



UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO
CENTRO TECNOLÓGICO
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL
PROJETO DE GRADUAÇÃO

JOHN PAZINI DE DEUS

DIMENSIONAMENTO DE LIGAÇÕES DE BASES DE PILARES DE AÇO COM
ENRIJECEDORES

VITÓRIA

2022

JOHN PAZINI DE DEUS

**DIMENSIONAMENTO DE LIGAÇÕES DE BASES DE PILARES DE AÇO COM
ENRIJECEDORES**

Projeto de Graduação do aluno John Pazini de Deus, apresentado ao Departamento de Engenharia Civil do Centro Tecnológico da Universidade Federal do Espírito Santo, para obtenção do grau de Engenheiro Civil.

Orientador: Prof. Dr. Macksuel Soares de Azevedo.

VITÓRIA

2022

UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO

**DIMENSIONAMENTO DE LIGAÇÕES DE BASES DE PILARES DE AÇO COM
ENRIJECEDORES**

JOHN PAZINI DE DEUS

Projeto de Graduação do aluno John Pazini de Deus, apresentado ao Departamento de Engenharia Civil do Centro Tecnológico da Universidade Federal do Espírito Santo, para obtenção do grau de Engenheiro Civil.

Aprovado em: 05/04/2022.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Macksuel Soares de Azevedo (Orientador)
Universidade Federal do Espírito Santo (UFES)

Profa. Dra. Adenílcia Fernanda Grobério Calenzani
Universidade Federal do Espírito Santo (UFES)

Prof. Dr. Marcos Antônio Campos Rodrigues
Universidade Federal do Espírito Santo (UFES)

AGRADECIMENTOS

Primeiramente gostaria de agradecer aos meus pais, Jocilene e Waldemar, por todo apoio e dedicação para que eu chegasse até aqui, espero que eu tenha conseguido dar o orgulho e a felicidade que vocês merecem.

Aos meus amigos, pela companhia, pelo suporte e pelos momentos compartilhados.

Ao Matheus, por esses anos juntos, sempre sendo uma pessoa incrível na minha vida.

Ao professor Macksuel, por me dar uma chance e por todo o apoio neste trabalho.

Agradeço ao CMEI “Magnólia Dias Miranda Cunha”, a escola EMEF “Eliane Rodrigues dos Santos”, ao SENAI “Araçás - Centro de Educação Profissional Hécio Rezende Dias”, a escola EEEFM “Irmã Maria Horta” e, por fim, a Universidade Federal do Espírito Santo. Obrigado aos professores, servidores, técnicos e colegas que tive, pelos anos de aprendizado, de experiências vividas e pela contribuição para minha formação acadêmica e profissional.

John Pazini de Deus

RESUMO

O dimensionamento das ligações de bases de pilares de aço em blocos de concreto é fundamental para uma estrutura segura e estável. Este trabalho aborda o dimensionamento de placa de base de pilares de perfis I, H, tubulares retangulares e circulares, de acordo com os esforços solicitantes de compressão e momento fletor com e sem enrijecedores. Os elementos da ligação dimensionados são as placas de base e os enrijecedores. A planilha eletrônica para validação dos cálculos foi desenvolvida no *Microsoft Office Excel*, e apresenta como resultado a verificação de ligações de bases de pilares, com base nos cálculos demonstrados em fluxogramas de dimensionamento. Como validação, foram verificados exemplos de ligações de placas de base com enrijecedores encontrados em literatura técnica. Os resultados obtidos foram satisfatórios e comprovaram a economia em peso de aço ao se utilizar enrijecedores em ligações de aço e concreto.

Palavras-chave: Estruturas de aço. Bases de pilares de aço. Interface Aço-Concreto. Ligações em estruturas de aço. Enrijecedores.

ABSTRACT

The design of the connections of steel columns in concrete is fundamental for a safe and stable structure. This study addresses the design of I, H, rectangular tubular, and circular tubular pillar plate bases with stiffeners, according to the compression forces and bending moment. The design connection elements analyzed are the base plates and stiffeners. The electronic spreadsheet for validating the calculations was developed in *Microsoft Office Excel*, and presents as a result the verification of column bases connections, based on the calculations shown in dimensioning flowcharts. As a validation, examples of base plate connections found in the technical literature were verified, entering the data in the worksheet. The results obtained were satisfactory and proved the economy by weight of steel when using stiffeners in steel and concrete connections.

Keywords: Steel structures. Steel pillar bases. Steel-Concrete Interface. Connections in steel structures. Design method. Stiffeners. Reinforcements in connections.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Componentes de uma ligação de base de pilar	15
Figura 2 – Representação de uma placa de base.....	15
Figura 3 – Exemplo de enrijecedor de Belley (2009)	18
Figura 4 – Base de pilar com excentricidade nula	20
Figura 5 – Base de pilar com pequena excentricidade	21
Figura 6 – Base de pilar com grande excentricidade	21
Figura 7 – Exemplo de setorização em pilar I ou H com Enrijecedores	23
Figura 8 – Exemplo de setorização em pilar retangular com Enrijecedores	23
Figura 9 – Projeto executivo de placa de base	24
Figura 10 – Projeto executado de placa de base	24
Figura 11 – Enrijecedores aplicados em perfis circulares	26
Figura 12 – Enrijecedores aplicados em perfis circulares	26
Figura 13 – Dimensões para verificação dos enrijecedores	28
Figura 14 – Tela de informações iniciais da planilha	31
Figura 15 – Tela de entrada dos esforços solicitantes	32
Figura 16 – Tela de entrada das disposições construtivas da ligação	32
Figura 17 – Tela de entrada das informações dos enrijecedores	33
Figura 18 – Tela de verificação do concreto e espessura de placa de base	33
Figura 19 – Tela de verificação da ligação com enrijecedores	34
Figura 20 – Tela de verificação de benefício no uso de enrijecedores	35
Figura 21 – Exemplo de Bellei (2009)	36
Figura 22 – Exemplo com perfil tubular circular	38
Figura 23 – Tela de dados de entrada para perfil circular	39

Figura 24 – Tela de dados de entrada para os enrijecedores	39
Figura 25 – Tela de verificações para a placa de base sem enrijecedores	40
Figura 26 – Tela de verificações para a placa de base com enrijecedores	42

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Setor de placa com os 4 lados engastados	25
Tabela 2 – Setor de placa com os 3 lados engastados e um livre	25
Tabela 3 – Setor de placa com os 2 lados engastados e livre em outros 2	25
Tabela 4 – Setor de placa circular entre dois enrijecedores consecutivos	27
Tabela 5 – Exemplo da literatura de ligação com perfil I	37
Tabela 6 – Resultados obtidos	37
Tabela 7 – Comparação de consumo de aço	37
Tabela 8 – Dados do exemplo para perfil circular	38
Tabela 9 – Resultados obtidos para o perfil circular	40
Tabela 10 – Resultado da variação do carregamento na ligação.....	42

LISTA DE SÍMBOLOS

LETRAS ROMANAS MINUSCULAS:

b – largura do perfil tubular retangular

b_{bc} – comprimento da barra de cisalhamento

b_f – largura da mesa do perfil I ou H

c – distância

d – altura do perfil I ou H

d_{ca} – diâmetro do chumbador

d_f – diâmetro do furo

d_t – diâmetro externo do perfil tubular circular

e – excentricidade equivalente

e_{crit} – excentricidade crítica

f_{ck} – resistência característica do concreto à compressão

$f_{ck,bl}$ – resistência característica do concreto à compressão do bloco de concreto

f_y – resistência ao escoamento do aço

h – altura dos perfis I, H e tubular retangular

h_{bl} – altura do bloco de concreto

h_t – distância do centro da placa à linha dos chumbadores

l_c – comprimento de contato

l_d – diâmetro da placa de base circular

$l_{máx}$ – comprimento máximo entre m , n e $\lambda n'$

m – comprimento de balanço

m_{eq} – comprimento de balanço equivalente

n – comprimento de balanço

n_t – número total de chumbadores da placa

$n_{t,eq}$ – número de chumbadores equivalente da placa

p – largura do chumbador tracionado

t_{ae} – espessura da arruela especial

t_{bc} – espessura da barra de cisalhamento

t_f – espessura da mesa do perfil I ou H

t_{pb} – espessura da placa

t_q – espessura da alma do perfil I ou H

LETRAS ROMANAS MAIUSCULAS:

A_1 – área da placa de base

A_2 – área da superfície de concreto

A_{rc} – área de ruptura do concreto

B_{bl} – largura do bloco de concreto

B_{pb} – largura da placa de base

$B_{pb,eq}$ – largura da placa de base equivalente

H_{bl} – comprimento do bloco de concreto

H_{pb} – comprimento da placa de base

$F_{t,Rd}$ – força de tração resistente de cálculo do chumbador

$F_{t,sd}$ – força de tração solicitante de cálculo do chumbador

$M_{pb,Rd}$ – momento resistente de cálculo da placa

M_{sd} – momento solicitante de cálculo

$M_{pb,sd}$ – momento solicitante de cálculo da placa

$M_{bc,sd}$ – momento solicitante de cálculo da barra de cisalhamento

$M_{bc,Rd}$ – momento resistente de cálculo da barra de cisalhamento

M_{en} – momento solicitante de cálculo no enrijecedor

N_{sd} – força axial solicitante de cálculo

$N_{c,sd}$ – força axial de compressão solicitante de cálculo

$N_{t,sd}$ – força axial de tração solicitante de cálculo

$V_{at,Rd}$ – força de atrito resistente de cálculo

V_{sd} – força de cisalhamento solicitante de cálculo

V_{Rd} – força de cisalhamento resistente de cálculo

W_{en} – módulo resistente elástico

Y – seção comprimida do bloco de concreto

LETRAS GREGAS MINUSCULAS:

α – parâmetro

μ – coeficiente de atrito

σ – tensão normal

γ_{a1} – coeficiente de ponderação relativo ao estado limite último de escoamento do aço

γ_{a2} – coeficiente de ponderação relativo ao estado limite último de ruptura do aço

γ_c – coeficiente de ponderação da resistência do concreto

$\sigma_{c,Rd}$ – tensão resistente de cálculo do concreto à pressão de contato

$\sigma_{c,sd}$ – tensão solicitante de cálculo do concreto à pressão de contato

$\sigma_{bc,Rd}$ – tensão resistente de cálculo do concreto junto à barra de cisalhamento

$\sigma_{bc,sd}$ – tensão solicitante de cálculo do concreto junto à barra de cisalhamento

$\sigma_{en,Rd}$ – tensão resistente de cálculo dos enrijecedores

$\sigma_{en,sd}$ – tensão solicitante de cálculo dos enrijecedores

$\sigma_{v,en,Rd}$ – tensão cortante resistente de cálculo dos enrijecedores

$\sigma_{v,en,sd}$ – tensão cortante solicitante de cálculo dos enrijecedores

$\tau_{c,Rd}$ – tensão de cisalhamento resistente de cálculo

LETRAS GREGAS MAIUSCULAS:

Δ – comprimento a ser acrescentado no cálculo de H_{pb}

β – coeficiente de Roark

SUMÁRIO

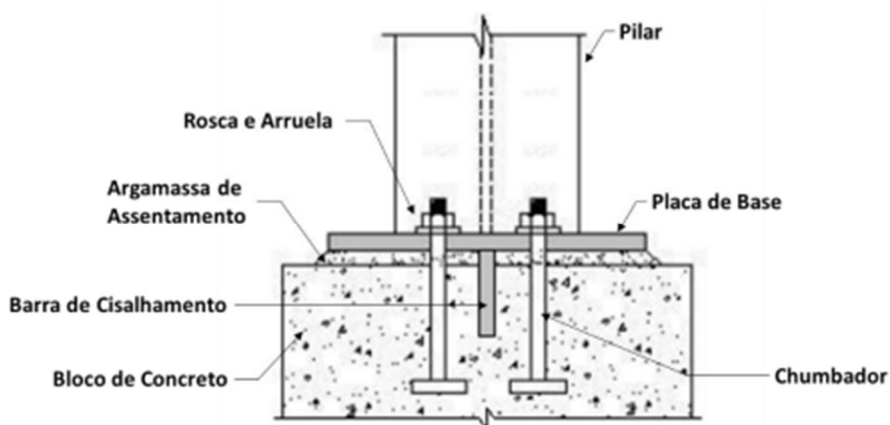
1. INTRODUÇÃO.....	15
1.1. JUSTIFICATIVA.....	16
1.2. OBJETIVOS GERAIS.....	16
1.3. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	16
1.4. ESTRUTURA DO TRABALHO.....	17
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	18
2.1. CONSIDERAÇÕES GERAIS.....	18
2.2. ESFORÇOS SOLICITANTES DE CÁLCULO NA LIGAÇÃO.....	19
2.3. TENSÃO ATUANTE (σ_c, S_d) E RESISTÊNTE (σ_c, R_d).....	19
2.3.1. TENSÃO RESISTÊNTE DO BLOCO DE CONCRETO.....	19
2.3.2. TENSÃO ATUANTE NA PLACA DE BASE.....	20
2.3.3. DIMENSIONAMENTO DA PLACA DE BASE SEM ENRIJECEDOR.....	22
2.4. METODOLOGIA PARA PERFIS I, H E RETÂNGULARES.....	22
2.5. METODOLOGIA PARA PERFIS CIRCULARES.....	26
2.6. APLICAÇÃO DO β NO CÁLCULO DA PLACA DE BASE.....	27
2.7. VERIFICAÇÕES DOS ENRIJECEDORES.....	28
3. IMPLEMENTAÇÃO DA PLANILHA ELETRÔNICA.....	29
3.1. A PLANILHA.....	29
3.2. LIMITAÇÕES.....	30
3.3. INTERFACE DA PLANILHA.....	31

4. VALIDAÇÃO DOS CÁLCULOS E RESULTADOS	36
5. ANÁLISE DE VIABILIDADE NO USO DE ENRIJECEDORES	42
6. CONCLUSÃO.....	43
REFERÊNCIAS.....	44
APÊNDICE A – FLUXOGRAMA DE VERIFICAÇÃO DA PLACA DE BASE SEM OS ENRIJECEDORES.....	45
APÊNDICE B – FLUXOGRAMA DE VERIFICAÇÃO DA PLACA DE BASE COM OS ENRIJECEDORES.....	46

1. INTRODUÇÃO

Por meio das ligações de bases de pilares utilizadas na junção entre as estruturas de aço e concreto é possível fazer a transmissão dos esforços solicitantes das vigas e pilares para as fundações. As ligações de base de pilar são compostas pela placa de base soldada no perfil e ligada a estrutura de fundação por meio dos chumbadores e da argamassa de assentamento, podendo ser adicionada a barra de cisalhamento, conforme Figura 1.

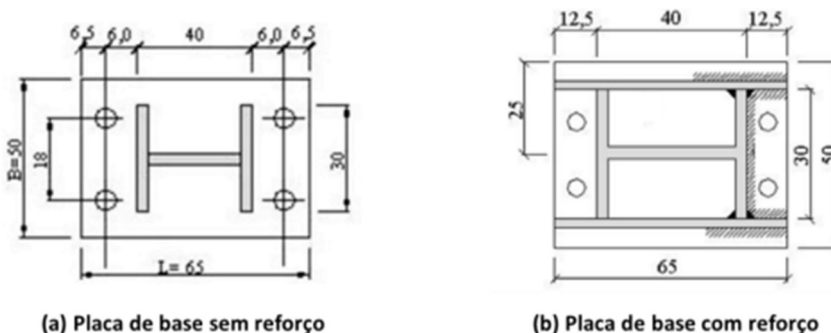
Figura 1 – Componentes de uma ligação de base de pilar



Fonte: Alves e Luxinger (2021)

Para ligações cujo carregamento atuante é de grande magnitude, o cálculo estrutural costuma resultar em grandes espessuras para a placa de base. Para contornar esta situação, é possível especificar reforços na ligação por meio de enrijecedores, conforme representado na figura 2. O objetivo desse trabalho é o dimensionamento de placas de bases, utilizando reforços com enrijecedores.

Figura 2 – Representação de uma placa de base



Fonte: Bellei (2009)

1.1. JUSTIFICATIVA

No Brasil, tem-se poucas referências bibliográficas sobre a dimensionamento de placas de bases utilizando enrijecedores, devendo os profissionais e estudantes buscarem referências internacionais, programas computacionais com base em elementos finitos para uso e aplicação. Na análise avançada, ferramentas computacionais altamente difundidas, tornam viável o desenvolvimento de cálculos que antes eram feitos manualmente, economizando tempo e aumentando a produtividade. Na engenharia civil, em específico, tem-se disponíveis no mercado diversos softwares comerciais para cálculo e modelagem estrutural, entretanto devido aos altos custos de investimento, eles se tornam inviáveis para estudantes e pequenas empresas.

A planilha será desenvolvida com base em formulações analíticas que permitem o dimensionamento de placas de base e enrijecedores sem a necessidade de uso de programas computacionais via método dos elementos finitos. Além disso, todo o assunto abordado presente neste projeto de graduação acrescentará material de consulta à literatura nacional.

1.2. OBJETIVOS GERAIS

O presente trabalho tem como objetivo geral elaborar uma planilha eletrônica utilizando metodologia de cálculo para o dimensionamento de ligações de placas de base de pilares de aço com enrijecedores.

1.3. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Apresentam-se como objetivos específicos:

- Estudar os critérios de dimensionamento de enrijecedores aplicados em ligações de placa de bases de pilares de aço de acordo com Bellei (2009) e Roark e Warren (2002);
- Adaptar a metodologia de cálculo nos procedimentos das ABNT NBR 8800:2008 e ABNT NBR 16239:2013 para inclusão de enrijecedores;

- Propor uma planilha eletrônica, utilizando a linguagem de programação do Microsoft Excel, para o dimensionamento de ligações enrijecidas em base de pilar de aço;
- Analisar os resultados para exemplos da literatura técnica de dimensionamento de ligações de placas de bases de pilares de aço;
- Analisar se há economia, em termos de peso de aço, na utilização de enrijecedores em placas de base.

1.4. ESTRUTURA DO TRABALHO

O presente trabalho é estruturado para que se tenha um entendimento sobre a metodologia utilizada, as verificações feitas, bem como as conclusões obtidas.

No capítulo 1 tem-se informações relacionadas à justificativa do trabalho e aos objetivos a serem alcançados. O capítulo 2 é constituído da revisão bibliográfica, onde é estudada e apresentada a metodologia de cálculo desenvolvida por Roark e Warren (2002) no dimensionamento de ligações de placas com enrijecedores.

No capítulo 3 é descrita o desenvolvimento e as etapas de cálculo da planilha eletrônica elaborada, desde sua implementação computacional até as orientações de uso e obtenção de resultados.

No capítulo 4 faz-se a validação do método e da planilha eletrônica, por meio de exemplos da literatura técnica de dimensionamento de ligações de placas de bases de pilares de aço e dos resultados obtidos pela planilha eletrônica.

No capítulo 5 é observado para o exemplo da literatura quando se torna viável o uso de enrijecedores em função da variação do carregamento aplicado na ligação.

No capítulo 6 tem-se as conclusões obtidas neste trabalho e, por fim, estão descritas todas as referências utilizadas no trabalho bem como os apêndices.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. CONSIDERAÇÕES GERAIS

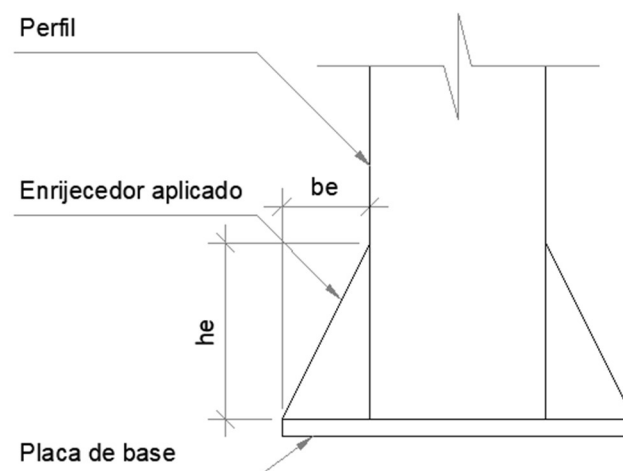
Neste trabalho, o dimensionamento de ligação de base de pilar com enrijecedores faz uso de cálculos que utilizam a resistência dos materiais e foram considerados por Roark e Warren (2002), em seu trabalho, no qual os esforços e as deflexões em estruturas compostas de placas de aço, em diferentes geometrias e configurações. Por meio de adaptações das equações na metodologia existente na ABNT NBR 8800:2008 é possível obter a espessura da placa de base em diferentes configurações de projeto.

Roark e Warren (2002) fazem uso das hipóteses:

- (1) A placa é plana, de espessura uniforme, homogênea e material isotrópico;
- (2) a espessura não é mais do que cerca de um quarto da menor dimensão transversal e a deflexão máxima não é mais do que cerca de metade da espessura;
- (3) todas as forças, cargas e reações, são normais ao plano da placa;
- (4) a placa é em nenhum lugar carregada além do limite elástico. Por conveniência na discussão, é assumido ainda que o plano da placa é horizontal.

Segundo Bellei (2009), os enrijecedores devem ser aplicados na direção de maior carregamento, e sua altura (h_e) deve ser no mínimo o dobro da sua largura (b_e) conforme a figura 3.

Figura 3 – Exemplo de enrijecedor de Bellei (2009)



Fonte: Autor

2.2. ESFORÇOS SOLICITANTES DE CÁLCULO NA LIGAÇÃO

O dimensionamento da ligação de placa de base depende, além das suas características geométricas, do tipo de carregamento que está submetida. Fisher e Kloiber (2006) apresenta os seguintes tipos de carregamentos a serem considerados no dimensionamento de ligações de placa de base:

- Esforços axiais de compressão;
- Esforços axiais de tração;
- Ligação com pequeno momento aplicado;
- Ligação com grande momento aplicado;
- Esforços de cisalhamento.

Para o presente trabalho, a metodologia será discutida para os esforços de compressão e momentos de pequena e de grande magnitude devido as considerações feitas por Roark e Warren (2002).

O procedimento de cálculo pode ser visto no capítulo 2.3, em que a tensão de compressão atuante no concreto pela placa de base ($\sigma_{c,sd}$) é obtida em função dos carregamentos em que a ligação está sendo submetida.

2.3. TENSÃO ATUANTE ($\sigma_{c,sd}$) E RESISTENTE ($\sigma_{c,Rd}$)

2.3.1. TENSÃO RESISTENTE DO BLOCO DE CONCRETO

Conforme a ABNT NBR 8800:2008, a tensão atuante na base de concreto deve ser menor que a tensão resistente à compressão de cálculo do concreto, de acordo com a Equação 1 e a Equação 2.

$$\sigma_{c,sd} < \sigma_{c,Rd} \quad (01)$$

$$\sigma_{c,Rd} = \frac{f_{ck}}{\gamma_c \gamma_n} \sqrt{\frac{A_2}{A_1}} \leq f_{ck} \quad (02)$$

Onde:

f_{ck} é a resistência característica do concreto à compressão;

γ_c é o coeficiente de ponderação do concreto;

γ_n é o coeficiente de comportamento, com valor de 1,40;

A_1 é a área da placa de base;

A_2 é a área da superfície de concreto homotética a A_1 .

A tensão atuante no concreto, ocasionada pelo contato com a placa de base ($\sigma_{c,Sd}$), é calculada em função das características do carregamento e das disposições construtivas da ligação, sendo necessária para o cálculo da ligação com enrijecedores.

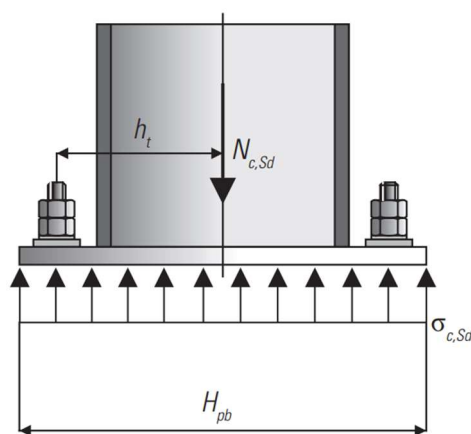
2.3.2. TENSÃO ATUANTE NA PLACA DE BASE

Para o procedimento de cálculo de cálculo de ($\sigma_{c,Sd}$), Fisher e Kloiber (2006), estabelece que deve ser analisado duas situações distintas: placas de base solicitadas por pequenos momentos fletores (pequena excentricidade) e placas de base solicitadas por grandes momentos fletores (grande excentricidade).

Segundo Fisher e Kloiber (2006), a metodologia utilizada para o dimensionamento considera distribuição uniforme das tensões na placa de base.

Para a excentricidade nula, temos a Figura 4 e as Equações 3 e 4.

Figura 4 – Base de pilar com excentricidade nula



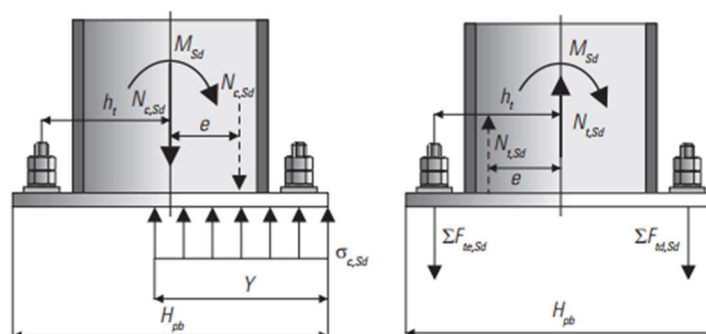
Fonte: Notas de aula

$$e = 0 \quad (03)$$

$$\sigma_{c,Sd} = \frac{N_{c,Sd}}{B_{pb}H_{pb}} \quad (04)$$

Em casos de pequenas excentricidades (Figura 5), a força axial é resistida apenas pelo contato entre a placa de base e o apoio de concreto. Para pequena excentricidade temos as Equações 5 a 7.

Figura 5 – Base de pilar com pequena excentricidade



Fonte: Notas de aula

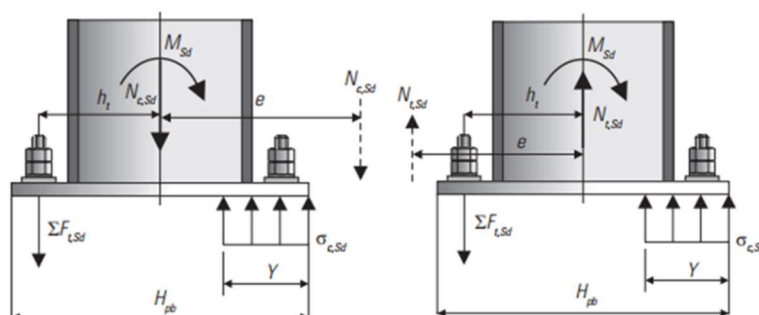
$$e \leq e_{crit} \quad (05)$$

$$\sigma_{c,Sd} = \frac{N_{c,Sd}}{YB_{pb}} \quad (06)$$

$$Y = B_{pb} + 2e \quad (07)$$

Já no caso de grandes excentricidades (Figura 6) é necessário o uso de chumbadores tracionados para equilibrar os esforços na ligação, o cálculo de $(\sigma_{c,Sd})$, conforme as Equações 8 a 12.

Figura 6 – Base de pilar com grande excentricidade



Fonte: Notas de aula

Para grande excentricidade:

$$e > e_{crit} \quad (08)$$

Temos:

$$\sigma_{c,sd} = \frac{N_{c,sd} + \sum F_{t,sd}}{Y B_{pb}} \quad (09)$$

$$Y = h_t + \frac{H_{pb}}{2} - \sqrt{\Delta} \quad (10)$$

$$\Delta = \left(h_t + \frac{H_{pb}}{2} \right)^2 - \left(\frac{2N_{c,sd}(e+h_t)}{B_{pb}\sigma_{c,Rd}} \right) \quad (11)$$

$$\sum F_{t,sd} = \sigma_{c,Rd} Y B_{pb} - N_{t,sd} \quad (12)$$

2.3.3. DIMENSIONAMENTO DA PLACA DE BASE SEM ENRIJECEDOR

Para o cálculo da espessura da placa de base, segundo Fisher e Kloiber (2006), temos as Equações 13 a 15.

$$t_{pbmin} = 1,49 \cdot m \sqrt{\frac{\sigma_{c,sd}}{F_{y_{pb}}}} \quad (13)$$

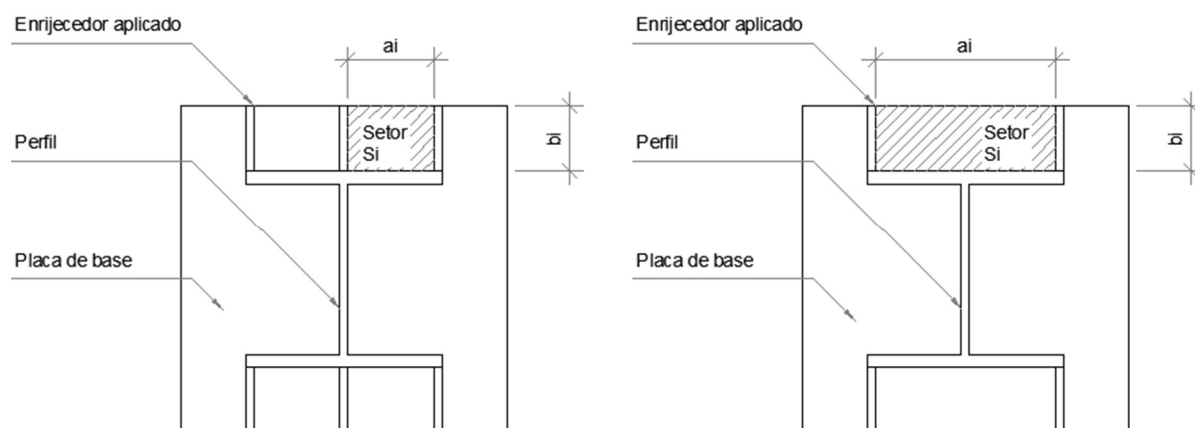
$$m \geq \begin{cases} m_1 = \frac{H_{pb} - 0,95d}{2} \\ m_2 = \frac{B_{pb} - 0,8b_f}{2} \\ m_3 = \frac{\sqrt{db_f}}{4} \end{cases} \quad (14)$$

$$t_{pbadot} > t_{pbmin} \quad (15)$$

2.4. METODOLOGIA PARA PERFIS I, H E RETÂNGULARES

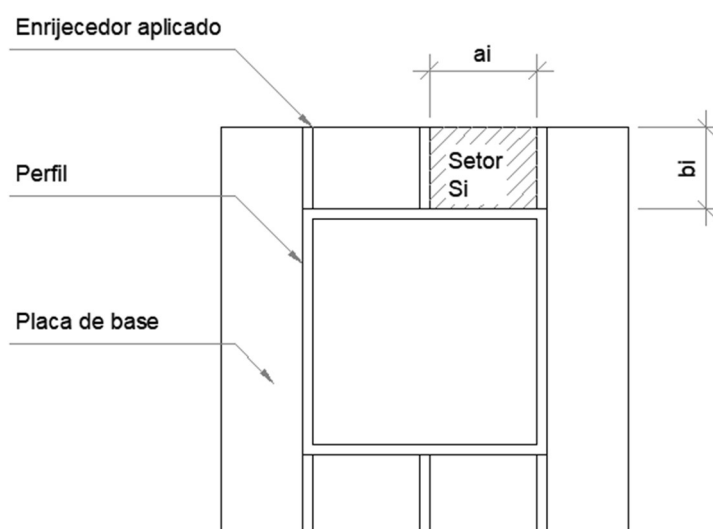
O procedimento de cálculo inicialmente consiste em definir a posição dos enrijecedores, para posteriormente fazer o particionamento da placa de base em setores, conforme as Figuras 7 e 8.

Figura 7 – Exemplo de setorização em pilar I ou H com Enrijecedores



Fonte: Autor

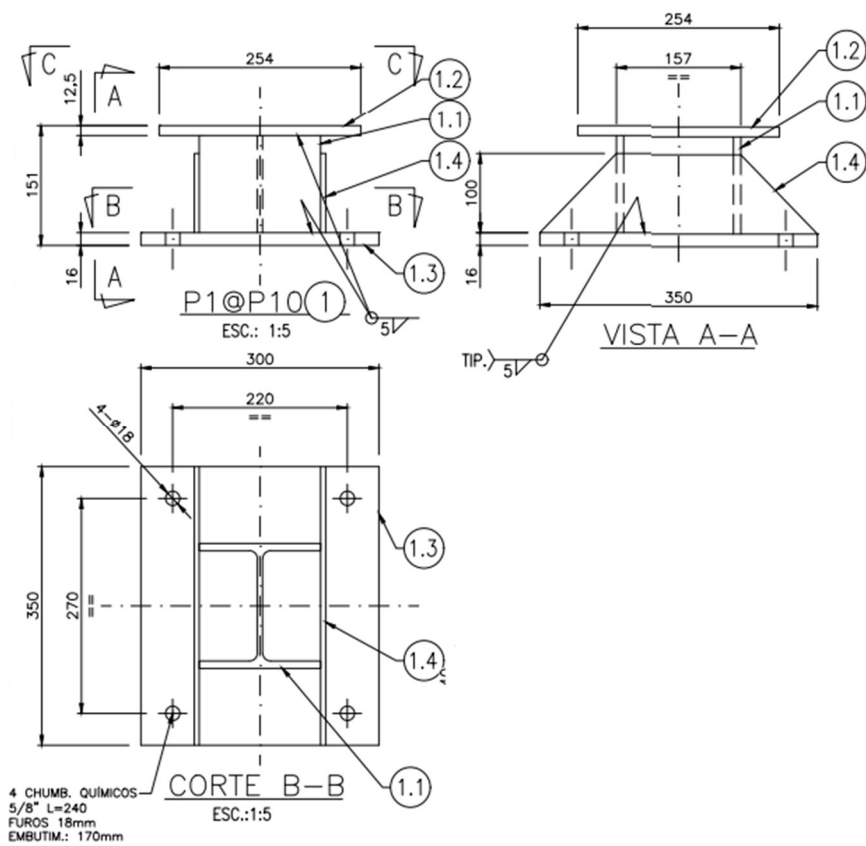
Figura 8 – Exemplo de setorização em pilar retangular com Enrijecedores



Fonte: Autor

Os setores devem ser definidos nas regiões da placa de base que forem limitadas pelo perfil e pelos enrijecedores, esse tipo de enrijecedor pode ser visto em prática nas Figuras 9 e 10.

Figura 9 – Projeto executivo de placa de base



Fonte: Autor

Figura 10 – Projeto executado de placa de base



Fonte: Autor

Dependendo da configuração dos enrijecedores, os setores da placa de base possuem lados que podem trabalhar como engastes (se estiverem soldados no perfil) ou livres (lado da borda externa da placa de base). Cada setor (S_i) terá um lado maior (a_i) e um lado menor (b_i), através das dimensões dos setores e da sua disposição construtiva é possível consultar e obter o coeficiente β .

O coeficiente β é a ponderação dos esforços do setor da placa em função da sua disposição construtiva, através dele é possível obter a espessura da placa sem a necessidade de uso de método dos elementos finitos ou programas avançados.

As Tabelas 1, 2 e 3 apresentam as situações mais comuns de setores nas placas de base oriundos da disposição dos enrijecedores, para as relações (a/b) não disponíveis na tabela, pode ser feita interpolação linear para obtenção do coeficiente (β).

Tabela 1 - Setor de placa com os 4 lados engastados

a/b	1,0	1,2	1,4	1,6	1,8	2,0
β	0,31	0,38	0,44	0,47	0,49	0,52

Fonte: Roark e Warren (2002)

Tabela 2 - Setor de placa com os 3 lados engastados e um livre

a/b	0,25	0,50	0,75	1,00	1,50	2,00	3,00
β	0,02	0,08	0,17	0,32	0,73	1,2	2,1

Fonte: Roark e Warren (2002)

Tabela 3 - Setor de placa com os 2 lados engastados e livre em outros 2

a/b	0,125	0,250	0,375	0,500	0,750	1,000
β	0,05	0,19	0,40	0,63	1,25	1,80

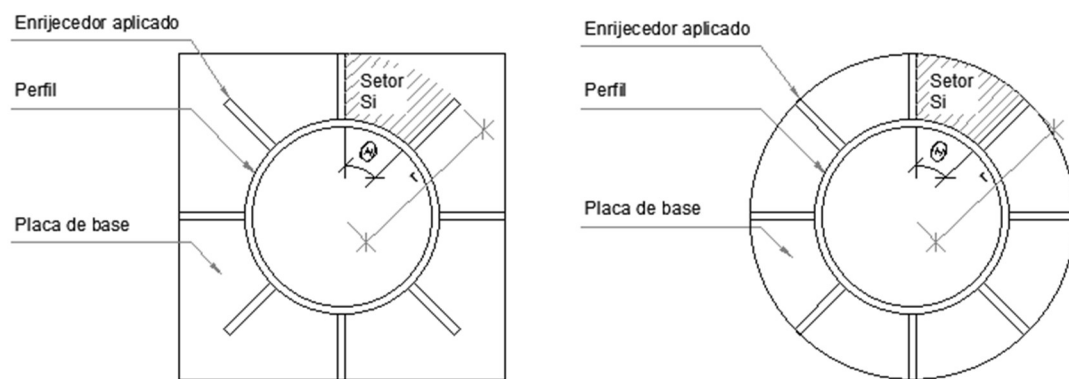
Fonte: Roark e Warren (2002)

Caso haja alguma disposição construtiva diferente das apresentadas nas Figuras 7 e 8, recomenda-se consultar Roark e Warren (2002).

2.5. METODOLOGIA PARA PERFIS CIRCULARES

Para perfis circulares, tem-se duas situações distintas, perfis circulares aplicados em placas de base retangulares ou circulares. Conforme mostra as figuras 11 e 12, tem-se que as considerações de distribuição de enrijecedores são as mesmas, sendo considerado o comprimento do enrijecedor e sua quantidade distribuída radialmente em função do centro geométrico da seção do perfil.

Figura 11 – Enrijecedores aplicados em perfis circulares



Fonte: Autor

Figura 12 – Enrijecedores aplicados em perfis circulares



Fonte: Autor

De acordo com Roark e Warren (2002), para placas circulares as hipóteses a serem consideradas são:

- Placa circular sólida;
- Carregamento uniformemente distribuído ao longo de um trecho de raio r e ângulo Θ ;
- A borda circular está simplesmente apoiada;
- As bordas retas do setor estão engastadas.

Para essas considerações tem-se a Tabela 4 que faz a relação entre o ângulo de abertura dos lados engastados e fornece o valor do fator β .

Tabela 4 - Setor de placa circular entre dois enrijecedores consecutivos

Θ (°)	30	60	90	120	150	180
β	0,05	0,19	0,40	0,63	1,25	1,80

Fonte: Roark e Warren (2002)

Onde o β é calculado em função do ângulo de abertura entre os enrijecedores, para ângulos não disponíveis na tabela a interpolação linear pode ser feita.

2.6. APLICAÇÃO DO β NO CÁLCULO DA PLACA DE BASE

Após obtido β de cada setor, é feito o cálculo da espessura da placa de base, conforme mostra a Equação 16, elaborada, segundo Bellei (2009), a partir da ABNT NBR 8800:2008.

$$t = b \sqrt{\frac{\beta \cdot \sigma_{cSd}}{1,35 f_{ypb}}} \quad (16)$$

Em que:

b é o menor lado do setor em análise;

σ_{cSd} é o esforço solicitante no concreto pela placa de base;

β é o fator de ponderação do esforço na placa de base devido ao reforço;

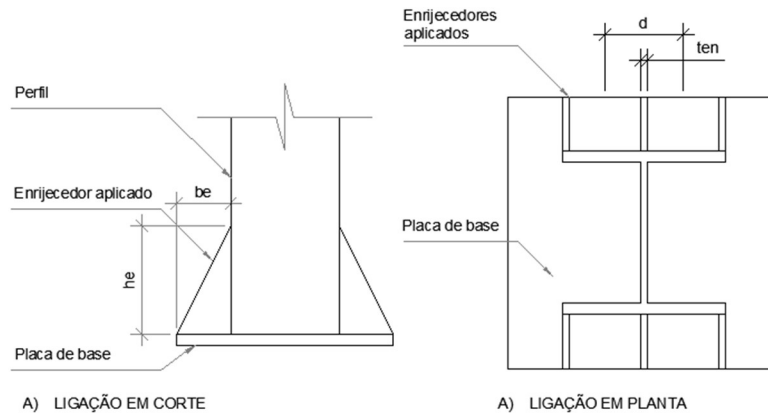
f_{ypb} é a tensão de escoamento do aço da placa de base.

Para cada setor, é calculada a espessura (t), conforme Equação 16. Adota-se para a placa de base a maior espessura obtida, de preferência considerando as chapas de espessuras comerciais.

2.7. VERIFICAÇÕES DOS ENRIJECEDORES

Após definido e verificado os reforços na placa de base, é necessário fazer a verificação da capacidade resistente das placas de reforço (enrijecedores) aos esforços normais e cortantes, conforme as Equações 17 a 22 e a Figura 13, de acordo com Alves e Luxinger (2021).

Figura 13 – Dimensões para verificação dos enrijecedores



Fonte: Autor

$$M_{en} = \frac{\sigma_{cSd} \cdot d \cdot b_{en}^2}{2} \quad (17)$$

$$W_{en} = \frac{t_{en} \cdot h_{en}^2}{6} \quad (18)$$

$$\sigma_{enSd} = \frac{M_{en}}{W_{en}} \quad (19)$$

$$\sigma_{en,Rd} = \frac{1}{\gamma_{a1}} Fy_{en} \quad (20)$$

$$\sigma_{v,en,Sd} = \frac{\sigma_{cSd} \cdot d \cdot b_{en}}{t_{en} \cdot h_{en}} \quad (21)$$

$$\sigma_{v,en,Rd} = \frac{0,60}{\gamma_{a1}} Fy_{en} \quad (22)$$

3. IMPLEMENTAÇÃO DA PLANILHA ELETRÔNICA

Para realização e automatização dos cálculos presentes no trabalho foi elaborada uma planilha eletrônica com o intuito de dimensionar a placa de base e verificar a capacidade resistente dos enrijecedores. Foram implementadas as verificações de placa de base para perfis I, H, retangulares e circulares com e sem enrijecedores, bem como um comparativo de consumo de aço entre ambas as situações.

3.1. A PLANILHA

A planilha tem como objetivo verificar a capacidade resistente da placa de base e dos enrijecedores em ligações entre pilares de aço e bloco de concreto. Nas verificações incluem os esforços de compressão e momento fletor aplicados na direção de maior inércia do pilar conforme a ABNT NBR 8800-2008 e Roark e Warren (2002).

A planilha calcula, em função dos parâmetros fornecidos, as dimensões ideais de espessura de placa de base, com ou sem enrijecedores, bem como se os enrijecedores atendem aos esforços solicitantes.

Para a utilização da planilha é necessário a inserção de dados de entrada, são eles:

- Dados do projeto: nome do projeto, nome do projetista (dados de preenchimento opcional);
- Tipo de base: a geometria do perfil do pilar e da placa de base (Perfis I, H e retangulares em placa de base retangular e perfis circulares em placa de base retangular e placa de base circular) em que estão separados por pasta na planilha;
- Dados do perfil: as dimensões do perfil do pilar de aço (podendo ser escolhido entre os perfis do banco de dados cadastrado no programa);
- Solicitações da placa de base: os esforços solicitantes de compressão e/ou momento fletor atuantes na placa de base;
- A distância de locação dos chumbadores na placa de base;

- Placa de base: dimensões da placa de base e resistência ao escoamento do material (inserção manual);
- Base de concreto: dimensões do apoio de concreto da fundação e a resistência característica do concreto (inserção manual pelo usuário);
- Enrijecedores: dimensões das chapas de enrijecedores, quantidade de chapas e resistência ao escoamento do material (inserção manual pelo usuário).

Após a inserção dos dados de entrada e solicitada a verificação da placa de base de pilar, a planilha retorna com as verificações dos elementos da ligação, tais como:

- Verificações da placa de base: excentricidade, excentricidade crítica, momento resistente e solicitante de cálculo;
- Verificações do bloco de concreto: tensão de compressão resistente e solicitante do concreto;
- Verificação do enrijecedor: tensão no enrijecedor paralela à placa de base e tensão de cisalhamento atuante enrijecedor.

Por fim, a planilha faz uma verificação de quantidade de aço utilizada na ligação, comparando o peso em quilogramas e em porcentagem os gastos quando se utiliza ou não os enrijecedores, podendo o usuário avaliar se há benefício real no uso deles.

3.2. LIMITAÇÕES

A planilha considera nos devidos cálculos, o perfil centralizado na placa de base, bem como todas as verificações feitas em relação ao eixo de maior inércia para os perfis de seção “I” e retangular.

Todos os parâmetros inseridos são de responsabilidade do usuário, não sendo verificadas dimensões mínimas ou recomendações de parâmetros. Foi observado que ocorre um erro ao considerar nulo o esforço axial e apenas momento atuando na ligação devido ao cálculo da excentricidade.

Dentre as outras limitações apresentadas, não foi realizada a verificação aos esforços de tração e cisalhamento. Também, a planilha não dimensiona chumbadores e soldas.

3.3. INTERFACE DA PLANILHA

Ao acessar a planilha, o usuário se depara com nove pastas de trabalho. A primeira pasta faz a verificação da placa de base retangular com perfis I e H, a segunda verifica a placa de base retangular com perfis retangulares, a terceira verifica a placa de base retangular com perfis circulares, a quarta é sobre a verificação da placa de base circular com perfis também circulares e as cinco demais são tabelas para consulta de informações necessárias aos cálculos. O design da planilha é padronizado entre as pastas e formatado para impressão como um memorial de cálculo, sendo destacadas as células de dados de entrada e nos resultados específicos em relação as características do perfil e da placa em si.

Inicialmente, após escolher a pasta, o usuário pode digitar informações sobre o projeto e o projetista, conforme mostra a Figura 14. Em seguida, informa-se, nos campos específicos, os esforços de compressão de cálculo e, caso haja, o esforço de momento fletor, conforme a Figura 15.

Figura 14 – Tela de informações iniciais da planilha

UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO
CENTRO TECNOLÓGICO
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL

VERIFICAÇÃO DE PLACA DE BASE DE PILAR COM ENRIJECEDORES

Projeto:

Projetista:

DADOS DE ENTRADA

Fonte: Autor

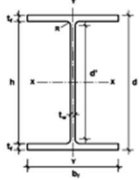
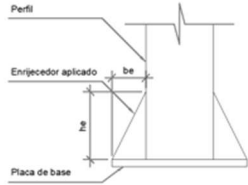
Figura 15 – Tela de entrada dos esforços solicitantes

DADOS DE ENTRADA	
1. SOLICITAÇÃO NA BASE:	
Ncsd =	2800 kN
Msd =	0 kNm

Fonte: Autor

Após informar os esforços solicitantes, o usuário deve informar a respeito das disposições construtivas da placa de base e escolha do perfil dentro da lista. Em seguida, o usuário deve informar as características do bloco de fundação, da placa de base, dos chumbadores, bem como as tensões de escoamento do aço da placa de base e a resistência característica à compressão do concreto da fundação, conforme a Figura 16.

Figura 16 – Tela de entrada das disposições construtivas da ligação

2. DISPOSIÇÃO CONSTRUTIVA DA PLACA DE BASE			
Perfil Adotado	W 310 x 117,0	Descrição do perfil	
d	314 mm		
bf	307 mm		
tf	18,7 mm		
tw	11,9 mm		
Bb	85 cm	Largura do bloco de fundação	
Hb	85 cm	Altura do bloco de fundação	
Bp	45 cm	Largura da placa de base	
Hp	40 cm	Altura da placa de base	
ht	20 cm	Distância entre chumbadores	
Fy	250 MPa	Tensão de escoamento do aço da placa de base	
fck	20 MPa	Tensão de escoamento do concreto abaixo da placa de base	

Fonte: Autor

Em seguida, o usuário deve informar a respeito dos enrijecedores considerados, recomenda-se que se faça um esboço contendo a disposição dos enrijecedores, bem como suas dimensões e, posteriormente, informar na planilha a quantidade de enrijecedores, a altura, largura, espessura e tensão de escoamento deles, bem como as disposições construtivas e os setores que surgiram com sua aplicação conforme a Figura 17.

Figura 17 – Tela de entrada das informações dos enrijecedores

Nx	4 und	número de enrijecedores no eixo x-x.
Ny	0 und	número de enrijecedores no eixo y-y.
he	13 cm	altura do enrijecedor
be	6,8 cm	largura do enrijecedor
te	1,25 cm	Espessura do enrijecedor
Fye	250 MPa	Tensão de escoamento do aço do enrijecedor

Preencher a tabela em função de quantos setores sua ligação houver

Setor	a (cm)	b (cm)	Tipo	a/b
1	30,7	6,8	2	4,51470588
2	27,8	14,75	1	1,88474576
3				
4				
5				
6				
7				
8				
9				
10				

Fonte: Autor

Após os dados inseridos, a planilha faz a verificação da solicitação no bloco de fundação, a excentricidade gerada pelo carregamento, e se ocorre ou não a ruptura do concreto, e finalmente, apresenta uma espessura de placa de base calculada (Figura 18).

Figura 18 – Tela de verificação do concreto e espessura de placa de base

3. VERIFICAÇÃO DA SOLICITAÇÃO NO BLOCO DE FUNDAÇÃO:

$\sigma_{c,rd} = 4,77 \text{ kN/cm}^2$
 $e = 0,00 \text{ cm}$
 $e_{crit} = 13,48 \text{ cm}$

0,00 = 0,00

Logo: Excentricidade Nula!

Portanto:

$\sigma_{c,Sd} = 1,56 \text{ kN/cm}^2$ $\sigma_{c,Sd}$ é a tensão atuante entre a placa de base e a base de concreto

1,56 < 4,77 Logo: **Aprovado!** Verificação de ruptura do concreto

$m1 = 7,59$
 $m2 = 7,72$
 $m3 = 7,76$

tpb = 28,85 mm Adotado = 29 mm Espessura da placa de base sem enrijecedor aplicado

Fonte: Autor

Com as informações obtidas na planilha dos enrijecedores sobre o coeficiente estabelecido por Roark e Warren (2002), é calculada as espessuras da placa de base para cada setor. É adotada como espessura da placa de base, a maior espessura calculada nos setores. Também é feita a verificação do enrijecedor para tensão normal à placa de base e, a tensão cisalhante no mesmo (Figura 19).

Figura 19 – Tela de verificação da ligação com enrijecedores

tpbe	22,2 mm	Adotado	23,0 mm	Espessura da placa de base com enrijecedor aplicado
5. VERIFICAÇÃO DO ENRIJECEDOR:				
Tensão normal no enrijecedor				
$\sigma_{en,sd} =$	20,44	\leq	$\sigma_{en,Rd} =$	22,73 Aprovado!
Tensão cisalhante no enrijecedor				
$\sigma_{v,en,sd} =$	13,03	\leq	$\sigma_{v,en,Rd} =$	13,64 Aprovado!
6. VERIFICAÇÃO DE BENEFÍCIO ECONÔMICO NA APLICAÇÃO DOS ENRIJECEDORES				
6.1 CONSUMO DE AÇO NA LIGAÇÃO SEM ENRIJECEDORES				
	40,9 kg/ligação			
6.2 CONSUMO DE AÇO NA LIGAÇÃO COM ENRIJECEDORES				
	34,7 kg/ligação			

Fonte: Autor

Por fim, é feita a verificação do consumo de aço na ligação para as duas situações, sem e com enrijecedores, apresentando o peso em quilogramas, bem como a variação percentual do material. Podendo o usuário avaliar se há benefício ou não no uso do enrijecedor para a situação em análise (Figura 20).

Figura 20 – Tela de verificação de benefício no uso de enrijecedores

<p>6. VERIFICAÇÃO DE BENEFÍCIO ECONÔMICO NA APLICAÇÃO DOS ENRIJECEDORES</p> <p>6.1 CONSUMO DE AÇO NA LIGAÇÃO SEM ENRIJECEDORES</p> <p>40,9 kg/ligação</p> <p>6.2 CONSUMO DE AÇO NA LIGAÇÃO COM ENRIJECEDORES</p> <p>34,7 kg/ligação</p> <p>7. CONCLUSÃO</p> <p>Se aplicado o uso de enrijecedores haverá uma redução de aço de 15%</p>

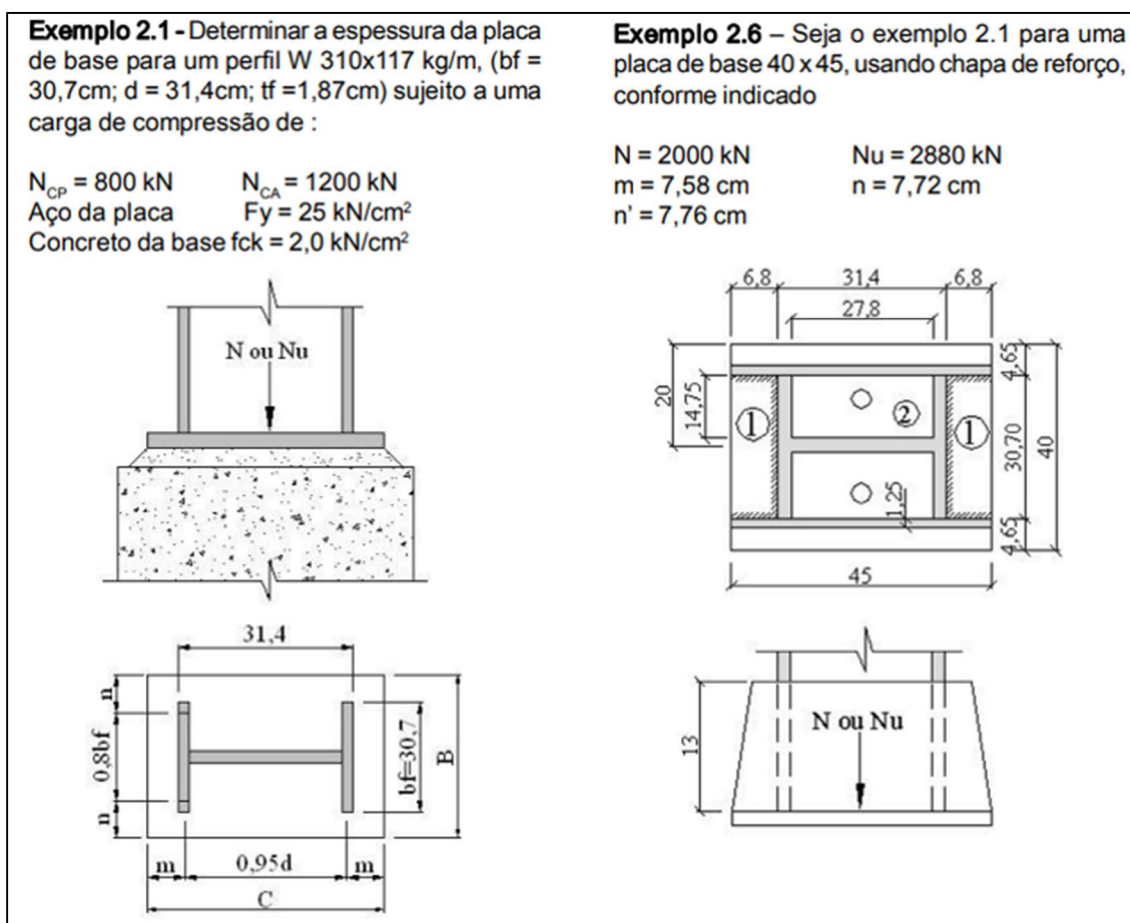
Fonte: Autor

4. VALIDAÇÃO DOS CÁLCULOS E RESULTADOS

Para a validação da planilha, buscou-se na literatura disponível, exemplos de dimensionamento de placas de base. Constatou-se a carência de exemplos sobre as placas de base que possuem enrijecedores, sendo utilizado como validação o exemplo de Bellei (2009), no qual foi possível utilizar a ligação na situação sem enrijecedor e posteriormente com enrijecedor.

O exemplo consiste em um pilar de seção I em uma base engastada sujeita a esforço axial de compressão, mostrado na Figura 21. As propriedades geométricas do perfil e demais informações encontram-se na Tabela 5.

Figura 21 - Exemplo de Bellei (2009)



Fonte: Bellei (2009).

Tabela 5 – Exemplo da literatura de ligação com perfil I

Perfil do pilar		
W 310x117		
Solicitações		
N_{csd}	M_{sd}	
2800kN	0kN.m	
Placa de Base		
$F_{y,pb}$	H_{pb}	B_{pb}
250MPa	40cm	45cm
Base de concreto		
Resistência	H_{bl}	B_{bl}
20Mpa	85cm	85cm
Enrijecedores		
Quantidade	B_e	H_e
4und	6,8cm	13cm

Fonte: Bellei (2009)

A Tabela 6 mostra os resultados de Bellei (2009) e os calculados pela planilha desenvolvida, comparando os desvios entre os valores obtidos.

Tabela 6 – Resultados obtidos

		Exemplo Resolvido	Planilha eletrônica	Desvio percentual
Placa de base	t_{pb}	29,0 mm	28,85 mm	1%
Placa de base com enrijecedor	t_{pb}	22,7 mm	22,2 mm	2%

Fonte: Autor

A Tabela 7 mostra a variação do peso, em quilogramas, na ligação em função da adoção ou não de enrijecedores.

Tabela 7 – Comparação de consumo de aço

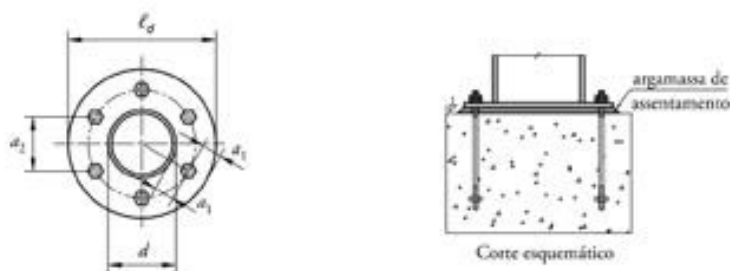
Placa de base	40,9 kg
Placa de base com enrijecedor	34,7 kg
Diferença	6,2 kg
	15%

Fonte: Autor

Como é possível observar, os desvios foram abaixo de 2%, o que se conclui que há uma precisão satisfatória nos dados obtidos. Também pode-se visualizar que há uma redução de 15% de aço ao adotar enrijecedores na ligação, provando que dependendo das disposições construtivas e dos esforços solicitantes, pode haver benefícios em ligações de placa de base de pilar com uso de enrijecedores.

O segundo exemplo de validação foi obtido em Araújo (2016) e trata-se de uma ligação com perfil tubular circular em placa de base circular, conforme Figura 22. O exemplo não possui enrijecedores, porém foi utilizado como referência para verificação na planilha, conforme as informações expostas na Tabela 8.

Figura 22 – Planta e corte de ligação com perfil circular



Fonte: Araújo et al (2016)

Tabela 8 – Dados do exemplo para perfil circular

Perfil do pilar		
D	t	
355,6mm	12,5mm	
Solicitações		
Ncsd	MsD	
200kN	160kN.m	
Placa de Base		
Fypb	Dpb	tpbmin
250MPa	555,6mm	27,30mm
Base de concreto		
Resistência	Hbl	Bbl
20Mpa	90cm	78cm
Enrijecedores		
Quantidade	Be	He
10und	8cm	16cm

Fonte: Autor

Foram inseridos os dados na planilha, onde é possível observar nas Figuras 23 a 26, as verificações feitas para a placa de base sem e com os enrijecedores aplicados.

Figura 23 – Tela de dados de entrada para perfil circular

DADOS DE ENTRADA			
1. SOLICITAÇÃO NA BASE:			
Ncsd =	200 kN	Msd =	160 kNm
2. DISPOSIÇÃO CONSTRUTIVA DA PLACA DE BASE			
Perfil Adotado	TC 355,6 x 12,5	Descrição do perfil	
lc	355,6 mm		
t	12,5 mm		
Bb	78 cm	Largura do bloco de fundação	
Hb	90 cm	Altura do bloco de fundação	
Bp	55,6 cm	Diâmetro da placa de base	
ht	25 cm	Distância entre chumbadores	
Fy	250 MPa	Tensão de escoamento do aço da placa de base	
fck	20 MPa	Tensão de escoamento do concreto abaixo da placa de base	

Fonte: Autor

Figura 24 – Tela de dados de entrada para os enrijecedores

N	8 und	número de enrijecedores distribuídos
he	16 cm	altura do enrijecedor
be	8 cm	largura do enrijecedor
te	1 cm	Espessura do enrijecedor
Fye	250 MPa	Tensão de escoamento do aço do enrijecedor

Preencher a tabela em função de quantos setores sua ligação houver

Setor	r (cm)	B (°)
1	25,78	45

Fonte: Autor

Figura 25 – Tela de verificações para a placa de base sem enrijecedores

VERIFICAÇÕES			
3. VERIFICAÇÃO DA SOLICITAÇÃO NO BLOCO DE FUNDAÇÃO:			
$\sigma_{c,rd}$ =	4,05	kN/cm ²	
e =	80,00	cm	
ecrit =	27,36	cm	
	80,00	>	27,35575
Logo:	Grande Excentricidade!		
Portanto:			
$\sigma_{c,Sd}$ =	4,03	kN/cm ²	$\sigma_{c,Sd}$ é a tensão atuante entre a placa de base e a base de concreto
	4,03	<	4,05
Logo:	Aprovado! Verificação de ruptura do concreto		
t_{pb} =	25,69	mm	Adotado = 26 mm Espessura da placa de base sem enrijecedor aplicado

Fonte: Autor

Figura 26 – Tela de verificações para a placa de base com enrijecedores

4. CÁLCULO DA ESPESSURA DA PLACA DE BASE COM ENRIJECEDORES APLICADOS			
$t = b \sqrt{\frac{\beta \cdot \sigma_{c,sd}}{1,35F_y}}$	Setor	Espessura (mm)	
	t 1	13,5	
t_{pb} =	13,5	mm	Adotado 14,0 mm Espessura da placa de base com enrijecedor aplicado
6. VERIFICAÇÃO DE BENEFÍCIO ECONÔMICO NA APLICAÇÃO DOS ENRIJECEDORES			
6.1 CONSUMO DE AÇO NA LIGAÇÃO SEM ENRIJECEDORES			
49,4 kg/ligação			
6.2 CONSUMO DE AÇO NA LIGAÇÃO COM ENRIJECEDORES			
33,8 kg/ligação			
7. CONCLUSÃO			
Se aplicado o uso de enrijecedores haverá uma redução de aço de 32%			

Fonte: Autor

Tabela 9 – Resultados obtidos para o perfil circular

	Exemplo Resolvido	Planilha eletrônica	Desvio percentual	
Placa de base	t _{pb}	27,3 mm	25,7 mm	6%

Fonte: Autor

Como é possível observar, os desvios foram de 6%, sendo uma precisão satisfatória nos dados obtidos devido aos arredondamentos. Foi observado que perfis tubulares são mais sensíveis a questões de arredondamentos e da magnitude dos carregamentos, sendo necessário revisar a programação da planilha para melhorar a acurácia dos resultados. Também pode-se observar que há uma redução de 32% de aço ao adotar enrijecedores na ligação.

5. ANÁLISE DE VIABILIDADE NO USO DE ENRIJECEDORES

Utilizando-se da planilha e os dados conforme o exemplo de Bellei (2009) citado anteriormente e mantendo-se as disposições construtivas, foi feito a variação do carregamento axial de compressão e comparando a espessura das placas de base e o consumo de aço com e sem enrijecedores, gerando a tabela 10.

Tabela 10 – Resultado da variação do carregamento na ligação

Carregamento (kN)	Espessura de placa sem enrijecedor (mm)	Espessura de placa com enrijecedor (mm)	Consumo de aço sem enrijecedor (kg)	Consumo de aço com enrijecedor (kg)	Redução no consumo de aço se aplicado enrijecedores (%)
100	5,45	4,2	8,5	9,4	-11
500	12,19	9,4	18,3	16,7	9
1000	17,24	13,2	25,4	22,1	13
2000	24,38	18,7	35,2	29,9	15
3000	29,86	22,9	42,3	35,8	15

Fonte: Autor

Foi observado que para carregamentos baixos, o consumo de aço devido a aplicação dos enrijecedores foi maior do que o benefício de se reduzir a espessura da placa de base, tornando-se irrelevante o uso deles. Também foi observado que para carregamentos de grandes magnitudes houve uma maior redução no consumo de aço, comprovando que não é necessário o uso de enrijecedores em estruturas com carregamentos baixos.

Na prática, as literaturas recomendam espessuras de placa de base maiores que 19mm, sendo desconsiderado espessuras de placa de base inferiores.

6. CONCLUSÃO

No presente trabalho, foi realizado um estudo detalhado do método de cálculo de ligações de base de pilares de aço, utilizando placa de aço soldada ao pilar e unidas ao bloco de concreto por meio de chumbadores. O método determina a espessura da placa de base, utilizando enrijecedores de acordo com Roark e Warren (2002). Adicionalmente, foi verificado a capacidade resistente dos enrijecedores bem como o consumo de aço na ligação.

Foi elaborada uma planilha de cálculo, na linguagem do Microsoft Excel, para dimensionamento da espessura da placa de base, sem e com enrijecedor, bem como a verificação da capacidade de suportar esforços cortantes e momento fletor nos enrijecedores.

A planilha de cálculo foi devidamente validada com exemplos da literatura técnica. Ao analisar os resultados obtidos, em comparação com o exemplo da literatura, observa-se que os resultados foram considerados satisfatórios e confiáveis, com reduções no consumo de aço de 15 a 30% ao se utilizar enrijecedores nos exemplos estudados.

Também foi comprovado que em carregamentos baixos, o uso de enrijecedores é um recurso desnecessário, tornando-se viável em casos de carregamentos de grande magnitude e estruturas de grande porte.

Portanto, conclui-se que a metodologia de cálculo e a planilha se apresentam confiáveis para tais verificações, bem como pode-se observar que, considerando o peso de aço, a aplicação de enrijecedores trouxe economia devido à redução na espessura da placa de base das ligações. Entretanto, deve-se observar que a economia em peso de aço não implica economia em custo, pois os detalhes de fabricação e execução dos enrijecedores costumam encarecer o projeto.

REFERÊNCIAS

ALVES, K. M.; LUXINGER, M. S. **Dimensionamento de ligações de bases de pilares de aço**. Vitória, 2021.

ARAÚJO, Afonso Henrique Mascarenhas de *et al.* **Projeto de Estruturas de Edificações com Perfis Tubulares de Aço**. Belo Horizonte: Ed. do Autor, 2016. 598 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 8800**: Projeto de estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto de edifícios. Rio de Janeiro, 2008.

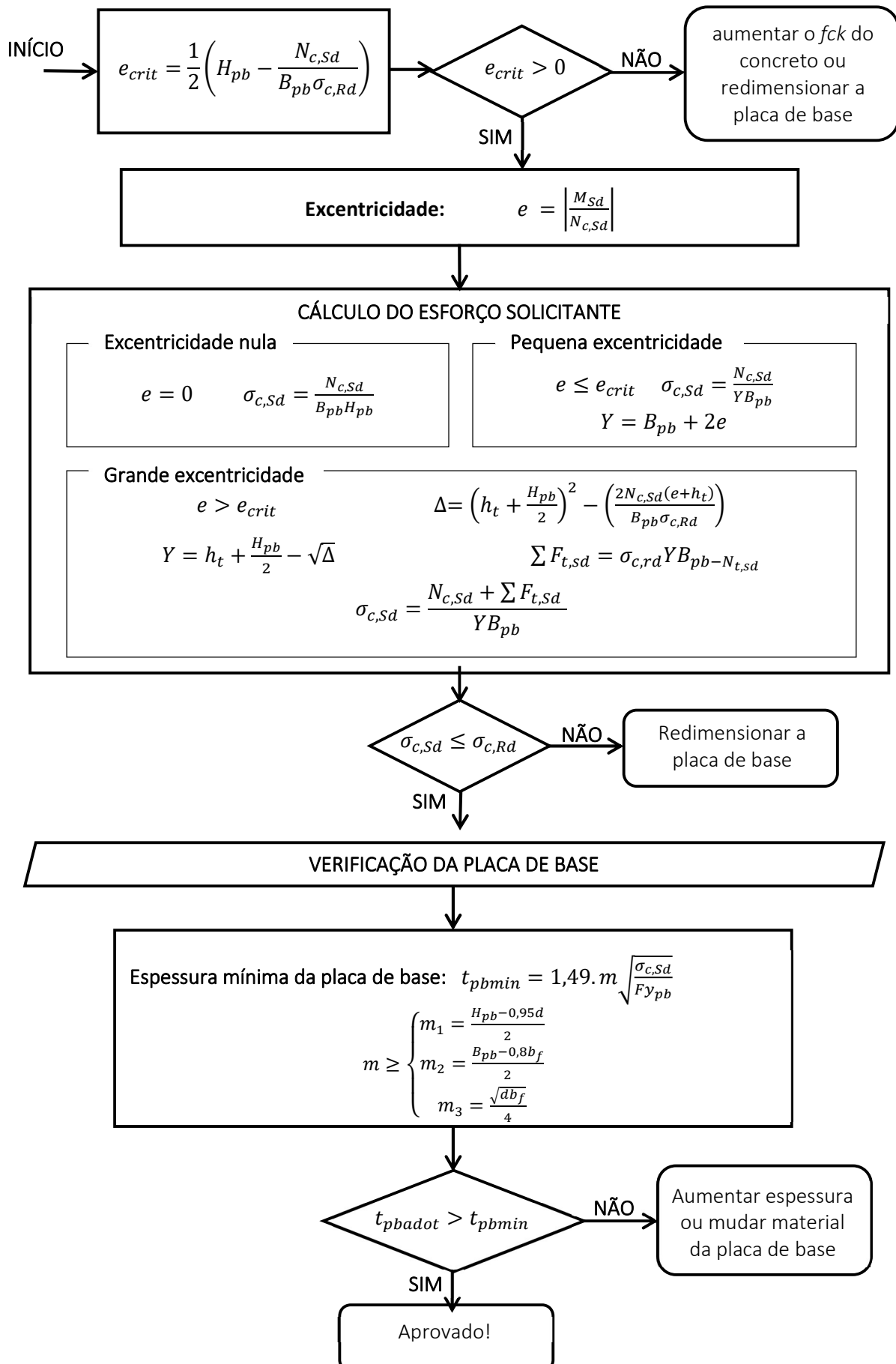
ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 16239**: Projeto de estruturas mistas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto de edificações com perfis tubulares. Rio de Janeiro, 2013.

BELLEI, I. H. **Interfaces aço-concreto**. 2ªed. Instituto Aço Brasil, Centro Brasileiro da Construção em Aço, Rio de Janeiro, 2009.

FISHER, J. M.; KLOIBER, L. A. **Base Plate and Anchor Rod Design**. Steel Design Guide American Institute of Steel Construction, 2006.

ROARK, R.J E YOUNG C. WARREN. **Formulas for Stress and Strain**. 5ªed, 2002.

APÊNDICE A – FLUXOGRAMA DE VERIFICAÇÃO DA PLACA DE BASE SEM OS ENRIJECEDORES



APÊNDICE B – FLUXOGRAMA DE VERIFICAÇÃO DA PLACA DE BASE COM OS ENRIJECEDORES

