



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CENTRO DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ESTRUTURAL E CONSTRUÇÃO CIVIL
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL**

TAMYRES FORTE RODRIGUES

DIMENSIONAMENTO E DETALHAMENTO DE PILARES-PAREDE

**FORTALEZA
2013**

TAMYRES FORTE RODRIGUES

DIMENSIONAMENTO E DETALHAMENTO DE PILARES-PAREDE

Monografia submetida à Coordenação do Curso de Engenharia Civil da Universidade Federal do Ceará, como requisito para obtenção do grau de Engenheira Civil.

Orientador: Prof. Dr. Joaquim Eduardo Mota

FORTALEZA
2013

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Biblioteca Universitária
Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

R617d Rodrigues, Tamyres Forte.

Dimensionamento e detalhamento de pilares-parede / Tamyres Forte Rodrigues. – 2013.
85 f. : il. color.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Tecnologia,
Curso de Engenharia Civil, Fortaleza, 2013.

Orientação: Prof. Dr. Joaquim Eduardo Mota.

1. Pilar parede. 2. NBR 6118. 3. Dimensionamento. I. Título.

CDD 620

DIMENSIONAMENTO E DETALHAMENTO DE PILARES-PAREDE

Monografia submetida à Coordenação do
Curso de Engenharia Civil, da Universidade
Federal do Ceará, como requisito parcial para
a obtenção do grau de Engenheira Civil.

Aprovada em ____/____/____

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Joaquim Eduardo Mota (Orientador)
Universidade Federal do Ceará – UFC

Prof. Dr. Augusto Teixeira de Albuquerque
Universidade Federal do Ceará - UFC

Profa. Dra. Magnólia Maria Campêlo Mota
Universidade Federal do Ceará – UFC

À Deus.
À minha mãe Ivone Forte Feijó.
Ao meu irmão Stéfano Forte Rodrigues.
Ao meu noivo Allison G. B. Cavalcante.

AGRADECIMENTOS

A Deus, que me deu a vida, a saúde e a inteligência, para ter força e lutar para conquistar os meus objetivos.

Ao professor Dr. Joaquim Eduardo Mota, pela orientação, transmissão de conhecimentos e disposição em ajudar na concretização deste trabalho.

Ao engenheiro Dácio Carvalho, por abrir as portas da sua empresa e do seu conhecimento me fazendo conhecer, na prática, a engenharia estrutural. Ao engenheiro Marcelo Carvalho, por todo o auxílio e dicas ao longo da elaboração deste trabalho.

Aos meus pais, Gessiner Paiva Rodrigues e Ivone Forte Feijó, especialmente à minha mãe por ser um exemplo de força, por me ensinar a não temer os obstáculos da vida e por sua dedicação em me educar e me fazer uma pessoa boa.

Aos meus irmãos William, Gessiner Filho (in memoriam) e Rebecca por serem companheiros e compreensivos. Especialmente meu irmão Stéfano, por ter sido um pai e melhor amigo, por me ensinar que o mais importante valor da vida é o conhecimento, por ter se dedicado à minha educação, pelo amor e por ter feito eu me tornar a pessoa que sou hoje.

À minha avó Ivone Forte Feijó por ser uma grande mulher, forte e dedicada à família e a minha tia Hercília Maria Forte Feijó, um exemplo de pessoa caridosa e que ama a família acima de tudo, por fazerem com que a minha educação, nas melhores escolas, fosse possível apesar de todas as dificuldades.

Ao meu noivo, Allison Guimarães Bezerra Cavalcante, pela paciência, pela compreensão, pelo amor, pelo companheirismo, pelo incentivo e pela dedicação incondicional sem medir esforços para me ajudar.

Ao meu cunhado Alexandre Bezerra e sua esposa Geisy Luna, pelo apoio e pelas vezes que precisei de suas medicações para dores nas costas, nunca me esquecerei da ajuda de vocês para passar no vestibular.

Aos engenheiros Thiago Bruno Reis de Azevedo, Marcelo Diego Barbosa e Francisco Daniel Rodrigues Crispim pela boa vontade de transmitir conhecimentos.

Aos amigos que fiz faculdade e levarei pra vida inteira: Marcela, Sâmara, Renata, Sara, Laís, Júlia, Juliana, Manuella, Rayanne e Eugênio Júnior. Obrigada pelo companheirismo, apoio e respeito ao longo desses 5 anos.

“Sob a direção de um forte general, não haverá
jamais soldados fracos.” (*Sócrates*)

RESUMO

Tendo em vista que nos últimos anos as estruturas de edifícios de concreto passaram por mudanças significativas, principalmente na altura das edificações e na esbeltez das peças estruturais, isso fez com que os engenheiros estruturais passassem a se preocupar bastante com os deslocamentos das estruturas, pois as peças já não tinham mais a mesma rigidez de antigamente. Os pilares são os elementos estruturais que possuem um papel relevante na segurança das estruturas de concreto armado, pois, além de receberem as cargas verticais advindas das lajes e vigas e repassarem para as fundações, os pilares também resistem às cargas horizontais, como as cargas devido ao vento. Esses pilares que resistem às cargas devido ao vento são chamados de subestruturas de contraventamento, e em grande parte, são apresentados na forma de Pilares-Parede que são utilizados tanto nas caixas de escada e elevador como na estrutura como um todo. Então neste trabalho será apresentada uma formulação simplificada para o dimensionamento e detalhamento das armaduras dos pilares-parede, através de planilhas no Excel, pelos métodos propostos pela NBR 6118:2003. Esse dimensionamento através de planilhas pelo método proposto na NBR 6118:2003 será comparado ao dimensionamento e detalhamento obtido através do software CAD-TQS.

Palavras-chaves: Pilar Parede, NBR 6118, Dimensionamento.

ABSTRACT

In the last years the structures of the concrete buildings have changed a lot, mainly in the height of the buildings and in the slenderness of the structural parts. As consequence, the structural engineers start to concern about the displacements of the structures since the structural parts didn't have the same hardness that it used to have. The pillars are structural elements which have a relevant function in the security of the structures made of reinforced concrete, as besides receiving the vertical loads coming from the slabs and beams and transferring those to the foundations, the pillars also resist to the horizontal loads, as the loads exercised by the wind, for example. Those pillars which resist to the loads exercised by the wind are called substructures of bracing, and in their majority are presented as pillars-walls that are used not only in the stairwell and lift case but also in whole structure. So, in this work a simplified formulation for the sizing and detailing of the reinforcement of the pillars-walls is presented through Excel's spreadsheets considering the methods proposed in the NBR 6118:2003. In this work, the sizing calculated in the way is compared to the sizing and detailing obtained through the software CAD-TQS.

Key-words: Pillar-wall. NBR6118:2003. Sizing.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Pilares-Parede	21
Figura 2 - Pilar-Parede de três Lâminas.	23
Figura 3 - Lâminas de um Pilar-Parede	23
Figura 4 - Planta com pilares de canto, laterais e centrais.....	25
Figura 5 - Vista Tridimensional	26
Figura 6 - Excentricidade Inicial	27
Figura 7 - Imperfeição Global	28
Figura 8 – Imperfeições Geométricas Locais	29
Figura 9 - Efeitos locais de 2a. ordem em elementos bi rotulados submetidos à compressão .	29
Figura 10 - Excentricidades totais em pilares bi rotulados.....	31
Figura 11 – Resumo do Emprego das Excentricidades	31
Figura 12 - Ábaco obtido pelo método do pilar padrão com $1/r$ aproximado	35
Figura 13 - Diagrama carga x deslocamento com carregamento incremental.....	37
Figura 14- Comprimento Equivalente l_e	38
Figura 15 - Vínculos e comprimento equivalente de um pilar com seção "U".	38
Figura 16 - Divisão de Faixas.....	39
Figura 17 - Pilar-Parede transformado em faixas.....	40
Figura 18 - Fluxograma do cálculo de efeitos localizados.	40
Figura 19 - Área de aço (A_s) mínima dado o F_{ck}	41
Figura 20- Arranjos de estribos para pilares retangulares.	42
Figura 21 - Proteção contra flambagem das barras.	43
Figura 22 - Estapas de um Projeto Estrutural	44
Figura 23 - Gerenciador CAD/TQS	45
Figura 24 - Calculadora CAD/TQS.....	46
Figura 25 - Dados Pilar-Parede	47
Figura 26 – Calculadora de Métodos para Efeitos Locais de Segunda Ordem	48
Figura 27 - Calculo dos Efeitos Localizados de 2a. Ordem numa faixa retangular	48
Figura 28 - Calculo dos Efeitos Localizados de 2a. Ordem numa faixa qualquer	49
Figura 29 - Pilar-Parede dividido e faixas	49
Figura 30 - Análise dos Efeitos Localizados numa faixa qualquer	49

Figura 31 - Cálculo dos Efeitos de 2a. Ordem com malha.....	50
Figura 32 - Exemplo de análise de um Pilar-Parede discretizado em malha.	51
Figura 33- Critérios das Armaduras Transversais dos Pilares-Parede	52
Figura 34 - Verificação de Armadura Transversal	52
Figura 35- Pilar-Parede Pp1	53
Figura 36 - Faixa mais solicitada do pilar-parede (Pp1)	58
Figura 37 - Solicitações pilar-parede (Pp1).....	59
Figura 38 - Solicitações na faixa mais solicitada do pilar-parede (Pp1)	59
Figura 39 - Armadura longitudinal do pilar-parede Pp1	64

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Classe de Agressividade Ambiental	24
Tabela 2 - Correspondência entre classe de agressividade ambiental e cobertura nominal para $\Delta c = 10\text{mm}$	24
Tabela 3 - Dados do Pilar-Parede	54
Tabela 4 - Índices de esbeltez.....	55
Tabela 5 - Excentricidade Acidental	55
Tabela 6 - Excentricidades Mínimas	56
Tabela 7 - Excentricidade de 2a. Ordem	56
Tabela 8 - Efeitos Locais de 2a. Ordem	57
Tabela 9 - Cálculo da Área de aço sem consideração dos Efeitos Localizados	57
Tabela 10 - Necessidade de considerar os efeitos localizados de 2a. ordem.....	58
Tabela 11 - Dados da faixa mais solicitada	61
Tabela 12 - Índices de esbeltez da faixa	61
Tabela 13 - Excentricidade acidental da faixa.....	62
Tabela 14 - Excentricidades mínimas na faixa.....	62
Tabela 15 - Excentricidade de 2a. Ordem na faixa.....	62
Tabela 16 - Efeito local na faixa.....	63
Tabela 17 - Área de aço da faixa	63
Tabela 18 - Armadura transversal do pilar-parede Pp1	65
Tabela 19 - Armadura transversal do pilar-parede Pp2.....	66
Tabela 20 - Armadura transversal do pilar-parede Pp3.....	67
Tabela 21 - Armadura transversal do pilar-parede Pp4.....	68
Tabela 22 - Armadura transversal do pilar-parede Pp5.....	69

LISTA DE SÍMBOLOS

- $l_{d,mín}$ - mínimo de cálculo de primeira ordem;
- B – na base;
- c - do concreto;
- d - de cálculo;
- i – contador;
- l_{nt} - intermediária;
- k - característico;
- máx - máximo;
- mín - mínimo;
- R - resistente;
- s - do aço;
- s - solicitante;
- T - topo;
- x - direção principal x, paralela à direção de h_x ;
- y - direção principal y, paralela à direção de h_y ;
- A_c - área da seção transversal do concreto;
- $A_{s,máx}$ - área de aço na armadura longitudinal máxima;
- $A_{s,mín}$ - área de aço na armadura longitudinal mínima;
- $A_{s,tot}$ - área total de aço da armadura longitudinal;
- $A_{s,est}$ - área de aço calculada na armadura transversal;
- $A_{s,est (nec)}$ - área de aço necessária na armadura transversal;
- A_{si} - área da seção transversal da barra de aço i;
- A_{sw} - área da seção transversal dos estribos;
- b_w - largura da seção transversal;
- c_1 - distância entre o eixo da barra longitudinal do canto até a face lateral do elemento estrutural;
- e_1 - excentricidade total de 1ª. ordem;
- e_2 - excentricidade de 2ª. ordem;
- e_a - excentricidade acidental;
- e_{cc} - excentricidade devido à fluência;
- e_i - excentricidade inicial;

e_{tot} - excentricidade total;

E_s - módulo de elasticidade do aço;

f_{cd} - resistência de cálculo do concreto;

f_{ck} - resistência característica do concreto à compressão;

$f_{ct,m}$ - resistência média à tração do concreto;

f_{yd} - resistência de cálculo do aço;

f_{yk} - resistência característica do aço;

f_{ywd} - tensão na armadura transversal passiva;

f_{ywk} - resistência ao escoamento do aço da armadura transversal;

F_d - valor de cálculo das ações para combinação última;

h - altura da seção transversal;

i - raio de giração da seção transversal;

I - momento de inércia da seção transversal;

l - comprimento do pilar;

l_b - comprimento de ancoragem básico;

l_e - comprimento equivalente do pilar;

M - momento fletor;

$M_{d,tot}$ - momento de cálculo total atuante no pilar;

$M_{Rd,máx}$ - momento resistente máximo de cálculo;

$M_{Sd,máx}$ - momento solicitante de cálculo máximo;

n - número ou quantidade

N - esforço normal;

$N_{d,MRd,máx}$ - esforço normal de cálculo;

N_{Rd} - a força normal resistente de cálculo;

V - esforço cortante;

$V_{S,(i)}$ - esforço cortante solicitante na, ação i ;

$V_{Sd,(i)}$ - esforço cortante solicitante de cálculo, combinação i ;

$V_{Sd,máx}$ - esforço cortante máximo dentre todas as combinações de carregamentos;

ϕ - bitola (diâmetro) das barras longitudinais;

ϕ_t - bitola (diâmetro) dos estribos;

γ_c - coeficiente de minoração da resistência do concreto;

γ_s - coeficiente de minoração da resistência do aço;

γ_n - coeficiente adicional de majoração de esforços para pilares com menor dimensão < 19 cm;

λ - índice de esbeltez;

ν - força normal adimensional;

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	17
1.1	Aspectos Gerais	17
1.1.1	Objetivo geral	19
1.1.2	Objetivos específicos	19
1.2	Organização do Trabalho.....	19
2	CÁLCULO DAS ARMADURAS DE PILARES-PAREDE	20
2.1	Introdução.....	20
2.2	Armadura longitudinal dos Pilares-Parede segundo a NBR 6118:2003	22
2.2.1	Agressividade Ambiental	24
2.2.2	Posição do pilar em planta.....	25
2.2.3	Tipo de solicitação.....	26
2.2.4	Tipos de excentricidade	26
2.2.3.1	Excentricidade Inicial (e_i).....	27
2.2.3.2	Excentricidade de Forma:.....	28
2.2.3.3	Excentricidade acidental (e_a):.....	28
2.2.3.4	Excentricidade de Segunda Ordem (e_2)	29
2.2.3.5	Excentricidade Suplementar – Fluência (e_{cc}).....	30
2.2.3.6	Excentricidade total (e_{tot}):	30
2.2.5	Efeitos de 2ª Ordem.....	32
2.2.4.1	Dispensa do cálculo dos efeitos locais de 2ª ordem	32
2.2.4.2	Consideração dos efeitos locais de 2ª. ordem.....	34
2.2.4.3	Dispensa do cálculo dos efeitos localizados de 2ª ordem.....	37
2.2.4.4	Consideração do efeito localizado de 2ª. ordem.....	39
2.3	Armadura transversal dos Pilares-Parede segundo a NBR 6118:2003	41

3	ARMADURA DOS PILARES-PAREDE ATRAVÉS DO CAD/TQS	43
3.1	Introdução.....	43
3.2	Armadura longitudinal dos Pilares-Parede através do CAD/TQS	46
3.2.1	Efeitos de 2ª Ordem.....	46
3.2.1.1	Consideração dos Efeitos Locais de Segunda Ordem no CAD/TQS	47
3.2.1.2	Consideração dos Efeitos Localizados de Segunda Ordem no CAD/TQS	48
3.2.1.3	Consideração dos Efeitos de 2ª.Ordem com malha.....	50
3.3	Armadura transversal dos Pilares-Parede através do CAD/TQS	51
4	RESULTADOS	52
4.1	Introdução.....	52
4.2	Cálculo da Armadura Longitudinal do Pilar-Parede Pp1 através do Excel.....	53
4.2.1	Entrada de dados:.....	54
4.2.2	Índices de esbeltez do Pilar-Parede Pp1	54
4.2.3	Excentricidade acidental do Pilar-Parede Pp1	55
4.2.4	Excentricidades mínimas do Pilar-Parede Pp1	55
4.2.5	Excentricidades de 2ª. Ordem do Pilar-Parede Pp1.....	56
4.2.6	Efeitos Locais de 2ª. Ordem	56
4.2.7	Cálculo da área de aço (A_s) sem a consideração dos Efeitos Localizados	57
4.2.8	Efeitos Localizados de 2ª. Ordem.....	58
4.2.8.1	Índices de esbeltez da faixa mais solicitada	61
4.2.8.2	Excentricidade acidental na faixa mais solicitada	62
4.2.8.3	Excentricidades mínimas na faixa mais solicitada	62
4.2.8.3	Excentricidade de 2ª. Ordem na faixa mais solicitada.....	62
4.2.8.3	Efeitos locais de 2ª. Ordem na faixa.....	62
4.2.8.3	Cálculo da área de aço (A_s) na faixa	63
4.3	Cálculo da Armadura Longitudinal do Pilar-Parede Pp1 através do CAD/TQS.....	64

4.4	Armadura Transversal dos Pilares-Parede.....	64
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	70
	ANEXO A – ÁBACOS ADIMENSIONAIS	73
	ANEXO B – RESUMO DO DETALHAMENTO DOS PILARES-PAREDE ATRAVÉS DO CAD/TQS	83

1 INTRODUÇÃO

1.1 Aspectos Gerais

No passado, as estruturas de concreto eram bastante robustas, o que fazia com que as estruturas não apresentassem problemas com deslocamentos excessivos, devido à elevada rigidez das peças. Porém essas estruturas tinham a arquitetura e a altura limitadas e não eram tão econômicas devido ao grande volume de concreto utilizado.

A Construção Civil progrediu muito nos últimos anos, os processos construtivos estão cada vez mais ágeis e os projetos estruturais cada vez mais evoluídos. A busca por edificações cada vez mais elaboradas, com arquiteturas bastante rebuscadas, peças cada vez mais esbeltas e estruturas bem mais verticalizadas fez com que a análise estrutural e as tecnologias utilizadas na construção civil acompanhassem essa evolução. Juntamente com as peças esbeltas, surgiram os problemas em relação à fissuração e ao deslocamento. Para tanto, fez-se necessário um controle desses aspectos.

A Engenharia evoluiu juntamente com a evolução no mundo tecnológico. Segundo KIMURA (2007), houve uma mudança não só nos hardwares e softwares, como também na troca de informações entre os mesmos. A agilidade na comunicação através de e-mails, o acesso as informações pela Internet, o aumento da capacidade de armazenamento de dados, a diminuição do tamanho das peças e o desenvolvimento de sistemas computacionais cada vez mais inteligentes são apenas alguns exemplos dessa grande mudança.

Segundo KIMURA (2007), essa mudança favoreceu muito a Engenharia como um todo. Na parte de Engenharia de Estruturas, por exemplo, antigamente para o cálculo de uma estrutura utilizavam-se réguas de cálculo, os computadores que existiam ocupavam espaços enormes, os cálculos levavam dias para serem processados devido a limitação da memória das máquinas e só podiam ser analisados modelos simples. Atualmente existem softwares que facilitam e simplificam o trabalho dos engenheiros estruturais desde o lançamento dos dados, à análise, ao dimensionamento e ao detalhamento dos elementos estruturais. O edifício inteiro é processado em questão de minutos. Portanto, a evolução da informática veio para aperfeiçoar a Engenharia de Estruturas e não para substituir o importante papel do Engenheiro Estrutural.

Foi introduzido um novo conceito na construção civil chamado de durabilidade. De acordo com o item 6.1 da NBR 6118:2003: “As estruturas de concreto devem ser projetadas e construídas de modo que sob as condições ambientais previstas na época do projeto e quando utilizadas conforme preconizados em projeto conservem sua segurança, estabilidade e aptidão em serviço durante o período correspondente a sua vida útil”. Podemos concluir, portanto, que durante a vida útil a estrutura deve manter as características que foram inicialmente definidas no projeto.

Existem diversos prejuízos causados às estruturas como fissuração e deslocamentos excessivos que além de prejudicarem a funcionalidade das estruturas em serviço, causam mal estar estético. Como consequência desses deslocamentos excessivos, podemos citar o mau funcionamento de portas e janelas e muitas vezes até a ruptura dos vidros que fazem parte das mesmas. Esses danos muitas vezes não têm relação com a segurança, porém os efeitos que eles podem causar são de desconforto e desconfiança aos usuários.

Sendo assim, todo engenheiro deve preocupar-se em garantir a segurança para que a estrutura trabalhe em seu estado limite de serviço e não chegue à ruína. Além disso, deve buscar-se sempre economia e a exequibilidade dessas estruturas.

Os pilares possuem um papel relevante na segurança das estruturas de concreto armado. Além de receberem as cargas verticais advindas das lajes e vigas e repassarem para as fundações, os pilares também resistem às cargas horizontais, como as cargas devido ao vento, ao peso próprio, à retração do concreto, à variação de temperatura, aos efeitos de 2ª Ordem, entre outros tipos de cargas. Esses pilares que resistem às cargas devido ao vento são chamados de subestruturas de contraventamento, e em grande parte, são apresentadas na forma de Pilares-Parede que são utilizados tanto nas caixas de escada e elevador como na estrutura como um todo. Vale ressaltar que os pórticos formados na estrutura também possuem um papel relevante na estabilidade global dessa estrutura.

Segundo o item 14.4.2.4 da NBR 6118:2003: “Pilares-parede são elementos de superfície plana ou casca cilíndrica, usualmente dispostos na vertical e submetidos preponderantemente à compressão. Podem ser compostos por uma ou mais superfícies associadas. Para que se tenha um pilar-parede, em alguma dessas superfícies a menor dimensão deve ser menor que 1/5 da maior, ambas consideradas na seção transversal do elemento estrutural.”

Como ferramenta adicional, será utilizado neste trabalho o dimensionamento e detalhamento de pilares-parede através do CAD/TQS; é um sistema computacional gráfico destinado à elaboração de projetos de estruturas de concreto armado.

1.1.1 Objetivo geral

Fazer uma análise crítica e comparativa dos procedimentos de dimensionamento e detalhamento de pilares-parede, propostos na NBR 6118.

1.1.2 Objetivos específicos

- A. Apresentar a formulação da NBR 6118:2003 para o cálculo das armaduras longitudinal e transversal de Pilares-Parede;
- B. Calcular manualmente, com o auxílio de uma planilha de Excel, a armadura longitudinal de um Pilar-Parede desconsiderando a ação dos efeitos localizados de segunda ordem e comparar com a armadura longitudinal quando os efeitos localizados são considerados;
- C. Obter a armadura longitudinal de alguns pilares-parede através do Sistema CAD/TQS para comparar o método de cálculo da armadura transversal dos pilares-parede proposto no item 18.5 da NBR 6118:2003.

1.2 Organização do Trabalho

Este trabalho divide-se em 5 capítulos. O primeiro capítulo trata da contextualização do assunto e objetivos.

O segundo capítulo apresenta um resumo detalhado de como obter as armaduras dos pilares-parede, utilizando os métodos propostos pela NBR 6118:2003.

No terceiro capítulo será apresentado um resumo de como funciona o Sistema CAD/TQS e de como o Sistema realiza o dimensionamento e detalhamento dos Pilares-Parede.

O quarto capítulo apresentará o cálculo manual, com o auxílio de uma planilha de Excel, da armadura longitudinal de um pilar-parede sem a consideração dos efeitos localizados de 2ª. ordem e considerando esses efeitos. Também serão calculadas as armaduras

transversais de alguns pilares-parede pelos métodos propostos no item 18.5 da NBR 6118:2003.

E por último, no quinto capítulo, serão apresentadas as conclusões e algumas considerações finais a respeito da análise comparativa feita entre os exemplos calculados no quarto capítulo.

2 CÁLCULO DAS ARMADURAS DE PILARES-PAREDE

2.1 Introdução

Este capítulo abordará alguns conceitos que serão relevantes para o bom entendimento deste trabalho como a definição de pilar e de pilar-parede, a diferença entre eles e os fatores que envolvem o dimensionamento de um pilar-parede.

Um conceito que devemos fixar e ter bem definido ao longo deste trabalho é a definição de pilar. De acordo com o item 14.4.1.2 da NBR 6118:2003: “pilares são elementos lineares de eixo retos, usualmente dispostos na vertical, em que as forças normais de compressão são preponderantes”. E de acordo com o item 14.4.1 da NBR 6118:2003: “elementos lineares são aqueles em que o comprimento longitudinal supera em pelo menos três vezes a maior dimensão da seção transversal, sendo também denominados barras”.

Como já foi mencionado anteriormente, as estruturas tiveram uma evolução considerável nos últimos anos, com isso até a norma que regulamentava os procedimentos para projetar estruturas de concreto, a NBR 6118:1978, foi modificada de forma a melhorar e aprimorar os métodos de cálculo e dimensionamento das estruturas de concreto. Segundo KIMURA, na extinta NBR 6118:1978 existia apenas um método para analisar os efeitos locais de 2ª. Ordem, já na atual NBR 6118:2003, possuímos quatro métodos.

O estudo do dimensionamento dos pilares não é simples, pois além de estarem sujeitos às flexões compostas (normal e oblíqua) e à flambagem, nas estruturas de concreto existe sempre o problema da fissuração, que influi no estado de deformação e é sempre difícil de avaliar. (CARVALHO; PINHEIRO, 2009).

Por ser um assunto que não é tão simples e fazer parte das tomadas de decisão durante a elaboração ou verificação de um projeto estrutural, o cálculo de pilares de concreto armado deve ser um assunto bastante estudado e discutido.

O importante papel dos pilares nas estruturas de concreto armado é indiscutível. Além de receberem as cargas verticais advindas das lajes e vigas e repassarem para as fundações, alguns pilares também resistem às cargas horizontais. Segundo SMANIOTTO (2005), nos pilares atuam solicitações de compressão, flexão, esforço cortante e momento torsor, sendo os dois últimos casos mais raros e muitas vezes desprezados.

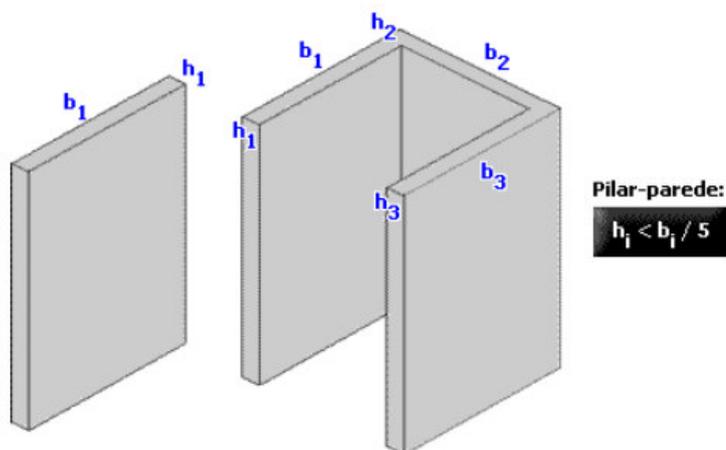
Quando um pilar resiste às ações horizontais ele possui uma grande responsabilidade na manutenção da estabilidade global da estrutura ele é dito um elemento de contraventamento. Segundo o item 15.4.3 da NBR 6118:2003:

Por conveniência de análise, é possível identificar, dentro da estrutura, subestruturas que, devido à sua grande rigidez a ações horizontais, resistem a maior parte dos esforços decorrentes dessas ações. Essas subestruturas são chamadas subestruturas de contraventamento.

Os pilares-parede possuem um papel relevante diante da estabilidade global das estruturas por serem subestruturas de contraventamento. Segundo o item 14.4.2.4 da NBR 6118:2003:

Pilares-parede são elementos de superfície plana ou casca cilíndrica, usualmente dispostos na vertical e submetidos preponderantemente à compressão. Podem ser compostos por um ou mais superfícies associadas. Para que se tenha um pilar-parede, em alguma dessas superfícies a menor dimensão deve ser menor que 1/5 da maior, ambas consideradas na seção transversal do elemento estrutural.

Figura 1 - Pilares-Parede



Fonte: KIMURA

Tendo em vista que o desejo por estruturas cada vez mais altas, arquiteturas cada vez mais elaboradas e mais rebuscadas, muitas vezes o emprego de pilares-parede em edifícios torna-se uma imposição. O emprego dos pilares-parede é muito comum em países sujeitos a efeitos sísmicos, como o Japão, esses elementos fazem parte da estrutura resistente dos edifícios. No Brasil, seu uso também tem se tornado cada vez mais frequente.

Vale ressaltar que não apenas os pilares-parede atuam como subestruturas de contraventamento. Segundo ARAÚJO (2003) todas as partes da estrutura oferecem resistência às ações horizontais, além dos elementos de elevada rigidez, os pórticos formados pelos elementos de pequena rigidez também contribuem de maneira significativa na rigidez a ações horizontais.

2.2 Armadura longitudinal dos Pilares-Parede segundo a NBR 6118:2003

A armadura longitudinal dos pilares-parede, assim como dos pilares simples, tem a função de absorver parte dos esforços de compressão, pois apesar de o aço utilizado na armadura longitudinal resistir melhor à tração, ele ajuda ao concreto, que tem maior resistência à compressão, a reduzir a seção dos pilares.

Segundo SMANIOTTO, os pilares podem ser divididos em três grupos: os que estão solicitados por compressão centrada, os que estão solicitados por flexão composta normal e os que estão solicitados por flexão composta oblíqua. No primeiro caso, os momentos fletores não são considerados para efeito de cálculo, somente o esforço normal de compressão é considerado; no segundo caso atuam no pilar o momento fletor no plano vertical e o esforço normal de compressão; já no terceiro caso os pilares são submetidos a momentos fletores nas duas direções principais de sua seção (x e y) e ao esforço normal de compressão. Para auxiliar o cálculo manual desses pilares são utilizados ábacos adimensionais. Esses ábacos podem ser vistos no anexo A.

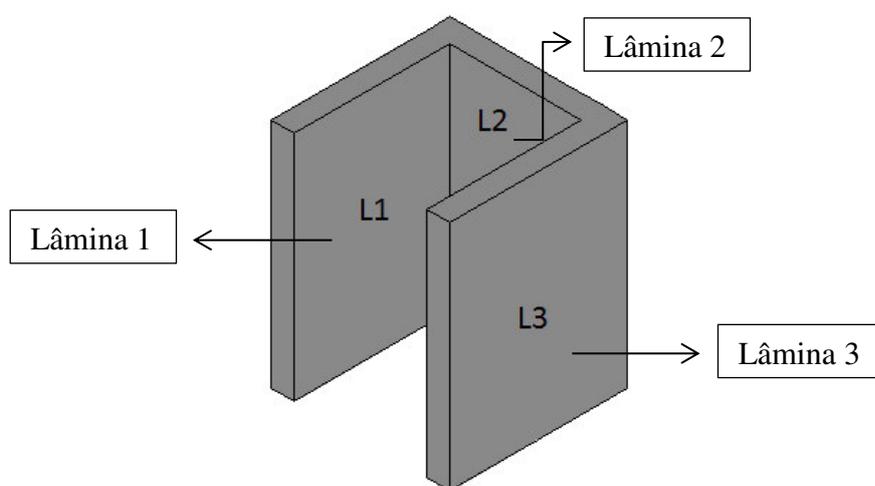
Por serem elementos de superfície, os pilares-parede não podem ser tratados como pilares simples, já que estes, por definição, são elementos lineares. Ou seja, para o dimensionamento dos pilares parede, além das considerações feitas para um pilar simples, devemos tomar alguns cuidados especiais.

De acordo com o item 15.9.2, para o dimensionamento da armadura longitudinal dos pilares-parede compostos podem ser divididos em lâminas para simplificar o cálculo. Para ilustrar este item, na Figura 2 podemos ver um pilar parede de três lâminas. Esse mesmo

pilar pode ser dividido em três lâminas como se fossem pilares diferentes, como os da Figura 3 e calculados separadamente.

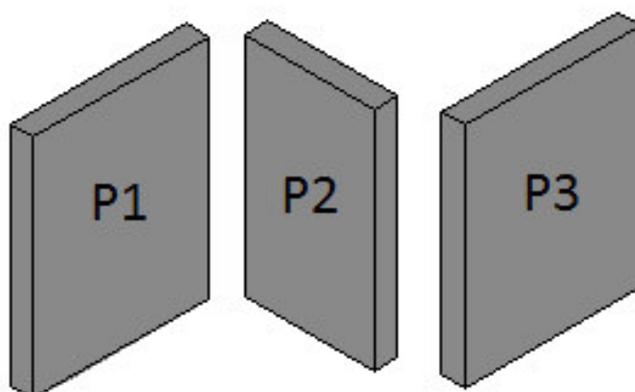
Antes de calcular a armadura longitudinal propriamente dita, alguns fatores devem ser levados em consideração para a análise dos pilares-parede. Esses fatores serão citados e melhor explicados abaixo; alguns desses fatores são os mesmos para um pilar simples.

Figura 2 - Pilar-Parede de três Lâminas.



Fonte: A PRÓPRIA AUTORA

Figura 3 - Lâminas de um Pilar-Parede



Fonte: A PRÓPRIA AUTORA

2.2.1 Agressividade Ambiental

Segundo os itens 6.4.1 e 7.4.7.6 da NBR 6118:2003, a classe de agressividade do ambiente está relacionada com as ações físicas e químicas que o ambiente provoca nas estruturas de concreto. O cobrimento do aço dos elementos estruturais e o fator água cimento (a/c) dependem da classe de agressividade a que a estrutura está submetida.

Deve-se atentar bem para a classe de agressividade na qual a estrutura está inserida, pois a durabilidade das estruturas é altamente dependente das características do concreto e da espessura e qualidade do concreto do cobrimento da armadura.

Tabela 1 - Classe de Agressividade Ambiental

Classe de Agressividade	Agressividade	Classificação geral do tipo de ambiente para efeito de projeto	Risco de deterioração da estrutura
1	Fraca	Rural	Insignificante
		Submersa	
2	Moderada	Urbana	Pequeno
3	Forte	Marinha	Grande
		Industrial	
4	Muito Forte	Industrial	Elevado
		Respingos de Maré	

Fonte: NBR 6118:2003.

Tabela 2 - Correspondência entre classe de agressividade ambiental e cobrimento nominal para $\Delta c = 10\text{mm}$

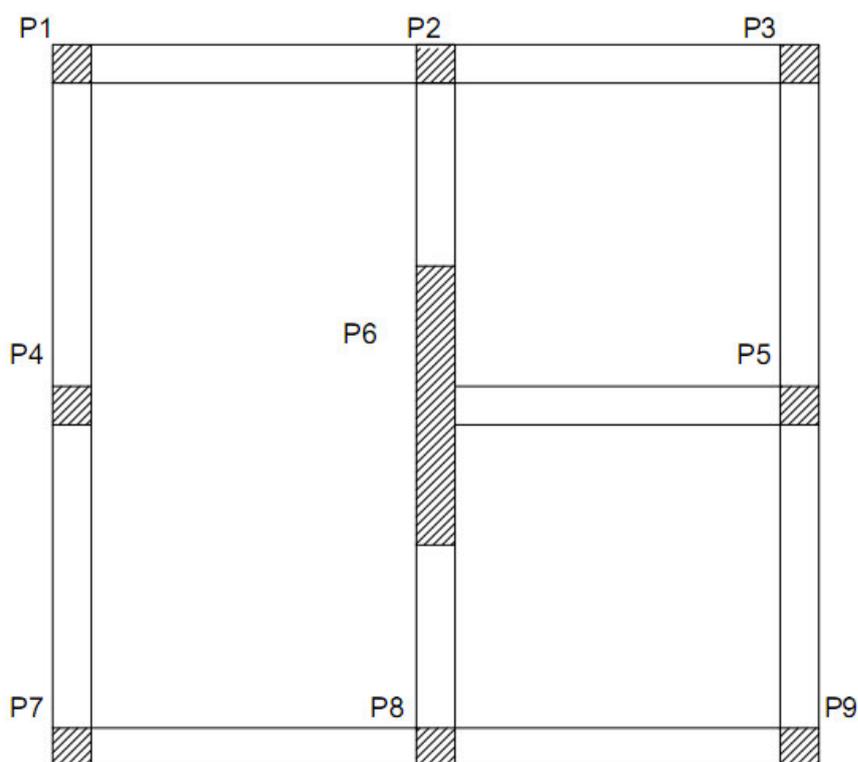
Tipo de Estrutura	Componente ou Elemento	Classe de Agressividade Ambiental			
		1	2	3	4
		Cobrimento Nominal (mm)			
Concreto Armado	Laje	20	25	35	45
	Viga/Pilar	25	30	40	50

Fonte: NBR 6118:2003.

2.2.2 Posição do pilar em planta

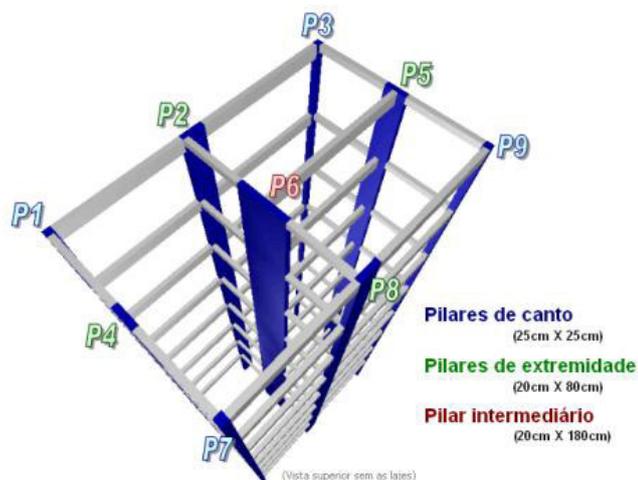
Segundo CARVALHO & PINHEIRO (2009), os pilares podem ser classificados quanto a sua posição em planta: central, lateral e canto. A localização dos pilares em planta determina as excentricidades do carregamento e o tipo de sollicitação à qual o pilar está submetido, se compressão simples, flexão composta normal ou oblíqua. Abaixo podemos ver uma planta simplificada onde P1, P3, P7 e P9 são pilares de canto; P2, P4, P5 e P8 são pilares laterais; e, P6 é um pilar-parede central. E uma figura de uma vista tridimensional de múltiplos pavimentos dessa mesma planta.

Figura 4 - Planta com pilares de canto, laterais e centrais



Fonte: A PRÓPRIA AUTORA

Figura 5 - Vista Tridimensional



Fonte: KIMURA

2.2.3 Tipo de solicitação

O tipo de solicitação depende da posição do pilar em planta. Segundo CARVALHO & PINHEIRO (2009), se o pilar for central ou intermediário ele está submetido inicialmente apenas a cargas concentradas, ou seja, só compressão simples e não sofre flexão; se o pilar for lateral ele é solicitado por cargas verticais e momento fletor transmitido pelas vigas na direção perpendicular ao pilar, ou seja, sofrem flexão composta; e se o pilar for de canto é solicitado por cargas concentradas verticais e momentos fletores transmitidos pelas vigas que estão nas duas direções, ou seja, sofrem flexão oblíqua.

2.2.4 Tipos de excentricidade

Segundo SMANIOTTO (2005), as excentricidades são divididas em excentricidades de 1ª. ordem e excentricidades de 2ª. ordem, as primeiras são obtidas considerando a estrutura no seu estado ainda indeformado e englobam a excentricidades inicial e acidental.

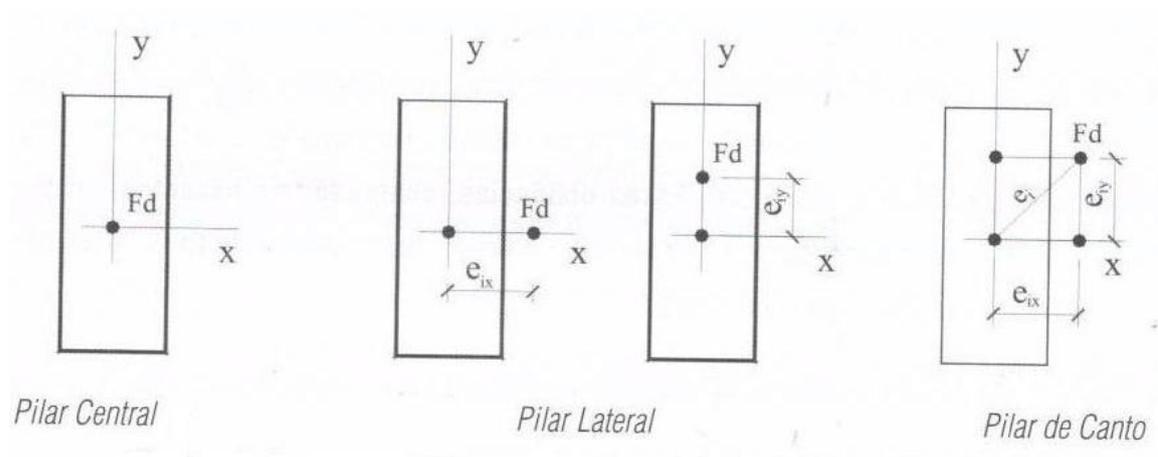
O tipo de excentricidade de carga é função de como a carga advinda das vigas chega ao pilar. Se a carga chegar exatamente no centro do pilar este não possui excentricidade. Porém se esta carga chega a certa distância do centro do pilar, seja no seu eixo de simetria ou num ponto qualquer da seção deste pilar, deve-se verificar qual o tipo de

excentricidade de carga neste pilar (CARVALHO & PINHEIRO, 2009). Existem 6 tipos de excentricidade.

2.2.3.1 Excentricidade Inicial (e_i)

Segundo CARVALHO & PINHEIRO (2009), ocorre principalmente em pilares extremos, como os laterais e de canto. Nos pilares laterais essa excentricidade ocorre na direção x ou na direção y, já nos pilares de canto esta excentricidade ocorre na duas direções como podemos verificar na figura abaixo.

Figura 6 - Excentricidade Inicial



Fonte: CARVALHO & PINHEIRO (2009).

Segundo CARVALHO & PINHEIRO (2009), a excentricidade inicial é obtida dividindo-se os momentos de engastamento perfeito no apoio (M_x e M_y) pelas forças normais atuantes (N), por fórmula:

$$e_{ix} = \frac{M_{Sd,x}}{N_{Sd}} \quad (2.1)$$

$$e_{iy} = \frac{M_{Sd,y}}{N_{Sd}} \quad (2.2)$$

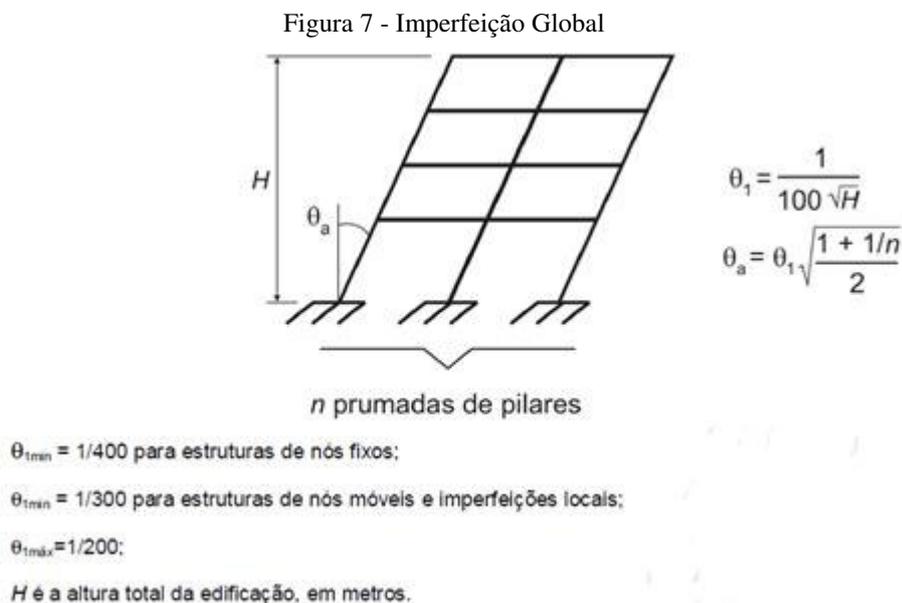
2.2.3.2 Excentricidade de Forma:

Segundo CARVALHO & PINHEIRO (2009), essa excentricidade ocorre, pois nem sempre, no projeto estrutural, é possível fazer com que o eixo da viga seja coincidente com o eixo do pilar. Geralmente as vigas são faceadas pelos pilares fazendo com que a carga chegue descentralizada no pilar. Em alguns casos essa excentricidade pode ser considerada absorvida por outra viga, em outros casos deve ser considerada.

2.2.3.3 Excentricidade acidental (e_a):

Segundo CARVALHO & PINHEIRO (2009), essa excentricidade ocorre acidentalmente, devido a imperfeições nos eixos das peças e são de extrema relevância, pois ela pode ter efeitos significativos na estabilidade da estrutura. Geralmente esse tipo de excentricidade ocorre por falha na construção gerando o desaprumo ou falta de retilicidade no eixo. Essa excentricidade pode gerar imperfeições geométricas globais ou locais.

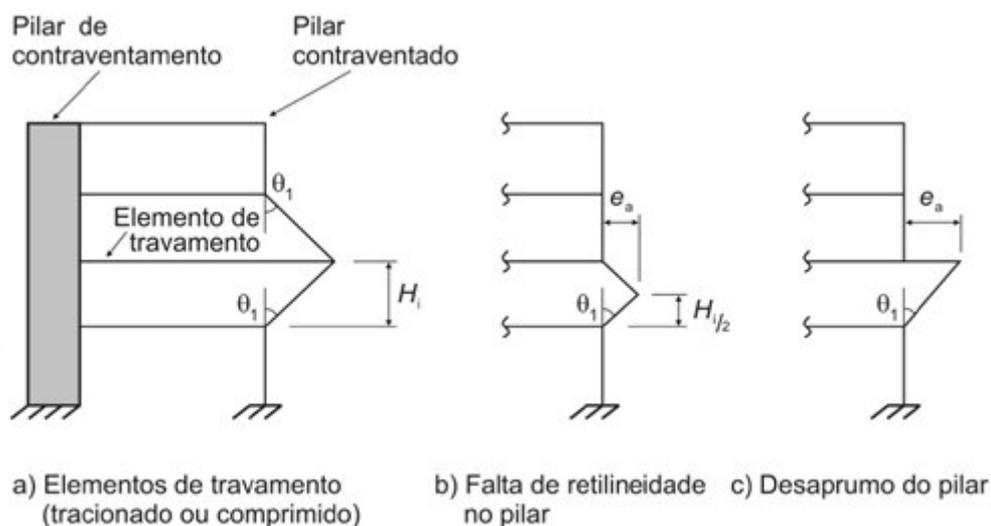
Se a imperfeição geométrica for global, deve ser calculada como na recomendação do item 11.3.3.4.1 da NBR 6118:2003.



Fonte: NBR 6118:2003.

Se a imperfeição geométrica for local, deve ser considerado como na recomendação do item 11.3.3.4.2 da NBR 6118:2003.

Figura 8 – Imperfeições Geométricas Locais

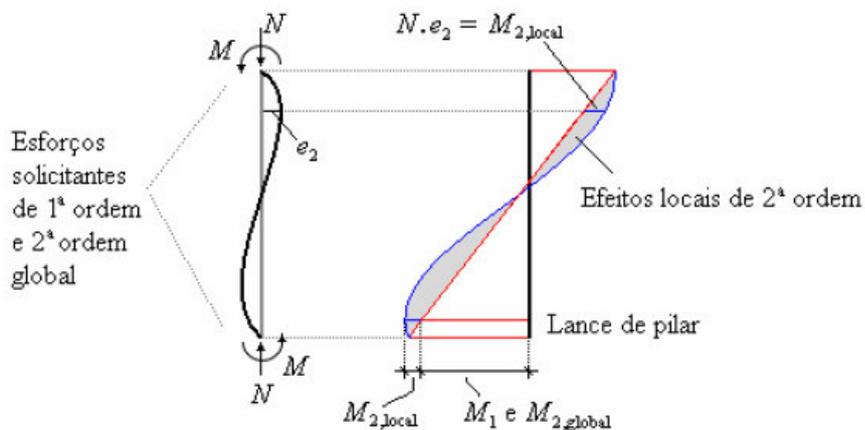


Fonte: NBR 6118:2003.

2.2.3.4 Excentricidade de Segunda Ordem (e_2)

É o fenômeno da flambagem que causa uma deformação na peça podendo causar instabilidade. Segundo SMANIOTTO (2005), devido a essas deformações, podem haver momentos solicitantes devidos ao deslocamento da peça, como mostra a Figura 9. Os métodos de cálculo da excentricidade de Segunda Ordem serão melhor explicados no item Efeitos de 2ª. Ordem deste mesmo trabalho.

Figura 9 - Efeitos locais de 2ª. ordem em elementos bi rotulados submetidos à compressão



Fonte: SMANIOTTO (2005)

2.2.3.5 Excentricidade Suplementar – Fluência (e_{cc})

Segundo a NBR 6118:2003, em seu item 15.8.4, a consideração da fluência é obrigatória em pilares com índice de esbeltez $\lambda > 90$ e pode ser calculada de maneira aproximada como na fórmula abaixo:

$$e_{cc} = \left(\frac{M_{sg}}{N_{sg}} + e_a \right) \left(2,718^{\frac{wN_{sg}}{N_c - N_{sg}}} - 1 \right) \quad (2.3)$$

Onde e_a é a excentricidade devida a imperfeições locais e M_{sg} e N_{sg} são os esforços devidos à combinação quase permanente.

2.2.3.6 Excentricidade total (e_{tot}):

Segundo SMANIOTTO (2005), é o valor final da excentricidade do esforço normal e a NBR 6118:2003 não apresenta de forma clara como calcular o momento solicitante total para verificação da resistência, especialmente no caso de flexão composta oblíqua. Portanto, entende-se que essa excentricidade é a soma de todas as excentricidades em módulo e devem ser verificadas seis situações diferentes como mostra a Figura 10.

Onde:

$e_{tot,x(i)}$ é a excentricidade total na direção x ;

$e_{tot,y(i)}$ é a excentricidade total na direção y ;

$e_{i,x(i)}$ é a excentricidade inicial na direção x ;

$e_{i,y(i)}$ é a excentricidade inicial na direção y ;

$e_{aT,x(i)}$ é a excentricidade acidental na direção x ;

$e_{aT,y(i)}$ é a excentricidade acidental na direção y ;

$e_{2,x(i)}$ é a excentricidade de 2ª ordem na direção x ;

$e_{2,y(i)}$ é a excentricidade de 2ª ordem na direção y ;

$e_{d,totx(i)} = M_{d,totx(i)} / N_{Sd(i)}$;

$e_{d,toty(i)} = M_{d,toty(i)} / N_{Sd(i)}$;

$M_{d,tot}$ é momento de cálculo total atuante no pilar;

i é combinação de carregamento.

Figura 10 - Excentricidades totais em pilares bi rotulados

Situações de cálculo	Seção	direção de atuação de e_a	Excentricidades total, combinação de carregamento i
qualquer valor de λ			
1ª situação	Topo	x	$e_{tot,x(i)} = e_{i,x(i)} + e_{a,x(i)} $ $e_{tot,y(i)} = e_{i,y(i)} $
2ª situação		y	$e_{tot,x(i)} = e_{i,x(i)} $ $e_{tot,y(i)} = e_{i,y(i)} + e_{a,y(i)} $
3ª situação	Base	x	$e_{tot,x(i)} = e_{i,x(i)} + e_{a,x(i)} $ $e_{tot,y(i)} = e_{i,y(i)} $
4ª situação		y	$e_{tot,x(i)} = e_{i,x(i)} $ $e_{tot,y(i)} = e_{i,y(i)} + e_{a,y(i)} $
$\lambda < \lambda_1$ nas duas direções			
5ª situação	Intermediária	x	$e_{tot,x(i)} = e_{i,x(i)} + e_{a,x(i)} $ $e_{tot,y(i)} = e_{i,y(i)} $
6ª situação		y	$e_{tot,x(i)} = e_{i,x(i)} $ $e_{tot,y(i)} = e_{i,y(i)} + e_{a,y(i)} $
$\lambda > \lambda_1$ em uma direção (supondo $\lambda_x > \lambda_1$ e $\lambda_y < \lambda_1$)			
5ª situação	Intermediária	x e y simultaneamente	$e_{tot,x(i)} = e_{i,x(i)} + e_{a,x(i)} + e_{2,x(i)} = e_{d,totx(i)}$ $e_{tot,y(i)} = e_{i,y(i)} + e_{a,y(i)} $
$\lambda > \lambda_1$ nas duas direções			
5ª situação	Intermediária	x e y simultaneamente	$e_{tot,x(i)} = e_{i,x(i)} + e_{a,x(i)} + e_{2,x(i)} = e_{d,totx(i)}$ $e_{tot,y(i)} = e_{i,y(i)} + e_{a,y(i)} + e_{2,y(i)} = e_{d,toty(i)}$

Fonte: SMANIOTTO (2005)

A figura abaixo mostra um resumo do emprego das excentricidades:

Figura 11 – Resumo do Emprego das Excentricidades

Excentricidade	Situações para uso	Expressões		
		Seção extrema	Seção intermediária	
Acidental e_a	todas	$\theta_1 \cdot \ell$	$\theta_1 \cdot (\ell/2)$	$\theta_1 = \frac{1}{100 \cdot \sqrt{\ell}} \leq \frac{1}{200}$
Mínima $e_{1,min}$	Todas, se maior que imperfeições geométricas ou de primeira ordem	$e_{1,min} = 0,015 + 0,03 \cdot h$ (h em m)		
Segunda ordem e_2	Sempre que $\lambda > \lambda_1$	$\lambda_1 < \lambda < 90$ $e_2 = \frac{\ell_e^2}{10} \cdot \frac{0,005}{(v + 0,5) \cdot h}$	$90 \leq \lambda < 140$ $e_2 = \frac{\ell_e^2}{10} \cdot \frac{1}{r}$ Gráficos N, 1/r, M	$140 \leq \lambda < 200$ Processo geral
Forma e_i	Carga excêntrica sem vigas	$e_i = e$		
Inicial e_i	Pilares laterais e de canto	Pilar lateral $e_i = \frac{M_i}{N}$	Pilar de canto $e_{ix} = \frac{M_{ix}}{N}$ $e_{iy} = \frac{M_{iy}}{N}$	Seções intermediárias $e_i^* = \alpha_b \cdot e_i$
Suplementar e_{cc}	Sempre que $\lambda > 90$	$e_c = \left(\frac{M_{Sg}}{N_{Sg}} + e_a \right) \cdot \left(2,718^{\frac{\phi \cdot N_{Sg}}{N_e - N_{Sg}}} - 1 \right)$ $N_e = \frac{10 \cdot E_c \cdot I_c}{\ell_e^2}$		

Fonte: CARVALHO & PINHEIRO (2009).

2.2.5 Efeitos de 2ª Ordem

Os efeitos de segunda ordem dividem-se em globais, locais e localizados. Segundo KIMURA (2007), os efeitos globais são decorrentes dos deslocamentos dos nós da estrutura como um todo, ou seja, estão intimamente ligados à consideração da estrutura ser de nós fixos ou de nós móveis. Os efeitos locais são considerados em apenas partes da estrutura, como nos pilares, quando os eixos não se mantêm retilíneos após a deformação. Os efeitos localizados são uma particularidade dos pilares-parede, pois estes apresentam uma região onde a não retilineidade é maior. Em consequência desta não retilineidade, podem surgir efeitos concentrados nas extremidades desses pilares devido ao aumento do esforço normal provocado pela atuação do momento fletor segundo sua direção mais rígida.

Neste trabalho a estrutura estudada será tratada, para efeito de cálculo, como de nós fixos. Ou seja, os deslocamentos horizontais dos nós são pequenos. Portanto, os efeitos globais de 2ª. ordem serão desprezados e apenas os efeitos locais e localizados de 2ª. ordem serão somados aos efeitos de 1ª. ordem no dimensionamento.

Segundo a NBR 6118:2003, em seu item 15.8.3, para análise dos efeitos locais de 2ª. ordem podem ser utilizados quaisquer métodos aproximado (pilar-padrão com curvatura aproximada, pilar-padrão com rigidez k aproximada ou pilar padrão acoplado a diagrama N , M , $1/r$) ou o Método Geral.

2.2.4.1 Dispensa do cálculo dos efeitos locais de 2ª ordem

Segundo o item 15.2 da NBR 6118:2003, os efeitos de 1ª. ordem são aqueles em que a análise é feita considerando a configuração geométrica inicial da estrutura, ou seja, sem a estrutura ainda estar deformada. Já os efeitos de 2ª. ordem são aqueles em que na análise leva-se em consideração o efeito não-linear da estrutura, ou seja, os efeitos que ocorrem depois de a estrutura estar deformada, fazendo que com a estrutura se desestabilize. Em alguns casos, na análise da estrutura, os efeitos de 2ª. ordem podem ser desprezados, em outros, devem ser somados aos efeitos de 1ª. ordem.

Na análise dos pilares-parede a NBR 6118:2003 recomenda em seu item 15.4.1, que, além dos efeitos locais de 2ª ordem, devem ser considerados os efeitos localizados de 2ª ordem.

Segundo o item 15.8.2 da NBR 6118:2003, a análise dos efeitos locais de 2ª ordem é dispensada, para cada uma das lâminas, quando o índice de esbeltez (λ) for menor que o valor de λ_1 . O valor de λ_1 depende de alguns fatores como:

- a) A excentricidade relativa de primeira ordem;
- b) A vinculação dos extremos da coluna isolada;
- c) A forma do diagrama de momentos de primeira ordem.

O valor de λ_1 é dado por:

$$\lambda_1 = \left(\frac{25 + 12,5 e_1/h}{\alpha_b} \right) \quad (2.4)$$

λ_1 possui o valor máximo de 90 e mínimo de 35.

Onde, o valor de α_b depende do tipo de apoio e de carregamento a que o pilar está submetido, conforme estabelece o item 15.8.2 da NBR6118:2003:

- a) Para pilares biapoiados em cargas transversais:

$$\alpha_b = 0,60 + 0,40 \frac{M_B}{M_A}$$

$$1,0 \geq \alpha_b \geq 0,40$$

Onde, M_A e M_B são os momentos nos extremos do pilar.

- b) Para pilares biapoiados com cargas transversais significativas ao longo da altura:

$$\alpha_b = 1,0$$

- c) Para pilares em balanço:

$$\alpha_b = 0,80 + 0,20 \frac{M_C}{M_A}$$

$$1,0 \geq \alpha_b \geq 0,85$$

Onde:

M_A é o momento de 1ª ordem no engaste e M_C é o momento de 1ª ordem no meio do pilar em balanço.

- d) para pilares biapoiados ou em balanço com momentos menores que o momento mínimo estabelecido em 11.3.3.4.3:

$$\alpha_b = 1,0$$

2.2.4.2 Consideração dos efeitos locais de 2ª. ordem

2.2.4.2.1 Método do pilar-padrão com curvatura aproximada

Segundo o item 15.8.3.3.2 da NBR 6118:2003, o cálculo por este método é permitido apenas para pilares de seção constante, com esbeltez $\lambda \leq 90$ cuja armadura seja simétrica e constante ao longo do eixo. Nesse caso, a não linearidade física e geométrica são consideradas de forma aproximada.

O momento total máximo no pilar deve ser calculado como na expressão abaixo:

$$M_{d,tot} = \alpha_b M_{1d,A} + N_d \frac{l_e}{10} \frac{1}{r} \geq M_{1d,A} \quad (2.7)$$

Onde:

$$\frac{1}{r} = \text{curvatura da seção crítica} = \frac{0,005}{h(\nu + 0,5)} \leq \frac{0,005}{h} \quad (2.8)$$

$$\nu = \text{força adimensional} = \frac{N_{sd}}{A_c f_{cd}} \quad (2.9)$$

$$M_{1d,A} \geq M_{ad,\min} = N_d (0,015 + 0,03h) \quad (2.10)$$

Sendo, portanto, a excentricidade de segunda ordem e_2 dada pela expressão abaixo:

$$e_2 = \frac{l_e^2}{10} \frac{1}{r} \quad (2.11)$$

Onde:

h = altura da seção, na direção considerada;

α_b é o mesmo descrito no item 2.2.4 deste trabalho;

$M_{1d,A}$ = valor do cálculo de 1ª ordem do momento M_A ;

$M_{1d,\min}$ = momento fletor mínimo como definido na equação (2.10);

N_{SD} = força normal solicitante de cálculo;

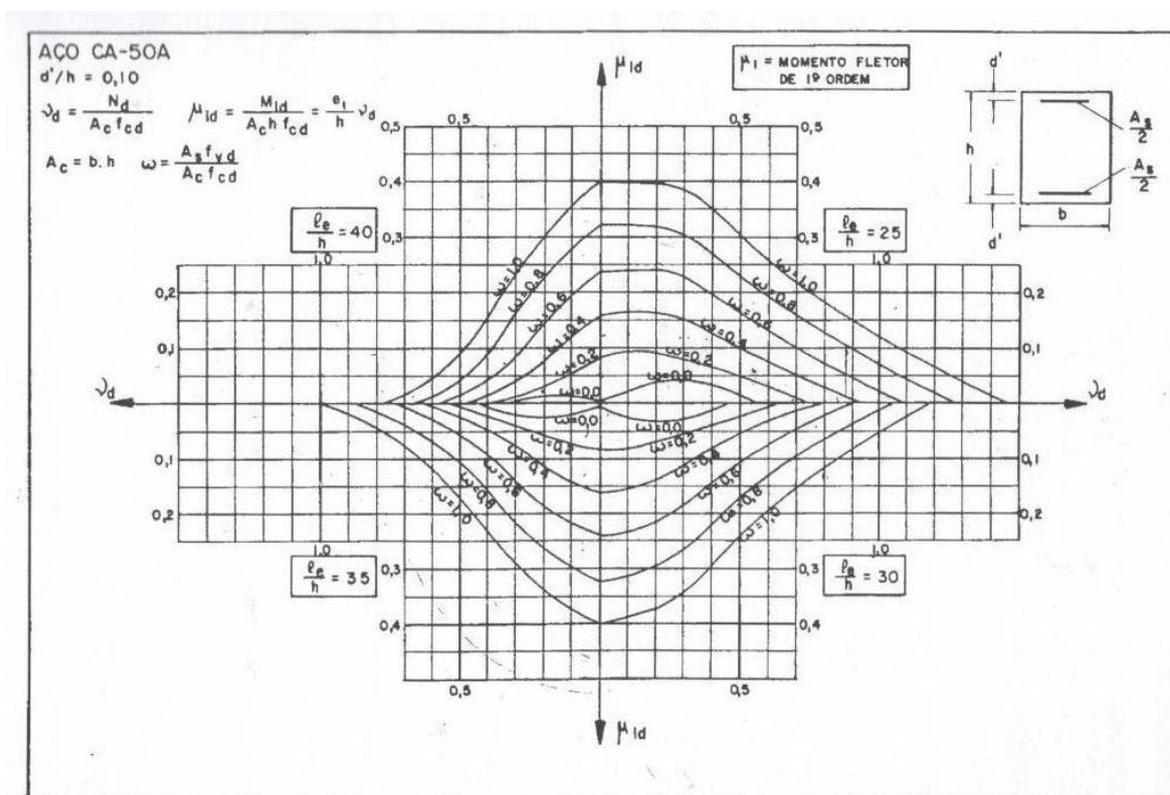
A_c = área da seção transversal do pilar;

F_{cd} = resistência de cálculo à compressão do concreto;

$$f_{cd} = \frac{f_{ck}}{\gamma_c} \quad (2.12)$$

Segundo FUSCO (1995), este procedimento pode ser sistematizado criando-se um ábaco em função da força normal, do momento de primeira ordem, da taxa de armadura e do comprimento de flambagem. Esse ábaco pode ser visualizado na figura

Figura 12 - Ábaco obtido pelo método do pilar padrão com $1/r$ aproximado



Fonte: FUSCO (1995)

2.2.4.2.2 Método do pilar-padrão com rigidez k aproximada

Segundo o item 15.8.3.3.3 da NBR 6118:2003, o cálculo por este método é permitido apenas para pilares de seção constante, com esbeltez $\lambda \leq 90$ cuja armadura seja simétrica e constante ao longo do eixo. Só que diferente do método do pilar-padrão com curvatura aproximada a não linearidade geométrica é aproximada, mas a não linearidade física é calculada por uma expressão da rigidez.

O momento total máximo no pilar deve ser calculado como na expressão abaixo:

$$M_{d,tot} = \frac{\alpha_b M_{1d,A}}{1 - \frac{\lambda^2}{120k/v}} \geq \begin{cases} M_{1d,A} \\ M_{1d,min} \end{cases} \quad (2.12)$$

$$\text{Onde, } v = \frac{N_{sd}}{A_c \cdot f_{cd}} \quad (2.13)$$

Sendo o valor da rigidez, k:

$$k = 32 \left(1 + 5 \frac{M_{s,tot}}{hN_d} \right) v \quad (2.14)$$

2.2.4.2.3 Método do pilar-padrão acoplado a diagramas M, N, 1/r

Segundo o item 15.8.3.3.4 este método pode ser utilizado para pilares com esbelteza $\lambda \leq 140$. Os diagramas de M, N e 1/r são utilizados para obtenção dos valores da curvatura da seção crítica.

2.2.4.2.4 Método Geral:

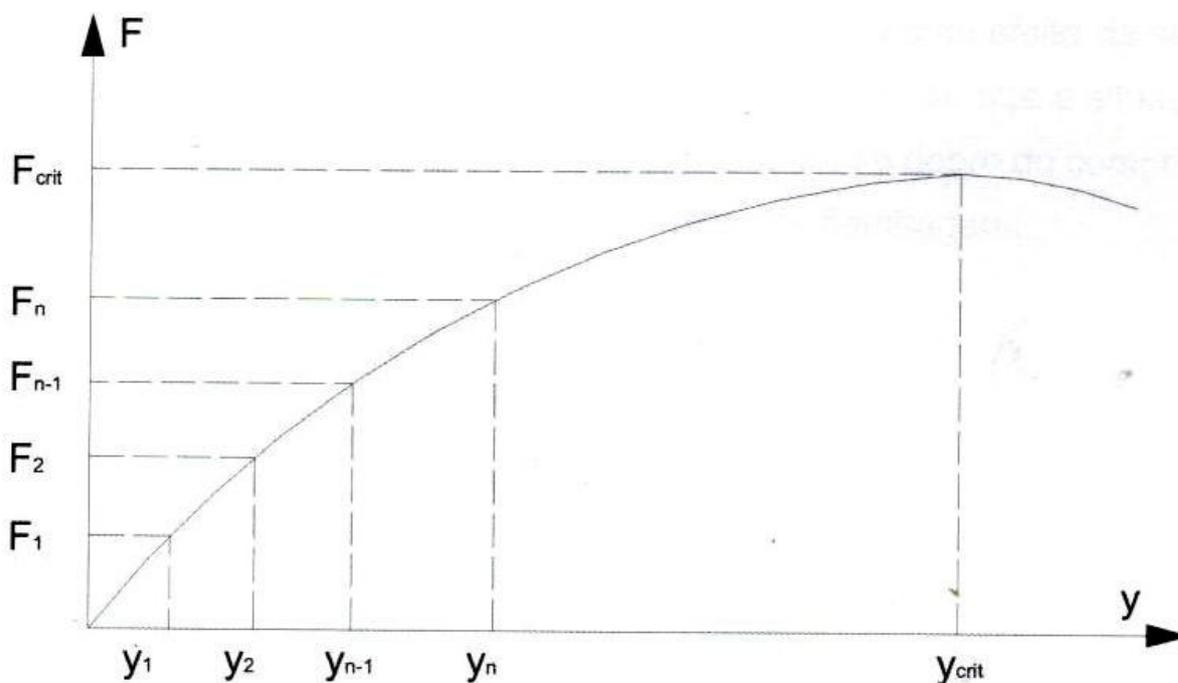
Segundo o item 15.8.3.2 da NBR 6118:2003, este método consiste na análise não linear de 2ª. ordem efetuada com a discretização adequada da barra, com a consideração da relação momento-curvatura real em cada seção, e consideração da não-linearidade geométrica de maneira não aproximada. Este método é obrigatório para pilares com $\lambda \geq 140$ e é indicado para pilares com seção transversal variável. Segundo CARVALHO & PINHEIRO (2009), este método é o mais exato, pois a curvatura da peça é determinada relacionando o momento atuante em cada ponto com a curvatura, diferentemente dos outros métodos que consideram apenas a máxima curvatura da seção mais solicitada.

2.2.4.2.5 Processo Geral Iterativo – carregamento incremental

Segundo CARVALHO & PINHEIRO (2009), este método consiste, basicamente, em aplicar o carregamento em parcelas de forma que cada vez que se incremente uma nova carga se possa considerar o carregamento anterior e, se for o caso, a variação da rigidez ao longo da peça. O incremento termina quando se atinge a carga crítica da peça, que é quando

há a instabilidade na flexão normal. Essa carga crítica é alcançada quando a curva carga x deslocamento atinge um máximo. Na Figura 13 podemos ver um diagrama carga x deslocamento.

Figura 13 - Diagrama carga x deslocamento com carregamento incrementalmente



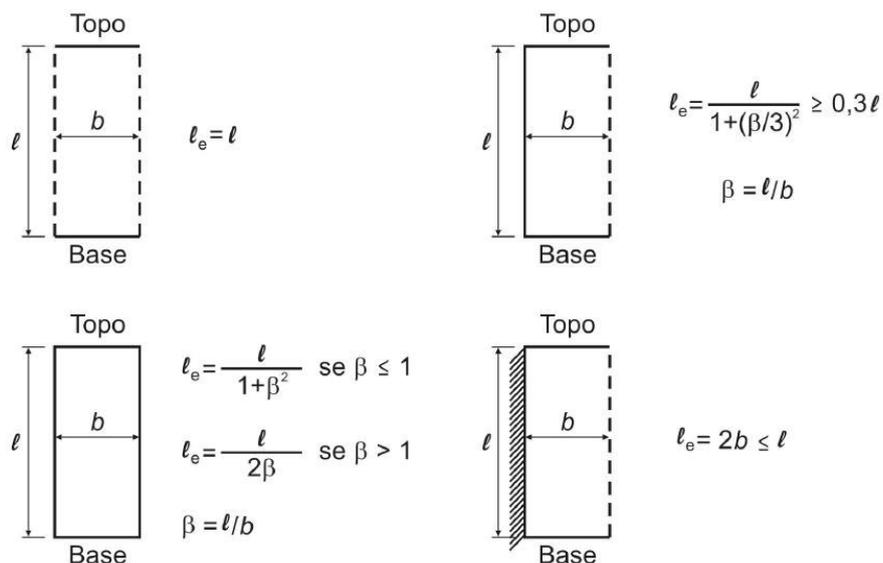
Fonte: CARVALHO & PINHEIRO (2009).

2.2.4.3 Dispensa do cálculo dos efeitos localizados de 2ª ordem

Segundo o item 15.9.2 da NBR 6118:2003:

Os efeitos localizados de 2ª ordem de pilares parede podem ser desprezados se, para cada uma das lâminas componentes do pilar parede, forem obedecidas as seguintes condições:

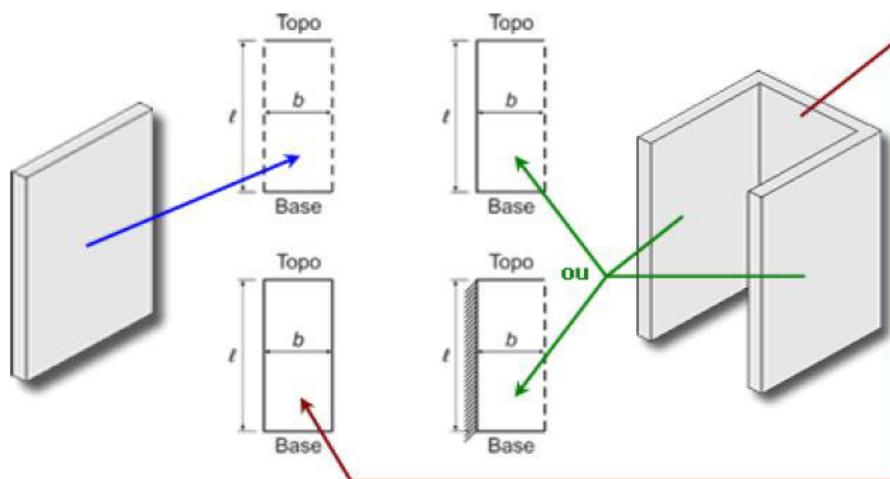
- A base e o topo da lâmina devem estar convenientemente fixados às lajes do edifício, que conferem ao todo o efeito de diafragma horizontal.
- A esbeltez λ_i dada por $\lambda_i = 3,46 \cdot l_{ei} / h_i$, onde l_{ei} é o comprimento equivalente que depende dos vínculos com as extremidades verticais da lâmina, como mostra a figura 9 e h_i a espessura da lâmina, possua um valor menor que 35.

Figura 14- Comprimento Equivalente l_e 

Fonte: NBR 6118:2003

Portanto, para um pilar com seção “U”, como mostra a Figura 15, temos os vínculos em cada uma das extremidades verticais da lâmina.

Figura 15 - Vínculos e comprimento equivalente de um pilar com seção "U".



Fonte: KIMURA

Se a esbeltez de cada lâmina for maior que 35, os efeitos localizados de 2ª ordem devem ser calculados por algum dos métodos presentes na NBR 6118:2003, como por exemplo, o processo aproximado para consideração do efeito localizado de 2ª. Ordem, descrito no item 15.9.3 da NBR 6118:2003.

2.2.4.4 Consideração do efeito localizado de 2ª. ordem

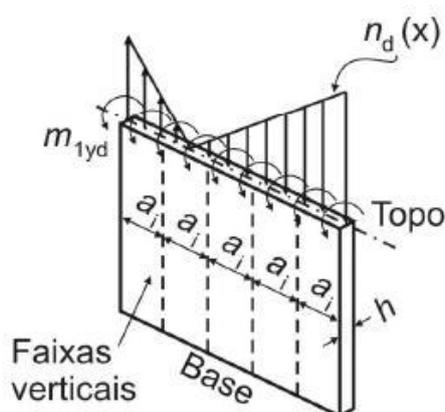
De acordo com o item 15.9.3 da NBR 6118:2003: “Nos pilares-parede simples ou compostos, onde a esbeltez de cada lâmina que o constitui for menor que 90, pode ser adotado o procedimento aproximado para um pilar-parede simples”. Ainda no mesmo item, diz que o efeito localizado de 2ª. ordem pode ser considerado decompondo o pilar-parede em faixas verticais e analisado como um pilar isolado.

Essas lâminas são faixas verticais de largura a_i onde:

$$a_i = 3h \leq 100\text{cm} \quad (2.15)$$

Onde h = largura do pilar-parede.

Figura 16 - Divisão de Faixas



Fonte: NBR 6118:2003

Onde:

a_i é a largura da faixa i ;

N_i é a força normal na faixa i , calculada a partir de $n_d(x)$ conforme a Figura 16;

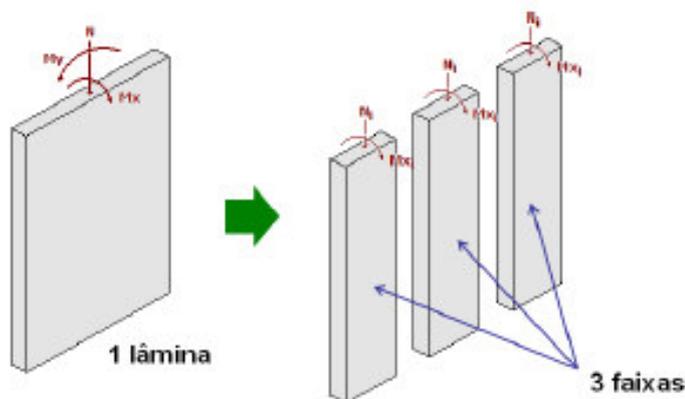
$M_{1d,\min}$ é o momento mínimo de 1ª. Ordem e pode ser calculado como na fórmula abaixo:

$$M_{1d,\min} = N_d(0,015 + 0,03h) \quad (2.16)$$

M_{yid} é o momento fletor na faixa i ;

M_{1yd} e h estão definidos na própria Figura 16.

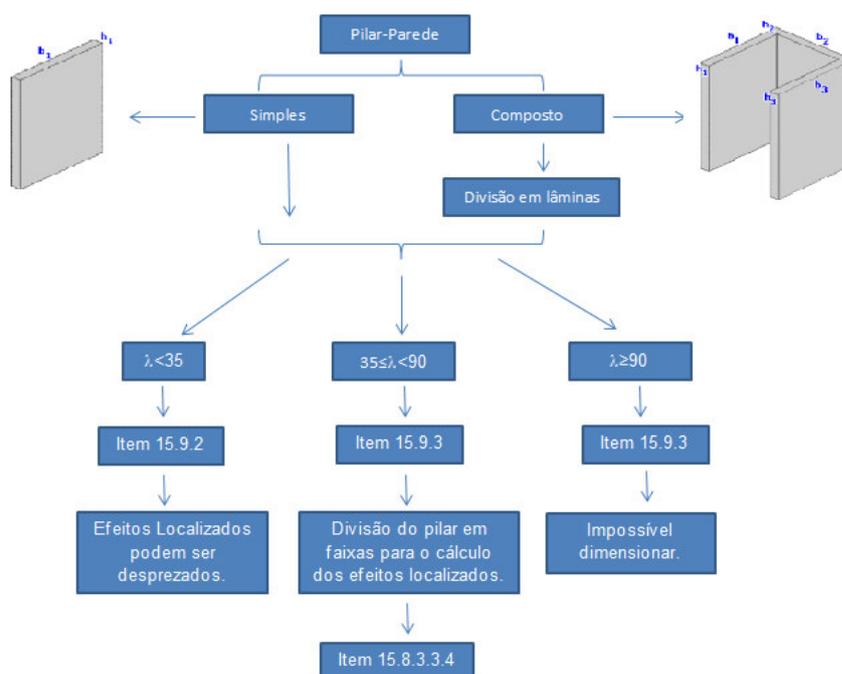
Figura 17 - Pilar-Parede transformado em faixas



Fonte: KIMURA

Segundo a NBR 6118:2003, depois de separadas as faixas, pode-se calcular os efeitos localizados de segunda ordem como se cada faixa fosse um pilar isolado. Ou seja, segundo KIMURA, não se leva em consideração a interação que existe entre essas faixas, o que gera muitas críticas para esse método de cálculo, já que, na realidade, existe uma interação entre as faixas.

Figura 18 - Fluxograma do cálculo de efeitos localizados.



Fonte: A PRÓPRIA AUTORA

2.3 Armadura transversal dos Pilares-Parede segundo a NBR 6118:2003

A armadura transversal dos pilares-parede deve obedecer ao item 18.5 da NBR 6118: 2003 que diz: “A armadura transversal dos pilares-parede devem respeitar a armadura mínima de flexão de placas, se essa flexão e as armaduras correspondentes forem calculadas. Em caso contrário, a armadura transversal deve respeitar o mínimo de 25% da armadura longitudinal da face.” Esse item da norma é tema de muitas discussões entre engenheiros, gerando bastante polêmica entre os calculistas, pois segundo muitos engenheiros estruturais esses 25% da armadura longitudinal da face gera uma enorme área de aço (A_s) nos estribos. Porém pode-se calcular também considerando que o pilar seja uma placa, caso a armadura considerando o carregamento seja menor que a armadura mínima de flexão da placa, então considera-se a armadura mínima para os estribos. A armadura mínima de flexão de placas pode ser vista na Figura 19.

No caso deste trabalho, foi utilizada uma seção retangular e um F_{ck} de 30Mpa. Logo a armadura mínima por flexão de placas deve ser 0,173% da Área de concreto existente. Ou seja $A_{s,min} = 0,173\% \times bw \times h$.

Figura 19 - Área de aço (A_s) mínima dado o F_{ck}

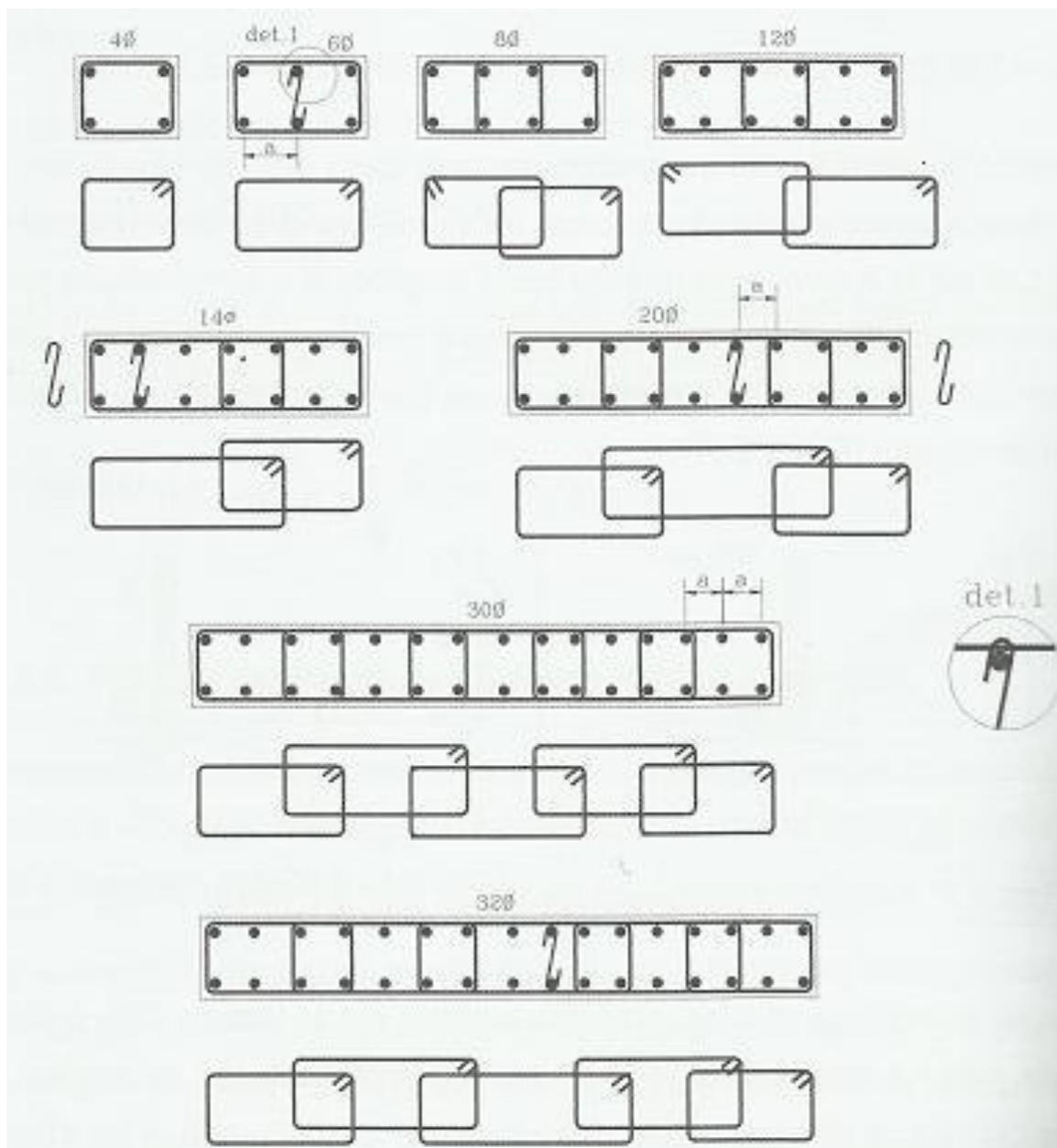
Forma da seção	Valores de $\rho_{min}^{(1)}$ ($A_{s,min}/A_c$) %							
	f_{ck} ω_{min}	20	25	30	35	40	45	50
Retangular	0,035	0,150	0,150	0,173	0,201	0,230	0,259	0,288
T (mesa comprimida)	0,024	0,150	0,150	0,150	0,150	0,158	0,177	0,197
T (mesa tracionada)	0,031	0,150	0,150	0,153	0,178	0,204	0,229	0,255
Circular	0,070	0,230	0,288	0,345	0,403	0,460	0,518	0,575

¹⁾ Os valores de ρ_{min} estabelecidos nesta tabela pressupõem o uso de aço CA-50, $\gamma_c = 1,4$ e $\gamma_s = 1,15$. Caso esses fatores sejam diferentes, ρ_{min} deve ser recalculado com base no valor de ω_{min} dado.
 NOTA - Nas seções tipo T, a área da seção a ser considerada deve ser caracterizada pela alma acrescida da mesa colaborante.

Fonte: NBR 6118:2003 (Modificada).

Abaixo, podemos ver na Figura 20 os diversos arranjos de estribos para pilares de seção retangular.

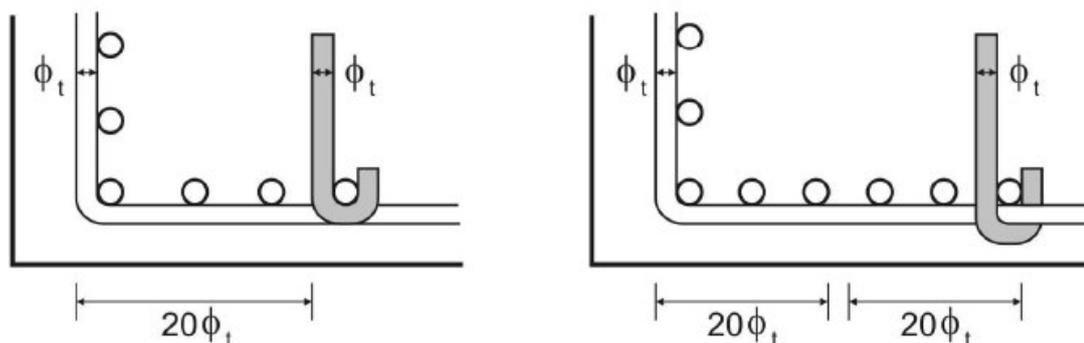
Figura 20- Arranjos de estribos para pilares retangulares.



Fonte: FIORIN (1998) *apud* CARVALHO & PINHEIRO (2009)

Existe outro tipo de estribo, chamado estribo poligonal que serve para evitar a flambagem das barras longitudinais. Segundo o item 18.2.4 da NBR 6118:2003, esses estribos devem estar situados no máximo à distância de $20 \varphi_t$ do canto, se nesse trecho de comprimento $20 \varphi_t$ não houver mais de duas barras, não contando a de canto. Quando houver mais de duas barras nesse trecho, ou barra fora dele, devem haver estribos suplementares. Na Figura 21 podemos ver como são esses estribos.

Figura 21 - Proteção contra flambagem das barras.



Fonte: NBR 6118:2003

3 ARMADURA DOS PILARES-PAREDE ATRAVÉS DO CAD/TQS

3.1 Introdução

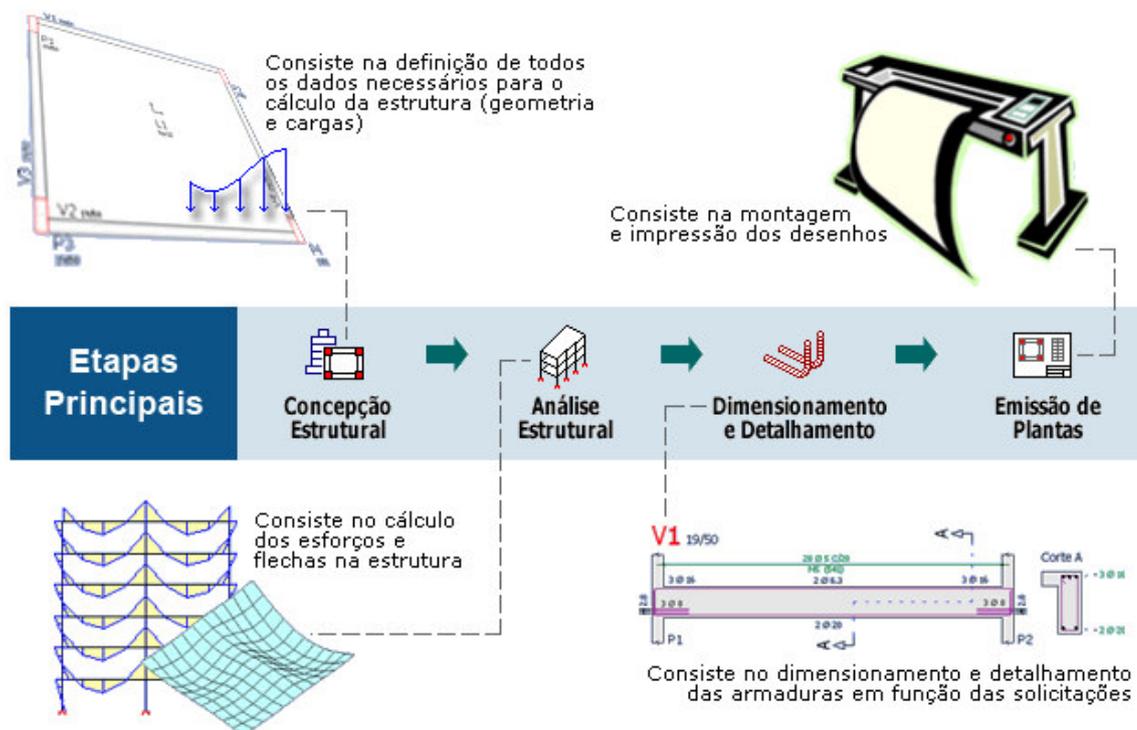
Segundo KIMURA (2007), para elaborar um projeto atualmente, o auxílio de um computador torna-se imprescindível. A alta produtividade e eficiência exigidas pelo mercado não dão mais espaço para que os projetos sejam feitos completamente de forma manual. Como exemplo desse grande auxílio, podemos citar as mudanças feitas no projeto arquitetônico ao longo da concepção do modelo estrutural, onde os desenhos de plantas de forma e armaduras de laje podem ser facilmente modificados na máquina, o que sem o auxílio de um computador exigiria grande mão-de-obra.

O CAD/TQS é um dos sistemas computacionais que são destinados à elaboração de projetos de estruturas de concreto armado, além de estruturas de concreto protendido, alvenaria estrutural e estruturas pré-moldadas.. É desenvolvido e comercializado pela TQS Informática Ltda. O desenvolvimento do software é feito baseado nas normas brasileiras, no caso de estruturas de concreto armado, na NBR 6118:2003.

Para a elaboração do Projeto Estrutural é necessário que o Engenheiro Estrutural tenha um bom conhecimento para que o projeto desenvolvido por ele seja construtivo e seja integrado com os projetos de arquitetura, hidráulico e elétrico, além de ter alta durabilidade e um bom desempenho em serviço.

Segundo o sitio eletrônico da empresa, através do Sistema CAD/TQS, o Projeto Estrutural pode ser feito baseado nas quatro etapas principais de um Projeto Estrutural que são: Concepção Estrutural, Análise Estrutural, Dimensionamento e Detalhamento e Emissão de Plantas. A Figura 22 abaixo resume cada uma dessas etapas:

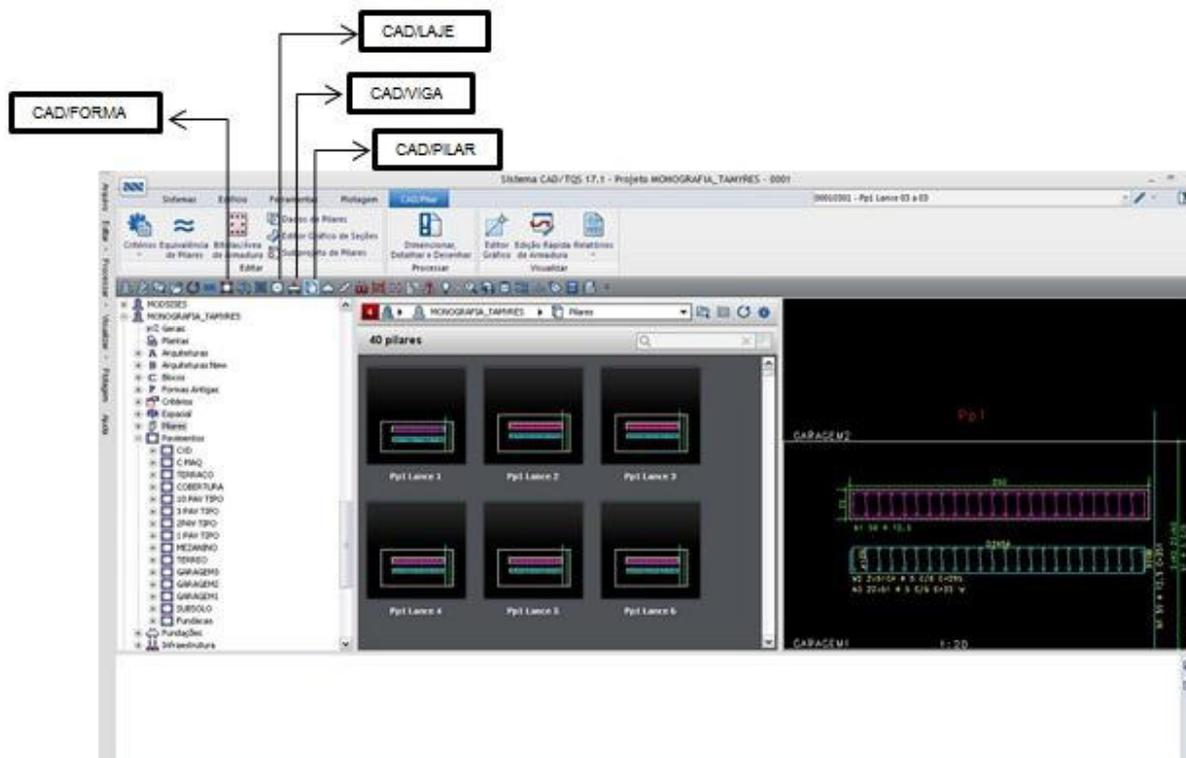
Figura 22 - Estapas de um Projeto Estrutural



Fonte: Sítio Eletrônico da Empresa CAD/TQS

O Sistema funciona a partir de um Gerenciador que se subdivide em vários Subsistemas. Dentro do Gerenciador podemos encontrar o Subsistema CAD/VIGAS, onde é realizado o dimensionamento e detalhamento de armadura de vigas; o Subsistema CAD/LAJES onde é realizado o dimensionamento e o detalhamento das armaduras das lajes tanto maciças, quanto nervuradas; o Subsistema CAD/PILAR onde é realizado o dimensionamento e detalhamento dos pilares e os Subsistemas auxiliares como o CAD/AGC&DP que permite que desenhos genéricos de armações possam ser criados e editados.

Figura 23 - Gerenciador CAD/TQS

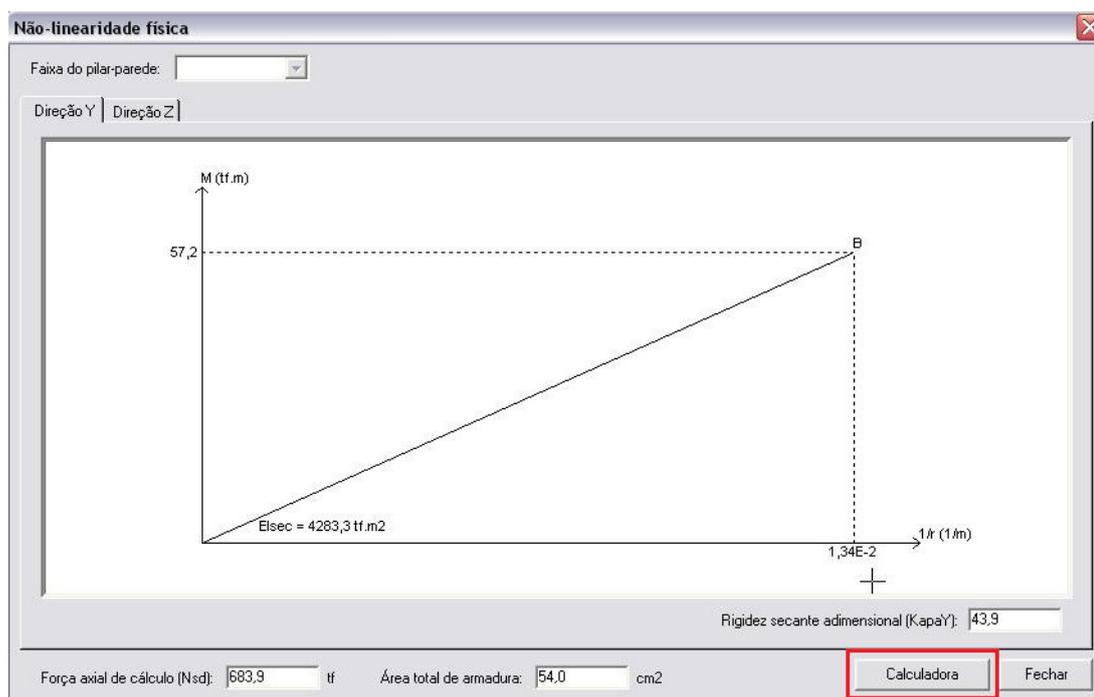


Fonte: A PRÓPRIA AUTORA

Tendo em vista que os Pilares-Parede são elementos especiais e diferentes dos pilares comuns, no dimensionamento e detalhamento de Pilares-Parede, o CAD-TQS os trata de forma diferente e leva em consideração, por exemplo, os efeitos localizados de segunda ordem e a divisão de pilares-parede compostos em lâminas para que sejam tratados como pilares-parede simples e a divisão desses pilares-parede simples em faixas, de acordo com o que recomenda a Norma Brasileira NBR 6118:2003.

Segundo o sitio eletrônico do CAD/TQS, o engenheiro pode acessar recursos que, de forma interativa, trabalham esses pilares-parede, permitindo a análise de situações particulares. Todos os critérios, análises e resultados são apresentados de forma gráfica. O Sistema realiza o cálculo automático, porém existem calculadoras específicas que podem ser utilizadas pelos engenheiros para simulação de situações específicas, dentro do subsistema CAD/PILAR. Essas calculadoras podem ser acessadas dentro do “Editor de Esforços e Armaduras de pilares”.

Figura 24 - Calculadora CAD/TQS.



Fonte: A PRÓPRIA AUTORA

3.2 Armadura longitudinal dos Pilares-Parede através do CAD/TQS

A armadura longitudinal dos Pilares-Parede é feita conforme recomenda a NBR 6118:2003. São feitas as mesmas verificações apresentadas no capítulo 2 deste trabalho e então as armaduras são apresentadas para que o engenheiro analise. Os pilares são calculados por flexão composta oblíqua, pois, segundo a NBR 6118:2003, devem ser consideradas várias combinações de carregamentos numa estrutura, sendo que cada elemento dessa estrutura deverá ter capacidade de resistir aos esforços causados por todas estas combinações. Então o TQS faz uma curva de iteração entre os diagramas de momento nas direções x e y e o diagrama de esforço normal e a partir dessa curva ele seleciona a melhor armadura para resistir a todos esses casos de carregamento.

3.2.1 Efeitos de 2ª Ordem

Assim como a Norma Brasileira recomenda, em todos os pilares e pilares-parede é feita a verificação se necessita ou não de cálculo dos Efeitos Locais de Segunda Ordem. Os efeitos Globais de Segunda Ordem não serão analisados, tendo em vista que consideraremos

nossa estrutura como sendo de nós fixos. Portanto, só analisaremos os Efeitos Locais de 2ª. Ordem e os Efeitos Localizados de 2ª. Ordem, que são exclusivos de pilares-parede.

Para que um pilar seja analisado como um pilar-parede e dividido em lâminas é necessário que se marque a opção “Pilar-parede – inércia à torção laminar” como “Cálculo aproximado” dentro dos critérios do pilar, como mostra a Figura 25.

Figura 25 - Dados Pilar-Parede

Fonte: A PRÓPRIA AUTORA

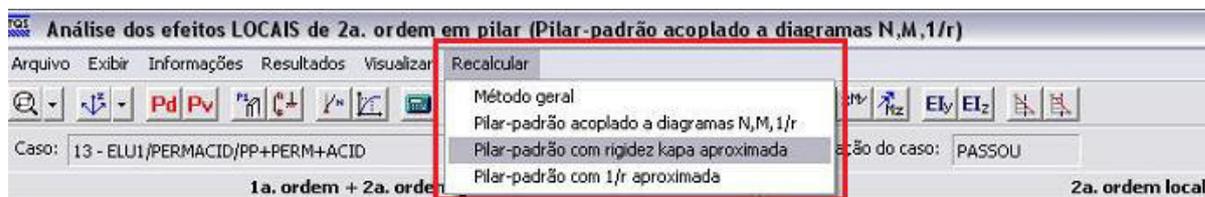
3.2.1.1 Consideração dos Efeitos Locais de Segunda Ordem no CAD/TQS

Nos pilares-parede de seção simples, o Sistema analisa se precisa ou não serem considerados os efeitos locais de segunda ordem, caso seja necessário ele já realiza o cálculo automaticamente por um dos métodos recomendados em norma. Já nos pilares-parede de seção composta, como seção “L” ou “U”, o Sistema, baseado no item 15.9.2 da NBR 6118:2003, primeiro divide em faixas que posteriormente podem ser analisadas como os pilares-parede de seção simples.

O dimensionamento de cada pilar isolado é realizado através de métodos mais refinados como o pilar-padrão acoplado a diagramas N,M,1/r ou método geral, que foram descritos anteriormente. Os métodos aproximados não são utilizados para o dimensionamento

automático, mas existem ferramentas no Sistema que permitem que o pilar-parede seja analisado por esses métodos para simples conferência.

Figura 26 – Calculadora de Métodos para Efeitos Locais de Segunda Ordem

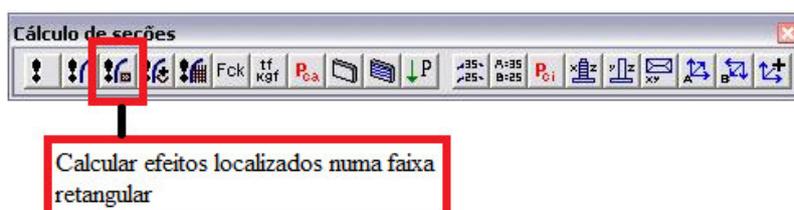


Fonte: A PRÓPRIA AUTORA

3.2.1.2 Consideração dos Efeitos Localizados de Segunda Ordem no CAD/TOS

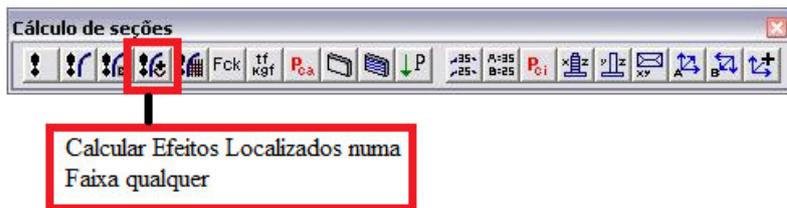
Para a análise dos efeitos localizados de segunda ordem, o Sistema divide o pilar-parede em faixas, como recomendado pela NBR 6118:2003 em seu item 15.9.3. Para verificar o cálculo dos efeitos localizados em cada faixa, basta clicar no botão “Calcular Efeitos Localizados numa Faixa Retangular”, ou caso deseje analisar num faixa qualquer, pode-se clicar no botão “Calcular Efeitos Localizados numa Faixa Qualquer” como mostram as Figura 27 e Figura 28.

Figura 27 - Calculo dos Efeitos Localizados de 2a. Ordem numa faixa retangular



Fonte: A PRÓPRIA AUTORA

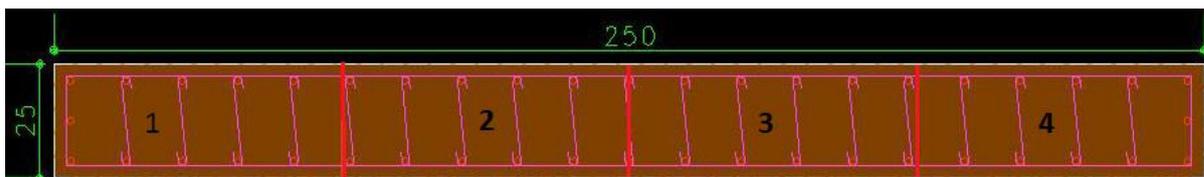
Figura 28 - Cálculo dos Efeitos Localizados de 2a. Ordem numa faixa qualquer



Fonte: A PRÓPRIA AUTORA

Os esforços totais no pilar (N , M_x e M_y) são decompostos para cada faixa, conforme recomenda a NBR 6118: 2003, segundo uma metodologia genérica e eficiente. A Figura 29 mostra um pilar decomposto em quatro faixas de tamanhos iguais a 62,5cm.

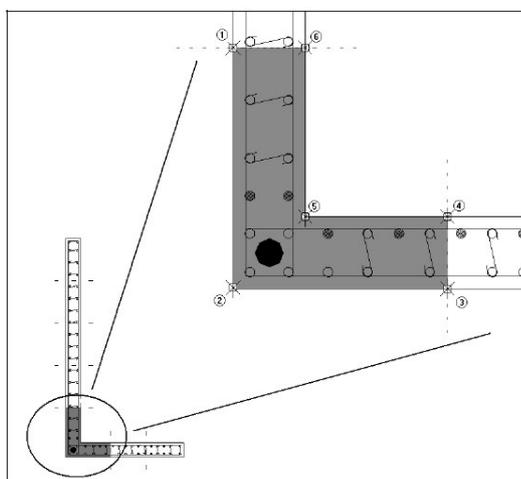
Figura 29 - Pilar-Parede dividido e faixas



Fonte: A PRÓPRIA AUTORA

Os Efeitos Localizados também podem ser analisados numa faixa qualquer, sem necessariamente essa faixa ser retangular. Esse tipo de análise é interessante para o caso de pilares com seção “L” ou “U”, pois se pode analisar a seção mais crítica, que é a ponta do pilar, como uma só faixa.

Figura 30 - Análise dos Efeitos Localizados numa faixa qualquer



Fonte: Sítio Eletrônico da Empresa CAD/TQS

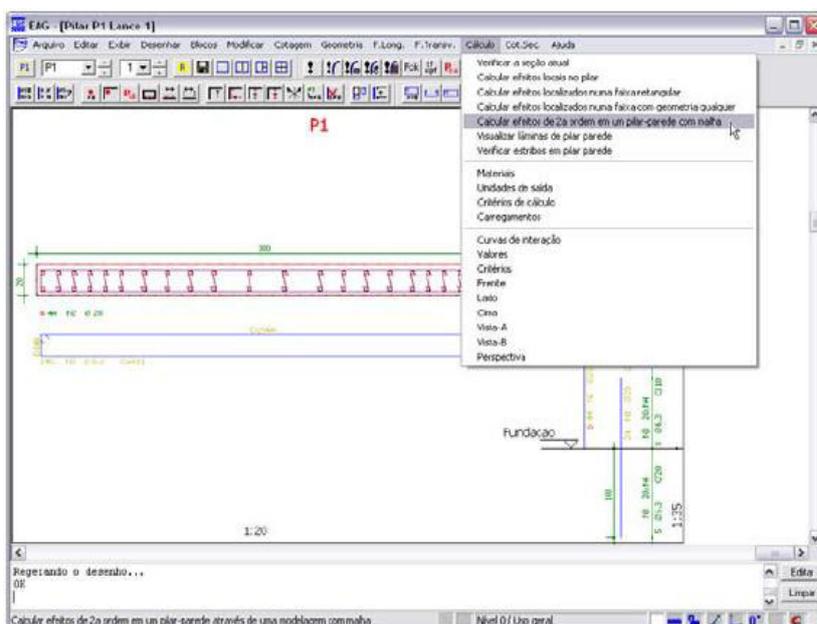
3.2.1.3 Consideração dos Efeitos de 2ª.Ordem com malha

Segundo o Manual do Usuário disponibilizado juntamente com o Sistema CAD/TQS, as faixas dos pilares-parede também podem ser discretizadas através de um modelo composto por uma malha tridimensional de barras. Cada faixa é simulada por um alinhamento de elementos verticais que são interligados entre si por barras transversais. A faixa não é mais tratada de forma isolada, portanto, simulando o que acontece na realidade, pois existe uma interação entre as faixas que não é levada em consideração nos outros métodos de cálculo.

Segundo o Manual do Usuário, disponibilizado juntamente com o Sistema CAD/TQS, os Efeitos Locais e Localizados são calculados através do Método Geral. A rigidez das faixas é obtida através de diagramar $N, M, 1/r$ e a não linearidade geométrica é considerada através de um método iterativo que busca a posição de equilíbrio.

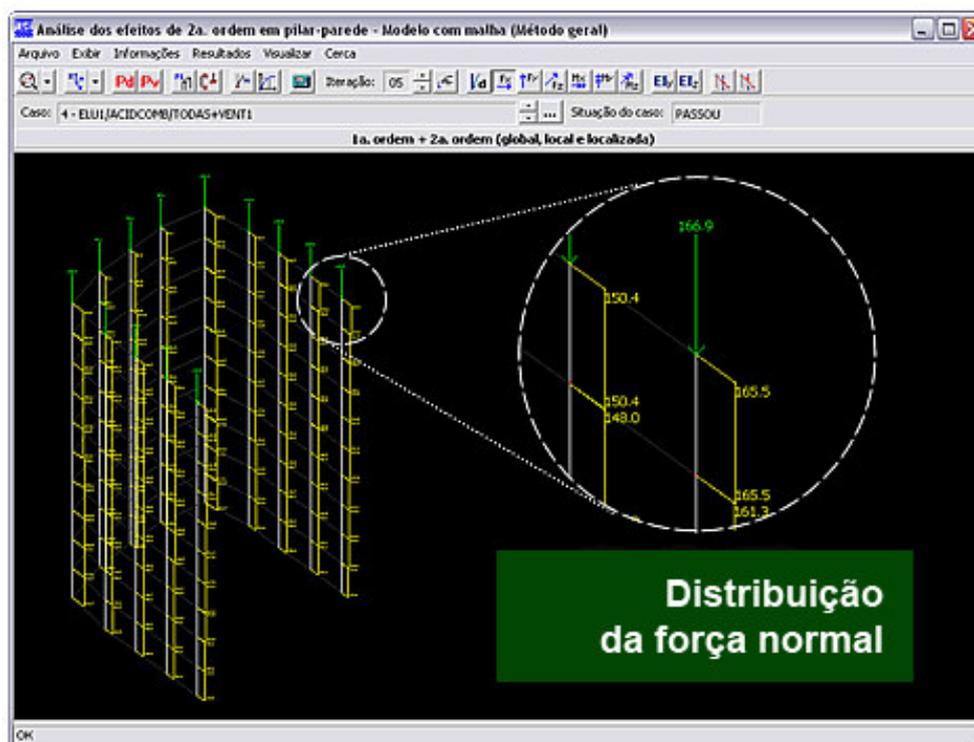
Esse método tenta simular o que acontece na realidade com a estrutura, buscando uma análise mais refinada e realista dos esforços solicitantes no Pilar-Parede e conseqüentemente permite otimizar o dimensionamento das armaduras dos pilares-parede. As faixas não são discretizadas em malha automaticamente, para que isso seja feito tem-se que clicar no botão “Cálculo” e em seguida em “Calcular efeitos de 2ª. ordem em um pilar-parede com malha”, como mostra a Figura 31 abaixo:

Figura 31 - Cálculo dos Efeitos de 2a. Ordem com malha.



Fonte: Manual do Usuário (2012)

Figura 32 - Exemplo de análise de um Pilar-Parede discretizado em malha.



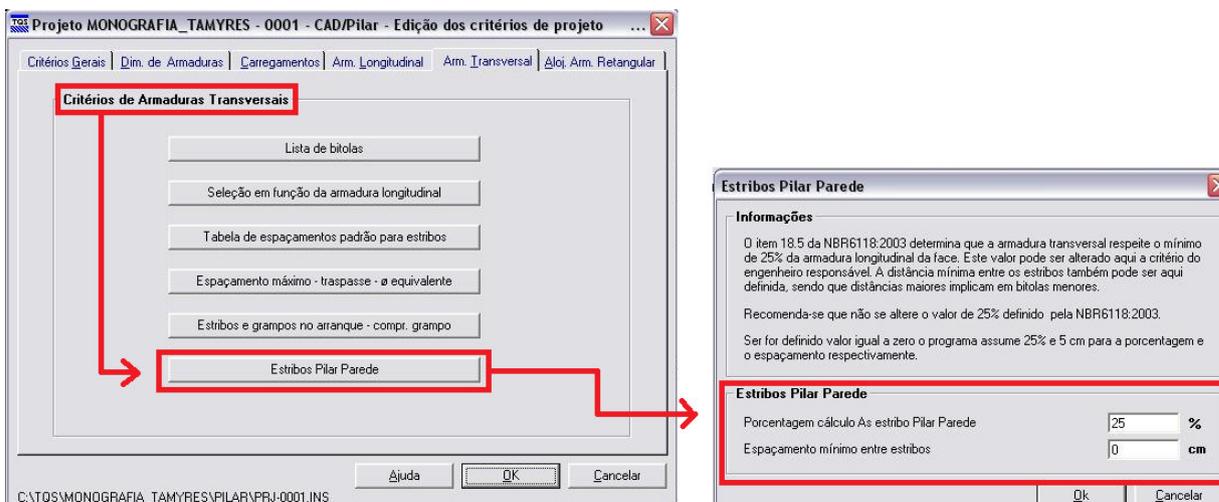
Fonte: Sítio Eletrônico da Empresa CAD/TQS

3.3 Armadura transversal dos Pilares-Parede através do CAD/TQS

A armadura transversal dos pilares-parede é calculada conforme recomenda o item 18.5 da NBR 6118:2003 que diz: “A armadura transversal dos pilares-parede deve respeitar a armadura mínima de flexão de placas, se essa flexão e as armaduras correspondentes forem calculadas. Em caso contrário, a armadura transversal deve respeitar o mínimo de 25% da armadura longitudinal da face.” Num primeiro cálculo o Sistema CAD/TQS adota automaticamente para a armadura transversal 25% da armadura longitudinal. O valor de 25% da armadura longitudinal pode ser modificado no arquivo de critério dos pilares como mostra a Figura 33, mas essa modificação não é recomendada.

Vale ressaltar que o Sistema não realiza o cálculo por flexão de placas, esse cálculo deve ser feito manualmente através da armadura mínima considerando o pilar como uma placa, assim como recomenda a NBR 6118:2003 e descrito no item 2.3.

Figura 33- Critérios das Armaduras Transversais dos Pilares-Parede



Fonte: A PRÓPRIA AUTORA

Figura 34 - Verificação de Armadura Transversal



Fonte: A PRÓPRIA AUTORA

4 RESULTADOS

4.1 Introdução

Neste capítulo serão apresentados cinco pilares-parede. Para um desses pilares-parede foi obtida a armadura longitudinal manualmente, de acordo com o recomendado pela NBR 6118:2003, como descrito no início deste trabalho, com o auxílio de uma planilha de Excel para facilitar os cálculos. Esse pilar foi calculado sem considerar os efeitos localizados de 2ª. ordem, considerando apenas o efeito local de 2ª. ordem, e posteriormente, será calculado considerando o efeito localizado da faixa mais solicitada desse pilar-parede. Este mesmo pilar-parede também foi calculado com o auxílio do Sistema CAD/TQS.

Outros quatro pilares foram calculados com o auxílio do Sistema CAD/TQS e para cada um desses pilares foi verificada a armadura transversal de acordo com a NBR

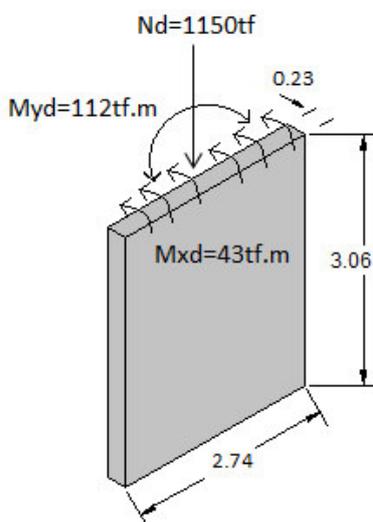
6118:2003. Primeiramente, foi considerado que a armadura transversal assumiria o valor de 25% da armadura longitudinal da face, e depois se calculou a armadura transversal como armadura mínima de flexão de placas. Os resultados obtidos serão comparados e analisados posteriormente.

4.2 Cálculo da Armadura Longitudinal do Pilar-Parede Pp1 através do Excel

Este pilar-parede foi retirado de um edifício, previamente carregado, localizado na cidade de Fortaleza, com classe de agressividade 2. A solicitação de cálculo (N_d) e os momentos fletores (M_x e M_y) que atuam neste pilar foram obtidos no Sistema CAD/TQS. O cálculo deste pilar-parede será comparado com o cálculo feito pelo Sistema CAD/TQS.

De posse dos dados necessários, que são a seção do pilar-parede, do comprimento de flambagem (l_e), da resistência característica do concreto (f_{ck}) e das solicitações de cálculo (N_d , M_x e M_y), foi montada uma planilha de cálculo onde entramos com esses dados e obtivemos o cálculo do índice de esbeltez do pilar-parede nas direções x e y ; as excentricidades mínimas, acidentais e de 2ª. ordem; o efeito local de 2ª. ordem através do método da rigidez $kappa$ aproximada e a obtenção da área de aço necessária na armadura longitudinal desse pilar-parede sem a consideração dos efeitos localizados de 2ª. ordem e com a consideração destes efeitos.

Figura 35- Pilar-Parede Pp1



Fonte: A PRÓPRIA AUTORA

4.2.1 Entrada de dados:

Na entrada de dados somente é preciso preencher os campos da seção do pilar-parede (base e altura), comprimento de flambagem, resistência característica do concreto, classe de agressividade ambiental e solicitações de cálculo (N_d , M_{xd} e M_{yd}), o restante dos cálculos é feito automaticamente na planilha.

Tabela 3 - Dados do Pilar-Parede

Pilar Pp1		
Dados:		
Seção do Pilar:	b = 2,74	m
	h = 0,23	m
	Ac = 0,6302	m
Comprimento de flambagem (l_e):	3,06	m
Resistencia Característica do Concreto (F_{ck}):	30	Mpa
Solicitação de Cálculo (N_d):	1150	tf
Classe de Agressividade	2	
Cobrimento (d'):	3	cm
M_{yd}	112	tf.m
M_{xd}	43	tf.m
e1	0,114	
ab	1	

4.2.2 Índices de esbeltez do Pilar-Parede Pp1

Os Índices de esbeltez foram calculados conforme recomenda a NBR 6118:2003 e apresentado no início deste trabalho. A partir do índice de esbeltez calculado nas direções x e y, a tabela informa se precisa ou não considerar os efeitos locais de 2ª. ordem e a excentricidade de 2ª. ordem. No caso deste pilar-parede, os efeitos locais de 2ª. ordem e a excentricidade de 2ª. ordem só precisam ser calculadas na direção x.

Tabela 4 - Índices de esbeltez

Índices de esbeltez:					
Índice de esbeltez limite (I1):					
$\lambda_1 = \left(\frac{25 + 12,5 \cdot e_1/h}{\alpha_b} \right)$	31,22	< 35 --->	35		
Índice de esbeltez segundo a direção x:					
$\lambda_x = 3,46 \left(\frac{l_e}{i_y} \right)$	46,03	> 35 --->	46,03	Considerar Efeitos Locais de 2a.Ordem	Considerar excentricidade de 2a. Ordem
Índice de esbeltez segundo a direção y:					
$\lambda_y = 3,46 \left(\frac{l_e}{i_x} \right)$	3,86	< 35 --->	35	Desprezar Efeitos Locais de 2a.Ordem	Desprezar excentricidade de 2a. Ordem

4.2.3 Excentricidade acidental do Pilar-Parede Pp1

A excentricidade acidental deste pilar foi calculada para a seção total e para a seção intermediária conforme recomenda a NBR 6118:2003 e apresentado no inicio deste trabalho.

Tabela 5 - Excentricidade Acidental

Excentricidades acidentais:			
$e_{a,extr} = l \times \theta \left\{ \frac{1}{200} > \theta > \frac{1}{100\sqrt{l}} \right\}$	0,0153	---> Seção Intermediária =	0,00765

4.2.4 Excentricidades mínimas do Pilar-Parede Pp1

As excentricidades mínimas nas direções x e y foram calculadas conforme recomenda a NBR 6118:2003 e apresentado no inicio deste trabalho.

Tabela 6 - Excentricidades Mínimas

Excentricidades mínimas nas direções x e y:		
$e_{min,x} = (e_{a,extr} + 0,03 * b)$	0,0161	m
$e_{min,y} = (e_{a,extr} + 0,03 * h)$	0,0154	m

4.2.5 Excentricidades de 2ª. Ordem do Pilar-Parede Pp1

A excentricidade de 2ª. Ordem foi calculada conforme recomenda a NBR 6118:2003 e apresentado no início deste trabalho.

Tabela 7 - Excentricidade de 2a. Ordem

Excentricidade de 2a. Ordem:		
$e_{2,y} = \frac{l_{sy}^2}{10} \times \frac{0,05}{(v + 0,5)h}$	0,276	cm
Onde,		
$v = \frac{1,4 \times N}{A_c \times f_{cd}}$	0,119	cm

4.2.6 Efeitos Locais de 2ª. Ordem

O efeito local de 2ª. Ordem foi calculado pelo método da Rigidez k aproximada. Como o próprio nome do método já sugere, este é um método aproximado e foi escolhido para este cálculo pela facilidade de cálculo que ele permite. Nesta planilha, o método foi calculado conforme recomenda a NBR 6118:2003 e foi descrito no início deste trabalho.

Na Tabela 8, o valor de $M_{sd,tot}$ deve ser utilizado para o cálculo da área de aço no meio do pilar-parede.

Tabela 8 - Efeitos Locais de 2a. Ordem

Efeitos Locais de 2a. Ordem pelo método da Rigidez k aproximada		
$M_{ldx,min} = N_d(0,015 + 0,03h)$	25,19	tf.m
$M_{S1d} = M_{ldx,min}$	25,19	tf.m
$A = 5b$	1,15	
$B = b^2 \cdot N_{sd} - \frac{N_{sd} \cdot l_e^2}{320} - 5b \cdot M_{S1d}$	-1,78	
$C = -N_{sd} \cdot b^2 \cdot M_{S1d}$	-1532,13	
$M_{sd,tot} = \frac{-B + \sqrt{B^2 - 4AC}}{2A}$	37,28	tf.m
Conferindo a convergência segundo as fórmulas do item 15.8.3.3.3 da NBR 6118:2003		
$v = \frac{N_{sd}}{A_c \cdot f_{cd}}$	0,85	
$k = 32 \left(1 + 5 \frac{M_{s,tot}}{hN_d} \right) v$	46,46	
$M_{d,tot} = \frac{\alpha_b M_{ld,A}}{1 - \frac{\lambda^2}{120k/v}} \geq \begin{cases} M_{ld,A} \\ M_{ld,min} \end{cases}$	37,24	

4.2.7 Cálculo da área de aço (A_s) sem a consideração dos Efeitos Localizados

Para o cálculo da área de aço deste pilar-parede temos que inicialmente selecionar os esforços que devem ser cobertos nesse dimensionamento no topo e na base e também no meio deste pilar-parede.

Faremos o cálculo da área de aço (A_s) deste pilar considerando que ele está submetido à flexão composta oblíqua. A flexão composta oblíqua será calculada de forma aproximada, através de ábacos presentes no Anexo A. A área de aço considerada será a maior entre o A_s calculado no topo e base e meio.

Tabela 9 - Cálculo da Área de aço sem consideração dos Efeitos Localizados

Esforços que deverão ser cobertos:									
Local	Nsd	Msd _x	Msd _y	$v = \frac{N_d}{A_c \times f_{cd}}$	$M_x = \frac{M_{ld}}{A_c \times f_{cd} \times h_x}$	$M_y = \frac{M_{yd}}{A_c \times f_{cd} \times h_y}$	w (obtido pelo ábaco)	$A_s = \frac{w \times A_c \times f_{cd}}{f_{yd}}$	A_s
Topo e Base	1150,00	43	112	0,85	0,14	0,03	0,35	108,71	108,71
Meio	1150,00	37,24	112,00	0,25	0,009	0,074	0,10	7,14	108,71

4.2.8 Efeitos Localizados de 2ª. Ordem

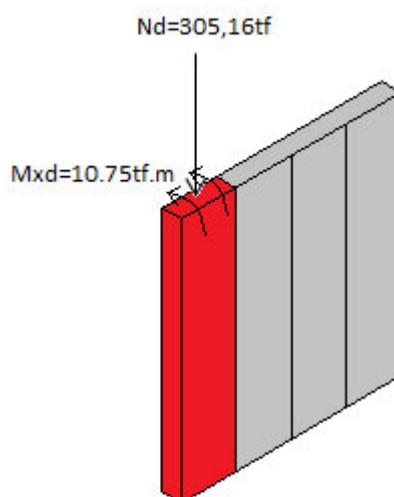
Primeiramente, deve-se verificar a necessidade ou não de considerar os efeitos localizados de 2ª. Ordem, conforme recomenda o item 15.9.2 da NBR 6118:2003.

Tabela 10 - Necessidade de considerar os efeitos localizados de 2a. ordem

Verificação da necessidade de Considerar os Efeitos Localizados de 2a. Ordem:		
Faixas =	4	
Largura das faixas =	68,5 cm	
Caso de acordo item 15.9.2 da NBR 6118:2003 (Ver Figura 14)	1	
Comprimento Equivalente (le) de acordo item 15.9.2 da NBR 6118:2003	3,06	
Verificando se pode desprezar os efeitos localizados de 2a. Ordem	$\lambda_i = 3,46 \cdot l_{ei} / h_i$	46,03
		Considerar Efeitos Localizados

Nesse caso, há a necessidade de consideração dos efeitos localizados de 2ª. Ordem. Calculamos apenas para a faixa mais solicitada que é a faixa da ponta deste pilar-parede, conforme mostra a Figura 36.

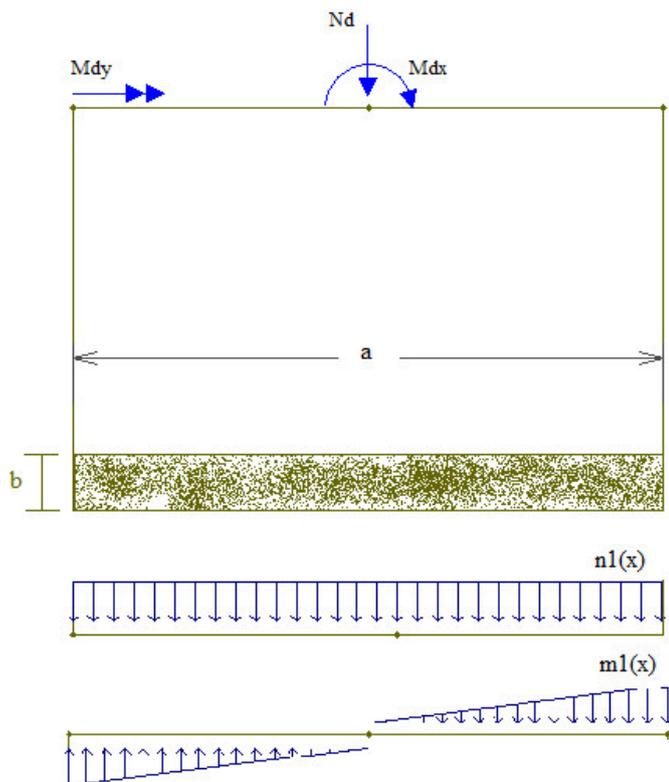
Figura 36 - Faixa mais solicitada do pilar-parede (Pp1)



Fonte: A PRÓPRIA AUTORA

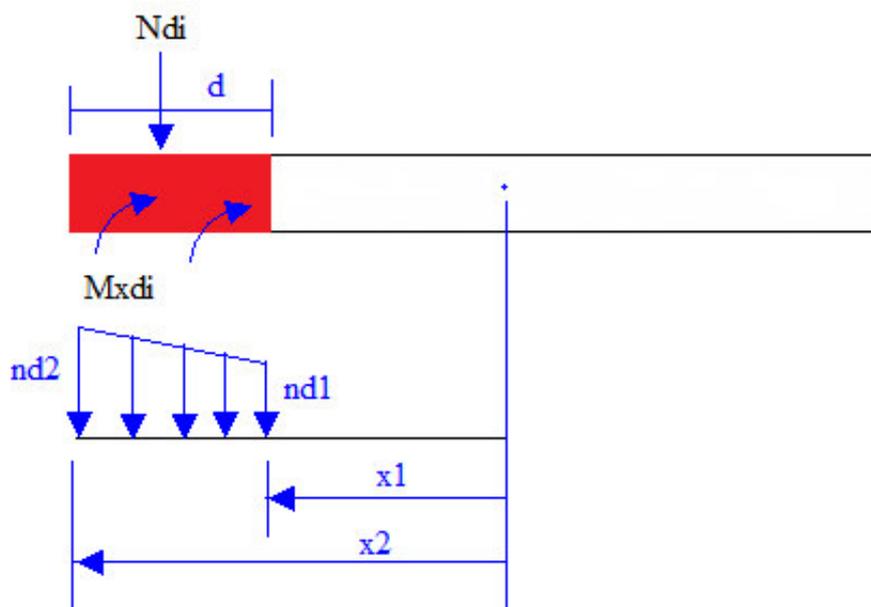
Os esforços somente nessa faixa foram obtidos conforme recomenda o item 15.9.3 da NBR 6118:2003.

Figura 37 - Solicitações pilar-parede (Pp1)



Fonte: A PRÓPRIA AUTORA

Figura 38 - Solicitações na faixa mais solicitada do pilar-parede (Pp1)



Fonte: A PRÓPRIA AUTORA

Onde:

$$n_1(x) = \frac{Nd}{a} \quad (4.1)$$

$$J = \frac{ba^3}{12} \quad (4.2)$$

$$m_1(x) = \frac{Md \times x}{J} \times b \rightarrow m_1(x) = \frac{12Md \times x}{a^3} \quad (4.3)$$

Assim,

$$nd(x) = \frac{Nd}{a} + \frac{12Md \times x}{a^3} \quad (4.4)$$

Portanto, o valor de Nd_i é a área do trapézio da Figura 38. E Mxd_i é obtido pela divisão do momento total de cálculo na direção x (Mdx) pelo lado da faixa (d).

$$Ndi = \frac{(nd_1 + nd_2) \times x_2}{2} \quad (4.5)$$

$$Mxdi = \frac{Mxd}{d} \quad (4.6)$$

As solicitações de cálculo (Nd e Mdx) na faixa mais solicitada foram calculadas conforme apresentam as fórmulas e figuras acima. Essas fórmulas foram inseridas da planilha de Excel para que esses cálculos fossem feitos automaticamente, a partir dos cálculos já feitos para o pilar como um todo.

Foi escolhido dividir o pilar-parede Pp1 em 4 faixas de 68,5cm de base cada. Na Tabela 11 estão apresentados os dados e solicitações de cálculo desta faixa.

Tabela 11 - Dados da faixa mais solicitada

Pilar Pp1		
<u>Dados:</u>		
Seção da Faixa mais solicitada:	b = 0,685	m
	h = 0,23	m
	Ac= 0,15755	m
Comprimento de flambagem (le):	3,06	m
Resistencia Característica do Concreto (Fck):	30	Mpa
Solicitação de Cálculo (Nd):	305,16	tf
Classe de Agressividade	2	
Cobrimento (d'):	3	cm
Mxd	10,75	tf.m
e1	0,108	
α_b	1,000	

Após separada a faixa, ela pode ser considerada como um pilar simples. Os serão feitos considerando que essa faixa está submetida a flexão composta normal.

4.2.8.1 Índices de esbeltez da faixa mais solicitada

Os índices de esbeltez nas direções x e y foram calculados para saber em qual direção seria necessária a consideração dos efeitos locais de 2ª. Ordem. Nesse caso, os efeitos locais de 2ª. Ordem serão considerados apenas na direção x.

Tabela 12 - Índices de esbeltez da faixa

Índices de esbeltez:			
Índice de esbeltez limite (l1):			
$\lambda_1 = \left(\frac{25 + 12,5 \cdot e_1/h}{\alpha_b} \right)$	30,86	< 35 --->	35
Índice de esbeltez segundo a direção x:			
$\lambda_x = 3,46 \left(\frac{l_e}{i_y} \right)$	46,00	> 35 --->	46,00
Índice de esbeltez segundo a direção y:			
$\lambda_y = 3,46 \left(\frac{l_e}{i_x} \right)$	15,46	< 35 --->	35
			Considerar Efeitos Locais de 2a.Ordem
			Desprezar Efeitos Locais de 2a.Ordem

4.2.8.2 Excentricidade acidental na faixa mais solicitada

Tabela 13 - Excentricidade acidental da faixa

Excentricidades acidentais:			
$e_{a,extr} = l \times \theta \left\{ \frac{1}{200} > \theta > \frac{1}{100\sqrt{l}} \right\}$	0,0153	---> Seção Intermediária =	0,00765

4.2.8.3 Excentricidades mínimas na faixa mais solicitada

Tabela 14 - Excentricidades mínimas na faixa

Excentricidades mínimas nas direções x e y:		
$e_{min,x} = (e_{a,extr} + 0,03 * b)$	0,0153	m
$e_{min,y} = (e_{a,extr} + 0,03 * h)$	0,0153	m

4.2.8.3 Excentricidade de 2ª. Ordem na faixa mais solicitada

Tabela 15 - Excentricidade de 2a. Ordem na faixa

Excentricidade de 2a. Ordem:		
$e_{2,y} = \frac{l_{sy}^2}{10} \times \frac{0,05}{(v + 0,5)h}$	0,135	cm
Onde,		
$v = \frac{1,4 \times N}{A_c \times f_{cd}}$	0,130	cm

4.2.8.3 Efeitos locais de 2ª. Ordem na faixa

Os efeitos locais de segunda ordem foram calculados para essa faixa de pilar pelo método da rigidez K aproximada.

Tabela 16 - Efeito local na faixa

Efeitos Locais de Segunda Ordem pelo método da Rigidez k aproximada		
$M_{1dx,\min} = N_d(0,015 + 0,03h)$	4,58	tf.m
$M_{S1d} = M_{1dx,\min}$	4,58	tf.m
$A = 5b$	1,15	
$B = b^2 \cdot N_{Sd} - \frac{N_{Sd} \cdot l_e^2}{320} - 5b \cdot M_{S1d}$	1,95	
$C = -N_{Sd} \cdot b^2 \cdot M_{S1d}$	-73,89	
$M_{Sd,tot} = \frac{-B + \sqrt{B^2 - 4AC}}{2A}$	7,21	tf.m
Conferindo a convergência segundo as fórmulas do item 15.8.3.3.3 da NBR		
$\nu = \frac{N_{Sd}}{A_c \cdot f_{cd}}$	0,90	
$k = 32 \left(1 + 5 \frac{M_{s,tot}}{hN_d} \right) \nu$	43,79	
$M_{d,tot} = \frac{\alpha_b M_{1d,A}}{1 - \frac{\lambda^2}{120 k/\nu}} \geq \begin{cases} M_{1d,A} \\ M_{1d,\min} \end{cases}$	7,20	

4.2.8.3 Cálculo da área de aço (As) na faixa

Tabela 17 - Área de aço da faixa

Esforços que deverão ser cobertos:							
Local	Nsd	Msd _x	$\nu = \frac{N_d}{A_c \times f_{cd}}$	$M_x = \frac{M_{xd}}{A_c \times f_{cd} \times h_x}$	w (obtido pelo ábaco)	$A_s = \frac{w \times A_c \times f_{cd}}{f_{yd}}$	As (considerado)
Topo e Base	305,16	10,75	0,90	0,14	0,25	19,41	19,41
Meio	305,16	7,20	0,07	0,000	0	0,00	

Nesse caso, a área de aço (As) obtida para a faixa é o acréscimo de área de aço devido ao efeito localizado. Como são 4 faixa e consideraremos que as outras 3 faixas terão a mesma área de aço da faixa mais solicitada, devemos multiplicar o As obtido por quatro e

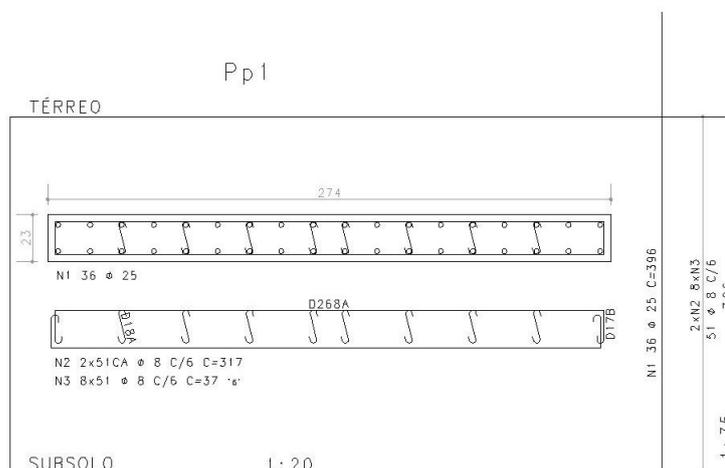
somarmos ao A_s já obtido sem a consideração do efeito localizado para obtermos o A_s total deste pilar-parede. Sendo assim:

$$A_{s_{tot}} = 108,71 + (19,41 \times 4) = 186,35 \text{ cm}^2$$

4.3 Cálculo da Armadura Longitudinal do Pilar-Parede Pp1 através do CAD/TQS

Abaixo, segue o desenho da armadura longitudinal e transversal do pilar-parede Pp1 obtida no CAD/TQS.

Figura 39 - Armadura longitudinal do pilar-parede Pp1



Fonte: A PRÓPRIA AUTORA

Essa armadura equivale a uma área de aço (A_s) de 176,76 cm^2 na armadura longitudinal. Na armadura transversal temos um A_s de 8,06 cm^2/m . Portanto, houve uma diferença de 9,59 cm^2 entre o cálculo manual e o cálculo através do sistema CAD/TQS.

4.4 Armadura Transversal dos Pilares-Parede

Foram calculadas as armaduras longitudinais de cinco pilares-parede através do Sistema CAD/TQS. Por meio de uma planilha de Excel comparar-se-á as armaduras transversais desses pilares-parede em 23 lances do edifício calculando-as considerando o mínimo de 25% da armadura longitudinal da face e através da armadura mínima de flexão de placas. Essas tabelas são apresentadas abaixo.

Tabela 18 - Armadura transversal do pilar-parede Pp1

Pilar	Lance	n - (número de ferros)	ϕ - bitola (mm)	$A_{s,tot}$ (cm ²)	$A_{s,face}$ (cm ² /m)	$A_{s,est} = 25\% A_{s,face}$ (cm ² /m)	h (cm)	bw (cm)	$A_{s,est}$ (min) - Flexão de Placas (cm ² /m)	i (taxa)
Pp1	1	36	25	176,76	32,26	8,06	23	100	3,98	50,64%
	2	36	25	176,76	32,26	8,06	23	100	3,98	50,64%
	3	36	25	176,76	32,26	8,06	23	100	3,98	50,64%
	4	36	25	176,76	32,26	8,06	23	100	3,98	50,64%
	5	26	20	81,64	14,90	3,72	23	100	3,98	-6,86%
	6	26	20	81,64	14,90	3,72	23	100	3,98	-6,86%
	7	26	16	52	9,49	2,37	23	100	3,98	-67,77%
	8	26	12.5	32,5	5,93	1,48	23	100	3,98	-168,44%
	9	26	12.5	32,5	5,93	1,48	23	100	3,98	-168,44%
	10	26	12.5	32,5	5,93	1,48	23	100	3,98	-168,44%
	11	26	12.5	32,5	5,93	1,48	23	100	3,98	-168,44%
	12	26	12.5	32,5	5,93	1,48	23	100	3,98	-168,44%
	13	26	12.5	32,5	5,93	1,48	23	100	3,98	-168,44%
	14	26	12.5	32,5	5,93	1,48	23	100	3,98	-168,44%
	15	26	12.5	32,5	5,93	1,48	23	100	3,98	-168,44%
	16	26	12.5	32,5	5,93	1,48	23	100	3,98	-168,44%
	17	26	12.5	32,5	5,93	1,48	23	100	3,98	-168,44%
	18	26	12.5	32,5	5,93	1,48	23	100	3,98	-168,44%
	19	26	12.5	32,5	5,93	1,48	23	100	3,98	-168,44%
	20	26	12.5	32,5	5,93	1,48	23	100	3,98	-168,44%
	21	26	12.5	32,5	5,93	1,48	23	100	3,98	-168,44%
	22	26	12.5	32,5	5,93	1,48	23	100	3,98	-168,44%
	23	26	12.5	32,5	5,93	1,48	23	100	3,98	-168,44%

Tabela 19 - Armadura transversal do pilar-parede Pp2

Pilar	Lance	n (número de ferros)	ϕ - bitola (mm)	$A_{s,tot}$ (cm ²)	$A_{s,face}$ (cm ² /m)	$A_{s,est} = 25\% A_{s,tot}$ (cm ² /m)	h (cm)	bw (cm)	$A_{s,est}$ (min) - Flexão de Placas (cm ² /m)	i
Pp2	1	46	16	92	18,04	4,51	35	100	6,06	-34,37%
	2	46	16	92	18,04	4,51	35	100	6,06	-34,37%
	3	46	16	92	18,04	4,51	35	100	6,06	-34,37%
	4	46	16	92	18,04	4,51	23	100	3,98	11,75%
	5	32	12.5	40	7,84	1,96	23	100	3,98	-102,98%
	6	26	12.5	32,5	6,37	1,59	23	100	3,98	-149,82%
	7	26	12.5	32,5	6,37	1,59	23	100	3,98	-149,82%
	8	26	12.5	32,5	6,37	1,59	23	100	3,98	-149,82%
	9	26	12.5	32,5	6,37	1,59	23	100	3,98	-149,82%
	10	26	12.5	32,5	6,37	1,59	23	100	3,98	-149,82%
	11	26	12.5	32,5	6,37	1,59	23	100	3,98	-149,82%
	12	26	12.5	32,5	6,37	1,59	23	100	3,98	-149,82%
	13	26	12.5	32,5	6,37	1,59	23	100	3,98	-149,82%
	14	26	12.5	32,5	6,37	1,59	23	100	3,98	-149,82%
	15	26	12.5	32,5	6,37	1,59	23	100	3,98	-149,82%
	16	26	12.5	32,5	6,37	1,59	23	100	3,98	-149,82%
	17	26	12.5	32,5	6,37	1,59	23	100	3,98	-149,82%
	18	26	12.5	32,5	6,37	1,59	23	100	3,98	-149,82%
	19	26	12.5	32,5	6,37	1,59	23	100	3,98	-149,82%
	20	26	12.5	32,5	6,37	1,59	23	100	3,98	-149,82%
	21	26	12.5	32,5	6,37	1,59	23	100	3,98	-149,82%
	22	26	12.5	32,5	6,37	1,59	23	100	3,98	-149,82%
	23	26	12.5	32,5	6,37	1,59	23	100	3,98	-149,82%

Tabela 20 - Armadura transversal do pilar-parede Pp3

Pilar	Lance	n (número de ferros)	ϕ - bitola (mm)	$A_{s,tot}$ (cm ²)	$A_{s,face}$ (cm ² /m)	$A_{s,est} = 25\% A_{s,tot}$ (cm ² /m)	h (cm)	bw (cm)	$A_{s,est}$ (min) - Flexão de Placas (cm ² /m)	i
Pp3	1	26	25	108,94	21,36	5,34	35	100	6,06	-13,48%
	2	26	25	108,94	21,36	5,34	35	100	6,06	-13,48%
	3	26	25	108,94	21,36	5,34	35	100	6,06	-13,48%
	4	26	25	108,94	21,36	5,34	23	100	3,98	25,47%
	5	26	16	52	10,20	2,55	23	100	3,98	-56,14%
	6	26	16	52	10,20	2,55	23	100	3,98	-56,14%
	7	26	12.5	32,5	6,37	1,59	23	100	3,98	-149,82%
	8	26	12.5	32,5	6,37	1,59	23	100	3,98	-149,82%
	9	26	12.5	32,5	6,37	1,59	23	100	3,98	-149,82%
	10	26	12.5	32,5	6,37	1,59	23	100	3,98	-149,82%
	11	26	12.5	32,5	6,37	1,59	23	100	3,98	-149,82%
	12	26	12.5	32,5	6,37	1,59	23	100	3,98	-149,82%
	13	26	12.5	32,5	6,37	1,59	23	100	3,98	-149,82%
	14	26	12.5	32,5	6,37	1,59	23	100	3,98	-149,82%
	15	26	12.5	32,5	6,37	1,59	23	100	3,98	-149,82%
	16	26	12.5	32,5	6,37	1,59	23	100	3,98	-149,82%
	17	26	12.5	32,5	6,37	1,59	23	100	3,98	-149,82%
	18	26	12.5	32,5	6,37	1,59	23	100	3,98	-149,82%
	19	26	12.5	32,5	6,37	1,59	23	100	3,98	-149,82%
	20	26	12.5	32,5	6,37	1,59	23	100	3,98	-149,82%
	21	26	12.5	32,5	6,37	1,59	23	100	3,98	-149,82%
	22	27	12.5	33,75	6,62	1,65	23	100	3,98	-140,57%
	23	28	12.5	35	6,86	1,72	23	100	3,98	-131,98%

Tabela 21 - Armadura transversal do pilar-parede Pp4

Pilar	Lance	n (número de ferros)	ϕ - bitola (mm)	$A_{s,tot}$ (cm ²)	$A_{s,face}$ (cm ² /m)	$A_{s,est} = 25\% A_{s,tot}$ (cm ² /m)	h (cm)	bw (cm)	$A_{s,est}$ (min) - Flexão de Placas (cm ² /m)	i
Pp4	1	76	20	239,4	26,96	6,74	25	100	4,32	35,90%
	2	76	20	239,4	26,96	6,74	25	100	4,32	35,90%
	3	74	16	148	16,67	4,17	25	100	4,32	-3,68%
	4	74	16	148	16,67	4,17	25	100	4,32	-3,68%
	5	68	16	136	15,32	3,83	25	100	4,32	-12,83%
	6	68	16	136	15,32	3,83	23	100	3,98	-3,95%
	7	44	12,5	55	6,19	1,55	23	100	3,98	-157,04%
	8	42	12,5	52,5	5,91	1,48	23	100	3,98	-169,28%
	9	42	12,5	52,5	5,91	1,48	23	100	3,98	-169,28%
	10	42	12,5	52,5	5,91	1,48	23	100	3,98	-169,28%
	11	42	12,5	52,5	5,91	1,48	23	100	3,98	-169,28%
	12	42	12,5	52,5	5,91	1,48	23	100	3,98	-169,28%
	13	42	12,5	52,5	5,91	1,48	23	100	3,98	-169,28%
	14	42	12,5	52,5	5,91	1,48	23	100	3,98	-169,28%
	15	42	12,5	52,5	5,91	1,48	23	100	3,98	-169,28%
	16	42	12,5	52,5	5,91	1,48	23	100	3,98	-169,28%
	17	42	12,5	52,5	5,91	1,48	23	100	3,98	-169,28%
	18	42	12,5	52,5	5,91	1,48	23	100	3,98	-169,28%
	19	42	12,5	52,5	5,91	1,48	23	100	3,98	-169,28%
	20	42	12,5	52,5	5,91	1,48	23	100	3,98	-169,28%
	21	42	12,5	52,5	5,91	1,48	23	100	3,98	-169,28%
	22	34	12,5	42,5	4,79	1,20	19	100	3,29	-174,97%
	23	34	12,5	42,5	4,79	1,20	19	100	3,29	-174,97%

Tabela 22 - Armadura transversal do pilar-parede Pp5

Pilar	Lance	n (número de ferros)	ϕ - bitola (mm)	$A_{s,tot}$ (cm ²)	$A_{s,face}$ (cm ² /m)	$A_{s,est} = 25\% A_{s,tot}$ (cm ² /m)	h (cm)	bw (cm)	$A_{s,est}$ (min) - Flexão de Placas (cm ² /m)	i
Pp5	1	66	25	207,9	24,81	6,20	23	100	3,98	35,83%
	2	66	25	207,9	24,81	6,20	23	100	3,98	35,83%
	3	66	20	207,9	24,81	6,20	23	100	3,98	35,83%
	4	66	20	132	15,75	3,94	23	100	3,98	-1,07%
	5	58	16	116	14,87	3,72	23	100	3,98	-7,05%
	6	58	16	116	14,87	3,72	23	100	3,98	-7,05%
	7	58	16	116	14,87	3,72	23	100	3,98	-7,05%
	8	38	12,5	76	9,74	2,44	23	100	3,98	-63,39%
	9	38	12,5	76	9,74	2,44	23	100	3,98	-63,39%
	10	38	12,5	76	9,74	2,44	23	100	3,98	-63,39%
	11	38	12,5	76	9,74	2,44	23	100	3,98	-63,39%
	12	38	12,5	76	9,74	2,44	23	100	3,98	-63,39%
	13	38	12,5	76	9,74	2,44	23	100	3,98	-63,39%
	14	38	12,5	76	9,74	2,44	23	100	3,98	-63,39%
	15	38	12,5	76	9,74	2,44	23	100	3,98	-63,39%
	16	38	12,5	76	9,74	2,44	23	101	3,98	-63,39%
	17	38	12,5	76	9,74	2,44	23	102	3,98	-63,39%
	18	38	12,5	76	9,74	2,44	23	103	3,98	-63,39%
	19	38	12,5	76	9,74	2,44	23	104	3,98	-63,39%
	20	38	12,5	76	9,74	2,44	23	105	3,98	-63,39%
	21	38	12,5	76	9,74	2,44	23	106	3,98	-63,39%
	22	38	12,5	76	9,74	2,44	23	106	3,98	-63,39%
	23	38	12,5	76	9,74	2,44	23	106	3,98	-63,39%

Onde:

$A_{s,tot}$ é a área de aço total longitudinal do pilar-parede em cm^2 ;

$A_{s,face}$ é a área de aço da face do pilar, em cm^2/m , ou seja $A_{s,face} = \frac{A_{s,tot}}{b}$, onde b é o largura da maior face da seção do pilar-parede;

$A_{s,est}$ é a área de aço do estribo, em cm^2/m , ou seja $A_{s,est} = 25\% \cdot A_{s,face}$;

$A_{s,est(min)}$ é a área de aço mínima do estribo, em cm^2/m , calculando o pilar-parede por flexão de placas;

i é o percentual de diferença entre a $A_{s,est}$ e a $A_{s,est(min)}$, ou seja, $i = \frac{A_{s,est} - A_{s,est(min)}}{A_{s,est}} \times 100$

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A proposta deste trabalho é apresentar a formulação da NBR 6118:2003 para o cálculo das armaduras longitudinal e transversal de Pilares-Parede. Para tanto, criou-se uma planilha de Excel que serviu de auxílio para o cálculo manual da armadura longitudinal de um pilar-parede e o mesmo pilar-parede foi calculado através do software CAD/TQS. Para o cálculo das armaduras transversais, extraiu-se a armadura longitudinal de cinco pilares-parede do CAD/TQS e numa planilha de Excel foi calculada a armadura transversal considerando que a área de aço do estribo seria 25% da armadura longitudinal da face e através da armadura mínima de flexão de placas.

No segundo e terceiro capítulos foram apresentada de forma teórica e simplificada como dimensionar e detalhar um pilar-parede de forma manual e através do sistema CAD/TQS. Já no quarto capítulo foram apresentados exemplos que foram calculados conforme apresentado nos capítulos anteriores.

Do exemplo de cálculo da armadura longitudinal do pilar-parede Pp1, primeiramente observou-se a importância da consideração dos efeitos localizados de 2ª ordem, pois no exemplo apresentado a diferença de A_s em cada faixa foi de $19,41 \text{ cm}^2$, totalizando $77,64 \text{ cm}^2$ no pilar-parede como um todo. Percebe-se o quão significativo é esta consideração. Posteriormente, pode-se observar que houve uma diferença entre a área de aço calculada manualmente através da planilha de Excel e através do sistema CAD/TQS. Essa diferença pode ser devida ao fato de que o sistema CAD/TQS calcula a armadura dos pilares-

parede através de inúmeras iterações onde se consideram vários casos de carregamento e o cálculo manual foi feito considerando apenas um caso de carregamento. Além disso, o método manual é feito com o auxílio de ábacos adimensionais onde não se podem retirar os valores exatos, pois esses ábacos adimensionais são feitos com seções transversais previamente definidas e a disposição das armaduras também tem que ser previamente definida.

Dos exemplos de cálculo da armadura transversal dos cinco pilares-parede, pode-se analisar o cálculo das armaduras pelos dois métodos sugeridos na norma NBR 6118:2003 em seu item 18.5. Primeiramente calculou-se considerando que a área de aço da armadura transversal seria 25% da armadura longitudinal da face, depois se calculou a mesma área de aço considerando-se o pilar-parede como uma placa e calculando como armadura mínima de flexão de placas. Observou-se que nos primeiros lances do pilar-parede a armadura transversal considerando os 25% gera uma área de aço bastante alta para pilar-parede, sendo mais vantajoso do ponto de vista econômico fazer o cálculo dessa área de aço através de flexão de placas. No restante dos lances, pode-se observar que 25% da armadura longitudinal da face gera uma área de aço menor que por flexão de placas.

O sistema CAD/TQS não possibilita o cálculo da armadura transversal dos pilares-parede por flexão de placas de forma automática. Ele sempre considera a área de aço da armadura transversal dos pilares-parede como 25% da armadura longitudinal da face. Ou seja, em muitos dos casos a armadura transversal dos pilares-parede tem uma taxa de aço tão alta que fica quase impossível de executar numa obra, além de não ser a favor da economia. Sendo, portanto, mais vantajoso o cálculo por flexão de placas. Uma sugestão seria calcular a armadura transversal dos pilares-parede pelos dois métodos propostos na Norma NBR 6118:2003 e analisar qual o mais satisfatório do ponto de vista da economia e da exequibilidade.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANBT (2003) NBR 6118 - **Projeto de Estruturas de Concreto - Procedimento**. Associação Brasileira de Normas Técnicas, Rio de Janeiro.

ARAÚJO, J.M.; **Curso de Concreto Armado**. Volume 3. 2.ed. Rio Grande: Dunas, 2003.

CARVALHO, R,C.; PINHEIRO,L,M. **Cálculo e detalhamento de estruturas usuais de concreto armado**. Volume 2. 1.ed. São Paulo: PINI, 2009. Cap. 5, p. 310-448.

FUSCO, P.B. (1995). **Estruturas de concreto: solicitações normais**. Rio de Janeiro, Ed. Guanabara 2.

KIMURA,A,E; **Cálculo de Pilares de Concreto Armado**. Apostila do curso ministrado na ABECE.

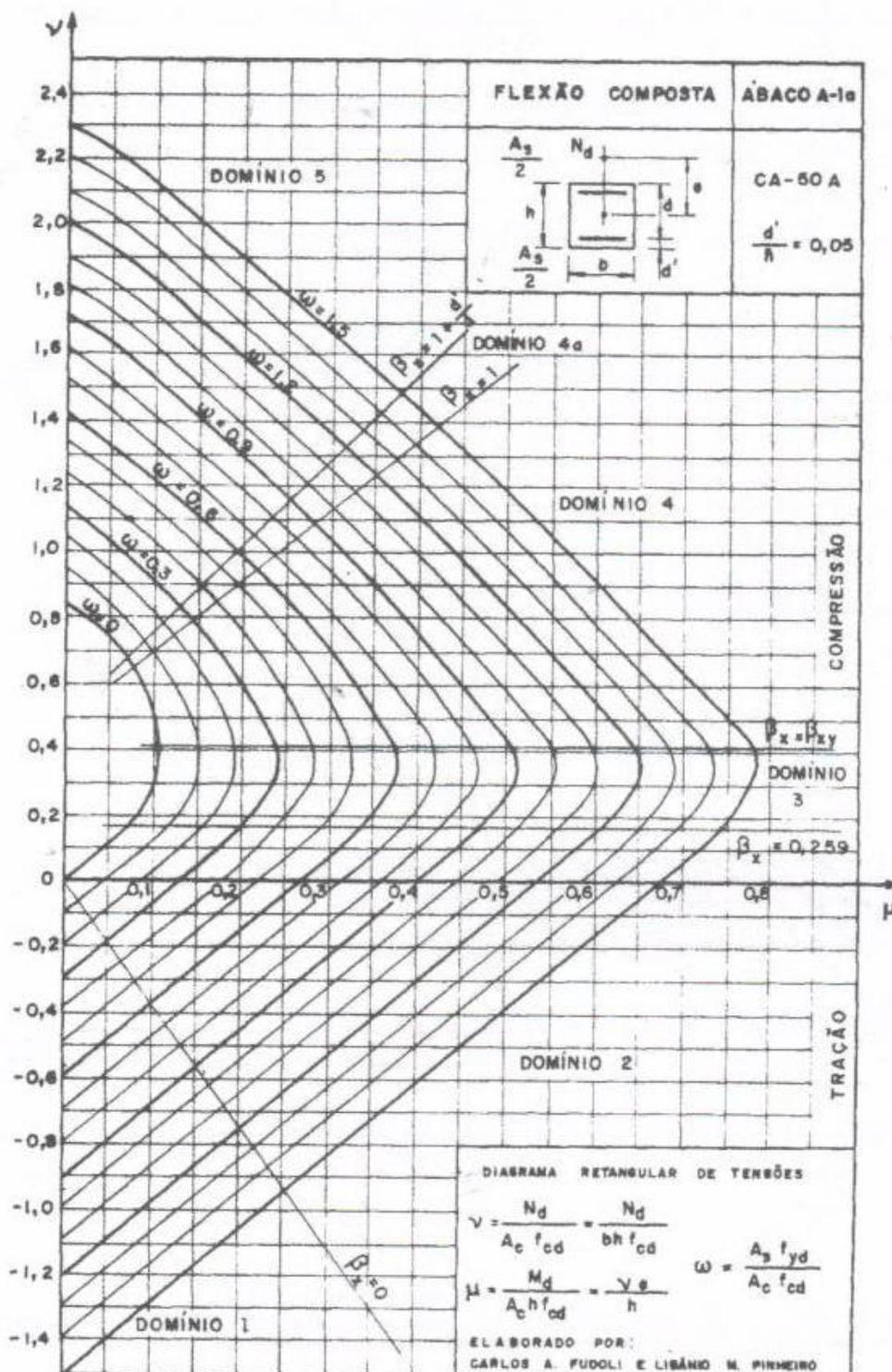
KIMURA, A. **Informática aplicada em estruturas de concreto armado**. São Paulo: PINI, 2007.

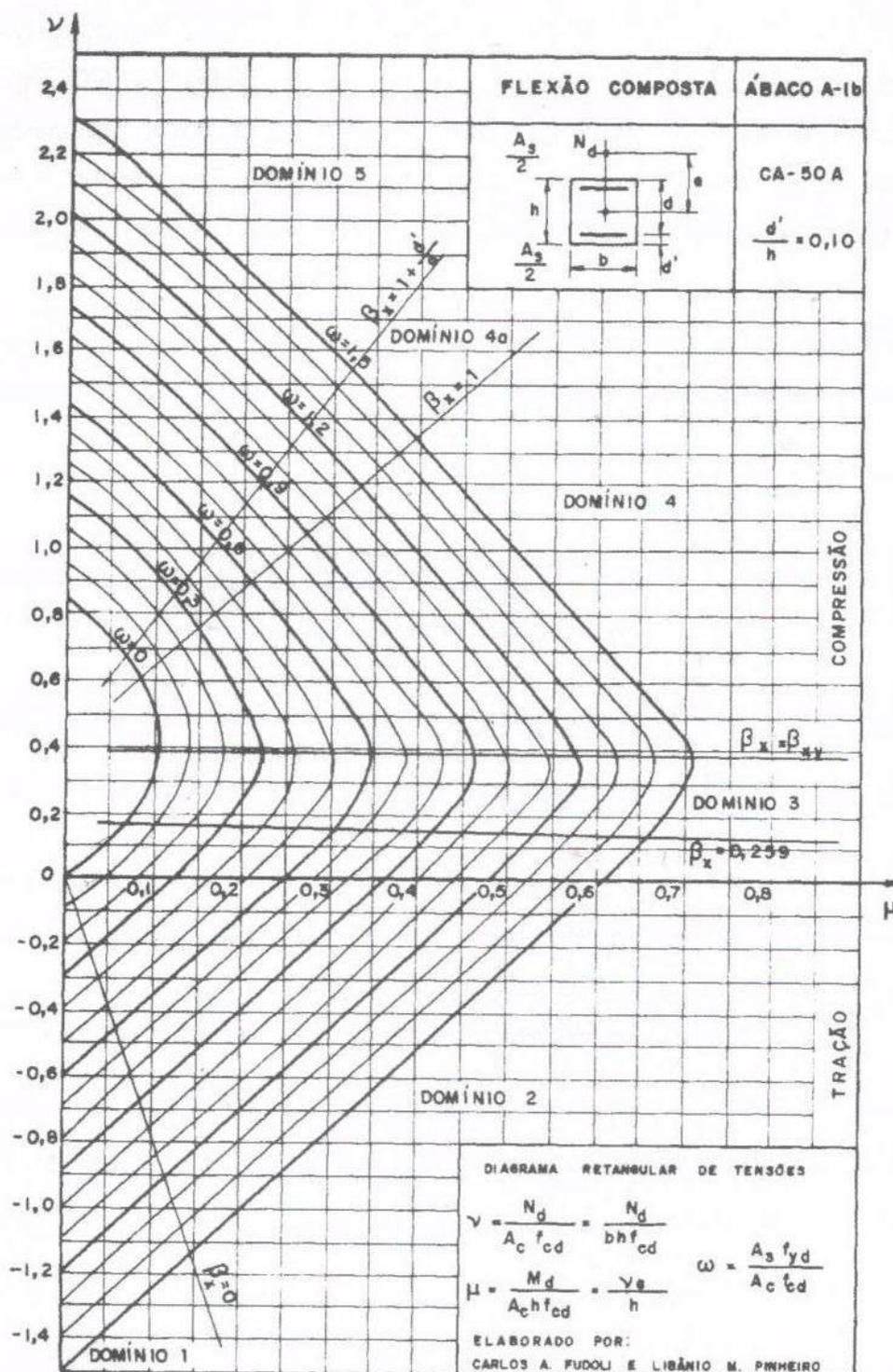
SMANIOTTO, Alberto. **Dimensionamento e detalhamento automático de pilares retangulares submetidos à flexão composta oblíqua**. Florianópolis, 2005. 120p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina.

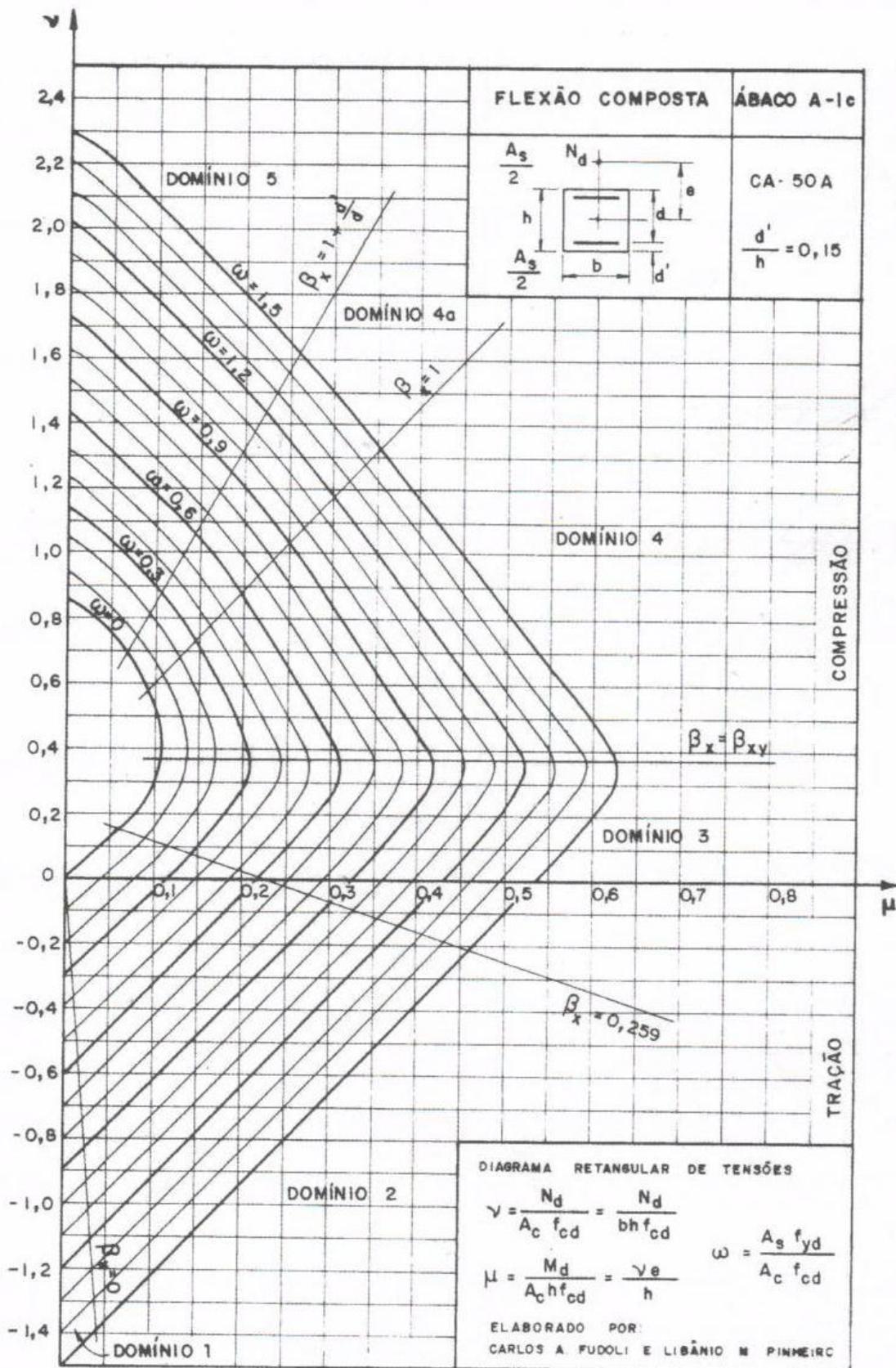
TQS. Dimensionamento de Pilares-Parede. [São Paulo], 2012. Disponível em: <<http://www.tqs.com.br/conheca-os-sistemas-cadtqs/dimensionamento-e-detalhamento/dimensionamento-de-pilares-parede>> Acesso em: 23 dez. 2012.

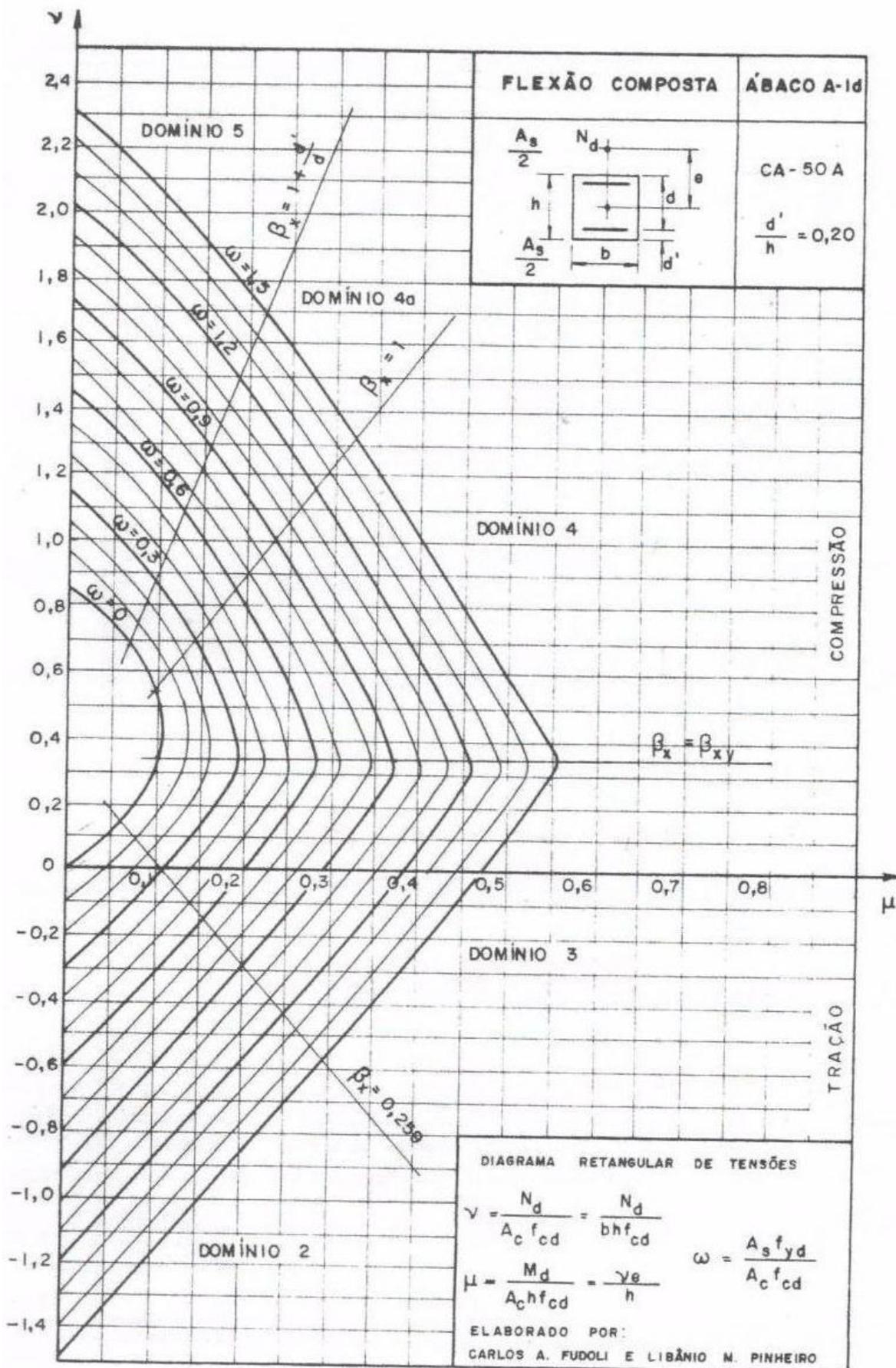
TQS. Manual do usuário. CAD/PILAR Editor de geometria, esforços e armaduras em Pilares. São Paulo, 2012.

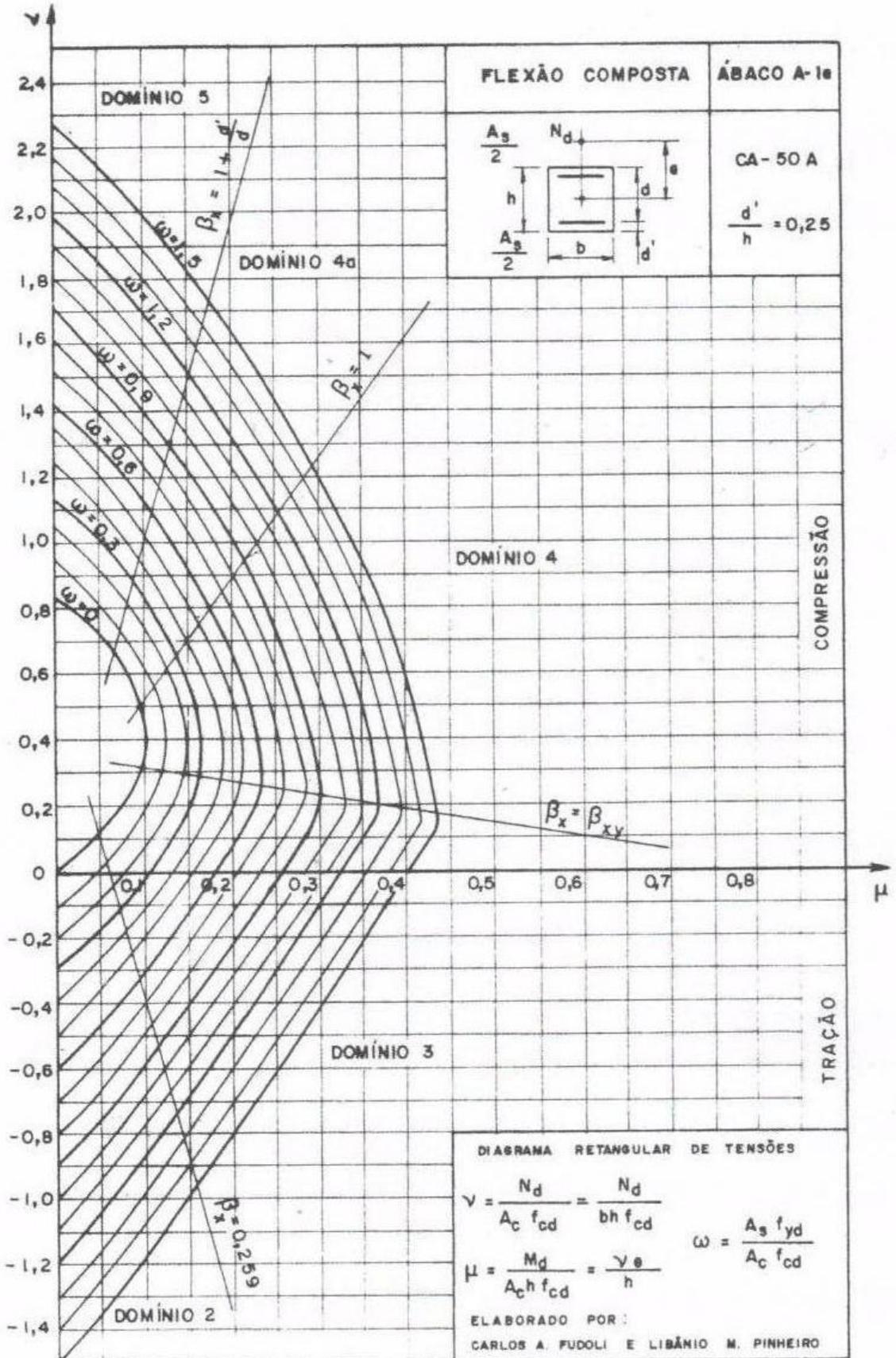
ANEXO A – ÁBACOS ADIMENSIONAIS

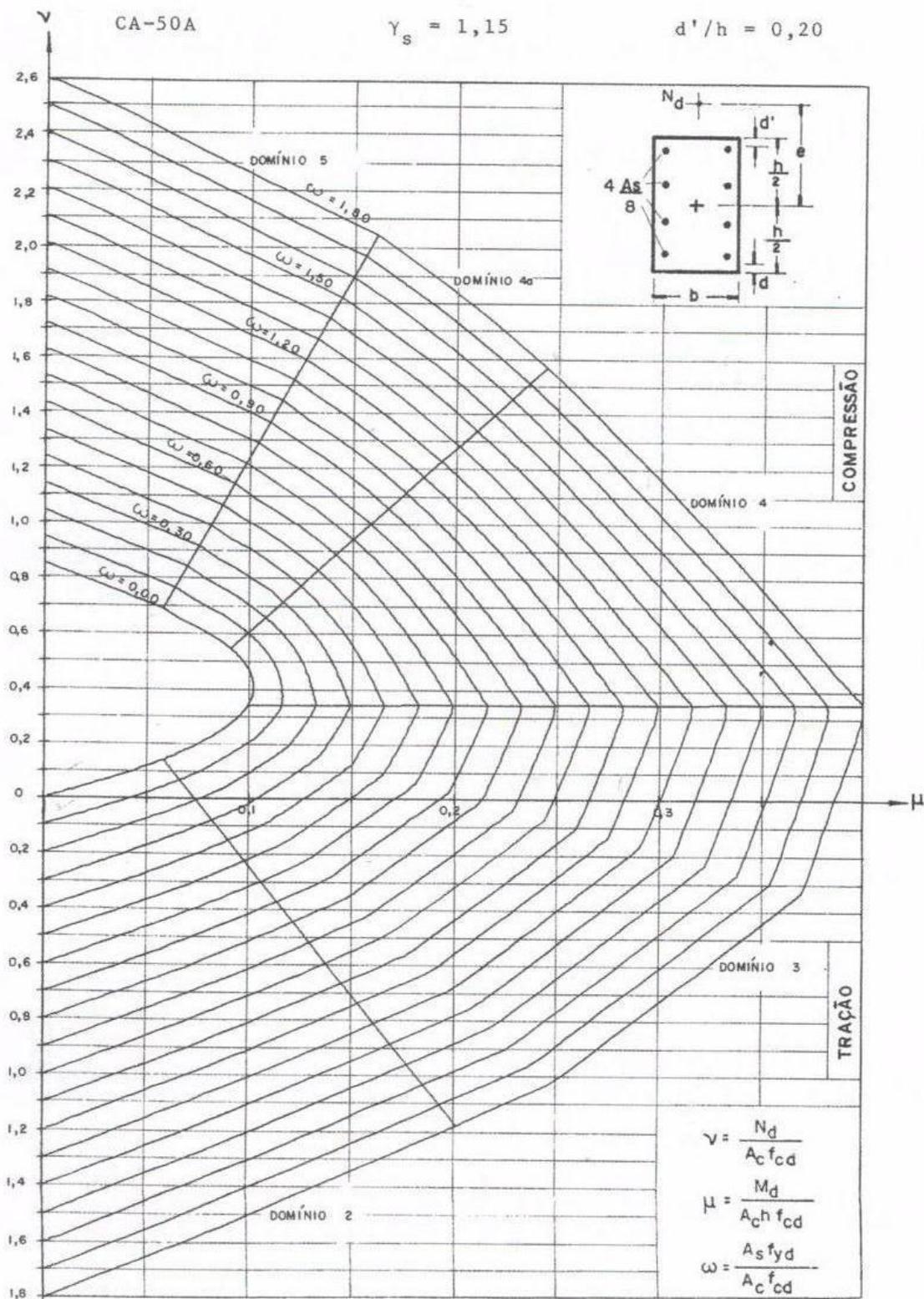










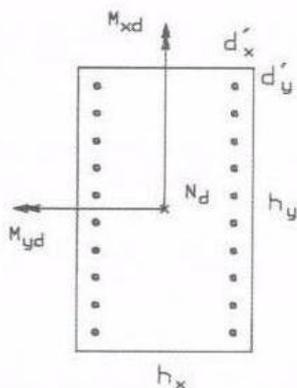


$$\nu = \frac{N_d}{A_c f_{cd}}$$

$$\mu_x = \frac{M_{xd}}{A_c f_{cd} h_x}$$

$$\mu_y = \frac{M_{yd}}{A_c f_{cd} h_y}$$

$$\omega = \frac{A_s f_{yd}}{A_c f_{cd}}$$



CA-50 A

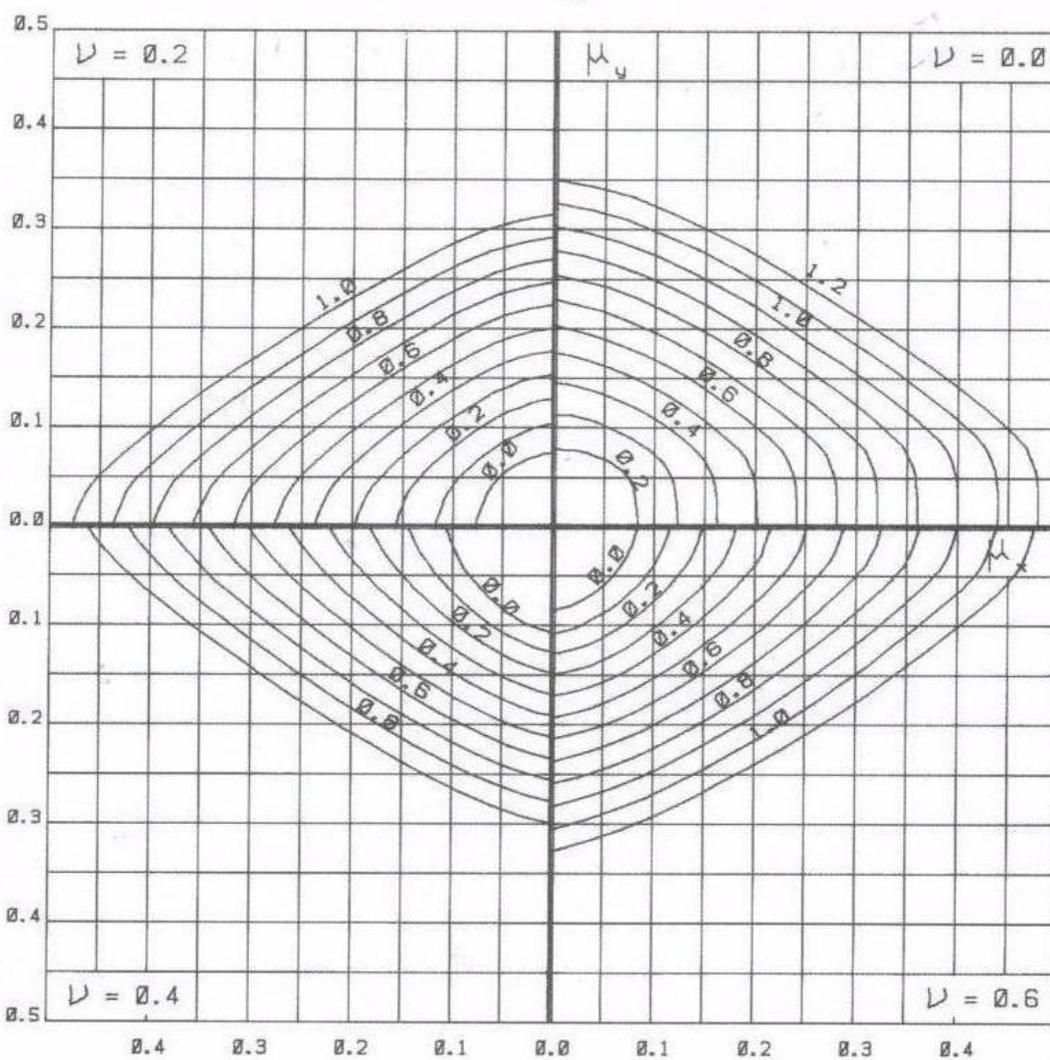
$$d'_y = 0.050 h_y$$

$$d'_x = 0.100 h_x$$

$$A_{sy} / A_s = 2/20$$

$$A_{sx} / A_s = 10/20$$

$$A_c = h_x h_y$$

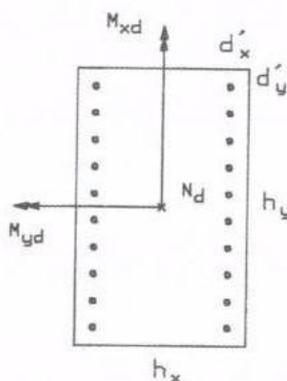


$$\nu = \frac{N_d}{A_c f_{cd}}$$

$$\mu_x = \frac{M_{xd}}{A_c f_{cd} h_x}$$

$$\mu_y = \frac{M_{yd}}{A_c f_{cd} h_y}$$

$$\omega = \frac{A_s f_{yd}}{A_c f_{cd}}$$



CA-50 A

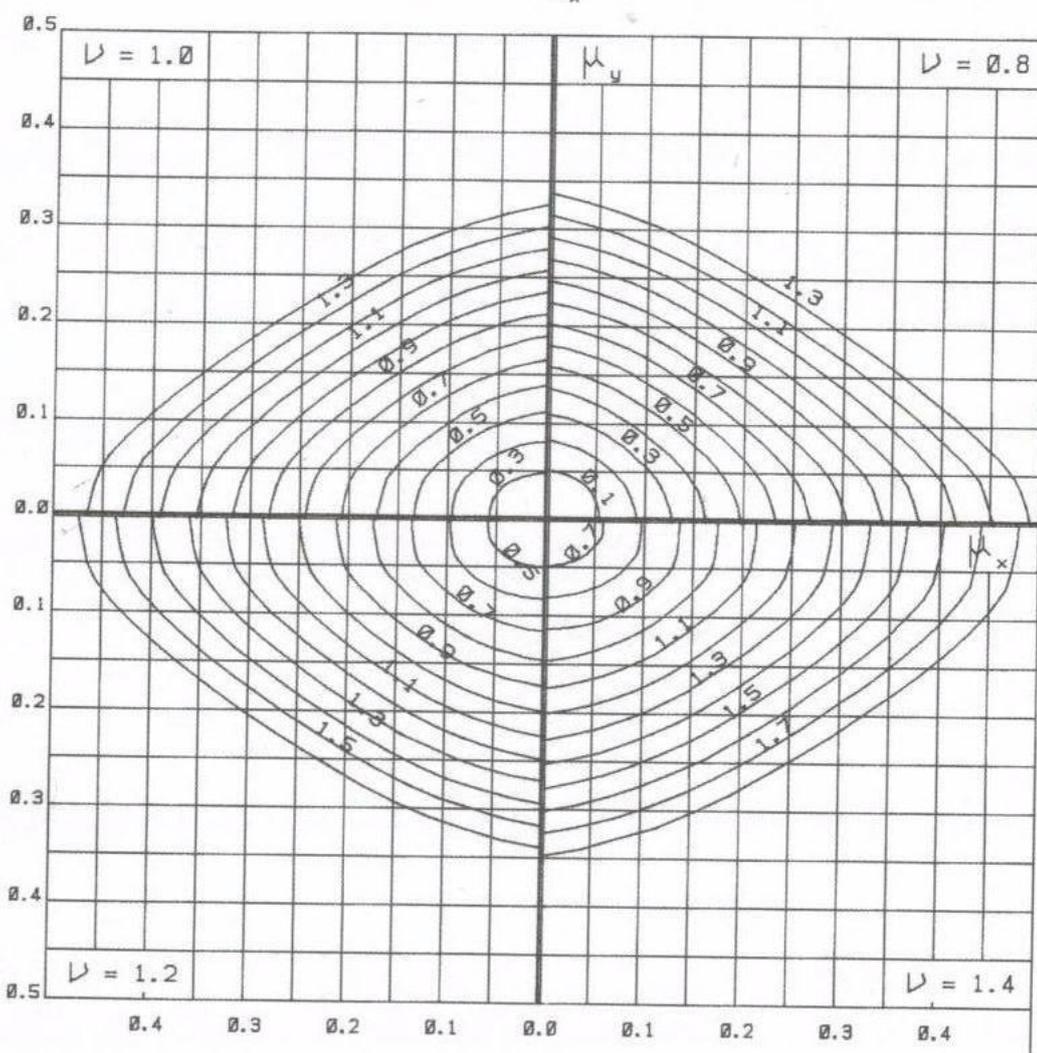
$$d'_y = 0.050 h_y$$

$$d'_x = 0.100 h_x$$

$$A_{sy} / A_s = 2/20$$

$$A_{sx} / A_s = 10/20$$

$$A_c = h_x h_y$$

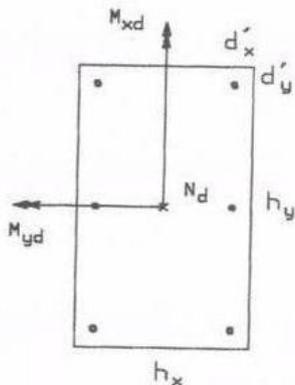


$$\nu = \frac{N_d}{A_c f_{cd}}$$

$$\mu_x = \frac{M_{xd}}{A_c f_{cd} h_x}$$

$$\mu_y = \frac{M_{yd}}{A_c f_{cd} h_y}$$

$$\omega = \frac{A_s f_{yd}}{A_c f_{cd}}$$



CA-50 A

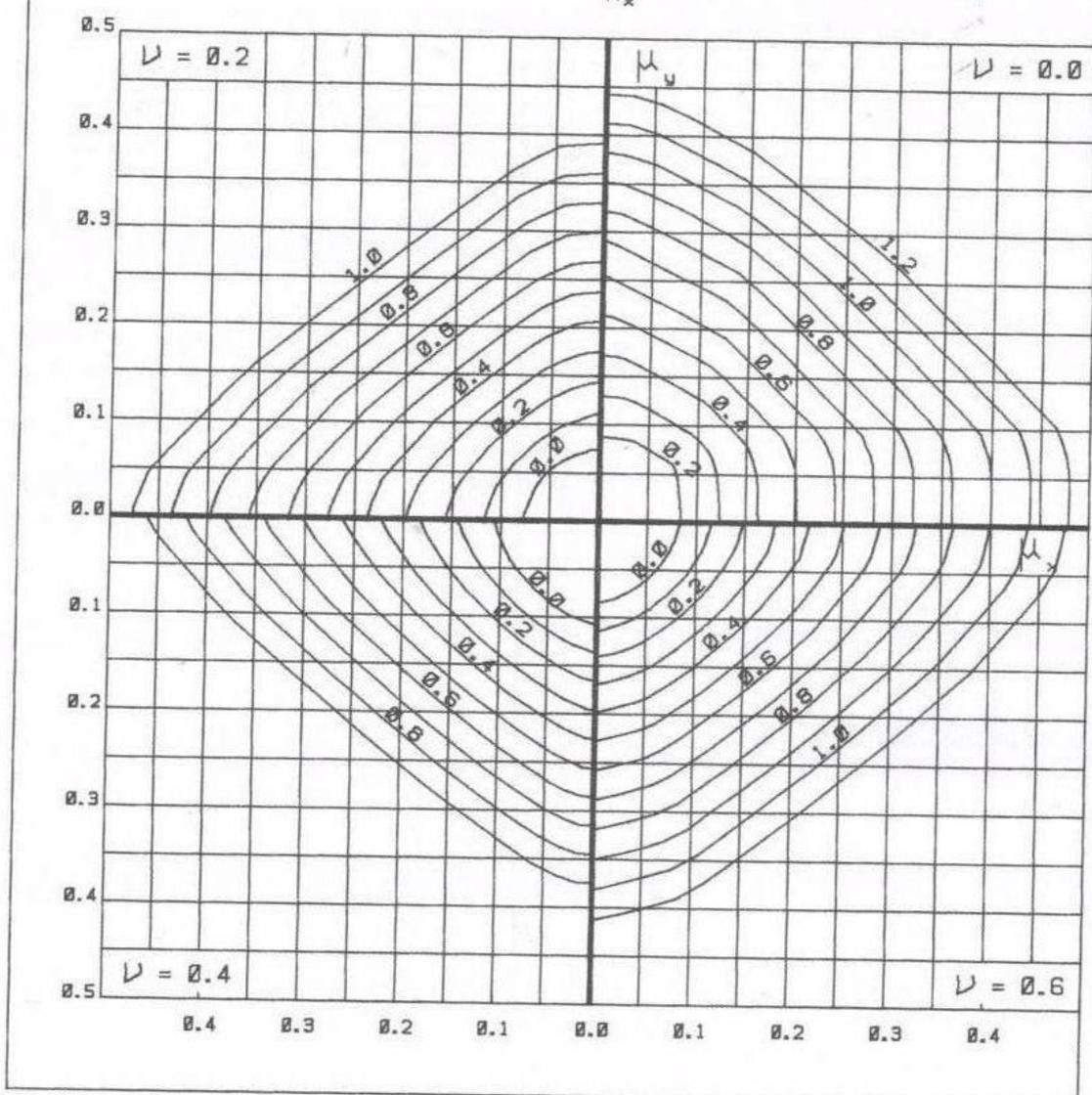
$$d'_y = 0.050 h_y$$

$$d'_x = 0.100 h_x$$

$$A_{sy} / A_s = 2/6$$

$$A_{sx} / A_s = 3/6$$

$$A_c = h_x h_y$$

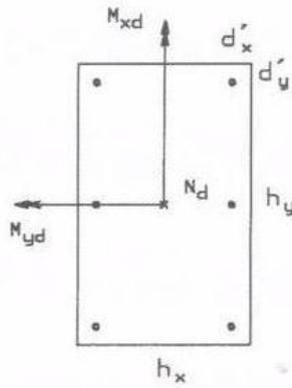


$$\nu = \frac{N_d}{A_c f_{cd}}$$

$$\mu_x = \frac{M_{xd}}{A_c f_{cd} h_x}$$

$$\mu_y = \frac{M_{yd}}{A_c f_{cd} h_y}$$

$$\omega = \frac{A_s f_{yd}}{A_c f_{cd}}$$



CA-50 A

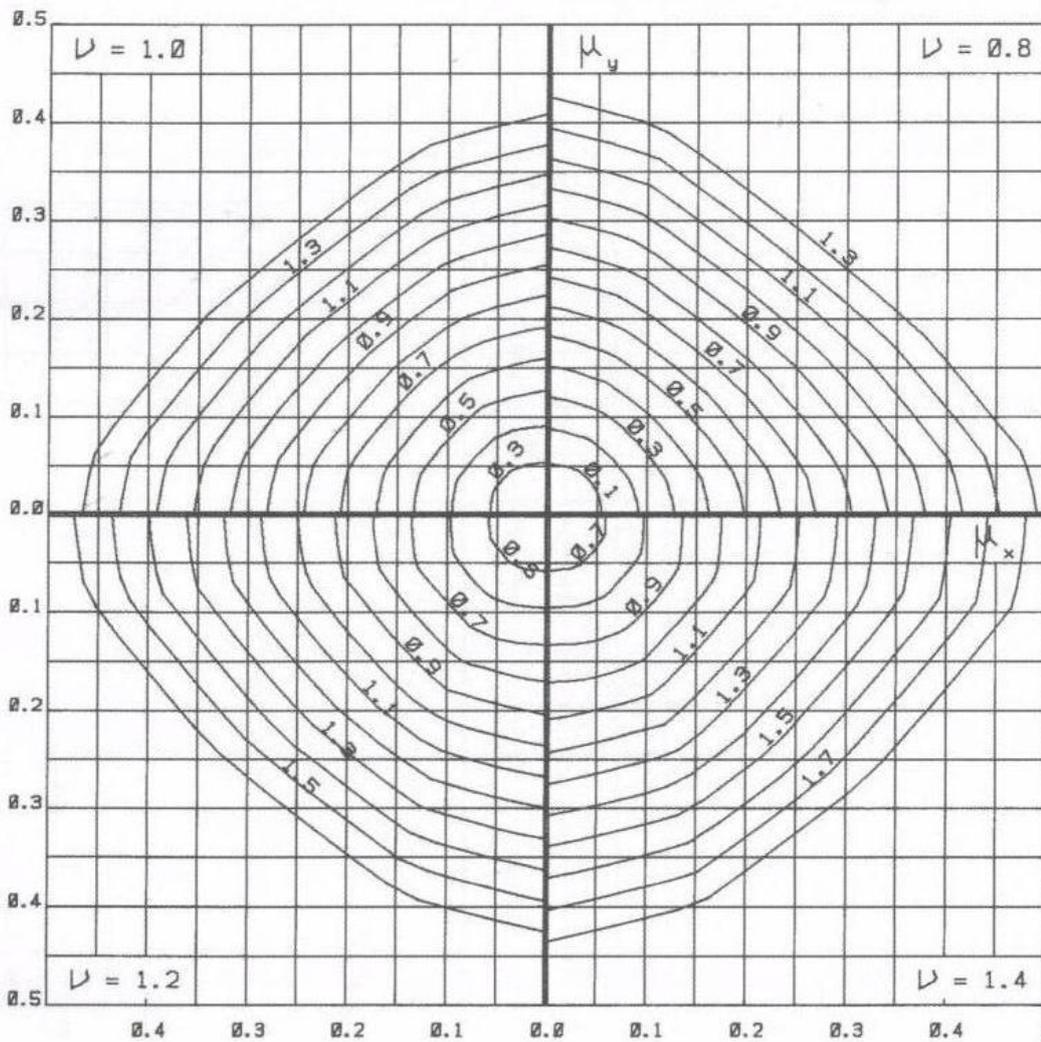
$$d'_y = 0.050 h_y$$

$$d'_x = 0.100 h_x$$

$$A_{sy} / A_s = 2/6$$

$$A_{sx} / A_s = 3/6$$

$$A_c = h_x h_y$$



ANEXO B – RESUMO DO DETALHAMENTO DOS PILARES-PAREDE ATRAVÉS DO CAD/TQS

LEGENDA

Seção : Dimensões da seção transversal (seção retangular)
Nome da seção (seção qualquer)
Área : Área de concreto da seção transversal
NFer : Número de ferros
PDD : Pé-Direito Duplo (direções "x" e "y")
S: Sim N: Não
As : Área total de armadura utilizada
Taxa : Taxa de Armadura da seção
Estr : Bitola do estribo
C/ : Espaçamento do estribo
fck : fck utilizado no lance
Cobr : Cobrimento utilizado no lance
PP : Pilar-Parede: (S) Sim (N) Não
PP : S* :Pilar-Parede (Sim), mas Ast não atende o item 18.5 da NBR6118:2003
T : Tensão de Cálculo (Carga Vertical: Combinação 1 CAD/PILAR) (kgf/cm2)
Lbd : Índice de Esbeltez (Maior Lambda)
Ni : Força Normal Adimensional (Nsd / Ac*Fcd) (Carga Vertical: Combinação 1 CAD/PILAR)
2OrdM : Método utilizado cálculo momento 2ªOrdem
ELOL : Efeito Local (15.8.3)
ELZD : Efeito Localizado (15.9.3)
KAPA : Pilar Padrão com Rigidez Kapa Aproximada (15.8.3.3.3)
CURV : Pilar Padrão com Curvatura Aproximada (15.8.3.3.2)
N,M,1/R : Pilar Padrão Acoplado ao Diagrama N,M,1/r (15.8.3.3.4)
MetGerl : Método Geral (15.8.3.2)

**** PROJETO MONOGRAFIA TAMYRES ****

PILAR: Pp1 num: 13 Lances: 1 à 23

Lance	Título	Seção [cm]	Área [cm2]	NFer	Bitola [mm]	PDD x y	As [cm2]	Taxa [%]	Estr [mm]	C/ [cm]	PP	fck (MPa)	Cobr (cm)	T	Lbd	Ni	2OrdM
23	CASA DE MA	23.x 274.	6302.0	26	12.5	N S	31.9	.51	5.0	12.5	S	30.0	3.0	10.2	50.	.0475	ELZD N,M,1/r
22	ATICO	23.x 274.	6302.0	26	12.5	N N	31.9	.51	5.0	12.5	S	30.0	3.0	27.9	58.	.1304	ELZD N,M,1/r
21	PENT	23.x 274.	6302.0	26	12.5	N N	31.9	.51	5.0	12.5	S	30.0	3.0	36.0	46.	.1681	ELZD N,M,1/r
20	17 PAV TIP	23.x 274.	6302.0	26	12.5	N N	31.9	.51	5.0	12.5	S	30.0	3.0	43.7	46.	.2038	ELZD N,M,1/r
19	16 PAV TIP	23.x 274.	6302.0	26	12.5	N N	31.9	.51	5.0	12.5	S	30.0	3.0	51.3	46.	.2396	ELZD N,M,1/r
18	15 PAV TIP	23.x 274.	6302.0	26	12.5	N N	31.9	.51	5.0	12.5	S	30.0	3.0	59.0	46.	.2754	ELZD N,M,1/r
17	14 PAV TIP	23.x 274.	6302.0	26	12.5	N N	31.9	.51	5.0	12.5	S	30.0	3.0	66.7	46.	.3113	ELZD N,M,1/r
16	13 PAV TIP	23.x 274.	6302.0	26	12.5	N N	31.9	.51	5.0	12.5	S	30.0	3.0	74.4	46.	.3471	ELZD N,M,1/r
15	12 PAV TIP	23.x 274.	6302.0	26	12.5	N N	31.9	.51	5.0	12.5	S	30.0	3.0	82.1	46.	.3830	ELZD N,M,1/r
14	11 PAV TIP	23.x 274.	6302.0	26	12.5	N N	31.9	.51	5.0	12.5	S	30.0	3.0	89.8	46.	.4189	ELZD N,M,1/r
13	10 PAV TIP	23.x 274.	6302.0	26	12.5	N N	31.9	.51	5.0	12.5	S	30.0	3.0	97.5	46.	.4548	ELZD N,M,1/r
12	9 PAV TIPO	23.x 274.	6302.0	26	12.5	N N	31.9	.51	5.0	12.5	S	30.0	3.0	105.2	46.	.4907	ELZD N,M,1/r
11	8 PAV TIPO	23.x 274.	6302.0	26	12.5	N N	31.9	.51	5.0	12.5	S	30.0	3.0	112.8	46.	.5266	ELZD N,M,1/r
10	7 PAV TIPO	23.x 274.	6302.0	26	12.5	N N	31.9	.51	5.0	12.5	S	30.0	3.0	120.5	46.	.5624	ELZD N,M,1/r
9	6 PAV TIPO	23.x 274.	6302.0	26	12.5	N N	31.9	.51	5.0	12.5	S	30.0	3.0	128.2	46.	.5982	ELZD N,M,1/r
8	5 PAV TIPO	23.x 274.	6302.0	26	12.5	N N	31.9	.51	5.0	12.5	S	30.0	3.0	135.8	46.	.6339	ELZD N,M,1/r
7	4 PAV TIPO	23.x 274.	6302.0	26	16.0	N N	52.3	.83	5.0	8.5	S	30.0	3.0	143.5	46.	.6697	ELZD N,M,1/r
6	3 PAV TIPO	23.x 274.	6302.0	26	20.0	N N	81.7	1.30	6.3	8.5	S	30.0	3.0	151.1	46.	.7054	ELZD N,M,1/r
5	2 PAV TIPO	23.x 274.	6302.0	26	20.0	N N	81.7	1.30	6.3	8.5	S	30.0	3.0	151.1	46.	.7411	ELZD N,M,1/r
4	1 PAV TIPO	23.x 274.	6302.0	36	25.0	N N	176.7	2.80	8.0	6.0	S*	30.0	3.0	166.6	64.	.7773	ELZD N,M,1/r
3	TERREO	23.x 274.	6302.0	36	25.0	N N	176.7	2.80	8.0	6.0	S*	30.0	3.0	173.6	44.	.8101	ELZD N,M,1/r
2	SOB 2	23.x 274.	6302.0	36	25.0	N N	176.7	2.80	8.0	6.0	S*	30.0	3.0	179.6	54.	.8382	ELZD N,M,1/r
1	SOB 1	23.x 274.	6302.0	36	25.0	N N	176.7	2.80	8.0	6.0	S*	30.0	3.0	187.2	3.	.8736	----

PILAR: Pp2 num: 2 Lances: 1 à 23

Lance	Título	Seção [cm]	Área [cm2]	NFer	Bitola [mm]	PDD x y	As [cm2]	Taxa [%]	Estr [mm]	C/ [cm]	PP	fck (MPa)	Cobr (cm)	T	Lbd	Ni	2OrdM
23	CASA DE MA	23.x 255.	5853.5	26	12.5	N S	31.9	.55	5.0	12.5	S	30.0	3.0	10.1	54.	.0470	ELZD N,M,1/r
22	ATICO	23.x 255.	5853.5	26	12.5	N N	31.9	.55	5.0	12.5	S	30.0	3.0	10.1	54.	.0470	ELZD N,M,1/r
21	PENT	23.x 255.	5853.5	26	12.5	N N	31.9	.55	5.0	12.5	S	30.0	3.0	10.1	54.	.0470	ELZD N,M,1/r
20	17 PAV TIP	23.x 255.	5853.5	26	12.5	N N	31.9	.55	5.0	12.5	S	30.0	3.0	18.2	46.	.0849	ELZD N,M,1/r
19	16 PAV TIP	23.x 255.	5853.5	26	12.5	N N	31.9	.55	5.0	12.5	S	30.0	3.0	26.3	46.	.1229	ELZD N,M,1/r
18	15 PAV TIP	23.x 255.	5853.5	26	12.5	N N	31.9	.55	5.0	12.5	S	30.0	3.0	34.5	46.	.1609	ELZD N,M,1/r
17	14 PAV TIP	23.x 255.	5853.5	26	12.5	N N	31.9	.55	5.0	12.5	S	30.0	3.0	42.6	46.	.1989	ELZD N,M,1/r
16	13 PAV TIP	23.x 255.	5853.5	26	12.5	N N	31.9	.55	5.0	12.5	S	30.0	3.0	50.7	46.	.2368	ELZD N,M,1/r
15	12 PAV TIP	23.x 255.	5853.5	26	12.5	N N	31.9	.55	5.0	12.5	S	30.0	3.0	58.9	46.	.2748	ELZD N,M,1/r
14	11 PAV TIP	23.x 255.	5853.5	26	12.5	N N	31.9	.55	5.0	12.5	S	30.0	3.0	67.0	46.	.3128	ELZD N,M,1/r
13	10 PAV TIP	23.x 255.	5853.5	26	12.5	N N	31.9	.55	5.0	12.5	S	30.0	3.0	75.2	46.	.3507	ELZD N,M,1/r
12	9 PAV TIPO	23.x 255.	5853.5	26	12.5	N N	31.9	.55	5.0	12.5	S	30.0	3.0	83.3	46.	.3887	ELZD N,M,1/r
11	8 PAV TIPO	23.x 255.	5853.5	26	12.5	N N	31.9	.55	5.0	12.5	S	30.0	3.0	91.4	46.	.4267	ELZD N,M,1/r
10	7 PAV TIPO	23.x 255.	5853.5	26	12.5	N N	31.9	.55	5.0	12.5	S	30.0	3.0	99.6	46.	.4647	ELZD N,M,1/r
9	6 PAV TIPO	23.x 255.	5853.5	26	12.5	N N	31.9	.55	5.0	12.5	S	30.0	3.0	107.7	46.	.5026	ELZD N,M,1/r

8	5 PAV TIPO	23.x 255.	5853.5	26	12.5	N N	31.9	.55	5.0	12.5	S	30.0	3.0	115.9	46.	.5406	ELZD	N,M,1/r
7	4 PAV TIPO	23.x 255.	5853.5	26	12.5	N N	31.9	.55	5.0	12.5	S	30.0	3.0	124.0	46.	.5787	ELZD	N,M,1/r
6	3 PAV TIPO	23.x 255.	5853.5	26	12.5	N N	31.9	.55	5.0	12.5	S	30.0	3.0	132.1	46.	.6167	ELZD	N,M,1/r
5	2 PAV TIPO	23.x 255.	5853.5	32	12.5	N N	39.3	.67	5.0	10.0	S	30.0	3.0	140.3	48.	.6548	ELZD	N,M,1/r
4	1 PAV TIPO	23.x 255.	5853.5	46	16.0	N N	92.5	1.58	6.3	7.0	S	30.0	3.0	149.1	61.	.6959	ELZD	N,M,1/r
3	TERREO	35.x 255.	8907.5	46	16.0	N N	44.0	.49	5.0	9.0	S	30.0	3.0	107.3	29.	.5008	----	
2	SOB 2	35.x 255.	8907.5	46	16.0	N N	44.0	.49	5.0	9.0	S	30.0	3.0	115.0	32.	.5365	----	
1	SOB 1	35.x 255.	8907.5	46	16.0	N N	44.0	.49	5.0	9.0	S	30.0	3.0	122.8	6.	.5730	----	

PILAR:Pp3 num: 5 Lances: 1 à 23

Lance	Título	Seção [cm]	Área [cm2]	NFer	Bitola [mm]	PDD x y	As [cm2]	Taxa [%]	Estr [mm]	C/ [cm]	PP	fck (MPa)	Cobr (cm)	T	Lbd	Ni	2OrdM	
23	CASA DE MA	23.x 255.	5853.5	26	12.5	N S	31.9	.55	5.0	12.5	S	30.0	3.0	7.0	59.	.0327	ELZD	N,M,1/r
22	ATICO	23.x 255.	5853.5	26	12.5	N N	31.9	.55	5.0	12.5	S	30.0	3.0	7.0	59.	.0327	ELZD	N,M,1/r
21	PENT	23.x 255.	5853.5	26	12.5	N N	31.9	.55	5.0	12.5	S	30.0	3.0	15.1	46.	.0706	ELZD	N,M,1/r
20	17 PAV TIP	23.x 255.	5853.5	26	12.5	N N	31.9	.55	5.0	12.5	S	30.0	3.0	23.3	46.	.1085	ELZD	N,M,1/r
19	16 PAV TIP	23.x 255.	5853.5	26	12.5	N N	31.9	.55	5.0	12.5	S	30.0	3.0	31.4	46.	.1465	ELZD	N,M,1/r
18	15 PAV TIP	23.x 255.	5853.5	26	12.5	N N	31.9	.55	5.0	12.5	S	30.0	3.0	39.5	46.	.1844	ELZD	N,M,1/r
17	14 PAV TIP	23.x 255.	5853.5	26	12.5	N N	31.9	.55	5.0	12.5	S	30.0	3.0	47.7	46.	.2224	ELZD	N,M,1/r
16	13 PAV TIP	23.x 255.	5853.5	26	12.5	N N	31.9	.55	5.0	12.5	S	30.0	3.0	55.8	46.	.2603	ELZD	N,M,1/r
15	12 PAV TIP	23.x 255.	5853.5	26	12.5	N N	31.9	.55	5.0	12.5	S	30.0	3.0	63.9	46.	.2983	ELZD	N,M,1/r
14	11 PAV TIP	23.x 255.	5853.5	26	12.5	N N	31.9	.55	5.0	12.5	S	30.0	3.0	72.0	46.	.3362	ELZD	N,M,1/r
13	10 PAV TIP	23.x 255.	5853.5	26	12.5	N N	31.9	.55	5.0	12.5	S	30.0	3.0	80.2	46.	.3742	ELZD	N,M,1/r
12	9 PAV TIPO	23.x 255.	5853.5	26	12.5	N N	31.9	.55	5.0	12.5	S	30.0	3.0	88.3	46.	.4121	ELZD	N,M,1/r
11	8 PAV TIPO	23.x 255.	5853.5	26	12.5	N N	31.9	.55	5.0	12.5	S	30.0	3.0	96.4	46.	.4500	ELZD	N,M,1/r
10	7 PAV TIPO	23.x 255.	5853.5	26	12.5	N N	31.9	.55	5.0	12.5	S	30.0	3.0	104.6	46.	.4880	ELZD	N,M,1/r
9	6 PAV TIPO	23.x 255.	5853.5	26	12.5	N N	31.9	.55	5.0	12.5	S	30.0	3.0	112.7	46.	.5259	ELZD	N,M,1/r
8	5 PAV TIPO	23.x 255.	5853.5	26	12.5	N N	31.9	.55	5.0	12.5	S	30.0	3.0	120.8	46.	.5638	ELZD	N,M,1/r
7	4 PAV TIPO	23.x 255.	5853.5	26	12.5	N N	31.9	.55	5.0	12.5	S	30.0	3.0	128.9	46.	.6017	ELZD	N,M,1/r
6	3 PAV TIPO	23.x 255.	5853.5	26	16.0	N N	52.3	.89	5.0	7.5	S	30.0	3.0	137.1	46.	.6396	ELZD	N,M,1/r
5	2 PAV TIPO	23.x 255.	5853.5	26	16.0	N N	52.3	.89	5.0	7.5	S	30.0	3.0	145.2	48.	.6775	ELZD	N,M,1/r
4	1 PAV TIPO	23.x 255.	5853.5	26	25.0	N N	127.6	2.18	8.0	8.5	S	30.0	3.0	153.9	62.	.7184	ELZD	N,M,1/r
3	TERREO	35.x 255.	8907.5	26	25.0	N N	127.6	2.18	5.0	9.0	S	30.0	3.0	111.0	28.	.5179	----	
2	SOB 2	35.x 255.	8907.5	26	25.0	N N	127.6	2.18	5.0	9.0	S	30.0	3.0	118.9	32.	.5550	----	
1	SOB 1	35.x 255.	8907.5	26	25.0	N N	127.6	2.18	5.0	9.0	S	30.0	3.0	127.2	6.	.5938	----	

PILAR:Pp4 num: 11 Lances: 1 à 23

Lance	Título	Seção [cm]	Área [cm2]	NFer	Bitola [mm]	PDD x y	As [cm2]	Taxa [%]	Estr [mm]	C/ [cm]	PP	fck (MPa)	Cobr (cm)	T	Lbd	Ni	2OrdM	
23	CASA DE MA	19.x 444.	8436.0	34	12.5	N N	41.7	.49	5.0	15.0	S	30.0	3.0	10.2	28.	.0475	----	
22	ATICO	19.x 444.	8436.0	34	12.5	N N	41.7	.49	5.0	15.0	S	30.0	3.0	14.4	57.	.0671	ELZD	N,M,1/r
21	PENT	23.x 444.	10212.0	42	12.5	N N	51.5	.50	5.0	12.5	S	30.0	3.0	21.2	54.	.0991	ELZD	N,M,1/r
20	17 PAV TIP	23.x 444.	10212.0	42	12.5	N N	51.5	.50	5.0	12.5	S	30.0	3.0	29.6	46.	.1380	ELZD	N,M,1/r
19	16 PAV TIP	23.x 444.	10212.0	42	12.5	N N	51.5	.50	5.0	12.5	S	30.0	3.0	37.9	46.	.1768	ELZD	N,M,1/r
18	15 PAV TIP	23.x 444.	10212.0	42	12.5	N N	51.5	.50	5.0	12.5	S	30.0	3.0	46.2	46.	.2157	ELZD	N,M,1/r
17	14 PAV TIP	23.x 444.	10212.0	42	12.5	N N	51.5	.50	5.0	12.5	S	30.0	3.0	54.5	46.	.2545	ELZD	N,M,1/r
16	13 PAV TIP	23.x 444.	10212.0	42	12.5	N N	51.5	.50	5.0	12.5	S	30.0	3.0	62.9	46.	.2933	ELZD	N,M,1/r
15	12 PAV TIP	23.x 444.	10212.0	42	12.5	N N	51.5	.50	5.0	12.5	S	30.0	3.0	71.2	46.	.3321	ELZD	N,M,1/r
14	11 PAV TIP	23.x 444.	10212.0	42	12.5	N N	51.5	.50	5.0	12.5	S	30.0	3.0	79.5	46.	.3710	ELZD	N,M,1/r
13	10 PAV TIP	23.x 444.	10212.0	42	12.5	N N	51.5	.50	5.0	12.5	S	30.0	3.0	87.8	46.	.4098	ELZD	N,M,1/r
12	9 PAV TIPO	23.x 444.	10212.0	42	12.5	N N	51.5	.50	5.0	12.5	S	30.0	3.0	96.1	46.	.4486	ELZD	N,M,1/r
11	8 PAV TIPO	23.x 444.	10212.0	42	12.5	N N	51.5	.50	5.0	12.5	S	30.0	3.0	104.4	46.	.4874	ELZD	N,M,1/r
10	7 PAV TIPO	23.x 444.	10212.0	42	12.5	N N	51.5	.50	5.0	12.5	S	30.0	3.0	112.8	46.	.5263	ELZD	N,M,1/r
9	6 PAV TIPO	23.x 444.	10212.0	42	12.5	N N	51.5	.50	5.0	12.5	S	30.0	3.0	121.1	46.	.5652	ELZD	N,M,1/r
8	5 PAV TIPO	23.x 444.	10212.0	42	12.5	N N	51.5	.50	5.0	12.5	S	30.0	3.0	129.4	46.	.6041	ELZD	N,M,1/r
7	4 PAV TIPO	23.x 444.	10212.0	44	12.5	N N	54.0	.53	5.0	12.5	S	30.0	3.0	137.8	46.	.6430	ELZD	N,M,1/r
6	3 PAV TIPO	23.x 444.	10212.0	68	16.0	N N	136.7	1.34	5.0	5.0	S	30.0	3.0	154.5	46.	.7209	ELZD	N,M,1/r
5	2 PAV TIPO	23.x 444.	10212.0	68	16.0	N N	136.7	1.34	5.0	5.0	S	30.0	3.0	154.5	46.	.7209	ELZD	N,M,1/r
4	1 PAV TIPO	25.x 444.	11100.0	74	16.0	N N	148.8	1.34	5.0	5.0	S	30.0	3.0	149.5	58.	.6976	ELZD	N,M,1/r
3	TERREO	25.x 444.	11100.0	74	16.0	N N	148.8	1.34	5.0	5.0	S	30.0	3.0	157.1	42.	.7329	ELZD	N,M,1/r
2	SOB 2	25.x 444.	11100.0	76	20.0	N N	238.8	2.15	6.3	5.0	S	30.0	3.0	162.4	50.	.7580	ELZD	N,M,1/r
1	SOB 1	25.x 444.	11100.0	76	20.0	N N	100.6	.91	5.0	6.5	S	30.0	3.0	169.1	3.	.7892	----	

PILAR:Pp5 num: 12 Lances: 1 à 23

Lance	Título	Seção [cm]	Área [cm2]	NFer	Bitola [mm]	PDD x y	As [cm2]	Taxa [%]	Estr [mm]	C/ [cm]	PP	fck (MPa)	Cobr (cm)	T	Lbd	Ni	2OrdM	
23	CASA DE MA	23.x 390.	8970.0	38	12.5	N S	46.6	.52	5.0	12.5	S	30.0	3.0	12.1	50.	.0565	ELZD	N,M,1/r
22	ATICO	23.x 390.	8970.0	38	12.5	N N	46.6	.52	5.0	12.5	S	30.0	3.0	24.1	58.	.1127	ELZD	N,M,1/r
21	PENT	23.x 390.	8970.0	38	12.5	N N	46.6	.52	5.0	12.5	S	30.0	3.0	31.7	46.	.1481	ELZD	N,M,1/r
20	17 PAV TIP	23.x 390.	8970.0	38	12.5	N N	46.6	.52	5.0	12.5	S	30.0	3.0	39.4	46.	.1839	ELZD	N,M,1/r
19	16 PAV TIP	23.x 390.	8970.0	38	12.5	N N	46.6	.52	5.0	12.5	S	30.0	3.0	47.1	46.	.2198	ELZD	N,M,1/r
18	15 PAV TIP	23.x 390.	8970.0	38	12.5	N N	46.6	.52	5.0	12.5	S	30.0	3.0	54.8	46.	.2557	ELZD	N,M,1/r
17	14 PAV TIP	23.x 390.	8970.0	38	12.5	N N	46.6	.52	5.0	12.5	S	30.0	3.0	62.5	46.	.2916	ELZD	N,M,1/r
16	13 PAV TIP	23.x 390.	8970.0	38	12.5	N N	46.6	.52	5.0	12.5	S	30.0	3.0	70.2	46.	.3275	ELZD	N,M,1/r
15	12 PAV TIP	23.x 390.	8970.0	38	12.5	N N	46.6	.52	5.0	12.5	S	30.0	3.0	77.9	46.	.3634	ELZD	N,M,1/r
14	11 PAV TIP	23.x 390.	8970.0	38	12.5	N N	46.6	.52	5.0	12.5	S	30.0	3.0	85.6	46.	.3994	ELZD	N,M,1/r
13	10 PAV TIP	23.x 390.	8970.0	38	12.5	N N	46.6	.52	5.0	12.5	S	30.0	3.0	93.3	46.	.4353	ELZD	N,M,1/r

12	9 PAV TIPO	23.x 390.	8970.0	38	12.5	N N	46.6	.52	5.0	12.5	S	30.0	3.0	101.0	46.	.4713	ELZD	N,M,1/r
11	8 PAV TIPO	23.x 390.	8970.0	38	12.5	N N	46.6	.52	5.0	12.5	S	30.0	3.0	108.7	46.	.5072	ELZD	N,M,1/r
10	7 PAV TIPO	23.x 390.	8970.0	38	12.5	N N	46.6	.52	5.0	12.5	S	30.0	3.0	116.3	46.	.5429	ELZD	N,M,1/r
9	6 PAV TIPO	23.x 390.	8970.0	38	12.5	N N	46.6	.52	5.0	12.5	S	30.0	3.0	124.0	46.	.5787	ELZD	N,M,1/r
8	5 PAV TIPO	23.x 390.	8970.0	38	12.5	N N	46.6	.52	5.0	12.5	S	30.0	3.0	131.7	46.	.6144	ELZD	N,M,1/r
7	4 PAV TIPO	23.x 390.	8970.0	58	16.0	N N	116.0	1.33	6.3	12.5	S	30.0	3.0	154.7	46.	.6502	ELZD	N,M,1/r
6	3 PAV TIPO	23.x 390.	8970.0	58	16.0	N N	116.0	1.33	6.3	8.5	S	30.0	3.0	154.7	46.	.6860	ELZD	N,M,1/r
5	2 PAV TIPO	23.x 390.	8970.0	58	16.0	N N	116.0	1.33	6.3	8.5	S	30.0	3.0	154.7	46.	.7219	ELZD	N,M,1/r
4	1 PAV TIPO	23.x 419.	9637.0	66	20.0	N N	207.3	2.15	6.3	5.0	S	30.0	3.0	151.2	64.	.7057	ELZD	N,M,1/r
3	TERREO	23.x 419.	9637.0	66	20.0	N N	207.3	2.15	6.3	5.0	S	30.0	3.0	157.5	44.	.7350	ELZD	N,M,1/r
2	SOB 2	23.x 419.	9637.0	66	25.0	N N	324.0	3.36	8.0	5.0	S*	30.0	3.0	163.6	54.	.7637	ELZD	N,M,1/r
1	SOB 1	23.x 419.	9637.0	66	25.0	N N	132.7	1.38	5.0	5.0	S	30.0	3.0	170.2	3.	.7944	----	