UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO

FACULDADE DE ARQUITETURA ENGENHARIA E TECNOLOGIA

COORDENAÇÃO DE ENSINO DE ENGENHARIA CIVIL

TRABALHO DE GRADUAÇÃO

RAFAEL GREGIANIN

DIMENSIONAMENTO DE CHUMBADORES MECÂNICOS PÓS-INSTALADOS COM BASE NO ACI 318

CUIABÁ

2014

RAFAEL GREGIANIN

DIMENSIONAMENTO DE CHUMBADORES MECÂNICOS PÓS-INSTALADOS COM BASE NO ACI 318

Trabalho de graduação apresentado ao corpo docente de engenharia civil da Universidade Federal de Mato Grosso como requisito parcial para obtenção do título de bacharel em Engenharia Civil.

Prof. Dr. Manoel Santinho Rodrigues Júnior

Orientador

CUIABÁ

2014

Dados Internacionais de Catalogação na Fonte.

G819d Gregianin, Rafael.
Dimensionamento de chumbadores mecânicos pós-instalados com base no ACI 318 / Rafael Gregianin. -- 2014
44 f. : il. ; 30 cm.

Orientador: Manoel Santinho Rodrigues Júnior.
TCC (graduação em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Mato Grosso, Faculdade de Arquitetura, Engenharia e Tecnologia, Cuiabá, 2014.
Inclui bibliografia.

1. Chumbadores. 2. chumbador pós-instalado. 3. dimensionamento. I. Título.

Ficha catalográfica elaborada automaticamente de acordo com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

Permitida a reprodução parcial ou total, desde que citada a fonte.

RAFAEL GREGIANIN

DIMENSIONAMENTO DE CHUMBADORES MECÂNICOS PÓS-INSTALADOS COM BASE NO ACI 318

TRABALHO DE GRADUAÇÃO APRESENTADO AO CORPO DOCENTE DE ENGENHARIA CIVIL DA UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENÇÃO DO TÍTULO DE BACHAREL.

Aprovado por:

Prof. D.r Manoel Santinho Rodrigues Júnior - Orientador

Prof. D.r Adnauer Tarquínio Daltro - Membro

Alberto R. Dalmaso

Prof. Alberto Rodrigues Dalmaso - Membro

Paulo Celso do Couto Nince

Prof. D.r Paulo Celso do Couto Nince

Coordenador do trabalho de graduação

CUIABÁ

2014

RESUMO

Chumbadores são amplamente utilizados na engenharia civil, principalmente para a fixação de estruturas de aço em concreto e em concreto pré-moldado. Apesar desta importância, ainda não há no Brasil normas para o dimensionamento de chumbadores. Portanto, este trabalho propõe mostrar o processo de dimensionamento de chumbadores mecânicos pós-instalados em concreto estrutural, e para isto, utilizou-se como base o anexo D da norma estadunidense de concreto *American Concrete Institute* (ACI) 318, agregando também outros conhecimentos provenientes de livros, artigos e normas nacionais e internacionais. Foi possível mostrar todos os processos com os quais se pode decretar a ruína de um chumbador e como é calculada a resistência referente a cada tipo de ruptura. Ao final, realizou-se um estudo de caso, onde se utilizou com sucesso os conhecimentos presentes no trabalho para verificar a ligação entre um perfil de aço e uma base de concreto, utilizando 6 chumbadores para a fixação.

Palavras-Chave: Chumbadores. Chumbadores pós-instalados. Dimensionamento.

ABSTRACT

Anchors are widely used in civil engineering, mainly for the fixture of pre-cast concrete and steel elements to concrete. Despite its importance, there is still no code for the design of anchors in Brazil. Therefore, this work aims to show the process to design post-installed mechanical anchors in structural concrete, following the American code ACI 318, and also gathering knowledge from national and international sources. All failure processes and the method to calculate the resistances of each of them were shown. At last, the information presented in this work was successfully used to solve a problem, in which a steel element fixed in a concrete base through 6 anchors was checked.

Key-Words: Anchors. Post-installed Anchors. Design.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Tabela de resistência de chumbador mecânico. 14
Figura 3 - Instalação de chumbador de segurança. 15
Figura 4 - Instalação de chumbador de expansão por torque. 15
Figura 5 - Chumbador de expansão por percussão. 16
Figura 6 - Elementos de ancoragem com chumbadores 17
Figura 7 - (a) Ancoragem mecânica. (b) Atrito. (c) Aderência. 17
Figura 8 - Distribuição de tensões em chumbador de expansão por torque. 18
Figura 9 - Ruptura no aço do chumbador em esforço normal e cisalhante. 19
Figura 10 - Configuração de ruptura do cone de concreto 19
Figura 11 - Ruína local na face lateral do concreto. 20
Figura 12 - Configurações típicas da ruptura por fendilhamento. 21
Figura 13 - Ruptura por arrancamento em chumbador de expansão. 21
Figura 14 - (a) Chumbador antes e depois de ser submetido à teste de tensão cisalhante. 22
Figura 15 - (a) Chumbador longe de bordas desenvolvendo uma alavanca.
(b) Chumbador próximo a uma borda com sua área de ruptura limitada 23
Figura 16 - Resultado dos testes de ruptura com ruína do cone de concreto em função da profundidade efetiva. 24
Figura 17 - Histograma das cargas de ruptura reais em razão da calculada. 25
Figura 18 - Visualização da área utilizada para o cálculo de A_{Nc0}. 26
Figura 19 - Exemplos de área efetiva projetada 27
Figura 20 - Carregamento excêntrico em grupo de chumbadores. 27
Figura 21 - Resistência do grupo de chumbadores em relação ao aço. 29
Figura 22 - Fendilhamento do concreto ocorrido durante instalação do chumbador. 30
Figura 23 - Chumbador submetido a esforço cisalhante. 32
Figura 24 - Ruptura do concreto com chumbador instalado longe de bordas. 33
Figura 25 - Perfil de aço fixado a membro de concreto 36
Figura 26 - Esquema estático 37

LISTA DE SÍMBOLOS

$\mathbf{A_{Nc}}$ = Projeção da área de ruína do concreto de um chumbador ou grupo.

$\mathbf{A_{Nc0}}$ = Projeção da área de ruína de um chumbador.

$\mathbf{A_{se}}$ = Área da seção transversal do chumbador.

$\mathbf{c_{ac}}$ = Distância crítica à borda requerida para desenvolver a resistência do cone de concreto

$\mathbf{c_{a,máx}}$ = Maior das distâncias entre chumbador e borda.

$\mathbf{c_{a,mín}}$ = Menor das distâncias entre chumbador e borda.

$\mathbf{c_{a1}}$ = Distância até a borda na mesma direção da força cisalhante

$\mathbf{c_{a2}}$ = Distância até a borda na direção perpendicular a c_{a1}.

$\mathbf{d_0}$ = Diâmetro externo do chumbador.

$\mathbf{e'_N}$ = Excentricidade. Tomada como a distância entre a resultante das tensões e o centroide do grupo de chumbadores.

$\mathbf{f_{ck}}$ = Resistência característica do concreto aos 28 dias.

$\mathbf{f_{yk}}$ = Resistência característica do aço ao escoamento.

$\mathbf{f_{uk}}$ = Resistência característica à ruptura do aço.

$\mathbf{h_{ef}}$ = Profundidade efetiva de embutimento, definida como a distância entre a superfície do concreto até o fim da zona de transferência de forças.

$\mathbf{l_e}$ = Extensão do carregamento.

n = Número de chumbadores.

$\mathbf{F_{cc0}}$ = Força de resistência do cone de concreto sem os coeficientes de modificação

$\mathbf{F_{cc,k}}$ = Força de resistência do cone de concreto, aplicados os coeficientes de modificação.

$\mathbf{F_{ccg,k}}$ = Força de resistência do cone de concreto, com grupo de chumbadores, aplicados os coeficientes de modificação.

$\mathbf{F_{bk}}$ = Força de resistência característica ao escorregamento do chumbador.

$\mathbf{F_{sk}}$ = Força de resistência característica do chumbador governado pela ruína do aço.

$\mathbf{s_x}$ = Distância entre chumbadores no eixo x.

$\mathbf{s_y}$ = Distância entre chumbadores no eixo y.

$\mathbf{V_{cc,0}}$ = Força de resistência a esforço cortante sem os coeficientes de modificação.

$\mathbf{V_{cc,k}}$ = Força de resistência a esforço cortante, aplicado os coeficientes de modificação.

$\mathbf{V_{ccg,k}}$ = Força de resistência a esforço cortante de um grupo de chumbadores, aplicado os coeficientes de modificação.

$\mathbf{V_{pk}}$ = Força de resistência a esforço cortante de chumbador longe de bordas.

$\mathbf{V_{pg,k}}$ = Força de resistência a esforço cortante de grupo de chumbadores longe de bordas.

$\mathbf{V_{sk}}$ = Força de resistência característica do chumbador sob cisalhamento governado pela ruína do aço.

$\mathbf{\Psi_{c,N}}$ = Coeficiente de modificação baseado na presença ou não de fissuras no concreto.

$\mathbf{\Psi_{cp,N}}$ = Coeficiente de modificação para chumbadores a serem usados em concreto não fissurado.

$\mathbf{\Psi_{ec,N}}$ = Coeficiente de modificação baseado na excentricidade dos esforços.

$\mathbf{\Psi_{ed,N}}$ = Coeficiente de modificação baseado nas distâncias do chumbador até bordas livres.

$\mathbf{\Psi_{c,V}}$ = Coeficiente de modificação para chumbadores em cisalhamento referente a presença de fissuras no concreto.

$\mathbf{\Psi_{ed,V}}$ = Coeficiente de modificação para chumbadores em cisalhamento referente às distâncias do chumbador até borda livre.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO 10

1.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS 10

1.2 OBJETIVOS E JUSTIFICATIVA 10

1.3 DELIMITAÇÃO DO TEMA 11

1.4 PROBLEMA E HIPÓTESES 11

2 MÉTODO E MATERIAIS 12

2.1 Coleta de dados 12

2.2 Pesquisa bibliográfica 12

2.3 Métodos 12

3 REVISÃO 13

3.1 ESTADO DA ARTE NO BRASIL 13

3.2 CHUMBADORES PÓS-INSTALADOS 14

3.2.1 Chumbadores de segurança (*undercut anchors)* 14

3.2.2 Chumbadores de expansão por torque *(torque-controlled anchors)* 15

3.2.3 Chumbadores de expansão por percussão *(Displacement-controlled anchors)* 16

3.3 ELEMENTOS DE UM SISTEMA DE ANCORAGEM 16

3.4 MECANISMOS DE TRANSFERÊNCIA DE CARGA 17

3.5 MECANÍSMOS DE RUÍNA 18

3.5.1 Ruína sob tensão normal 18

3.5.1.1 Ruptura no aço do chumbador 18

3.5.1.2 Ruptura no cone de concreto 19

3.5.1.3 Ruptura da face lateral 20

3.5.1.4 Ruptura por fendilhamento 20

3.5.1.5 Ruptura por escorregamento do chumbador 21

3.5.2 Ruína sob tensão cisalhante 22

3.5.2.1 Ruptura do aço 22

3.5.2.2 Ruptura do concreto próximo e longe de bordas 22

4 DIMENSIONAMENTO DE CHUMBADORES PÓS-INSTALADOS EM CONCRETO 24

4.1 CHUMBADORES SUBMETIDOS À TRAÇÃO 24

4.1.1 Resistência à ruptura do cone de concreto 24

4.1.2 Resistência ao escorregamento 29

4.1.3 Resistência a ruptura no aço do chumbador 29
4.1.4 Resistência a ruptura da face lateral 30
4.1.5 Resistência a ruptura por fendilhamento 30
4.2 CHUMBADORES SUBMETIDOS AO CISALHAMENTO 31
4.2.1 Ruptura do aço 31
4.2.2 Ruptura do concreto longe de bordas (*Pry-out*) 32
4.2.3 Ruína do concreto próximo a bordas 34
5 ESTUDO DE CASO 36
6 CONCLUSÃO 42
REFERÊNCIAS 43

1 INTRODUÇÃO

1.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

Utilizados principalmente na fixação de pilares de aço e pré-moldados a seus blocos de fundação, os chumbadores atuam na transmissão das forças e, sendo assim, o correto dimensionamento destes é vital para a segurança de muitas estruturas. Os estudos para um método de dimensionamento de chumbadores iniciaram-se na década de 70. Dentre os métodos produzidos, três deles obtiveram maior sucesso: o método do ACI 349, o método 'κ' e o método da capacidade do concreto (CC). O último sendo o atual, constando no anexo D do *American Concrete Institute* (ACI) 318.

1.2 OBJETIVOS E JUSTIFICATIVA

Este trabalho tem como objetivo geral estudar o método de dimensionamento de chumbadores denominado CC (capacidade do concreto) contido no ACI 318, e em especial, os chumbadores mecânicos pós-instalados.

O objetivo específico é mostrar o processo de cálculo para chumbadores mecânicos pós-instalados em concreto estrutural, englobando todos os tipos de ruína, partindo do anexo D do ACI 318 e por fim realizar um estudo de caso englobando todos os conhecimentos adquiridos.

Apesar da grande importância, a literatura existente no país é muito escassa, diferentemente de países como Estados Unidos e Alemanha, onde o assunto já foi e continua sendo extensamente estudado. Este trabalho adiciona conteúdo proveniente de estudos internacionais ao alcance de pesquisadores e profissionais brasileiros.

No Brasil, ainda não existem normas sobre o dimensionamento de chumbadores, e o projeto é muitas vezes feito em função de dados publicados pelos fabricantes, tornando empresas dependentes de tabelas, que não englobam todas as variáveis envolvidas nos projetos de chumbadores, como diferentes resistências características do concreto, distância às bordas, distância entre chumbadores, espessura da peça estrutural, entre outros.

1.3 DELIMITAÇÃO DO TEMA

Processo de cálculo para o dimensionamento de chumbadores mecânicos pós-instalados em concreto estrutural, utilizando como base a norma ACI 318-08 e publicações de Rolf Eligehausen, pesquisador com maior contribuição na área de fixadores.

1.4 PROBLEMA E HIPÓTESES

Procura-se neste trabalho responder a questão: Como é feito o dimensionamento dos chumbadores mecânicos pós-instalados? Para isto, foi adotado 3 hipóteses.

- É possível modelar teoricamente a resistência do chumbador para diferentes tipos de solicitação.
- É possível desenvolver um modelo de projeto para diferentes modos de ruptura dos chumbadores.
- Consegue-se adaptar o método de projeto do ACI para os conceitos da NBR 6118.

2 MÉTODO E MATERIAIS

2.1 Coleta de dados

A coleta de dados foi toda bibliográfica, não havendo fontes testemunhais ou experimentais.

2.2 Pesquisa bibliográfica

A bibliografia consultada consistiu em livros, normas e artigos nacionais e internacionais sobre o assunto, com especial enfoque ao anexo D do ACI 318, e o livro Anchorage in Concrete Construction de Rolf Eligehausen, o qual reúne uma grande variedade de publicações que deram origem aos métodos de dimensionamento de chumbadores.

2.3 Métodos

1. Estudo aprofundado do modelo do ACI e do ASTM C39 com o objetivo de identificar as propriedades do material envolvidas nos modelos teóricos de determinação de resistência dos chumbadores.

2. Estudo dos diferentes tipos de sistemas de chumbadores e os princípios que regem seu comportamento quando solicitado.

3. Estudo do Método da Capacidade do Concreto, utilizado pelo anexo D do ACI 318 para o dimensionamento de chumbadores.

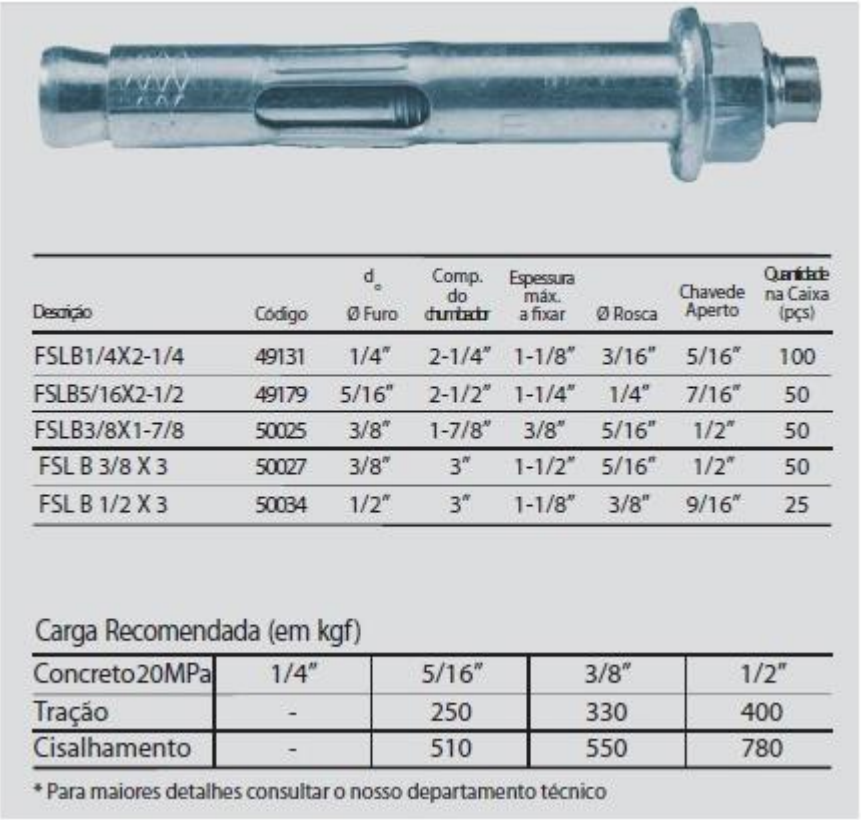
3 REVISÃO

3.1 ESTADO DA ARTE NO BRASIL

As normas acerca de chumbadores disponíveis nacionalmente são: NBR 14827:2002, baseada no ASTM E-488:1996, tratando dos métodos de ensaio destinados a determinação de resistência à tração e cisalhamento de chumbadores pré e pós-instalados; NBR 14918:2002, baseada no ACI 355.2, refere-se a avaliação de desempenho em chumbadores mecânicos pós-instalados, e estabelece critérios para determinar se os chumbadores são aceitáveis apenas para uso em concreto não sujeito a fissuração, ou para uso indiferentemente em concreto sujeito ou não a fissuração; NBR 15049:2004, baseada no ASTM E-1512, trata da determinação de desempenho de chumbadores químicos.

Entretanto, nenhuma norma engloba o dimensionamento, sendo este feito com frequência com base em tabelas de resistência divulgadas pelos fabricantes (figura 1), as quais possuem limitações como a resistência característica do concreto, ou a obrigatoriedade de manter distâncias entre chumbadores e até borda elevadas para que se possa chegar à resistência exposta.

Figura 1 - Tabela de resistência de chumbador mecânico.



Descrição	Código	d_o Ø Furo	Comp. do chumbador	Espessura máx. a fixar	Ø Rosca	Chavede Aperto	Quantidade na Caixa (pçs)
FSLB1/4X2-1/4	49131	1/4"	2-1/4"	1-1/8"	3/16"	5/16"	100
FSLB5/16X2-1/2	49179	5/16"	2-1/2"	1-1/4"	1/4"	7/16"	50
FSLB3/8X1-7/8	50025	3/8"	1-7/8"	3/8"	5/16"	1/2"	50
FSL B 3/8 X 3	50027	3/8"	3"	1-1/2"	5/16"	1/2"	50
FSL B 1/2 X 3	50034	1/2"	3"	1-1/8"	3/8"	9/16"	25

Carga Recomendada (em kgf)

Concreto20MPa	1/4"	5/16"	3/8"	1/2"
Tração	-	250	330	400
Cisalhamento	-	510	550	780

* Para maiores detalhes consultar o nosso departamento técnico

Fonte: Fischer Brasil.

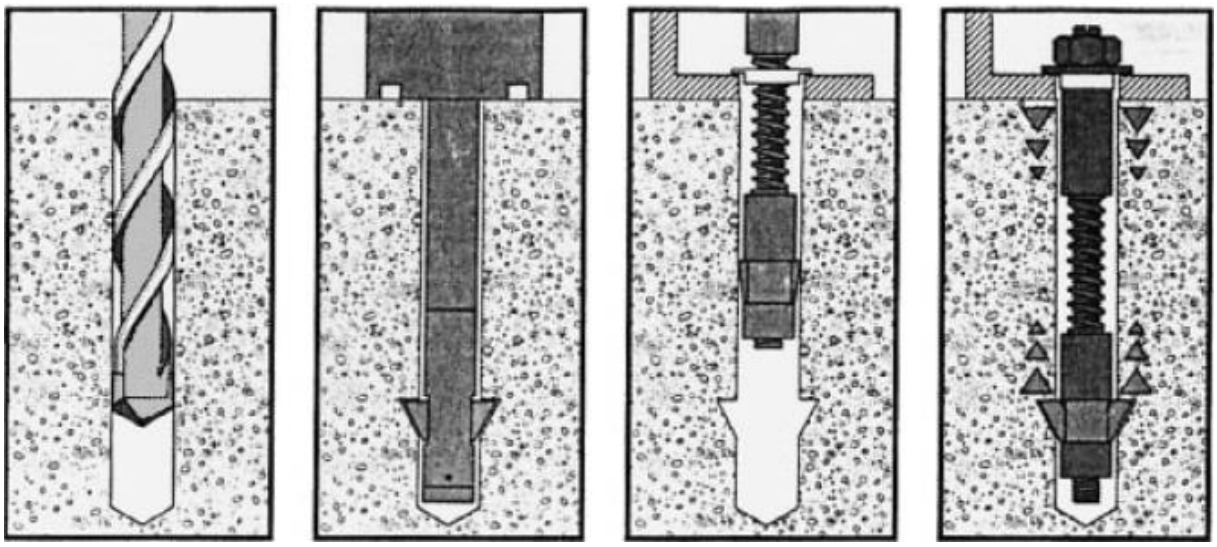
3.2 CHUMBADORES PÓS-INSTALADOS

Classifica-se como pós-instalado os chumbadores introduzidos através de furos broqueados ou cravados mecanicamente no concreto já endurecido. É listado aqui os tipos mais comuns de chumbadores pós-instalados, lembrando que chumbadores químicos também são classificados como pós-instalados, porém são omitidos por não serem o foco deste trabalho.

3.2.1 Chumbadores de segurança (*undercut anchors)*

De acordo com a NBR 14827 (2002), chumbadores de segurança são definidos por obter sua força de ancoragem pela expansão de uma parte do chumbador dentro de um trecho no fundo do furo, que é maior em diâmetro do que o restante. A seção de diâmetro aumentado do furo pode ser pré-alargada (visto na figura 2) ou alargada através do processo de expansão, durante a aplicação do chumbador.

Figura 2 - Instalação de chumbador de segurança.

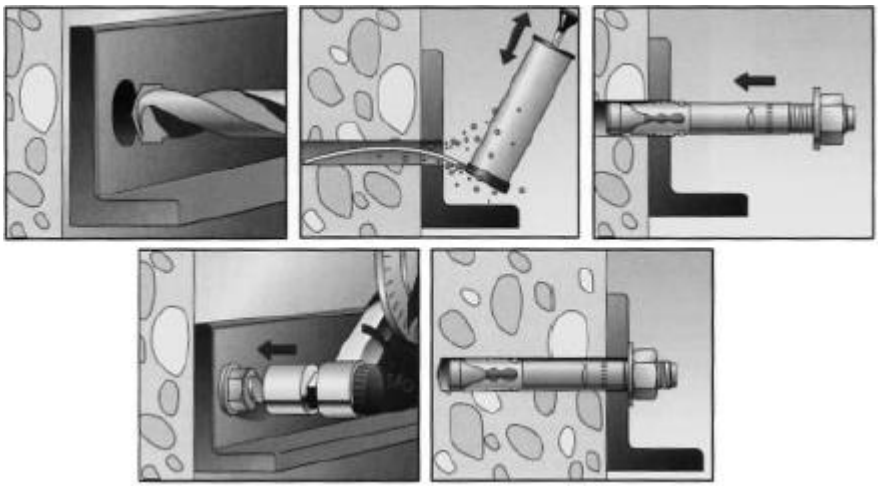


Fonte: Eligehausen, 2006.

3.2.2 Chumbadores de expansão por torque *(torque-controlled anchors)*

De acordo com a NBR 14918 (2002), chumbadores de expansão adquirem sua resistência através do movimento de expansão de jaquetas contra a lateral do furo no concreto. O método que se utiliza para a expansão destas jaquetas determina se dado chumbador é de expansão por torque ou por percussão.

Figura 3 - Instalação de chumbador de expansão por torque.



Fonte: Eligehausen, 2006.

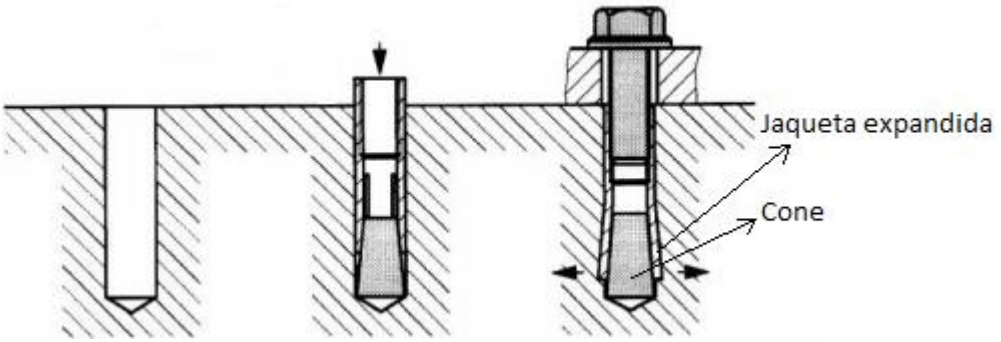
A instalação, conforme vista na figura 3, é feita inicialmente com a perfuração do concreto até profundidade desejada, o furo deve então ser limpo com o uso de ar comprimido para eliminação dos detritos, insere-se o chumbador e por fim com o auxilio de um

torquímetro aplica-se torque pré-estabelecido ao chumbador, para que a camisa se prenda à face lateral do concreto.

3.2.3 Chumbadores de expansão por percussão *(Displacement-controlled anchors)*

Diferentemente dos expansíveis por torque, os chumbadores de expansão por percussão são instalados golpeando-se o chumbador dentro do furo contra um cone metálico de diâmetro superior ao do chumbador (figura 4), forçando assim que suas jaquetas se expandam e prendam-se à parede do furo.

Figura 4 - Chumbador de expansão por percussão.



Eligehausen et. al. (2006) acentua que se o diâmetro do furo for muito pequeno, a força de expansão gerada pode lascar ou fendilhar o concreto. Por outro lado, se o diâmetro for muito grande, a jaqueta de expansão não pressionará a parede do furo suficientemente, e a capacidade de resistência do chumbador será diminuída. Além disso, se o concreto possuir alta resistência à compressão (maior que 50 MPa por exemplo), pode ser fisicamente impossível realizar a expansão do chumbador no grau desejado.

3.3 ELEMENTOS DE UM SISTEMA DE ANCORAGEM

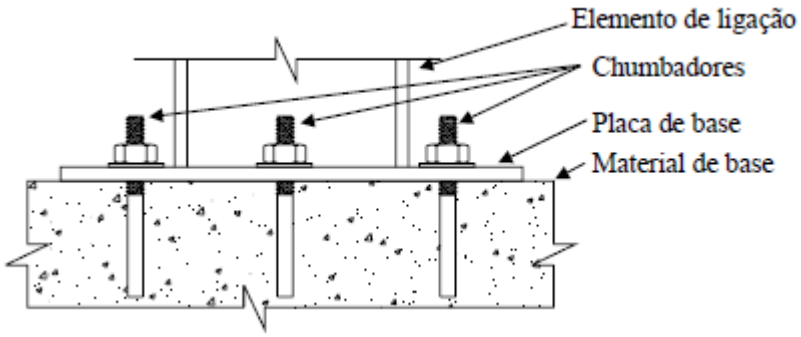
A maioria dos sistemas de ancoragem é composta pelos elementos mostrados na figura 5.

Os elementos de ligação são os que transferem as cargas de serviço aos elementos fixadores. Em geral, são perfis de aço soldados em uma placa de base.

Chumbadores são os elementos responsáveis por transferir os esforços recebidos, diretamente para o material de base. Geralmente, são compostos por barras metálicas com a parte embutida no material de base com formas diversas, e a extremidade superior pode estar soldada na placa de base ou ser rosqueada para posterior fixação com porcas e arruelas.

Material de base é onde os chumbadores ficam embutidos.

Figura 5 - Elementos de ancoragem com chumbadores

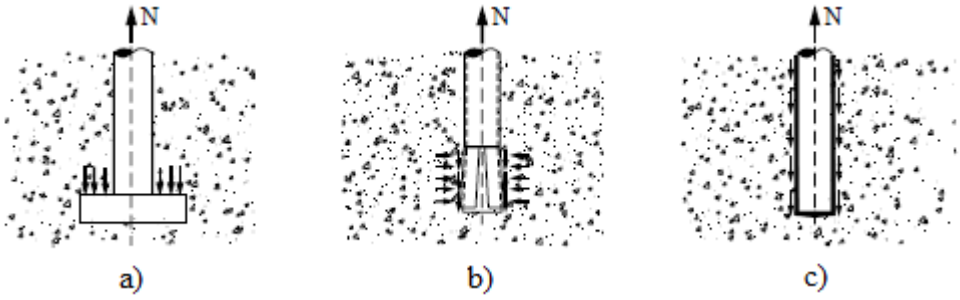


Fonte: Martins, 2006.

3.4 MECANISMOS DE TRANSFERÊNCIA DE CARGA

Os chumbadores tracionados resistem aos esforços transferindo as cargas ao material em que estão embutidos de três maneiras (figura 6):

Figura 6 - (a) Ancoragem mecânica. (b) Atrito. (c) Aderência.



Fonte: Martins, 2006.

A ancoragem mecânica geralmente realiza a transferência dos esforços na cabeça do chumbador (parte alargada na em sua base), onde se desenvolvem elevadas tensões de compressão. Chumbadores pré-instalados em geral utilizam esta forma de ancoragem.

Ancoragem por atrito é típico de chumbadores de expansão, onde jaquetas são pressionadas contra a parede do furo, criando o atrito responsável por manter o chumbador em sua profundidade instalada. Este tipo de chumbador é o foco deste trabalho, juntamente com os chumbadores de segurança. Sua distribuição de tensões, vista na figura 7, irradia-se a partir da zona de transferência de forças, a qual acontece na base do chumbador onde as jaquetas estão em contato com a parede do furo de concreto.

Figura 7 - Distribuição de tensões em chumbador de expansão por torque.

Fonte: Seghezzi, 1983 apud Eligehausen, 2006.

Na ancoragem por aderência, a transferência ocorre ao longo de toda a extensão do chumbador embutido no concreto. Mecanismo típico de chumbadores químicos.

3.5 MECANÍSMOS DE RUÍNA

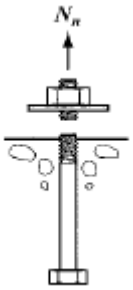
3.5.1 Ruína sob tensão normal

3.5.1.1 Ruptura no aço do chumbador

Eligehausen et. al. (2006) afirma que a ruptura no aço do chumbador representa o limite superior na capacidade de resistência de um sistema, sendo este um tipo raro de ruína, acontecendo apenas em concretos de alta resistência. Uma curva tensão-deformação dúctil resulta se o aço é dúctil e se existe comprimento suficiente do pino para que o prolongamento ocorra.

Os chumbadores devem ser instalados da forma mais justa possível, prevenindo o afrouxamento no estado de serviço. Por outro lado, deformações visíveis no estado limite último são desejáveis, tornando uma ruína iminente reconhecível. Estes dois critérios são dificilmente atingíveis em chumbadores que tipicamente exibem a ruptura do cone de concreto ou fendilham, sendo assim, a ruptura no aço é o método de ruína mais almejado.

Figura 8 – Ruptura no aço do chumbador em esforço normal e cisalhante.



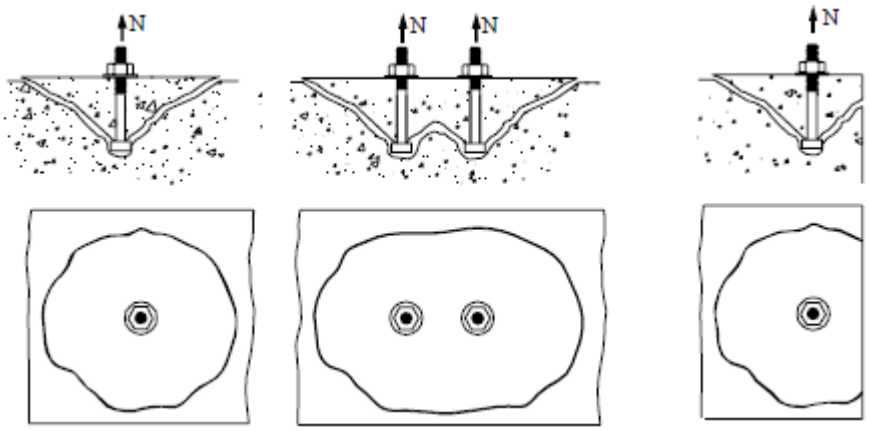
Fonte: ACI 318.

3.5.1.2 Ruptura no cone de concreto

A ruptura no cone de concreto é caracterizada pela formação de fratura em forma aproximadamente cônica, a qual é relativamente frágil. Para um grupo de chumbadores com pequeno espaçamento pode haver superposição de cones individuais, e para chumbadores próximos a uma borda livre, o cone de ruptura terá volume limitado, como visto na figura 9.

A carga que provocará a ruptura em forma de cone depende da resistência do concreto à tração e do tamanho da massa de concreto que pode ser mobilizada para resistir aos esforços aplicados. Portanto, o aumento na profundidade efetiva de embutimento aumentará o valor da resistência, enquanto a proximidade entre chumbadores ou a uma borda terá influencia negativa.

Figura 9 – Configuração de ruptura do cone de concreto



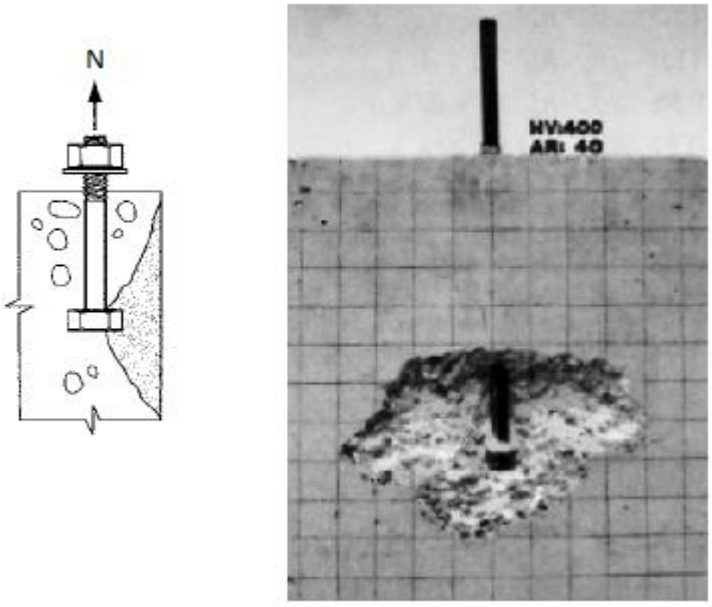
Fonte: Martins, 2006.

3.5.1.3 Ruptura da face lateral

Ao serem tracionados, pinos com cabeça instalados próximo a uma ou mais bordas, independente de sua profundidade de embutimento, podem gerar ruptura na face lateral do concreto.

A resistência à ruptura lateral depende da resistência do concreto à tração, da distância do chumbador até uma borda livre, e do diâmetro da cabeça do chumbador. A ruptura na face lateral do concreto é rara, visto que pode ser evitada colocando-se armadura apropriada em torno da cabeça do chumbador.

Figura 10 – Ruína local na face lateral do concreto.



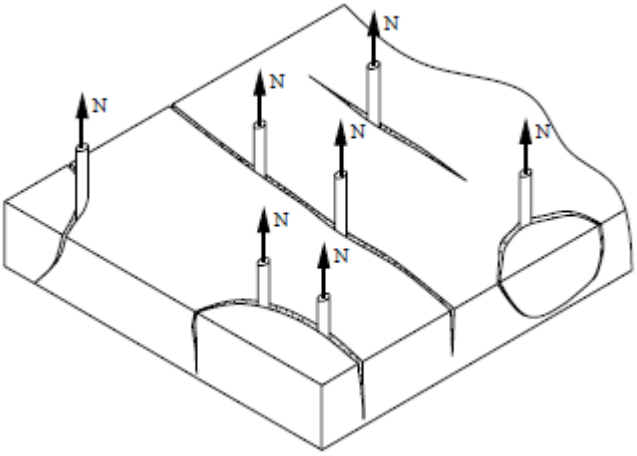
Fonte: ACI 318; Furche e Eligehausen, 1991.

3.5.1.4 Ruptura por fendilhamento

Para Eligehausen (2006), a ruína do chumbador devido ao fendilhamento do concreto ocorre principalmente quando as dimensões do material base são limitadas. Assim, procura-se evitar este tipo de ruína aumentando a distância do chumbador à borda, o espaçamento entre os chumbadores ou a espessura do bloco de concreto.

O fendilhamento é especialmente relevante nos sistemas de ancoragem onde a transferência de esforços se dá por ancoragem mecânica ou por atrito.

Figura 11 – Configurações típicas da ruptura por fendilhamento.



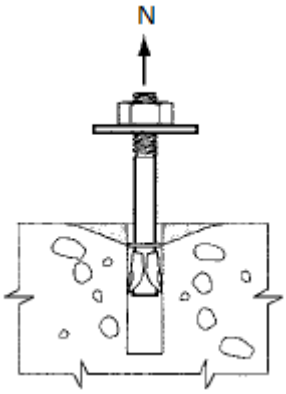
Fonte: Martins, 2006.

3.5.1.5 Ruptura por escorregamento do chumbador

A ruína por escorregamento é caracterizada pela retirada do chumbador do furo, podendo o concreto em sua proximidade estar danificado ou não.

Este tipo de ruptura é mais provável em chumbadores de expansão, onde a força de expansão não provoca atrito suficiente para manter o chumbador na profundidade instalada, ou em chumbadores com cabeça onde o diâmetro da cabeça é próximo do diâmetro do chumbador. A probabilidade deste tipo de ruína acontecer diminui com o aumento da cabeça do chumbador.

Figura 12 – Ruptura por arrancamento em chumbador de expansão.



Fonte: ACI 318.

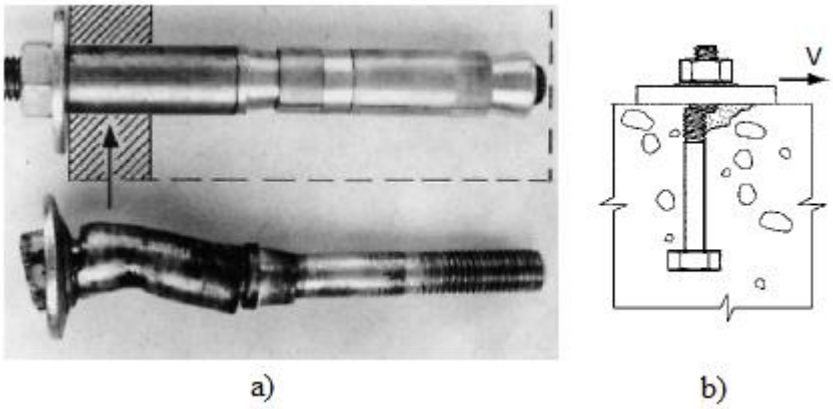
3.5.2 Ruína sob tensão cisalhante

3.5.2.1 Ruptura do aço

Chumbadores carregados sob esforços cisalhantes exibem ruptura no aço quando a distância às bordas e a profundidade de instalação são suficientemente grandes, ocorrendo quebra do concreto nos arredores do furo, precedendo a ruptura do chumbador.

Chumbadores feitos de aços dúcteis podem desenvolver deformações relativamente grandes durante a ruína.

Figura 13 – (a) Chumbador antes e depois de ser submetido à teste de tensão cisalhante.
(b) ruptura do aço precedida pela quebra do concreto.



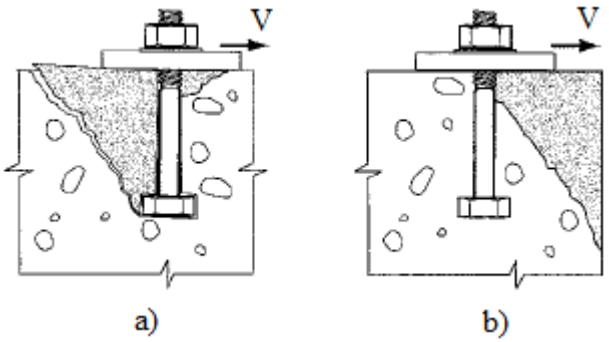
Fonte: Eligehausen e Pusill-Wachtsmuth, 1982; ACI 318.

3.5.2.2 Ruptura do concreto próximo e longe de bordas

Chumbadores com esforços cisalhantes na direção de uma borda livre podem desenvolver uma superfície de ruptura parcialmente cônica no concreto, com origem no ponto de carregamento e radiando até a superfície livre.

Chumbadores com embutimento limitado podem desenvolver um braço de alavanca quando solicitados por esforço cortante, capaz de quebrar e arrancar o concreto nas proximidades do chumbador.

Figura 14 – (a) Chumbador longe de bordas desenvolvendo uma alavanca.
(b) Chumbador próximo a uma borda com sua área de ruptura limitada



Fonte: ACI 318.

4 DIMENSIONAMENTO DE CHUMBADORES PÓS-INSTALADOS EM CONCRETO

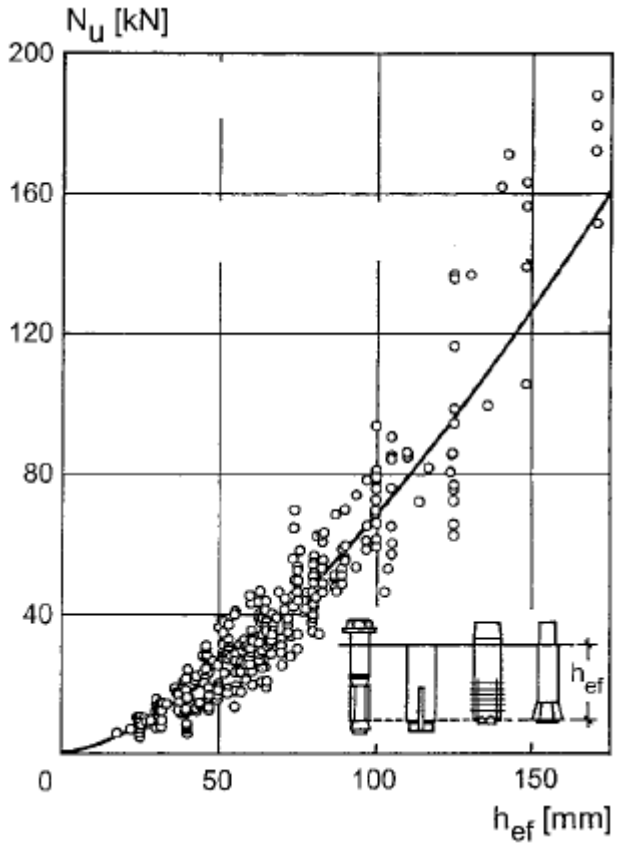
4.1 CHUMBADORES SUBMETIDOS À TRAÇÃO

4.1.1 Resistência à ruptura do cone de concreto

Neste trabalho é mostrado o método da Capacidade do Concreto (CC), exposto no anexo D do ACI 318.

Desenvolvido por Fuchs, Eligehausen e Breen (1995), o método apresenta equações formuladas empiricamente, de acordo com o resultado de 519 testes de ruptura (Figura 15), em corpos de prova onde as bordas não exerciam influência.

Figura 15 - Resultado dos testes de ruptura com ruína do cone de concreto em função da profundidade efetiva.



Fonte: Fuchs, Eligehausen e Breen, 1995 apud Eligehausen, 2006.

Assim, desenvolveu-se a equação (1), para resistência de chumbador mecânico pré e pós-instalado embutido em concreto de peso normal, considerando 35° o ângulo de ruptura do cone de concreto.

$$F_{cc0} = k_c \sqrt{f_{ck}} h_{ef}^{1,5} \quad (1)$$

Onde para obter o resultado em Newtons, usa-se:

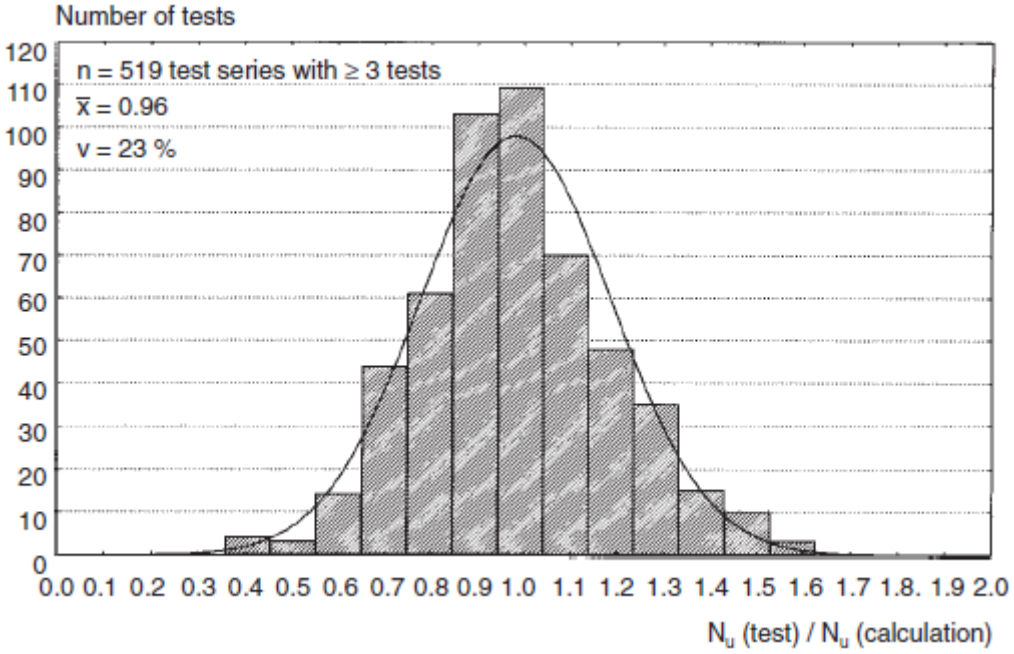
k_c = 7 para chumbadores pós-instalados, porém é permitido k_c = 10 quando h_{ef} > 28 cm.

h_{ef}, definido como a distância entre a superfície do concreto e o fim da zona de transferência de forças, deve ser usado em milímetro.

f_{ck} em MPa

A equação (1) decorreu de trabalho experimental em que foram utilizados 519 corpos de prova. A estatística da investigação está representada na figura 16.

Figura 16 - Histograma das cargas de ruptura reais em razão da calculada.



Fonte: Fuchs, Eligehausen e Breen, 1995 apud Eligehausen, 2006.

A figura 16 é uma distribuição normal de frequência dos valores $N_{teste}/N_{calculado}$, possui os parâmetros Média = 0,96 e Coeficiente de Variação = 23%, que segundo Eligehausen (1995), é explicado devido aos testes terem sido conduzidos com diferentes tipos de chumbadores em concretos de diferentes resistências. Em testes onde foram utilizados apenas um tipo de chumbador e um tipo de concreto, a variação das cargas de ruptura permaneceu abaixo dos 10%, valor compatível com o da força de tração do concreto.

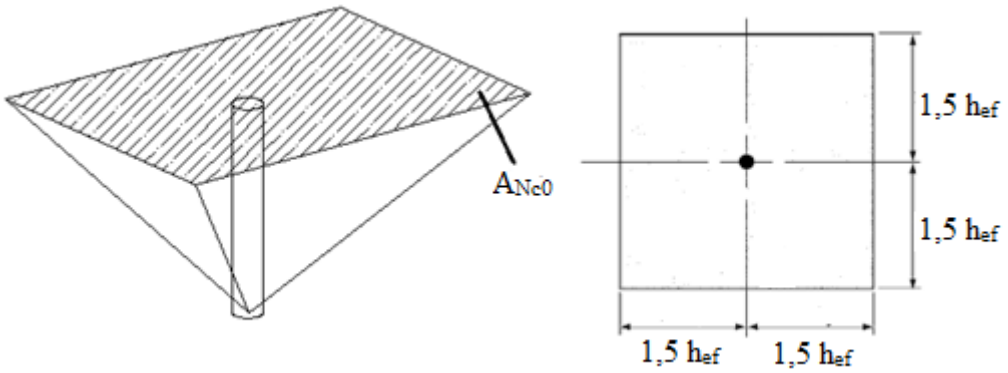
Baseado nesta investigação, Fuchs, Eligehausen e Breen (1995), aprimoraram incluindo parâmetros que levam em consideração a excentricidade do carregamento, presença de bordas e fissuras.

$$F_{cc,k} = \frac{A_{Nc}}{A_{Nco}} \psi_{ed,N} \psi_{c,N} \psi_{cp,N} F_{cc0} \tag{2}$$

$$F_{ccg,k} = \frac{A_{Nc}}{A_{Nco}} \psi_{ec,N} \psi_{ed,N} \psi_{c,N} \psi_{cp,N} F_{cc0} \tag{3}$$

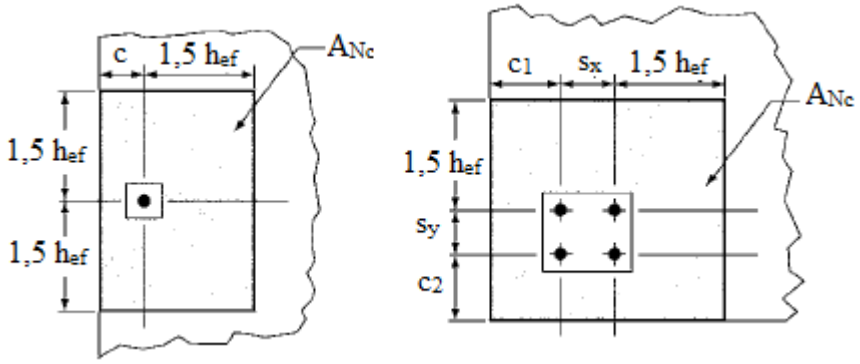
A_{Nc0} é a área projetada da superfície de ruptura com um chumbador, desconsiderando as distâncias até as bordas. Esta área é formada utilizando-se um modelo em forma de pirâmide (figura 17), de modo a simplificar o cálculo, visto que em métodos anteriores como o do ACI 349, a superfície com círculos gerava interseções complexas de cones.

Figura 17 – Visualização da área utilizada para o cálculo de A_{Nc0}.



A_{Nc} é a área efetiva projetada da superfície de ruptura com um ou mais chumbadores, considerando aqui as limitações que as distâncias até as bordas ou entre chumbadores podem trazer. A figura 18 mostra alguns exemplos de A_{Nc} presentes no ACI 318.

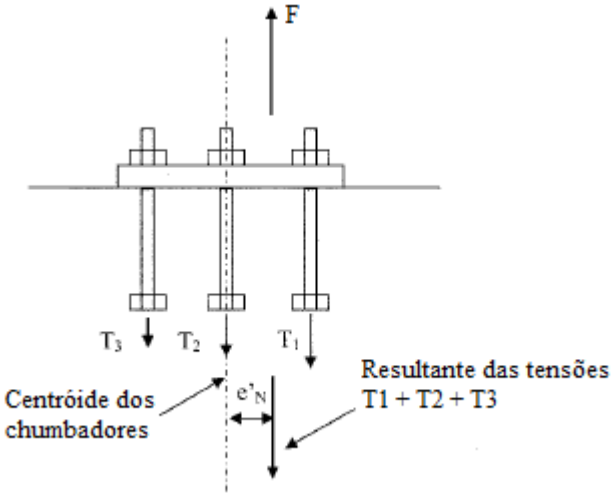
Figura 18 - Exemplos de área efetiva projetada



Fonte: ACI 318.

Nos casos em que há carregamento excêntrico em um grupo de chumbadores, como exemplificado na figura 19, o coeficiente $\Psi_{ec,N}$ deve ser considerado.

Figura 19 - Carregamento excêntrico em grupo de chumbadores.



Fonte: ACI 318.

O coeficiente de modificação para grupo de chumbadores carregados excentricamente é:

$$\psi_{ec,N} = \frac{1}{\left(1+\frac{2e'_N}{3h_{ef}}\right)} \leq 1.0 \quad (4)$$

Deve-se observar:

- Se o carregamento é tal que somente alguns chumbadores estão sendo tracionados, somente estes devem ser usados no calculo de e'$_N$.
- Se houver carregamento excêntrico em 2 eixos, o coeficiente de modificação $\Psi_{ec,N}$ deve ser calculado individualmente para cada eixo, e o produto destes, utilizado em $N_{cbg.}$

O coeficiente de modificação para o efeito de bordas em um único chumbador, ou grupo de chumbadores é:

$$\psi_{ed,N} = 1 \quad se \quad c_{a,\min} \geq 1{,}5h_{ef}$$

$$\psi_{ed,N} = 0{,}7 + 0{,}3\frac{c_{a,\min}}{1{,}5h_{ef}} \quad se \quad c_{a,\min} < 1{,}5h_{ef} \tag{5}$$

Onde $c_{a,min}$ é a menor distância do chumbador a uma das bordas do concreto.

Chumbadores localizados em região do concreto onde análises não indicam haver fissuração sob carregamento de serviço, o coeficiente $\Psi_{c,N}$ = 1,4 é permitido caso o valor de k_c utilizado foi 7. Caso verifique-se que haverá fissuração, $\Psi_{c,N}$ = 1.

O coeficiente de modificação para chumbadores pós-instalados, projetados para concreto não fissurado, sem armadura suplementar para controlar fendilhamento é:

$$\psi_{cp,N} = 1 \quad se \quad c_{a,\min} \geq c_{ac}$$

$$\psi_{cp,N} = \frac{c_{a,\min}}{c_{ac}} \geq \frac{1{,}5h_{ef}}{c_{ac}} \quad se \quad c_{a,\min} < c_{ac} \tag{6}$$

Onde a distância crítica de borda c_{ac}, segundo o ACI 318, é:

Chumbadores de segurança (*undercut anchors*).....$2{,}5h_{ef}$

Chumbador de expansão por torque (*torque-controlled anchors)*.....$4h_{ef}$

Chumbador de expansão por percussão (*Displacement-controlled anchors)*.....$4h_{ef}$

4.1.2 Resistência ao escorregamento

Segundo o ACI 318, a resistência ao escorregamento de um chumbador pós-instalado não é determinável por meio de equações devido aos diversos tipos de mecanismos de ancoragem presentes nos chumbadores disponíveis no mercado. Deste modo, esta resistência deve ser encontrada por meio de testes de ruptura, normatizados no ACI 355.2.

Permite-se aumentar a resistência ao escorregamento em 40% caso o chumbador seja projetado para uso em região sem o aparecimento de fissuras.

4.1.3 Resistência a ruptura no aço do chumbador

De acordo com Eligehausen (2006), a resistência a ruptura no aço de um chumbador pode ser calculada pelo produto da área da seção transversal com a tensão de ruptura característica do aço.

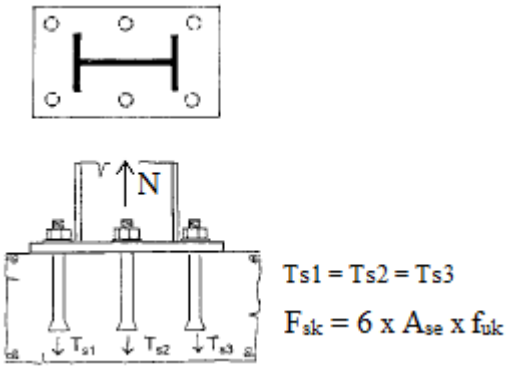
$$F_{sk} = A_{se} f_{uk} \tag{8}$$

Onde f_{uk} não deve ser maior que $1{,}9f_{yk}$ ou 860 MPa.

De acordo com o ACI 318, a resistência do chumbador é melhor representada pela tensão de ruptura f_{uk} do aço, em consequência da grande maioria dos chumbadores serem constituídos de aço sem ponto de escoamento bem definido.

Em caso de grupo de chumbadores como exemplificado na figura 20, a resistência a ruptura é calculada multiplicando-se o número de chumbadores carregados pela resistência do chumbador isolado, dada na equação (8).

Figura 20 - Resistência do grupo de chumbadores em relação ao aço.



Fonte: Eligehausen, 2006.

Eligehausen (2006) afirma que se o sistema está carregado de forma excêntrica, então os esforços em cada chumbador são geralmente calculados assumindo comportamento elástico, ou seja, o chumbador com o maior carregamento determina a carga de ruptura do grupo.

A carga de ruptura associada ao rompimento do aço não é influenciada pela armação do concreto.

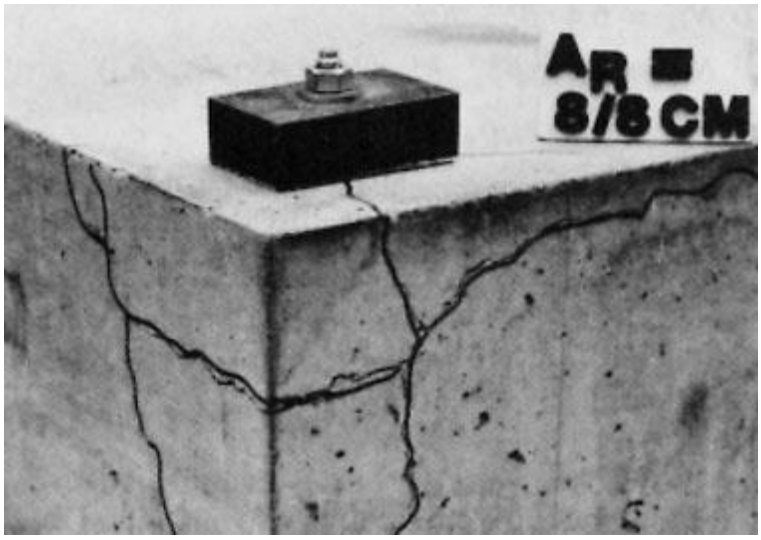
4.1.4 Resistência a ruptura da face lateral

A ruptura da face lateral pode ocorrer quando pinos com cabeça são instalados próximo das bordas do concreto, sendo *próximo* definido pelo ACI 318 como distâncias menores que $0{,}4h_{ef}$. Porém, nestas distâncias, as tensões decorrentes da instalação de chumbadores pós-instalados produzirão a ruína por fendilhamento. Sendo assim, a ruptura da face lateral é exclusiva dos chumbadores pré-instalados.

4.1.5 Resistência a ruptura por fendilhamento

De acordo com Eligehausen (2006), os chumbadores de segurança e de expansão geram durante sua instalação, tensões radiais nas paredes do concreto devido à expansão das jaquetas, provocando assim o fendilhamento do concreto (figura 21). O valor dessas tensões depende da magnitude do torque aplicado e também da geometria e atrito característico do chumbador na zona de expansão.

Figura 21 - Fendilhamento do concreto ocorrido durante instalação do chumbador.



Fonte: Rehm, Eligehausen e Mallée, 1988 apud Eligehausen, 2006.

Os fatores que influenciarão na capacidade de um sistema de resistir ao fendilhamento são: resistência do concreto, espessura do membro no qual o chumbador está embutido, distância à borda ou canto, e no caso de grupo de chumbadores, a distância entre elementos.

Assim, o ACI 318 fornece dimensões mínimas para evitar o fendilhamento, dispostas na tabela 1 e consideradas pelo próprio como conservadoras, porém admite valores menores caso realize-se testes específicos do produto de acordo com o ACI 355.2.

Tabela 1 – Distâncias mínimas necessárias para evitar fendilhamento.

Tipo de chumbador	Distância entre chumbadores	Distância até borda
Chumbador de segurança	$6d_0$	$6d_0$
Chumbador de expansão por torque	$6d_0$	$8d_0$
Chumbador de expansão por percussão	$6d_0$	$10d_0$

É limitado ainda o embutimento do chumbador, não podendo adentrar mais que 2/3 do material base, devendo este ter no mínimo 10 cm de espessura.

Eligehausen (2006) completa afirmando que a armadura paralela à borda auxilia na absorção das forças causadoras do fendilhamento e, embora não ser capaz de evitar a criação de fissuras, ela atua impedindo seu alargamento excessivo.

4.2 CHUMBADORES SUBMETIDOS AO CISALHAMENTO

4.2.1 Ruptura do aço

A força cisalhante necessária para romper o aço de um chumbador é o produto entre a área de sua seção transversal (A_{se}) e a tensão de ruptura do aço (f_{uk}), vezes um coeficiente α. Este coeficiente foi introduzido após vários autores constatarem uma grande variação na relação carga real de ruptura/carga calculada de ruptura. Assim, Fuchs e Eligehausen (1986), com o resultado de aproximadamente 220 testes e utilizando diferentes sistemas de chumbadores pós-instalados, chegaram ao valor $\alpha = V_{sk}(real)/V_{sk}(calculado) = 0,68$. Entretanto, os autores citados argumentam que a real resistência à ruptura do aço é 1,1 a 1,2 vezes maior que seu valor nominal, resultando assim no coeficiente posteriormente adotado pelo ACI 318, $\alpha = 0,6$.

$$V_{s,k} = \alpha A_{se} f_{uk} \quad (9)$$

Onde:

α = 0,6 para chumbadores pós-instalados

De acordo com o ACI 318, a resistência de um grupo de chumbadores é teoricamente *n* vezes o valor dado na equação (9), onde *n* é o número de chumbadores. No entanto, Eibl e Schürmann (1982) demonstraram experimentalmente que nos seguintes casos haverá clara redução na carga de ruptura:

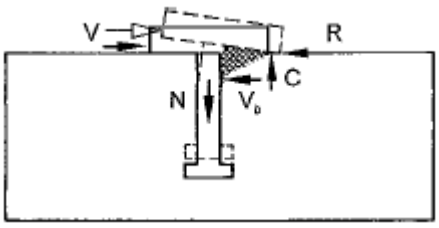
- Se os chumbadores possuírem capacidade insuficiente de deformação plástica
- Se os chumbadores forem instalados em orifícios maiores dos que os permissíveis
- Se o sistema consistir de mais de 3 chumbadores consecutivos colineares com a direção da força aplicada.

Nestes casos, Fuchs e Eligehausen (1990) recomendam uma redução de 20% no valor de α.

4.2.2 Ruptura do concreto longe de bordas (*Pry-out*)

O mecanismo de carregamento de um chumbador sujeito a esforço cisalhante é esquematizado por Zhao (1993) na figura 22.

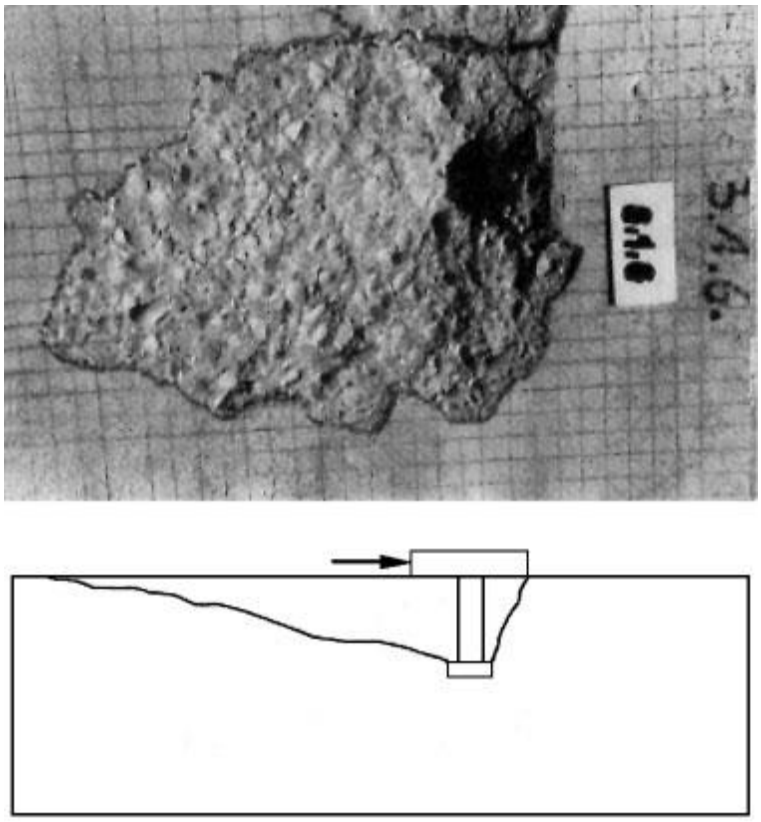
Figura 22 - Chumbador submetido a esforço cisalhante.



Fonte: Zhao, 1993.

Caso força cortante V suficiente esteja sendo aplicada, a placa de base irá girar e perder contato com o concreto no lado carregado, dando origem a uma força de compressão C entre a placa de base e o concreto. A ruína configura-se quando a alavanca criada projeta o rompimento de uma área de concreto em forma de concha atrás do chumbador.

Figura 23 - Ruptura do concreto com chumbador instalado longe de bordas.



Fonte: Zhao, 1993.

A resistência de um chumbador, ou grupo de chumbadores longe de bordas é definida por Eligehausen e Lehr (1993) sendo, respectivamente:

$$V_{p,k} = k_{cp} F_{cc,k} \tag{10}$$

$$V_{pg,k} = k_{cp} F_{ccg,k} \tag{11}$$

Onde:

K_{cp} = 1 para chumbadores com $h_{ef} < 6$ cm

K_{cp} = 2 para chumbadores com $h_{ef} \geq 6$ cm

$F_{cc,k}$ definido na equação (2)

$F_{ccg,k}$ definido na equação (3)

A profundidade efetiva requerida para prevenir este tipo de ruína dependerá da resistência do aço utilizado, diâmetro do chumbador e resistência do concreto. Em grupos de chumbadores, o espaçamento entre elementos também é relevante. Portanto, a profundidade efetiva necessária poderá variar substancialmente.

4.2.3 Ruína do concreto próximo a bordas

Os chumbadores submetidos a esforços cisalhantes perpendiculares à borda, e próximo desta, podem entrar em ruína devido ao rompimento do concreto antes de atingir a resistência total do aço do chumbador.

Para o cálculo da resistência de um chumbador localizado próximo a uma ou mais bordas, Fuchs (1984) utilizou de métodos empíricos para o desenvolvimento da seguinte equação:

$$V_{cc0} = 0{,}6\left(\frac{l_e}{d_0}\right)^{0,2}\sqrt{d_0}\sqrt{f_{ck}}\left(c_{a1}\right)^{1,5} \tag{12}$$

Onde para obter resultado em Newtons usa-se c_{a1}, d_0 e l_e em milímetros e f_{ck} em MPa

c_{a1} é a distância até a borda, tomada no mesmo sentido da força aplicada

l_e é a extensão do carregamento, igual a $2d_0$ para chumbadores de expansão e igual a h_{ef} para todos os outros, porém nunca maior que $8d_0$.

O cálculo da resistência de chumbadores submetidos a cisalhamento, presente no ACI 318 fundamenta-se neste estudo, e inclui os parâmetros referentes aos efeitos das bordas, excentricidade e fissuras.

$$V_{cc,k} = \frac{A_{Vc}}{A_{Vco}}\psi_{ed,V}\psi_{c,V}V_{cc0} \tag{13}$$

$$V_{ccg,k} = \frac{A_{Vc}}{A_{Vco}}\psi_{ec,V}\psi_{ed,V}\psi_{c,V}V_{cc0} \tag{14}$$

Analogamente ao item 3.1.1, A_{Vc} é a projeção retilínea da área que se romperá, e A_{Vc0} a maior área mobilizável, utilizando-se um ângulo médio de 35° na ruptura do cone de concreto.

O coeficiente $\Psi_{ec,V}$ refere-se à excentricidade do carregamento no sistema, e é definido por:

$$\psi_{ec,V} = \frac{1}{\left(1+\frac{2e'_V}{3c_{a1}}\right)} \leq 1.0 \quad (15)$$

O coeficiente $\Psi_{ed,V}$ refere-se ao efeito das bordas em um único chumbador ou grupo de chumbadores, e é definido por:

$$\psi_{ed,V} = 1 \text{ se } c_{a2} \geq 1{,}5c_{a1}$$

$$\psi_{ed,V} = 0{,}7 + 0{,}3\frac{c_{a2}}{1{,}5c_{a1}} \text{ se } c_{a2} < 1{,}5c_{a1} \quad (16)$$

Onde c_{a2} é a distância até a borda do concreto, tomada perpendicular a c_{a1}.

No caso de chumbadores projetados para uso em região onde não ocorrerão fissuras sob carregamento de serviço, permite-se o seguinte coeficiente:

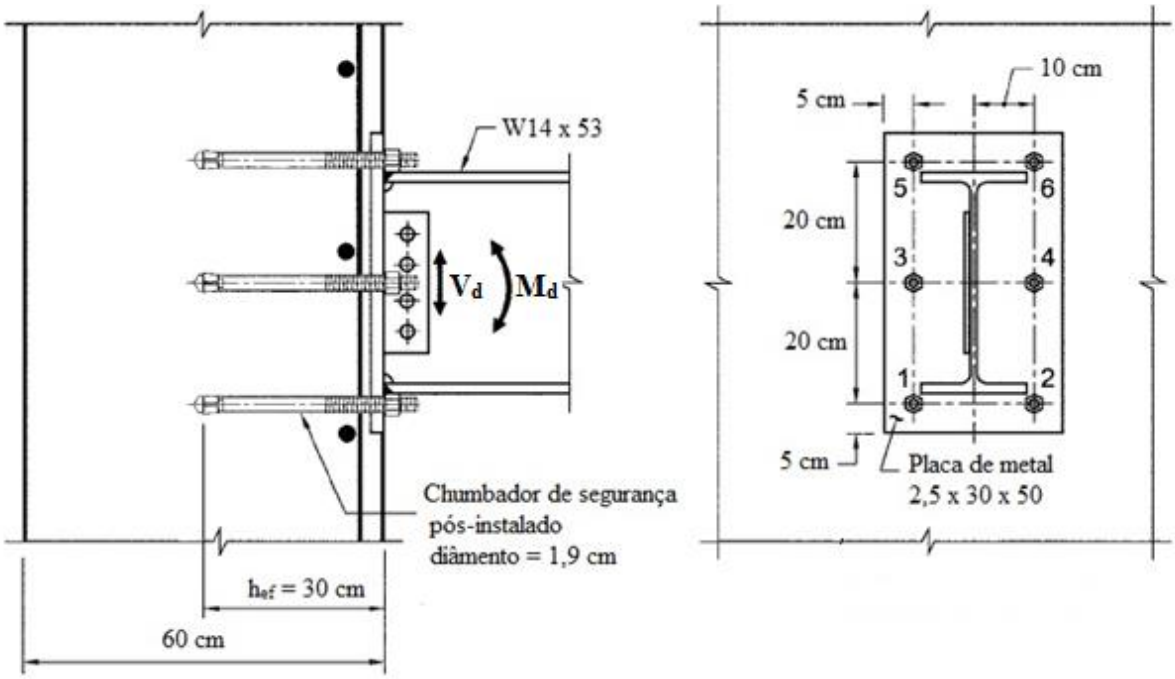
$$\psi_{c,V} = 1{,}4$$

Caso contrario $\Psi_{c,V}$ = 1,0

5 ESTUDO DE CASO

Deseja-se verificar a conexão entre uma viga de aço (ASTM A992) e um elemento de concreto (f_{ck} 30 MPa). A ligação foi realizada utilizando uma placa de base de aço ASTM A36, com 6 chumbadores de segurança, de diâmetro 1,9 cm e com profundidade efetiva de embutimento de 30 cm no concreto, localizados em região onde as bordas não exercem influência. O sistema está submetido a momento reversível de projeto de 6,8 kN.m e uma força cortante também reversível de 89 kN.

Figura 24 – Perfil de aço fixado a membro de concreto

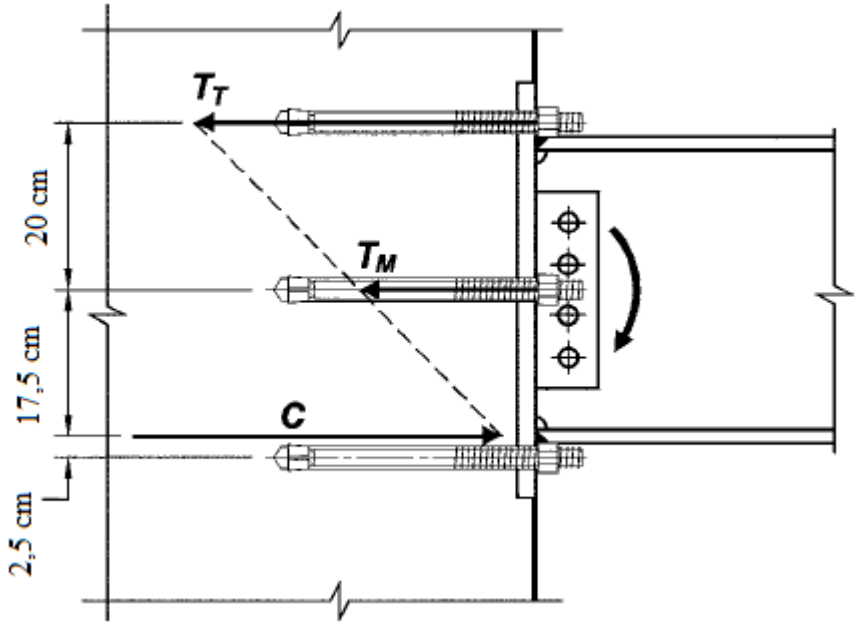


Fonte: ACI 355.3R-11.

1.° Passo: Determinação dos esforços nos chumbadores.

Supondo que a reação de compressão esteja localizada no local mais desfavorável, ou seja, no centro de uma das almas, o esquema estático será:

Figura 25 - Esquema estático



Fonte: ACI 355.3R-11.

Onde:

T_T é a reação nos chumbadores 5 e 6.

T_M é a reação nos chumbadores 3 e 4.

$$\sum M = 0$$

$$37{,}5(2T_T) + 17{,}5(2T_M) = 6{,}8\ kN.m$$

$$\therefore \quad T_T = 2{,}14T_M$$

Assim, $T_M = T_3 = T_4 = 3{,}43kN$

E $T_T = T_5 = T_6 = 7{,}34kN$

Finalmente $N_d = 2 \times 3{,}43 + 2 \times 7{,}34 = 21{,}54kN$

2.° Passo: Determinação da força normal resistente de projeto.

- **Em relação à ruína do aço**

$$f_u = 400MPa < \left\{ \begin{matrix} 860MPa \\ 1{,}9 \times f_y = 1{,}9 \times 250MPa = 475MPa \end{matrix} \right\} \rightarrow OK$$

Área efetiva da seção transversal do chumbador:

$$A_{se} = 2{,}15cm^2$$

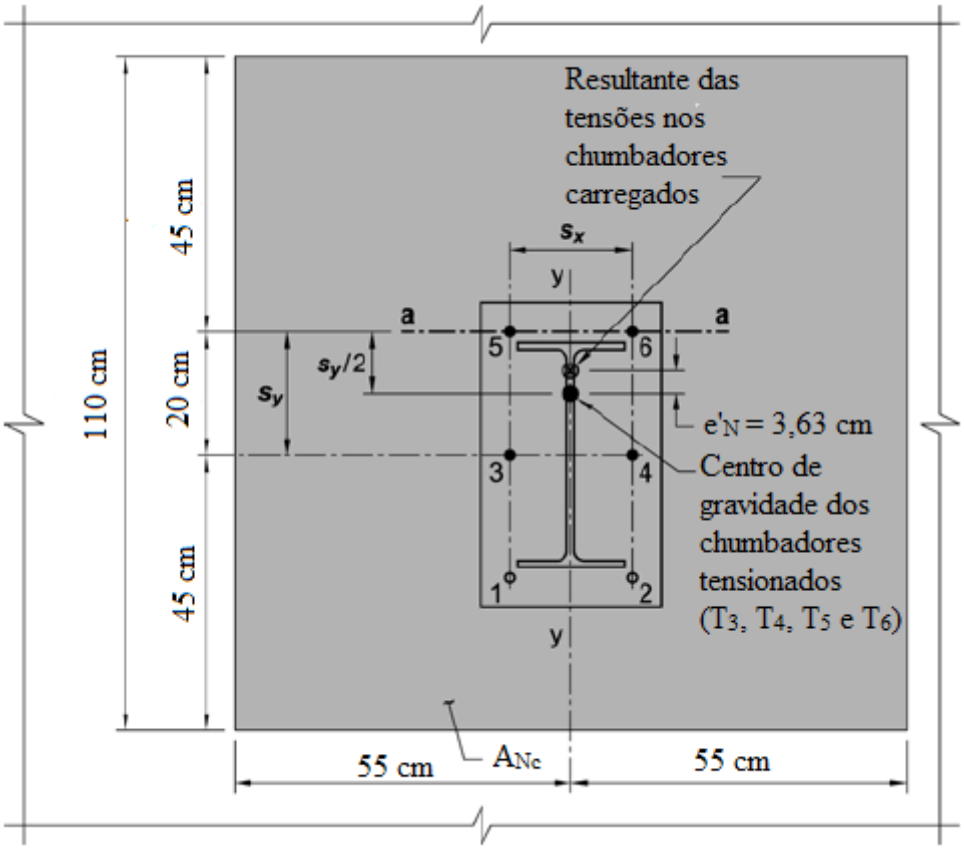
$$F_{sk} = n A_{se} f_u = 4 \times 2{,}15cm^2 \times 400MPa = 344kN$$

- **Em relação ao cone de concreto**

Primeiramente deve-se determinar a relação entre a área de concreto que os chumbadores carregados estão mobilizando e a maior área possível de ser mobilizada por um chumbador isolado ($9h_{ef}^2$, como visto no item 3.1.1).

Assim, $A_{Nc0} = 9h_{ef}^2 = 9 \times 30^2 = 8100cm^2$

$$A_{Nc} = (55+55) \times (45+20+45) = 12100cm^2$$



Em seguida, determinam-se os coeficientes de modificação relativos à excentricidade, bordas, e fissuras.

Excentricidade na direção y em relação ao centro de gravidade dos chumbadores tensionados:

$$e'_N = \frac{s_y}{2} - \frac{(T_3 + T_4)s_y}{N_k} = \frac{20}{2} - \frac{(3{,}43 + 3{,}43)20}{21{,}54} = 3{,}63cm$$

$$\psi_{ec,N} = \frac{1}{\left(1 + \frac{2e'_N}{3h_{ef}}\right)} = \frac{1}{\left(1 + \frac{2 \times 3{,}63}{3 \times 30}\right)} = 0{,}92$$

Por se tratar de chumbadores situados longe de bordas, $\psi_{ed,N} = 1{,}0$

No presente estudo não há informações que comprovem o não aparecimento de fissuras no concreto, portanto $\psi_{c,N} = 1{,}0$ e $\psi_{cp,N} = 1{,}0$.

A seguir, no cálculo da resistência básica do concreto foi utilizado coeficiente k_c igual a 10, o qual é permitido devido a grande profundidade de embutimento (maior que 28 centímetros), em situações normais utiliza-se $k_c = 7$.

$$F_{cc0} = k_c \sqrt{f_{ck}}\, h_{ef}{}^{1,5} = 10\sqrt{30000} \times 0{,}3^{1,5} = 284kN$$

Considerando agora os coeficientes de modificação:

$$F_{ccg,k} = \frac{A_{Nc}}{A_{Nco}} \psi_{ec,N} \psi_{ed,N} \psi_{c,N} \psi_{cp,N} F_{cc0} = \frac{12100}{8100} \times 0{,}92 \times 1 \times 1 \times 1 \times 284 = 390kN$$

- **Em relação ao escorregamento dos chumbadores.**

A resistência de um chumbador ao escorregamento é definida somente por testes experimentais, visto a grande variedade de mecanismos de ancoragem em chumbadores pós-instalados.

Assim, é fornecido pelo fabricante do chumbador em questão $F_{bk} = 500$ kN.

- **Em relação à ruína da face lateral**

Não aplicável no presente estudo devido ao fato dos chumbadores estarem localizados em região afastada de qualquer borda.

Resumo das resistências de projeto à tração.

Modo de ruína	Coeficiente de segurança	Resistência de projeto (kN)
Aço	1,15	300
Cone de concreto	1,4	280
Escorregamento	1,4	355
Face lateral	1,4	Não aplicável

3.° Passo: Determinação da força cisalhante resistente de projeto.

- **Em relação ao aço**

$V_{sk} = n 0{,}6 A_{se}\, f_{uk} = 6 \times 0{,}6 \times 2{,}15 cm^2 \times 400 MPa = 310$ kN (para o grupo de 6 chumbadores)

- **Em relação à ruína do concreto**

A resistência de um sistema à ruína do concreto longe de bordas (*pry-out*) é definida por:

$$V_{pg,k} = k_{cp}\, F_{ccg,k}$$

Para chumbadores com $h_{ef} > 6$ cm, utiliza-se $k_{cp} = 2{,}0$

$f_{ccg,k} = 390$ kN, como visto no passo 2.

Portanto $V_{pk} = 2{,}0 \times 390 = 780 KN$

Resumo das resistências de projeto ao cisalhamento:

Modo de ruína	Coeficiente de segurança	Resistência de projeto (kN)
Aço	1,15	270
Concreto longe de borda	1,4	560

4.° Passo: Verificar o sistema quanto ao fendilhamento

$$h_{ef} = 30\,cm < \frac{2}{3}\, do\ material\ \ base = 40\,cm \rightarrow OK$$

Distância mínima entre chumbadores de segurança: $6d_o = 11{,}4$ cm

$s_x = s_y = 20$ cm $> 11{,}4 \rightarrow$ OK

Conclusão

A conexão usando 6 chumbadores de segurança, com diâmetro externo de 1,9 cm e profundidade efetiva de embutimento de 30 cm, é adequada para o suporte das forças aplicadas. A ruína do grupo de chumbadores, quando pela tração será governada pelo cone de cone de concreto, e quando ocorrer devido ao cisalhamento, pelo aço.

6 CONCLUSÃO

Este trabalho mostrou o processo de dimensionamento de chumbadores mecânicos pós-instalados em concreto estrutural com base no ACI 318, finalizando com um estudo de caso, onde se aplicou com sucesso os conhecimentos apresentados.

As hipóteses foram parcialmente confirmadas, pois foi visto que é possível modelar teoricamente a resistência de chumbadores para diferentes tipos de solicitação. Porém, durante os estudos verificou-se que para chumbadores pós-instalados, não existem modelos de projeto para os modos de ruptura do fendilhamento e da ruptura da face lateral, devido a características específicas de cada tipo e marca de chumbador pós-instalado. Sendo assim, evita-se o acontecimento destes adotando distâncias mínimas de segurança entre chumbadores e até bordas. Confirmou-se também a possibilidade de adaptar o modelo de projeto do ACI 318 para os conceitos da NBR 6118 visto que as equações estão todas em função de parâmetros geométricos e da resistência característica do concreto à compressão, a qual é determinada pelo ASTM C39 da mesma forma que as normas brasileiras.

Por fim, sugere-se a extensão deste trabalho englobando o dimensionamento de chumbadores pré-instalados e chumbadores químicos pós-instalados.

REFERÊNCIAS

AMERICAN CONCRETE INSTITUTE. ACI 318: **Building code requirements for structural concrete and commentary (ACI 318M – 05).** Appendix D – Anchoring to concrete, Detroit. 2005.

AMERICAN CONCRETE INSTITUTE. ACI 355.2: **Qualification of post-installed mechanical anchors in concrete and commentary.** Detroit, 2007.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. ASTM E-488: **Standard test methods for strength of anchors in concrete elements.** 1996.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. ASTM E-1512: **Standard test methods for testing bond performance of bonded anchors.** 2007.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. ASTM C39: **Standard test method for compressive strength of cylindrical concrete specimens.** 2004.

Eligehausen, R., Mallée, R. & Silva, J. **Anchorage in concrete construction.** 1. Ed. Ernst & Sohn, 2006.

ELIGEHAUSEN, R, PUSILL-WACHTSMUTH, P. **Stand der Befestigungstechnik im Stahlbetonbau.** Periódico IVBH, Alemanha, 1982.

FURCHE, J, ELIGEHAUSEN, R. **Lateral blow-out failure of headed studs near a free edge.** In: **Anchors in Concrete, design and behavior.** American Concrete Institute, Detroit, 1991, p. 235-252.

MARTINS, J.D. **Resistência a tração de chumbadores com placa de ancoragem instalados em concreto.** Dissertação Mestrado. UnB, Brasília, 2006.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6118: **Projeto e execução de obras de concreto armado.** Rio de Janeiro. 2001

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 9062: **Projeto e execução de estruturas de estrutura de concreto pré-moldado.** Rio de Janeiro. 1985

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 14827: **Chumbadores instalados em elementos de concreto ou alvenaria – Determinação de resistência à tração e ao cisalhamento.** Rio de Janeiro. 2002.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15049: **Chumbadores de adesão química instalados em elementos de concreto ou de alvenaria estrutural - Determinação do desempenho.** Rio de Janeiro. 2004.

ZHAO, G. **Tragverhalten von Kopfbolzenverankerungen bei Betonbruch.** Tese Doutorado. Universität Stuttgart, 1993.