Recomendação ABECE 005:2022

PROJETO DE FIXAÇÕES COM CHUMBADORES QUÍMICOS EM ELEMENTOS DE CONCRETO (Revisão2)

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ENGENHARIA E CONSULTORIA ESTRUTURAL
ABECE

Patrocinadores

Patrocinadores

ÍNDICE

1. PREFÁCIO 5
2. ESCOPO E PREMISSAS 6
   2.1. GRUPOS DE CHUMBADORES E TIPOS DE ARRANJO 6
   2.2. ELEMENTO DE CONCRETO A RECEBER A FIXAÇÃO 7
3. DEFINIÇÕES 7
4. TIPOS DE FALHA 9
   4.1. MECANISMOS DE FALHA A TRAÇÃO 9
   4.2. MECANISMOS DE FALHA POR CORTE 10
5. SÍMBOLOS 11
   5.1. ÍNDICES 11
   5.2. AÇÕES E RESISTÊNCIAS 11
   5.3. CONCRETO 11
   5.4. DIMENSÕES E ESPAÇAMENTOS 11
6. FATORES DE SEGURANÇA 12
   6.1. ESTADO LIMITE ÚLTIMO 13
      6.1.1. FALHAS RELACIONADAS AO CONCRETO 13
      6.1.2. FALHAS RELACIONADAS AO AÇO 13
   6.2. ESTADO LIMITE DE SERVIÇO 13
7. ESFORÇOS QUE ATUAM NOS CHUMBADORES 13
   7.1. ESFORÇOS DE TRAÇÃO 13
   7.2. FORÇAS CORTANTES 14
      7.2.1. FORÇA CORTANTE SEM BRAÇO DE ALAVANCA 18
      7.2.2. FORÇA CORTANTE COM BRAÇO DE ALAVANCA 18
8. ESTADO LIMITE ÚLTIMO 19
   8.1. RESISTÊNCIA DA FIXAÇÃO A ESFORÇOS DE TRAÇÃO 19
      8.1.1. FALHA DO AÇO 20
      8.1.2. FALHA NA ADESÃO (PULL-OUT FAILURE) 20
      8.1.3. FALHA DO CONE DE CONCRETO 21
      8.1.4. FALHA POR FENDILHAMENTO NO MOMENTO DA INSTALAÇÃO DO CHUMBADOR 25
      8.1.5. FALHA POR FENDILHAMENTO DEVIDO AO CARREGAMENTO 25
   8.2. RESISTÊNCIA DA FIXAÇÃO À FORÇA CORTANTE 24
      8.2.1. FALHA DO AÇO 25
      8.2.2. FALHA NO CONCRETO POR ALAVANCA (CONCRETE PRY-OUT FAILURE) 26
      8.2.3. FALHA NA BORDA DE CONCRETO 27
   8.3. RESISTÊNCIA A ESFORÇOS COMBINADOS DE TRAÇÃO E FORÇA CORTANTE 32
9. ESTADO LIMITE DE SERVIÇO 33
   9.1. DESLOCAMENTOS 33
10. FORÇAS ATRIBUÍDAS À ARMADURA COMPLEMENTAR 33
   10.1. FORÇAS DE TRAÇÃO 33
   10.2. FORÇAS CORTANTES 33
   10.3. DIMENSIONAMENTO DA ARMADURA COMPLEMENTAR PARA ESFORÇOS DE TRAÇÃO 34
   10.4. DIMENSIONAMENTO DA ARMADURA COMPLEMENTAR PARA FORÇAS CORTANTES 34
   10.5. DETALHAMENTO DA ARMADURA COMPLEMENTAR 35

1. Prefácio

Esta publicação foi elaborada pela Associação Brasileira de Engenharia e Consultoria Estrutural – ABECE, por meio da colaboração de profissionais e empresas do ramo com o objetivo de obter um texto-base para uma futura norma brasileira de projeto de fixações com chumbadores químicos.

A recomendação se baseia principalmente nas disposições do Tecnical Report TR 029 editado pela EOTA – European Organization for Technical Assessment – Design of Bonded Anchors, complementada por itens do boletim 58 do FIB – International Federation for Structural Concrete e pelo projeto de norma FprEN 1992-4:2015 do comitê técnico CEN/TC 250 – Structural Eurocodes.

ABECE - Associação Brasileira de Engenharia e Consultoria Estrutural

2. Escopo e Premissas

Esta publicaçao fornece recomendações para o projeto de fixações para fins exclusivamente estruturais. Entende-se por fixações para fins estruturais as situações onde sua falha resulte em colapso total ou parcial da estrutura, risco a vida ou levem a perdas materiais expressivas.

Os parâmetros de cálculo necessários ao projeto podem ser obtidos por meio da execução de ensaios específicos ou diretamente das aprovações técnicas - ETA (European Techinical Assessment) de cada produto. Estas aprovações são emitidas por laboratórios membros do EOTA (European Organization for Technical Assessment) e se baseiam nas publicações deste órgão, as ETAG´s (European Techinical Aproval Guidelines).

A profundidade máxima de embutimento deve ser de 20d. Para a profundidade mínima deve-se respeitar embutimento de 4d com, ao menos, 40 mm. Outras restrições podem estar contidas no material técnico de cada fabricante.

O método de cálculo se aplica exclusivamente a ações estáticas, não sendo válido para fixações sujeitas a ações dinâmicas (cíclicas, impacto ou sísmicas).

Esta recomendação é aplicável a chumbadores constituídos por barras roscadas ou vergalhões de aço para concreto armado.

Pressupõe-se que todos os cuidados executivos paro o bom desempenho do chumbador, tais como distancias mínimas, diâmetro e profundidade dos furos, mistura dos componentes, temperatura de aplicação, limpeza dos furos, equipamento de perfuração, prazos de aplicação, torque de aperto e tempo de cura tenham sido rigorosamente indicados pelos fabricantes e seguidos pelos instaladores. Recomenda-se ainda que as premissas de cálculo sejam registradas explicitamente no projeto da fixação.

No caso de furos verticais de cima para baixo com uso de adesivo fluido, é permitida a aplicação por vertimento. Em furos horizontais ou verticais de baixo para cima, é obrigatório o uso de adesivo tixotrópico e sistema de injeção que garanta o completo preenchimento do furo.

2.1. Grupos de chumbadores e tipos de arranjo

O método de cálculo apresentado é valido para um chumbador individual ou para um grupo de chumbadores. No caso de grupo de chumbadores, os esforços são distribuídos por meio de uma chapa de base considerada rígida. Em um grupo de chumbadores são utilizados apenas chumbadores do mesmo tipo, diâmetro e embutimento.

As disposições dos chumbadores de uma fixação cobertas por esta recomendação estão apresentadas na figura 2.0.1 e 2.0.2. Outros arranjos dos chumbadores tais como triangular ou circular também são permitidos, contudo, as disposições do presente método devem ser aplicadas com o bom julgamento do Engenheiro Projetista.

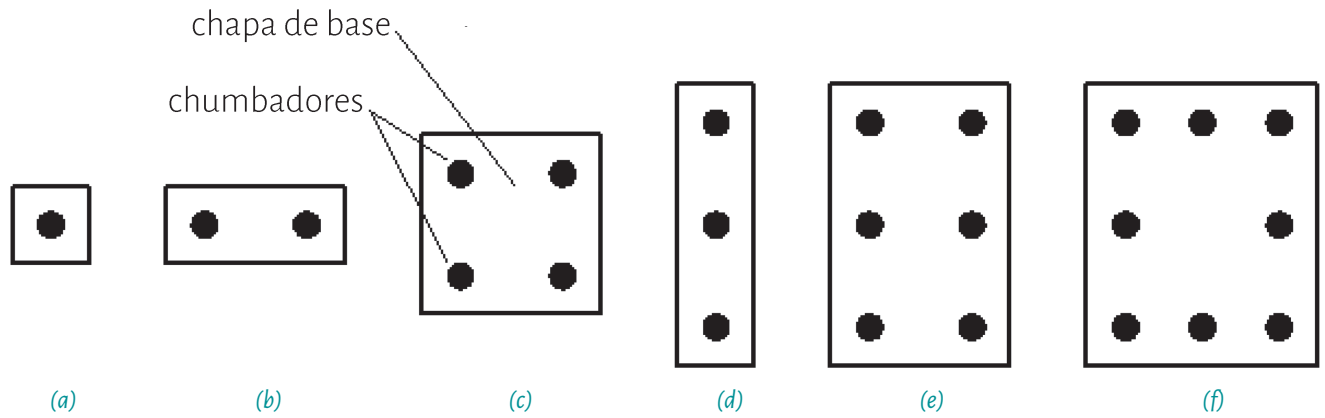


***Figura 2.0.1** - Configuração de fixações abrangidas pelo método de cálculo desta recomendação para:*

- *Todas as direções de esforços, se os chumbadores estiverem distantes das bordas ($c > 10h_{ef}$ e $c > 60\,d$).*
- *Sujeitas a apenas a esforços de tração, se os chumbadores estiverem próximos as bordas ($c < 10h_{ef}$ e $c < 60\,d$).*

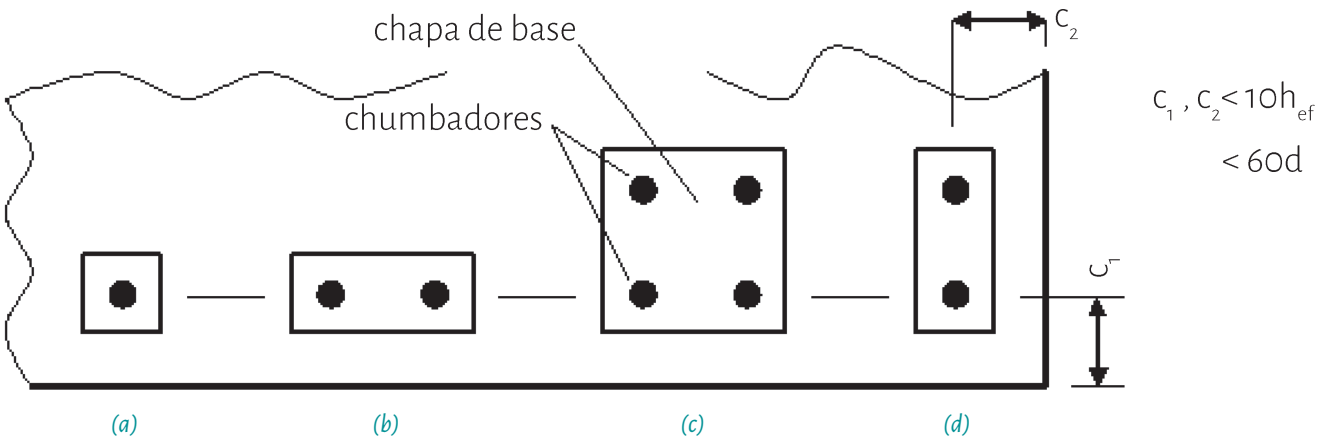


***Figura 2.0.2** - Configuração de fixações abrangidas pelo método de cálculo para cargas de corte (combinadas ou não com esforços de tração), se os chumbadores estiverem situados próximo a borda ($c < 10h_{ef}$ e $c < 60\,d$).*

Os diâmetros dos furos nas chapas de base (*df*) devem obedecer a tabela 7.1, com as seguintes exceções:

- Em fixações sujeitas a esforço de tração onde sejam utilizadas arruelas de espessuras adequadas.
- Em fixações sujeitas a esforços de corte, combinados ou não com esforços de tração, onde o espaço entre o furo e o chumbador seja preenchido o adesivo utilizado na ancoragem.

2.2. Elemento de concreto a receber a fixação – Material Base

O elemento de concreto a receber a fixação deve ter classe de resistência mínima de C20 e máxima de C50. Devendo ser realizado dimensionamento considerando classe C50 para concretos de classe superior a esta. A região em que será realizada a fixação deve ser classificada como concreto fissurado ou não fissurado conforme a condição abaixo:

Se a condição da equação (2.1) não for cumprida ou não for verificada, assume-se a condição de concreto fissurado.

$$\sigma_L + \sigma_R \leq 0 \qquad (2.1)$$

Onde:

σ_L = Tensão de serviço do concreto produzida pelas cargas externas, incluindo as cargas da fixação.

σ_R = Tensão no concreto devido à restrição de deformações tais como retração e variação de temperatura. Se nenhuma análise detalhada for realizada, pode-se adotar $\sigma_R = 3$ N/mm².

A tensão σ_L deve ser calculada em Estádio I, para a combinação rara das ações em todas as direções possíveis dos esforços atuantes no elemento.

3. Definições

Ancoragem:
Processo de transferência de esforços de uma peça a fixar a um substrato.

Ancoragem química:
Ancoragem na qual a transferência de esforços do chumbador ao concreto é realizada por meio de um adesivo.

Ancoragem mecânica:
Ancoragem na qual a transferência de esforços é realizada por meio de um dispositivo mecânico sem o uso de adesivo.

Armadura complementar:
Armadura de reforço para prevenir uma potencial ruptura do elemento de concreto por meio da transferência dos esforços para regiões mais profundas do elemento base de concreto.

Aprovação técnica:
Documentos (ETAG´s) emitidos por laboratórios membros do EOTA que apresentam os parâmetros necessários ao projeto das fixações (ver item 2).

Chapa de base:
Dispositivo metálico que transmite as cargas do elemento a fixar para os chumbadores.

Chumbador:
Elemento fabricado em aço para instalação em peças de concreto endurecido, o qual com a função de transmitir esforços da peça fixada ao elemento de concreto.

Chumbador mecânico:
Chumbador que tem sua resistência derivada de um encunhamento mecânico produzido por torque, impacto ou por seu formato, sem o uso de adesivo. Os chumbadores mecânicos podem ser do tipo pré ou pós-instalados.

Chumbador químico:
Chumbador que tem sua resistência derivada da adesão de um adesivo aplicado entre a parede do furo no concreto e a parte embutida do chumbador.

Chumbador pré-instalado
Chumbador instalado antes da concretagem do elemento estrutural.

Chumbador pós-instalado
Chumbadore instalado após o endurecimento do concreto do elemento estrutural.

Chumbador individual
Fixação composta por um único chumbador.

Chumbador isolado
Condição na qual o chumbador não é influenciado pelas distâncias de borda ou por outros chumbadores.

Distância de borda
Distância de uma borda do elemento de concreto até o eixo de um chumbador.

Distância mínima da borda
Distância mínima permitida da borda do concreto em relação ao eixo do chumbador para evitar danos ao concreto por fendilhamento durante a instalação.

Esforço no chumbador: Tração
Esforço aplicado perpendicularmente à superfície do material base e paralelo ao eixo longitudinal do chumbador.

Esforço no chumbador: Momento fletor
Esforço de flexão causado por uma carga aplicada transversalmente ao eixo do chumbador com braço de alavanca.

Esforço no chumbador: Força cortante
Esforço cortante causado por uma carga aplicada perpendicularmente ao eixo longitudinal do chumbador.

Esforço no chumbador: Esforços combinados
Esforço de tração e corte atuando simultaneamente.

Espaçamento característico
Espaçamento necessário para garantir a resistência característica de um chumbador isolado. Nesta condição, o chumbador não é influenciado pelas distâncias de borda ou por outros chumbadores.

Espaçamento mínimo
Espaçamento mínimo permitido entre eixos de chumbadores para evitar danos ao concreto por fendilhamento durante a instalação.

Espessura mínima do concreto
Espessura mínima de uma peça de concreto, na qual o chumbador pode ser instalado. Parâmetro fornecido nas aprovações técnicas (ver item 2)

Fator parcial de segurança da instalação
Fator parcial que considera a sensibilidade de um tipo de chumbador às condições de instalação (γ_2). É obtido com base em ensaios específicos e são apresentados explicitamente nas aprovações técnicas dos produtos (ver item 2).

Fixação
Chumbador ou grupo de chumbadores, utilizados para transmitir esforços da peça a fixar ao elemento de concreto.

Grupo de chumbadores
Agrupamento de chumbadores com as mesmas características, trabalhando conjuntamente.

Material Base
Substrato no qual o chumbador é instalado (concreto).

Peça a fixar
Elemento estrutural a ser fixado ao concreto por meio da fixação.

Profundidade de embutimento efetiva
Distância entre a face do elemento de concreto e o ponto do chumbador onde se inicia a transferência da tensão de adesão ao concreto.

Resistência característica
Valor de resistência acima da qual se espera ter 95% dos resultados de uma amostragem.

4. Tipos de Falha

Em fixações submetidas a esforços de tração os seguintes mecanismos de falha devem ser verificados:

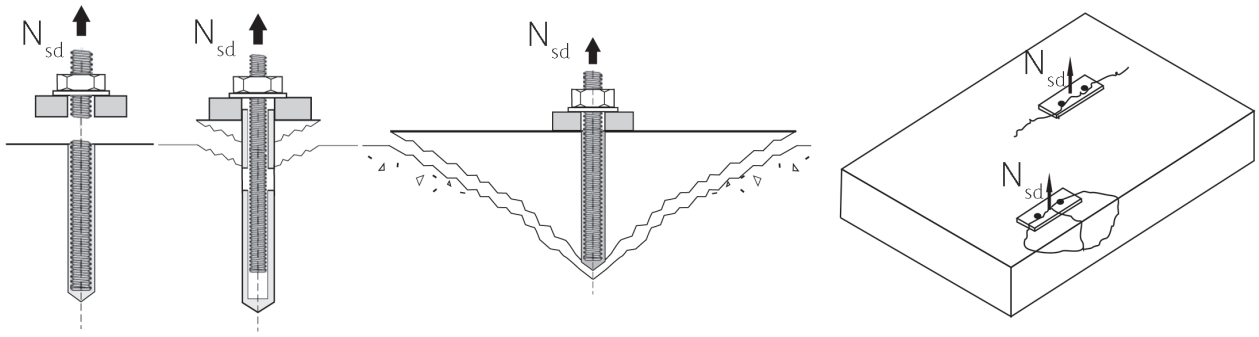
4.1. Mecanismos de falha a tração

a) **Falha no aço**
(steel failure)
Modo de falha caracterizada pelo rompimento da seção metálica do chumbador a tração.

b) **Falha na adesão**
(pull-out failure)
Falha que ocorre na interface entre o adesivo e o material base. Este modo de falha geralmente é acompanhado de um pequeno cone de concreto superficial.

c) **Falha do cone de concreto**
(concrete cone failure)
Falha caracterizada pela formação de uma cunha ou cone de concreto no entorno de um chumbador ou grupo de chumbadores.

d) **Falha por fendilhamento**
(splitting failure)
Modo de falha do concreto no qual ocorre uma fratura ao longo de um plano, passando através do eixo de um ou mais chumbadores.



(a) (b) (c) (d)

4.2. Mecanismos de falha por corte

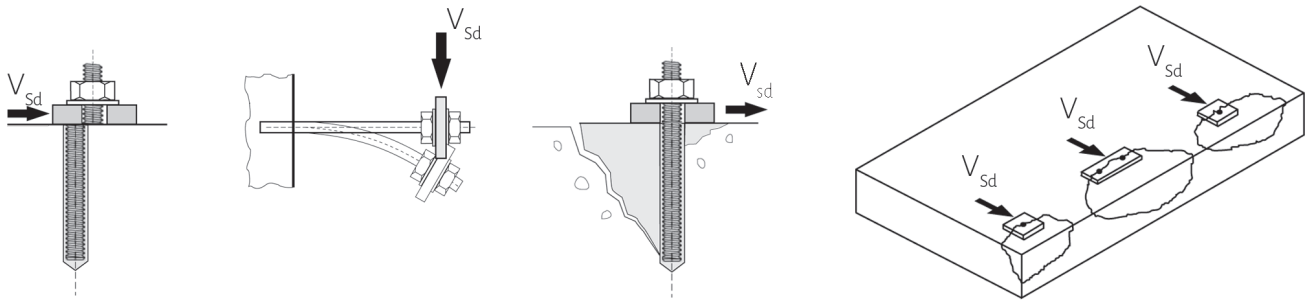
Em fixações submetidas a forças cortantes, os seguintes mecanismos de falha devem ser verificados. O cálculo dos esforços nos chumbadores para as falhas relacionadas ao aço (itens 4.2.a e 4.2.b abaixo), são apresentadas no item 7, porém a verificação dos chumbadores deve ser realizada com base nas recomendações da ABNT, NBR 8800.

a) Falha no aço por força cortante sem braço de alavanca
(steel failure, shear load without lever arm)
Modo de falha caracterizada pelo rompimento da seção metálica do chumbador exclusivamente por corte.

b) Falha no aço por força cortante com braço de alavanca
(steel failure, shear load with lever arm)
Modo de falha caracterizada pelo rompimento da seção metálica do chumbador por efeito combinado de corte e momento fletor.

c) Falha no concreto por alavanca
(concrete pry-out failure)
Falha caracterizada pela formação de uma cunha de concreto na porção oposta ao sentido da força cortante.

d) Falha na borda de concreto
(concrete edge failure)
Falha caracterizada pela ruptura da borda do elemento de concreto.



(a) *(b)* *(c)* *(d)*

5. Símbolos

As notações e símbolos frequentemente utilizados nos métodos de cálculo, são dados abaixo. Outras notações são dadas no texto.

5.1. Índices

- S Solicitações
- R Resistências
- M material
- k valor característico
- d valor de cálculo
- s aço
- c concreto
- cp alavanca no concreto
- p adesão
- sp fendilhamento
- u relativo estado limite último
- y escoamento do aço

5.2. Ações e resistências

F	forças em geral (força resultante)
N	força normal (positiva: força de tração; negativa: força de compressão)
V	força de cortante
M	momento fletor
τ	Tensão de adesão
$F_{Sk}\ (N_{Sk}; V_{Sk}; M_{Sk}; M_{T,Sk})$	Valor característico dos esforços solicitantes que atuam sobre um chumbador individual ou grupo de chumbadores (força normal, força cortante, momento fletor, momento torsor).
$F_{Sd}\ (N_{Sd}; V_{Sd}; M_{Sd}; M_{T,Sd})$	Valor de cálculo dos esforços solicitantes
$N_{Sd}^{h}\left(V_{Sd}^{h}\right)$	Valor de cálculo do esforço normal e força cortante atuando sobre o chumbador mais solicitado de um grupo de chumbadores.
$N_{Sd}^{g}\left(V_{Sd}^{g}\right)$	Valor de cálculo do esforço normal e força cortante atuando sobre um chumbador específico de um grupo de chumbadores.
$F_{Rk}\ (N_{Rk}; V_{Rk})$	Esforços resistentes característicos de um chumbador individual ou grupo de chumbadores (esforço normal e força cortante).
$F_{Rd}\ (N_{Rd}; V_{Rd})$	Esforços resistentes de cálculo.

5.3. Concreto

$f_{ck,cube}$	Resistência característica cúbica do concreto.

5.4. Dimensões e espaçamentos

- a espaçamento entre chumbadores extremos de grupos adjacentes ou entre chumbadores simples
- a_1 espaçamento entre chumbadores extremos de grupos adjacentes ou entre chumbadores simples na direção 1
- a_2 espaçamento entre chumbadores extremos de grupos adjacentes ou entre chumbadores simples na direção 2
- b largura do elemento de concreto
- c distância de borda
- c_1 distância de borda na direção 1; em caso de chumbadores sob ação de força cortante próximos a uma borda, c1 é a distância na direção da ação.
- c_2 distância de borda na direção 2; a direção 2 é perpendicular a direção 1.
- $c_{cr,Np}$ distância de borda para assegurar a transmissão do valor característico da resistência a tração de um chumbador isolado em caso de falha por escorregamento (pullout failure)sem efeitos de espaçamento ou de borda.

$c_{cr,N}$ distância de borda para assegurar a transmissão do valor característico da resistência a tração de um chumbador isolado e caso de falha por cone de concreto sem efeitos de espaçamento ou de borda.

$c_{cr,sp}$ distância de borda para assegurar a transmissão do valor característico da resistência a tração de um chumbador isolado em caso de falha por fendilhamento (splitting failure) sem efeitos de espaçamento ou de borda

c_{min} distância mínima de borda

d diâmetro do chumbador

d_o diâmetro do furo no concreto

d_f diâmetro do furo na chapa de base

h espessura do elemento de concreto

h_{ef} embutimento efetivo do chumbador

h_{min} espessura mínima do elemento de concreto

s espaçamento de chumbadores em um grupo

s_1 espaçamento de chumbadores em um grupo na direção 1.

s_2 espaçamento de chumbadores em um grupo na direção 2.

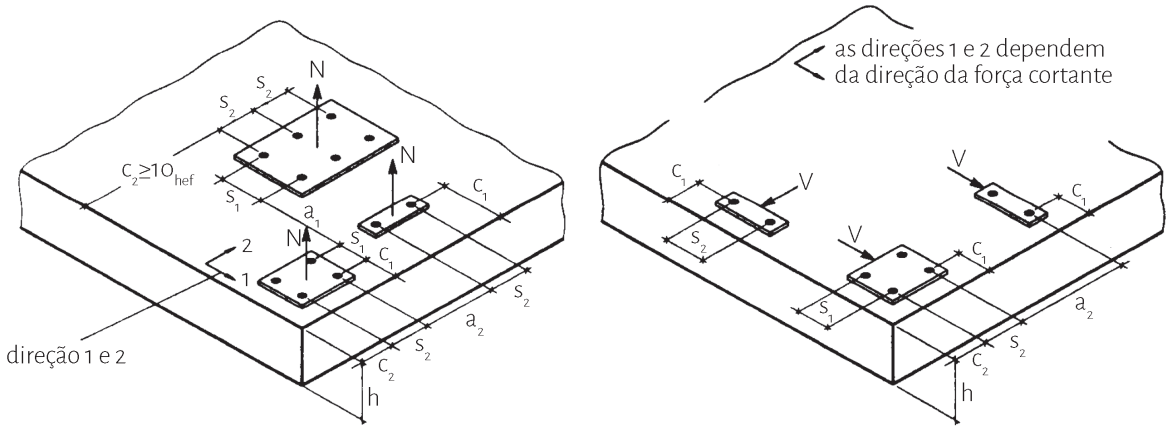
$s_{cr,Np}$ espaçamento para assegurar a transmissão da resistência característica de um chumbador isolado em caso de falha na adesão (*pulloutfailure*) sem efeitos de espaçamento ou de borda

$s_{cr,N}$ espaçamento para assegurar a transmissão da resistência característica de um chumbador isolado em caso de falha por cone de concreto sem efeitos de espaçamento ou de borda

$s_{cr,sp}$ espaçamento para assegurar a transmissão da resistência característica de um chumbador isolado em caso de falha por fendilhamento (*splitting failure*) sem efeitos de espaçamento ou de borda

s_{min} espaçamento mínimo permitido

Ø diâmetro da armadura de reforço



(a) chumbadores submetidos a esforços de tração

(b) chumbadores submetidos a força cortante em caso de fixaçãoes próximas à borda

***Figura 5.0.1** - Elemento de concreto, espaçamento dos chumbadores e distâncias de borda.*

6. Fatores de Segurança

O projeto da fixação deve atender à expressão abaixo para as combinações críticas das ações:

$$S_d \leq Rd \qquad (6.1)$$

Onde:
S_d = Esforços de cálculo.
R_d = Resistências de cálculo.

Os esforços de cálculo devem ser obtidos com base nos coeficientes de ponderação das normas brasileiras aplicáveis ao tipo de estrutura a ser fixada (estrutura metálica ou de concreto armado).

A resistência de cálculo é determinada conforme abaixo:

$$R_d = \frac{R_k}{\gamma_M} \qquad (6.2)$$

Onde:
R_k = Resistência caraterística de um único chumbador ou um grupo de chumbadores.
γ_M = Coeficiente parcial de segurança do material

6.1. Estado Limite Último

6.1.1. Falhas relacionadas ao concreto

Falha do cone de concreto *(concrete cone failure)*
Falha no concreto por alavanca *(concrete pry-out failure)*
Falha na borda de concreto *(concrete edge failure)*
] γ_{Mc}

Falha por fendilhamento *(splitting failure)*: γ_{Msp}

Falha na adesão *(pull-out)*: γ_{Mp}

com: γ_{Mc}, γ_{Msp} e $\gamma_{Mp} = \gamma_c \cdot \gamma_2$ (6.3)

γ_c = Fator parcial de segurança para o concreto = 1,5
γ_2 = Fator parcial de segurança de instalação (ver item 3).

Para esforços de tração, o fator parcial de segurança γ_2 é obtido a partir dos resultados de testes de segurança relativos ao método de instalação e estão indicados nas aprovações técnicas dos produtos (ver item 2). Embora este fator varie entre 1,0 e 1,4 a favor da segurança pode-se adotar γ_2 = 1,4.

Para esforços de corte o fator sempre será γ_2=1,0.

6.1.2. Falhas relacionadas ao aço

As verificações relativas ao aço devem seguir as recomendações da NBR 8800.

6.2. Estado Limite de Serviço

No Estado Limite de Serviço deve-se demonstrar que os deslocamentos ocorridos sob as ações características não são maiores que os deslocamentos admissíveis. Para deslocamentos característicos, ver capítulo 9. O deslocamento admissível depende da aplicação em questão sendo especificada pelo usuário, pelo fabricante das peças a serem fixadas (no caso de equipamentos) ou pelo próprio projetista.

Neste caso os fatores parciais de segurança para as ações e para as resistências podem ser assumidos igual a 1,0.

7. Esforços que atuam nos chumbadores

Os esforços de cálculo sobre as fixações devem ser determinados com base nas combinações críticas utilizando os coeficientes de ponderação das normas brasileiras aplicáveis.

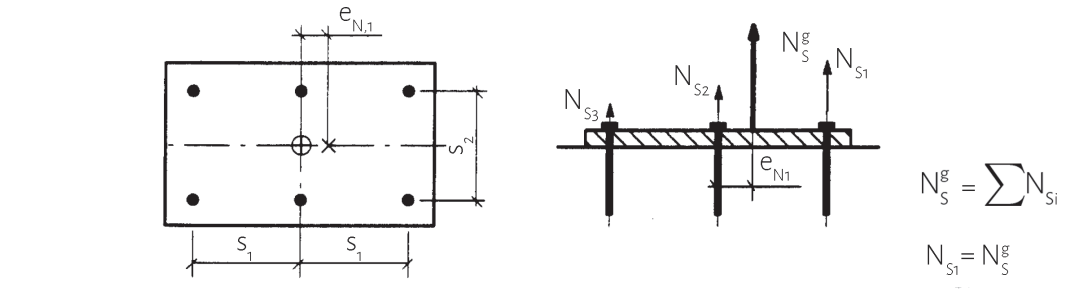
Em fixações com grupos de chumbadores, os esforços em cada chumbador devem ser determinados segundo a teoria da elasticidade.

7.1 Esforços de tração

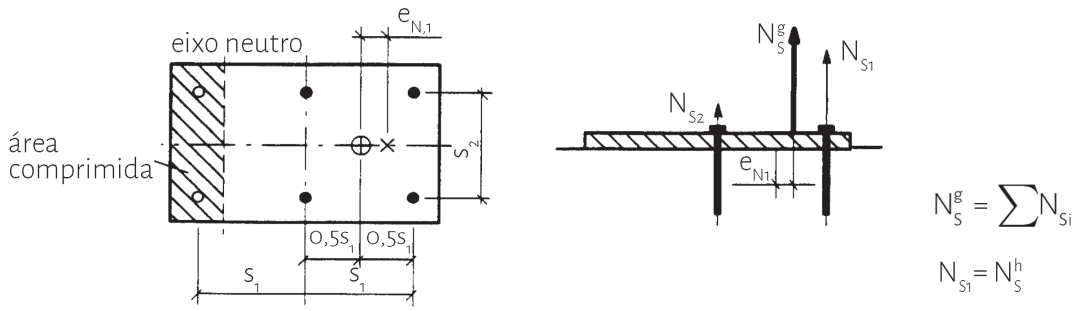
Os esforços de tração em cada chumbador de um grupo oriundos de momentos fletores e esforços axiais devem ser determinados segundo as seguintes premissas:

a) A chapa de base possui comportamento rígido;
b) A rigidez de todos os chumbadores é igual;
c) Na zona de compressão sob a fixação, as tensões são absorvidas pelo concreto. Os chumbadores não contribuem para a transmissão dos esforços normais de compressão (ver Figura 7.1b).

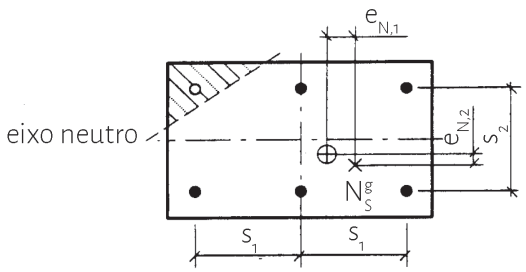
Em casos especiais em que a chapa de base não seja rígida o suficiente, a flexibilidade da chapa deve ser considerada para calcular as cargas nos chumbadores. Nos casos em que grupos de chumbadores possuam diferentes forças de tração (N_{Si}), deverá ser determinada a excentricidade e_N da força de resultante de tração N_S^g sobre o conjunto (ver figura 7.1).



(a) excentricidade em uma direção, todos os chumbadores estão tracionados.



(b) excentricidade em uma direção, apenas uma parte dos chumbadores está tracionada.



(c) excentricidade em duas direções, apenas uma parte dos chumbadores está tracionada.

● chumbadores tracionados

⊕ centro de gravidade dos chumbadores tracionados

× resultante de tração

***Figura 7.1** - Exemplo de fixações submetidas a uma força de tração excêntrica.*

7.2. Forças Cortantes

A distribuição das forças cortantes nos chumbadores de um grupo depende do modo de falha:

a) Falha no aço e falha no concreto por alavanca.
É assumido que todos os chumbadores do grupo trabalham ao corte se o diâmetro d_f dos furos da chapa de base forem iguais ou inferiores aos indicados na tabela7.1 (ver figuras 7.2 e 7.6).

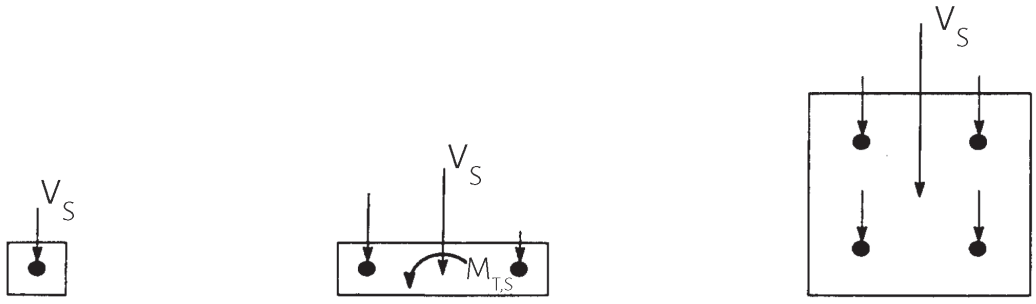
b) Falha na borda de concreto.
Somente os chumbadores mais desfavoráveis absorvem força cortante quando o esforço atua perpendicularmente à borda (ver figuras 7.3 e 7.7). Todos os chumbadores absorvem força cortante quando o esforço atua paralelamente a borda.

Furos oblongos na direção do esforço impedem que os chumbadores sejam submetidos a forças cortantes. Isso pode ser favorável no caso de chumbadores próximos a borda (ver figura 7.4).

Se o diâmetro d_f do furo da chapa de base for maior do que o indicado na tabela 7.1, o método de cálculo é valido apenas se o espaço entre o furo e o chumbador for preenchido com um material de resistência compatível com o adesivo utilizado na ancoragem.

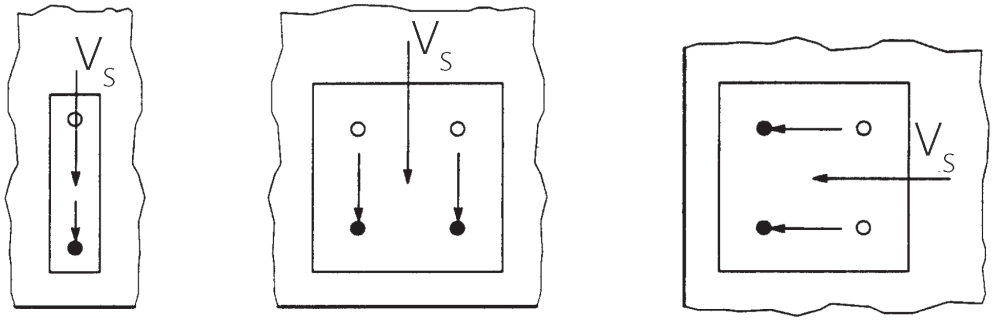
d	Diâmetro do chumbador (mm)	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	27	30
df	Diâmetro do furo na chapa base (mm)	7	9	12	14	16	18	20	22	24	26	30	33

***Tabela 7.1** - Diâmetro do furo na chapa de base*



(a) *(b)* *(c)*

***Figura 7.2** - Exemplos de distribuições de esforços, quando todos os chumbadores absorvem força cortante.*



(a) *(b)* *(c)*

***Figura 7.3** - Exemplos de distribuição de esforços, quando apenas os chumbadores mais desfavoráveis absorvem força cortante*

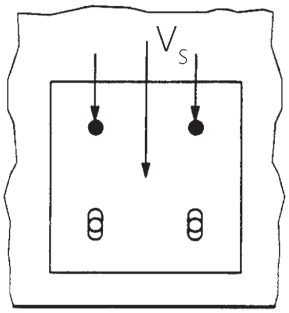


***Figura 7.4** - Exemplos de distribuição de esforços para uma fixação com furos oblongos.*

No caso de um grupo de chumbadores com diferentes forças cortantes V_{si} atuando individualmente nos chumbadores, a excentricidade e_v da força cortante V_S^g dever ser calculada para permitir uma avaliação precisa da resistência do conjunto de chumbadores (ver figura 7.5).

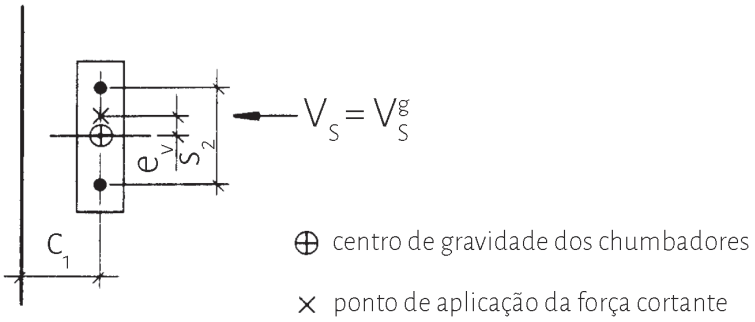
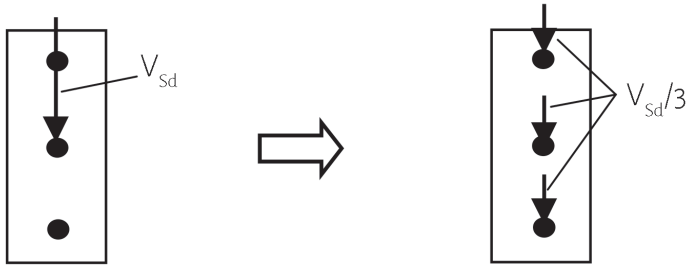
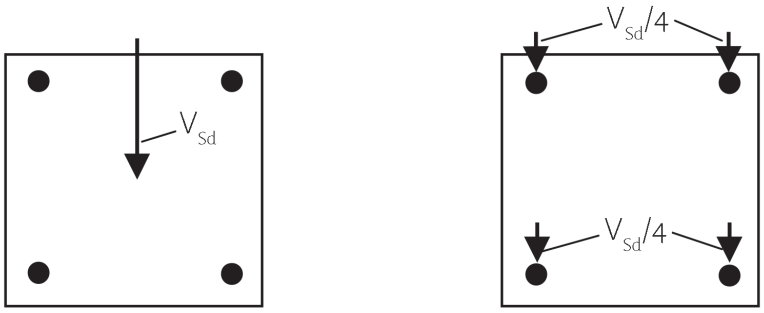


***Figura 7.5** - Exemplo de uma fixação submetida a força cortante excêntrica.*

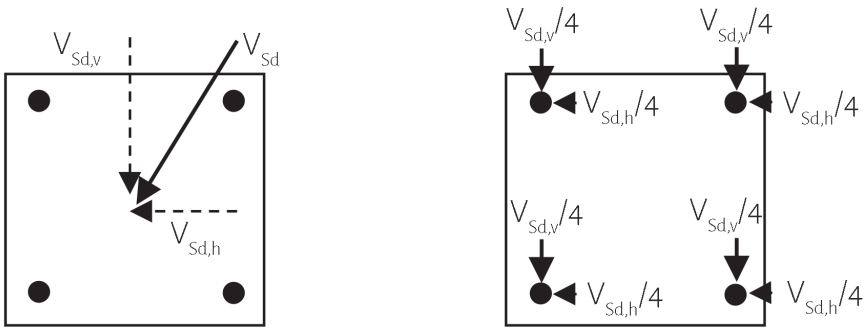
A determinação das forças cortantes em cada chumbador de um grupo, resultantes de esforços de corte e momentos torçores, são calculados de acordo com a teoria da elasticidade assumindo resistências iguais para todos os chumbadores. Exemplos são dados nas figuras 7.6 e 7.7.



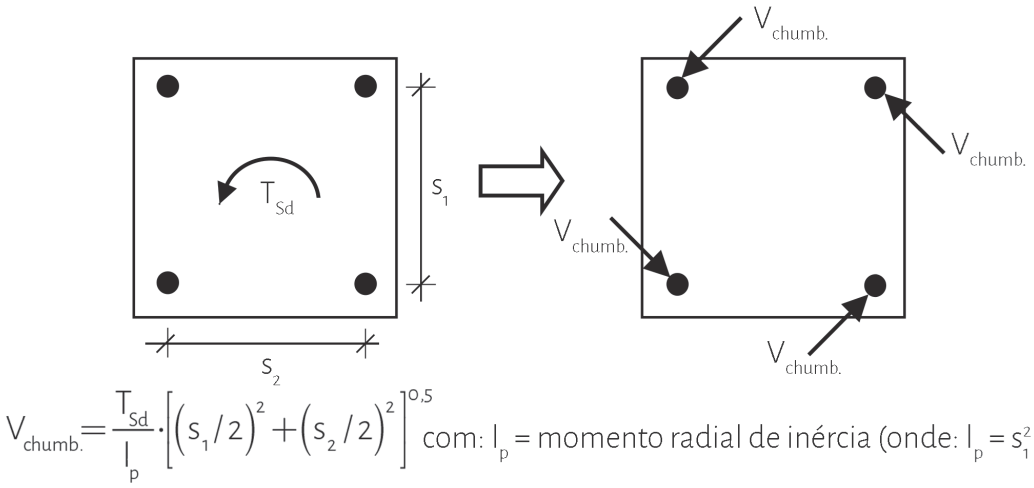
(a) grupo de três chumbadores sob força cortante.



(b) grupo de quatro chumbadores sob força cortante.

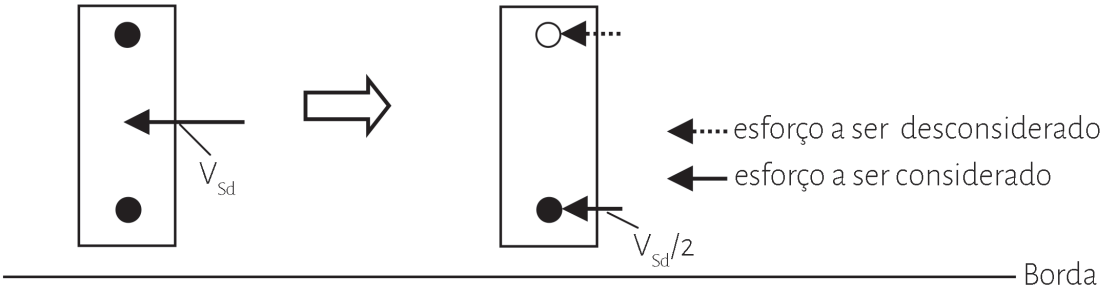


(c) grupo de quatro chumbadores sob força cortante obliqua.

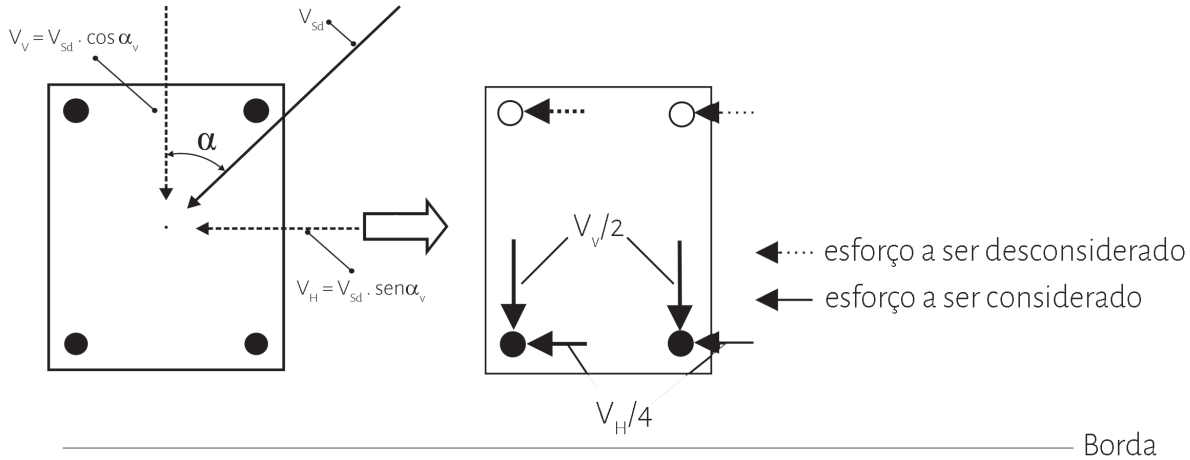


(d) grupo de quatro chumbadores sob momento torsor.

***Figura 7.6** - Determinação de esforços quando todos os chumbadores absorvem força cortante.*



(a) grupo de dois chumbadores carregados paralelemente à borda.



(b) grupo de quatro chumbadores sob força cortante oblíqua.

***Figura 7.7** - Determinação de esforços, quando apenas os chumbadores mais desfavoráveis absorvem força cortante.*

No caso de falha na borda de concreto, onde apenas os chumbadores desfavoráveis absorvem a carga, a parcela do esforço que atua perpendicular à borda será absorvida pelos chumbadores mais desfavoráveis (chumbadores próximos a borda). A parcela do esforço paralela à borda pode ser distribuída igualmente entre todos os chumbadores do grupo.

7.2.1. Força cortante sem braço de alavanca

Forças cortantes podem ser consideradas sem braço de alavanca quando ambas condições a seguir forem satisfeitas:

a) Se, sobre a superfície do concreto a receber a fixação, não houver argamassa de nivelamento, ou a camada de nivelamento possuir resistência a compressão superior a 30 MPa e tiver espessura inferior a $d/2$.

b) A chapa de base estiver em contato com o chumbador em toda sua espessura.

7.2.2. Força cortante com braço de alavanca

Se as condições a) e b) do item 7.2.1. não forem satisfeitas, o braço de alavanca é calculado de acordo com a equação 7.1 (ver figura 7.8).

$$l = a_3 + e_1 \tag{7.1}$$

onde:

e_1 = distância entre a força de corte e a superfície do concreto
a_3 = 0,5 *d
a_3 = 0,0 se uma arruela e uma porca forem instaladas diretamente sobre a superfície do concreto (ver figura 7.8b)
d = diâmetro nominal do chumbador (ver figura 7.8a)

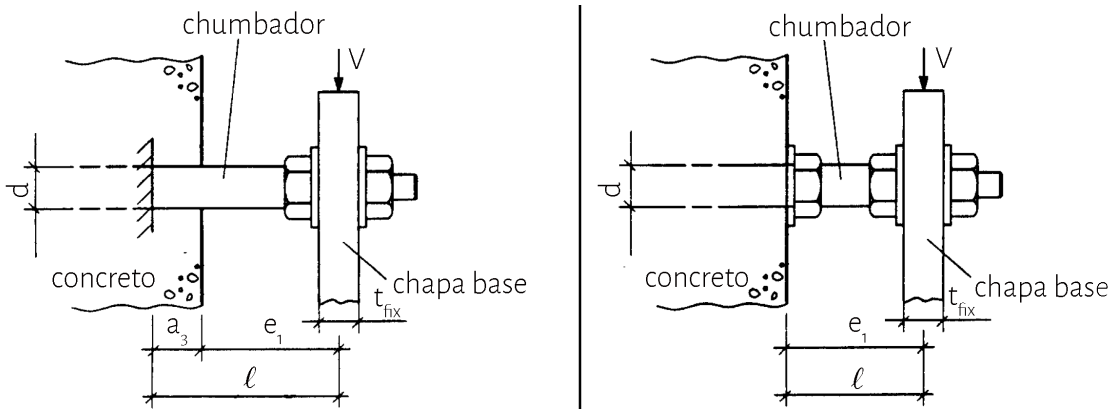


***Figura 7.8** - Definições para braço de alavanca.*

O método de cálculo do momento fletor no chumbador é feito de acordo com a equação (7.2).

$$M_{Sd} = V_{Sd} \cdot \frac{l}{\alpha_M} \tag{7.2}$$

O valor α_M depende da restrição à rotação no ponto de aplicação da força cortante.

Quando não há restrição, α_M=1,0 (ver figura 7.9a). Esta suposição é sempre a favor da segurança.

Quando há restrição total, α_M=2,0 (ver figura 7.9b).

Figura 7.9 *- Fixação sem restrição à rotação (a), e fixação com restrição à rotação (b).*

8. Estado Limite Último

Os espaçamentos entre chumbadores, distâncias da borda, assim como a espessura do concreto, devem obedecer aos valores mínimos obtidos em ensaios específicos ou diretamente das aprovações técnicas (ver item 2).

O espaçamento entre os chumbadores externos de um grupo de chumbadores em relação à grupos adjacentes, ou a distância de um chumbador individual a outro, deve ser $a > s_{cr,N}$.

Deve-se garantir que a Equação (6.1) seja atendida para todas as direções de carregamento (tração e corte) assim como todos os tipos de falha.

8.1. Resistência da fixação a esforços de tração

	Chumbador individual	Grupo de chumbadores
Falha no aço *(steel failure)*	Consultar a NBR 8800	
Falha na adesão *(pull-out failure)*	$N_{Sd} \leq N_{Rk,p} / \gamma_{Mp}$	$N_{Sd}^{g} \leq N_{Rk,p} / \gamma_{Mp}$
Falha do cone de concreto *(concrete cone failure)*	$N_{Sd} \leq N_{Rk,c} / \gamma_{Mc}$	$N_{Sd}^{g} \leq N_{Rk,c} / \gamma_{Mc}$
Falha por fendilhamento *(splittingfailure)*	$N_{Sd} \leq N_{Rk,sp} / \gamma_{Msp}$	$N_{Sd}^{g} \leq N_{Rk,sp} / \gamma_{Msp}$

8.1.1. Falha do aço

Seguir as recomendações da NBR 8800.

8.1.2. Falha na adesão *(pull-out failure)*

A resistência característica no caso de falha na adesão, $N_{Rk,p}$, é:

$$N_{Rk,p} = N_{Rk,p}^{o} \cdot \frac{A_{p,N}}{A_{p,N}^{o}} \cdot \psi_{s,Np} \cdot \psi_{g,Np} \cdot \psi_{ec,Np} \cdot \psi_{re,Np} \quad [N] \tag{8.1}$$

a) O valor da resistência característica inicial da ancoragem é obtido por meio da expressão:

$$N_{Rk,p}^{o} = \pi \cdot d \cdot h_{ef} \cdot \tau_{Rk} \quad [N] \tag{8.1a}$$

$$\tau_{Rk} \left[N/mm^2 \right]; \; h_{ef} \; e \; d \left[mm \right]$$

τ_{Rk} é a resistência característica de adesão, que depende da classe de resistência do concreto. Deve-se fazer distinção entre aplicações em concreto fissurado ($\tau_{Rk,cr}$) ou em concreto não-fissurado ($\tau_{Rk,ucr}$) conforme o item 2.2. Os valores destes parâmetros devem ser obtidos por meio de ensaios específicos ou diretamente das aprovações técnicas dos produtos (ver item 2).

b) O efeito geométrico do espaçamento entre chumbadores e a distância de borda na resistência característica é considerado por meio da relação $A_{p,N} / A_{p,N}^{o}$, onde:

$A_{p,N}^{o}$ é a área de influência de um chumbador isolado com grande espaçamento e distância de borda, idealizando o cone de concreto como sendo uma pirâmide, cujo comprimento da base quadrada é igual a $s_{cr,Np}$ (ver Figura 8.1).

$$A_{p,N}^{o} = S_{cr,Np} \cdot S_{cr,Np} \tag{8.1b}$$

(ver figura 8.1)

$A_{p,N}$ é a área efetiva, delimitada pela sobreposição das áreas de influência dos chumbadores adjacentes ($s < s_{cr,Np}$) assim como pelas bordas do elemento de concreto ($c < c_{cr,Np}$). Exemplos para cálculo de $A_{p,N}$ são fornecidos na Figura 8.2.
Com:

$$S_{cr,Np} = 20 \cdot d \cdot \left(\frac{\tau_{Rk,ucr}}{7,5} \right)^{0,5} \leq 3 \cdot h_{ef} \quad [mm] \tag{8.1c}$$

$\tau_{Rk,ucr}$ *para C20/25* $[N/mm^2]$; $d[mm]$

$$C_{cr,Np} = \frac{S_{cr,Np}}{2} \quad [mm] \tag{8.1d}$$

Nota: As equações acima são válidas tanto para concreto fissurado como para concreto não fissurado.

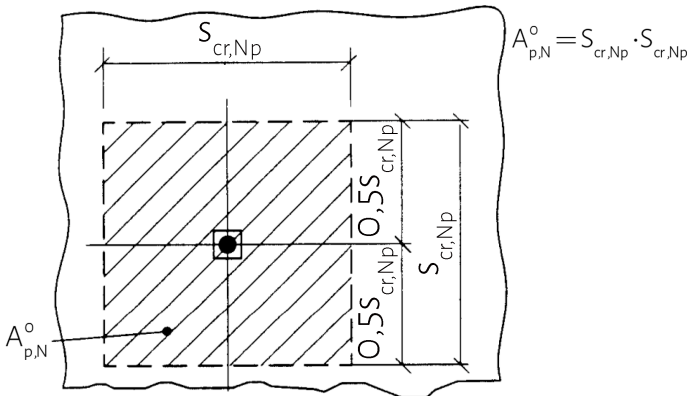
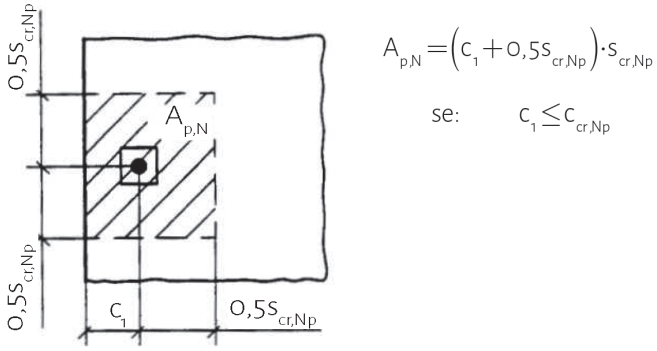
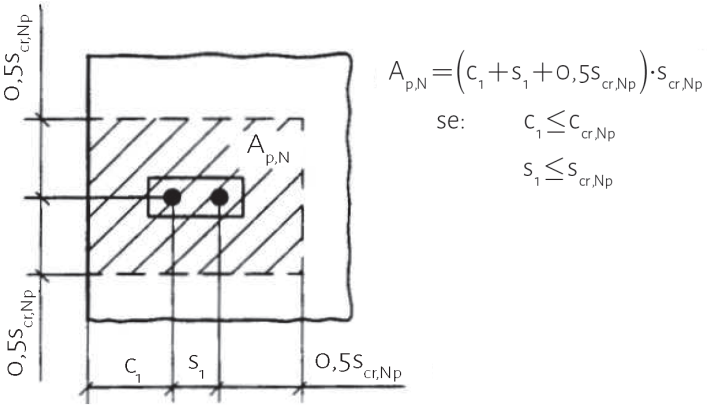


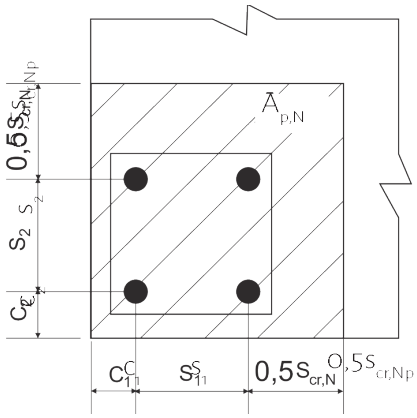
***Figura 8.1** - Área de influência $A^{o}_{p,N}$ de um chumbador isolado.*



(a) chumbador individual próximo à borda de concreto.



(b) grupo de dois chumbadores próximo à borda de concreto.



(c) grupo de quatro chumbadores no canto de um elemento de concreto.

***Figura 8.2** - Exemplos de áreas efetivas $A_{p,N}$ para diferentes arranjos de chumbadores no caso de carregamento de tração.*

c) O fator $\psi_{s,Np}$ leva em consideração a perturbação da distribuição das tensões no concreto devido à proximidade das bordas do elemento de concreto. Para ancoragens com diversas distâncias de borda (por exemplo, um chumbador instalado próximo ao canto de um elemento de concreto ou em uma estrutura estreita), a menor distância da borda *C*, deve ser inserida na equação (8.1e).

$$\psi_{s,N} = 0{,}7 + 0{,}3 \cdot \frac{C}{C_{cr,N}} \leq 1 \qquad (8.1e)$$

d) O fator $\psi_{g,Np}$ leva em consideração o efeito da superfície de falha para o grupo de chumbadores.

$$\psi_{g,Np} = \psi^{0}_{g,Np} - \left(\frac{s}{s_{cr,Np}}\right)^{0,5} \cdot \left(\psi^{0}_{g,Np} - 1\right) \geq 1{,}0 \qquad (8.1f)$$

s = espaçamento. No caso de grupos de chumbadores com $s_1 \neq s_2$, deve-se adotar o valor médio de todos os espaçamentos s_1 e s_2.

$$\psi^{0}_{g,Np} = \sqrt{n} - \left(\sqrt{n} - 1\right) \cdot \left(\frac{d \cdot \tau_{Rk}}{k \cdot \sqrt{h_{ef} \cdot f_{ck,cube}}}\right)^{1,5} \geq 1{,}0 \qquad (8.1g)$$

n = número de chumbadores do grupo
τ_{Rk} e $f_{ck,cube}$ (N/mm^2); h_{ef} e *d* (*mm*)
τ_{Rk} = resistência característica de aderencia, depende do f_{ck} do concreto e dever ser obtido nas aprovações técnicas (ver item 2):
k = 2,3 (para aplicações em concreto fissurado)
k = 3,2 (para aplicações em concreto não fissurado)

e) O fator $\psi_{ec,Np}$ leva em consideração o efeito de grupo quando esforços diferentes atuam em chumbadores individuais de um grupo.

$$\psi_{ec,Np} = \frac{1}{1 + 2e_N / s_{cr,Np}} \leq 1 \qquad (8.1h)$$

e_N = excentricidade da força de tração resultante agindo sobre os chumbadores tracionados (ver 7.1). Em casos de excentricidade em duas direções, $\psi_{ec,N}$ deve ser determinado separadamente para cada direção e o produto de ambos fatores deve ser inserido na Equação (8.2).

f) O fator $\psi_{re,Np}$ leva em consideração o efeito da taxa de armadura superficial (*Shell Spalling*)

$$\psi_{re,Np} = 0{,}5 + \frac{h_{ef}}{200} \leq 1 \qquad (8.1i)$$

h_{ef} [*mm*]

Se na região de fixação existir armadura superficial com espaçamento ≥ 150 mm (de qualquer diâmetro) ou com diâmetro ≤ 10 mm e um espaçamento ≥ 100 mm, então o fator de desplacamento superficial *(shell spalling)* $\psi_{re,Np} = 1{,}0$ pode ser aplicado independentemente da profundidade de ancoragem.

g) Casos especiais

Para ancoragens com três ou mais bordas com distância $c_{max} < c_{cr,Np}$ (c_{max} = maior distância da borda – ver Figura 8.3) o cálculo de acordo com a Equação 8.1 conduz a resultados a favor da segurança.

Resultados mais precisos podem ser obtidos considerando para h_{ef} o maior valor entre:

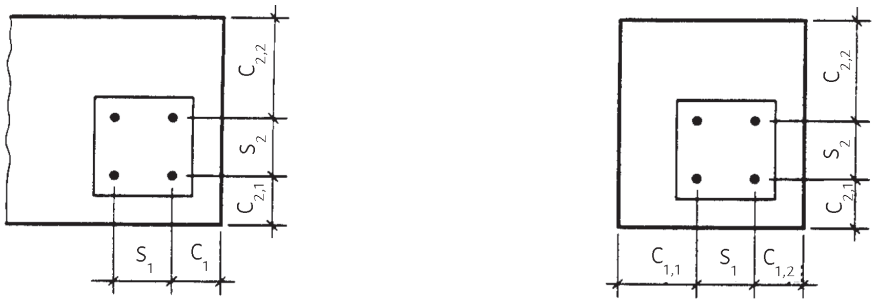
$$h_{ef}^{'} = \frac{C_{max}}{C_{cr,Np}} \cdot h_{ef} \quad \text{ou} \quad h_{ef}^{'} = \frac{s_{max}}{s_{cr,Np}} \cdot h_{ef}$$

Sendo inseridos nas equações (8.1a) e (8.1i) e para a determinação de $A_{c,N}^{o}$ e $A_{c,N}$, de acordo com a Figura 8.1 e 8.2 além das Equações (8.1b) até (8.1h) os valores

$$S_{cr,Np}^{'} = \frac{c_{max}}{c_{cr,Np}} \cdot S_{cr,Np}$$

$$C_{cr,Np}^{'} = 0{,}5 \cdot s_{cr,Np}^{'}$$

em substituição a $s_{cr,Np}$ ou $c_{cr,Np}$, respectivamente.



$(C_1; C_{1,1}; C_{1,2}; C_{2,1}; C_{2,2}) \leq C_{cr,Np}$

(a) *(b)*

***Figura 8.3** - Exemplos de chumbadores em elementos de concreto onde $h_{ef}^{'}$, $S_{cr,Np}^{'}$ e $C_{cr,Np}^{'}$ podem ser usados.*

8.1.3. Falha do cone de concreto

A resistência característica de um chumbador ou um grupo de chumbadores, respectivamente, no caso de falha do cone de concreto é:

$$N_{Rk,c} = N_{Rk,c}^{o} \cdot \frac{A_{c,N}}{A_{c,N}^{o}} \cdot \psi_{s,N} \cdot \psi_{re,N} \cdot \psi_{ec,N} \quad [N] \tag{8.2}$$

Os diferentes fatores da Equação (8.2) são fornecidos abaixo:

a) O valor inicial da resistência característica do chumbador instalado no concreto fissurado ou não fissurado é obtido através de:

$$N_{Rk,c}^{o} = k_1 \cdot \sqrt{f_{ck,cube}} \cdot h_{ef}^{1,5} \quad [N] \tag{8.2a}$$

$$f_{ck,cube} \left[N/mm^2 \right]; h_{ef} \left[mm \right]$$

$k_1 = 7{,}2$ para aplicações em concreto fissurado

$k_1 = 10{,}1$ para aplicações em concreto não fissurado

b) O efeito geométrico do espaçamento entre chumbadores e distância à borda na resistência característica é obtida através da relação $A_{c,N} / A_{c,N}^{o}$, onde:

$A^{o}_{c,N}$ = área de influência de um chumbador isolado que não sofre a interferência de outros chumbadores ou das bordas, idealizando o cone de concreto como uma pirâmide cuja altura é igual a h_{ef} e o comprimento da base igual a $S_{cr,N}$ (ver Figura 8.4a).

$$S_{cr,N} \cdot S_{cr,N} \text{ com } S_{cr,N} = 3\, h_{ef} \tag{8.2b}$$

$A_{c,N}$ = área efetiva, delimitada pela superposição as áreas de influência dos chumbadores adjacentes ($s < s_{cr,N}$) e pelas bordas do elemento de concreto ($c < c_{cr,N}$) com $C_{Cr,N} = 1/2\ S_{cr,N}$. Exemplos para cálculo da $A_{c,N}$ são fornecidos na Figura 8.4b.

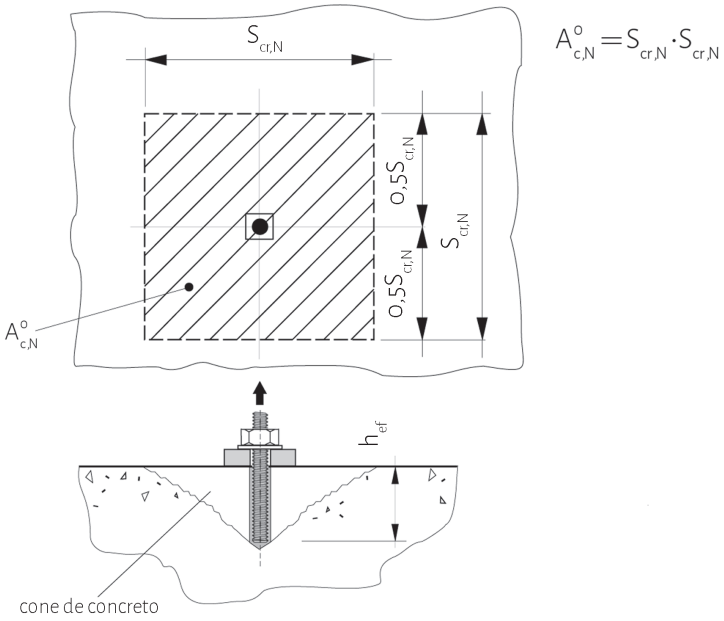
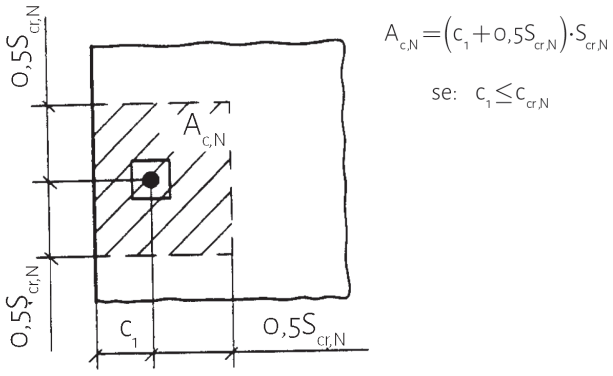
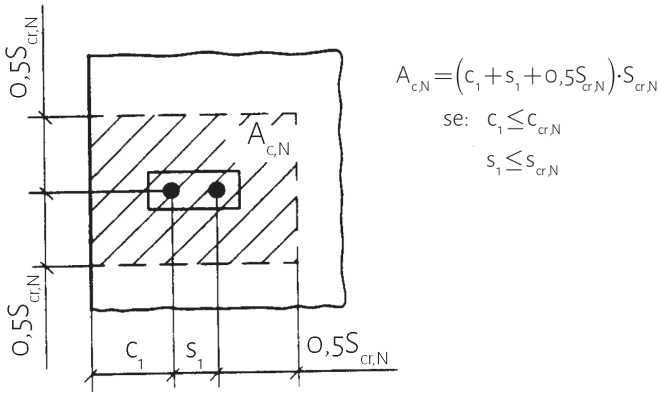


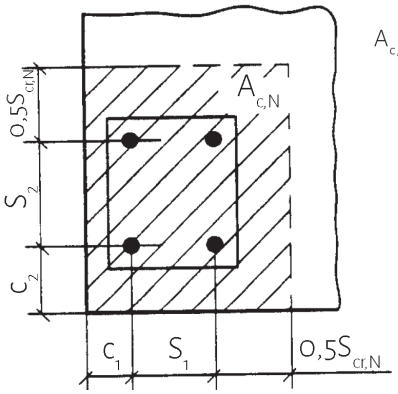
***Figura 8.4a** - Área de influência de um chumbador isolado $A^{o}_{c,N}$.*



(a) chumbador individual na borda do elemento de concreto



(b) grupo de dois chumbadores junto à borda do elemento de concreto.



$$A_{c,N} = \left(c_1 + S_1 + 0{,}5S_{cr,N}\right)\cdot\left(c_2 + s_2 + 0{,}5S_{cr,N}\right)$$

se: $c_1; c_2 \leq c_{cr,N}$

$S_1; S_2 \leq S_{cr,N}$

(c) grupo de quatro chumbadores no canto do elemento de concreto.

***Figura 8.4 b** - Exemplos de áreas efetivas $A_{c,N}$ para diferentes arranjos de chumbadores.*

c) O fator $\psi_{s,N}$ leva em conta a perturbação na distribuição de tensões devido as bordas do elemento de concreto. Para ancoragens com diversas distâncias de borda (como, por exemplo, em chumbadores no canto de um elemento de concreto ou em um elemento estreito), o menor valor de distância de borda, c, deve ser inserido na Equação (8.2c)

$$\psi_{s,N} = 0{,}7 + 0{,}3\cdot\frac{c}{c_{cr,N}} \leq 1 \qquad (8.2c)$$

d) O fator $\psi_{re,N}$, leva em consideração o efeito da taxa de armadura superficial

$$\psi_{re,N} = 0{,}5 + \frac{h_{ef}}{200} \leq 1 \qquad (8.2d)$$

$h_{ef}\left[mm\right]$

Se na região de fixação existir uma armadura superficial com espaçamento ≥ 150 mm (de qualquer diâmetro) ou com diâmetro ≤ 10 mm e um espaçamento ≥ 100 mm, então o fator de desplacamento superficial (shells palling) $\psi_{re,N} = 1{,}0$ pode ser aplicado independentemente da profundidade de ancoragem.

e) O fator $\psi_{ec,N}$ leva em conta o efeito de esforços de tração diferentes atuando em chumbadores do mesmo grupo.

$$\psi_{ec,N} = \frac{1}{1 + 2e_N / s_{cr,N}} \leq 1 \qquad (8.2e)$$

e_N = excentricidade da carga de tração resultante atuando sobre os chumbadores tracionados (ver item 7.1). Onde há excentricidade em duas direções, $\psi_{ec,N}$ deve ser determinado separadamente para cada direção e o produto dos fatores deve ser inserido na Equação (8.2).

f) Casos especiais

Para ancoragens com três ou mais bordas com distância $c_{max} < c_{cr,Np}$ (c_{max} = maior distância da borda - ver Figura 8.3) o cálculo de acordo com a Equação 5.3 conduz a resultados a favor da segurança.

Resultados mais precisos podem ser obtidos considerando para h_{ef} o maior valor entre:

$$h'_{ef} = \frac{c_{max}}{c_{cr,N}}\cdot h_{ef} \quad \text{ou} \quad h'_{ef} = \frac{s_{max}}{s_{cr,N}}\cdot h_{ef}$$

Sendo inseridos nas equações (8.2a) e (8.2d), e para determinar o valor de $A^{o}_{c,N}$ e $A_{c,N}$, de acordo com a Figura 8.3 e 8.4 assim como nas Equações (8.2b), (8.2c) e (8.2e), os valores

$$s'_{cr,N} = 3\,h'_{ef}$$

$$c'_{cr,N} = 0{,}5\,s'_{cr,N}$$

em substituiçnao a $s_{cr,N}$ ou $c_{cr,N}$, respectivamente.

8.1.4. Falha por fendilhamento no momento da instalação do chumbador

Para que não ocorra falha por fendilhamento no momento da instalação, devem ser respeitados os valores mínimos de distância à borda c_{min}, espaçamento entre chumbadores s_{min} e espessura do elemento h_{min}, fornecidos nas aprovações técnicas dos produtos.

8.1.5. Falha por fendilhamento devido ao carregamento

Para falha por fendilhamento devido ao carregamento, os valores $c_{cr,sp}$ e $s_{cr,sp}$ devem ser obtidos das aprovações técnicas em função da profundidade de embutimento (ver item 2). A verificação da falha por fendilhamento pode ser dispensada se as três condições abaixo forem atendidas:

a) A distância de borda em todas as direções for $c > 1{,}2 \cdot c_{cr,sp}$ e a espessura do material base for $h > 2\ h_{min}$.

b) O elemento possua armação transversal ao sentido do embutimento (nas duas direções) que limite a abertura de fissuras a $w_k \leq$ 0,3 mm, quando submetido a um esforço de fendilhamento tomado como 50% de N_{sk}.

c) A resistência característica do concreto para as falhas do cone de concreto e adesão tenham sido calculadas considerando concreto fissurado.

Se as condições a) b) ou c) não forem cumpridas, a resistência característica de um chumbador individual ou de um grupo de chumbadores para o caso de falha por fendilhamento deve ser calculada de acordo com a Equação (8.3).

$$N_{Rk,c} = N^{o}_{Rk,c} \cdot \frac{A_{c,N}}{A^{o}_{c,N}} \cdot \psi_{s,N} \cdot \psi_{re,N} \cdot \psi_{ec,N} \left[N\right] \tag{8.3}$$

Com $N^{o}_{Rk,c}$, ψ_{sN}, $\psi_{re,N}$, $\psi_{ec,N}$ de acordo com as Equações (8.2a) até (8.2e) e $A_{c,N}$, $A^{o}_{c,N}$ conforme definido no item 8.1.3 b), entretanto, os valores $c_{cr,N}$ e $s_{cr,N}$ devem ser substituídos por $c_{cr,sp}$ e $s_{cr,sp}$.

$\psi_{h,sp}$ = fator que considera a influência da espessura do material base, h, na resistência ao fendilhamento da fixação.

$$\psi_{h,sp} = \left(\frac{h}{h_{min}}\right)^{2/3} \tag{8.3a}$$

$$1 \leq \psi_{h,sp} \leq \left(\frac{2 \cdot h_{ef}}{h_{min}}\right)^{2/3} \tag{8.3b}$$

8.2. Resistência da fixação à Força Cortante

	Chumbador individual	Grupo de chumbadores
Falha no aço	Consultar a NBR 8800	
Falha no concreto por alavanca *(concrete pry-out failure)*	$V_{Sd} \leq V_{Rk,cp} / \gamma_{Mc}$	$V^{g}_{Sd} \leq V_{Rk,cp} / \gamma_{Mc}$
Falha da borda do concreto *(concrete edge failure)*	$V_{Sd} \leq V_{Rk,c} / \gamma_{Mc}$	$V^{g}_{Sd} \leq V_{Rk,c} / \gamma_{Mc}$

8.2.1. Falha do aço

Seguir as recomendações da NBR 8800.

8.2.2. Falha no concreto por alavanca (*concrete pry-out failure*)

Fixações com chumbadores curtos e rígidos podem levar a falha do concreto por alavanca, produzindo uma ruptura do lado oposto a direção do esforço (ver Figura 8.5). A resistência característica correspondente $V_{Rk,cp}$ pode ser calculada pelas Equações (8.4) e (8.4a), adotando-se o menor dos dois valores.

$$V_{Rk,cp} = k \cdot N_{Rk,p} \tag{8.4}$$

$$V_{Rk,cp} = k \cdot N_{Rk,c} \tag{8.4a}$$

$$k = 1 \text{ para } h_{ef} < 60mm \tag{8.4b}$$

$$k = 2 \text{ para } h_{ef} \geq 60mm \tag{8.4c}$$

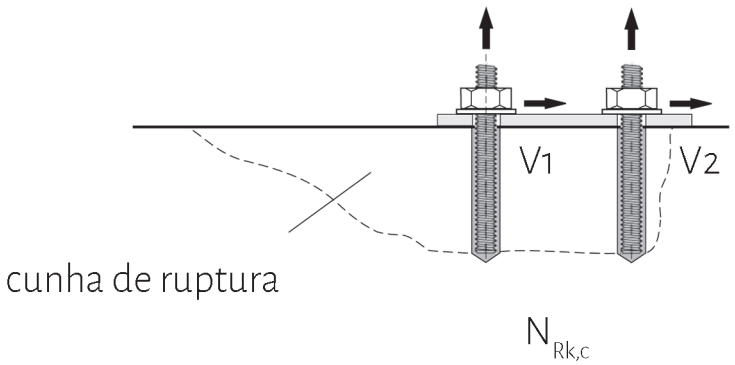


***Figura 8.5** - Falha do concreto por alavanca.*

Em grupos de chumbadores, onde atuem momentos torsores, combinados ou não com forças cortantes, o chumbador mais desfavorável deve ser verificado de maneira individual seguindo a mesma formulação acima.

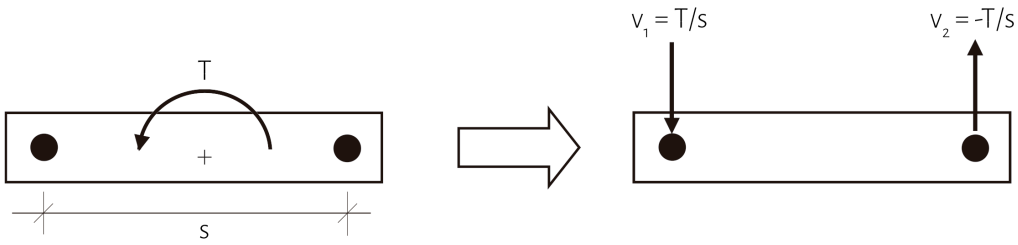
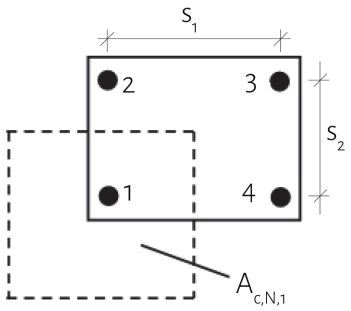


***Figura 8.5 a** - Grupo de chumbadores solicitados por um momento torsor; forças cortantes agindo individualmente em chumbadores do grupo.*

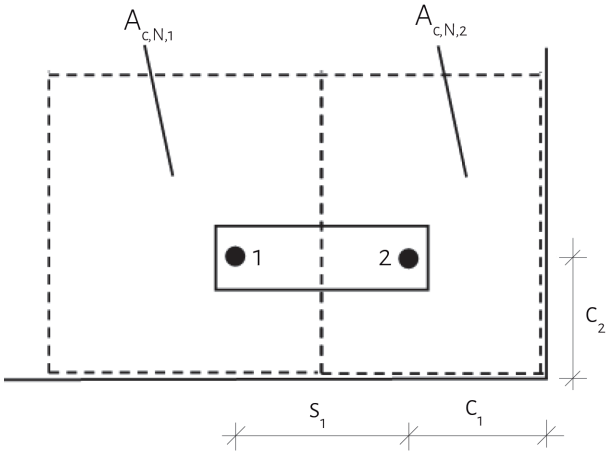
Quando calculada a resistência do chumbador mais desfavorável, as influências, tanto de distâncias de borda quanto espaçamento, devem ser considerados.

Exemplos para o cálculo de $A_{c,N}$ são fornecidos na Figura 8.5b.



$$A_{c,N,1} = (0{,}5 \cdot s_{cr,N} + s_1/2) \cdot (0{,}5 \cdot s_{cr,N} + s_2/2)$$
$$A_{c,N,2} = A_{c,N,1}$$
$$A_{c,N3} = A_{c,N,1}$$
$$A_{c,N,4} = A_{c,N,1}$$
$$(s_1 ; s_2) \leq s_{cr,N}$$

(a) grupo de quatro chumbadores sem influência de borda.



$$A_{c,N,1} = (0{,}5 \cdot s_{cr,N} + s_1/2) \cdot (0{,}5 \cdot s_{cr,N} + c_2)$$
$$A_{c,N,2} = (s_1/2 + c_1) \cdot (0{,}5 \cdot s_{cr,N} + c_2)$$
$$s_1 \leq s_{cr,N}$$
$$(c_1 ; c_2) \leq c_{cr,N}$$

(b) grupo de dois chumbadores em um canto.

***Figura 8.5 b** - Exemplos para cálculo da área $A_{c,N}$ de cones de concreto.*

8.2.3. Falha na borda de concreto

A falha na borda de concreto não precisa ser verificada quando a distância da borda em todas as direções for $c > 10\, h_{ef}$ e $c > 60\, d$.

A resistência característica para um chumbador ou grupo de chumbadores, no caso de falha na borda de concreto, corresponde a:

$$V_{Rk,c} = V^{0}_{Rk,c} \cdot \frac{A_{c,V}}{A^{0}_{c,V}} \cdot \psi_{s,V} \cdot \psi_{h,V} \cdot \psi_{\alpha,V} \cdot \psi_{ec,V} \cdot \psi_{re,V} \quad [N] \tag{8.5}$$

Os diferentes fatores da Equação (8.5), são fornecidos abaixo:

a) O valor inicial da resistência característica de um chumbador ancorado em concreto fissurado ou não fissurado e carregado perpendicularmente à borda do concreto corresponde a:

$$V^{0}_{Rk,c} = k_1 \cdot d^{\alpha} \cdot h_{ef}^{\beta} \cdot \sqrt{f_{ck,cube}} \cdot c_1^{1,5} \quad [N] \tag{8.5a}$$

$d, h_{ef}, c_1\ [mm]; f_{ck,cube}\ [N/mm^2]$

$k_1 = 1{,}7$ para aplicações em concreto fissurado
$k_1 = 2{,}4$ para aplicações em concreto não fissurado

$$\alpha = 0{,}1 \cdot \left(\frac{h_{ef}}{c_1}\right)^{0{,}5} \tag{8.5b}$$

$$\beta = 0{,}1 \cdot \left(\frac{d}{c_1}\right)^{0{,}2} \tag{8.5c}$$

b) O efeito geométrico dos espaçamentos, a distância da borda e o efeito da espessura do elemento de concreto na carga característica, é obtido através do cálculo da relação $A_{c,V} / A^{o}_{c,V}$, onde:

$A^{o}_{c,V}$ = área em projeção da cunha de ruptura na face lateral do elemento de concreto, não afetada pelas bordas paralelas à direção adotada da carga, conforme a figura 8.6. $A^{o}_{c,V} = 4{,}5C_1^2$ (8.5d)

$A_{c,V}$ = área efetiva da projeção da cunha de ruptura na face lateral do elemento de concreto, limitada pela sobreposição dos cones de concreto dos chumbadores adjacentes ($s < 3\,c_1$), assim como pelas bordas paralelas à direção da carga ($c_2 < 1{,}5\,c_1$) e pela espessura do elemento ($h < 1{,}5\,c_1$). Exemplos de cálculo para $A_{c,V}$ são fornecidas na Figura 8.7.

Para cálculo da área $A^{o}_{c,V}$ e $A_{c,V}$, assume-se que as forças cortantes estão aplicadas perpendicularmente à borda do elemento de concreto.

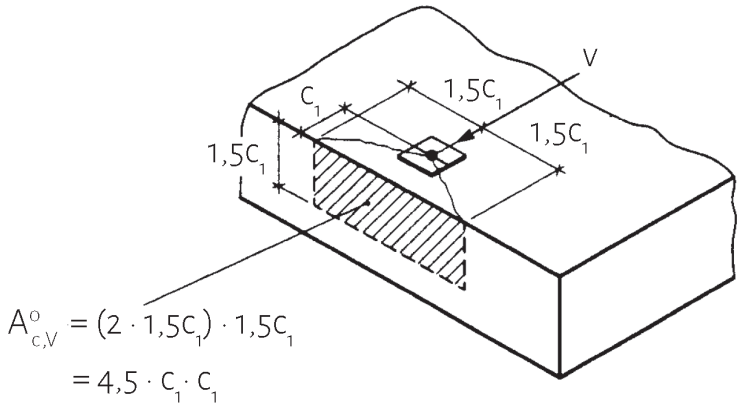
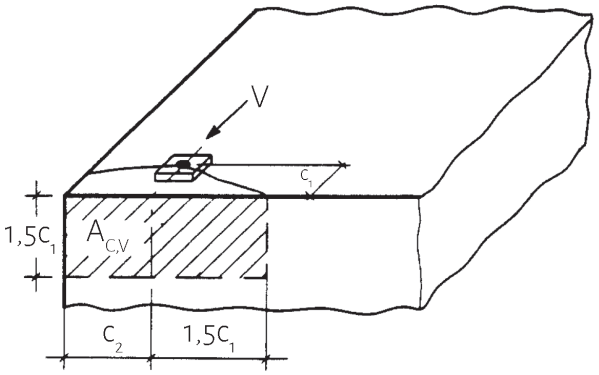
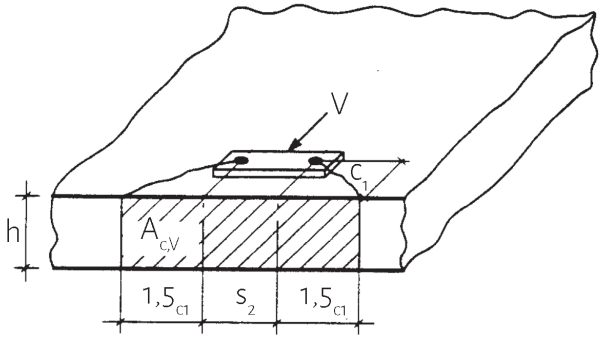


***Figura 8.6** - Cone de concreto ideal e área $A^{o}_{c,V}$ do cone de concreto para um chumbador individual.*



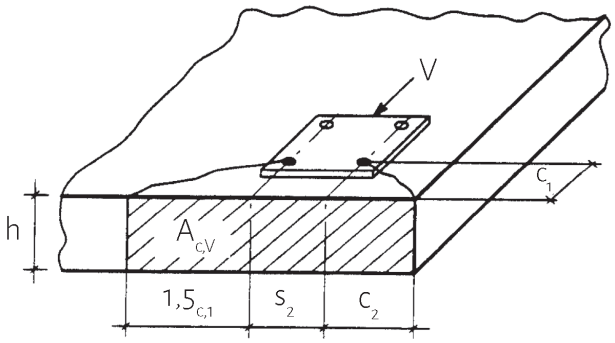
$$A_{c,V} = 1{,}5c_1\,(1{,}5c_1 + c_2)$$
$$h > 1{,}5c_1$$
$$c_2 \leq 1{,}5c_1$$

(a) chumbador individual em um canto.



$$A_{c,V} = (2\,.\,1{,}5c_1 + s_2) \cdot h$$
$$h \leq 1{,}5c_1$$
$$s_2 \leq 3c_1$$

(b) grupo de chumbadores próximo a borda de um elemento de concreto de pequena espessura.



$$A_{c,V} = (1{,}5c_1 + s_2 + c_2) \cdot h$$

$$h \leq 1{,}5c_1$$

$$s_2 \leq 3c_1$$

$$c_2 \leq 1{,}5c_1$$

(c) grupo de chumbadores próximo ao canto de um elemento de concreto de pequena espessura.

Figura 8.7 - *Exemplos de áreas efetivas para cones de concreto ideais, em diferentes arranjos de chumbadores sob força cortante.*

c) O fator $\psi_{s,V}$ leva em conta a perturbação na distribuição das tensões no concreto devido as bordas adicionais do elemento de concreto na resistência a força cortante. Para ancoragens com duas bordas paralelas à direção da carga adotada (por exemplo, em um elemento de concreto estreito), a menor distância de borda deve ser inserida na Equação (8.5e).

$$\psi_{s,V} = 0{,}7 + 0{,}3 \cdot \frac{c_2}{1{,}5c_1} \leq 1 \qquad (8.5e)$$

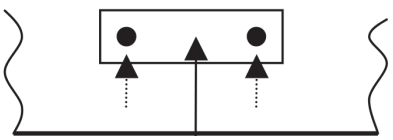
d) O fator $\psi_{h,V}$ leva em conta o fato de que a resistência ao cisalhamento não diminui de maneira proporcional à espessura do elemento de concreto, assumido na razão $A_{c,V} / A^{o}_{c,V}$

$$\psi_{h,V} = \left(\frac{1{,}5c_1}{h}\right)^{1/2} \geq 1 \qquad (8.5f)$$

e) O fator $\psi_{\alpha,V}$ leva em conta o ângulo α_V entre a carga aplicada, V_{Sd}, e a direção perpendicular à borda livre do elemento de concreto ($\alpha_V \leq 90°$, ver Figura 7.7b).

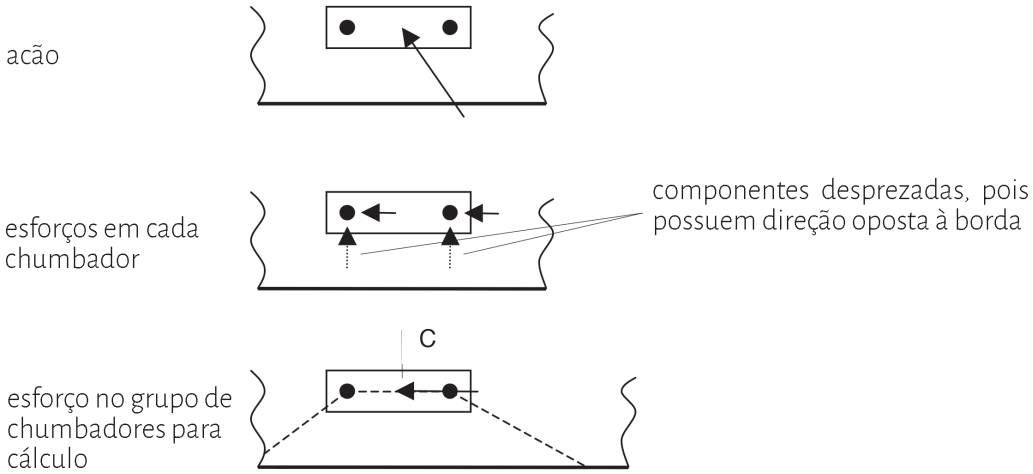
$$\psi_{\alpha,V} = \frac{1}{\sqrt{(\cos\alpha_V)^2 + \left(\frac{sen\alpha_V}{2{,}5}\right)^2}} \geq 1 \qquad (8.5g)$$

O valor máximo de α_V a ser inserido na Equação (8.5g) é 90°.
No caso de $\alpha_V > 90°$, considera-se que apenas a componente da força cortante paralela à borda atua sobre o chumbador. Exemplos de grupos de chumbadores sob cargas de M_{Td}, V_{Sd} ou ambas as ações, são apresentados nas Figuras 8.8 e.8.9.

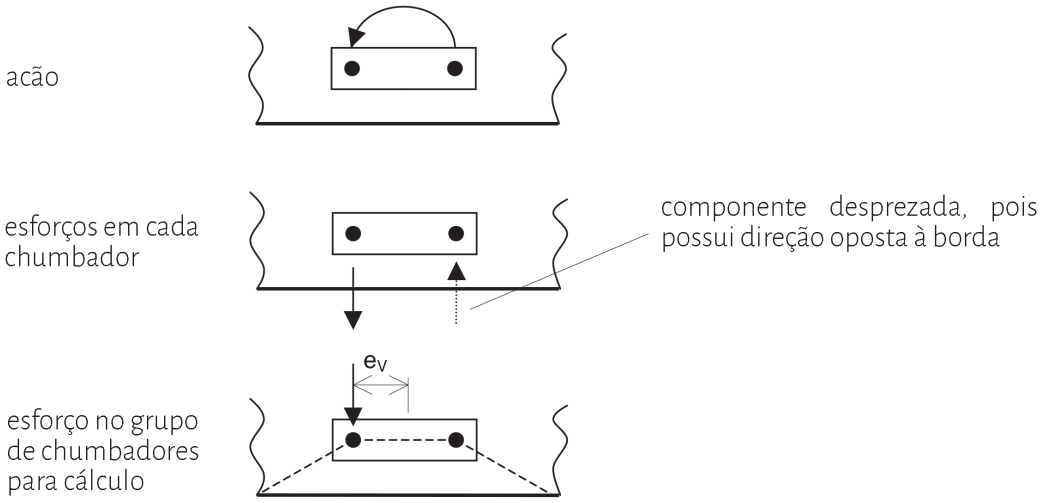


nenhuma verificação realativa a falha na borda é necessária

(a) grupo de chumbadores na borda sob esforço V_{sd} com ângulo de 180°

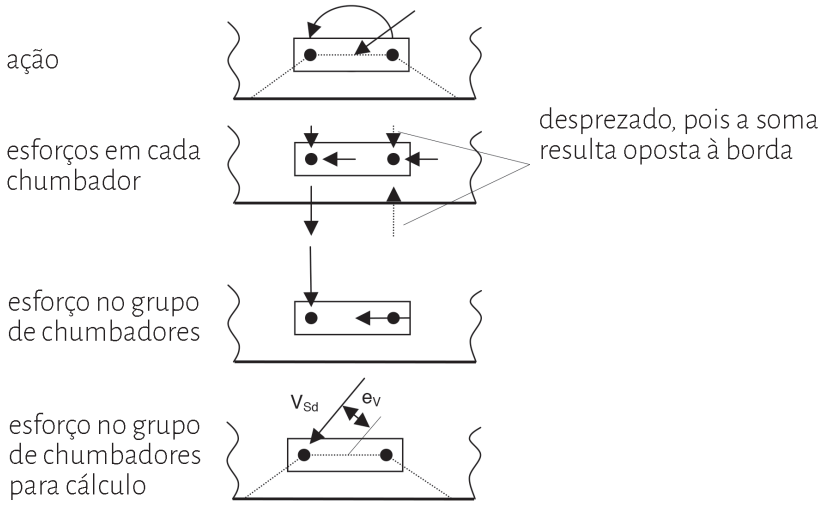


(b) grupo de chumbadores na borda sob carga V_{sd} com ângulo de 90º< α <180º.

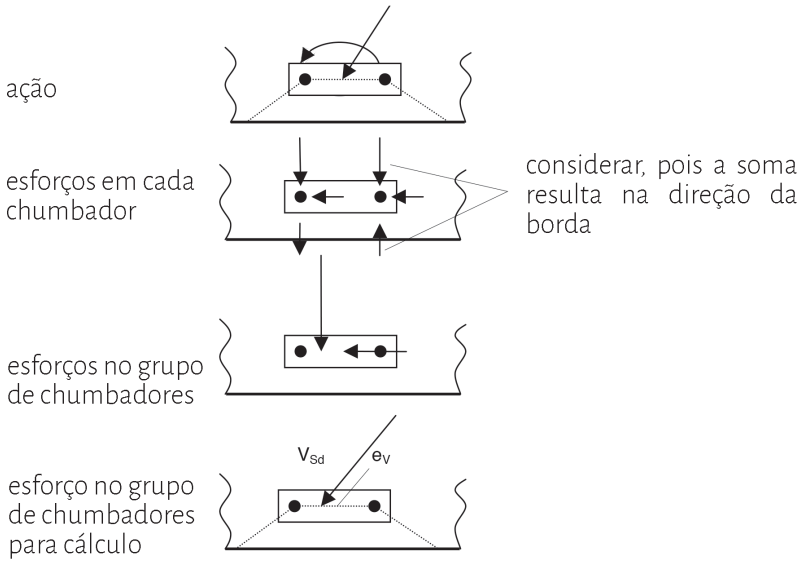


(c) grupo de chumbadores na borda sob esforço momento torço rM_{Td}.

***Figura 8.8** - Exemplos de grupo de chumbadores na borda sob esforços de força cortante ou momento torsor.*



(a) componente de corte devido ao momento torsor maior que a compnente da força cortante direta.



(b) componente de corte devido ao momento torsor menor que a componente da força cortante direta na direção da borda.

***Figura 8.9** - Exemplos de grupos de chumbadores próximos a borda sob ação de força cortante e momento torsor.*

f) O fator $\psi_{ec,V}$ leva em conta o efeito de grupo quando diferentes forças cortantes atuam individualmente nos chumbadores de um grupo.

$$\psi_{ec,V} = \frac{1}{1 + 2e_V / (3c_1)} \leq 1 \qquad (8.5h)$$

e_V = excentricidade da força cortante resultante que atua nos chumbadores. (Ver fig. 7.2).

g) O fator $\psi_{re,V}$ leva em conta o efeito dos tipos de armadura de reforço de borda.

$\psi_{re,V}$ = 1,0 fixação executada em concreto fissurado ou não fissurado sem armadura de reforço na borda.

$\psi_{re,V}$ = 1,2 fixação em concreto fissurado com armadura de reforço reta na borda (≥ Ø12 mm).

$\psi_{re,V}$ = 1,4 fixação em concreto fissurado com armadura de reforço na borda e estribos pouco espaçados ($a \leq 100$ mm).

h) Para chumbadores instalados em cantos, as resistências para ambas as bordas devem ser calculadas, adotando o menor valor.

i) Casos especiais

Para fixações em extremidades de elementos estreitos com $c_{2,max} < 1{,}5\, c_1$ ($c_{2,max}$ = maior valor entre duas distâncias de borda paralelas à direção da carga) $h < 1{,}5c_1$ (Figura 8.10) o cálculo de acordo com a Equação (8.5) conduz a resultados a favor da segurança.

Resultados mais precisos são alcançados se nas equações (8.5a) até (8.5f), assim como nas determinações das áreas $A_{c,V}$ e $A^{o}_{c,V}$ de acordo com as Figuras 8.6 e 8.7, a distância da borda c_1 for substituído por c'_1,. Sendo c'_1 o maior valor entre $c_{2,max}/1{,}5$ e $h/1{,}5$ ou $s_{2,max}/3$ no caso de grupos de chumbadores.

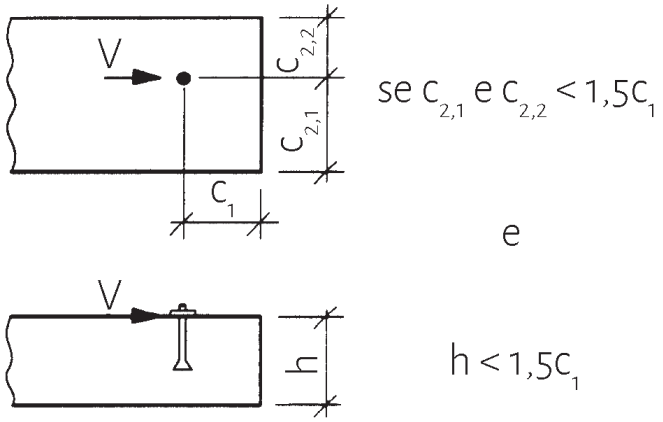


***Figura 8.10** - Exemplo de um chumbador em um elemento estreito e pouco espesso onde o valor c_1' pode ser usado.*

8.3. Resistência a esforços combinados de tração e força cortante

Para cargas combinadas de tração e corte, as seguintes equações devem ser satisfeitas:

$$\beta_N \leq 1 \tag{8.6a}$$

$$\beta_V \leq 1 \tag{8.6b}$$

$$\beta_N + \beta_V \leq 1{,}2 \tag{8.6c}$$

β_N e β_V são a razão entre a ação de cálculo e a resistência de cálculo para os esforços de tração e força cortante respectivamente. Nas equações (8.6), o maior valor entre β_N e β_V para diferentes tipos de falha, deve ser utilizado.

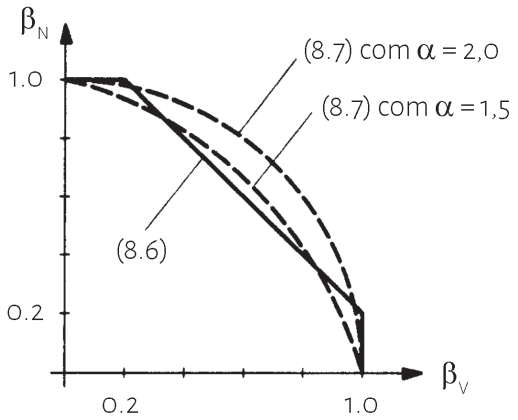


***Figura 8.11** - Diagrama de interação para cargas combinadas de tração e força cortante.*

Em geral, as Equações (8.6a) até (8.6c) fornecem resultados conservadores. Resultados mais precisos são obtidos pela Equação (8.7).

$$\left(\beta_N\right)^{\alpha} + \left(\beta_V\right)^{\alpha} \leq 1 \tag{8.7}$$

α = 2,0 se N_{Rd} e V_{Rd} são governados pela falha do aço
α = 1,5 para todos os outros tipos de falha

9. Estado Limite de Serviço

9.1. Deslocamentos

Os deslocamentos característicos do chumbador sob cargas de tração e força cortante devem ser obtidos em ensaios específicos ou das aprovações técnicas (ver item 2). Pode-se assumir que os deslocamentos são uma função linear da carga aplicada. No caso de esforços combinados de tração e corte, os deslocamentos para estas componentes devem ser somados geometricamente.

10. Armadura complementar

As forças de tração atuantes na armadura complementar devem ser definidas usando modelos de bielas e tirantes. Exemplos da aplicação de modelos de bielas e tirantes podem ser observados nas Figuras 10.2 e 10.3.

10.1. Forças de tração

A armadura complementar deverá ser dimensionada para resistir um esforço N_{Sd} (chumbador simples) ou N^{g}_{Sd} (grupo de chumbadores). Nesse caso, a armadura complementar deverá ser aplicada para todos os chumbadores do grupo. Estas armações auxiliam na resistência da ruptura do cone de concreto, mas não dispensam a verificação da falha no aço, escorregamento e o fendilhamento.

10.2. Forças cortantes

Em situações em que a fixação está posicionada perpendicularmente à borda e o sentido da força cortante é na direção da borda, as armaduras complementares posicionadas na direção da força cortante devem ser dimensionadas para uma força de tração $N_{Sd,re}$ determinada conforme a seguinte equação:

$$N_{Sd,re} = V_{Sd} \cdot [\,(e_s / z) + 1\,]$$

Sendo,

V_{Sd} = a força cortante de cálculo;

e_s = a distância entre o eixo da armadura complementar e a força cortante da fixação, não podendo ser inferior a metade do valor h_{ef};

$z \approx 0{,}85 * d$, sendo "d" a altura útil da seção para a qual deve-se adotar o menor valor entre $2 \cdot h_{ef}$ e $2 \cdot c_1$ (ver Figura 10.1).

No caso de atuarem diferentes forças cortantes em chumbadores de um grupo, a equação deve ser usada para o esforço V^{h}_{Sd} atuante no chumbador mais solicitado, resultando assim um esforço de tração N^{h}_{Sd}. Essa força é então aplicada para o dimensionamento da armadura complementar de todos os chumbadores. Esta armadura complementar combate a ruptura de borda mas não dispensa a verificação da falha do aço e ruptura no concreto por alavanca.

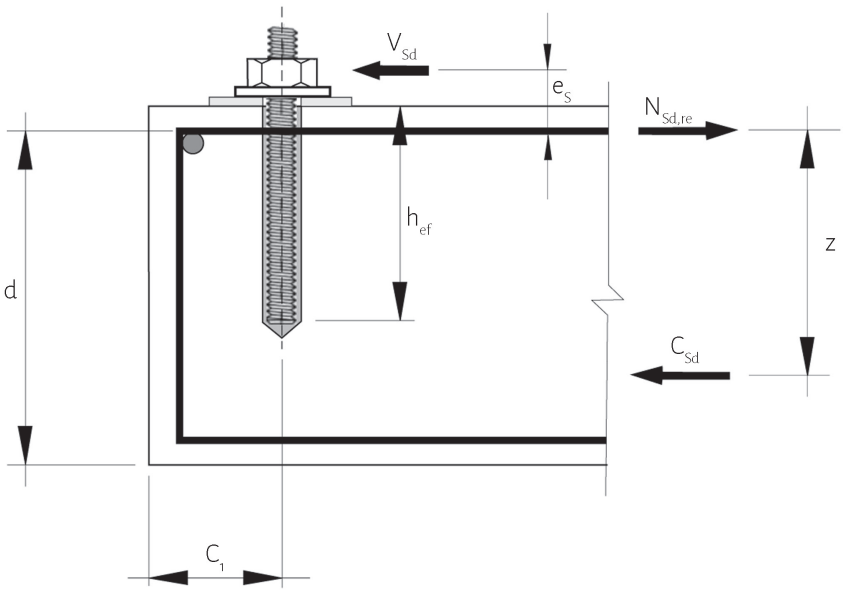


***Figura 10.1** - armadura complementar para resistir esforços cortantes.*

10.3. Dimensionamento da armadura complementar para esforços de tração

A armadura complementar deverá ser dimensionada para resistir os esforços de tração definidos no item 10.1.
A resistência característica da armadura complementar para um chumbador pode ser calculada conforme equação abaixo:

$$N_{Rd,re} = \sum_{i=1}^{n_{re}} A_{s,re,i} \cdot f_{yd,re}$$

Sendo,
$f_{yd,re}$ = tensão de escoamento de cálculo do aço das armaduras ≤ 600 MPa;
n_{re} = quantidade de barras efetivas da armadura complementar para cada chumbador.

Para a determinação da resistência de projeto da armadura complementar, deve-se adotar os ponderadores definidos na ABNT NBR 6118.

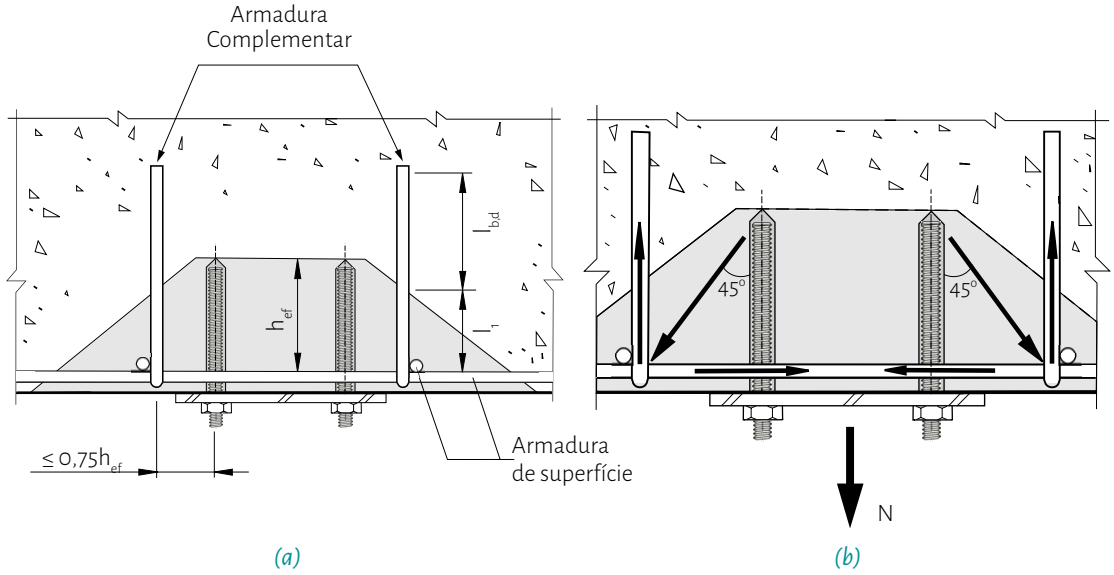


***Figura 10.2** - a) chumbador com armadura complementar para resistir esforços de tração; b) modelo biela-tirante correspondente.*

10.4. Dimensionamento da armadura complementar para forças cortantes

A armadura complementar deverá ser dimensionada para resistir os esforços de tração determinados conforme o item 10.2.
A resistência característica da armadura complementar para um chumbador pode ser calculada conforme equação abaixo:

$$N_{Rd,re} = k_{10} \sum_{i=1}^{n_{re}} A_{s,re,i} \cdot f_{yd,re}$$

Sendo,
$f_{yd,re}$ = tensão de escoamento de cálculo do aço das armaduras ≤ 600 MPa;
n_{re} = quantidade de barras efetivas da armadura complementar para cada chumbador;
k_{10} = fator de eficiência da armadura complementar:

- k_{10} = 1,0 na presença de armadura na superfície para equilíbrio do modelo biela-tirante e armadura complementar em forma de estribos ou ganchos;
- k_{10} = 0,5 quando a armadura complementar for detalhada na forma de estribos ou ganchos e não há armadura na superfície.

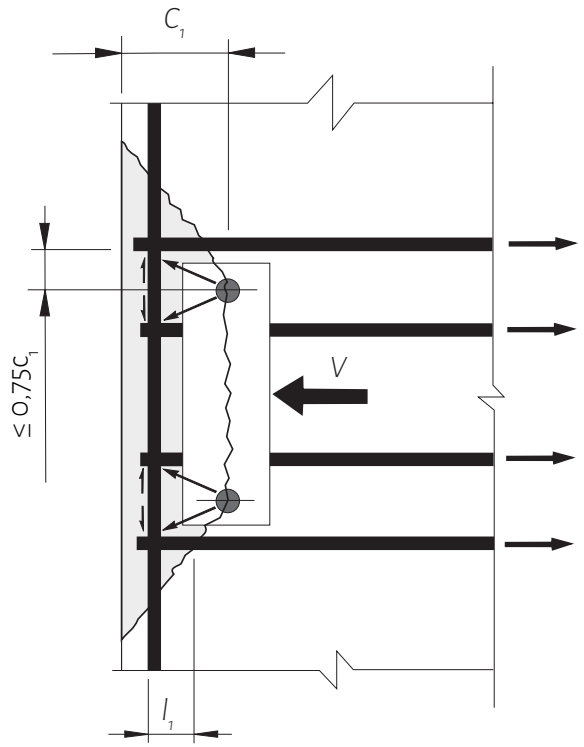


***Figura 10.3** - Chumbador com armadura complementar para resistir a esforços cortantes próximo a borda.*

10.5. Detalhamento da armadura complementar

Nos casos em que a armadura complementar for dimensionada conforme itens 10.3 e 10.4, a verificação da ruptura por falha no cone de concreto pode ser dispensada desde que respeitados todos os requisitos listados abaixo:

- o diâmetro da barra utilizada como armadura complementar deve ser menor ou igual a 16 mm;
- nos casos em que a armadura complementar for dimensionada pelo chumbador mais solicitado, essa mesma armadura deverá ser aplicada para todos os demais chumbadores do grupo;
- a armadura complementar deverá ser posicionada de forma simétrica e a uma distância não superior a 0,75 . h_{ef} do chumbador;
- a armadura complementar deverá estar ancorada no cone de ruptura por um comprimento $l_1 \geq 4Ø$, tanto para armações detalhadas em forma de estribos como com extremidade com dobra;
- a armadura complementar deverá estar ancorada por um comprimento l_{bd} a partir da linha de ruptura conforme apresentado nas Figuras 10.2 e 10.3. O comprimento de ancoragem (l_{bd}) deve ser determinado conforme prescrito na ABNT NBR 6118;
- deve-se adotar uma armadura na superfície, dimensionada de forma a equilibrar os esforços oriundos do modelo biela-tirante (Figuras 10.2 e 10.3). Como simplificação, pode-se considerar o ângulo de 45° para as bielas de compressão no modelo biela-tirante.

Av. Queiroz Filho, 1700 - casa 80
Condomínio Villa Lobos Office Park
Vila Hamburguesa
CEP 05319-000 - São Paulo - SP
abece@abece.com.br
Tel / WhatsApp: (11) 3938-9400
www.abece.com.br
Facebook: ABECE.com.br
Instagram: @abece_associacao
Linkedin: https://www.linkedin.com/in/abece/
Twitter: http://twitter.com/abece_abece

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ENGENHARIA E CONSULTORIA ESTRUTURAL
ABECE

AUTORES DO PRESENTE DOCUMENTO:

Coordenação:
Tiago Garcia Carmona

Equipe de desenvolvimento:
Arthur Ribeiro Melão
Erlane Rayane Clementino
Fabricio da Cruz Tomo
Vanessa Faria Grisolia
Mateus Fram Zoboli
Marco Aurélio Garcia Gonçalves - HILTI
Renato Shimokawa - FISCHER
Wesley Oliveira - ANCORA

Demais colaboradores:
Daniel Simioni - ANCORA
Thorsten Beyer - HILTI
Frederico Machado - TREJOR
Ricardo Muniz – FIXAR Soluções