplicação a esse respeito, bibliografia específica, e consultar empresas de controle de projetos para uma correta definição de tais coeficientes, dado que tanto o processo construtivo, o grau de umidade e temperatura na data de betonagem, cura do concreto, prazo de desforma, idade de colocação em carga, etc., são fatores determinantes que podem fazer com que o valor

Armadura longitudinal de reforço

Aplicam-se os mesmos critérios que no caso das lajes maciças, apenas com a diferença que a armadura se concentra nas nervuras. Previamente devem-se agrupar as envoltórias dos elementos adjacentes à nervura para o cálculo concentrado da armadura na posição da nervura.

Armadura transversal

Na zona de maciços de pilares ou zona maciça efetua-se um cálculo idêntico ao das lajes maciças face ao esforço cortante e punção. Nas nervuras da zona aligeirada efetua-se a verificação ao esforço cortante nas nervuras cada 0.75 d. Se for necessário reforçar, coloca ramos verticais do diâmetro necessário com a separação e número que se desenha e se visualiza no tela.

Igualação de armaduras

Podem-se efetuar as mesmas igualações que em lajes maciças, concentrando a armadura nas nervuras designadas.

1.15. Deformações em vigas

Cada norma pode estabelecer diferentes limites e o usuário pode fixar o que considerar pertinente para cada cálculo.

Para a determinação da flecha total a prazo infinito, indicou-se nas opções a definição dos coeficientes de fluência a prazo infinito a aplicar, tanto para carga permanente como para sobrecarga, que multiplicarão a flecha instantânea, para obter a flecha diferida.

A flecha total será a soma da flecha instantânea com a diferida. Determina-se a flecha máxima ativa em vigas utilizando o método da dupla integração de curvaturas.

1.14.9. Lajes nervuradas

Os critérios para as lajes nervuradas são os mesmos que os indicados para as lajes maciças, com as seguintes diferenças.

Armadura base

Pode-se definir ou não uma armadura base, distinguindo para isso a zona maciça da zona nervurada.

Armadura base em zona maciça (maciços de pilares). Por padrão, considera-se uma armadura base formada por 2 barras, segundo umas tabelas, que se estende de bordo a bordo do maciço de pilares, distribuída entre os eixos das nervuras e que colabora sempre que se considerar.

Esta armadura mede-se aproximadamente e não se desenha na versão atual de **CYPECAD**. Por isso, é o usuário quem deve fornecer um pormenor tipo de tal armadura base, também chamada ,de montagem de maciços de pilares™, que complemente a informação contida nos desenhos, embora no quadro de características se descreva tal armadura base.

Armadura base em nervuras. Por padrão não se considera. Por isso, deve-se escolher e determinar em cada direção. Existem umas tabelas de armadura que permitem a sua definição, assim como a sua combinação possível nos reforços adicionais a colocar nas nervuras. Se indicar em **Opções** que se pormenorize, desenhar-se-á e medir-se-á. Caso contrário, apenas será possível colocar um rótulo a nível geral, obter uma medição aproximada e sem desenho das armaduras.

Antes ou depois do cálculo é possível definir umas linhas ou retângulos em qualquer direção, superior e inferior, que permitem igualar a armadura ao máximo dessa zona em quantidade e comprimento. Existe uma opção para a **igualação automática** sobre pilares de armadura superior em faixas adjacentes aos pilares indicados.

Podem-se definir umas linhas de flexão que se devem utilizar antes do cálculo e introduzir segundo as direções dos apoios.

Estas linhas consideram-se como se fossem pontos de máximos momentos negativos, e por conseguinte o local idóneo para a emenda da armadura inferior, se for o caso, calculando os comprimentos de reforço de negativos de acordo com uns mínimos em percentagens da distância entre linhas (vão) e emendando os positivos, se isso for possível em tais linhas.

Por último, pode-se sempre modificar o diâmetro e a separação da armadura de reforço ao critério do usuário e também modificar e colocar as patilhas superiores e inferiores.

Amarração das armaduras em vigas ou apoios. Os comprimentos de amarração medem-se a partir do bordo de apoio com a laje. Reveja os comprimentos quando os bordos forem amplos, pois é possível que não cruzem toda a viga e fiquem parcialmente amarrados. Isto é importante, e deve prolongá-los quando utilizar vigas largas.

O tratamento das lajes de fundação é idêntico às lajes maciças normais quanto ao seu desenho de armaduras.

Existe uma opção que nas lajes retangulares apoiadas em vigas, dá uma armadura igualada uniforme em cada direção.

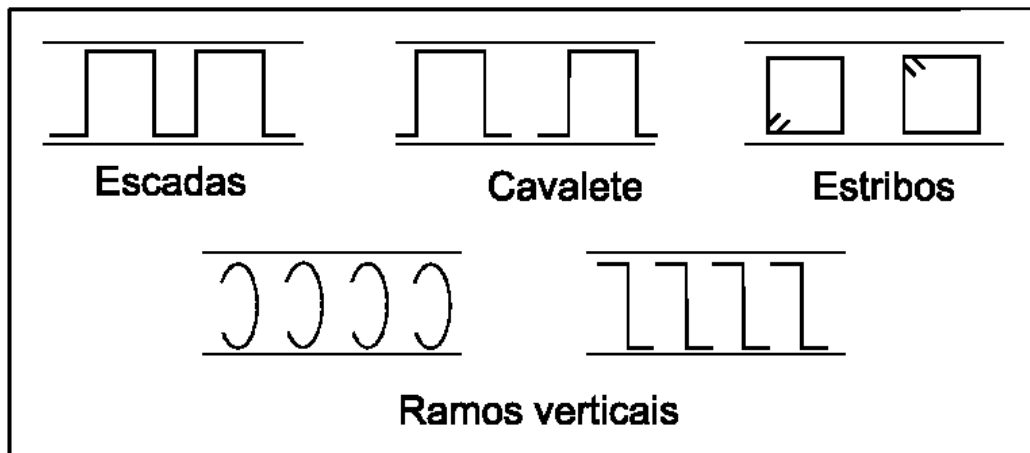


Fig. 1.27

Nas zonas onde se dispuserem vigas, rasas ou vigas altas, os esforços tangenciais serão resistidos pelos estribos da viga. Por isso, as tensões tangenciais calculam-se apenas na laje e em superfícies paralelas aos lados das vigas.

Esforço cortante. A partir da seção de verificação ao punçonnemento ($0.5 d$) e em superfícies paralelas a uma distância de $0.75 d$, realiza-se a verificação ao esforço cortante em toda a superfície da laje maciça, até todas as superfícies se encontrarem radiadas a partir dos bordos de apoio. Se for necessário reforçar, indica-se o número e o diâmetro dos reforços a colocar com a mesma tipologia que o indicado para o punçonnemento. Analogamente, se não se cumprir, aparece uma linha **vermelha** que indica que se ultrapassou o limite de tensão máxima por punçonnemento, com a mensagem: ,INSUF™. Neste caso, deve-se aumentar a altura, o tamanho do apoio ou a resistência do concreto.

O tratamento das lajes de fundação é idêntico às lajes maciças normais quanto ao seu desenho de armaduras.

Igualação de armaduras

Armadura transversal

Punçonnemento. Em superfícies paralelas aos bordos de apoio, considerando como tais os pilares, paredes, muros, vigas e apoios em muros, e colocada a uma distância de meia altura útil ($0.5 d$), verifica-se o cumprimento da tensão limite de punçonnemento, de acordo com a norma. Não se deve esquecer que a Verificação de punçonnemento é uma verificação de tensões tangenciais, que é o que o programa realiza, obtendo o valor das tensões tangenciais a partir dos esforços nos nós próximos, interpolando linearmente nos pontos de corte do perímetro de punçonnemento. Esta opção é a correta do ponto de vista teórico: uma verificação de tensões tangenciais, que resolve o problema na sua generalidade, que não é coincidente com as formulações das diferentes normas que podem aplicar uma formulação dependente do esforço axial e momento atuante, com fórmulas simplificadas, que apenas resolvem casos particulares. Se não se cumprir, aparece uma linha **vermelha** que indica que se excedeu o limite de tensão máxima por punçonnemento, com uma mensagem ,INSUF™. Neste caso deve-se aumentar a altura, o tamanho do apoio ou a resistência do concreto.

Se superar a tensão limite sem armadura transversal, é necessário colocar armadura de reforço transversal. Indica-se o número e o diâmetro do reforço a colocar como ramos verticais, a separação necessária em função do número de ramos colocados num certo comprimento.

O usuário deve, neste caso, dispor ramos verticais na forma construtiva que considerar mais adequada à obra, quer seja com cavalete, reforços em escada, estribos, etc. (Fig. 1.27), de forma que a sua separação não supere 0.75 de altura útil ou a seção equivalente e dispostos entre a armadura superior e inferior.

Verifica-se o cumprimento das percentagens mínimas, tanto superior como inferior e total, assim como as percentagens e quantidades mecânicas da face de tração. Também se verifica se a armadura numa direção é uma percentagem da outra, tudo de acordo com as opções ativas.

Com tudo isto obtêm-se umas envoltórias de quantidades e a área necessária em cada direção por metro de largura e calculam-se uns reforços longitudinais de acordo com as tabelas de armadura definidas. O ponto de corte dos barras realiza-se aumentando para tal comprimento o comprimento bruto reduzido de amarração conforme o ambiente escolhido e a decalagem do diagrama em função da altura útil e conforme a norma.

O cumprimento dos diâmetros máximos e separações realiza-se por meio das tabelas de armadura, nas quais se especificam os diâmetros e separações em função de um campo de variação das alturas. A consideração da torção é opcional, embora se aconselhe que se considere sempre.

Armaduras predeterminadas

Define-se com este nome a possibilidade de introduzir armaduras, quer seja superiores, inferiores e em qualquer direção, de diâmetro e comprimento predeterminado pelo usuário, e que se descontarão na sua zona de influência da armadura de reforço a colocar. É muito útil em zonas de concentração de esforços já conhecidos, como a zona superior dos elementos de suporte, permitindo que o resto da armadura seja mais uniforme.

O tratamento das lajes de fundação é idêntico às lajes maciças normais quanto ao desenho de armaduras.

De forma opcional pode-se definir uma armadura base superior e inferior, longitudinal e transversal, que podem ser diferentes, definíveis e modificáveis de acordo com uma tabela de armadura. Esta armadura será colaborante sempre que se definir. É possível aumentá-la, se for preciso para o cálculo, à flexão, quer seja pelo trabalho como armadura comprimida, quer pelo cumprimento de uns mínimos de percentagens especificadas em **Opções**.

Pode-se detalhar ou não nos desenhos o que tem a sua importância, tanto na detalhamento de armaduras como na medição. No caso de se detalhar, desenhar-se-á conjuntamente com os reforços, cortando-se e emendando-se onde for preciso, como se tratasse de uma armadura normal. Pode-se obter a sua medição e os seus comprimentos de corte.

Se não se detalhar, não se desenha mas mede-se aproximadamente; apenas se pode indicar o seu diâmetro e a sua separação. Por isso, nesse caso, deve-se complementar com os pormenores que se considerar oportuno, tanto no piso como no quadro de medição.

Armadura longitudinal de reforço

Em cada nó da malha conhecem-se os momentos fletores em duas direções e o momento torsor. Geralmente, as direções principais da laje maciça não coincidem com as direções da armadura impostas para a mesma. Aplicando o método de **Wood**, internacionalmente conhecido e que considera o efeito da torção para obter o momento da armadura em cada direção especificada, efetua-se uma distribuição transversal em cada nó com as suas adjacentes à esquerda e à direita numa faixa de um metro, e somam-se em cada nó os esforços do nó mais os da distribuição, a partir dos quais se obtém a área necessária superior e inferior em cada direção, que se especifica por metro de largura ao dividir pelo tamanho da malha ou distância entre nós, para obter um valor homogéneo e comparável em todos os nós.

O cálculo dos momentos negativos realiza-se à flexão simples e obtêm-se uns barras negativos de acordo com uma tabela de armadura. Os seus comprimentos cumprem uns mínimos, especificados em **Opções**, assim como umas quantidades geométricas mínimas. Podem-se modificar e igualar os negativos em função de uma percentagem de diferença de comprimentos. Quando for precisa uma armadura de compressão na zona de negativos, retirar-se-ão as lajetas até ao ponto onde deixe de ser necessário. Isto indicar-se-á no piso por uma linha de maciço das vigotas.

As envoltórias de momentos e cortantes por vigota e majoradas podem-se consultar no tela. Em extremos de alinhamento de vigotas, embora o valor do momento negativo seja nulo, dimensiona-se uma armadura para um momento que é percentagem do máximo positivo do vão (ver **Opções**).

É possível definir uns momentos mínimos positivos e negativos para toda a obra ou para um pano em concreto.

Para mais informação, consulte o capítulo **6. Lajes de vigotas** deste manual. Uma vez que se consulta o valor dos momentos positivos, não se faz a verificação se é ou não necessária armadura de compressão no vão. Por último, recorda-se que o valor expresso dos esforços cortantes em extremos de vigotas em planos está majorado e por metro de largura.

1.14.6. Lajes mistas

Consulte o manual **de Lajes mistas** desta memória.

1.14.7. Lajes alveolares

O processo de cálculo foi explicado no capítulo **Dados de Entrada** deste manual.

1.14.8. Lajes maciças

Armadura base

decisão do usuário a colocação do reforços que se deve acrescentar de forma manual aos resultados editados nos desenhos.

Também é possível modificar a armadura diretamente e calcular o fator de comprimento para a nova armadura.

Quando uma armadura não cumpre, além da mensagem de aviso o texto passa a ser **vermelho**. As amarrações em cada piso são editáveis, e calculam-se com diferente comprimento, conforme seja em tração ou em compressão.

Muros de alvenaria

Verificam-se os limites de tensão em compressão e em tração (10% da compressão), com um fator de comprimento de 80%.

Se não cumprir, emite-se um aviso na informação final do cálculo.

A hipótese de diafragma rígido a nível de planta limita deformações e produz esforços de pico, que às vezes são pouco representativos, conduzindo a uma armadura elevada, daí a utilidade do fator de comprimento, para impedir que determinadas zonas penalizem a armadura do resto do muro, supondo uma armadura comum por piso.

1.14.5. Lajes de vigotas de concreto armado

O cálculo das lajes de vigotas pré-fabricadas realiza-se de forma individualizada para cada vigota em flexão simples. Obtém-se o valor máximo do momento positivo MF expresso em daNm e por metro de largura, majorado. Pode-se realizar uma igualação por panos em valores máximos ou médios em função de uma percentagem de diferença entre vigotas adjacentes, conseguindo uniformizar os valores por panos.

É possível tipificar o valor dos momentos, expressando-o por um nome tipo, se para essa laje se tiverem indicado os valores resistidos do momento para cada tipo. Se superar o valor de tal tabela indica-se com ,INSUF™. Nesse caso deve-se ampliar a tabela tipificada.

Paredes e muros de concreto armado

Conhecido o estado tensional, uma vez calculados os esforços e para cada combinação, verificam-se em cada face de armadura tanto na vertical como na horizontal, as tensões e deformações do concreto e do aço para a armadura disposta nas tabelas, aumentando-se de forma sequencial até que alguma armadura cumpra para todas as combinações. Além disso, verifica-se no sentido transversal, calculando-se o reforço se for necessário. Este processo repete-se para cada um dos lados da parede ou muro.

De acordo com a norma realizam-se as verificações de quantidades mínimas e máximas, separações mínimas e máximas, assim como as verificações dimensionais dos lados (o comprimento de um lado é superior a cinco vezes a sua espessura), uma vez que se não se verificar, emite-se uma mensagem informativa (Dp), e aplicam-se as limitações impostas para pilares.

Verificam-se os limites de esbelteza em paredes e muros, para cada lado, emitindo-se uma mensagem se superar.

Por último, pode-se consultar no tela a armadura obtida, assim como os erros de dimensionamento. Se variar a armadura e/ou a sua espessura, realiza-se uma verificação. O programa emitirá as mensagens de erro pertinentes. Pode-se redimensionar se variarem as seções, obtendo-se a nova armadura e realizando-se as verificações pertinentes.

No dimensionamento de muros incluiu-se o que se chama **Fator de cumprimento**, valor que por padrão é 90%, mas que é possível modificar. Se indicar um valor menor (por exemplo 80%), e redimensionar, obtém-se uma armadura algo menor e observa-se que existem uns pontos a **vermelho**, que são 20% da superfície total do muro que não cumpre para esta armadura.

Através do comando **Ver reforços** consulta-se em cada ponto **vermelho** a armadura necessária de reforço suplementar a colocar nessa zona, se desejar. Será

Finalmente, é possível modificar a sua seção, com o que a armadura se recalcula, e também se pode modificar a sua armadura vertical e o tipo de estribos.

Se modificar as tabelas de armadura, deve rever a disposição de estribos. Se não houver estribos definidos nem armaduras para a seção do pilar, complete as tabelas com os estribos e ramos necessários. Reveja os esforços cortantes, se for necessário um cálculo manual dos estribos, que a versão atual não faz.

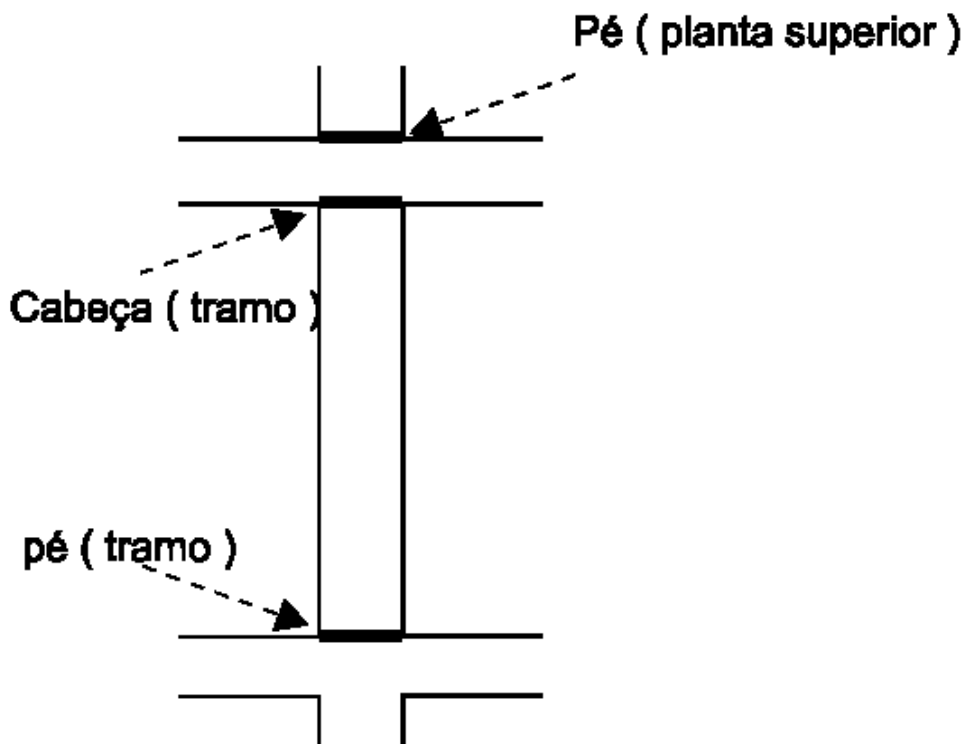
Pilares metálicos

Se tiver definido pilares metálicos, calculam-se de acordo com a norma selecionada para o tipo de aço, quer seja laminado ou enformado. Os coeficientes de encurvadura já mencionados anteriormente devem ser introduzidos pelo usuário. Se adotar o critério de manter o perfil existente, recorde que deve verificar o seu comprimento.

Se, ao contrário, admitir que o programa coloque o perfil necessário, recorde que os esforços de dimensionamento se obtiveram com o perfil introduzido inicialmente, pelo que se a variação for importante, é conveniente recalculá-la obra, uma vez que os esforços podem variar substancialmente.

Por último calculam-se as placas de amarração no arranque de pilares metálicos, verificando as tensões gerais e locais no aço, concreto, parafusos, punção e arranque.

Se o pilar for apoiado, reveja o comprimento do parafuso e as condições de amarração manualmente. Não esqueça também de rever as mesmas a nível de cada piso com as vigas ou lajes, dado que é um pormenor construtivo não contemplado no cálculo.



**secções que se comprovam
numa planta**

Fig. 1.26

Pode-se escolher a continuidade ou não da armadura, assim como a conservação do diâmetro das armaduras de canto ou o número e diâmetro nas faces.

ações dinâmicas. De forma opcional, pode-se aplicar uma redução do comprimento de amarração indicado em função da armadura necessária e da real, sem diminuir a reduzida. Estes comprimentos são editáveis e modificáveis.

Supõe-se que um pilar trabalha predominantemente à compressão, pelo que no caso de ter pilares em tração (tirantes), é necessário aumentar manualmente os comprimentos de amarração e estudar com pormenor as ligações e amarrações correspondentes, realizando os pormenores complementares pertinentes e forma manual.

Quanto à armadura vertical de um pilar, os seus último e penúltimo tramos armam-se segundo os seus esforços e daí para baixo, tramo a tramo, de forma que a armadura do tramo de baixo nunca seja inferior à disposta no tramo imediatamente superior, no caso de se adotar em **Opções** o critério de continuidade de barras correspondente.

As seções que se verificam para obter a armadura de um piso, são as indicadas na Fig. 1.26 cabeça e pé do tramo, e pé do tramo superior. Se se tiverem definido cargas horizontais em pilares, far-se-á em seções intermédias, pois poderá aumentar os diagramas de esforços.

Quando houver desníveis, aplica-se o mesmo sistema para cada tramo no qual fica subdividido o pilar do piso pelo desnível.

Num arquivo oculto, e para cada norma, definem-se os limites ou percentagens mínimas e máximas, tanto geométricas como mecânicas, que, de forma obrigatória, se cumprirão no dimensionamento da armadura. Se alguma armadura não cumprir e se se excederem os limites máximos, será indicado na listagem e no tela a mensagem de Quantidade excessiva (Qe).

Neste caso tem de se aumentar a seção de concreto. Se não se encontrar uma armadura nas tabelas que verifique para os esforços de cálculo, procurar-se-á uma armadura calculada pelo programa, até que nas faces não caiba a armadura numa camada, em cujo caso se emite a mensagem: ,ARMADURA MANUAL™.

Deve-se aumentar na tabela os tipos de armadura e voltar a calcular o pilar, para o que se pode rearmar apenas os pilares sem recalculer a obra completa. Também se pode aumentar a seção e automaticamente recalcula-se a seção. Recorde que, se as modificações de dimensão forem grandes, é **conveniente** voltar a calcular a obra completamente, por causa das variações de rigidezes.

Os diâmetros e separações de estribos realizam-se de acordo com a norma por padrão, com umas tipologias pré-definidas nas tabelas de armaduras modificáveis pelo usuário, e sempre com separações e diâmetros em função da armadura longitudinal, que são igualmente modificáveis.

Existem umas tabelas de armadura nas quais, em função da armadura vertical, se podem definir diferentes configurações de estribos e ramos em função das dimensões transversais, podendo seleccionar-se diferentes tabelas conforme a obra. Se uma seção não tiver estribos definidos na tabela, só se obtém estribo perimetral.

Não se realiza verificação de cálculo ao esforço cortante dos estribos, pelo que em condições de carga especiais, cargas horizontais, etc., será preciso uma verificação manual dos estribos dispostos e, se for o caso, uma modificação manual dos estribos, diâmetros e separações.

Os comprimentos de amarração calculam-se como o comprimento de amarração na posição I (de boa aderência) em função do tipo de aço, concreto e consideração de

1.14.3. Vigas metálicas

Dimensionam-se de acordo com a norma correspondente e com o tipo de aço. Propõe-se o perfil ótimo dentro da série. Dimensionam-se à flexão simples, uma vez que não se considera o esforço axial. De forma opcional, verifica-se o flambagem lateral. Aplica-se como critério de dimensionamento os limites de flecha. O coeficiente de aproveitamento expressa-se em % em relação aos limites de tensão e de flecha. Pode consultar como se realiza o dimensionamento das vigas mistas consultando o capítulo **Vigas mistas**.

1.14.4. Pilares, paredes e muros de concreto armado

Pilares de concreto armado

O dimensionamento de pilares realiza-se em flexão desviada. A partir da tabela de armaduras selecionada para a obra, verificam-se de forma sequencial crescente de quantidades, as armaduras definidas, que podem ser simétricas em duas faces, em quatro ou numa percentagem de diferença. Verifica-se também se todas as combinações possíveis cumprem tal armadura em função dos esforços. Estabelece-se a compatibilidade de esforços e deformações e verifica-se com tal armadura não se superam as tensões do concreto e do aço nem os seus limites de deformação, uma vez que a posição das armaduras é conhecida pela tabela.

Considera-se a excentricidade mínima ou acidental, assim como a excentricidade de 2ª ordem conforme a norma, limitando o valor da esbeltez, de acordo com o indicado na norma. Dado que as fórmulas aplicadas têm o seu campo de aplicação limitado pela esbeltez, se ultrapassar, a seção é insuficiente (embora o usuário possa introduzir uma armadura de forma manual), dando uma mensagem de Esbeltez excessiva (Ee).

linear, mas um elemento plano bidimensional ou laje, com o que convém rever a discretização e introduzi-la como laje maciça em vez de o fazer como viga, já que os critérios de dimensionamento são diferentes.

Por último, recorde que em vigas rasas nas quais, pela sua largura, se ultrapassa a espessura do apoio em mais de uma altura, deve-se fazer uma verificação manual ao punçionamento assim como uma verificação dos estribos no apoio, reforçando com armadura transversal, se for preciso. Se existirem cargas transmitidas aplicadas por baixo da fibra neutra da seção, ou cargas pontuais de vigas apoiadas noutras vigas, dever-se-á adicionar manualmente a armadura necessária para suspender tais cargas, já que o programa não o realiza.

Verificação da fissuração em vigas

Para a norma NB-1 e Eurocódigo 2, que têm a sua formulação específica. Se ativar a verificação e não se cumprir, aumentam-se os barras ou a quantidade para cumprir, emitindo uma mensagem de aviso (não é um erro) nos erros de vigas.

1.14.2. Vigas inclinadas

Dimensionam-se tais elementos à flexão composta a partir das envoltórias de momentos fletores e axiais, assim como os estribos ao esforço cortante (no plano vertical que contém na viga). É um cálculo em flexão composta, pelo que não se contemplam esforços no plano horizontal, que se existirem devem- se armar manualmente.

A armadura superior e inferior longitudinal indicada é a máxima ou envoltória de todas as seções calculadas ao longo dessa viga inclinada. Para este tipo de viga desenha-se a armadura e pode-se somente consultar no tela. O usuário deve realizar uma detalhamento à parte das suas armaduras, para os encontros dos nós extremos. A envoltória de tais esforços pode-se consultar, se desejar cortes de barras e um estudo dos nós de ligação.

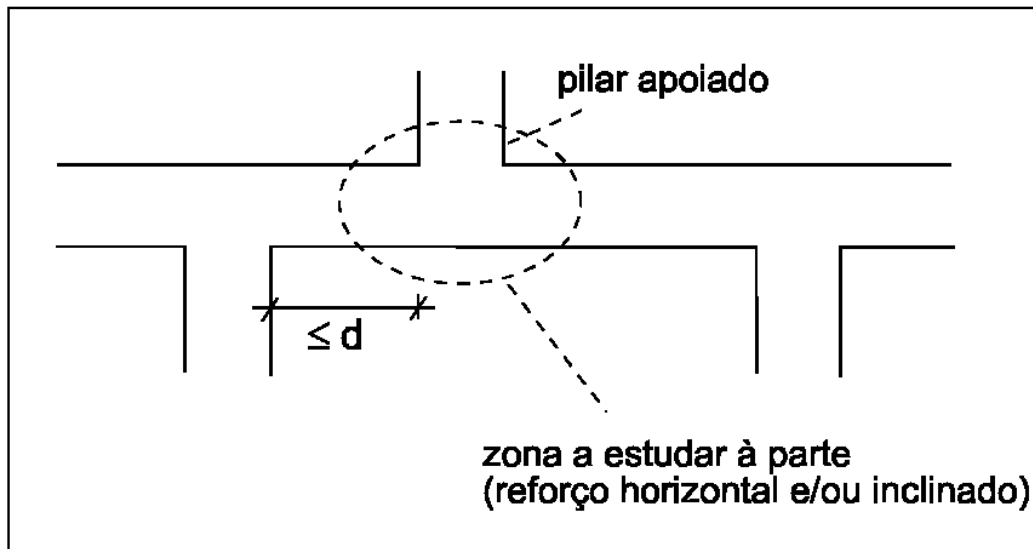


Fig. 1.25

Dada a importância que este tipo de apoio tem, e a fragilidade que apresenta, é **fundamental** o controle do mesmo, tanto no seu desenho como na sua execução. Devem-se rever os arranques dos pilares apoiados, verificando as suas condições de amarração na viga.

Recomenda-se reduzir dentro do possível o coeficiente de engastamento no pé do pilar no seu primeiro tramo de arranque, para evitar diâmetros grandes que conduzem a comprimentos de amarração do arranque grandes. Quando se têm tramos curtos ou vigas parede, pode-se dar a condição de que o vão seja menor que duas vezes a altura, em cujo caso se está perante uma viga parede, cujos critérios de dimensionamento não estão contemplados no programa. Neste caso deve-se realizar uma verificação e armadura manual do tramo ou tramos onde isto aconteça.

Também pode acontecer que em algum tramo de viga, a largura seja superior a duas vezes o seu vão. Neste caso, esta viga larga realmente não é uma viga ou elemento

Verifica-se que a separação de estribos cumpra o especificado na norma quando a armadura longitudinal estiver comprimida, o que afeta tanto o diâmetro, como a separação máxima, em função da armadura longitudinal comprimida.

Pilares apoiados. Cargas próximas aos apoios. Vigas parede e vigas largas. No caso particular de pilares apoiados (sem ligação exterior) em vigas, dimensionam-se os estribos verticais com o valor do esforço cortante no bordo de apoio nesse tramo. É importante recordar que, no caso particular de pilares apoiados ou cargas pontuais próximas dos apoios, isto é, a uma distância menor ou igual a uma altura útil, produz-se uma transmissão da carga por bielas inclinadas de compressão e tração que necessita de armadura horizontal, nas mesmas condições que numa consola curta, cujos critérios de dimensionamento não estão contemplados no programa. Neste caso deve-se realizar uma verificação e armadura manual do tramo ou tramos nos quais isto aconteça, de acordo com o que a norma indicar para esses casos, além de complementar os desenhos de vigas com os pormenores adicionais correspondentes. Também se pode resolver com barras inclinados.

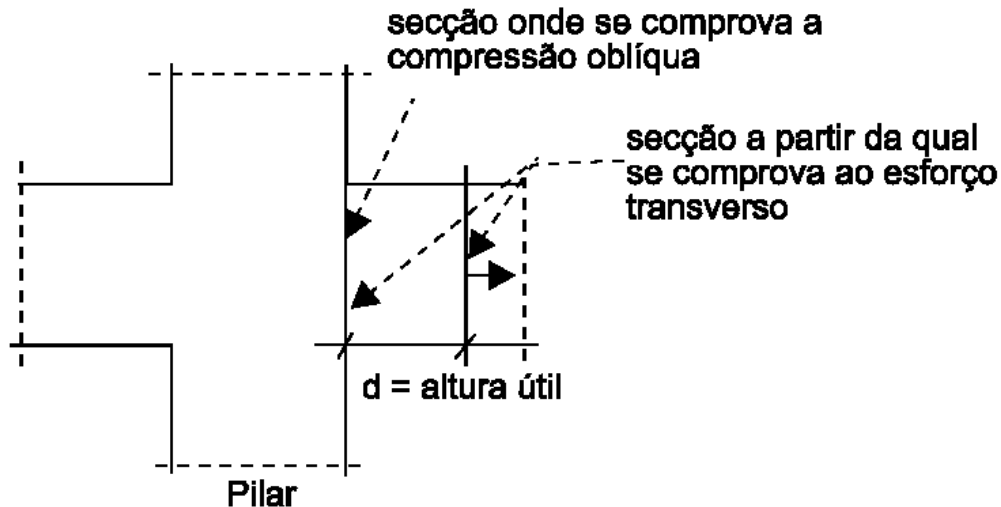


Fig. 1.24

Determinam-se em primeiro lugar os estribos mínimos conforme a norma, em função da seção da viga e da tabela de armaduras, verificando o comprimento que pode cobrir com a envoltória de esforços cortantes na zona central.

Nas zonas laterais, à esquerda e à direita, determinam-se os estribos necessários até aos apoios e colocam-se no seu comprimento necessário mais meia altura útil. Verifica-se se tais comprimentos são maiores que os mínimos indicados em **Opções**.

Por último, e se existir torção, calcula-se a armadura transversal necessária por torção, estabelecendo os mínimos conforme a norma (separação mínima, estribos fechados) e adiciona-se à obtida por cortante, dando como resultado final uns estribos cujos diâmetros, separações e comprimento de colocação cobrem a soma dos dois efeitos. Neste último caso realiza-se a verificação conjunta (compressão oblíqua) de tensões tangenciais de cortante mais torção.

vão e em múltiplos de 5 cm. Nos extremos, amarra-se a calculando o ramo vertical necessário, colocando um mínimo se assim se indicar nas opções. Em apoios intermédios amarra-se a armadura de positivos a cada lado a partir do eixo de apoio, além de um mínimo de dez diâmetros medidos desde a face do pilar ou apoio (Fig. 1.22).

Quando se supera o comprimento máximo dos barras, cortam-se e emendam-se os barras com o dobro do valor do comprimento de amarração. Com sismo, existe uma opção na qual se amarra e emenda a armadura fora da zona confinada junto aos apoios.

Armadura transversal (estribos)

Para o dimensionamento ao esforço cortante efetua-se a verificação à compressão oblíqua realizada no bordo do apoio direto, e o dimensionamento dos estribos a partir do bordo do apoio mencionado ou de forma opcional numa distância em percentagens da altura útil, do bordo de apoio (Fig. 1.24). Quanto aos estribos, ou reforços ao esforço cortante, é possível selecionar os diâmetros mínimos e separações em função das dimensões da viga, assim como simetria na disposição dos mesmos e utilização de diferentes diâmetros segundo a zona da viga. Podem-se definir estribos simples (que é sempre o perimetral da seção), duplos, triplos, assim como ramos verticais.

Também se podem dispor os estribos e ramos juntos, até dois e três na mesma seção.

Existem umas tabelas definíveis pelo usuário e nas quais se pode observar que é possível utilizar estribos e ramos, tal como se comentou.

Quanto às paredes e muros, dependendo da largura do lado onde chega a viga, calcula-se um comprimento ou vão de cálculo igual ao menor de:

- A distância entre eixos de paredes (ou ponto médio do eixo de viga cortado)
- O vão livre (entre faces) mais duas vezes a altura.

Com este critério, obtêm-se as envoltórias dentro da parede e obtêm-se o comprimento de corte das armaduras, que não superarão o vão de cálculo em mais de duas alturas.

Se for necessária a armadura de alma, devido à altura da viga, o que se define em **Opções**, dispor-se-á nas faces laterais com o diâmetro e separação mínima definida, de acordo com a norma e com o indicado nas opções.

Armadura longitudinal por torção

Conhecida a armadura longitudinal por flexão, calcula-se a armadura necessária por torção, de acordo com a norma, em cada seção. Se a armadura real colocada nos cantos for capaz de absorver esse incremento em relação à necessária por flexão, cumprirá. Em caso contrário, será preciso aumentar a armadura longitudinal e colocar uma armadura adicional nas faces laterais, como se tratasse de armadura de alma.

A verificação de compressão oblíqua por torção e cortante efetua-se a uma altura útil do bordo de apoio de acordo com a formulação de cada norma.

Corte das armaduras longitudinais

Uma vez conhecida a envoltória de capacidades necessárias em cada seção, superior e inferior, determina-se para cada ponto um diagrama deslocado uma altura útil mais o comprimento bruto reduzido (= comprimento de amarração · área necessária / área real) em função da sua posição (II=má aderência, I=boa aderência), determinando-se o comprimento máximo na sua zona para cada um dos grupos de armadura disposto na direção desfavorável ou decrescente dos esforços. De forma opcional estes comprimentos ajustam-se a uns mínimos definidos em função de uma percentagem do

Outras considerações na armadura longitudinal

Dentro da zona de apoio do elemento de suporte ou pilar, considera-se uma variação linear da altura da viga ($1/3$), o que conduz a uma redução da armadura necessária, que será a maior obtida entre as faces do bordo de apoio, não tendo que coincidir com o eixo do apoio, sendo o mais normal que esteja próxima ou no mesmo bordo de apoio.

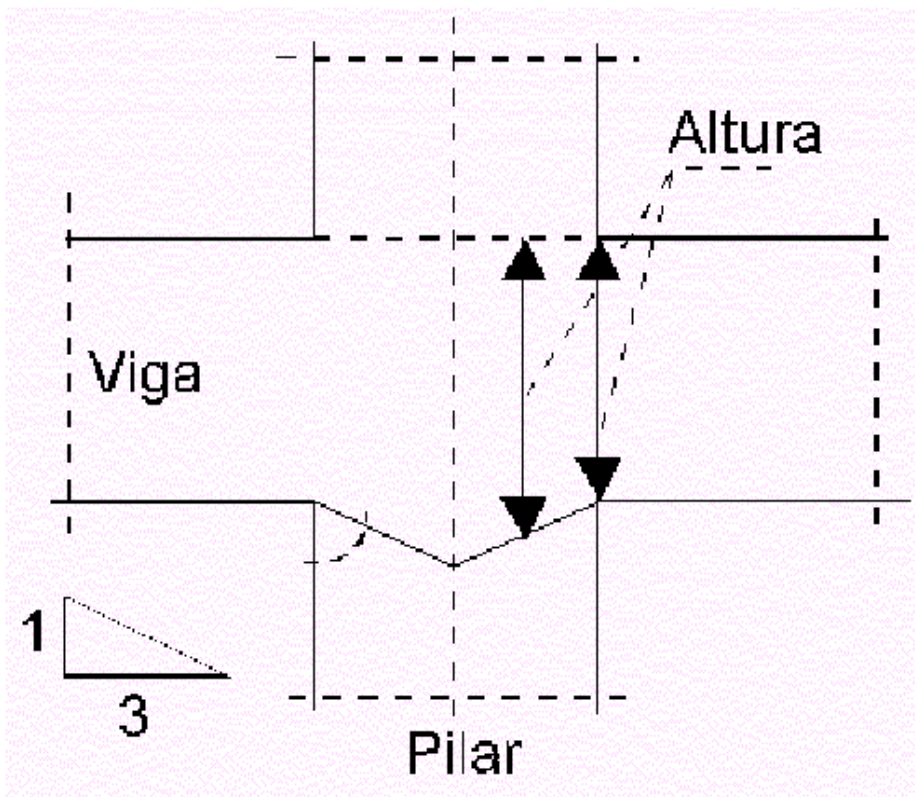


Fig. 1.23

podem definir através de um mínimo em % do vão, para cada grupo. As tabelas de armadura estão definidas para a largura e altura especificadas nas mesmas. As tabelas de armadura dividem-se em 3 parcelas. Cada uma delas pode ser de diferente diâmetro.

Montagem: Contínua ou Porta-Estribos. A armadura de montagem contínua utiliza-se quando se constrói em estaleiro a armadura das vigas de apoio em apoio, conjuntamente com a armadura positiva e os estribos, colocando-se em obra o reforço superior (ou inferior em vigas de fundação) nos apoios. De forma opcional, pode-se considerar ou não, colaborante para efeitos de armadura superior. Quando for necessário armadura de compressão superior, converte-se sempre em colaborante. A amarração desta armadura de montagem é opcional, em patilha ou prolongamento reto, a partir da sua terminação ou do eixo, mostra-se claramente no diálogo de opções.

- Em seções em T, coloca-se uma armadura adicional para segurar os extremos dos estribos da cabeça do T.

- A armadura de montagem porta-estribos utiliza-se para a montagem ,in situ™ da armadura, colocando-se entre os extremos dos reforços superiores, utilizando barras de pequeno diâmetro e uma amarração construtiva com os reforços. É necessário para ter uma armadura que pelo menos segure os estribos. Pode também ser utilizável em zonas sísmicas nas quais se deseja afastar as amarrações dos nós. É conveniente consultar e escolher a que habitualmente se utiliza.

Quando não encontrar nas tabelas de armadura nenhuma que cumpra, colocar-se-á o número necessário de barras de diâmetro 25. O programa emitirá a mensagem: ,FORA DE TABELA, quer seja montagem ou reforço.

Quando os comprimentos de negativos em ambos os lados de um tramo se unem (consulte as **Opções**), automaticamente passa a ter armadura de montagem colaborante.

A 2ª e 3ª parcela podem ser de menor comprimento, sempre simétrico, cumprindo uns comprimentos mínimos em percentagens (no desenho) do vão especificado em **Opções**.

c: Dimensão de apoio

r: Recobrimento = 3 cm em geral

lb, net : Comprimento de amarração

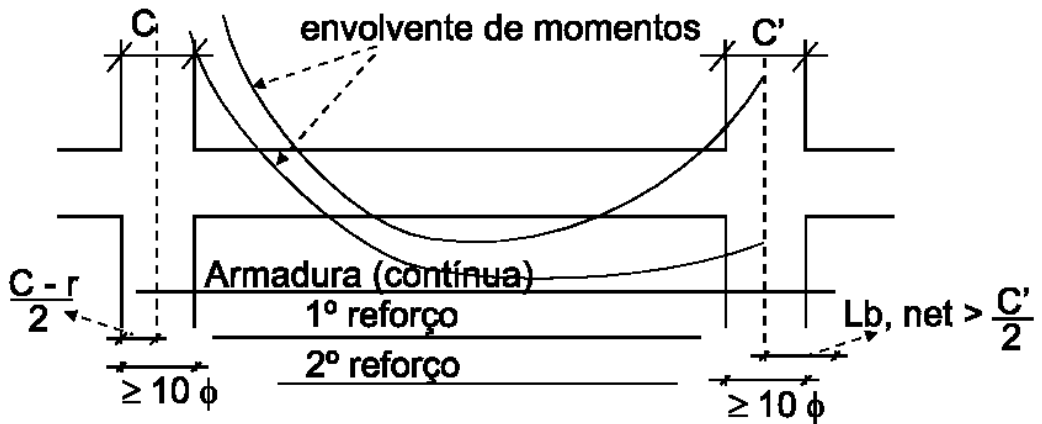


Fig. 1.22

NOTA: A 1ª parcela passa sempre 10 diâmetros medidos a partir da face do apoio.

Quando não se encontrar nas tabelas de armadura uma combinação de armaduras que cubra o necessário para as dimensões da viga, colocar-se-ão diâmetros $\varnothing 25$. O programa emitirá a mensagem ,ARMADURA INFERIOR FORA DE TABELA.

Armadura superior

Distinguem-se duas classes de armadura superior: **Reforço superior (em vigas normais, inferior em vigas de fundação)**. Conhecida a área necessária por cálculo em todos os pontos calculados, procura-se na tabela de armadura de negativos a sequência de armadura imediatamente superior à necessária. Podem-se dispor armaduras até três grupos de comprimentos de corte distintos, que em opções de **Armadura de vigas** se

1.14.1. Vigas de planos horizontais e inclinados

Armadura longitudinal por flexão

A armadura determina-se efetuando um cálculo à flexão simples em, pelo menos, 14 pontos de cada tramo de viga, delimitado pelos elementos que contata, quer sejam vigotas, lajes maciças ou nervuradas. Em cada ponto, e a partir das envoltórias de momentos fletores, determina-se a armadura necessária tanto superior como inferior (de tração e compressão conforme o sinal dos momentos) e verifica-se com os valores mínimos geométricos e mecânicos da norma, tomando o valor maior. Determina-se para as envoltórias, sísmicas e não sísmicas e coloca-se a maior quantidade obtida de ambas.

Armadura inferior

Conhecida a área necessária por cálculo em todos os pontos calculados, procura-se na tabela de armadura de positivos a sequência de armadura imediatamente superior à necessária. Podem-se dispor armaduras até três comprimentos de corte. As tabelas de armadura estão definidas para a largura e a altura especificada nas mesmas.

As tabelas de armadura dividem-se em 3 parcelas. Cada uma delas pode ser de diferente diâmetro. A 1ª parcela é a armadura contínua entre apoios, amarrada de forma construtiva. Isto é, o eixo de apoio passa até à face oposta menos 3 centímetros, exceto se, por necessidades de cálculo (por os positivos estarem próximos ou chegarem ao apoio, ou por necessitar de armadura de compressão em apoios), for preciso amarrar o comprimento de amarração a partir do eixo. As tabelas de armadura por padrão proporcionam uma armadura contínua (1ª parcela) cuja quantidade é sempre superior a um terço ou a um quarto da armadura total nas tabelas de armadura por padrão do programa. Se modificarem as tabelas, deve tentar conservar essa proporção, ficando ao critério do usuário essas modificações.