

N. CLASS. M.690
CUTTER M357d
ANO/EDIÇÃO 2014

UNIS - CENTRO UNIVERSITÁRIO DO SUL DE MINAS

MAX FILIPE FERREIRA MARQUES

DIMENSIONAMENTO DE PILARES USUAIS EM EDIFÍCIOS:

COMPARATIVO ENTRE A NBR 6118:2003 E A NBR 6118:2014

Varginha

2014

FEPESMIG

Max Filipe Ferreira Marques

DIMENSIONAMENTO DE PILARES USUAIS EM EDIFÍCIOS:

COMPARATIVO ENTRE A NBR 6118:2003 E A NBR 6118:2014

Trabalho de conclusão apresentado por **Max Filipe Ferreira Marques** como exigência para obtenção do título de bacharel em Engenharia Civil sob a orientação do professor MSc. Antônio de Faria.

Varginha

2014

Max Filipe Ferreira Marques

DIMENSIONAMENTO DE PILARES USUAIS EM EDIFICIOS:

COMPARATIVO ENTRE A NBR 6118:2003 E A NBR 6118:2014

Trabalho de conclusão de curso aprovado como requisito parcial para a obtenção do título de bacharel em Engenharia Civil no Centro Universitário do Sul de Minas pela banca examinadora:

Aprovado em 03/12/2014

Prof. Msc. Antônio de Faria

Prof. Dra. Luciana Bracarense Coimbra Veloso

Prof. Msc. Hugo Rodrigues Vieira

Dedico este trabalho a todos que contribuíram com sua realização e a todos que me acompanham em minha jornada acadêmica e profissional.

AGRADECIMENTO

Primeiramente a Deus, sem o qual nada teria feito.

A meus familiares que sempre me apoiam nos estudos e diretamente contribuíra para minha graduação em engenharia civil.

Aos amigos e colegas de classe que sem o seu companheirismo e ajuda não seria possível a minha graduação em engenharia civil.

Ao Prof. Antônio de Faria, que me orientou de forma clara e objetiva me ajudando sempre que precisei e aos demais professores que fizeram parte da minha formação.

RESUMO

Este trabalho visa comparar os procedimentos estabelecidos pela NBR 6118: 2003 e a NBR 6118: 2014, no dimensionamento e detalhamento de pilares usuais em edifícios, tendo como análise pilares (central, de canto e lateral). Dessa forma o comparativo se faz necessário para se obter indicadores precisos em cada item analisado, tendo considerações finais que será de grande valia para aplicações no dimensionamento de pilares usuais em edifícios.

Palavras chaves: Pilar, Comparativo, Engenheiro Civil.

ABSTRACT

This work aims to compare the established procedures by NBR 6118:2003 and NBR 6118:2014, in dimensioning and detailing of usual building pillars, based on high load pillars (central, corner and side). Therefore, the comparison is needed to obtain accurate indicators in each analyzed item, resulting valuable final considerations that will be of great value for applications in the dimensioning and detailing of usual building pillars.

Keywords: *Pillar, Comparative, Civil Engineer.*

LISTA DE FIGURAS

FIGURA1 – Resistência do concreto a tração (MPa).....	22
FIGURA2 – Módulo de elasticidade do concreto	26
FIGURA3 – Diagrama tensão - deformação	27
FIGURA4 – Diagrama tensão - deformação	28
FIGURA5 –Envoltória mínima de 1ª ordem.....	30
FIGURA6 – Envoltória mínima de 2ª ordem	31
FIGURA 7 – Projeto arquitetônico do pavimento tipo, projeto proposto.....	41
FIGURA 8 – Planta de forma do pavimento tipo, projeto proposto.....	42
FIGURA 9 – Planta de forma reações das lajes sobre vigas	47
FIGURA 10 – Carregamento final nas Vigas.....	50
FIGURA 11– Pórtico com carregamento final do P12	52
FIGURA 12 – Pórtico com D.E.N. do P12	53
FIGURA 13 – Detalhamento do P12 com a NBR 6118: 2003.....	61
FIGURA 14– Verificação da armadura do P12 com a NBR 6118: 2014	66
FIGURA 15– Detalhamento do P12 com a NBR 6118: 2014.....	69
FIGURA 16– Verificação da armadura do P12 com a NBR 6118: 2014 f_{ck} 60 MPa.....	74
FIGURA 17– Detalhamento do P12 com a NBR 6118: 2014 f_{ck} 60 MPa.	77
FIGURA 18– Pórtico P11 transversal, carregamentos finais.....	104
FIGURA 19– Pórtico P11 longitudinal, carregamentos finais.....	105
FIGURA 20– Pórtico P11 longitudinal, Esforços Normais	106

FIGURA 21– Pórtico P11 longitudinal, Momentos fletores f_{ck} 30 MPa	107
FIGURA 22– Pórtico P11 longitudinal, Momentos fletores f_{ck} 60 MPa	108
FIGURA 23– detalhamento P11 NBR 6118:2003	116
FIGURA 24– Verificação da armadura P11 NBR 6118:2014	122
FIGURA 25– detalhamento P11 NBR 6118:2014 f_{ck} 30 MPa	125
FIGURA 26– Verificação da armadura P11 NBR 6118:2014 f_{ck} 60 MPa.....	131
FIGURA 27– detalhamento P11 NBR 6118:2014 f_{ck} 60 MPa	134
FIGURA 28– Pórtico P1 Transversal	136
FIGURA 29– Pórtico P1 Transversal, D.E.C.....	137
FIGURA 30– Pórtico P1 Transversal, D.M.F	138
FIGURA 31– Pórtico P1 Transversal, D.M.F f_{ck} 60 MPa.....	139
FIGURA 32– Pórtico P1 Longitudinal, Carregamentos finais.....	140
FIGURA 33– Pórtico P1 Longitudinal, D.M.F	141
FIGURA 34– Pórtico P1 Longitudinal, D.M.F f_{ck} 60 MPa.....	142
FIGURA 35– detalhamento P1, NBR 6118:2003	151
FIGURA 36– Verificação da armadura P1, NBR 6118:2014	158
FIGURA 37– detalhamento P1, NBR 6118:2014	161
FIGURA 38– Verificação da armadura P1, NBR 6118:2014 f_{ck} 60 MPa.....	168
FIGURA 39– detalhamento P1, NBR 6118:2014 f_{ck} 60 MPa.....	171

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Classe de agressividade ambiental e cobertura nominal	20
Tabela 2 – Classe de agressividade ambiental e cobertura nominal	20
Tabela 3 – Valores estimados de módulo de elasticidade em função da resistência à compressão do concreto	25
Tabela 4 – Valores do coeficiente adicional γ_n	32
Tabela 5 – Valores do coeficiente adicional γ_n	32
Tabela 6 – Resumo das fórmulas para determinação de λ_1	35
Tabela 7 – Tipos de excentricidade e sua devida aplicação	36
Tabela 8 – Dados preliminares para dimensionamento das lajes maciças	43
Tabela 9 – Verificação da flecha elástica das lajes	45
Tabela 10 – Reações de apoio das lajes sobre as vigas.....	46
Tabela 11 – Reações finais nas vigas.....	49
Tabela 12 – Legenda.....	97
Tabela 13– Consumo de aço.....	97
Tabela 14– Consumo de concreto.....	98
Tabela 15 – Consumo de forma.....	98
Tabela 16– Taxa de armadura	99

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

NBR – Norma Brasileira

TCC – Trabalho de Conclusão de curso

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	13
2. OBJETIVO	14
2.1 GERAL	14
2.2 ESPECIFICO	14
3. JUSTIFICATIVA	15
4. METODOLOGIA	16
5. CRITÉRIOS NORMATIVOS	19
4.1 Alterações sobre dimensionamento de Pilares entre a NBR 6118:2003 e NBR 6118:2014.....	16
6. RESULTADOS.....	41
7. COMPARATIVO DE RESULTADOS.....	97
8. CONCLUSÃO	101
9. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.....	102
10. APÊNDICE A.....	103
11. APÊNDICE B.....	135
12. APÊNDICE C.....	172
13. APÊNDICE D.....	178
14. APÊNDICE E.....	193

1. INTRODUÇÃO

A Norma brasileira NBR 6118(historicamente conhecida como NB-1), considerada a norma mãe da engenharia civil, editada em março de 2003 pela ABNT, o qual se tem como título: PROJETO DE ESTRUTURAS DE CONCRETO-PROCEDIMENTO, valida a partir de março de 2004 substituindo as normas precedentes, NB 1:78 e NBR 6118:1980, em 2014, 11 anos depois, a ABNT publica a NBR 6118:2014, esse novo processo de revisão conta com alterações que coloca a NBR 6118 no mesmo nível de atualização das normas internacionais mais conceituadas onde possuem um elevado patamar de qualidade e durabilidade no projeto e construção das estruturas de concreto,com isso as etapas de projeto tornaram-se mais complexas e de maior responsabilidade dos projetistas.

Com o intuito de colaborar com a compreensão do impacto dessas mudanças, o presente trabalho tem como objetivo comparar o resultado do dimensionamento de pilares usuais em edifícios comparando a NBR 6118:2003 com a NBR 6118:2014.

2. OBJETIVO

2.1 GERAL

Realizar o comparativo de dimensionamento e detalhamento de pilares usuais de edifícios entre a NBR 6118:2003 e a NBR 6118:2014.

2.2 ESPECÍFICO

Identificar as mudanças entre a NBR 6118:2003 e a NBR 6118:2014 nos critérios de dimensionamento de Pilares usuais em edifícios;

- a) Definir Pilares usuais de edifícios;
- b) Determinar os carregamentos dos Pilares;
- c) Adotar a resistência do concreto nas Classe I (C20 – C50) e Classe II (C55 – C90);
- d) Dimensionar e detalhar os pilares para classe de acordo com NBR 6118:2003;
- e) Dimensionar e detalhar os pilares para classe I e II de acordo com NBR 6118 2014;
- f) Fazer o comparativo do consumo de concreto, aço e forma entre o resultado da NBR 6118:2003 e NBR 6118:2014 Classe I, e o comparativo entre a NBR 6118:2014 Classe I e II.
- g) Apresentar os resultados obtidos com as devidas considerações.

3. JUSTIFICATIVA

Segundo Carvalho e Pinheiro (2013), Pilar é um elemento de grande importância estrutural, pois recebem cargas das lajes ou vigas e as conduzem para fundação, é geralmente vertical (em algumas situações pode ser inclinado) e recebe ações predominantemente de compressão. Pode, portanto, estar submetido a compressão composta normal ou oblíqua.

Este trabalho visa fazer o comparativo entre a NBR 6118:2003 e a NBR 6118: 2014, para o dimensionamento será adotado valores de resistência do concreto de classe I (C 20 – C50) e de Classe II (C55 – C90), pois não há necessidade para a análise comparativa o uso de todos os valores de f_{ck} .

4. METODOLOGIA

O presente trabalho foi realizado em duas etapas, o TCC I no nono período e o TCC II realizado no décimo período, que ao final foram fundidos resultando no Trabalho de Conclusão de Curso.

Na primeira etapa do trabalho foi realizada toda a pesquisa técnica e literária necessária para o entendimento técnico da revisão da NBR 6118:2014 com relação a NBR 6118:2003, no dimensionamento de pilares usuais em edifícios.

Na segunda etapa do trabalho foi realizado todo o processo de cálculos necessário para a análise comparativa dos Pilares.

Primeiramente foram adotados pilares usuais de canto, central e de extremidade, de edifícios com carregamentos elevados (em torno de 200 toneladas), será adotado como base a diferença do f_{ck} (resistência do concreto) e da classe do concreto, o qual temos a classe I (C20 – C50) e classe II (C55-C90).

Com esses dados em mãos, foi feito o dimensionamento dos pilares usando a NBR 6118:2003 e a NBR 6118:2014, para a realização do dimensionamento de pilares é necessária as seguintes etapas:

- Em primeiro é realizado o pré-dimensionamento de pilares;
 - O item 13.2.3 da NBR 6118 é dado a área mínima da seção bruta e a dimensão mínima da seção de um pilar, no entanto a menor dimensão muitas vezes é decidida em função do projeto arquitetônico, desde que não seja menor que a mínima e a maior dimensão em função das cargas verticais (força normal) nos pilares;
 - Após avaliar as cargas verticais nos pilares determina-se o coeficiente de majoração da força normal (α), que leva em conta a excentricidade acidentais e de segunda ordem;
 - e por fim determina se a área de concreto inicial.
- Em segundo determina-se os momentos iniciais;

- obtém-se os índices de rigidez no tramo superior, inferior do pilar e na viga;
 - determina-se os momentos iniciais superior e inferior do pilar e o momento inicial na viga.
- Em terceiro determina-se o cobrimento de armadura dos pilares;
 - O cobrimento das armaduras de pilares é definido no item 6 e 7 da NBR 6118, o qual tem seu cobrimento mínimo definido através das classes de agressividade ambiental, qualidade do concreto e o cobrimento nominal (cobrimento mínimo acrescido da tolerância de execução).
- Em quarto analisa-se a necessidade de considerar a deformação de primeira e segunda ordem;
 - Na deformação que não causa efeito nos esforços internos são de primeira ordem, as relações entre tensões e deformações são lineares, física e geometricamente;
 - Na deformação de segunda ordem, as relações entre tensões e deformações não são lineares, o qual as tensões são causadas pelas deformações.
- Em quinto analisa-se as imperfeições locais e globais na estrutura;
 - Segundo o item 11.3.3.4 da NBR6118, na verificação do estado limite último das estruturas reticuladas, devem ser consideradas as imperfeições geométricas do eixo dos elementos estruturais da estrutura descarregada. Essas imperfeições podem ser divididas em dois grupos: imperfeições globais e imperfeições locais.
- Em sexto adota-se o processo de dimensionamento conforme a esbeltez;
 - No item 15.6 da NBR 6118, é usado para obter o valor do comprimento equivalente, o qual será usado no item 15.8.2 da NBR 6118 para obter-se o índice de esbeltez;

- Com o valor do índice de esbeltez, será adotado o processo de cálculo;
- Em sétimo calcula-se as armaduras longitudinais e transversais;
 - Nos itens **17.3.5.3e18.4.2.1** da NBR 6118, é dado os quesitos dos valores mínimo e máximo das armaduras longitudinais e diâmetro mínimo da das barras longitudinais;
 - No item **18.4.3** da NBR 6118, é dado os quesitos ideais para as armaduras transversais.
 - Deve-se considerar o valor da taxa de armadura ideal.
- Por último será feito o detalhamento final das armaduras
 - Detalhamento de um pilar deverá apresentar um desenho em que seja visivelmente clara a disposição das armaduras longitudinais e transversais do mesmo indicando bitolas, quantidades, formatos e comprimentos.
 - No item 18 da NBR 6118, é dado os quesitos para o detalhamento final das armaduras.

5. CRITÉRIOS NORMATIVOS

4.1 Alterações sobre dimensionamento de pilares na NBR 6118:2014;

Abaixo serão citados os pontos referentes às mudanças ocorridas entre a NBR 6118:2003 e a NBR 6118:2014. Com as mudanças citadas pode se observar os pontos mais afetados em um dimensionamento de pilares de edifícios usuais.

Um das grandes alterações da NBR 6118:2014 é a abrangência de concretos do grupo II de resistência (C55 a C90), conforme item 1.2 da norma;

NBR 6118:2003
1.2 Esta Norma aplica-se às estruturas de concretos normais, identificados por massa específica seca maior do que 2 000 kg/m ³ , não excedendo 2 800 kg/m ³ , do grupo I de resistência (C10 a C50), conforme classificação da ABNT NBR 8953. Entre os concretos especiais excluídos desta Norma estão o concreto-massa e o concreto sem finos.
NBR 6118:2014
1.2 Esta Norma aplica-se às estruturas de concretos normais, identificados por massa específica seca maior do que 2 000 kg/m ³ , não excedendo 2 800 kg/m ³ , do grupo I de resistência (C10 a C50) e do grupo II de resistência (C55 a C90), conforme classificação da ABNT NBR 8953. Entre os concretos especiais excluídos desta Norma estão o concreto-massa e o concreto sem finos.

Devida tal alteração, ouve a necessidade de ajustes em uma serie de condições, como por exemplo, o diagrama de tensão-deformação do concreto, os domínios de cálculo, formulação para estimativa do módulo de elasticidade entre outros.

No item 7.2 da NBR 6118:2014 foram definidos cobrimentos diferenciados para elementos estruturais em contato com o solo;

NBR 6118:2003

Tipo de estrutura	Componente ou elemento	Classe de agressividade ambiental (tabela 6.1)			
		I	II	III	IV ³⁾
		Cobrimento nominal mm			
Concreto armado	Laje ²⁾	20	25	35	45
	Viga/Pilar	25	30	40	50
Concreto protendido ¹⁾	Todos	30	35	45	55

¹⁾ Cobrimento nominal da armadura passiva que envolve a bainha ou os fios, cabos e cordoalhas, sempre superior ao especificado para o elemento de concreto armado, devido aos riscos de corrosão fragilizante sob tensão.

²⁾ Para a face superior de lajes e vigas que serão revestidas com argamassa de contrapiso, com revestimentos finais secos tipo carpete e madeira, com argamassa de revestimento e acabamento tais como pisos de elevado desempenho, pisos cerâmicos, pisos asfálticos e outros tantos, as exigências desta tabela podem ser substituídas por 7.4.7.5, respeitado um cobrimento nominal ≥ 15 mm.

³⁾ Nas faces inferiores de lajes e vigas de reservatórios, estações de tratamento de água e esgoto, condutos de esgoto, canaletas de efluentes e outras obras em ambientes química e intensamente agressivos, a armadura deve ter cobrimento nominal ≥ 45 mm.

TABELA1 - Classe de agressividade e cobrimento nominal.

Fonte: Tabela 7.2 - NBR 6118:2003

NBR 6118:2014

Tipo de estrutura	Componente ou elemento	Classe de agressividade ambiental (Tabela 6.1)			
		I	II	III	IV ³⁾
		Cobrimento nominal mm			
Concreto armado	Laje ²⁾	20	25	35	45
	Viga/Pilar	25	30	40	50
	Elementos estruturais em contato com o solo ⁴⁾	30		40	50
Concreto protendido ¹⁾	Laje	25	30	40	50
	Viga/Pilar	30	35	45	55

¹⁾ Cobrimento nominal da bainha ou dos fios, cabos e cordoalhas. O cobrimento da armadura passiva deve respeitar os cobrimentos para concreto armado.

²⁾ Para a face superior de lajes e vigas que serão revestidas com argamassa de contrapiso, com revestimentos finais secos tipo carpete e madeira, com argamassa de revestimento e acabamento tais como pisos de elevado desempenho, pisos cerâmicos, pisos asfálticos e outros as exigências desta Tabela podem ser substituídas por 7.4.7.5, respeitado um cobrimento nominal ≥ 15 mm.

³⁾ Nas faces inferiores de lajes e vigas de reservatórios, estações de tratamento de água e esgoto, condutos de esgoto, canaletas de efluentes e outras obras em ambientes química e intensamente agressivos, a armadura deve ter cobrimento nominal ≥ 45 mm.

⁴⁾ No trecho dos pilares em contato com o solo junto aos elementos de fundação, a armadura deve ter cobrimento nominal ≥ 45 mm.

TABELA2 - Classe de agressividade e cobrimento nominal.

Fonte: Tabela 7.2 - NBR 6118:2014

No item 8.2.5 da norma NBR 6118:2014, foram adicionados os cálculos da resistência a tração dos concretos classe II (C55-C90).

NBR 6118:2003
<p>8.2.5 Resistência à tração</p> <p>A resistência à tração indireta $f_{ct,sp}$ e a resistência à tração na flexão $f_{ct,f}$ devem ser obtidas em ensaios realizados segundo a ABNT NBR 7222 e a ABNT NBR 12142, respectivamente.</p> <p>A resistência à tração direta f_{ct} pode ser considerada igual a $0,9 f_{ct,sp}$ ou $0,7 f_{ct,f}$ ou, na falta de ensaios para obtenção de $f_{ct,sp}$ e $f_{ct,f}$, pode ser avaliado o seu valor médio ou característico por meio das equações seguintes:</p> $f_{ct,m} = 0,3 f_{ck}^{2/3}$ $f_{ctk,inf} = 0,7 f_{ct,m}$ $f_{ctk,sup} = 1,3 f_{ct,m}$ <p>onde:</p> <p>$f_{ct,m}$ e f_{ck} são expressos em megapascal.</p> <p>Sendo $f_{ck} \geq 7$ MPa, estas expressões podem também ser usadas para idades diferentes de 28 dias.</p>
NBR 6118:2014
<p>A resistência à tração indireta $f_{ct,sp}$ e a resistência à tração na flexão $f_{ct,f}$ devem ser obtidas em ensaios realizados segundo a ABNT NBR 7222 e a ABNT NBR 12142, respectivamente.</p> <p>A resistência à tração direta f_{ct} pode ser considerada igual a $0,9 f_{ct,sp}$ ou $0,7 f_{ct,f}$ ou, na falta de ensaios para obtenção de $f_{ct,sp}$ e $f_{ct,f}$, pode ser avaliado o seu valor médio ou característico por meio das equações seguintes:</p> $f_{ctk,inf} = 0,7 f_{ct,m}$ $f_{ctk,sup} = 1,3 f_{ct,m}$ <p>Para concretos de classes até C50:</p> $f_{ct,m} = 0,3 f_{ck}^{2/3}$ <p>Para concreto de classes de C55 até C90:</p> $f_{ct,m} = 2,12 \ln(1 + 0,11 f_{ck})$ <p>onde:</p> <p>$f_{ct,m}$ e f_{ck} são expressos em megapascal.</p> <p>Sendo $f_{ck} \geq 7$ MPa, estas expressões podem também ser usadas para idades diferentes de 28 dias.</p>

O gráfico a seguir mostra essa variação, em que a resistência a tração do concreto cresce mais lentamente em relação ao aumento de resistência a compressão.

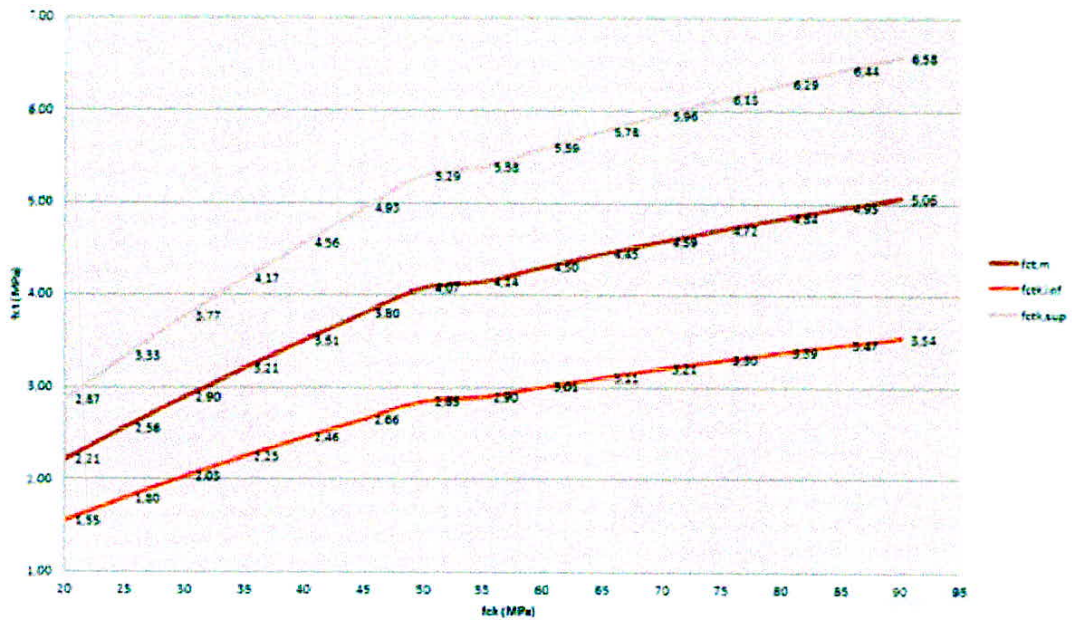


FIGURA1 – Resistência do concreto a tração (MPa)

Fonte: Considerações sobre Aspectos Normativos da Revisão NBR 6118.

No item 8.2.8 da norma NBR 6118:2014, foram adicionados o cálculo para valor do modulo de elasticidade para concretos da classe II (C55 –C90).

8.2.8 Módulo de elasticidade

O módulo de elasticidade deve ser obtido segundo ensaio descrito na ABNT NBR 8522, sendo considerado nesta Norma o módulo de deformação tangente inicial cordal a 30% f_c , ou outra tensão especificada em projeto. Quando não forem feitos ensaios e não existirem dados mais precisos sobre o concreto usado na idade de 28 d, pode-se estimar o valor do módulo de elasticidade usando a expressão:

$$E_{ci} = 5\,600 f_{ck}^{1/2}$$

onde:

E_{ci} e f_{ck} são dados em megapascal.

O módulo de elasticidade numa idade $j \geq 7$ d pode também ser avaliado através dessa expressão substituindo-se f_{ck} por f_{ckj} .

Quando for o caso, é esse o módulo de elasticidade a ser especificado em projeto e controlado na obra.

O módulo de elasticidade secante a ser utilizado nas análises elásticas de projeto, especialmente para determinação de esforços solicitantes e verificação de estados limites de serviço, deve ser calculado pela expressão:

$$E_{cs} = 0,85 E_{ci}$$

Na avaliação do comportamento de um elemento estrutural ou seção transversal pode ser adotado um módulo de elasticidade único, a tração e a compressão, igual ao módulo de elasticidade secante (E_{cs}).

Na avaliação do comportamento global da estrutura e para o cálculo das perdas de protensão, pode ser utilizado em projeto o módulo de deformação tangente inicial (E_{ci}).

O módulo de elasticidade (E_{ci}) deve ser obtido segundo método de ensaio estabelecido na ABNT NBR 8522, sendo considerado nesta Norma o módulo de deformação tangente inicial, obtido aos 28 dias de idade.

Quando não forem realizados ensaios, pode-se estimar o valor do módulo de elasticidade inicial usando as expressões a seguir:

$$E_{ci} = \alpha_E \cdot 5600 f_{ck}^{1/2}, \text{ para } f_{ck} \text{ de 20 MPa a 50 MPa;}$$

$$E_{ci} = 21,5 \cdot 10^3 \cdot \alpha_E \cdot \left(\frac{f_{ck}}{10} + 1,25 \right)^{1/3}, \text{ para } f_{ck} \text{ de 55 MPa a 90 MPa;}$$

Sendo:

$$\alpha_E = 1,2 \text{ para basalto e diabásio}$$

$$\alpha_E = 1,0 \text{ para granito e gnaisse}$$

$$\alpha_E = 0,9 \text{ para calcário}$$

$$\alpha_E = 0,7 \text{ para arenito}$$

Onde:

E_{ci} e f_{ck} são dados em megapascal (MPa).

O módulo de deformação secante pode ser obtido segundo método de ensaio estabelecido na ABNT NBR 8522, ou estimado pela expressão:

$$E_{cs} = \alpha_i \cdot E_{ci}$$

Sendo:

$$\alpha_i = 0,8 + 0,2 \cdot \frac{f_{ck}}{80} \leq 1,0$$

A Tabela 3 apresenta valores estimados arredondados que podem ser usados no projeto estrutural.

Classe de resistência	C20	C25	C30	C35	C40	C45	C50	C60	C70	C80	C90
E_{ci} (GPa)	25	28	31	33	35	38	40	42	43	45	47
E_{cs} (GPa)	21	24	27	29	32	34	37	40	42	45	47
α_i	0,85	0,86	0,88	0,89	0,90	0,91	0,93	0,95	0,98	1,00	1,00

Tabela 3 – Valores estimados de módulo de elasticidade em função da resistência a compressão do concreto.

Fonte: Tabela 8.1 - NBR 6118:2014

A deformação elástica do concreto depende da composição do traço do concreto, especialmente da natureza dos agregados.

Na avaliação do comportamento de um elemento estrutural ou seção transversal, pode ser adotado módulo de elasticidade único, à tração e à compressão, igual ao módulo de deformação secante E_{cs} .

Na avaliação do comportamento global da estrutura e para o cálculo das perdas de protensão, pode ser utilizado em projeto o módulo de elasticidade inicial E_{ci} .

O módulo de elasticidade numa idade menor que 28 dias pode ser avaliado pelas expressões a seguir, substituindo f_{ck} por f_{cj} :

$$E_{ci}(t) = \left[\frac{f_c(t)}{f_c} \right]^{0,5} \cdot E_{ci}, \text{ para concretos com } f_{ck} \text{ de 20 MPa a 45 MPa;}$$

$$E_{ci}(t) = \left[\frac{f_c(t)}{f_c} \right]^{0,3} \cdot E_{ci}, \text{ para concretos com } f_{ck} \text{ de 50 MPa a 90 MPa.}$$

Onde:

$E_{ci}(t)$ é a estimativa do módulo de elasticidade do concreto em uma idade entre 7 dias e 28 dias;

$f_c(t)$ é a resistência à compressão do concreto na idade em que se pretende estimar o módulo de elasticidade, em megapascal (MPa).

Os dois módulos tendem para o mesmo valor com o aumento da resistência do concreto, na medida em que o trecho inicial do diagrama tensão-deformação vai sendo tornando mais próximo do linear.

A visualização gráfica destes parâmetros é apresentada na figura 2.

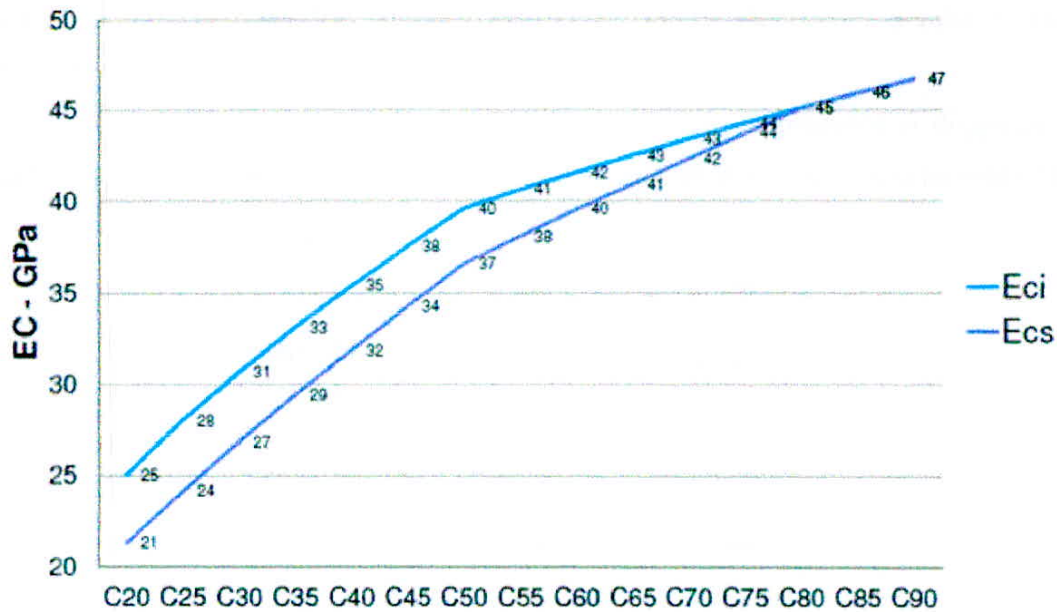


Figura 2 – Módulo de elasticidade do concreto

Fonte: **Considerações sobre Aspectos Normativos da Revisão NBR 6118.**

No item **8.2.10** da norma NBR 6118:2014, foram adicionados as expressões para a deformação específica de encurtamento do concreto no início do patamar plástico, e deformação específica de encurtamento do concreto na ruptura.

O diagrama tensão-deformação de cálculo dos concretos de alta resistência irá refletir sua maior fragilidade, na medida que vai crescendo em resistência.

8.2.10 Diagramas tensão-deformação

8.2.10.1 Compressão

Para tensões de compressão menores que $0,5 f_c$, pode-se admitir uma relação linear entre tensões e deformações, adotando-se para módulo de elasticidade o valor secante dado pela expressão constante em 8.2.8.

Para análises no estado limite último, podem ser empregados o diagrama tensão-deformação idealizado mostrado na figura 3 ou as simplificações propostas na seção 17.

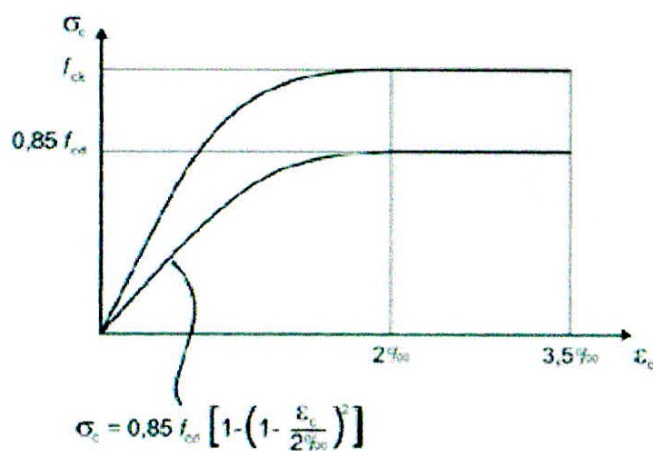


Figura 3 – Diagrama tensão – deformação

Fonte: Figura 8.2 NBR 6118:2003

8.2.10 Diagramas tensão-deformação

8.2.10.1 Compressão

Para tensões de compressão menores que $0,5 f_{c0}$, pode-se admitir uma relação linear entre tensões e deformações, adotando-se para módulo de elasticidade o valor secante dado pela expressão constante em 8.2.8.

Para análises no estado limite último, podem ser empregados o diagrama tensão-deformação idealizado mostrado na Figura 4 ou as simplificações propostas na seção 17.

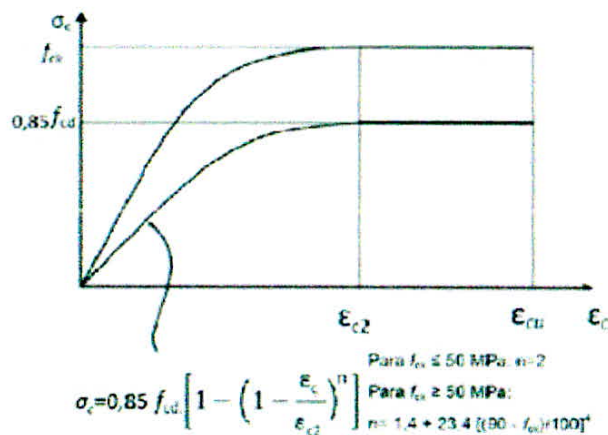


Figura 4 – Diagrama tensão – deformação

Fonte: Figura 8.2 NBR 6118:2014

Os valores a serem adotados para os parâmetros ϵ_{c2} (deformação específica de encurtamento do concreto no início do patamar plástico) e ϵ_{cru} (deformação específica de encurtamento do concreto na ruptura) são definidos a seguir:

-para concretos de classes até C50:

$$\epsilon_{c2} = 2,0 \text{ 0/00};$$

$$\epsilon_{cru} = 3,5 \text{ 0/00}.$$

-para concretos de classes de C50 até C90:

$$\epsilon_{c2} = 2,00/00 + 0,0850/00.(f_{ck} - 50)^{0,53};$$

$$\epsilon_{cru} = 2,60/00 + 350/00.[(90 - f_{ck})/100]^4.$$

No item **11.3.3.4.3** da NBR 6118:2014, foram adicionados para pilares de seções retangulares, a possibilidade de se definir uma envoltória mínima de 1ª ordem em favor da segurança.

NBR 6118:2003

11.3.3.4.3 Momento mínimo

O efeito das imperfeições locais nos pilares e pilares-parede pode ser substituído, em estruturas reticuladas, pela consideração do momento mínimo de 1ª ordem dado a seguir:

$$M_{1d,min} = Nd (0,015 + 0,03h)$$

onde:

h é a altura total da seção transversal na direção considerada, em metros.

Nas estruturas reticuladas usuais admite-se que o efeito das imperfeições locais esteja atendido se for respeitado esse valor de momento total mínimo. A este momento devem ser acrescidos os momentos de 2ª ordem definidos na seção 15.

NBR 6118:2014

11.3.3.4.3 Momento mínimo

O efeito das imperfeições locais nos pilares e pilares-parede pode ser substituído, em estruturas reticuladas, pela consideração do momento mínimo de 1ª ordem dado a seguir:

$$M_{1d,min} = Nd (0,015 + 0,03h)$$

onde:

h é a altura total da seção transversal na direção considerada, em metros.

Nas estruturas reticuladas usuais admite-se que o efeito das imperfeições locais esteja atendido se for respeitado esse valor de momento total mínimo. A este momento devem ser acrescidos os momentos de 2ª ordem definidos na seção 15.

Para pilares de seção retangular, pode-se definir uma envoltória mínima de 1ª ordem, tomada a favor da segurança, de acordo com a Figura 5.

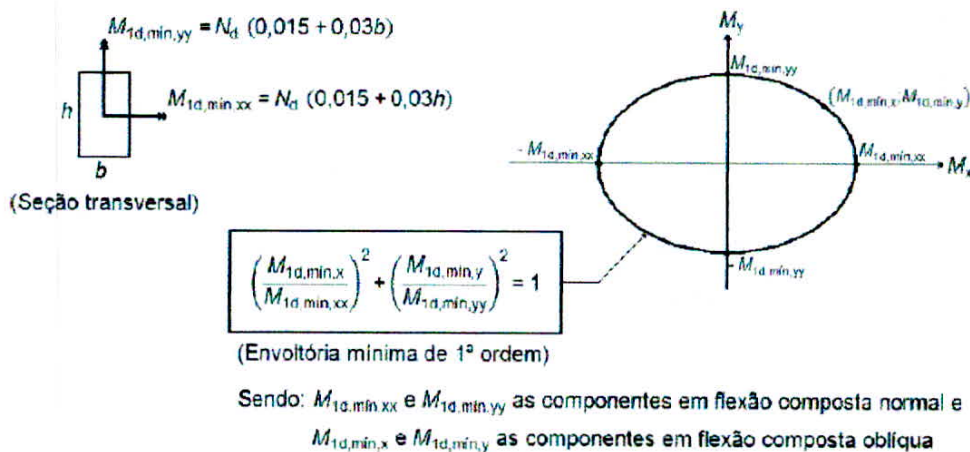


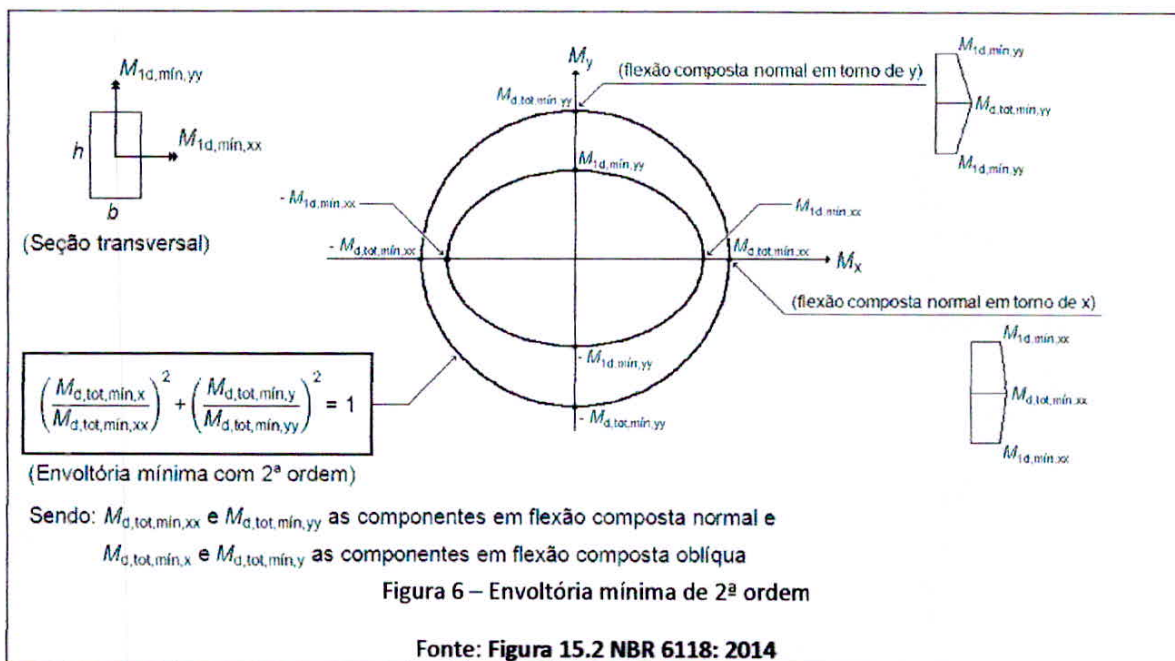
Figura 5 – envoltória mínima de 1ª ordem

Fonte: Figura 11.3 NBR 6118: 2014

Neste caso, a verificação do momento mínimo pode ser considerada atendida quando, no dimensionamento adotado, obtém-se uma envoltória resistente que englobe a envoltória mínima de 1ª ordem.

Quando houver a necessidade de calcular os efeitos locais de 2ª ordem em alguma das direções do pilar, a verificação do momento mínimo deve considerar ainda a envoltória mínima com 2ª ordem, conforme item 15.3.2.

A consideração desta envoltória mínima pode ser realizada através de duas análises à flexão composta normal, calculadas de forma isolada e com momentos fletores mínimos de 1ª ordem atuantes nos extremos do pilar, nas suas direções principais.



No item 13.2 da NBR 6118:2014, a dimensão mínima para pilares em casos especiais passou de 12cm para 14cm.

NBR 6118:2003

13.2 Dimensões limites

13.2.3 Pilares e pilares-parede

A seção transversal de pilares e pilares-parede maciços, qualquer que seja a sua forma, não deve apresentar dimensão menor que 19 cm.

Em casos especiais, permite-se a consideração de dimensões entre 19 cm e 12 cm, desde que se multipliquem as ações a serem consideradas no dimensionamento por um coeficiente adicional γ_n , de acordo com o indicado na tabela 13.1 da norma e na seção 11. Em qualquer caso, não se permite pilar com seção transversal de área inferior a 360 cm².

b cm	≥ 19	18	17	16	15	14	13	12
γ_n	1,00	1,05	1,10	1,15	1,20	1,25	1,30	1,35

Onde:
 $\gamma_n = 1,95 - 0,05 b$;
 b é a menor dimensão da seção transversal do pilar.

NOTA O coeficiente γ_n deve majorar os esforços solicitantes finais de cálculo nos pilares, quando de seu dimensionamento.

Tabela 4 – Valores do coeficiente adicional γ_n .

Fonte: Tabela 13.1 - NBR 6118:2003

NBR 6118:2014

A seção transversal de pilares e pilares-parede maciços, qualquer que seja a sua forma, não deve apresentar dimensão menor que 19 cm.

Em casos especiais, permite-se a consideração de dimensões entre 19 cm e 14 cm, desde que se multipliquem os esforços solicitantes de cálculo a serem considerados no dimensionamento por um coeficiente adicional γ_n , de acordo com o indicado na Tabela 13.1 da norma e na seção 11. Em qualquer caso, não se permite pilar com seção transversal de área inferior a 360 cm².

b cm	≥ 19	18	17	16	15	14
γ_n	1,00	1,05	1,10	1,15	1,20	1,25

Onde:
 $\gamma_n = 1,95 - 0,05 b$;
 b é a menor dimensão da seção transversal do pilar em cm.

NOTA O coeficiente γ_n deve majorar os esforços solicitantes finais de cálculo nos pilares e pilares-parede, quando de seu dimensionamento.

Tabela 5 - Valores do coeficiente adicional γ_n .

Fonte: Tabela 13.1 - NBR 6118:2014

No item 15.7.3 da NBR 6118:2003, o cálculo da rigidez na condição $\gamma_z < 1,3$, foi retirado na NBR 6118:2014.

NBR 6118:2003

15.7.3 Consideração aproximada da não-linearidade física

Quando a estrutura de contraventamento for composta exclusivamente por vigas e pilares e γ_z for menor que 1,3, permite-se calcular a rigidez das vigas e pilares por:

$$(E_I)_{\text{sec}} = 0,7 E_{\text{cilt.}}$$

NBR 6118:2014

Foi retirado essa condição da norma.

No item 15.8 da NBR 6118:2014, foi Adicionada a condição de pilares com esbeltez superior a 140, o qual contará com um coeficiente adicional de cálculo.

NBR 6118:2003

15.8 Análise de elementos isolados

15.8.1 Generalidades

As subseções 15.8.2, 15.8.3.2. e 15.8.4 são aplicáveis apenas a elementos isolados de seção constante e armadura constante ao longo de seu eixo, submetidos à flexo-compressão.

Os pilares devem ter índice de esbeltez menor ou igual a 200 ($\lambda \leq 200$). Apenas no caso de elementos pouco comprimidos com força normal menor que $0,10 f_{\text{cd}} A_c$, o índice de esbeltez pode ser maior que 200.

Para pilares com índice de esbeltez superior a 140, na análise dos efeitos locais de 2ª ordem, deve-se multiplicar os esforços solicitantes finais de cálculo por um coeficiente adicional $\gamma_{nl} = 1 + [0,01 \cdot (\lambda - 140) / 1,4]$.

Métodos de dimensionamento de pilares conforme esbeltez;

$\lambda \leq \lambda_1$ **Pilares curtos:**

A análise dos efeitos locais de 2ª ordem pode ser dispensada, lembrando que por sua vez λ_1 deve ser maior ou igual a 30 e menor ou igual a 90.

$\lambda_1 < \lambda \leq 90$ **Pilares mediamente esbeltos:**

Método do pilar padrão com curvatura aproximada.

Método do pilar padrão com rigidez k (kapa) aproximada, inclusive para pilares retangulares submetidos a flexão composta oblíqua.

$90 < \lambda \leq 140$ **Pilares esbeltos:**

A consideração da fluência é obrigatória. Método do pilar padrão com curvatura real acoplado a diagramas M , N , $1/r$.

$140 < \lambda \leq 200$ **Pilares muitos esbeltos:**

A consideração da fluência é obrigatória. Método geral é obrigatório. Coeficiente adicional $\gamma_{nl} = 1 + [0,01 \cdot (\lambda - 140) / 1,4]$;

$\lambda > 200$:

Não pode haver pilar com índice de esbeltez superior a 200.

Apenas no caso de postes com força normal menor que $0,10 \cdot f_{cd} \cdot A_c$, o índice de esbeltez pode ser maior que 200.

Os valores de λ_1 podem ser dados pelas seguintes expressões conforme tabela 6 abaixo:

Resumo das fórmulas para determinação de λ_1	
$35 \leq \lambda_1 = \frac{(25 + 12,5 \cdot e_i/h)}{\alpha_b} \leq 90$	
Situação	Valor de α_b
Para pilares biapoiados sem cargas transversais	$\alpha_b = 0,60 + 0,40 \cdot \frac{M_B}{M_A} \geq 0,40$ sendo: $1,0 \geq \alpha_b \geq 0,4$
para pilares biapoiados com cargas transversais significativas, ao longo da altura	$\alpha_b = 1,0$
Para pilares em balanço	$\alpha_b = 0,80 + 0,20 \cdot \frac{M_c}{M_A} \geq 0,85$ sendo: $1,0 \geq \alpha_b \geq 0,85$
Para pilares biapoiados ou em balanço com momentos menores que o momento mínimo	$\alpha_b = 1,0$
$M_{td, \min} = N_d \cdot (0,015 + 0,03 \cdot h)$	

Tabela 6–Resumo das fórmulas para determinação de λ_1

Fonte: Estruturas em Concreto Armado-Prof.D.Sc.Roberto Chust Carvalho.

Tipos de excentricidade;

De acordo com Carvalho e Pinheiro (2013), uma força normal atuando em um pilar de seção retangular pode estar aplicada no seu centro (compressão centrada ou simples), a certa distancia desse centro e sobre um dos eixos de simetria (flexão composta) e em um ponto qualquer da seção (flexão oblíqua). Essas distâncias (excentricidade), devem ser conhecidas para o dimensionamento de pilares isolados e são divididas em:

- Excentricidade inicial;
- Excentricidade de forma;
- Excentricidade acidental;
- Excentricidade de segunda ordem;
- Excentricidade suplementar.

Na tabela 7 está um resumo de todos os tipos de excentricidade e sua devida aplicação:

Excentricidade	Símbolo	Aplicação		
		Pilar central $e_i = 0$	Pilar Lateral e_{ix} ou $e_{iy} \neq 0$	Pilar de Canto e_{ix} e $e_{iy} \neq 0$
Inicial	e_i			
De forma	e_f	$e_f = 0$ quando há viga capaz de absorver momento		$e_f \neq 0$ quando não há viga capaz de absorver momento
Acidental	e_a	Considerar sempre ou então utilizar $e_{1d,min}$		
Mínima	$e_{1d,min}$	Quando maior, considerar no lugar de e_a ou de e_1 (primeira ordem)		
Segunda Ordem	e_2	$e_2 = 0$ para $\lambda \leq \lambda_1$	$e_2 \neq 0$ para $\lambda > \lambda_1$	
Suplementar (fluência)	e_c	$e_c = 0$ para $\lambda \leq 90$		$e_c \neq 0$ para $\lambda > 90$

Tabela 7 – Tipos de excentricidade e sua devida aplicação.

Fonte: Estruturas em Concreto Armado-Prof.D.Sc.Roberto Chust Carvalho.

No item da **15.8.3.2** da NBR 6118:2003 ou NBR 6118:2014, o método geral é definido como obrigatório para $140 < \lambda$:

O método geral consiste na análise não-linear de 2ª ordem efetuada com discretização adequada da barra, consideração da relação momento-curvatura real em cada seção, e consideração da não-linearidade geométrica de maneira não aproximada.

No item da **15.8.3.3.2** da NBR 6118:2003 ou NBR 6118:2014, o método do pilar padrão com curvatura aproximada é definido como obrigatório para $\lambda_1 < \lambda \leq 90$;

Pode ser empregado apenas no cálculo de pilares com $\lambda \leq 90$, seção constante e armadura simétrica e constante ao longo de seu eixo.

A não-linearidade geométrica é considerada de forma aproximada, supondo-se que a deformação da barra seja senoidal.

A não-linearidade física é considerada através de uma expressão aproximada da curvatura na seção crítica.

O momento total máximo no pilar deve ser calculado pela expressão:

$$M_{d, \text{tot}} = \alpha_b M_{1d,A} + N_d \frac{l^2 e}{10 r} \geq M_{1d,A}$$

Sendo $1/r$ a curvatura na seção crítica, que pode ser avaliada pela expressão aproximada:

$$\frac{1}{r} = \frac{0,005}{h(v + 0,5)} \leq \frac{0,005}{h}$$

Onde:

$$v = N_{Sd} / (A_c f_{cd})$$

$$M_{1d,A} \geq M_{1d,\text{min}}$$

Onde:

h é a altura da seção na direção considerada;

v é a força normal adimensional;

$M_{1d,\text{min}}$ tem o significado e o valor estabelecidos em 11.3.3.4.3.

O momento $M_{1d,A}$ e o coeficiente α_b têm as mesmas definições de 15.8.2, sendo $M_{1d,A}$ o valor de cálculo de 1ª ordem do momento M_A .

No item 15.8.3.3.3 da NBR 6118:2014, foi alterada a expressão do momento total máximo em comparação com a NBR 6118:2003.

15.8.3.3 Método do pilar-padrão com rigidez k aproximada

Pode ser empregado apenas no cálculo de pilares com $\lambda \leq 90$, seção constante e armadura simétrica e constante ao longo de seu eixo.

A não-linearidade geométrica é considerada de forma aproximada, supondo-se que a deformação da barra seja senoidal.

A não-linearidade física é considerada através de uma expressão aproximada da curvatura na seção crítica.

O momento total máximo no pilar deve ser calculado a partir da majoração do momento de 1ª ordem pela expressão:

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

Sendo o valor da rigidez adimensional dado aproximadamente pela expressão:

$$\kappa = 32 \left(1 + 5 \frac{M_{d,tot}}{h N_d} \right) v$$

As variáveis h , v , $m_{1d,A}$ e α_b são as mesmas definidas na subseção anterior. Usualmente duas ou três iterações são suficientes quando se optar por um cálculo iterativo.

O momento total máximo no pilar deve ser calculado a partir da majoração do momento de 1ª ordem pela expressão:

$$M_{Sd,tot} = \frac{\alpha_b M_{1d,A}}{1 - \frac{\lambda^2}{120\kappa/v}} \geq M_{1d,A}$$

Onde:

$$M_{1d,A} \geq M_{1d,min}$$

Para o valor da rigidez adimensional κ pode ser utilizada a expressão aproximada:

$$\kappa_{aprox} = 32 \left(1 + 5 \frac{M_{Rd,tot}}{h N_d} \right) v$$

Num processo de dimensionamento, toma-se $M_{Rd,tot} = M_{Sd,tot}$. Num processo de verificação, onde a armadura é conhecida, $M_{Rd,tot}$ é o momento resistente calculado com essa armadura e com $N_d = N_{Sd} = N_{Rd}$.

As variáveis h , v , $M_{1d,A}$ e α_b são as mesmas definidas na subseção anterior. Usualmente duas ou três iterações são suficientes quando se optar por um cálculo iterativo.

O processo aproximado acima, num caso de dimensionamento, recai na formulação direta dada abaixo:

$$A \cdot M_{Sd,tot}^2 + B \cdot M_{Sd,tot} + C = 0, \text{ onde: } \begin{cases} A = 5 \cdot h \\ B = h^2 \cdot N_d - \frac{N_d \cdot i_e^2}{320} - 5 \cdot h \cdot \alpha_b \cdot M_{1d,A} \\ C = -N_d \cdot h^2 \cdot \alpha_b \cdot M_{1d,A} \end{cases}$$

$$M_{Sd,tot} = \frac{-B \pm \sqrt{B^2 - 4 \cdot A \cdot C}}{2 \cdot A}$$

No item **15.8.3.3.4** da NBR 6118:2003 e NBR 6118:2014, o método do pilar-padrão acoplado a diagramas $M, N, 1/r$ é obrigatório para $90 < \lambda \leq 140$.

A determinação dos esforços locais de 2ª ordem em pilares com $\lambda \leq 140$ pode ser feita pelo método do pilar-padrão ou pilar-padrão melhorado, utilizando-se para a curvatura da seção crítica valores obtidos de diagramas $M, N, 1/r$ específicos para o caso.

Se $\lambda > 90$, é obrigatória a consideração dos efeitos da fluência.

No item **15.8.3.3.5** da NBR 6118:2003 e NBR 6118:2014, o método do pilar-padrão para pilares de seção retangular submetidos à flexão composta oblíqua pode ser usado quando $\lambda_1 < \lambda \leq 90$.

Quando a esbeltez de um pilar de seção retangular submetido à flexão composta oblíqua for menor ou igual que 90 ($\lambda \leq 90$) nas duas direções principais, podem ser aplicados os processos aproximados descritos em 15.8.3.3.2, 15.8.3.3.3 e 15.8.3.3.4 da NBR 6118:2014 simultaneamente em cada uma das duas direções.

A obtenção dos momentos de 2ª ordem em cada direção é diferente, pois depende de valores distintos de rigidez e esbeltez.

Uma vez obtida a distribuição de momentos totais (1ª e 2ª ordens), em cada direção, deve ser verificada, para cada seção ao longo do eixo, se a composição desses momentos solicitantes fica dentro da envoltória de momentos resistentes para a armadura escolhida. Essa verificação pode ser realizada em apenas três seções: nas extremidades A e B e num ponto intermediário onde se admite atuar concomitantemente os momentos $M_{d,tot}$ nas duas direções (x e y).

6. RESULTADOS

6.1 Projeto proposto

Para o início do projeto foi adotado um lote com área extensa, para obter-se um melhor aproveitamento do local, visto que este seria um edifício comercial, tornando o projeto arquitetônico mais amplo para que os pilares fossem mais solicitados.

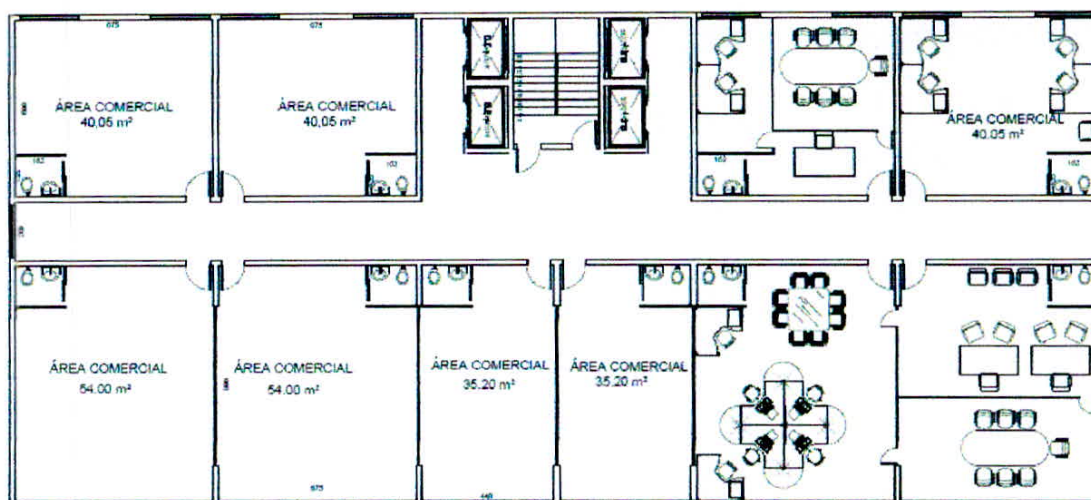


FIGURA7 – Projeto arquitetônico do pavimento tipo, projeto proposto

Fonte: Arquivo pessoal.

6.2 Planta de forma

Segue na figura 8 abaixo a planta de forma do projeto proposto para o desenvolvimento do comparativo entre a NBR 6118:2003 e a NBR 6118:2014.

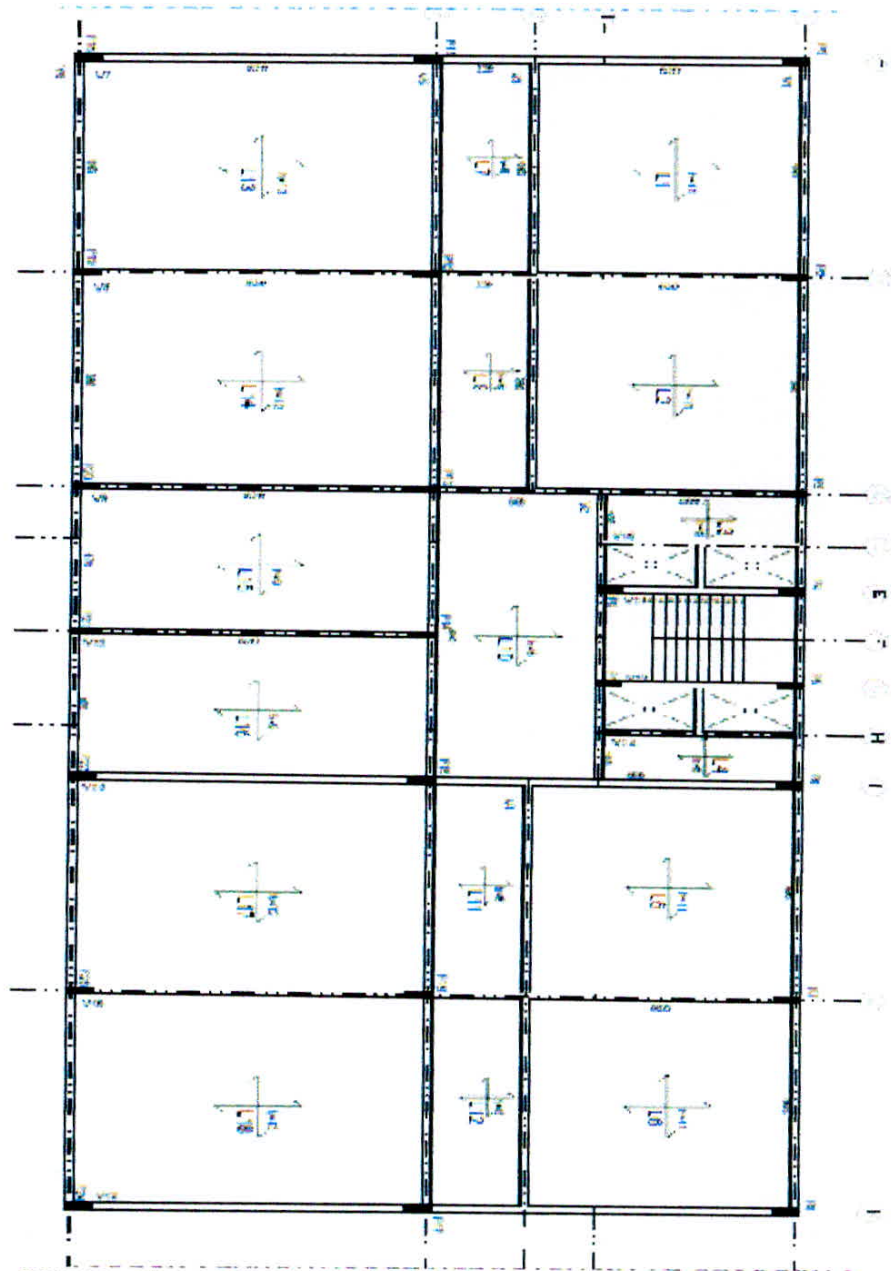


FIGURA8 – Planta de forma do pavimento tipo, projeto proposto

Fonte: Arquivo pessoal.

Este projeto proposto de um edificio comercial possui carregamentos elevados, principalmente pelo comprimento livre entre pilares e pelo fato da sobre carga adotada ter sido de galeria de lojas, acrescentando ainda mais o carregamento nos pilares.

6.3 Dimensionamento e detalhamento dos pilares

Para se dar início no dimensionamento dos pilares, foram calculados as reações das lajes sobre as vigas, o peso próprio da viga e os demais carregamentos (peso da parede) que atuava sobre a viga, conforme projeto arquitetônico, para que se obtivesse o carregamento final nos pilares.

Determinação das reações de apoio sobre as vigas

Para o desenvolvimento deste trabalho foi calculado as reações das lajes sobre vigas como sendo lajes maciças, pois assim pode-se obter uma solicitação mais igualmente distribuída em todas as vigas para cada laje calculada, diferentemente se o cálculo fosse realizado com laje pré moldada, onde a solicitação seria basicamente em duas vigas por laje, somente no sentido dos trilhos da laje.

Na tabela abaixo seguem os dados adotados para o dimensionamento das lajes:

Fck (MPa)	30	Revestimento:	
γ_{concreto} (kN/m ³)	25	Espessura Argamassa (cm)	2,0
d' (cm)	3,5	$\gamma_{\text{argamassa}}$ (kN/m ³)	21,0
		Espessura Revestimento (cm)	2
		$\gamma_{\text{revestimento}}$ (kN/m ³)	28,0

TABELA8 – Dados preliminares para dimensionamento das lajes maciças.

Fonte: Arquivo pessoal.

Verificação da flecha elástica

Localização	h_{adotado} (cm)	P.Próprio (kN/m ²)	Revest. (kN/m ²)	Outros (kN/m ²)	Sobrecarga (kN/m ²) NBR 6120	Total (kN/m ²)	Tipo Laje
L1 e L6	11	2,75	0,98	0,00	3,00	6,730	caso 4
L2 e L5	11	2,75	0,98	0,00	3,00	6,730	caso 7
L3 e L4	6	1,50	0,98	0,00	3,00	5,480	caso 4

Localização	Vão da Laje		Rel.Vãos	α	Flecha (cm)	Flecha Limite (cm)	Verificação
	lx (m)	ly (m)	λ (ly/lx)	Centro Laje	Centro Laje	(L/250) - cm	
L1 e L6	6,20	6,95	1,12	3,12	0,76	2,48	Ok!
L2 e L5	6,20	6,95	1,12	2,49	0,61	2,48	Ok!
L3 e L4	1,65	4,60	2,79	6,38	0,04	0,7	Ok!

Localização	h_{adotado} (cm)	P.Próprio (kN/m ²)	Revest. (kN/m ²)	Outros (kN/m ²)	Sobrecarga (kN/m ²) NBR 6120	Total (kN/m ²)	Tipo Laje
L7 e L12	6	1,50	0,98	0,00	3,00	5,480	caso 8
L8 e L11	6	1,50	0,98	0,00	3,00	5,480	caso 9
L10	8	2,00	0,98	0,00	3,00	5,980	caso 9

Localização	Vão da Laje		Rel.Vãos	α	Flecha (cm)	Flecha Limite (cm)	Verificação
	lx (m)	ly (m)	λ (ly/lx)	Centro Laje	Centro Laje	(L/250) - cm	
L7 e L12	2,20	6,95	3,16	3,07	0,06	0,88	Ok!
L8 e L11	2,20	6,95	3,16	3,07	0,06	0,88	Ok!
L10	3,80	9,40	2,47	3,07	0,24	1,5	Ok!

Localização	h_{adotado} (cm)	P.Próprio (kN/m ²)	Revest. (kN/m ²)	Outros (kN/m ²)	Sobrecarga (kN/m ²) NBR 6120	Total (kN/m ²)	Tipo Laje
L13 e L18	13	3,25	0,98	0,00	3,00	7,230	caso 4
L14 e L17	12	3,00	0,98	0,00	3,00	6,980	caso 8
L15 e L16	9	2,25	0,98	0,00	3,00	6,230	caso 8

Localização	Vão da Laje		Rel.Vãos	α	Flecha (cm)	Flecha Limite (cm)	Verificação
	lx (m)	ly (m)	λ (ly/lx)	Centro Laje	Centro Laje	(L/250) - cm	
L13 e L18	6,95	8,20	1,18	3,34	0,84	2,78	Ok!
L14 e L17	6,95	8,20	1,18	2,24	0,69	2,78	Ok!
L15 e L16	4,70	8,20	1,74	2,81	0,38	1,9	Ok!

TABELA9 – Verificação da flecha elástica das lajes.

Fonte: Arquivo pessoal.

Reações de apoio das lajes sobre as vigas

Reações de Apoio das Lajes Sobre as Vigas					
Localização		Tipo Laje	Rel. Vãos	k	Reação (kN/m)
			λ (ly/lx)		
L1 e L6	qx	caso 4	1,12	2,07	8,64
	qx'			3,58	14,94
	qy			1,83	7,64
	qy'			3,17	13,23
L2 e L5	qx	caso 7	1,12	1,66	6,93
	qx'			2,88	12,02
	qy			3,14	13,10
	qy'			3,29	13,73
L3 e L4	qx	caso 4	2,79	3,66	3,31
	qx'			6,33	5,72
	qy			1,83	1,65
	qy'			3,17	2,87

Reações de Apoio das Lajes Sobre as Vigas					
Localização		Tipo Laje	Rel. Vãos	k	Reação (kN/m)
			λ (ly/lx)		
L7 e L12	qx	caso 8	3,16	5,00	6,03
	qx'			5,00	6,03
	qy			1,44	1,74
	qy'			2,50	3,01
L8 e L11	qx	caso 9	3,16	5,00	6,03
	qx'			5,00	6,03
	qy			2,50	3,01
	qy'			2,50	3,01
L10	qx	caso 9	2,47	5,00	11,36
	qx'			5,00	11,36
	qy			2,50	5,68
	qy'			2,50	5,68

Reações de Apoio das Lajes Sobre as Vigas					
Localização		Tipo Laje	Rel. Vãos	k	Reação (kN/m)
			λ (ly/lx)		
L13 e L18	qx	caso 4	1,18	2,14	10,75
	qx'			3,7	18,59
	qy			1,83	9,20
	qy'			3,17	15,93
L14 e L17	qx	caso 8	1,18	3,36	16,30
	qx'			3,36	16,30
	qy			1,44	6,99
	qy'			2,50	12,13
L15 e L16	qx	caso 8	1,74	3,87	11,33
	qx'			3,87	11,33
	qy			1,44	4,22
	qy'			2,50	7,32

TABELA10 – Reações de apoio das lajes sobre as vigas.

Fonte: Arquivo pessoal.

A figura abaixo mostra as reações finais das lajes sobre as vigas.

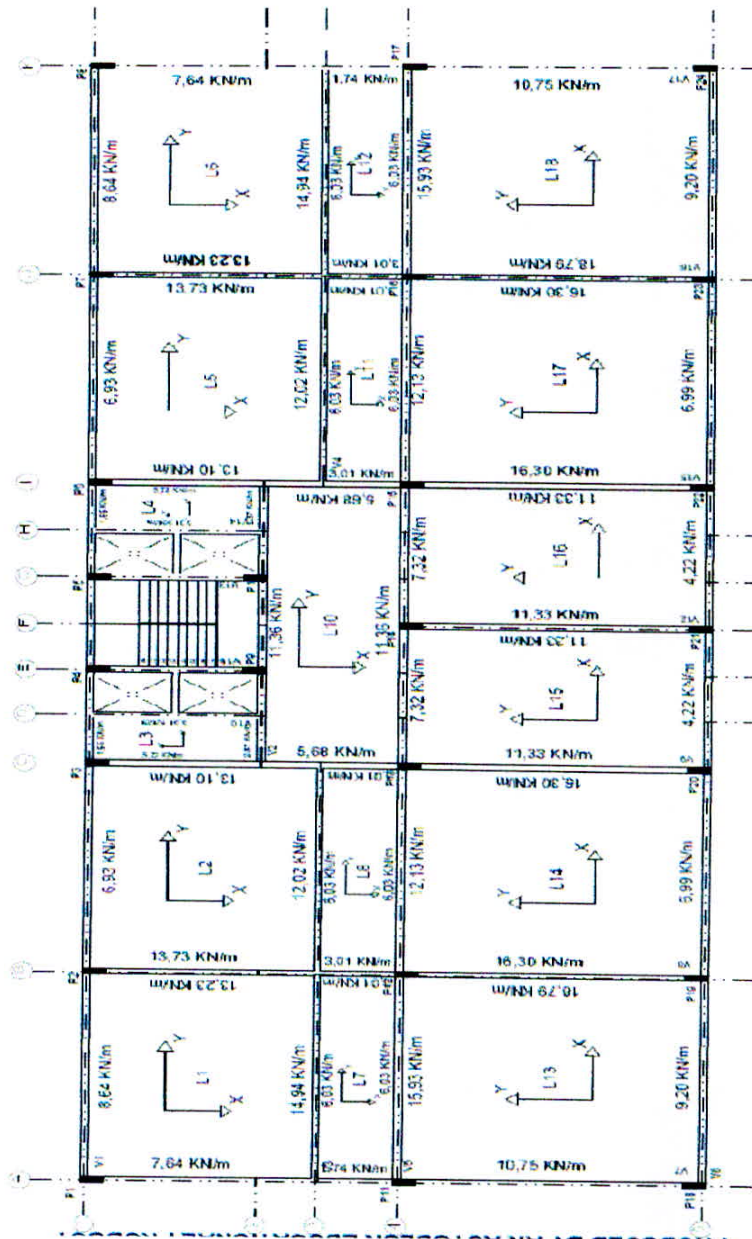


FIGURA9 – Planta de forma reações das lajes sobre vigas.

Fonte: Arquivo pessoal.

Carregamento final nas vigas

A tabela abaixo mostra as reações finais nas vigas devido ao peso próprio (considerando seção pré-estimada), peso da parede e as reações das Lajes.

Dados utilizados para cálculo:

- Vigas com 20 cm de largura;
- Paredes com 20 cm espessura;
- Pé Direito Pavimento Superior de 3,00 m;
- $\gamma_{\text{tijolo}} = 14 \text{ KN/m}^3$;
- $\gamma_{\text{concreto}} = 25 \text{ KN/m}^3$;
- $\gamma_{\text{revestimento}} = 19 \text{ KN/m}^3$;
- $\gamma_{\text{argamassa}} = 21 \text{ KN/m}^3$;

REAÇÃO NAS VIGAS

Elemento	Pavimento	Seção (cm)		Pé Dir. (m)	Comprimento (m)				Peso Próprio (KN/m)			
		Base	Altura		1º Tramo	2º Tramo	3º Tramo	4º Tramo	1º Tramo	2º Tramo	3º Tramo	4º Tramo
V 01	Tipo	20	60	3,00	6,95	6,95	1,65	1,50	3,00	3,00	3,00	3,00
V 02	Tipo	20	30	3,00	1,65	1,50	3,20		1,50	1,50	1,50	
V 03	Tipo	20	60	3,00	6,95	6,95			3,00	3,00		
V 04	Tipo	20	60	3,00	6,95	6,95			3,00	3,00		
V 05	Tipo	20	60	3,00	6,95	6,95	4,70		3,00	3,00	3,00	
V 06	Tipo	20	60	3,00	6,95	6,95	4,70		3,00	3,00	3,00	
V 07	Tipo	20	70	3,00	8,20	2,20	6,20		3,50	3,50	3,50	
V 08	Tipo	20	70	3,00	8,20	2,20	6,20		3,50	3,50	3,50	
V 09	Tipo	20	70	3,00	8,20	2,20	1,60	4,60	3,50	3,50	3,50	3,50
Elemento	Peso da Parede (KN/m)				Reação da Laje (KN/m)				Carga Total (KN/m)			
	1º Tramo	2º Tramo	3º Tramo	4º Tramo	1º Tramo	2º Tramo	3º Tramo	4º Tramo	1º Tramo	2º Tramo	3º Tramo	4º Tramo
V 01	10,11	10,11	10,11	10,11	8,64	6,93	1,65	0	21,75	20,04	14,76	13,11
V 02	0,00	10,11	10,11		14,23	11,36	11,36		15,73	22,97	22,97	0,00
V 03	10,11	10,11			20,97	18,05			34,08	31,16	0,00	0,00
V 04	10,11	10,11			20,97	18,05			34,08	31,16	0,00	0,00
V 05	10,11	10,11	10,11		21,96	18,16	18,68		35,07	31,27	31,79	0,00
V 06	10,11	10,11	10,11		9,20	6,99	4,22		22,31	20,10	17,33	0,00
V 07	10,11	10,11	10,11		10,75	1,74	7,64		24,36	15,35	21,25	0,00
V 08	10,11	0,00	10,11		35,09	6,02	26,96		48,70	9,52	40,57	0,00
V 09	10,11	0,00	10,11	10,11	27,63	8,69	18,78	18,82	41,24	12,19	32,39	32,43

REAÇÃO NAS VIGAS

Elemento	Pavimento	Seção (cm)		Pé Dir. (m)	Comprimento (m)				Peso Próprio (KN/m)			
		Base	Altura		1º Tramo	2º Tramo	3º Tramo	4º Tramo	1º Tramo	2º Tramo	3º Tramo	4º Tramo
V 10	Tipo	20	40	3,00	4,60				2,00			
V 11	Tipo	20	40	3,00	4,60				2,00			
V 12	Tipo	20	70	3,00	8,20				3,50			
V 13	Tipo	20	40	3,00	4,60				2,00			
V 14	Tipo	20	40	3,00	4,60				2,00			
V 15	Tipo	20	70	3,00	8,20	2,20	1,60	4,60	3,50	3,50	3,50	3,50
V 16	Tipo	20	70	3,00	8,20	2,20	6,20		3,50	3,50	3,50	
V 17	Tipo	20	70	3,00	8,20	2,20	6,20		3,50	3,50	3,50	
Elemento	Peso da Parede (KN/m)				Reação da Laje (KN/m)				Carga Total (KN/m)			
	1º Tramo	2º Tramo	3º Tramo	4º Tramo	1º Tramo	2º Tramo	3º Tramo	4º Tramo	1º Tramo	2º Tramo	3º Tramo	4º Tramo
V 10	10,11				3,31				15,42	0,00	0,00	0,00
V 11	10,11				0,00				12,11	0,00	0,00	0,00
V 12	10,11				22,66				36,27	0,00	0,00	0,00
V 13	10,11				0,00				12,11	0,00	0,00	0,00
V 14	10,11				3,31				15,42	0,00	0,00	0,00
V 15	10,11	0,00	10,11	10,11	27,63	8,69	18,78	18,82	41,24	12,19	32,39	32,43
V 16	10,11	0,00	10,11		35,09	6,02	26,96		48,70	9,52	40,57	0,00
V 17	10,11	10,11	10,11		10,75	1,74	7,64		24,36	15,35	21,25	0,00
									0,00	0,00	0,00	0,00

TABELA11 – Reações finais nas vigas.

Fonte: Arquivo pessoal.

A figura abaixo mostra o carregamento final nas vigas em cada tramo.

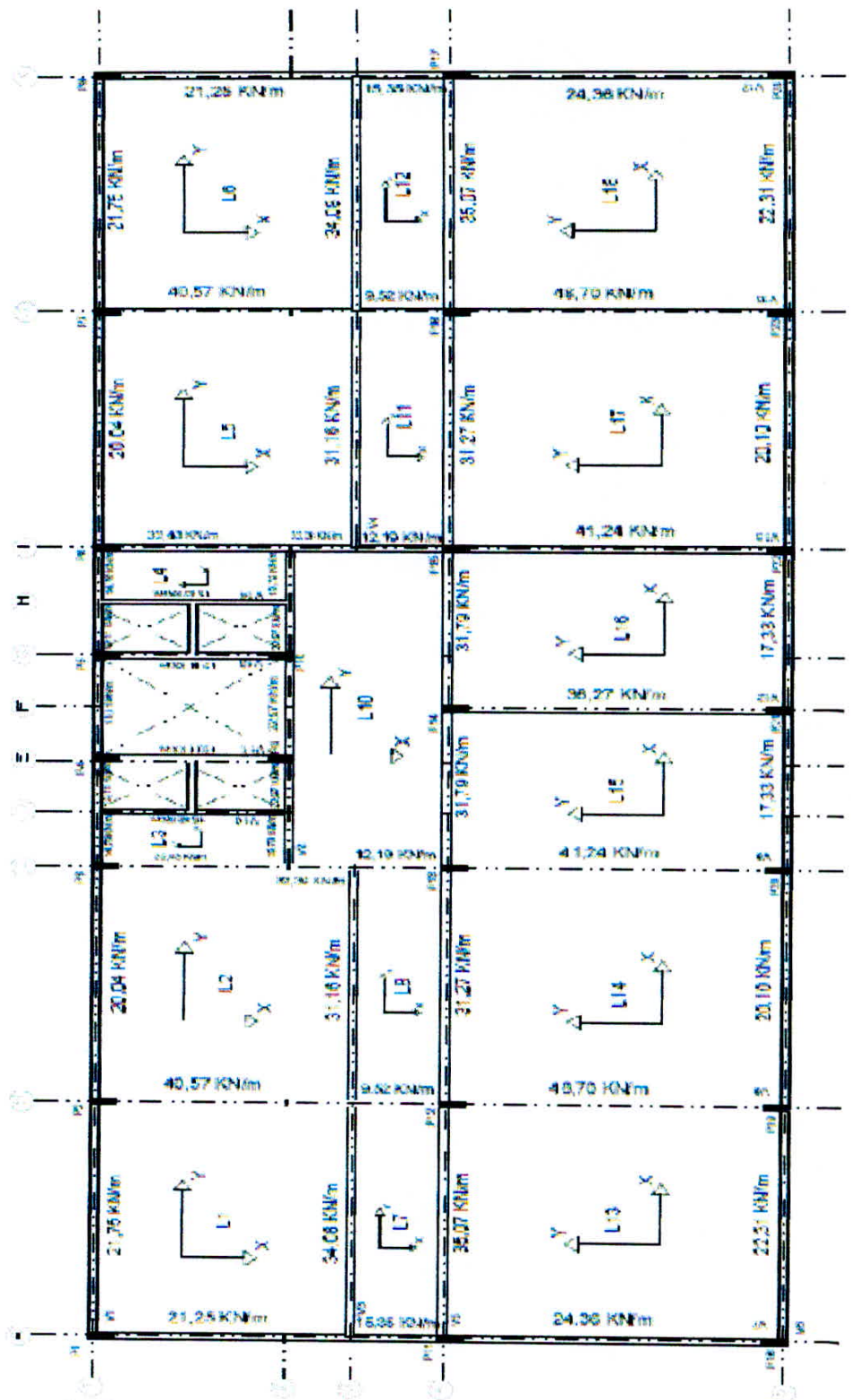


FIGURA 10 – Carregamento final nas Vigas.

Fonte: Arquivo pessoal.

Dimensionamento e detalhamento dos pilares

O momento nos pilares junto aos nós foi resolvido com um programa de computador Ftool, que através de um pórtico esquematizado com dimensões e carregamentos, gerou os diagramas necessários para o dimensionamento dos pilares.

Para os cálculos de dimensionamento, adotou-se um pilar central, de extremidade e de canto mais solicitados do projeto proposto, os quais são eles P12 (central), P11 (extremidade) e P1 (canto).

Para o dimensionamento de Pilares com a NBR 6118: 2014 utilizou-se o aplicativo OBLIQUA.

O memorial de cálculo do dimensionamento e detalhamento dos pilares propostos foram realizados nos tramo 0-1 de cada pilar.

O dimensionamento e detalhamento dos pilares P11 (extremidade) e P1 (canto) em estudo estão nos APÊNDICES deste trabalho.

Dimensionamento e detalhamento do Pilar central 12.

Memorial de cálculo

Pórticos P12, Central

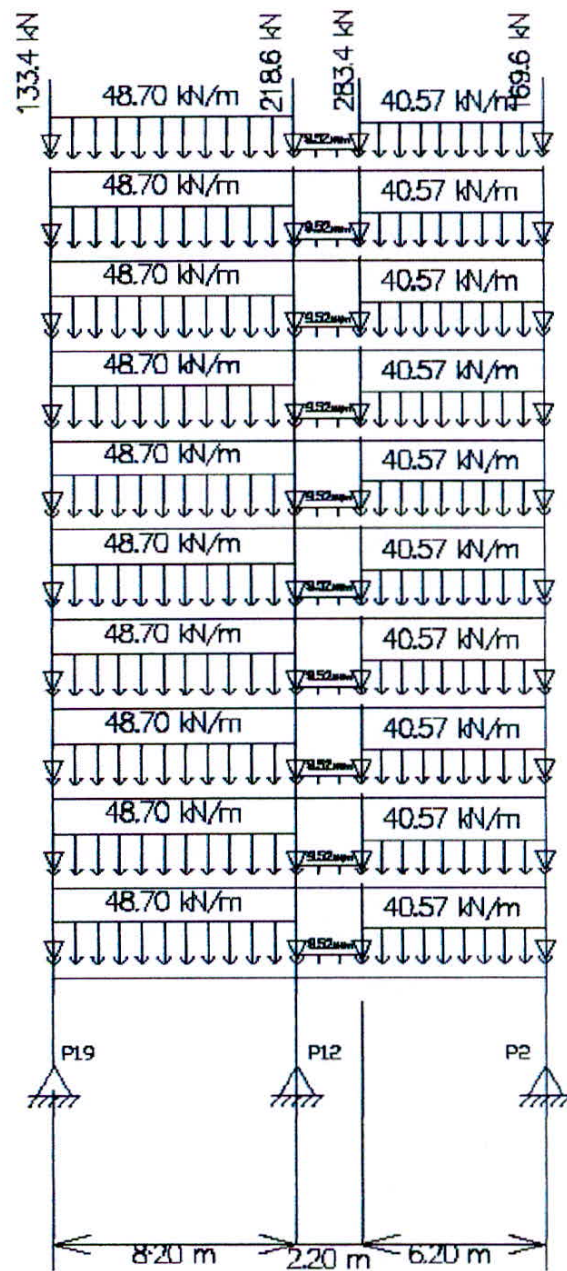


FIGURA 11 – Pórtico com carregamento final do P12.

Fonte: FTOOL.

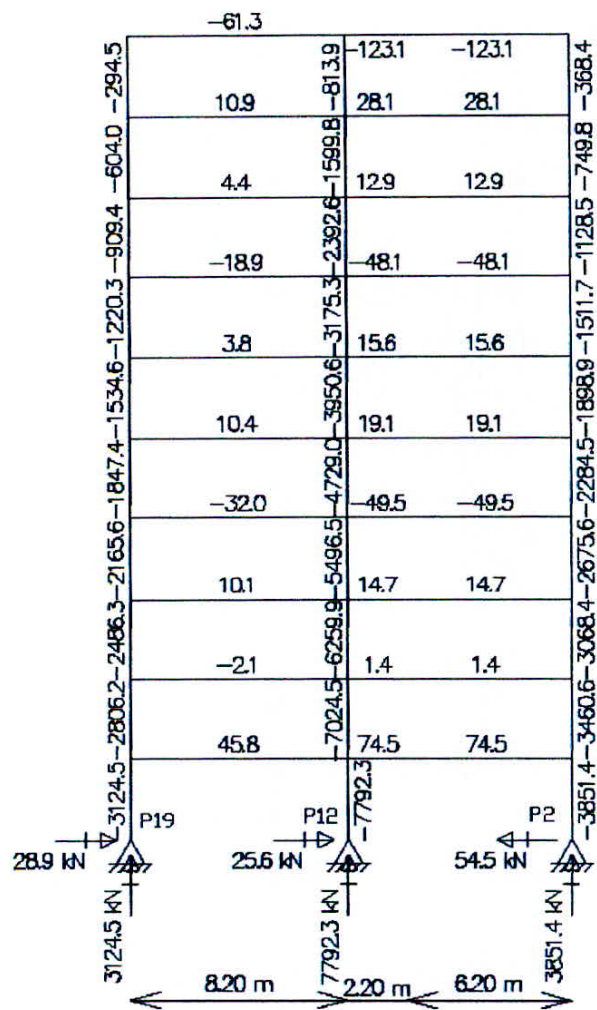


FIGURA 12 – Pórtico com D.E.N. do P12.

Fonte: FTOOL.

Dimensionamento do pilar 12 segundo NBR 6118:2003

O método utilizado foi o Método do pilar padrão com curvatura aproximada, o cálculo mostrado abaixo é de um tramo do pilar 12, o mesmo foi usado para os outros tramo do pilar.

Dados:

Trecho 0-1

$N = 7792,3 \text{ KN}$

Aço CA-50

$F_{ck} = 30 \text{ MPa}$

$M_A, M_B = 0$ (pilar central)

- Pré-dimensionamento do pilar

$$A_{c \text{ Ideal}} = \frac{Nd^*}{0,85 fcd + \rho(fyd + 0,85 fcd)}$$

$$A_{c \text{ Ideal}} = \frac{7792,3 \cdot 1,8}{0,85 \cdot 3,0 / 1,4 + 1,75 / 100 (50 / 1,15 + 0,85 \cdot 3,0 / 1,4)} = 5365,42 \text{ cm}^2$$

Seção retangular - $b = 0,40\text{m}$, $h = 1,25\text{m}$

- Dimensionamento do pilar

$$l_e \leq \begin{cases} h + l_o \\ l \end{cases}$$

$$l_{e \text{ torno de } x} \leq \begin{cases} 0,4 + 2,7 = 3,10\text{m} \\ 3,1\text{m} \end{cases}$$

$$\ell_{e \text{ torno de } y} \leq \begin{cases} 1,25 + 2,7 = 3,95\text{m} \\ \mathbf{3,1\text{m}} \end{cases}$$

$$\gamma_n = 1,0 \text{ (} b \geq 19\text{cm)}$$

$$\gamma_r = 1,4 \cdot \gamma_n = 1,4$$

- Índice de esbeltez:

$$\lambda = (\ell_e \cdot \sqrt{12}) / h$$

$$\lambda_{\text{tornodex}} = \frac{3,10 \cdot \sqrt{12}}{1,25} = 8,59$$

$$\lambda_{\text{tornodey}} = \frac{3,10 \cdot \sqrt{12}}{0,4} = 26,85$$

- Momento mínimo:

$$M_{1d,\min} = N_d \cdot (0,015 + 0,03 \cdot b)$$

$M_{1d,\min}$ em torno de x;

$$M_{1d,\min} = 7792,3 \cdot 1,4 \cdot (0,015 + 0,03 \cdot 1,25) = \mathbf{572,73 \text{ KN}\cdot\text{m}}$$

$M_{1d,\min}$ em torno de y;

$$M_{1d,\min} = 7792,3 \cdot 1,4 \cdot (0,015 + 0,03 \cdot 0,4) = \mathbf{294,55 \text{ KN}\cdot\text{m}}$$

- Excentricidade acidental:

$$\theta_{1\max} \geq \theta_1 \geq \theta_{1\min}$$

$$\theta_1 = \frac{1}{100 \cdot \sqrt{l}} = \frac{1}{100 \cdot \sqrt{2,70}} = 0,006$$

$$\theta_{1\min} = \frac{1}{300} = 0,0033$$

$$\theta_{1\max} = \frac{1}{200} = \mathbf{0,005\text{rad}}$$

- **Momento $M_{1d,A}$ Acidental:**

$$M_{1d,A} = \theta_1 \cdot \ell e \cdot Nd$$

$$\text{Em torno de x, } M_{1d,A} = 0,005 \cdot 3,1 \cdot 7792,3 \cdot 1,4 = \mathbf{169,09 \text{ KN.m}}$$

$$\text{Em torno de y, } M_{1d,A} = 0,005 \cdot 3,1 \cdot 7792,3 \cdot 1,4 = \mathbf{169,09 \text{ KN.m}}$$

$$\alpha_b = 0,60 + 0,40 \cdot \frac{M_A}{M_B} \geq 0,4$$

Como $M_A, M_B = 0$, logo $M_{dA} < M_{1d,min}$, portanto $\alpha_b = 1,0$

$$\lambda_{1 \text{ calc.}} = \frac{25 + 12,5 \cdot \frac{e_1}{h}}{\alpha_b}$$

$$\text{Em que } e_1 = \frac{M_d}{Nd}$$

$\lambda_{1 \text{ calc}}$ em torno de x;

$$e_1 = \frac{572,73}{7792,3 \cdot 1,4} = 0,0524 \text{ m ou } \mathbf{5,249 \text{ cm}}$$

$$\lambda_{1 \text{ calc.}} = \frac{25 + 12,5 \cdot \frac{5,249}{125}}{1,00} = \mathbf{25,53}$$

$$35 \leq \lambda_1 \leq 90$$

$$\lambda_1 = 35$$

$\lambda_{1 \text{ calc}}$ em torno de y;

$$e_1 = \frac{294,55}{7792,3 \cdot 1,4} = 0,027 \text{ m ou } \mathbf{2,7 \text{ cm}}$$

$$\lambda_{1 \text{ calc.}} = \frac{25 + 12,5 \cdot \frac{2,7}{40}}{1,00} = \mathbf{25,84}$$

$$35 \leq \lambda_1 \leq 90$$

$$\lambda_1 = 35$$

Como $\lambda < \lambda_1$ nas duas direções os efeitos de segunda ordem podem ser desconsiderados.

- Determinação da armadura:

$$v = N_{Sd} / (A_c f_{cd})$$

$$v = 1,4 \cdot 7792,3 / (40 \cdot 125 \cdot 3 / 1,4) = 1,02$$

$$\mu = \frac{M_d}{A_c \cdot h \cdot f_{cd}}$$

Em torno de x

$$\mu = \frac{57273}{40 \cdot 125 \cdot 125 \cdot \frac{3,0}{1,4}} = 0,04$$

$$d' = 5 \text{ cm}$$

$$d'/h = 0,05 / 1,25 = 0,04$$

$$\omega = 0,17 \text{ ábaco}$$

$$A_s = (\omega \cdot A_c \cdot f_{cd}) / f_{yd}$$

$$A_s = \frac{0,17 \cdot 40 \cdot 125 \cdot \frac{3,0}{1,4}}{\frac{50}{1,15}} = 41,89 \text{ cm}^2$$

Em torno de y

$$\mu = \frac{29455}{40 \cdot 125 \cdot 40 \cdot \frac{3,0}{1,4}} = 0,07$$

$$d' = 5 \text{ cm}$$

$$d'/h = 0,05 / 0,40 = 0,13$$

$$\omega = 0,30 \text{ ábaco}$$

$$A_s = (\omega \cdot A_c \cdot f_{cd}) / f_{yd}$$

$$A_s = \frac{0,30 \cdot 40 \cdot 125 \cdot \frac{3,0}{1,4}}{\frac{50}{1,15}} = 73,93 \text{ cm}^2$$

- Armadura mínima;

$$A_{smin} = 0,15 \cdot \frac{f_{cd}}{f_{yd}} \cdot v \cdot A_c$$

$$A_{smin} = 0,15 \cdot \frac{\frac{3,0}{1,4}}{\frac{50}{1,15}} \cdot 1,02 \cdot 40 \cdot 125 = 37,64 \text{ cm}^2$$

$$A_{smáx} = \frac{8}{100} \cdot 40 \cdot 125 = 400 \text{ cm}^2$$

Como $A_{smin} < A_{stornodex} < A_{smáx}$, portanto $A_s = 41,89 \text{ cm}^2$.

Como $A_{smin} < A_{stornodey} < A_{smáx}$, portanto $A_s = 73,93 \text{ cm}^2$.

$$A_{stornodex} = 41,89 \text{ cm}^2$$

$$6 \text{ } \emptyset 32 \text{ mm}$$

$$A_{stornodey} = 73,93 \text{ cm}^2$$

$$10 \emptyset 32 \text{ mm} = 80 \text{ cm}^2$$

$$\text{Taxa de armadura} = 80 / (40 \cdot 125) \cdot 100 = 1,6\%$$

- Estribo com $\emptyset 6,3 \text{ mm}$

$$S \leq \begin{cases} 200 \text{ mm} \\ \text{menor dimensão} \\ 12 \cdot \emptyset \text{ barra} \end{cases}$$

$$S \leq \begin{cases} 200 \text{ mm} \\ 400 \text{ mm} \\ 12 \cdot 32 \text{ mm} = 384 \text{ mm} \end{cases}$$

$$S = 200 \text{ mm}$$

$$N=3,1/20 = 16 \text{ estribos}$$

Estribos adicionais

$$20 \cdot \emptyset_t = 20 \cdot 0,63 = 12,6$$

Comprimento gancho do estribo

$$5 \cdot \emptyset_t = 5 \cdot 3,2 = 16 \text{ cm} \cdot 2 = 32 \text{ cm}$$

- Diâmetro mínimo e máximo da armadura longitudinal

$10 \text{ mm} \leq \emptyset \leq 1/8$ da menor dimensão transversal do pilar

$$\emptyset = 32 \text{ mm}$$

$$10 \text{ mm} \leq 32 \text{ mm} \leq 1/8 \cdot 400 \rightarrow 10 \text{ mm} \leq 32 \text{ mm} \leq 50 \text{ mm}$$

- Espaçamento mínimo e máximo da armadura longitudinal

$$e_{\min} \geq \begin{cases} 20 \text{ mm} \\ \emptyset_t \\ 1,2 \cdot d_{\text{máx. agr.}} \end{cases}$$

$$e_{\max} \leq \begin{cases} 2 \cdot \text{menor dimensão seção} \\ 400 \text{ mm} \end{cases}$$

$$e_{\min} \geq \begin{cases} 20 \text{ mm} \\ \mathbf{32 \text{ mm}} \\ 1,2 \cdot 1,9 = 23 \text{ mm} \end{cases}$$

$$e_{\max} \leq \begin{cases} 2 \cdot 400 = 800 \text{ mm} \\ \mathbf{400 \text{ mm}} \end{cases}$$

$$e_{\text{calc}} = \frac{125 - 2,5}{4} = \mathbf{28,75 \text{ cm}}$$

- Emendas por traspasse

$$L_{b,nec} = \alpha_1 \cdot l_b \cdot \frac{A_{s,nec}}{A_{s,ef}}$$

$$L_b = \frac{f_{yd}}{f_{bd}} \cdot \frac{\emptyset}{4}$$

$$F_{bd} = \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot \eta_3 \cdot f_{ctd}$$

$$\eta_1 = 2,25 \text{ barras CA-50}$$

$$\eta_2 = 1,0 \text{ boa aderência}$$

$$\eta_3 = 1,0$$

$$f_{ctd} = \frac{f_{ctk,inf}}{\gamma_c} = \frac{0,21 \cdot \sqrt[3]{f_{ck}^2}}{1,4}$$

Logo,

$$f_{ctd} = \frac{0,21 \cdot \sqrt[3]{30^2}}{1,4} = 1,44 \text{ MPa}$$

$$F_{bd} = 2,25 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,44 = 3,24 \text{ MPa}$$

$$L_b = \frac{500}{3,24} \cdot \frac{3,2}{4} = 108 \text{ cm}$$

$$L_{b,nec} = 1 \cdot 108 \cdot 1 = 108 \text{ cm}$$

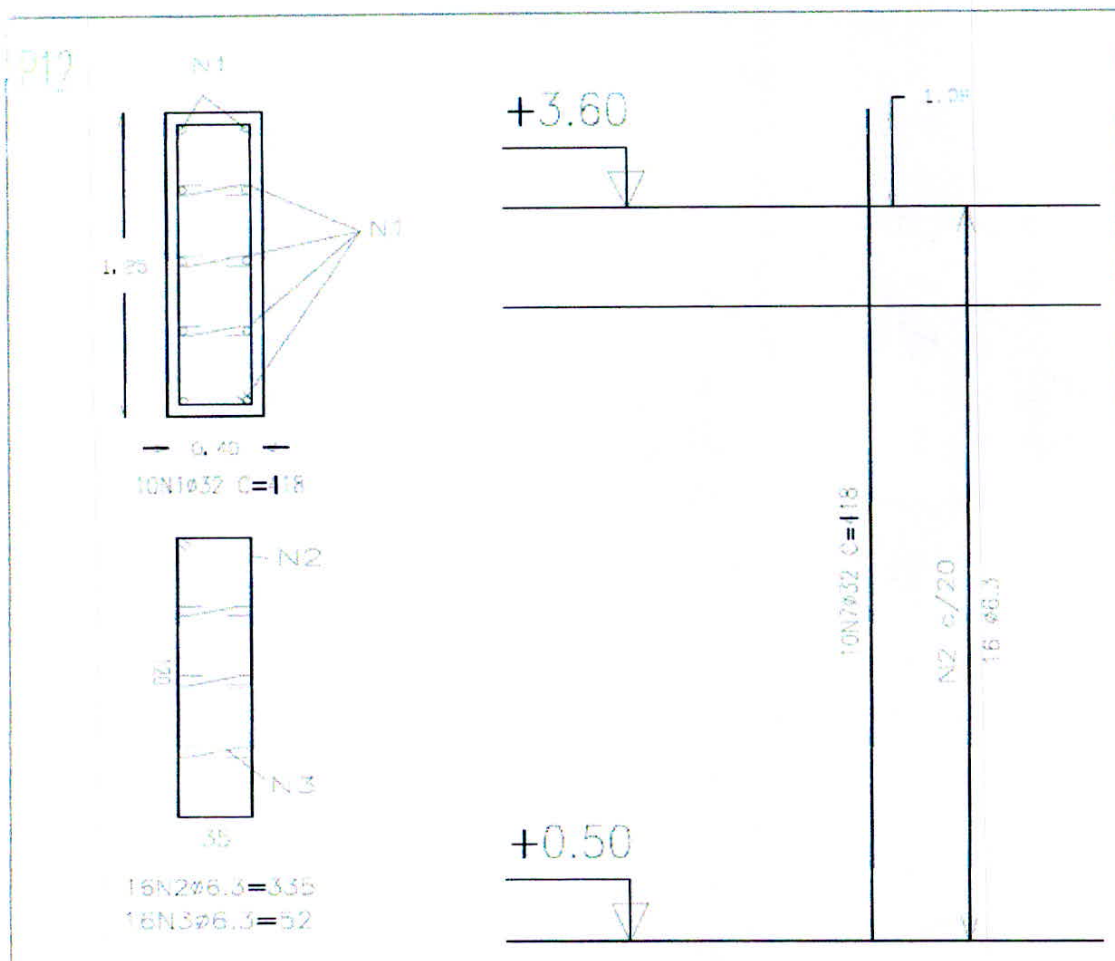


FIGURA 13 – Detalhamento do P12 com a NBR 6118: 2003.

Fonte: Pessoal.

Dimensionamento do pilar 12 segundo NBR 6118:2014 f_{ck} 30 MPa

O método utilizado foi o Método do pilar padrão com curvatura aproximada, o cálculo mostrado abaixo é de um tramo do pilar 12, o mesmo foi usado para os outros tramo do pilar.

Dados:

Trecho 0-1

$N = 7792,3 \text{ KN}$

Aço CA-50

$F_{ck} = 30 \text{ MPa}$

$M_A, M_B = 0$ (pilar central)

- Pré-dimensionamento do pilar

$$A_{c \text{ Ideal}} = \frac{Nd^*}{0,85 f_{cd} + \rho(f_{yd} + 0,85 f_{cd})}$$

$$A_{c \text{ Ideal}} = \frac{7792,3 \cdot 1,8}{0,85 \cdot 3,0 / 1,4 + 1,75 / 100 (50 / 1,15 + 0,85 \cdot 3,0 / 1,4)} = 5365,42 \text{ cm}^2$$

Seção retangular - $b = 0,40 \text{ m}$, $h = 1,25 \text{ m}$

- Dimensionamento do pilar

$$\ell_e \leq \begin{cases} h + l_o \\ l \end{cases}$$

$$\ell_{e \text{ torno de } x} \leq \begin{cases} 0,4 + 2,7 = 3,10 \text{ m} \\ 3,1 \text{ m} \end{cases}$$

$$\ell_{e \text{ torno de } y} \leq \begin{cases} 1,25 + 2,7 = 3,95 \text{ m} \\ 3,1 \text{ m} \end{cases}$$

$\gamma_n = 1,0$ ($b \geq 19 \text{ cm}$)

$\gamma_r = 1,4$, $\gamma_n = 1,4$

- Índice de esbeltez:

$$\lambda = (\ell_e \sqrt{12}) / h$$

$$\lambda_{\text{tormodex}} = \frac{3,10 \cdot \sqrt{12}}{1,25} = 8,59$$

$$\lambda_{\text{tormodey}} = \frac{3,10 \cdot \sqrt{12}}{0,4} = 26,85$$

- Momento mínimo:

$$M_{1d,\min} = N_d \cdot (0,015 + 0,03 \cdot b)$$

$M_{1d,\min}$ em torno de x;

$$M_{1d,\min} = 7792,3 \cdot 1,4 \cdot (0,015 + 0,03 \cdot 1,25) = 572,73 \text{ KN.m}$$

$M_{1d,\min}$ em torno de y;

$$M_{1d,\min} = 7792,3 \cdot 1,4 \cdot (0,015 + 0,03 \cdot 0,4) = 294,55 \text{ KN.m}$$

- Excentricidade accidental:

$$\theta_{1\text{máx}} \geq \theta_1 \geq \theta_{1\text{min}}$$

$$\theta_1 = \frac{1}{100 \cdot \sqrt{l}} = \frac{1}{100 \cdot \sqrt{2,70}} = 0,006$$

$$\theta_{1\text{min}} = \frac{1}{300} = 0,0033$$

$$\theta_{1\text{máx}} = \frac{1}{200} = 0,005 \text{ rad}$$

- Momento $M_{1d,A}$ Accidental:

$$M_{1d,A} = \theta_1 \cdot l \cdot e \cdot N_d$$

$$\text{Em torno de x, } M_{1d,A} = 0,005 \cdot 3,1 \cdot 7792,3 \cdot 1,4 = 169,09 \text{ KN.m}$$

$$\text{Em torno de y, } M_{1d,A} = 0,005 \cdot 3,1 \cdot 7792,3 \cdot 1,4 = 169,09 \text{ KN.m}$$

$$\alpha_b = 0,60 + 0,40 \cdot \frac{M_A}{M_B} \geq 0,4$$

Como $M_A, M_B = 0$, logo $M_{dA} < M_{1d,\min}$, portanto $\alpha_b = 1,0$

$$\lambda_{1 \text{ calc.}} = \frac{25 + 12,5 \cdot \frac{e_1}{h}}{\alpha_b}$$

Em que $e_1 = \frac{M_d}{N_d}$.

$\lambda_{1 \text{ calc}}$ em torno de x;

$$e_1 = \frac{572,73}{7792,3 \cdot 1,4} = 0,0524 \text{ m ou } 5,249 \text{ cm}$$

$$\lambda_{1 \text{ calc.}} = \frac{25 + 12,5 \cdot \frac{5,249}{125}}{1,00} = 25,53$$

$$35 \leq \lambda_1 \leq 90$$

$$\lambda_1 = 35$$

$\lambda_{1 \text{ calc}}$ em torno de y;

$$e_1 = \frac{294,55}{7792,3 \cdot 1,4} = 0,027 \text{ m ou } 2,7 \text{ cm}$$

$$\lambda_{1 \text{ calc.}} = \frac{25 + 12,5 \cdot \frac{2,7}{40}}{1,00} = 25,84$$

$$35 \leq \lambda_1 \leq 90$$

$$\lambda_1 = 35$$

Como $\lambda < \lambda_1$ nas duas direções os efeitos de segunda ordem podem ser desconsiderados.

- Determinação da armadura:

$$v = N_{sd} / (A_c f_{cd})$$

$$v = 1,4 \cdot 7792,3 / (40 \cdot 125 \cdot 3 / 1,4) = 1,02$$

$$\mu = \frac{M_d}{A_c \cdot h \cdot f_{cd}}$$

Em torno de x

$$\mu = \frac{57273}{40.125.125 \cdot \frac{3,0}{1,4}} = 0,04$$

$$d' = 5 \text{ cm}$$

$$d'/h = 0,05/1,25 = 0,04$$

$$\omega = 0,17 \text{ \acute{a}baco}$$

$$A_s = (\omega \cdot A_c \cdot f_{cd}) / f_{yd}$$

$$A_s = \frac{0,17 \cdot 40.125 \cdot \frac{3,0}{1,4}}{\frac{50}{1,15}} = 41,89 \text{ cm}^2$$

Em torno de y

$$\mu = \frac{29455}{40.125.40 \cdot \frac{3,0}{1,4}} = 0,07$$

$$d' = 5 \text{ cm}$$

$$d'/h = 0,05/0,40 = 0,13$$

$$\omega = 0,30 \text{ \acute{a}baco}$$

$$A_s = (\omega \cdot A_c \cdot f_{cd}) / f_{yd}$$

$$A_s = \frac{0,30 \cdot 40.125 \cdot \frac{3,0}{1,4}}{\frac{50}{1,15}} = 73,93 \text{ cm}^2$$

- Armadura mínima;

$$A_{smin} = 0,15 \cdot \frac{f_{cd}}{f_{yd}} \cdot v \cdot A_c$$

$$A_{smin} = 0,15 \cdot \frac{3,0}{1,15} \cdot \frac{1,4}{50} \cdot 1,02 \cdot 40.125 = 37,64 \text{ cm}^2$$

$$A_{smáx} = \frac{8}{100} \cdot 40.125 = 400 \text{ cm}^2$$

Como $A_{smin} < A_{stornodex} < A_{smáx}$, portanto $A_s = 41,89 \text{ cm}^2$.

Como $A_{smin} < A_{stornodey} < A_{smáx}$, portanto $A_s = 73,93 \text{ cm}^2$.

Conforme NBR 6118: 2014, a figura abaixo mostra os momentos nas duas direções simultaneamente para a determinação das armaduras longitudinais,

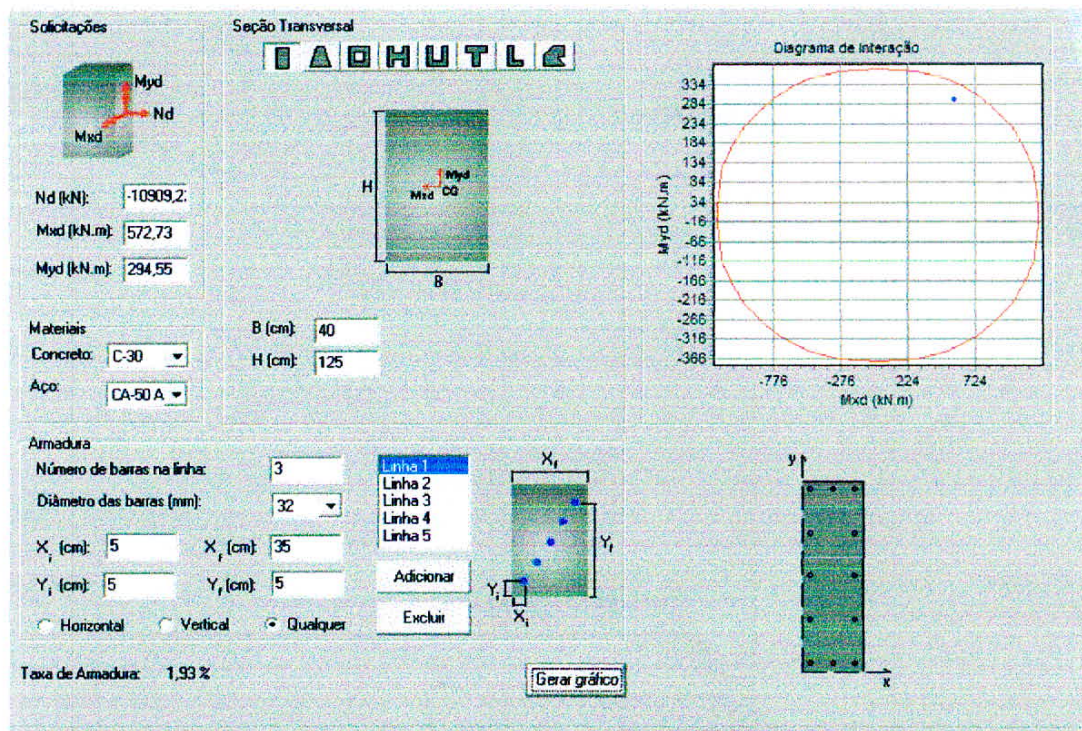


FIGURA 14 – Verificação da armadura do P12 com a NBR 6118: 2014.

Fonte: Obliqua.

$$A_{sefetivo} = 12\emptyset \text{ de } 32 \text{ mm} = 96 \text{ cm}^2$$

$$\text{Taxa de armadura} = 1,93 \%$$

$$S \leq \begin{cases} 200 \text{ mm} \\ \text{menor dimensão} \\ 12 \cdot \emptyset \text{ barra} \end{cases}$$

$$S \leq \begin{cases} 200 \text{ mm} \\ 400 \text{ mm} \\ 12 \cdot 32 \text{ mm} = 384 \text{ mm} \end{cases}$$

$$S = 200 \text{ mm}$$

$$N = 3,1/20 = 16 \text{ estribos}$$

Estribos adicionais

$$20 \cdot \emptyset_t = 20 \cdot 0,63 = 12,6$$

Comprimento gancho do estribo

$$5 \cdot \emptyset_t = 5 \cdot 3,2 = 16 \text{ cm} \cdot 2 = 32 \text{ cm}$$

- Diâmetro mínimo e máximo da armadura longitudinal

$$10 \text{ mm} \leq \emptyset \leq 1/8 \text{ da menor dimensão transversal do pilar}$$

$$\emptyset = 32 \text{ mm}$$

$$10 \text{ mm} \leq 32 \text{ mm} \leq 1/8 \cdot 400 \rightarrow 10 \text{ mm} \leq 32 \text{ mm} \leq 50 \text{ mm}$$

- Espaçamento mínimo e máximo da armadura longitudinal

$$e_{\min} \geq \begin{cases} 20 \text{ mm} \\ \emptyset_t \\ 1,2 \cdot d_{\text{máx. agr.}} \end{cases}$$

$$e_{\max} \leq \begin{cases} 2 \cdot \text{menor dimensão seção} \\ 400 \text{ mm} \end{cases}$$

$$e_{\min} \geq \begin{cases} 20 \text{ mm} \\ \mathbf{32 \text{ mm}} \\ 1,2 \cdot 1,9 = 23 \text{ mm} \end{cases}$$

$$e_{\max} \leq \begin{cases} 2.400 = 800 \text{ mm} \\ \mathbf{400 \text{ mm}} \end{cases}$$

$$e_{\text{calc}} = \frac{125 - 2.5}{4} = \mathbf{28.75 \text{ cm}}$$

- Emendas por traspasse

$$L_{b,\text{nec}} = \alpha_1 \cdot l_b \cdot \frac{A_{s,\text{nec}}}{A_{s,\text{ef}}}$$

$$L_b = \frac{f_{yd}}{f_{bd}} \cdot \frac{\emptyset}{4}$$

$$F_{bd} = \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot \eta_3 \cdot f_{ctd}$$

$$\eta_1 = 2,25 \text{ barras CA-50}$$

$$\eta_2 = 1,0 \text{ boa aderência}$$

$$\eta_3 = 1,0$$

$$f_{ctd} = \frac{f_{ctk,\text{inf}}}{\gamma_c} = \frac{0,21 \cdot \sqrt[3]{f_{ck}^2}}{1,4}$$

Logo,

$$f_{ctd} = \frac{0,21 \cdot \sqrt[3]{30^2}}{1,4} = 1,44 \text{ MPa}$$

$$F_{bd} = 2,25 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,44 = 3,24 \text{ MPa}$$

$$L_b = \frac{\frac{500}{1,15}}{3,24} \cdot \frac{3,2}{4} = 108 \text{ cm}$$

$$L_{b,\text{nec}} = 1 \cdot 108 \cdot 1 = \mathbf{108 \text{ cm}}$$

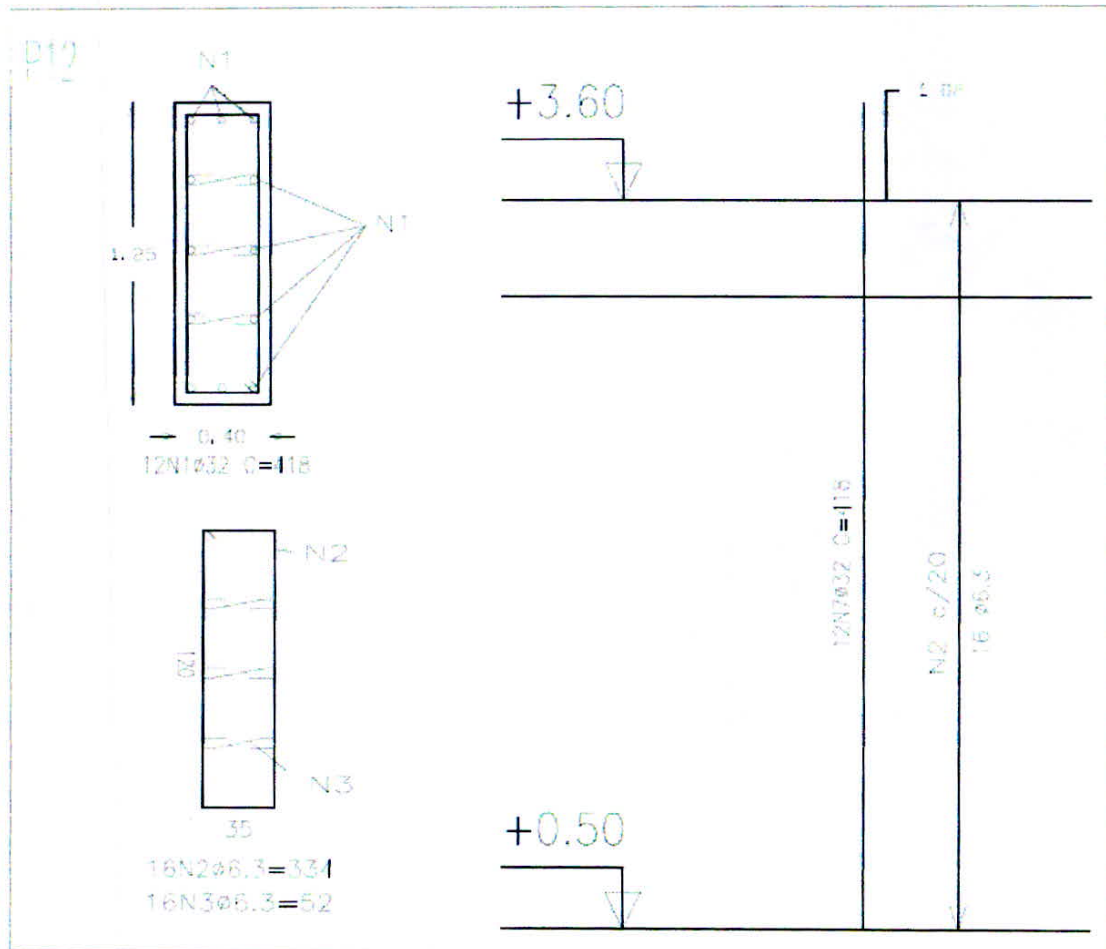


FIGURA 15 – Detalhamento do P12 com a NBR 6118: 2014.

Fonte: Pessoal.

Dimensionamento do pilar 12 segundo NBR 6118:2014 f_{ck} 60 MPa

O método utilizado foi o Método do pilar padrão com curvatura aproximada, o cálculo mostrado abaixo é de um tramo do pilar 12, o mesmo foi usado para os outros tramo do pilar.

Dados:

Trecho 0-1

$N = 7792,3 \text{ KN}$

Aço CA-50

$F_{ck} = 60 \text{ MPa}$

$M_A, M_B = 0$ (pilar central)

- Pré-dimensionamento do pilar

$$A_{c \text{ Ideal}} = \frac{Nd^*}{0,85 f_{cd} + \rho(f_{yd} + 0,85 f_{cd})}$$

$$A_{c \text{ Ideal}} = \frac{7792,3 \cdot 1,8}{0,85 \cdot 6,0 / 1,4 + 1,75 / 100 (50 / 1,15 + 0,85 \cdot 6,0 / 1,4)} = 3139,61 \text{ cm}^2$$

Seção retangular - $b = 0,30\text{m}$, $h = 0,85\text{m}$

- Dimensionamento do pilar

$$\ell e \leq \begin{cases} h + l_o \\ l \end{cases}$$

$$\ell e_{\text{torno de } x} \leq \begin{cases} 0,85 + 2,7 = 3,55\text{m} \\ 3,1\text{m} \end{cases}$$

$$\ell e_{\text{torno de } y} \leq \begin{cases} 0,3 + 2,7 = 3,00\text{m} \\ 3,1\text{m} \end{cases}$$

$\gamma_n = 1,0$ ($b \geq 19\text{cm}$)

$\gamma_r = 1,4$, $\gamma_n = 1,4$

- Índice de esbeltez:

$$\lambda = (\ell e \cdot \sqrt{12}) / h$$

$$\lambda_{\text{tormodex}} = \frac{3,10 \cdot \sqrt{12}}{0,85} = 12,63$$

$$\lambda_{\text{tormodey}} = \frac{3,00 \cdot \sqrt{12}}{0,3} = 34,64$$

- Momento mínimo:

$$M_{1d,\min} = N_d \cdot (0,015 + 0,03 \cdot b)$$

$M_{1d,\min}$ em torno de x;

$$M_{1d,\min} = 7792,3 \cdot 1,4 \cdot (0,015 + 0,03 \cdot 0,85) = \mathbf{441,82 \text{ KN.m}}$$

$M_{1d,\min}$ em torno de y;

$$M_{1d,\min} = 7792,3 \cdot 1,4 \cdot (0,015 + 0,03 \cdot 0,30) = \mathbf{261,82 \text{ KN.m}}$$

- Excentricidade acidental:

$$\theta_{1\text{máx}} \geq \theta_1 \geq \theta_{1\text{min}}$$

$$\theta_1 = \frac{1}{100 \cdot \sqrt{l}} = \frac{1}{100 \cdot \sqrt{2,70}} = 0,006$$

$$\theta_{1\text{min}} = \frac{1}{300} = 0,0033$$

$$\theta_{1\text{máx}} = \frac{1}{200} = \mathbf{0,005\text{rad}}$$

- Momento $M_{1d,A}$ Acidental:

$$M_{1d,A} = \theta_1 \cdot l \cdot e \cdot N_d$$

$$\text{Em torno de x, } M_{1d,A} = 0,005 \cdot 3,1 \cdot 7792,3 \cdot 1,4 = \mathbf{169,09 \text{ KN.m}}$$

$$\text{Em torno de y, } M_{1d,A} = 0,005 \cdot 3,0 \cdot 7792,3 \cdot 1,4 = \mathbf{163,64 \text{ KN.m}}$$

$$\alpha_b = 0,60 + 0,40 \cdot \frac{M_A}{M_B} \geq 0,4$$

Como $M_A, M_B = 0$, logo $M_{dA} < M_{1d,\min}$, portanto $\alpha_b = \mathbf{1,0}$

$$\lambda_{1 \text{ calc.}} = \frac{25 + 12,5 \cdot \frac{e_1}{h}}{\alpha_b}$$

Em que $e_1 = \frac{M_d}{N_d}$.

$\lambda_{1 \text{ calc}}$ em torno de x;

$$e_1 = \frac{441,82}{7792,3 \cdot 1,4} = 0,0405 \text{ m ou } \mathbf{4,05 \text{ cm}}$$

$$\lambda_{1 \text{ calc.}} = \frac{25 + 12,5 \cdot \frac{4,05}{85}}{1,00} = \mathbf{25,60}$$

$$35 \leq \lambda_1 \leq 90$$

$$\lambda_1 = 35$$

$\lambda_{1 \text{ calc}}$ em torno de y;

$$e_1 = \frac{261,82}{7792,3 \cdot 1,4} = 0,0240 \text{ m ou } \mathbf{2,40 \text{ cm}}$$

$$\lambda_{1 \text{ calc.}} = \frac{25 + 12,5 \cdot \frac{2,4}{30}}{1,00} = \mathbf{26,00}$$

$$35 \leq \lambda_1 \leq 90$$

$$\lambda_1 = 35$$

Como $\lambda < \lambda_1$ nas duas direções os efeitos de segunda ordem podem ser desconsiderados.

- Determinação da armadura:

$$v = N_{Sd} / (A_c f_{cd})$$

$$v = 1,4 \cdot 7792,3 / (30 \cdot 85 \cdot 6 / 1,4) = \mathbf{1,00}$$

$$\mu = \frac{M_d}{A_c \cdot h \cdot f_{cd}}$$

Em torno de x

$$\mu = \frac{44182}{30.85.85 \cdot \frac{6,0}{1,4}} = 0,05$$

$$d' = 4 \text{ cm}$$

$$d'/h = 0,04/0,85 = 0,05$$

$$\omega = 0,27 \text{ ábaco}$$

$$A_s = (\omega \cdot A_c \cdot f_{cd}) / f_{yd}$$

$$A_s = \frac{0,27 \cdot 30.85 \cdot \frac{6,0}{1,4}}{\frac{50}{1,15}} = 67,87 \text{ cm}^2$$

Em torno de y

$$\mu = \frac{26182}{30.85 \cdot 30 \cdot \frac{6,0}{1,4}} = 0,08$$

$$d' = 4 \text{ cm}$$

$$d'/h = 0,04/0,30 = 0,13$$

$$\omega = 0,32 \text{ ábaco}$$

$$A_s = (\omega \cdot A_c \cdot f_{cd}) / f_{yd}$$

$$A_s = \frac{0,32 \cdot 30.85 \cdot \frac{6,0}{1,4}}{\frac{50}{1,15}} = 80,43 \text{ cm}^2$$

- Armadura mínima;

$$A_{smin} = 0,15 \cdot \frac{f_{cd}}{f_{yd}} \cdot v \cdot A_c$$

$$A_{smin} = 0,15 \cdot \frac{6,0}{50} \cdot \frac{1,4}{1,15} \cdot 1,00 \cdot 30 \cdot 85 = 37,64 \text{ cm}^2$$

$$A_{smáx} = \frac{8}{100} \cdot 40 \cdot 125 = 400 \text{ cm}^2$$

Como $A_{smin} < A_{stomodex} < A_{smáx}$, portanto $A_s = 67,87 \text{ cm}^2$.

Como $A_{smin} < A_{stomodey} < A_{smáx}$, portanto $A_s = 80,43 \text{ cm}^2$.

Conforme NBR 6118: 2114, a figura abaixo mostra os momentos nas duas direções simultaneamente para a determinação das armaduras longitudinais,

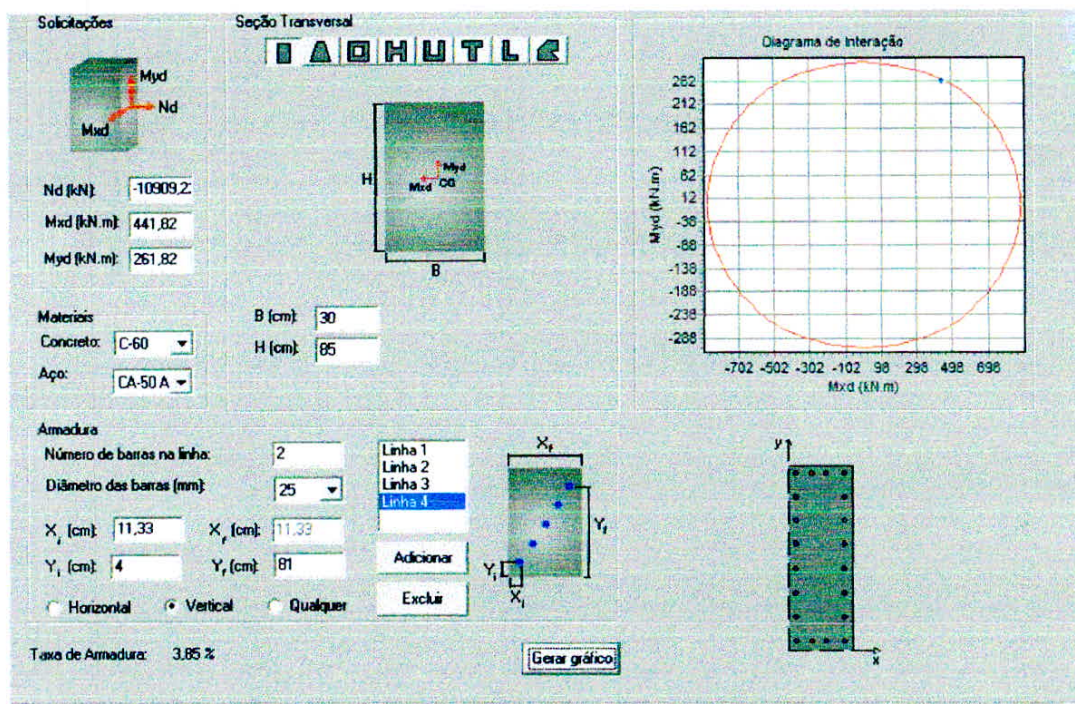


FIGURA 16 – Verificação da armadura do P12 com a NBR 6118: 2014 F_{ck} 60 MPa.

Fonte: Pessoal.

$$A_{sefetivo} = 20 \text{ } \emptyset \text{ de } 25 \text{ mm} = 100 \text{ cm}^2$$

$$\text{Taxa de armadura} = 3,85 \%$$

$$S \leq \begin{cases} 200 \text{ mm} \\ \text{menor dimensão} \\ 12 \cdot \emptyset \text{ barra} \end{cases}$$

$$S \leq \begin{cases} 200 \text{ mm} \\ 300 \text{ mm} \\ 12 \cdot 25 \text{ mm} = 300 \text{ mm} \end{cases}$$

$$S = 200 \text{ mm}$$

$$N = 3,1/20 = 16 \text{ estribos}$$

Estribos adicionais

$$20 \cdot \emptyset_t = 20 \cdot 0,63 = 12,6$$

Comprimento gancho do estribo

$$5 \cdot \emptyset_t = 5 \cdot 2,5 = 12,5 \text{ cm} \cdot 2 = 25 \text{ cm}$$

- Diâmetro mínimo e máximo da armadura longitudinal

$$10 \text{ mm} \leq \emptyset \leq 1/8 \text{ da menor dimensão transversal do pilar}$$

$$\emptyset = 25 \text{ mm}$$

$$10 \text{ mm} \leq 25 \text{ mm} \leq 1/8 \cdot 300 \rightarrow 10 \text{ mm} \leq 25 \text{ mm} \leq 37,5 \text{ mm}$$

- Espaçamento mínimo e máximo da armadura longitudinal

$$e_{\min} \geq \begin{cases} 20 \text{ mm} \\ \emptyset_t \\ 1,2 \cdot d_{\text{máx. agr.}} \end{cases}$$

$$e_{\max} \leq \begin{cases} 2 \cdot \text{menor dimensão seção} \\ 400 \text{ mm} \end{cases}$$

$$e_{\min} \geq \begin{cases} 20 \text{ mm} \\ 25 \text{ mm} \\ 1,2 \cdot 1,9 = 23 \text{ mm} \end{cases}$$

$$e_{\max} \leq \begin{cases} 2.300 = 600 \text{ mm} \\ 400 \text{ mm} \end{cases}$$

$$e_{\text{calc}} = \frac{85-2.4}{7} = 11 \text{ cm}$$

$$e_{\text{calc}} = \frac{30-2.4}{3} = 7,33 \text{ cm}$$

- Emendas por traspasse

$$L_{b,\text{nec}} = \alpha_1 \cdot l_b \cdot \frac{A_{s,\text{nec}}}{A_{s,\text{ef}}}$$

$$L_b = \frac{f_{yd}}{f_{bd}} \cdot \frac{\varnothing}{4}$$

$$F_{bd} = \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot \eta_3 \cdot f_{ctd}$$

$$\eta_1 = 2,25 \text{ barras CA-50}$$

$$\eta_2 = 1,0 \text{ boa aderência}$$

$$\eta_3 = 1,0$$

$$f_{ctd} = \frac{f_{ctk,\text{inf}}}{\gamma_c} = \frac{0,21 \cdot \sqrt[3]{f_{ck}^2}}{1,4}$$

Logo,

$$f_{ctd} = \frac{0,21 \cdot \sqrt[3]{60^2}}{1,4} = 2,29 \text{ MPa}$$

$$F_{bd} = 2,25 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 2,29 = 5,17 \text{ MPa}$$

$$L_b = \frac{500}{5,17} \cdot \frac{2,5}{4} = 52 \text{ cm}$$

$$L_{b,\text{nec}} = 1 \cdot 52 \cdot 1 = 52 \text{ cm}$$

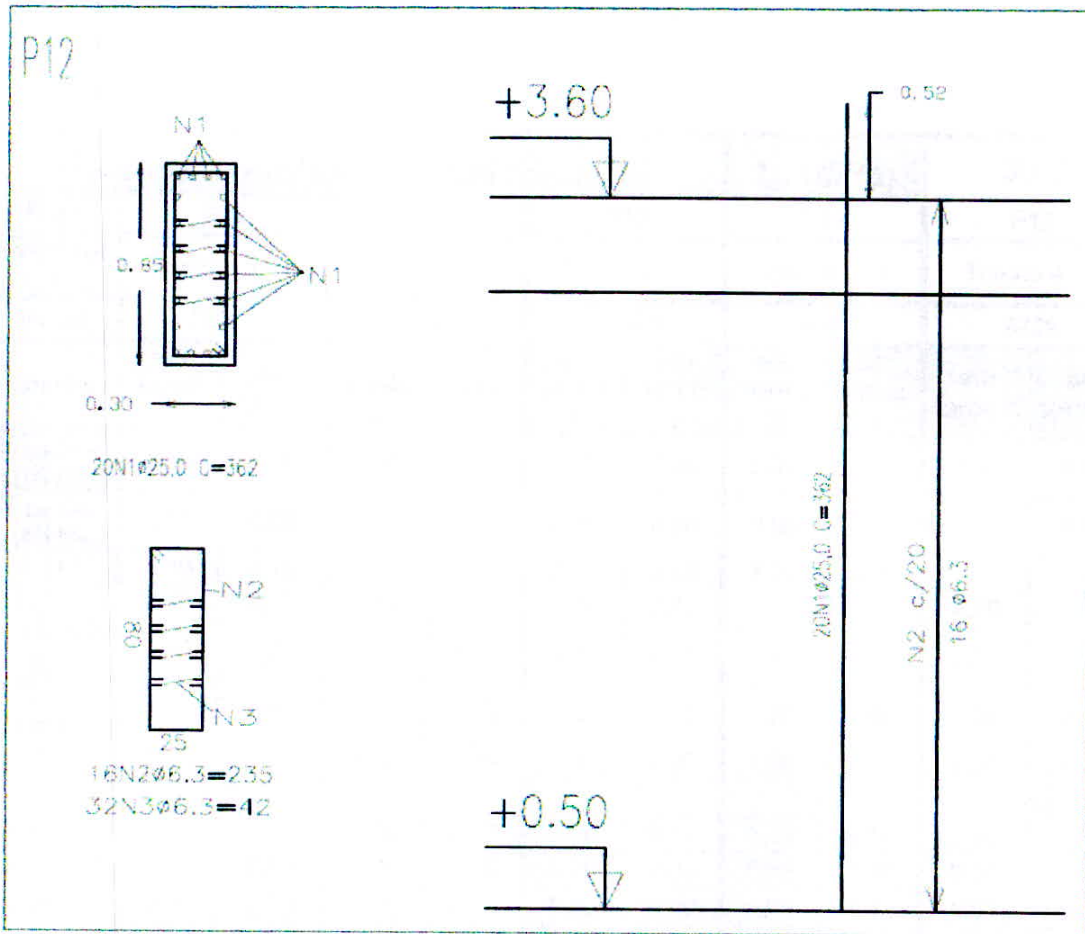


FIGURA 17 – Detalhamento do P12 com a NBR 6118: 2014 f_{ck} 60 MPa.

Fonte: Pessoal.

Dimensionamento P12 NBR 6118:2003 f_{ck} 30 MPa.

Pilar de Canto/Extremidade/Central							f_{ck} (MPa)		30,0	
Pilar	P12		P12		P12		P12		P12	
Pavimento	Trecho 0 - 1		Trecho 1 - 2		Trecho 2 - 3		Trecho 3 - 4		Trecho 4 - 5	
N (kN)	7792,3		7024,5		6259,9		5496,5		4729	
Direção	em torno X	em torno Y	em torno X	em torno Y	em torno X	em torno Y	em torno X	em torno Y	em torno X	em torno Y
$M_{\text{Topo Pilar}}$ (kN.m)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
$M_{\text{Base Pilar}}$ (kN.m)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
L (m)	3,10	3,10	3,10	3,10	3,10	3,10	3,10	3,10	3,10	3,10
L_0 (m)	2,70	2,70	2,70	2,70	2,70	2,70	2,70	2,70	2,70	2,70
Base Pilar (m)	0,40	1,25	0,40	1,25	0,40	1,25	0,40	1,25	0,30	1,05
Altura Pilar (m)	1,25	0,40	1,25	0,40	1,25	0,40	1,25	0,40	1,05	0,30
γ_n	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
γ_r	1,40		1,40		1,40		1,40		1,40	
L_e (m)	3,10	3,10	3,10	3,10	3,10	3,10	3,10	3,10	3,10	3,00
M_a (kN.m)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
M_b (kN.m)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
λ	8,59	26,85	7,48	23,38	7,48	23,38	7,48	23,38	8,91	31,18
θ (rad)	0,0050 0	0,0050 0	0,0050 0	0,0050 0	0,0050 0	0,0050 0	0,0050 0	0,0050 0	0,0050 0	0,0050 0
$M_{1d,Acidental}$ (kN.m)	169,09	169,09	152,43	152,43	135,84	135,84	119,27	119,27	102,62	99,31
$M_{1d,min}$ (kN.m)	572,73	294,55	516,30	265,53	460,10	236,62	403,99	207,77	307,86	158,89
α_B	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
$\lambda_{1,calc}$	25,53	25,84	25,53	25,84	25,53	25,84	25,53	25,84	25,55	26,00
λ_1	35,00	35,00	35,00	35,00	35,00	35,00	35,00	35,00	35,00	35,00
$1/r$	0,0026	0,0082	0,0028	0,0088	0,0030	0,0095	0,0033	0,0103	0,0032	0,0113
$1/r_{(efetivo)}$	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
$M_{Sd,tot}$ (kN.cm)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
$M_{d-(topo\ pilar)}$	572,73	294,55	516,30	265,53	460,10	236,62	403,99	207,77	307,86	158,89
$M_{d-(centro\ pilar)}$	572,73	294,55	516,30	265,53	460,10	236,62	403,99	207,77	307,86	158,89
$M_{d-(base\ pilar)}$	572,73	294,55	516,30	265,53	460,10	236,62	403,99	207,77	307,86	158,89
$M_{d-(dimens.)}$	572,73	294,55	516,30	265,53	460,10	236,62	403,99	207,77	307,86	158,89
ν	1,02		0,92		0,82		0,72		0,98	
μ	0,04	0,07	0,04	0,06	0,03	0,06	0,03	0,05	0,04	0,08
d' (m)	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05

d'/h	0,04	0,13	0,04	0,13	0,04	0,13	0,04	0,13	0,05	0,17
Determinação da Armadura, utilizando ábacos de Flexão Normal Composta										
ω	0,17	0,3	0,15	0,18	0,05	0,09	0	0	0,27	0,3
A_s (cm ²)	41,89	73,93	36,96	44,36	12,32	22,18	0,00	0,00	41,92	46,58
$A_{s_{mín}}$ (cm ²)	37,64		33,93		30,24		26,55		22,84	
Núm. Barras	5 # 32,0 mm	10 # 32,0 mm	4 # 32,0 mm	4 # 32,0 mm 2 # 25,0 mm	8 # 22,5 mm	8 # 22,5 mm	8 # 20,0 mm	8 # 20,0 mm	10 # 22,5 mm	12 # 22,5 mm
Detalhe da Seção										
Armadura	10 # 32,0 mm		4 # 32,0 mm, 2 # 25,0mm		8 # 22,5 mm		8 # 20,0 mm		12 # 22,5 mm	
$A_{s_{efetivo}}$ (cm ²)	80,00		42,00		32,00		25,20		48,00	
ρ (%)	1,60%		0,84%		0,64%		0,50%		1,52%	

Pilar	P12		P12		P12		P12		P12	
Pavimento	Trecho 5 - 6		Trecho 6 - 7		Trecho 7 - 8		Trecho 8 - 9		Trecho 9 - 10	
N (kN)	3950,6		3175,3		2392,6		1599,8		813,9	
Direção	em torno X	em torno Y	em torno X	em torno Y	em torno X	em torno Y	em torno X	em torno Y	em torno X	em torno Y
$M_{\text{Topo Pilar}}$ (kN.m)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
$M_{\text{Base Pilar}}$ (kN.m)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
L (m)	3,10	3,10	3,10	3,10	3,10	3,10	3,10	3,10	3,10	3,10
L_0 (m)	2,70	2,70	2,70	2,70	2,70	2,70	2,70	2,70	2,70	2,70
Base Pilar (m)	0,30	1,05	0,30	1,05	0,20	0,80	0,20	0,80	0,20	0,80
Altura Pilar (m)	1,05	0,30	1,05	0,30	0,80	0,20	0,80	0,20	0,80	0,20
γ_n	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
γ_r	1,40		1,40		1,40		1,40		1,40	
Le (m)	3,10	3,00	3,10	3,00	3,10	2,90	3,10	2,90	3,10	2,90
M_a (kN.m)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

M_b (kN.m)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
λ	10,23	34,64	8,91	31,18	11,69	46,77	11,69	46,77	11,69	46,77
θ (rad)	0,0050 0	0,0050 0	0,0050 0	0,0050 0	0,0050 0	0,0050 0	0,0050 0	0,0050 0	0,0050 0	0,0050 0
M_{1d,Acidental} (kN.m)	85,73	82,96	68,90	66,68	51,92	48,57	34,72	32,48	17,66	16,52
M_{1d,min} (kN.m)	257,18	132,74	206,71	106,69	130,64	70,34	87,35	47,03	44,44	23,93
α_B	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
λ_{i-calc}	25,55	26,00	25,55	26,00	25,61	26,31	25,61	26,31	25,61	26,31
λ_1	35,00	35,00	35,00	35,00	35,00	35,00	35,00	35,00	35,00	35,00
1/r	0,0036	0,0126	0,0041	0,0144	0,0042	0,0169	0,0054	0,0217	0,0063	0,0250
1/r(efetivo)	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0169	0,0000	0,0217	0,0000	0,0250
M_{Sd,tot} (kN.cm)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	47,68	0,00	40,83	0,00	23,96
M_d(topo pilar)	257,18	132,74	206,71	106,69	130,64	70,34	87,35	47,03	44,44	23,93
M_d(centro pilar)	257,18	132,74	206,71	106,69	130,64	70,34	87,35	47,03	44,44	23,96
M_d(basepilar)	257,18	132,74	206,71	106,69	130,64	70,34	87,35	47,03	44,44	23,93
M_d(dimens.)	257,18	132,74	206,71	106,69	130,64	70,34	87,35	47,03	44,44	23,96
ν	0,82		0,66		0,98		0,65		0,33	
μ	0,04	0,07	0,03	0,05	0,05	0,10	0,03	0,07	0,02	0,03
d' (m)	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
d'/h	0,05	0,17	0,05	0,17	0,06	0,25	0,06	0,25	0,06	0,25

Determinação da Armadura, utilizando ábacos de Flexão Normal Composta

ω	0,015	0,13	0	0	0,25	0,45	0	0	0	0
As (cm²)	2,33	20,18	0,00	0,00	19,71	35,49	0,00	0,00	0,00	0,00

As_{mjn} (cm²)	19,08		15,34		11,56		7,73		3,93	
Núm. Barras	6 # 20,0 mm	6 # 20,0 mm	8 # 16,0 mm	8 # 16,0 mm	6 # 20,0 mm	8 # 22,5 mm	4 # 16,0 mm	4 # 16,0 mm	8 # 10,0 mm	8 # 10,0 mm
						2 # 16,0 mm				
Detalhe da Seção										
Armadura	6 # 20,0 mm		8 # 16,0 mm		8 # 22,5 mm, 2 # 16,0 mm		4 # 16,0 mm		8 # 10,0 mm	
As_{efetivo} (cm²)	18,90		16,00		36,00		8,00		6,4	
ρ (%)	0,60%		0,51%		2,25%		0,50%		0,40%	

Fonte: Arquivo pessoal.

Dimensionamento P12 NBR 6118:2014 f_{ck} 30 MPa.

Pilar de Canto/Extremidade/Central						f_{ck} (MPa)		30,0		
Pilar	P12		P12		P12		P12		P12	
Pavimento	Trecho 0 - 1		Trecho 1 - 2		Trecho 2 - 3		Trecho 3 - 4		Trecho 4 - 5	
N (kN)	7792,3		7024,5		6259,9		5496,5		4729	
Direção	em torno X	em torno Y	em torno X	em torno Y	em torno X	em torno Y	em torno X	em torno Y	em torno X	em torno Y
$M_{\text{Topo Pilar}}$ (kN.m)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
$M_{\text{Base Pilar}}$ (kN.m)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
L (m)	3,10	3,10	3,10	3,10	3,10	3,10	3,10	3,10	3,10	3,10
L_0 (m)	2,70	2,70	2,70	2,70	2,70	2,70	2,70	2,70	2,70	2,70
Base Pilar (m)	0,40	1,25	0,40	1,25	0,40	1,25	0,40	1,25	0,30	1,05
Altura Pilar (m)	1,25	0,40	1,25	0,40	1,25	0,40	1,25	0,40	1,05	0,30
γ_n	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
γ_f	1,40		1,40		1,40		1,40		1,40	
L_e (m)	3,10	3,10	3,10	3,10	3,10	3,10	3,10	3,10	3,10	3,00
M_a (kN.m)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
M_b (kN.m)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
λ	8,59	26,85	7,48	23,38	7,48	23,38	7,48	23,38	8,91	31,18
θ (rad)	0,0050 0	0,0050 0	0,0050 0	0,0050 0	0,0050 0	0,0050 0	0,0050 0	0,0050 0	0,0050 0	0,0050 0
$M_{1d,Acidental}$ (kN.m)	169,09	169,09	152,43	152,43	135,84	135,84	119,27	119,27	102,62	99,31
$M_{1d,min}$ (kN.m)	572,73	294,55	516,30	265,53	460,10	236,62	403,99	207,77	307,86	158,89
α_B	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
λ_{1-calc}	25,74	26,18	25,74	26,18	25,74	26,18	25,74	26,18	25,78	26,40
λ_1	35,00	35,00	35,00	35,00	35,00	35,00	35,00	35,00	35,00	35,00
l/r	0,0026	0,0082	0,0028	0,0088	0,0030	0,0095	0,0033	0,0103	0,0032	0,0113
$l/r_{(efetivo)}$	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
$M_{Sd,tot}$ (kN.cm)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
$M_{d-(topo\ pilar)}$	572,73	294,55	516,30	265,53	460,10	236,62	403,99	207,77	307,86	158,89
$M_{d-(centro\ pilar)}$	572,73	294,55	516,30	265,53	460,10	236,62	403,99	207,77	307,86	158,89
$M_{d-(base\ pilar)}$	572,73	294,55	516,30	265,53	460,10	236,62	403,99	207,77	307,86	158,89
$M_{d-(dimens.)}$	572,73	294,55	516,30	265,53	460,10	236,62	403,99	207,77	307,86	158,89
v	1,02		0,92		0,82		0,72		0,98	
μ	0,04	0,07	0,04	0,06	0,03	0,06	0,03	0,05	0,04	0,08
d' (m)	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
d'/h	0,04	0,13	0,04	0,13	0,04	0,13	0,04	0,13	0,05	0,17

Verificação da Armadura, utilizando aplicativo OBLIQUA

N_d (kN)	-10909,22		-9834,30		-8763,86		-7695,10		-6620,60	
M_d(dimens.)	572,73	294,55	516,30	265,53	460,10	236,62	403,99	207,77	307,86	158,89
Base Pilar (cm)	40,0	125,0	40,0	125,0	40,0	125,0	40,0	125,0	30,0	105,0
Altura Pilar (cm)	125,0	40,0	125,0	40,0	125,0	40,0	125,0	40,0	105,0	30,0
A_{S_{mjn}} (cm²)	37,64		33,93		30,24		26,55		22,84	

Pilar de Canto/Extremidade/Central						f_{ck} (MPa)		30,0		
Pilar	P12		P12		P12		P12		P12	
Pavimento	Trecho 5 - 6		Trecho 6 - 7		Trecho 7 - 8		Trecho 8 - 9		Trecho 9 - 10	
N (kN)	3950,6		3175,3		2392,6		1599,8		813,9	
Direção	em torno X	em torno Y	em torno X	em torno Y	em torno X	em torno Y	em torno X	em torno Y	em torno X	em torno Y
M_{Topo Pilar} (kN.m)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
M_{Base Pilar} (kN.m)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
L (m)	3,10	3,10	3,10	3,10	3,10	3,10	3,10	3,10	3,10	3,10
L₀ (m)	2,70	2,70	2,70	2,70	2,70	2,70	2,70	2,70	2,70	2,70
Base Pilar (m)	0,30	1,05	0,30	1,05	0,20	0,80	0,20	0,80	0,20	0,80
Altura Pilar (m)	1,05	0,30	1,05	0,30	0,80	0,20	0,80	0,20	0,80	0,20
γ_n	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
γ_f	1,40		1,40		1,40		1,40		1,40	
Le (m)	3,10	3,00	3,10	3,00	3,10	2,90	3,10	2,90	3,10	2,90
M_a (kN.m)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
M_b (kN.m)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
λ	10,23	34,64	8,91	31,18	11,69	46,77	11,69	46,77	11,69	46,77
θ (rad)	0,0050 0	0,0050 0	0,0050 0	0,0050 0	0,0050 0	0,0050 0	0,0050 0	0,0050 0	0,0050 0	0,0050 0
M_{1d,Acidental} (kN.m)	85,73	82,96	68,90	66,68	51,92	48,57	34,72	32,48	17,66	16,52
M_{1d,min} (kN.m)	257,18	132,74	206,71	106,69	130,64	70,34	87,35	47,03	44,44	23,93
α_B	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
λ_{1-calc}	25,78	26,40	25,78	26,40	25,85	26,84	25,85	26,84	25,85	26,84
λ₁	35,00	35,00	35,00	35,00	35,00	35,00	35,00	35,00	35,00	35,00
l/r	0,0036	0,0126	0,0041	0,0144	0,0042	0,0169	0,0054	0,0217	0,0063	0,0250
l/r_(efetivo)	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0169	0,0000	0,0217	0,0000	0,0250

$M_{sd,tot}$ (kN.cm)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	47,68	0,00	40,83	0,00	23,96
$M_{d-(topo\ pilar)}$	257,18	132,74	206,71	106,69	130,64	70,34	87,35	47,03	44,44	23,93
$M_{d-(centro\ pilar)}$	257,18	132,74	206,71	106,69	130,64	70,34	87,35	47,03	44,44	23,96
$M_{d-(base\ pilar)}$	257,18	132,74	206,71	106,69	130,64	70,34	87,35	47,03	44,44	23,93
$M_{d-(dimens.)}$	257,18	132,74	206,71	106,69	130,64	70,34	87,35	47,03	44,44	23,96
v	0,82		0,66		0,98		0,65		0,33	
μ	0,04	0,07	0,03	0,05	0,05	0,10	0,03	0,07	0,02	0,03
d' (m)	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
d'/h	0,05	0,17	0,05	0,17	0,06	0,25	0,06	0,25	0,06	0,25

Verificação da Armadura, utilizando aplicativo OBLIQUA

N_d (kN)	-5530,84		-4445,42		-3349,64		-2239,72		-1139,46	
$M_{d-(dimens.)}$	257,18	132,74	206,71	106,69	130,64	70,34	87,35	47,03	44,44	23,96
Base Pilar (cm)	30,0	105,0	30,0	105,0	20,0	80,0	20,0	80,0	20,0	80,0
Altura Pilar (cm)	105,0	30,0	105,0	30,0	80,0	20,0	80,0	20,0	80,0	20,0
$A_{s,mjn}$ (cm ²)	19,08		15,34		11,56		7,73		6,40	

Fonte: Arquivo pessoal.

P12 0-1

Solicitações

N_d (kN): -10909,2
 M_{xd} (kN.m): 572,73
 M_{yd} (kN.m): 294,55

Materiais

Concreto: C-30
 Aço: CA-50 A

Seção Transversal

B (cm): 40
 H (cm): 125

Diagrama de Interação

M_{yd} (kN.m) vs M_{xd} (kN.m)

Armadura

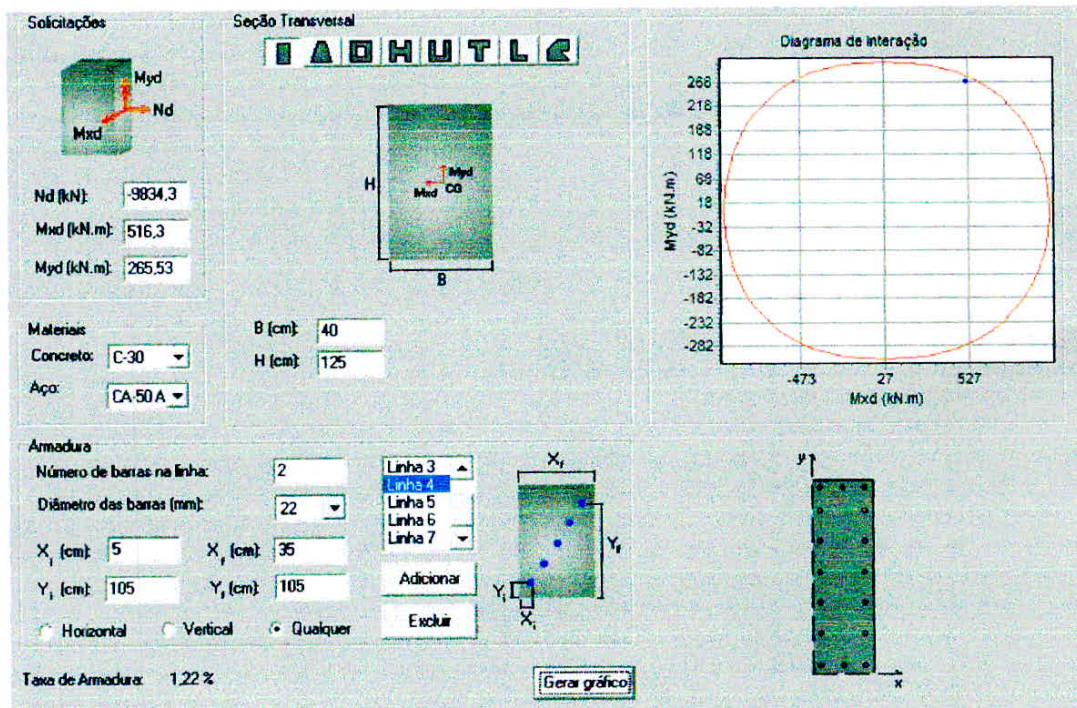
Número de barras na linha: 3
 Diâmetro das barras (mm): 32
 X_1 (cm): 5, X_2 (cm): 35
 Y_1 (cm): 5, Y_2 (cm): 5

Horizontal Vertical Qualquer

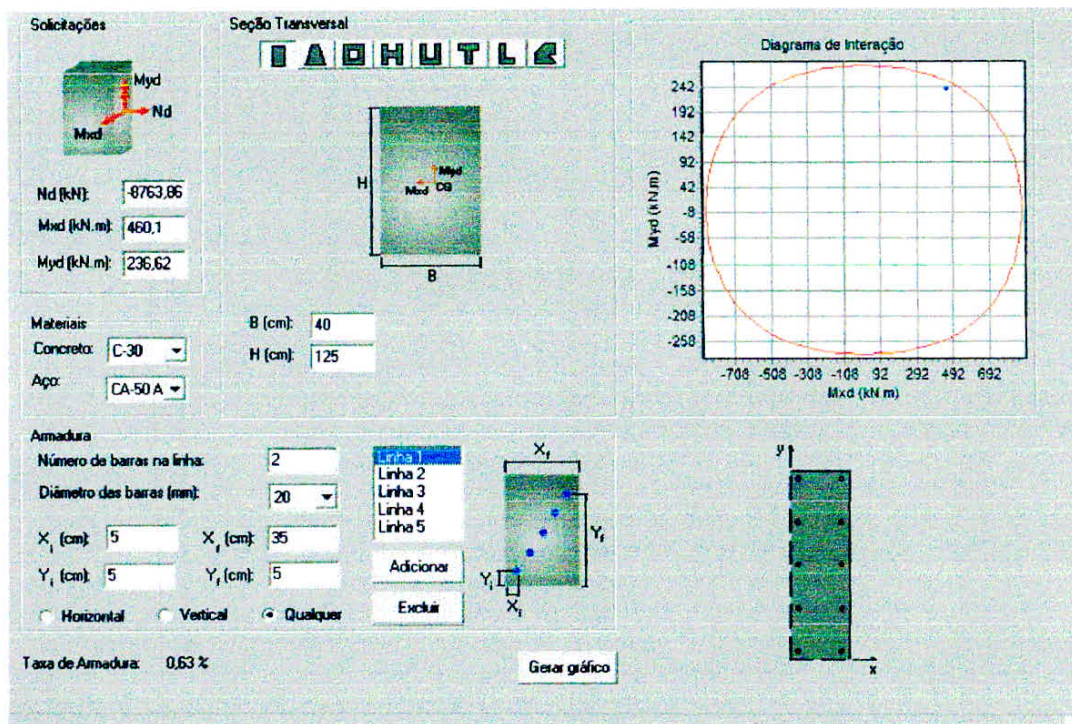
Taxa de Armadura: 1,93 %

Botões: Adicionar, Excluir, Gerar gráfico

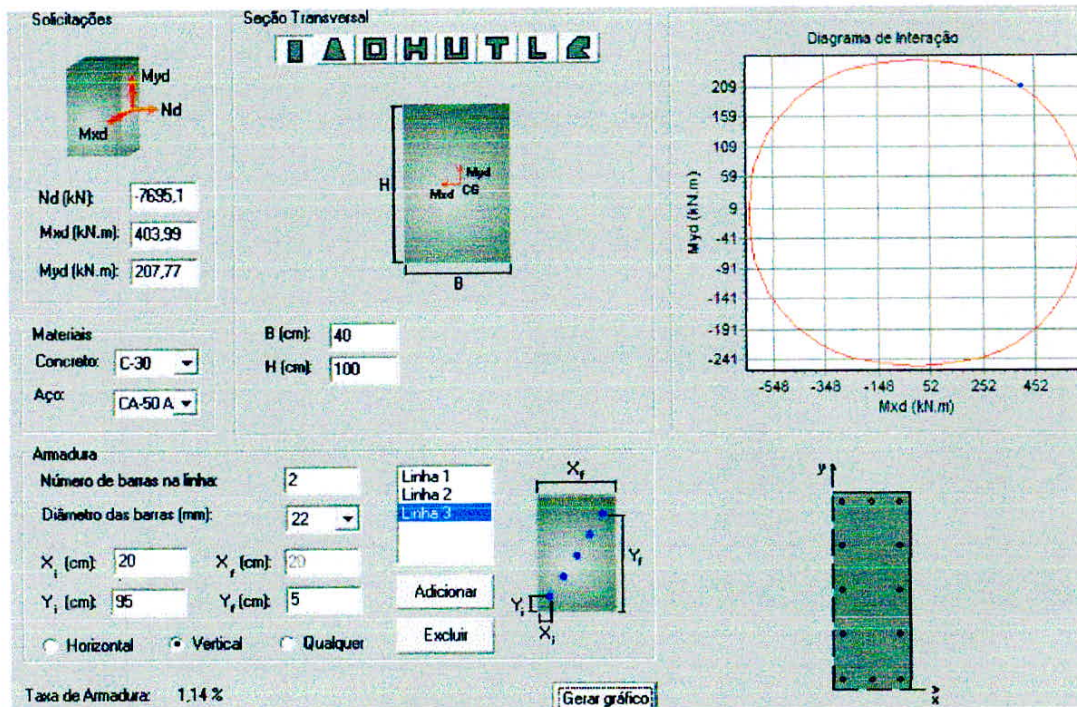
P12 1-2



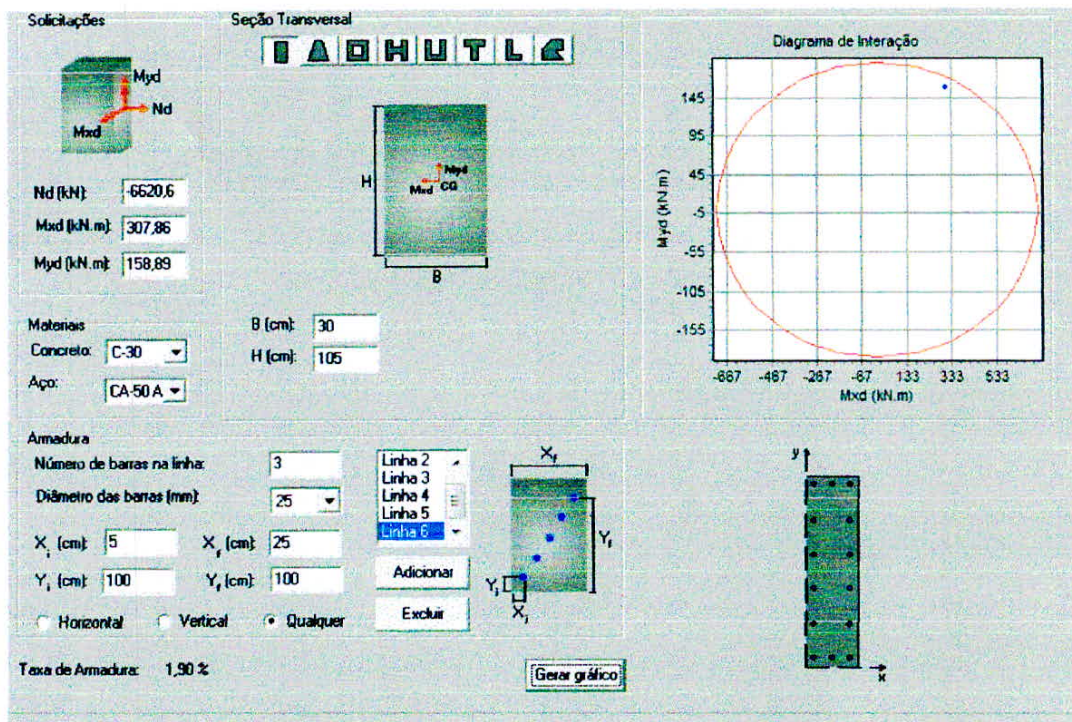
P12 2-3



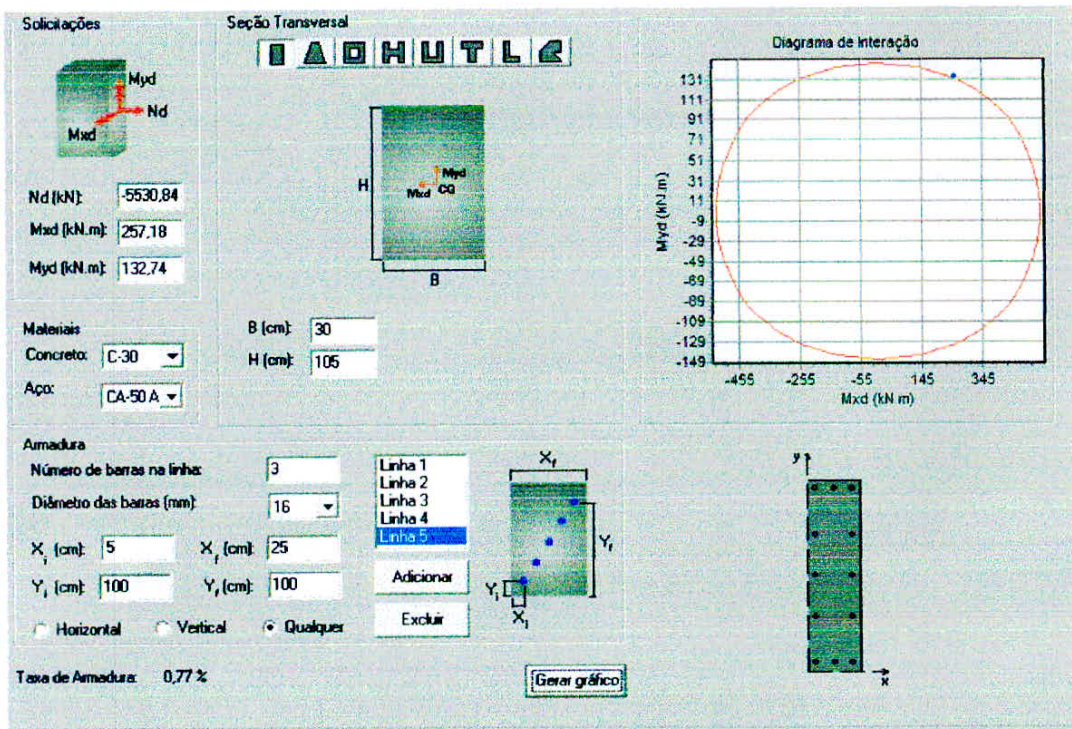
P12 3-4



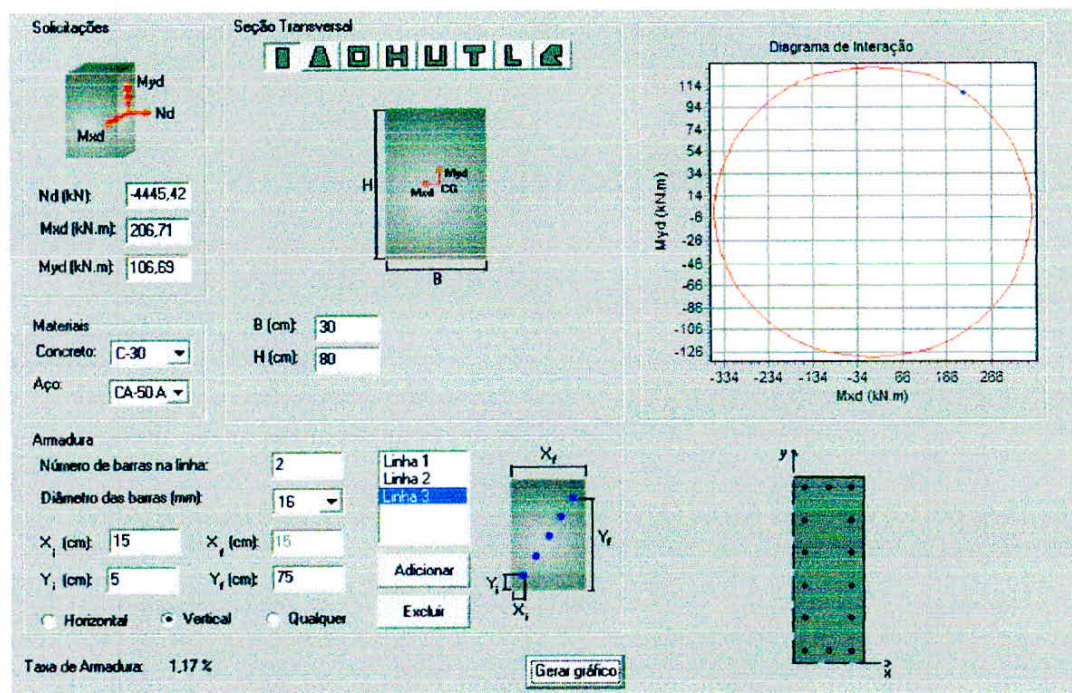
P12 4-5



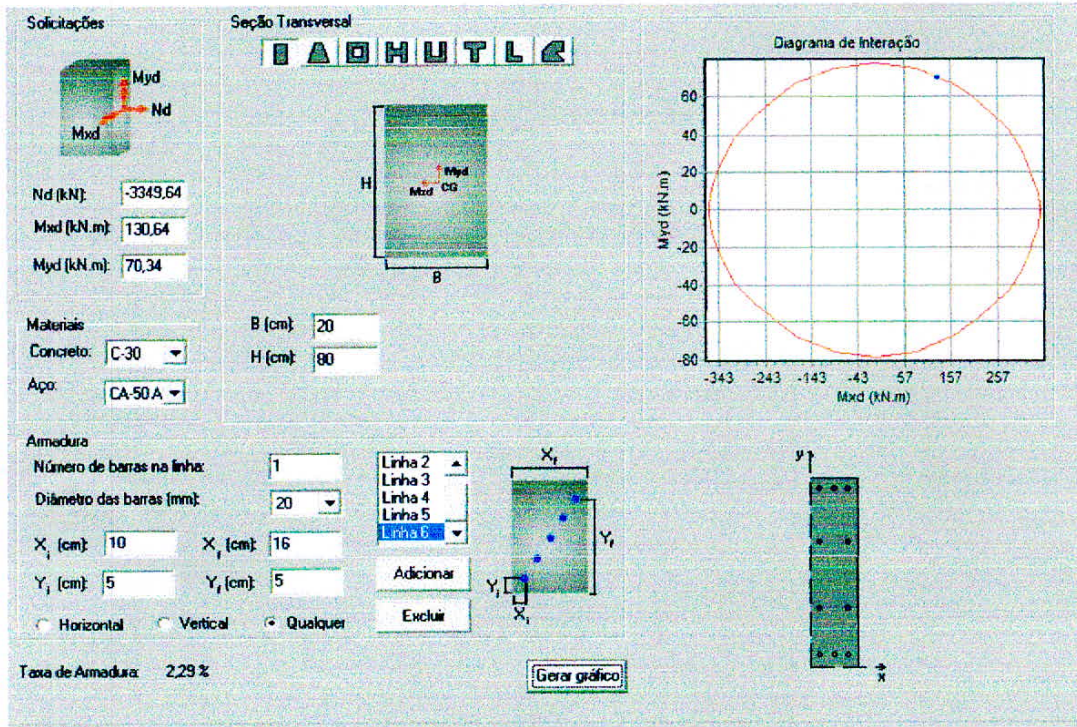
P12 5-6



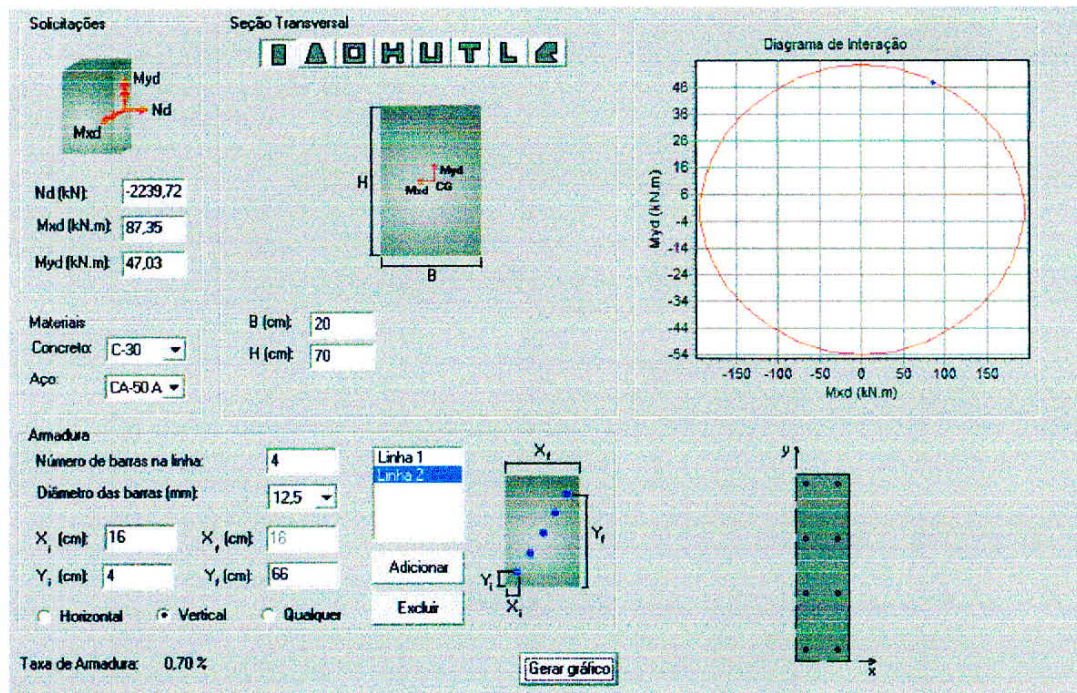
P12 6-7



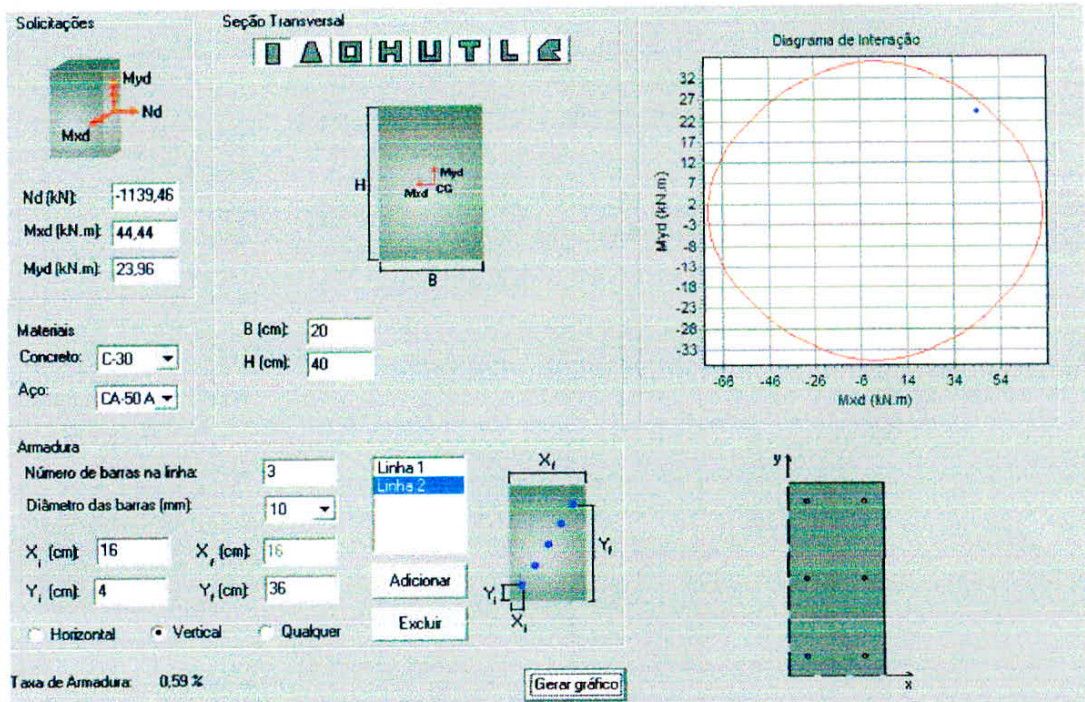
P12 7-8



P12 8-9



P12 9-10



Dimensionamento P12 NBR 6118:2014 f_{ck} 60 MPa.

Pilar de Canto/Extremidade/Central							f_{ck} (MPa)		60,0	
Pilar	P12		P12		P12		P12		P12	
Pavimento	Trecho 0 - 1		Trecho 1 - 2		Trecho 2 - 3		Trecho 3 - 4		Trecho 4 - 5	
N (kN)	7792,3		7024,5		6259,9		5496,5		4729	
Direção	em torno X	em torno Y	em torno X	em torno Y	em torno X	em torno Y	em torno X	em torno Y	em torno X	em torno Y
$M_{\text{Topo Pilar}}$ (kN.m)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
$M_{\text{Base Pilar}}$ (kN.m)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
L (m)	3,10	3,10	3,10	3,10	3,10	3,10	3,10	3,10	3,10	3,10
L_0 (m)	2,70	2,70	2,70	2,70	2,70	2,70	2,70	2,70	2,70	2,70
Base Pilar (m)	0,30	0,85	0,30	0,85	0,30	0,85	0,30	0,85	0,30	0,55

Altura Pilar (m)	0,85	0,30	0,85	0,30	0,85	0,30	0,85	0,30	0,55	0,30
γ_n	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
γ_r	1,40		1,40		1,40		1,40		1,40	
Le (m)	3,10	3,00	3,10	3,00	3,10	3,00	3,10	3,00	3,10	3,00
M_a (kN.m)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
M_b (kN.m)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
λ	12,63	34,64	11,00	31,18	11,00	31,18	11,00	31,18	17,01	31,18
θ (rad)	0,0050 0	0,0050 0	0,0050 0	0,0050 0	0,0050 0	0,0050 0	0,0050 0	0,0050 0	0,0050 0	0,0050 0
M_{1d,Acidental} (kN.m)	169,09	163,64	152,43	147,51	135,84	131,46	119,27	115,43	102,62	99,31
M_{1d,min} (kN.m)	441,82	261,82	398,29	236,02	354,94	210,33	311,65	184,68	208,55	158,89
α_B	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
λ_{1-calc}	25,83	26,40	25,83	26,40	25,83	26,40	25,83	26,40	26,00	26,40
λ_1	35,00	35,00	35,00	35,00	35,00	35,00	35,00	35,00	35,00	35,00
1/r	0,0039	0,0111	0,0042	0,0119	0,0045	0,0128	0,0049	0,0138	0,0063	0,0116
1/r(efetivo)	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
M_{Sd,tot} (kN.cm)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
M_d(topo pilar)	441,82	261,82	398,29	236,02	354,94	210,33	311,65	184,68	208,55	158,89
M_d(centro pilar)	441,82	261,82	398,29	236,02	354,94	210,33	311,65	184,68	208,55	158,89
M_d(base pilar)	441,82	261,82	398,29	236,02	354,94	210,33	311,65	184,68	208,55	158,89
M_d(dimens.)	441,82	261,82	398,29	236,02	354,94	210,33	311,65	184,68	208,55	158,89
ν	1,00		0,90		0,80		0,70		0,94	
μ	0,05	0,08	0,04	0,07	0,04	0,06	0,03	0,06	0,05	0,07
d' (m)	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04
d'/h	0,05	0,13	0,05	0,13	0,05	0,13	0,05	0,13	0,07	0,13

Verificação da Armadura, utilizando aplicativo OBLIQUA

N_d (kN)	-10909,22		-9834,30		-8763,86		-7695,10		-6620,60	
M_d(dimens.)	441,82	261,82	398,29	236,02	354,94	210,33	311,65	184,68	208,55	158,89
Base Pilar (cm)	30,0	85,0	30,0	85,0	30,0	85,0	30,0	85,0	30,0	55,0
Altura Pilar (cm)	85,0	30,0	85,0	30,0	85,0	30,0	85,0	30,0	55,0	30,0
A_{S_min} (cm²)	37,64		33,93		30,24		26,55		22,84	

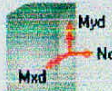
Pilar de Canto/Extremidade/Central							f _{ck} (MPa)		60,0	
Pilar	P12		P12		P12		P12		P12	
Pavimento	Trecho 5 - 6		Trecho 6 - 7		Trecho 7 - 8		Trecho 8 - 9		Trecho 9 - 10	
N (kN)	3950,6		3175,3		2392,6		1599,8		813,9	
Direção	em torno X	em torno Y	em torno X	em torno Y	em torno X	em torno Y	em torno X	em torno Y	em torno X	em torno Y
M _{Topo Pilar} (kN.m)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
M _{Base Pilar} (kN.m)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
L (m)	3,10	3,10	3,10	3,10	3,10	3,10	3,10	3,10	3,10	3,10
L ₀ (m)	2,70	2,70	2,70	2,70	2,70	2,70	2,70	2,70	2,70	2,70
Base Pilar (m)	0,30	0,55	0,30	0,55	0,20	0,40	0,20	0,40	0,20	0,40
Altura Pilar (m)	0,55	0,30	0,55	0,30	0,40	0,20	0,40	0,20	0,40	0,20
γ _n	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
γ _r	1,40		1,40		1,40		1,40		1,40	
Le (m)	3,10	3,00	3,10	3,00	3,10	2,90	3,10	2,90	3,10	2,90
M _a (kN.m)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
M _b (kN.m)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
λ	19,52	34,64	17,01	31,18	23,38	46,77	23,38	46,77	23,38	46,77
θ (rad)	0,0050 0	0,0050 0	0,0050 0	0,0050 0	0,0050 0	0,0050 0	0,0050 0	0,0050 0	0,0050 0	0,0050 0
M _{1d,Acidental} (kN.m)	85,73	82,96	68,90	66,68	51,92	48,57	34,72	32,48	17,66	16,52
M _{1d,min} (kN.m)	174,22	132,74	140,03	106,69	90,44	70,34	60,47	47,03	30,77	23,93
α _B	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
λ _{1-calc}	26,00	26,40	26,00	26,40	26,18	26,84	26,18	26,84	26,18	26,84
λ ₁	35,00	35,00	35,00	35,00	35,00	35,00	35,00	35,00	35,00	35,00
1/r	0,0071	0,0130	0,0081	0,0148	0,0085	0,0169	0,0108	0,0217	0,0125	0,0250
1/r(efetivo)	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0169	0,0000	0,0217	0,0000	0,0250
M _{Sd,tot} (kN.cm)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	47,68	0,00	40,83	0,00	23,96
M _{d-(topo pilar)}	174,22	132,74	140,03	106,69	90,44	70,34	60,47	47,03	30,77	23,93
M _{d-(centro pilar)}	174,22	132,74	140,03	106,69	90,44	70,34	60,47	47,03	30,77	23,96
M _{d-(base pilar)}	174,22	132,74	140,03	106,69	90,44	70,34	60,47	47,03	30,77	23,93
M _{d-(dimens.)}	174,22	132,74	140,03	106,69	90,44	70,34	60,47	47,03	30,77	23,96
v	0,78		0,63		0,98		0,65		0,33	
μ	0,04	0,06	0,04	0,05	0,07	0,10	0,04	0,07	0,02	0,03
d' (m)	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
d'/h	0,09	0,17	0,09	0,17	0,13	0,25	0,13	0,25	0,13	0,25
Verificação da Armadura, utilizando aplicativo OBLIQUA										

N_d (kN)	-5530,84		-4445,42		-3349,64		-2239,72		-1139,46	
M_d(dimens.)	174,22	132,74	140,03	106,69	90,44	70,34	60,47	47,03	30,77	23,96
Base Pilar (cm)	30,0	55,0	30,0	55,0	20,0	40,0	20,0	40,0	20,0	40,0
Altura Pilar (cm)	55,0	30,0	55,0	30,0	40,0	20,0	40,0	20,0	40,0	20,0
A_smín (cm²)	19,08		15,34		11,56		7,73		3,93	

Fonte: Arquivo pessoal.

P12 0-1

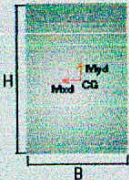
Solicitações



N_d (kN): -10909,2
M_{xd} (kN.m): 441,82
M_{yd} (kN.m): 261,82

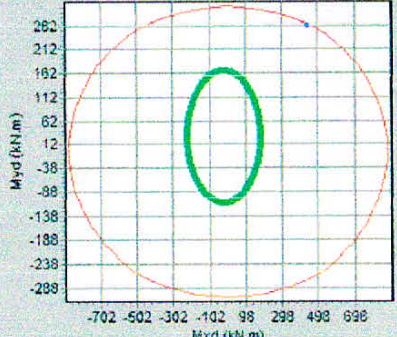
Materiais:
Concreto: C-60
Aço: CA-50 A

Seção Transversal



B (cm): 30
H (cm): 85

Diagrama de Interação



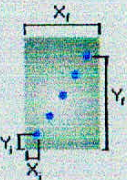
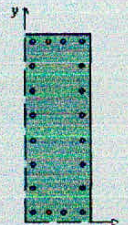
Armadura

Número de barras na linha: 2
Diâmetro das barras (mm): 25

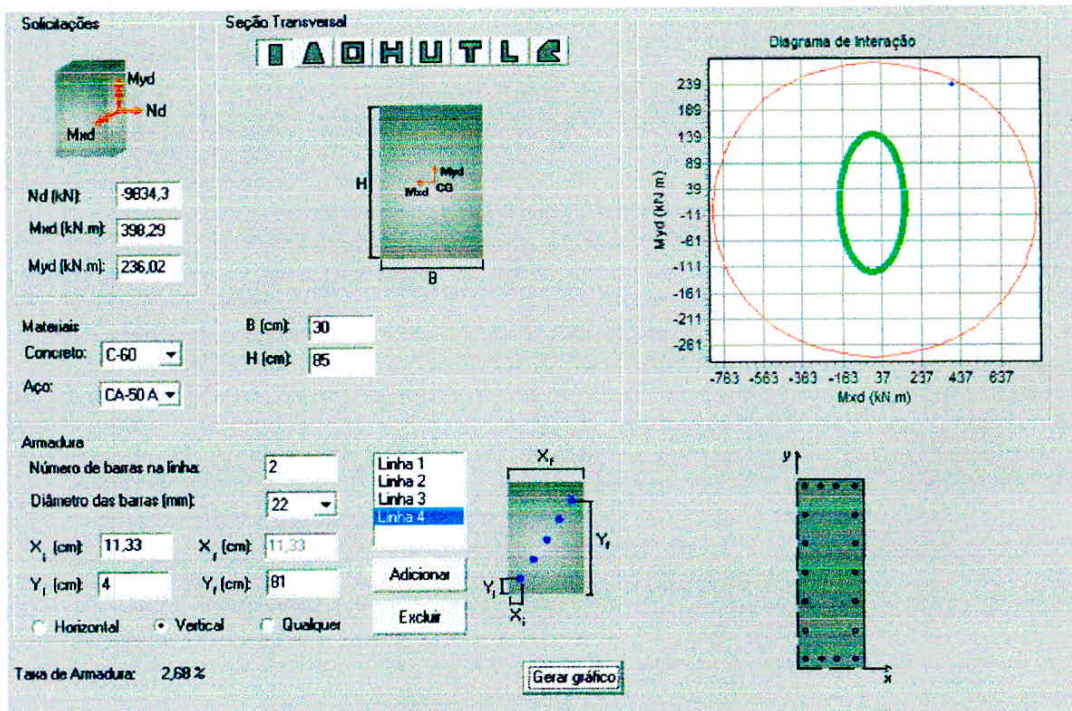
X₁ (cm): 11,33 X₂ (cm): 11,33
Y₁ (cm): 4 Y₂ (cm): 81

Horizontal Vertical Qualquer

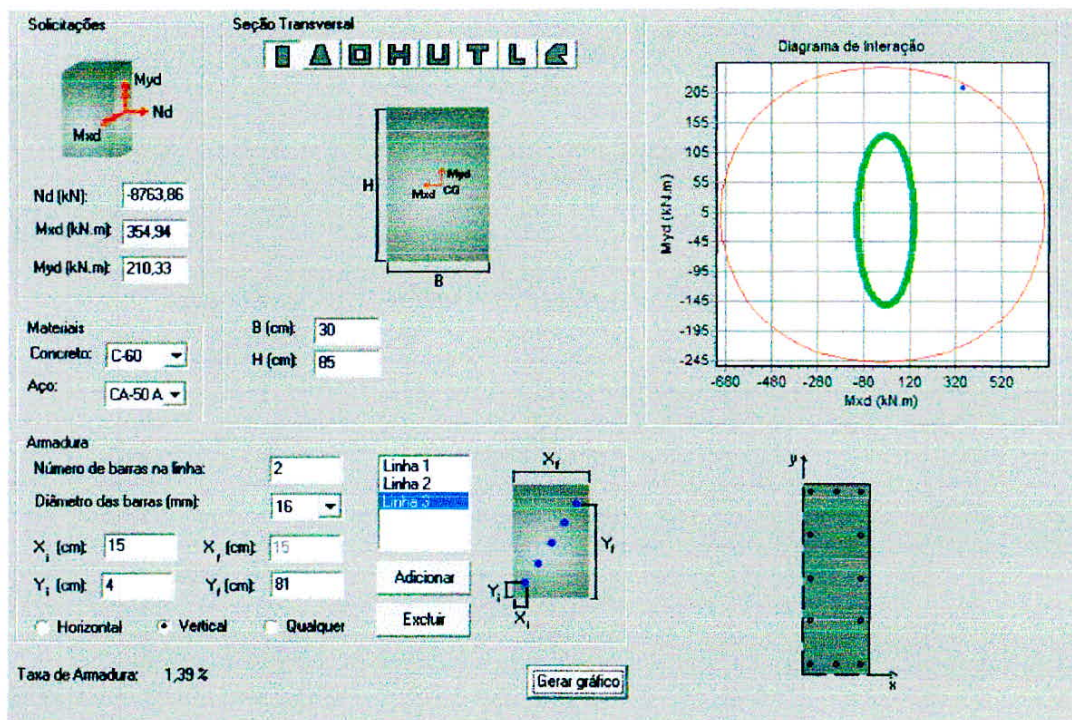
Taxa de Armadura: 3,85 %

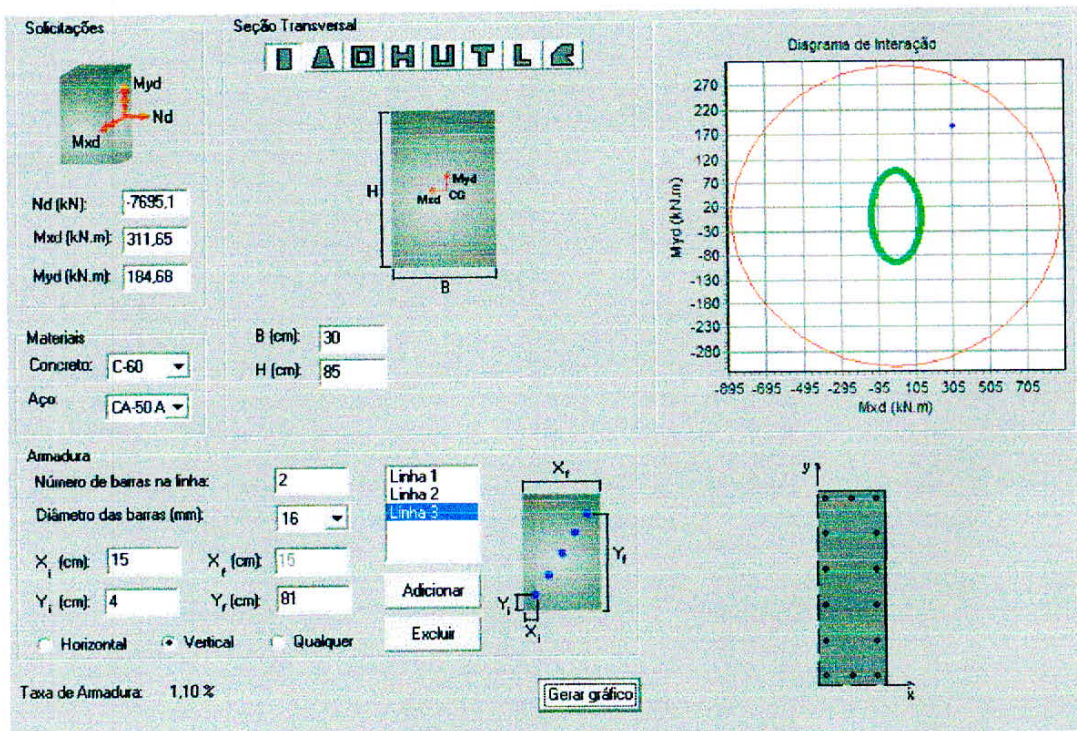
P12 1-2



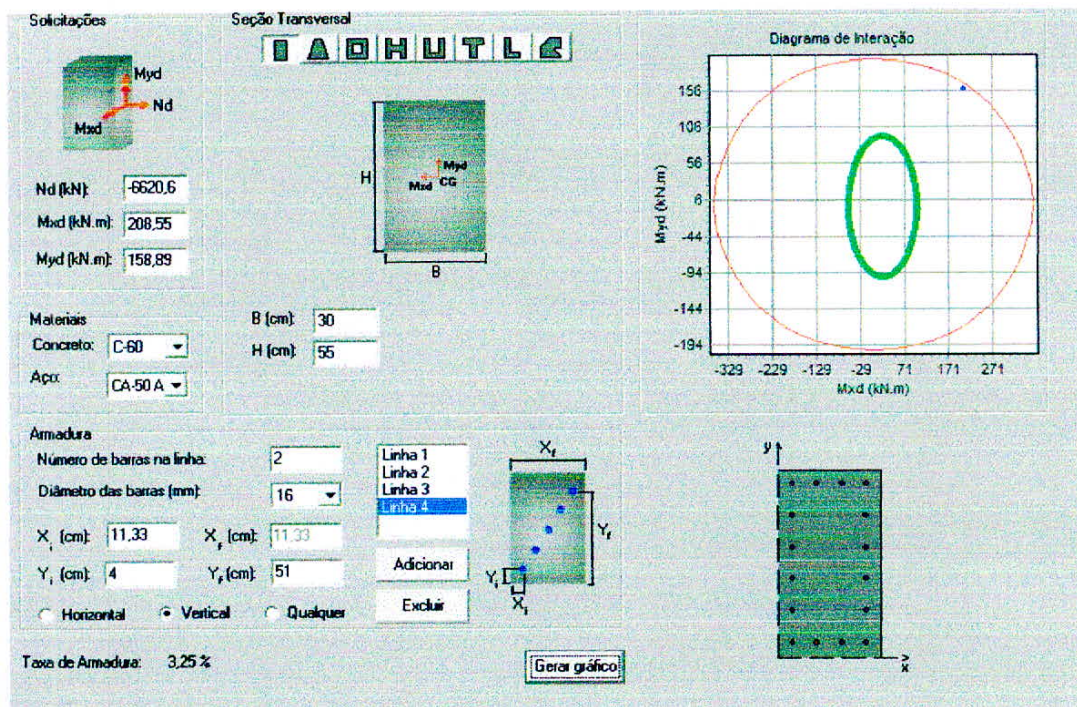
P12 2-3



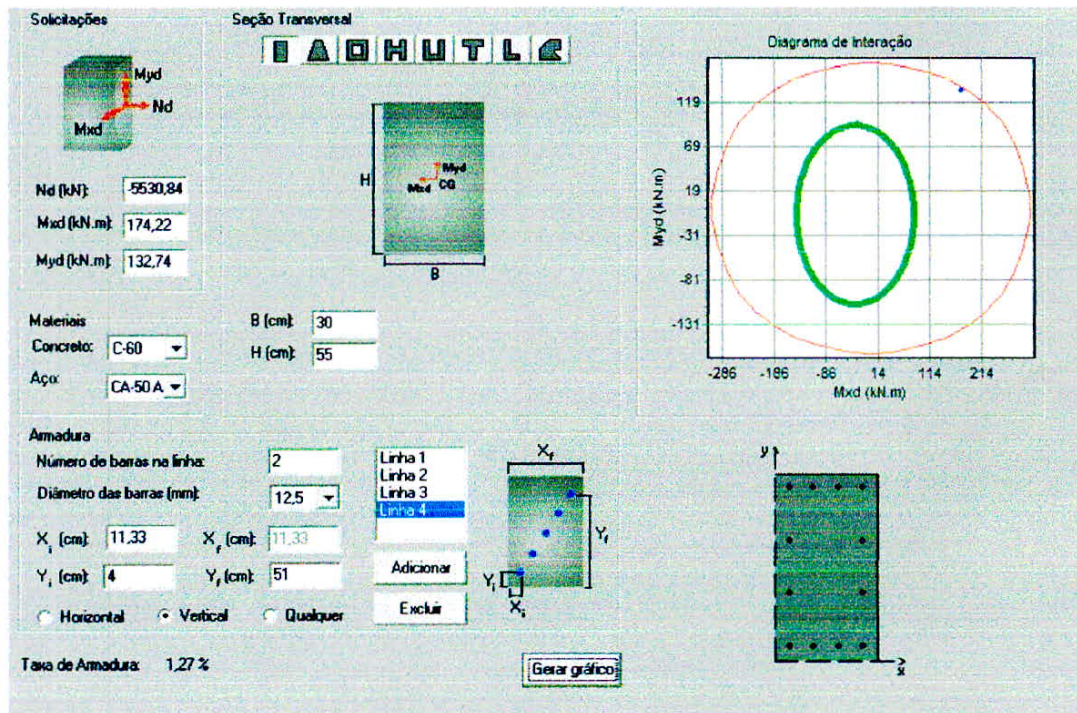
P12 3-4



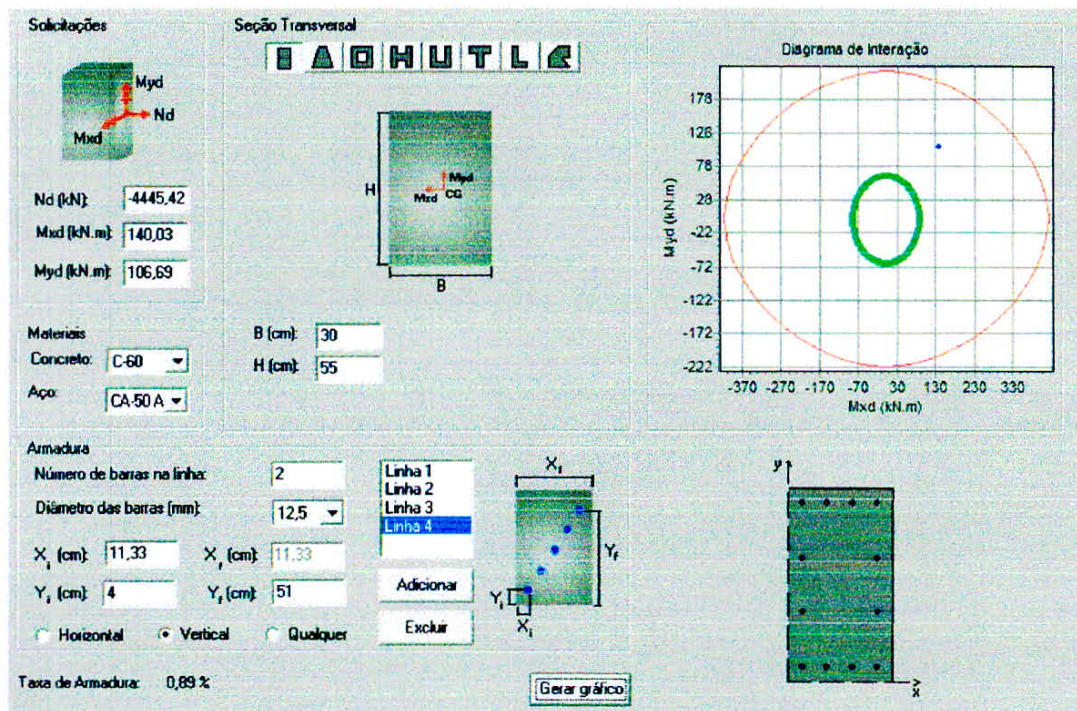
P12 4-5



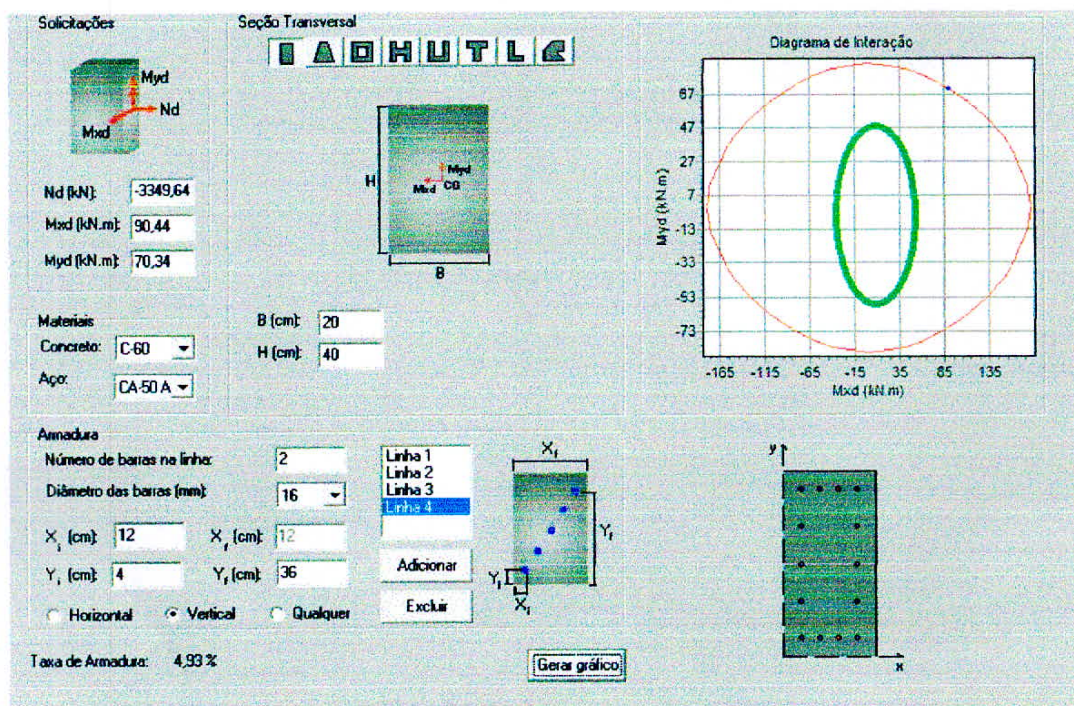
P12 5-6



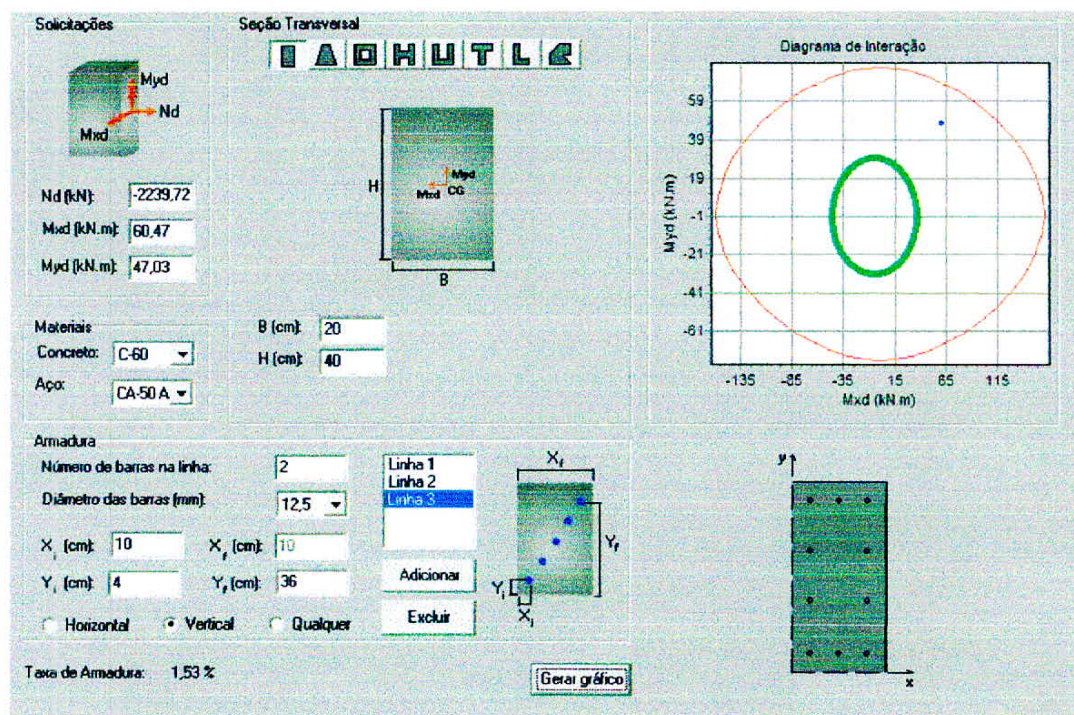
P12 6-7



P12 7-8

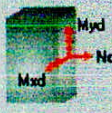


P12 8-9



P12 9-10

Solicitações

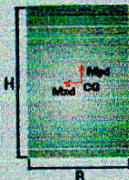


Nd (kN): -1139,46
Mxd (kN.m): 30,77
Myd (kN.m): 23,96

Materiais
Concreto: C-60
Aço: CA-50 A

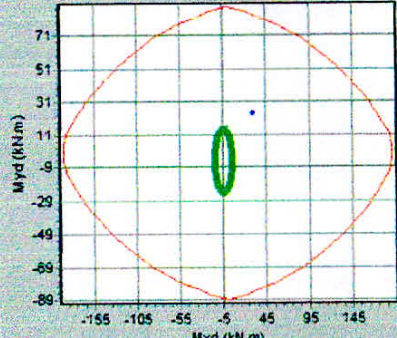
Seção Transversal

IAOHUTLE



B (cm): 20
H (cm): 40

Diagrama de interação



Armadura

Número de barras na linha: 2
Diâmetro das barras (mm): 12,5

X₁ (cm): 10 X₂ (cm): 10
Y₁ (cm): 4 Y₂ (cm): 36

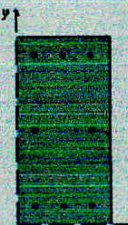

Horizontal Vertical Qualquer

Linha 1
Linha 2
Linha 3

Adicionar
Excluir

Taxa de Armadura: 1,23%

Gerar gráfico



7. COMPARATIVO DE RESULTADOS

O dimensionamento e detalhamento foram realizados com f_{ck} de 30 MPa para classe I de acordo com a NBR 6118: 2003 e NBR 6118: 2014, e f_{ck} de 60 MPa para classe II de acordo com a NBR 6118: 2014.

Para um melhor entendimento foram classificados os tipos de f_{ck} e a NBR utilizada no dimensionamento conforme tabela abaixo.

A	f_{ck} 30 MPa - NBR 6118: 2003
B	f_{ck} 30 MPa - NBR 6118: 2014
C	f_{ck} 60 MPa - NBR 6118: 2014

TABELA12 – Legenda

Fonte: Arquivo pessoal.

7.1 Consumo de aço

MODELO	AÇO (Kg)	EFICIÊNCIA (%)
A	3843,3	100,0
B	4096,3	106,6
C	4715,9	122,7

TABELA13 – Consumo de aço.

Fonte: Arquivo pessoal.

O consumo de aço do modelo B em relação ao A teve um aumento de 6,6%, isso se deve ao fato de que a NBR 6118: 2014 exige que se faça análise dos momentos de 1ª ordem nas duas direções simultaneamente, o que no modelo A foi considerado ou na direção x ou na direção y.

O modelo C, foi o que obteve o maior consumo final de aço, o seu consumo foi maior que os demais modelos, pois sua seção era uma seção inferior às demais.

7.2 Consumo de concreto

MODELO	CONCRETO (m ³)	EFICIÊNCIA (%)
A	19,9	100,0
B	19,1	95,9
C	9,5	47,8

TABELA14 – Consumo de concreto.

Fonte: Arquivo pessoal.

O modelo C, teve um consumo significativamente menor de concreto que os demais modelos, pois a seção dos pilares deste modelo é inferior às demais, pelo fato de ter sido dimensionado com um concreto mais resistente.

7.3 Consumo de Forma

MODELO	FORMA (m ²)	EFICIÊNCIA (%)
A	190,3	100,0
B	182,3	95,8
C	121,2	63,7

TABELA15 – Consumo de forma.

Fonte: Arquivo pessoal.

O modelo C, consumiu consideravelmente menos forma que os demais modelos, pois seu consumo de concreto foi inferior.

7.4 Taxa de armadura

P12	$\rho(\%)$		
	A	B	C
Trecho 0-1	1,60	1,93	3,85
Trecho 1-2	0,84	1,22	2,68
Trecho 2-3	0,64	0,63	1,39
Trecho 3-4	0,50	1,14	1,10
Trecho 4-5	1,52	1,90	2,35
Trecho 5-6	0,60	0,77	1,27
Trecho 6-7	0,51	1,17	0,89
Trecho 7-8	2,25	2,29	4,93
Trecho 8-9	0,50	0,70	1,53
Trecho 9-10	0,40	0,59	1,23

P11	$\rho(\%)$		
	A	B	C
Trecho 0-1	2,67	2,85	6,99
Trecho 1-2	2,00	2,05	5,73
Trecho 2-3	1,25	1,43	3,81
Trecho 3-4	0,58	0,67	2,43
Trecho 4-5	2,42	2,80	5,70
Trecho 5-6	1,07	1,49	3,32
Trecho 6-7	0,53	0,54	1,12
Trecho 7-8	0,53	0,54	7,27
Trecho 8-9	0,40	1,09	2,01
Trecho 9-10	0,40	1,36	0,80

P1	$\rho(\%)$		
	A	B	C
Trecho 0-1	0,44	0,59	4,02
Trecho 1-2	0,44	1,07	4,02
Trecho 2-3	0,40	0,70	5,53
Trecho 3-4	0,40	0,59	3,35
Trecho 4-5	0,40	0,43	4,02
Trecho 5-6	0,40	0,43	4,02
Trecho 6-7	0,40	0,81	3,24
Trecho 7-8	0,53	2,01	2,45
Trecho 8-9	0,53	0,61	2,45
Trecho 9-10	0,53	1,42	4,02

MODELO	AÇO (Kg)	CONCRETO (m³)	Tx. ARMADURA (Kg/m³)
			Aço (Kg) / Concreto (m³)
A	3843,3	19,9	193,1
B	4096,3	19,1	214,5
C	4715,9	9,5	496,4

TABELA16 – Taxa de armadura.

Fonte: Arquivo pessoal.

De acordo com indicadores usuais de estudo, a taxa de armadura ideal de um pilar deve estar entre 150 a 200 Kg de aço por m³ de concreto, ressalva em casos especiais.

A taxa de armadura do modelo B em relação ao modelo A foi superior, devido a necessidade da análise do momento de 1ª ordem nas duas direções simultaneamente, quantitativamente os momentos não mudaram em relação ao modelo A, porém em pilares menos carregados a armadura mínima muitas vezes não cobre o momento mínimo, o que leva ao aumento da armadura.

O modelo C teve a maior taxa de armadura, pois o fato de se ter o menor consumo de concreto gerou um aumento dessa taxa de armadura, além do fato de igualmente ao modelo B,

houve uma necessidade da análise do momento de 1ª ordem nas duas direções simultaneamente.

8. CONCLUSÃO

O conteúdo apresentado tem como objetivo principal fazer um comparativo, em termos quantitativos, das mudanças relativas aos procedimentos de dimensionamento e detalhamento de pilares usuais em edifícios entre a NBR 6118:2003 e a NBR 6118:2014.

Além da alteração significativa da NBR 6118:2014, a respeito das classes de f_{ck} , classes I e II do concreto, a maior alteração realizada nesta NBR 6118:2014 em relação a NBR 6118:2003 na classe I, no conceito de dimensionamento de pilares está em função da verificação da envoltória resistente que englobe a envoltória mínima de 1ª ordem, a análise que era feita dos momentos de 1ª ordem isoladamente, ou em uma direção ou na outra direção, passa a ser feito nas duas direções simultaneamente. Os momentos não mudaram quantitativamente, pois nos comparativos podemos verificar que o consumo de concreto e forma na classe I, sofreu uma leve alteração, já no consumo final de aço verifica-se uma alteração significativa em função desta análise, como exemplo, pilares poucos carregados a armadura mínima muitas vezes não atende o momento mínimo, sendo necessário o aumento da armadura em função da envoltória.

Para o dimensionamento com o f_{ck} da classe II pode-se notar um acréscimo da taxa de armadura, em função do menor consumo de concreto. A viabilidade de uso de dimensionamento com a classe II, seria exclusivamente para obras especiais, ou seja, aquelas que o projeto arquitetônico não permite grandes dimensões em pilares, ou aquelas em que é necessário trabalhar com um concreto de resistência elevada devido a agressividade por exemplo.

9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Projeto de Estruturas de Concreto – Procedimentos (NBR 6118). Rio de Janeiro: ABNT, 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Projeto de Estruturas de Concreto – Procedimentos (NBR 6118). Rio de Janeiro: ABNT, 2014.

CARVALHO, Roberto; PINHEIRO, Libânio. *Cálculo e Detalhamento de Estruturas Usuais de Concreto Armado*. 2 ed. São Paulo: Pini, 2013.

CARVALHO, Roberto; FILHO, Jasson. *Cálculo e Detalhamento de Estruturas Usuais de Concreto Armado*. Segundo a NBR 6118:2003. 3 ed. São Carlos: Edufscar, 2012.

Considerações sobre Aspectos Normativos da Revisão da NBR 6118 – Prof. M.Sc. Antonio de Faria.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. 1991. NBR 12142 - Concreto - Determinação da resistência à tração na flexão em corpos-de-prova prismáticos. Rio de Janeiro, ABNT, 4 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. 1994a. NBR 7222 - Argamassa e concreto - Determinação da resistência à tração por compressão diametral de corpos-de-prova cilíndricos. Rio de Janeiro, ABNT, 3 p.

APÊNDICE A– Dimensionamento e detalhamento do Pilar de extremidade 11

Memorial de cálculo

Pórticos P11- extremidade

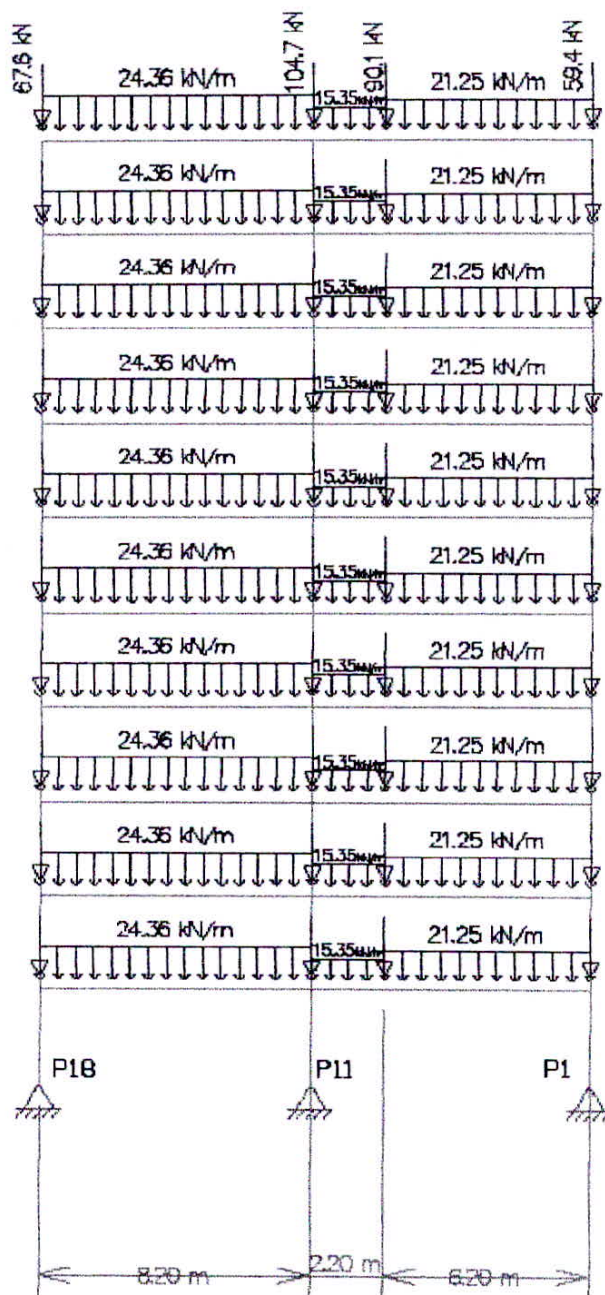


FIGURA 18 – Pórtico P11 transversal, carregamentos finais.

Fonte: FTOOL.

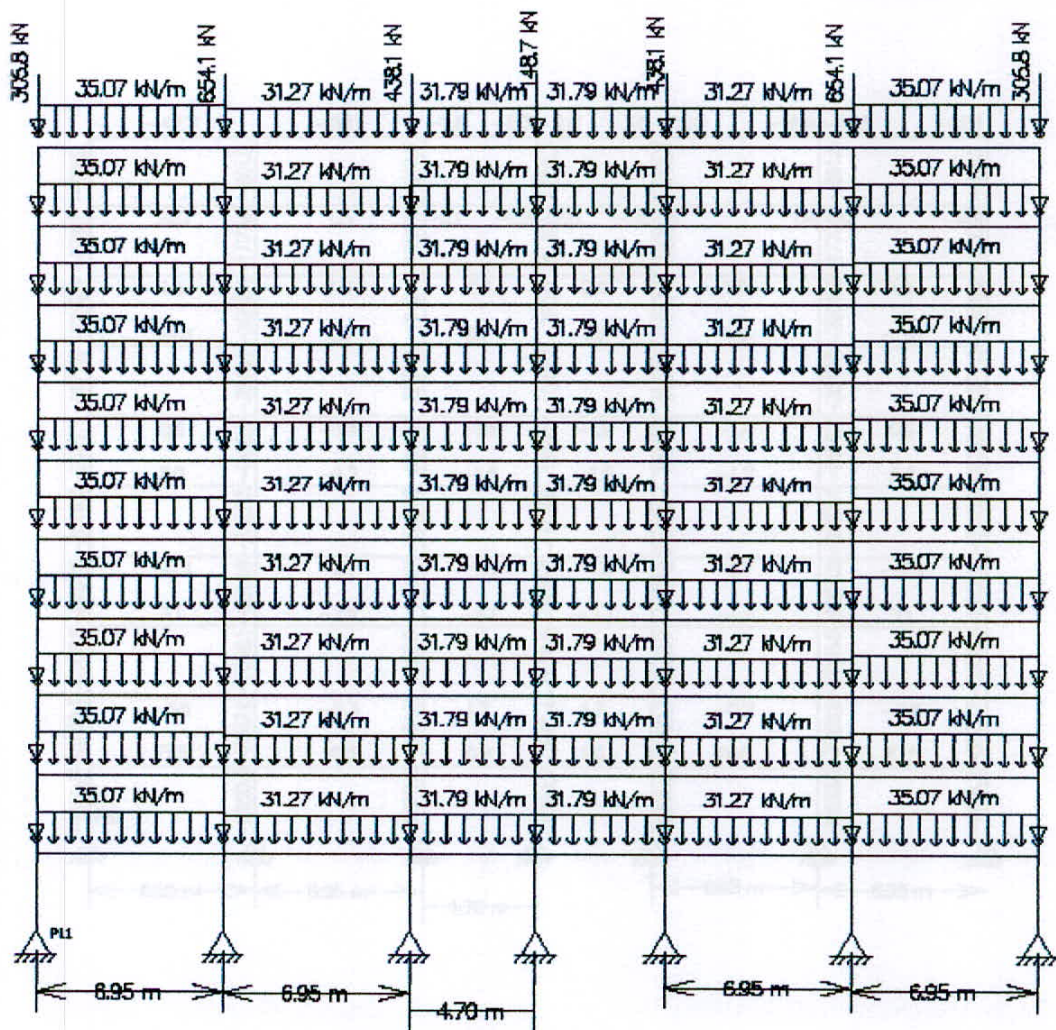


FIGURA 19 – Pórtico P11 longitudinal, carregamentos finais.

Fonte: FTOOL.

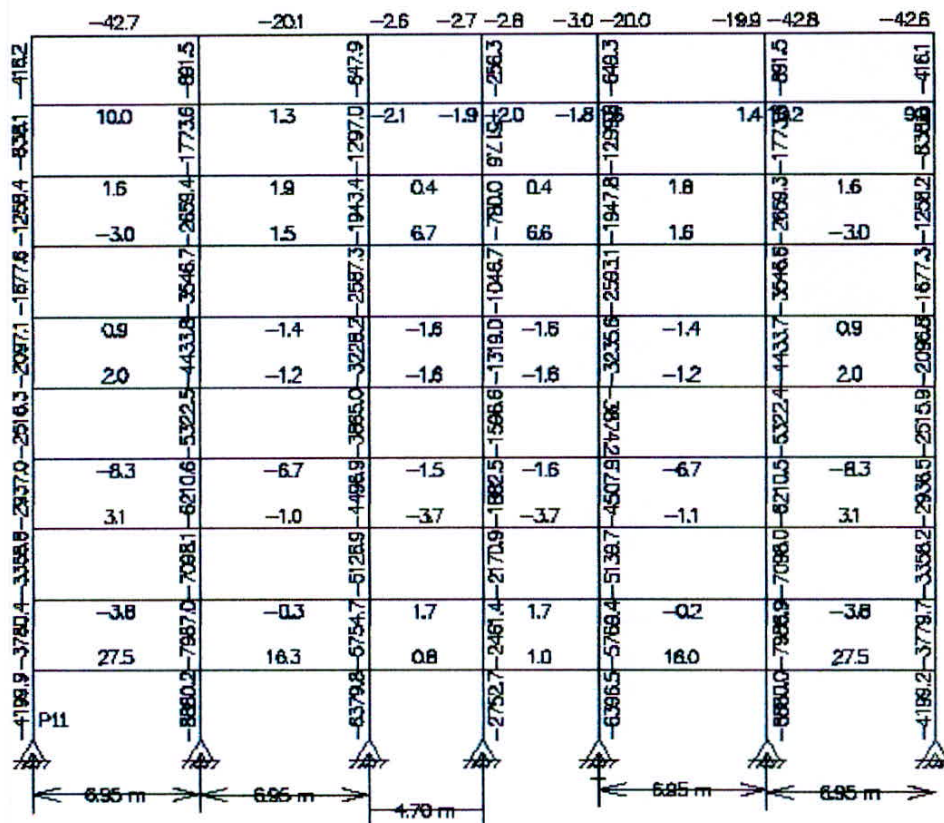


FIGURA 20 – Pórtico P11 longitudinal, Esforços Normais.

Fonte: FTOOL.

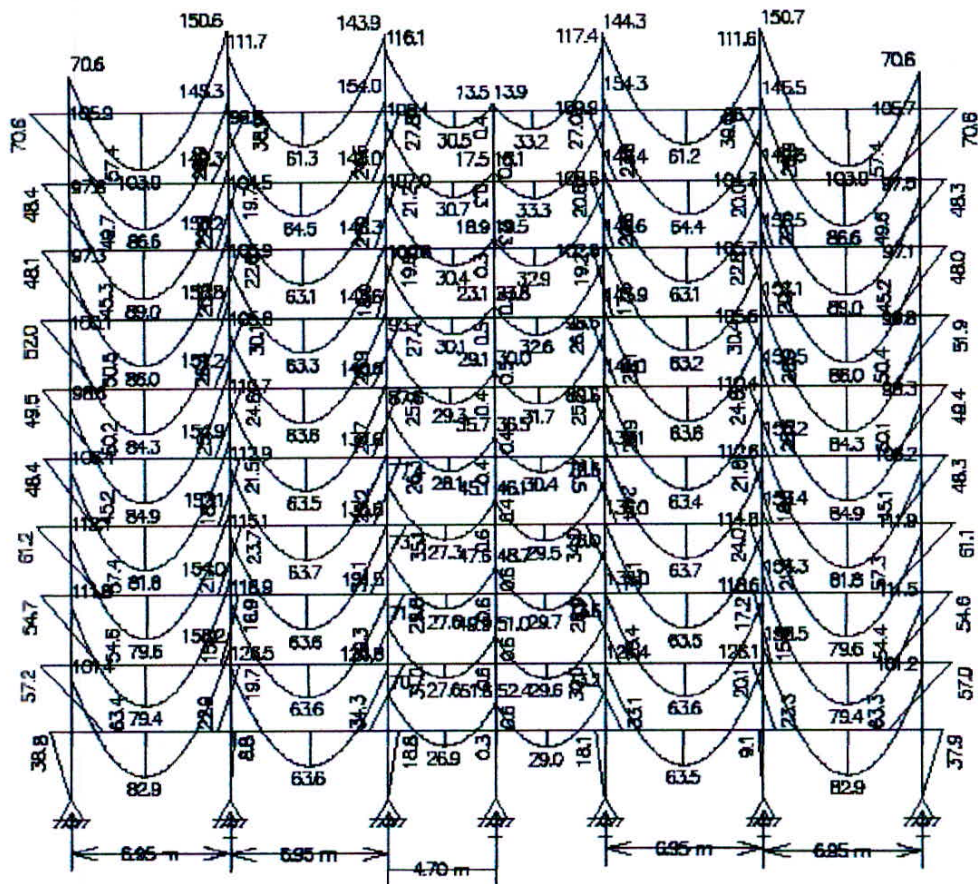


FIGURA 21 – Pórtico P11 longitudinal, Momentos fletores F_{ck} 30 MPa.

Fonte: FTOOL.

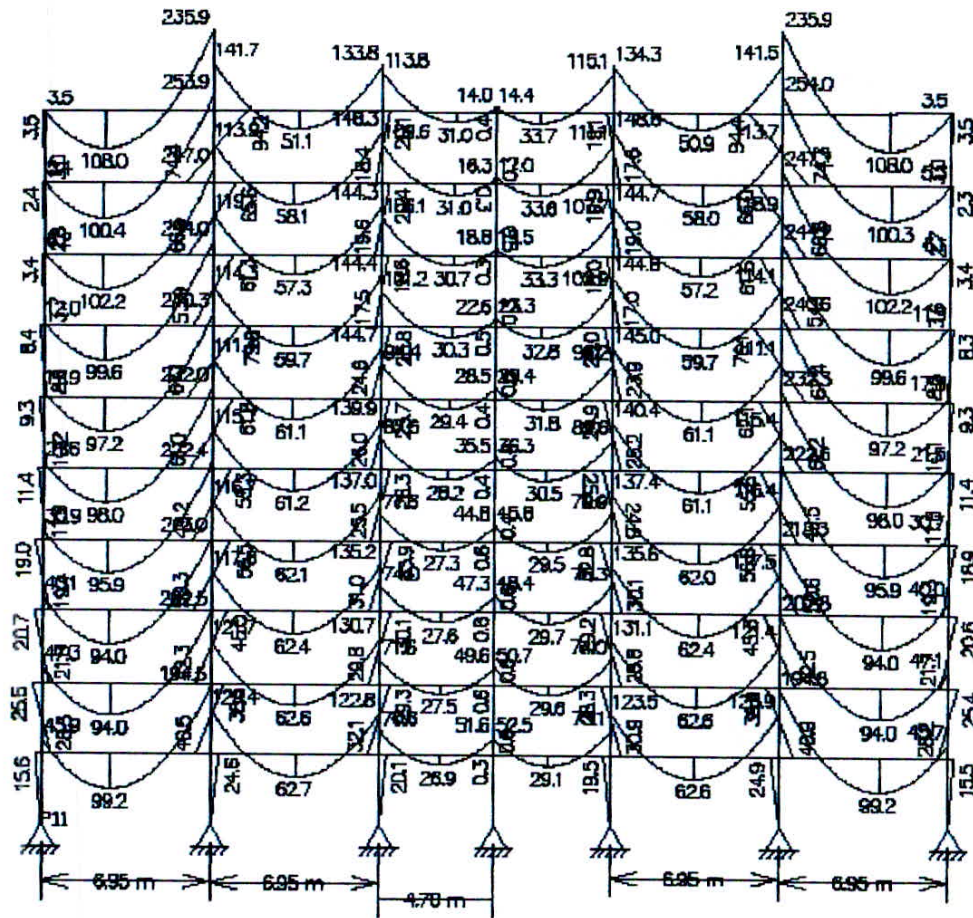


FIGURA 22 – Pórtico P11 longitudinal, Momentos fletores f_{ck} 60 MPa.

Fonte: FTOOL.

Dimensionamento do pilar 11 segundo NBR 6118:2003

O método utilizado foi o Método do pilar padrão com curvatura aproximada, o cálculo mostrado abaixo é de um tramo do pilar 11, o mesmo foi usado para os outros tramo do pilar.

Dados:

Trecho 0-1

$N = 4199,9 \text{ KN}$

Aço CA-50

$F_{ck} = 30 \text{ MPa}$

$M_A, M_{B \text{ em tórnodey}} = 0$

$M_{A \text{ em tórnodey}} = 38,8 \text{ KN.m}$

$M_{B \text{ em tórnodey}} = 0$

- Pré-dimensionamento do pilar

$$A_{c \text{ Ideal}} = \frac{Nd^*}{0,85 f_{cd} + \rho(f_{yd} + 0,85 f_{cd})}$$

$$A_{c \text{ Ideal}} = \frac{4199,9 \cdot 2,1}{0,85 \cdot 3,0 / 1,4 + 1,75 / 100 (50 / 1,15 + 0,85 \cdot 3,0 / 1,4)} = 3373,82 \text{ cm}^2$$

Seção retangular - $b = 0,30\text{m}$, $h = 0,80\text{m}$

- Dimensionamento do pilar

$$l_e \leq \begin{cases} h + l_o \\ l \end{cases}$$

$$l_{e \text{ torno de } x} \leq \begin{cases} 0,80 + 2,7 = 3,50\text{m} \\ 3,1\text{m} \end{cases}$$

$$l_{e \text{ torno de } y} \leq \begin{cases} 0,30 + 2,7 = 3,0\text{m} \\ 3,1\text{m} \end{cases}$$

$$\gamma_n = 1,0 \text{ (} b \geq 19\text{cm)}$$

$$\gamma_r = 1,4 \cdot \gamma_n = 1,4$$

- Índice de esbeltez:

$$\lambda = (l_e \cdot \sqrt{12}) / h$$

$$\lambda_{\text{tornodex}} = \frac{3,10 \cdot \sqrt{12}}{0,80} = 13,42$$

$$\lambda_{\text{tornodey}} = \frac{3,00 \cdot \sqrt{12}}{0,3} = 34,64$$

- Momento mínimo:

$$M_{1d,\min} = N_d \cdot (0,015 + 0,03 \cdot b)$$

$M_{1d,\min}$ em torno de x;

$$M_{1d,\min} = 4199,9 \cdot 1,4 \cdot (0,015 + 0,03 \cdot 0,80) = \mathbf{229,31 \text{ KN}\cdot\text{m}}$$

$M_{1d,\min}$ em torno de y;

$$M_{1d,\min} = 4199,9 \cdot 1,4 \cdot (0,015 + 0,03 \cdot 0,3) = \mathbf{141,12 \text{ KN}\cdot\text{m}}$$

- Excentricidade acidental:

$$\theta_{1\max} \geq \theta_1 \geq \theta_{1\min}$$

$$\theta_1 = \frac{1}{100 \cdot \sqrt{l}} = \frac{1}{100 \cdot \sqrt{2,70}} = 0,006$$

$$\theta_{1\min} = \frac{1}{300} = 0,0033$$

$$\theta_{1\max} = \frac{1}{200} = \mathbf{0,005rad}$$

- Momento $M_{1d,A}$ Acidental;

$$M_{1d,A} = \theta_1 \cdot \ell e \cdot Nd$$

$$\text{Em torno de x, } M_{1d,A} = 0,005 \cdot 3,1 \cdot 4199,9 \cdot 1,4 = \mathbf{91,14 \text{ KN.m}}$$

$$\text{Em torno de y, } M_{1d,A} = 0,005 \cdot 3,0 \cdot 4199,9 \cdot 1,4 = \mathbf{88,20 \text{ KN.m}}$$

$$\alpha_b = 0,60 + 0,40 \cdot \frac{M_A}{M_B} \geq 0,4$$

Em torno de x

Como $M_A, M_B = 0$, logo $M_{dA} < M_{1d,\min}$, portanto $\alpha_b = \mathbf{1,0}$

Em torno de y

$$\alpha_b = 0,60 + 0,40 \cdot \frac{M_A}{M_B} \geq 0,4$$

$$\alpha_b = 0,60 + 0,40 \cdot \frac{38,8}{0} \geq 0,4$$

$$\alpha_b = 0,60$$

$$M_{dA} = 38,8 \cdot 1,4 = 54,34 \text{ KN.m}$$

logo $M_{dA} < M_{1d,\min}$, portanto $\alpha_b = \mathbf{1,0}$

$$\lambda_{1 \text{ calc.}} = \frac{25 + 12,5 \cdot \frac{e_1}{h}}{\alpha_b}$$

$$\text{Em que } e_1 = \frac{M_d}{Nd}$$

$\lambda_{1 \text{ calc}}$ em torno de x;

$$e_1 = \frac{229,31}{4199,9 \cdot 1,4} = 0,03899 \text{ m ou } \mathbf{3,899 \text{ cm}}$$

$$\lambda_{1 \text{ calc.}} = \frac{25 + 12,5 \cdot \frac{3,899}{80}}{1,00} = \mathbf{25,61}$$

$$35 \leq \lambda_1 \leq 90$$

$$\lambda_1 = 35$$

$\lambda_{1 \text{ calc}}$ em torno de y;

$$e_1 = \frac{141,12}{4199,9 \cdot 1,4} = 0,024 \text{ m ou } \mathbf{2,4 \text{ cm}}$$

$$\lambda_{1 \text{ calc.}} = \frac{25 + 12,5 \cdot \frac{2,4}{30}}{1,00} = \mathbf{26,00}$$

$$35 \leq \lambda_1 \leq 90$$

$$\lambda_1 = 35$$

Como $\lambda < \lambda_1$ nas duas direções os efeitos de segunda ordem podem ser desconsiderados.

- Determinação da armadura:

$$v = N_{sd} / (A_c \cdot f_{cd})$$

$$v = 1,4 \cdot 4199,9 / (30 \cdot 80 \cdot 3 / 1,4) = \mathbf{1,14}$$

$$\mu = \frac{M_d}{A_c \cdot h \cdot f_{cd}}$$

Em torno de x

$$\mu = \frac{22931}{30 \cdot 80 \cdot 80 \cdot \frac{3,0}{1,4}} = \mathbf{0,06}$$

$$d' = 5 \text{ cm}$$

$$d'/h = 0,05/0,80 = 0,06$$

$$\omega = 0,4 \text{ ábaco}$$

$$A_s = (\omega \cdot A_c \cdot f_{cd}) / f_{yd}$$

$$A_s = \frac{0,4 \cdot 30 \cdot 80 \cdot \frac{3,0}{1,4}}{\frac{50}{1,15}} = 47,31 \text{ cm}^2$$

Em torno de y

$$\mu = \frac{14112}{30 \cdot 80 \cdot 30 \cdot \frac{3,0}{1,4}} = 0,09$$

$$d' = 5 \text{ cm}$$

$$d'/h = 0,05/0,30 = 0,17$$

$$\omega = 0,55 \text{ ábaco}$$

$$A_s = (\omega \cdot A_c \cdot f_{cd}) / f_{yd}$$

$$A_s = \frac{0,55 \cdot 30 \cdot 80 \cdot \frac{3,0}{1,4}}{\frac{50}{1,15}} = 65,06 \text{ cm}^2$$

- Armadura mínima;

$$A_{smin} = 0,15 \cdot \frac{f_{cd}}{f_{yd}} \cdot v \cdot A_c$$

$$A_{smin} = 0,15 \cdot \frac{\frac{3,0}{1,4}}{\frac{50}{1,15}} \cdot 1,14 \cdot 30 \cdot 80 = 20,29 \text{ cm}^2$$

$$A_{smáx} = \frac{8}{100} \cdot 30 \cdot 80 = 192 \text{ cm}^2$$

Como $A_{smin} < A_{stomodex} < A_{smáx}$, portanto $A_s = 47,31 \text{ cm}^2$.

Como $A_{smin} < A_{stomodey} < A_{smáx}$, portanto $A_s = 65,05 \text{ cm}^2$.

$$A_{\text{stornodex}} = 47,31 \text{ cm}^2$$

$$6 \text{ } \varnothing 32 \text{ mm}$$

$$A_{\text{stornodey}} = 65,05 \text{ cm}^2$$

$$8 \text{ } \varnothing 32 \text{ mm} = 64 \text{ cm}^2$$

$$\text{Taxa de armadura} = 64 / (30.80) \cdot 100 = 2,67\%$$

Estribo com $\varnothing 6,3 \text{ mm}$

$$S \leq \begin{cases} 200 \text{ mm} \\ \text{menor dimensão} \\ 12 \cdot \varnothing \text{ barra} \end{cases}$$

$$S \leq \begin{cases} 200 \text{ mm} \\ 300 \text{ mm} \\ 12 \cdot 32 \text{ mm} = 384 \text{ mm} \end{cases}$$

$$S = 200 \text{ mm}$$

$$N = 3,1 / 20 = 16 \text{ estribos}$$

Estribos adicionais

$$20 \cdot \varnothing_1 = 20 \cdot 0,63 = 12,6$$

Comprimento gancho do estribo

$$5 \cdot \varnothing_1 = 5 \cdot 3,2 = 16 \text{ cm} \cdot 2 = 32 \text{ cm}$$

- Diâmetro mínimo e máximo da armadura longitudinal

$$10 \text{ mm} \leq \varnothing \leq 1/8 \text{ da menor dimensão transversal do pilar}$$

$$\varnothing = 32 \text{ mm}$$

$$10 \text{ mm} \leq 32 \text{ mm} \leq 1/8 \cdot 300 \rightarrow 10 \text{ mm} \leq 32 \text{ mm} \leq 37,5 \text{ mm}$$

- Espaçamento mínimo e máximo da armadura longitudinal

$$e_{\min} \geq \begin{cases} 20 \text{ mm} \\ \emptyset_l \\ 1,2 \cdot d_{\text{máx. agr.}} \end{cases}$$

$$e_{\max} \leq \begin{cases} 2 \cdot \text{menor dimensão seção} \\ 400 \text{ mm} \end{cases}$$

$$e_{\min} \geq \begin{cases} 20 \text{ mm} \\ \mathbf{32 \text{ mm}} \\ 1,2 \cdot 1,9 = 23 \text{ mm} \end{cases}$$

$$e_{\max} \leq \begin{cases} 2 \cdot 300 = 600 \text{ mm} \\ \mathbf{400 \text{ mm}} \end{cases}$$

$$e_{\text{calc}} = \frac{80 - 2,4}{7} = \mathbf{23 \text{ cm}}$$

- Emendas por traspasse

$$L_{b, \text{nec}} = \alpha_1 \cdot l_b \cdot \frac{A_{s, \text{nec}}}{A_{s, \text{ef}}}$$

$$L_b = \frac{f_{yd}}{f_{bd}} \cdot \frac{\emptyset}{4}$$

$$F_{bd} = \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot \eta_3 \cdot f_{ctd}$$

$$\eta_1 = 2,25 \text{ barras CA-50}$$

$$\eta_2 = 1,0 \text{ boa aderência}$$

$$\eta_3 = 1,0$$

$$f_{ctd} = \frac{f_{ctk, \text{inf}}}{\gamma_c} = \frac{0,21 \cdot \sqrt[3]{f_{ck}^2}}{1,4}$$

Logo,

$$f_{ctd} = \frac{0,21 \cdot \sqrt[3]{30^2}}{1,4} = \mathbf{1,44 \text{ MPa}}$$

$$F_{bd} = 2,25 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,44 = 3,25 \text{ MPa}$$

$$L_b = \frac{500}{3,25} \cdot \frac{3,2}{4} = 108 \text{ cm}$$

$$L_{b,nec} = 1 \cdot 108 \cdot 1 = 108 \text{ cm}$$

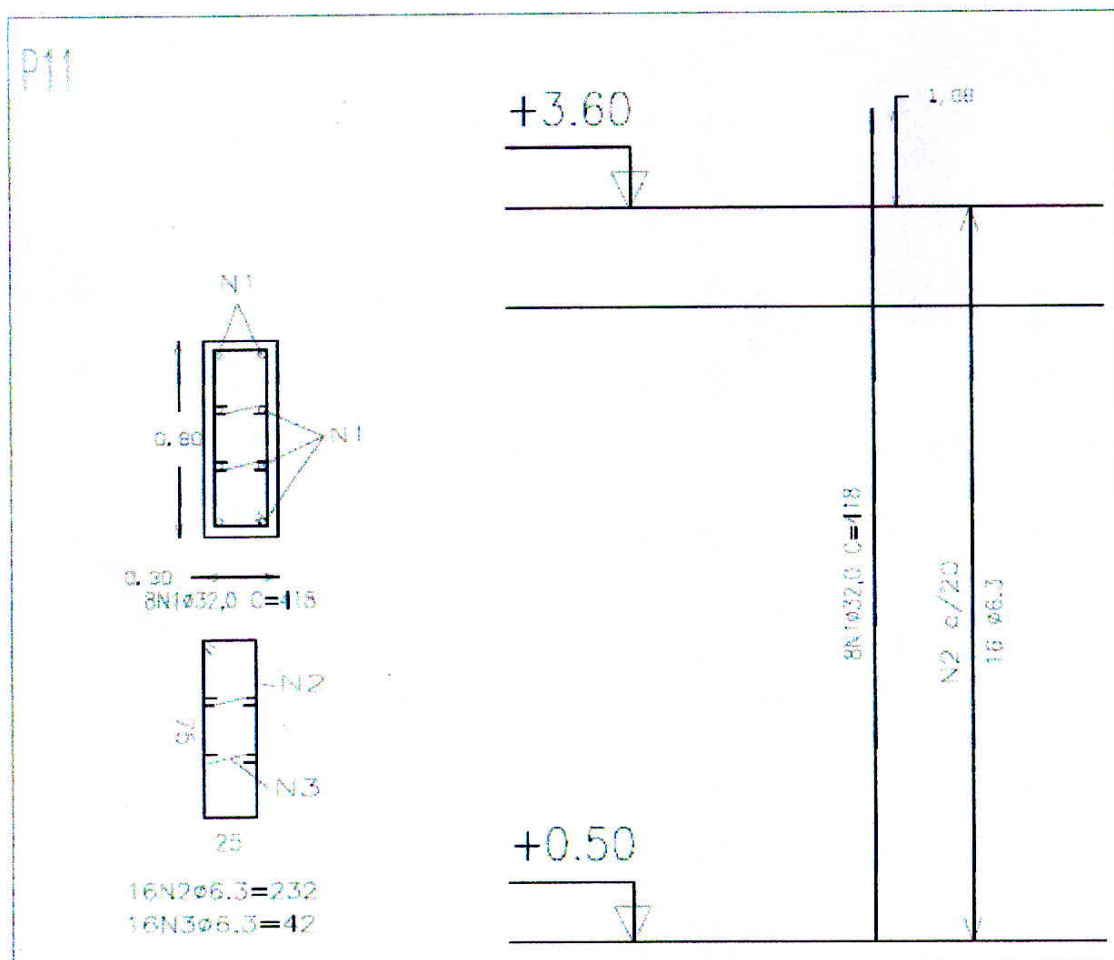


FIGURA 23 – detalhamento P11 NBR 6118:2003.

Fonte: FTOOL.

Dimensionamento do pilar 11 segundo NBR 6118:2014

O método utilizado foi o Método do pilar padrão com curvatura aproximada, o cálculo mostrado abaixo é de um tramo do pilar 11, o mesmo foi usado para os outros tramo do pilar.

Dados:

Trecho 0-1

$N = 4199,9 \text{ KN}$

Aço CA-50

$F_{ck} = 30 \text{ MPa}$

$M_A, M_{B \text{ emtornode}x} = 0$

$M_{A \text{ emtornode}y} = 38,8 \text{ KN.m}$

$M_{B \text{ emtornode}y} = 0$

- Pré-dimensionamento do pilar

$$A_{c \text{ Ideal}} = \frac{Nd^*}{0,85 f_{cd} + \rho(f_{yd} + 0,85 f_{cd})}$$

$$A_{c \text{ Ideal}} = \frac{4199,9 \cdot 2,1}{0,85 \cdot 3,0 / 1,4 + 1,75 / 100 (50 / 1,15 + 0,85 \cdot 3,0 / 1,4)} = 3373,82 \text{ cm}^2$$

Seção retangular - $b = 0,30\text{m}$, $h = 0,80\text{m}$

- Dimensionamento do pilar

$$l_e \leq \begin{cases} h + l_o \\ l \end{cases}$$

$$l_{e \text{ torno de } x} \leq \begin{cases} 0,80 + 2,7 = 3,50\text{m} \\ 3,1\text{m} \end{cases}$$

$$l_{e \text{ torno de } y} \leq \begin{cases} 0,30 + 2,7 = 3,0\text{m} \\ 3,1\text{m} \end{cases}$$

$$\gamma_n = 1,0 \text{ (} b \geq 19\text{cm)}$$

$$\gamma_r = 1,4 \cdot \gamma_n = 1,4$$

- Índice de esbeltez:

$$\lambda = (l_e \cdot \sqrt{12}) / h$$

$$\lambda_{\text{tomodex}} = \frac{3,10 \cdot \sqrt{12}}{0,80} = 13,42$$

$$\lambda_{\text{tomodey}} = \frac{3,00 \cdot \sqrt{12}}{0,3} = 34,64$$

- Momento mínimo:

$$M_{1d,\min} = N_d \cdot (0,015 + 0,03 \cdot b)$$

$$M_{1d,\min} \text{ em torno de } x;$$

$$M_{1d,\min} = 4199,9 \cdot 1,4 \cdot (0,015 + 0,03 \cdot 0,80) = 229,31 \text{ KN.m}$$

$$M_{1d,\min} \text{ em torno de } y;$$

$$M_{1d,\min} = 4199,9 \cdot 1,4 \cdot (0,015 + 0,03 \cdot 0,3) = 141,12 \text{ KN.m}$$

- Excentricidade accidental:

$$\theta_{1\max} \geq \theta_1 \geq \theta_{1\min}$$

$$\theta_1 = \frac{1}{100 \cdot \sqrt{l}} = \frac{1}{100 \cdot \sqrt{2,70}} = 0,006$$

$$\theta_{1\min} = \frac{1}{300} = 0,0033$$

$$\theta_{1\max} = \frac{1}{200} = 0,005\text{rad}$$

- Momento $M_{1d,A}$ Acidental:

$$M_{1d,A} = \theta_1 \cdot \ell e \cdot Nd$$

$$\text{Em torno de x, } M_{1d,A} = 0,005 \cdot 3,1 \cdot 4199,9 \cdot 1,4 = 91,14 \text{ KN.m}$$

$$\text{Em torno de y, } M_{1d,A} = 0,005 \cdot 3,0 \cdot 4199,9 \cdot 1,4 = 88,20 \text{ KN.m}$$

$$\alpha_b = 0,60 + 0,40 \cdot \frac{M_A}{M_B} \geq 0,4$$

Em torno de x

Como $M_A, M_B = 0$, logo $M_{dA} < M_{1d,\min}$, portanto $\alpha_b = 1,0$

Em torno de y

$$\alpha_b = 0,60 + 0,40 \cdot \frac{M_A}{M_B} \geq 0,4$$

$$\alpha_b = 0,60 + 0,40 \cdot \frac{38,8}{0} \geq 0,4$$

$$\alpha_b = 0,60$$

$$M_{dA} = 38,8 \cdot 1,4 = 54,34 \text{ KN.m}$$

logo $M_{dA} < M_{1d,\min}$, portanto $\alpha_b = 1,0$

$$\lambda_{1 \text{ calc.}} = \frac{25 + 12,5 \cdot \frac{e_1}{h}}{\alpha_b}$$

Em que $e_1 = \frac{M_d}{Nd}$.

$\lambda_{1 \text{ calc}}$ em torno de x;

$$e_1 = \frac{229,31}{4199,9 \cdot 1,4} = 0,03899 \text{ m ou } \mathbf{3,899 \text{ cm}}$$

$$\lambda_{1 \text{ calc.}} = \frac{25 + 12,5 \cdot \frac{3,899}{80}}{1,00} = \mathbf{25,61}$$

$$35 \leq \lambda_1 \leq 90$$

$$\lambda_1 = 35$$

λ_1 calc em torno de y;

$$e_1 = \frac{141,12}{4199,9 \cdot 1,4} = 0,024 \text{ m ou } \mathbf{2,4 \text{ cm}}$$

$$\lambda_{1 \text{ calc.}} = \frac{25 + 12,5 \cdot \frac{2,4}{30}}{1,00} = \mathbf{26,00}$$

$$35 \leq \lambda_1 \leq 90$$

$$\lambda_1 = 35$$

Como $\lambda < \lambda_1$ nas duas direções os efeitos de segunda ordem podem ser desconsiderados.

- Determinação da armadura:

$$v = N_{sd} / (A_c f_{cd})$$

$$v = 1,4 \cdot 4199,9 / (30 \cdot 80 \cdot 3 / 1,4) = \mathbf{1,14}$$

$$\mu = \frac{M_d}{A_c \cdot h \cdot f_{cd}}$$

Em torno de x

$$\mu = \frac{22931}{30 \cdot 80 \cdot 80 \cdot \frac{3,0}{1,4}} = \mathbf{0,06}$$

$$d' = 5 \text{ cm}$$

$$d'/h = 0,05/0,80 = \mathbf{0,06}$$

$$\omega = 0,4 \text{ ábaco}$$

$$A_s = (\omega \cdot A_c \cdot f_{cd}) / f_{yd}$$

$$A_s = \frac{0,4 \cdot 30 \cdot 80 \cdot \frac{3,0}{1,4}}{\frac{50}{1,15}} = \mathbf{47,31 \text{ cm}^2}$$

Em torno de y

$$\mu = \frac{14112}{30 \cdot 80 \cdot 30 \cdot \frac{3,0}{1,4}} = 0,09$$

$$d' = 5 \text{ cm}$$

$$d'/h = 0,05/0,30 = 0,17$$

$$\omega = 0,55 \text{ ábaco}$$

$$A_s = (\omega \cdot A_c \cdot f_{cd}) / f_{yd}$$

$$A_s = \frac{0,55 \cdot 30 \cdot 80 \cdot \frac{3,0}{1,4}}{\frac{50}{1,15}} = \mathbf{65,06 \text{ cm}^2}$$

- Armadura mínima;

$$A_{smin} = 0,15 \cdot \frac{f_{cd}}{f_{yd}} \cdot v \cdot A_c$$

$$A_{smin} = 0,15 \cdot \frac{\frac{3,0}{1,4}}{\frac{50}{1,15}} \cdot 1,14 \cdot 30 \cdot 80 = \mathbf{20,29 \text{ cm}^2}$$

$$A_{smáx} = \frac{8}{100} \cdot 30 \cdot 80 = \mathbf{192 \text{ cm}^2}$$

Como $A_{smin} < A_{stornodex} < A_{smáx}$, portanto $A_s = \mathbf{47,31 \text{ cm}^2}$.

Como $A_{smin} < A_{stornodey} < A_{smáx}$, portanto $A_s = \mathbf{65,05 \text{ cm}^2}$.

Conforme NBR 6118: 2014, a figura abaixo mostra os momentos nas duas direções simultaneamente para a determinação das armaduras longitudinais,

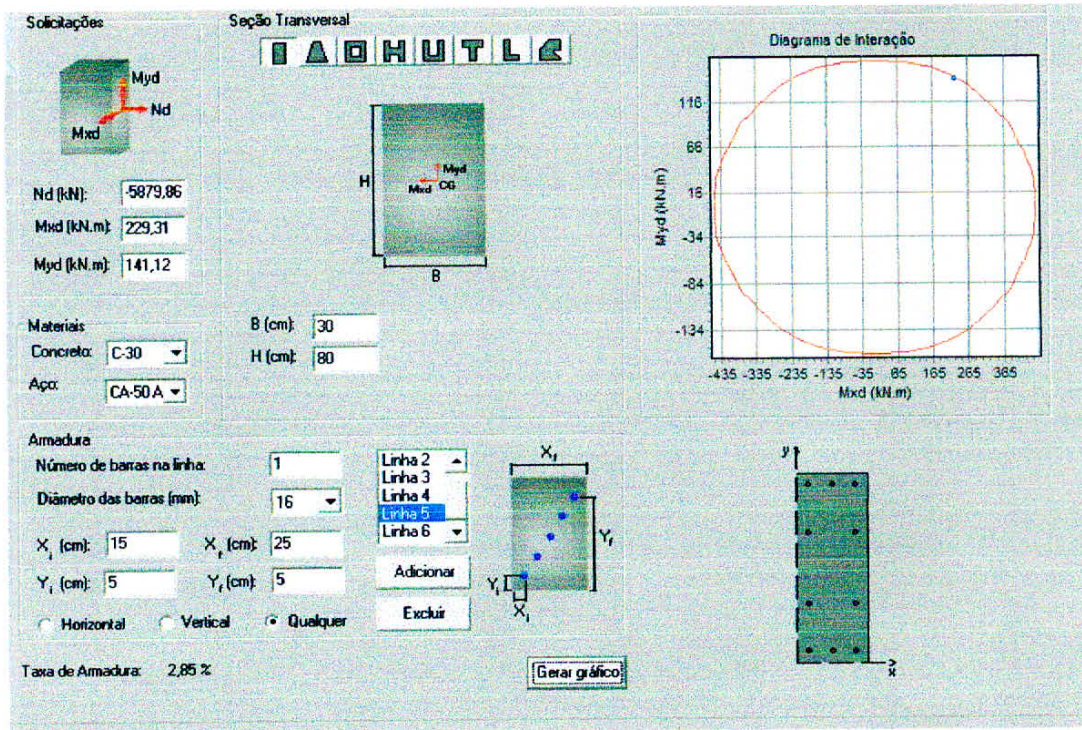


FIGURA 24 – Verificação da armadura P11 NBR 6118:2014.

Fonte: FTOOL.

$$A_{s,efetivo} = 8 \text{ } \emptyset \text{ de } 32 \text{ mm} = 64 \text{ cm}^2$$

$$2 \text{ } \emptyset \text{ de } 16 \text{ mm} = 4 \text{ cm}^2$$

$$\text{Taxa de armadura} = 2,85 \%$$

Estribo com \emptyset 6,3 mm

$$S \leq \begin{cases} 200 \text{ mm} \\ \text{menor dimensão} \\ 12 \cdot \emptyset \text{ barra} \end{cases}$$

$$S \leq \begin{cases} 200 \text{ mm} \\ 300 \text{ mm} \\ 12 \cdot 32 \text{ mm} = 384 \text{ mm} \end{cases}$$

$$S = 200 \text{ mm}$$

$$N=3,1/20 = 16 \text{ estribos}$$

Estribos adicionais

$$20 \cdot \emptyset_t = 20 \cdot 0,63 = 12,6$$

Comprimento gancho do estribo

$$5 \cdot \emptyset_t = 5 \cdot 3,2 = 16 \text{ cm} \cdot 2 = 32 \text{ cm}$$

- Diâmetro mínimo e máximo da armadura longitudinal

$10 \text{ mm} \leq \emptyset \leq 1/8$ da menor dimensão transversal do pilar

$$\emptyset = 32 \text{ mm}$$

$$10 \text{ mm} \leq 32 \text{ mm} \leq 1/8 \cdot 300 \rightarrow 10 \text{ mm} \leq 32 \text{ mm} \leq 37,5 \text{ mm}$$

- Espaçamento mínimo e máximo da armadura longitudinal

$$e_{\min} \geq \begin{cases} 20 \text{ mm} \\ \emptyset_t \\ 1,2 \cdot d_{\text{máx. agr.}} \end{cases}$$

$$e_{\max} \leq \begin{cases} 2 \cdot \text{menor dimensão seção} \\ 400 \text{ mm} \end{cases}$$

$$e_{\min} \geq \begin{cases} 20 \text{ mm} \\ \mathbf{32 \text{ mm}} \\ 1,2 \cdot 1,9 = 23 \text{ mm} \end{cases}$$

$$e_{\max} \leq \begin{cases} 2 \cdot 300 = 600 \text{ mm} \\ \mathbf{400 \text{ mm}} \end{cases}$$

$$e_{\text{calc}} = \frac{80 - 2,4}{7} = \mathbf{23 \text{ cm}}$$

- Emendas por traspasse

$$L_{b,nec} = \alpha_1 \cdot l_b \cdot \frac{A_{s,nec}}{A_{s,ef}}$$

$$L_b = \frac{f_{yd}}{f_{bd}} \cdot \frac{\emptyset}{4}$$

$$F_{bd} = \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot \eta_3 \cdot f_{ctd}$$

$$\eta_1 = 2,25 \text{ barras CA-50}$$

$$\eta_2 = 1,0 \text{ boa aderência}$$

$$\eta_3 = 1,0$$

$$f_{ctd} = \frac{f_{ctk,inf}}{\gamma_c} = \frac{0,21 \cdot \sqrt[3]{f_{ck}^2}}{1,4}$$

Logo,

$$f_{ctd} = \frac{0,21 \cdot \sqrt[3]{30^2}}{1,4} = 1,44 \text{ MPa}$$

$$F_{bd} = 2,25 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,44 = 3,25 \text{ MPa}$$

$$L_b = \frac{500}{3,25} \cdot \frac{3,2}{4} = 108 \text{ cm}$$

$$L_{b,nec} = 1 \cdot 108 \cdot 1 = 108 \text{ cm}$$

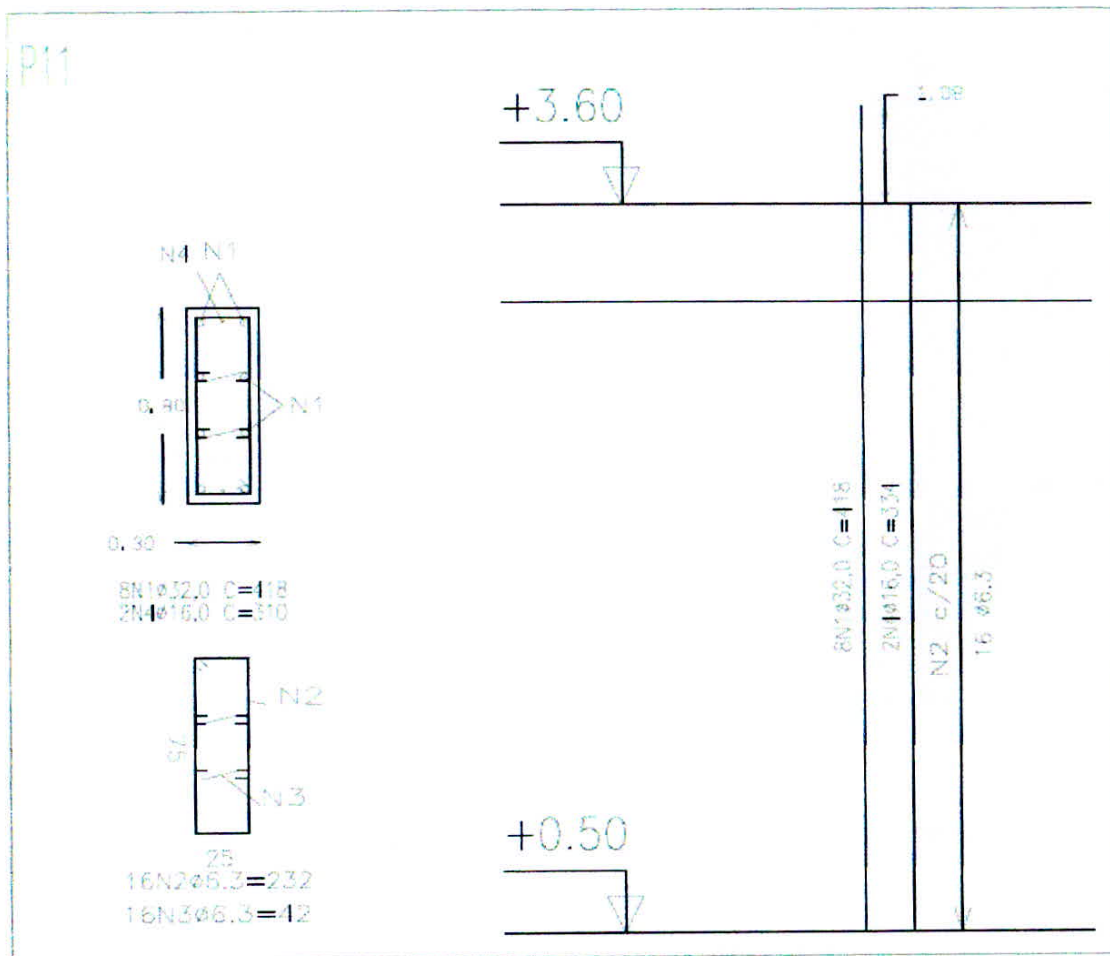


FIGURA 25 – detalhamento P11 NBR 6118:2014 f_{ck} 30 MPa.

Fonte: Pessoal.

Dimensionamento do pilar 11 segundo NBR 6118:2014 f_{ck} 60 MPa

O método utilizado foi o Método do pilar padrão com curvatura aproximada, o cálculo mostrado abaixo é de um tramo do pilar 11, o mesmo foi usado para os outros tramo do pilar.

Dados:

Trecho 0-1

$$N = 4199,9 \text{ KN}$$

Aço CA-50

$$F_{ck} = 60 \text{ MPa}$$

$$M_{A,B \text{ em tórnode}} = 0$$

$$M_{A \text{ em tórnode}} = 15,6 \text{ KN.m}$$

$$M_{B \text{ em tórnode}} = 0$$

- Pré-dimensionamento do pilar

$$A_{c \text{ Ideal}} = \frac{Nd^*}{0,85 f_{cd} + \rho(f_{yd} + 0,85 f_{cd})}$$

$$A_{c \text{ Ideal}} = \frac{4199,9 \cdot 2,1}{0,85 \cdot 6,0 / 1,4 + 1,75 / 100 (50 / 1,15 + 0,85 \cdot 6,0 / 1,4)} = 1974,22 \text{ cm}^2$$

Seção retangular - $b = 0,20\text{m}$, $h = 0,60\text{m}$

- Dimensionamento do pilar

$$l_e \leq \begin{cases} h + l_o \\ l \end{cases}$$

$$l_{e \text{ torno de } x} \leq \begin{cases} 0,60 + 2,7 = 3,30\text{m} \\ 3,1\text{m} \end{cases}$$

$$l_{e \text{ torno de } y} \leq \begin{cases} 0,20 + 2,7 = 2,90\text{m} \\ 3,1\text{m} \end{cases}$$

$$\gamma_n = 1,0 \text{ (} b \geq 19\text{cm)}$$

$$\gamma_r = 1,4 \cdot \gamma_n = 1,4$$

- Índice de esbeltez:

$$\lambda = (\ell e \cdot \sqrt{12}) / h$$

$$\lambda_{\text{tornodex}} = \frac{3,10 \cdot \sqrt{12}}{0,60} = 17,90$$

$$\lambda_{\text{tornodey}} = \frac{2,90 \cdot \sqrt{12}}{0,2} = 50,22$$

- Momento mínimo:

$$M_{1d,\min} = N_d \cdot (0,015 + 0,03 \cdot b)$$

$M_{1d,\min}$ em torno de x;

$$M_{1d,\min} = 4199,9 \cdot 1,4 \cdot (0,015 + 0,03 \cdot 0,60) = \mathbf{194,04 \text{ KN.m}}$$

$M_{1d,\min}$ em torno de y;

$$M_{1d,\min} = 4199,9 \cdot 1,4 \cdot (0,015 + 0,03 \cdot 0,2) = \mathbf{123,48 \text{ KN.m}}$$

- Excentricidade acidental:

$$\theta_{1\text{máx}} \geq \theta_1 \geq \theta_{1\text{min}}$$

$$\theta_1 = \frac{1}{100 \cdot \sqrt{l}} = \frac{1}{100 \cdot \sqrt{2,70}} = 0,006$$

$$\theta_{1\text{min}} = \frac{1}{300} = 0,0033$$

$$\theta_{1\text{máx}} = \frac{1}{200} = \mathbf{0,005\text{rad}}$$

- Momento $M_{1d,A}$ Acidental:

$$M_{1d,A} = \theta_1 \cdot \ell e \cdot N_d$$

$$\text{Em torno de x, } M_{1d,A} = 0,005 \cdot 3,1 \cdot 4199,9 \cdot 1,4 = \mathbf{91,14 \text{ KN.m}}$$

$$\text{Em torno de y, } M_{1d,A} = 0,005 \cdot 2,9 \cdot 4199,9 \cdot 1,4 = \mathbf{85,26 \text{ KN.m}}$$

$$\alpha_b = 0,60 + 0,40 \cdot \frac{M_A}{M_B} \geq 0,4$$

Em torno de x

Como $M_A, M_B = 0$, logo $M_{dA} < M_{1d, \min}$, portanto $\alpha_b = 1,0$

Em torno de y

$$\alpha_b = 0,60 + 0,40 \cdot \frac{M_A}{M_B} \geq 0,4$$

$$\alpha_b = 0,60 + 0,40 \cdot \frac{15,6}{0} \geq 0,4$$

$$\alpha_b = 0,60$$

$$M_{dA} = 15,6 \cdot 1,4 = 21,84 \text{ KN.m}$$

logo $M_{dA} < M_{1d, \min}$, portanto $\alpha_b = 1,0$

$$\lambda_{1 \text{ calc.}} = \frac{25 + 12,5 \cdot \frac{e_1}{h}}{\alpha_b}$$

$$\text{Em que } e_1 = \frac{M_d}{N_d}$$

$\lambda_{1 \text{ calc}}$ em torno de x;

$$e_1 = \frac{194,04}{4199,9 \cdot 1,4} = 0,033 \text{ m ou } \mathbf{3,30 \text{ cm}}$$

$$\lambda_{1 \text{ calc.}} = \frac{25 + 12,5 \cdot \frac{3,30}{60}}{1,00} = \mathbf{25,96}$$

$$35 \leq \lambda_1 \leq 90$$

$$\lambda_1 = 35$$

$\lambda_{1 \text{ calc}}$ em torno de y;

$$e_1 = \frac{123,48}{4199,9 \cdot 1,4} = 0,021 \text{ m ou } \mathbf{2,1 \text{ cm}}$$

$$\lambda_{1 \text{ calc.}} = \frac{25 + 12,5 \cdot \frac{2,1}{20}}{1,00} = 26,84$$

$$35 \leq \lambda_1 \leq 90$$

$$\lambda_1 = 35$$

Como $\lambda < \lambda_1$ em torno de x os efeitos de segunda ordem podem ser desconsiderados.

Como $\lambda > \lambda_1$ em torno de y os efeitos de segunda ordem devem ser considerados.

$$v = N_{Sd} / (A_c f_{cd})$$

$$v = 1,4 \cdot 4199,9 / (20 \cdot 60 \cdot 6 / 1,4) = 1,14$$

O momento total máximo no pilar:

$$M_{d, \text{tot}} = \alpha_b M_{1d,A} + N_d \frac{l^2 e}{10 r} \geq M_{1d,A}$$

$$\frac{1}{r} = \frac{0,005}{h(v + 0,5)} \leq \frac{0,005}{h}$$

$$\frac{1}{r} = \frac{0,005}{0,2(1,14 + 0,5)} \leq \frac{0,005}{0,2}$$

$$\frac{1}{r} = 0,0152 \leq 0,025$$

$$\frac{1}{r} = 0,0152$$

$$M_{d, \text{tot}} = 1,1 \cdot 4,15,6 + 1,4 \cdot 4199,9 \cdot \frac{2,9^2}{10} \cdot 0,0152 \geq M_{1d,A}$$

$$M_{d, \text{tot}} = 97,07 \text{ KN.m}$$

$$M_{d, \text{tot}} < M_{d1 \text{min}}$$

- Determinação da armadura:

$$v = N_{Sd} / (A_c f_{cd})$$

$$v = 1,4.4199,9 / (20.60.6/1,4) = 1,14$$

$$\mu = \frac{M_d}{A_c \cdot h \cdot f_{cd}}$$

Em torno de x

$$\mu = \frac{19404}{20.60.60 \cdot \frac{6,0}{1,4}} = 0,06$$

$$d' = 4 \text{ cm}$$

$$d'/h = 0,04/0,60 = 0,07$$

$$\omega = 0,4 \text{ ábaco}$$

$$A_s = (\omega \cdot A_c \cdot f_{cd}) / f_{yd}$$

$$A_s = \frac{0,4 \cdot 20 \cdot 60 \cdot \frac{6,0}{1,4}}{\frac{50}{1,15}} = 47,31 \text{ cm}^2$$

Em torno de y

$$\mu = \frac{12348}{20.60.20 \cdot \frac{6,0}{1,4}} = 0,12$$

$$d' = 4 \text{ cm}$$

$$d'/h = 0,04/0,20 = 0,2$$

$$\omega = 0,60 \text{ ábaco}$$

$$A_s = (\omega \cdot A_c \cdot f_{cd}) / f_{yd}$$

$$A_s = \frac{0,6 \cdot 20 \cdot 60 \cdot \frac{6,0}{1,4}}{\frac{50}{1,15}} = 70,97 \text{ cm}^2$$

- Armadura mínima;

$$A_{smin} = 0,15 \cdot \frac{f_{cd}}{f_{yd}} \cdot v \cdot A_c$$

$$A_{smin} = 0,15 \cdot \frac{\frac{6,0}{1,4}}{\frac{50}{1,15}} \cdot 1,14 \cdot 20 \cdot 60 = 20,22 \text{ cm}^2$$

$$A_{smáx} = \frac{8}{100} \cdot 20 \cdot 60 = 96 \text{ cm}^2$$

Como $A_{smin} < A_{stomodex} < A_{smáx}$, portanto $A_s = 47,31 \text{ cm}^2$.

Como $A_{smin} < A_{stomodey} < A_{smáx}$, portanto $A_s = 65,05 \text{ cm}^2$.

Conforme NBR 6118: 2014, a figura abaixo mostra os momentos nas duas direções simultaneamente para a determinação das armaduras longitudinais,

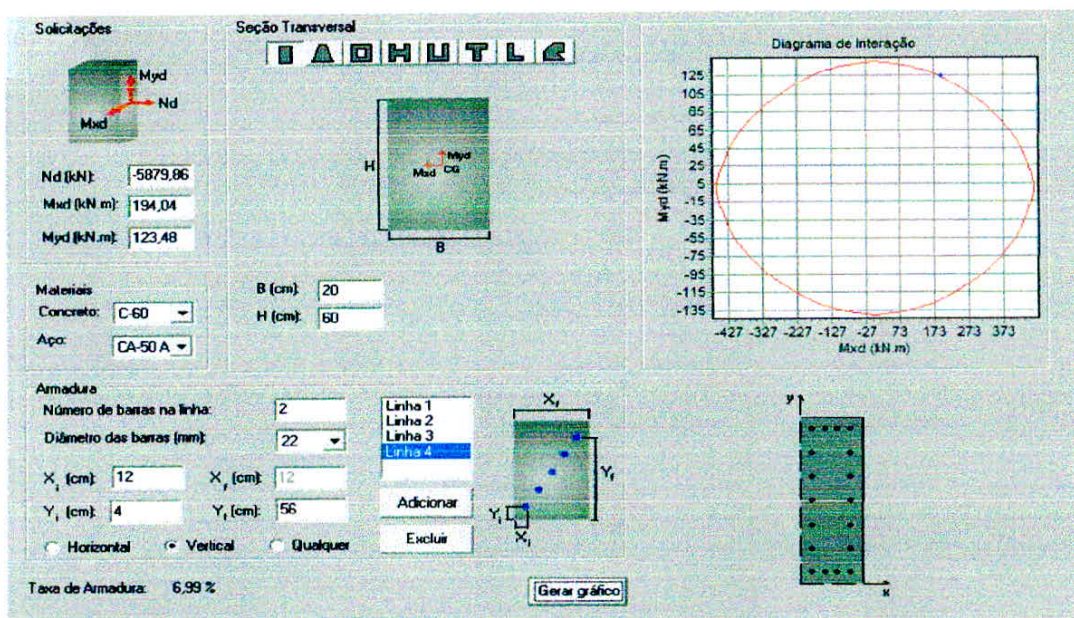


FIGURA 26 – Verificação da armadura P11 NBR 6118:2014 f_{ck} 60 MPa.

Fonte: Obliqua.

$$A_{s\text{efetivo}} = 14 \varnothing \text{ de } 25 \text{ mm} = 70 \text{ cm}^2$$

$$4 \varnothing \text{ de } 22,5 \text{ mm} = 16 \text{ cm}^2$$

$$\text{Taxa de armadura} = 6,99 \%$$

Estribo com \varnothing 6,3 mm

$$S \leq \begin{cases} 200 \text{ mm} \\ \text{menor dimensão} \\ 12 \cdot \varnothing \text{ barra} \end{cases}$$

$$S \leq \begin{cases} 200 \text{ mm} \\ 200 \text{ mm} \\ 12 \cdot 25 \text{ mm} = 300 \text{ mm} \end{cases}$$

$$S = 200 \text{ mm}$$

$$N = 3,1/20 = 16 \text{ estribos}$$

Estribos adicionais

$$20 \cdot \varnothing_t = 20 \cdot 0,63 = 12,6$$

Comprimento gancho do estribo

$$5 \cdot \varnothing_t = 5 \cdot 2,5 = 12,5 \text{ cm} \cdot 2 = 25 \text{ cm}$$

- Diâmetro mínimo e máximo da armadura longitudinal

$$10 \text{ mm} \leq \varnothing \leq 1/8 \text{ da menor dimensão transversal do pilar}$$

$$\varnothing = 25 \text{ mm}$$

$$10 \text{ mm} \leq 25 \text{ mm} \leq 1/8 \cdot 200 \rightarrow 10 \text{ mm} \leq 25 \text{ mm} \leq 25 \text{ mm}$$

- Espaçamento mínimo e máximo da armadura longitudinal

$$e_{\text{min}} \geq \begin{cases} 20 \text{ mm} \\ \varnothing_l \\ 1,2 \cdot d_{\text{máx. agr.}} \end{cases}$$

$$e_{\max} \leq \begin{cases} 2. \text{menor dimensão seção} \\ 400 \text{ mm} \end{cases}$$

$$e_{\min} \geq \begin{cases} 20 \text{ mm} \\ 25 \text{ mm} \\ 1,2.1,9 = 23 \text{ mm} \end{cases}$$

$$e_{\max} \leq \begin{cases} 2.300 = 600 \text{ mm} \\ 400 \text{ mm} \end{cases}$$

$$e_{\text{calc}} = \frac{60-2.4}{6} = 8,25 \text{ cm}$$

$$e_{\text{calc}} = \frac{20-2.4}{3} = 4 \text{ cm}$$

- Emendas por traspasse

$$L_{b,\text{nec}} = \alpha_1 \cdot l_b \cdot \frac{A_{s,\text{nec}}}{A_{s,\text{ef}}}$$

$$L_b = \frac{f_{yd}}{f_{bd}} \cdot \frac{\emptyset}{4}$$

$$F_{bd} = \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot \eta_3 \cdot f_{ctd}$$

$$\eta_1 = 2,25 \text{ barras CA-50}$$

$$\eta_2 = 1,0 \text{ boa aderência}$$

$$\eta_3 = 1,0$$

$$f_{ctd} = \frac{f_{ctk,\text{inf}}}{\gamma_c} = \frac{0,21 \cdot \sqrt[3]{f_{ck}^2}}{1,4}$$

Logo,

$$f_{ctd} = \frac{0,21 \cdot \sqrt[3]{60^2}}{1,4} = 2,29 \text{ MPa}$$

$$F_{bd} = 2,25 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 2,29 = 5,17 \text{ MPa}$$

$$L_b = \frac{500}{5,17} \cdot \frac{2,5}{4} = 53 \text{ cm}$$

$$L_{b,nec} = 1.53.1 = 53 \text{ cm}$$

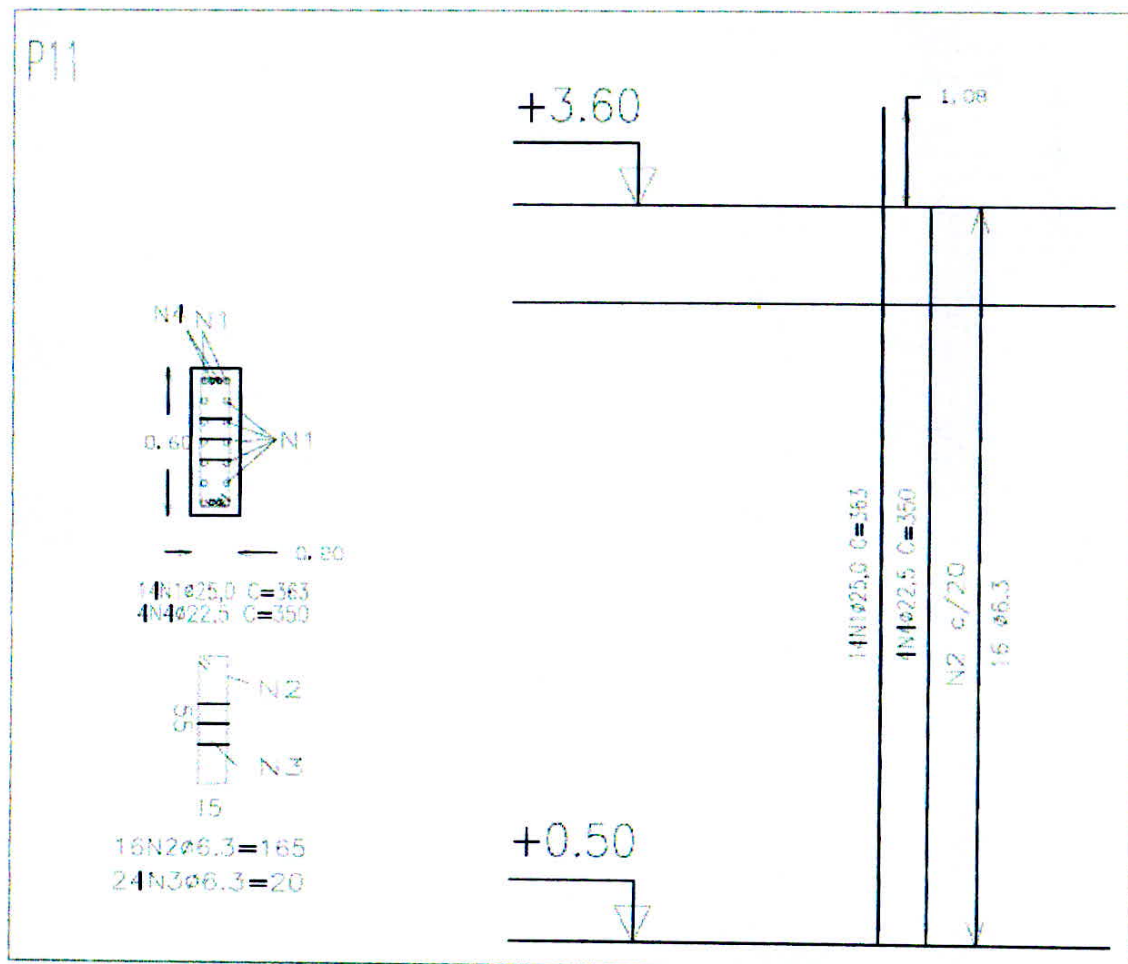


FIGURA 27 – detalhamento P11 NBR 6118:2014 f_{ck} 60 MPa.

Fonte: Pessoal.

APÊNDICE B– Dimensionamento e detalhamento do Pilar de canto 1

Memorial de cálculo

Pórtico P1-canto

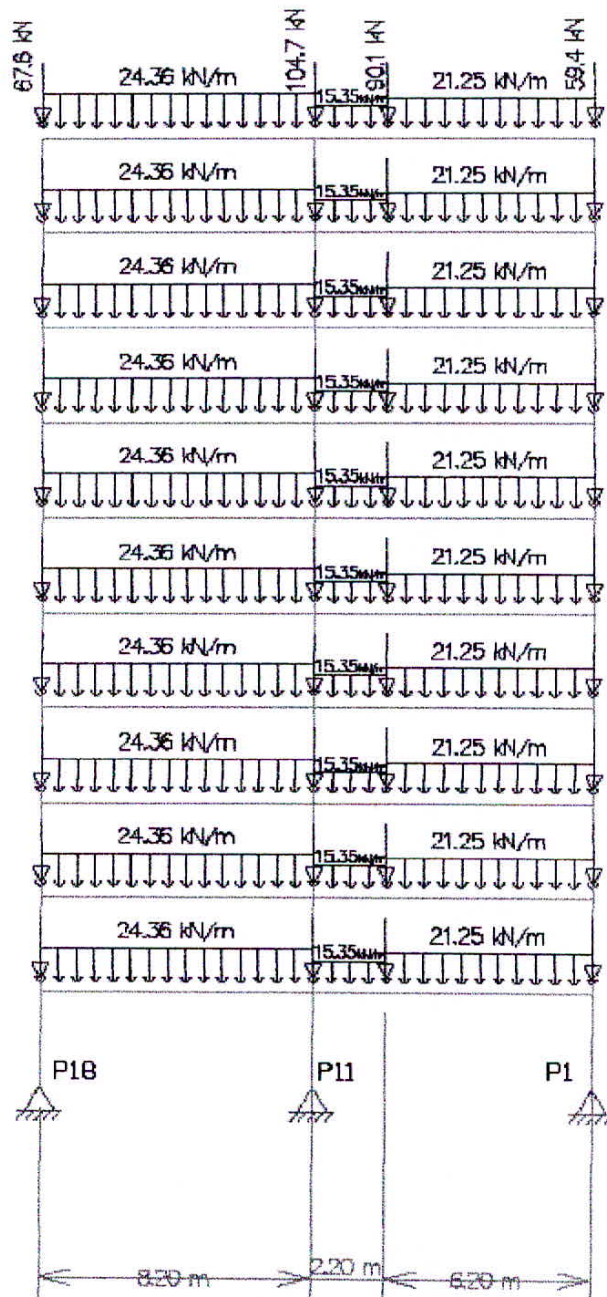


FIGURA 28 – Pórtico P1 Transversal.

Fonte: FTOOL.

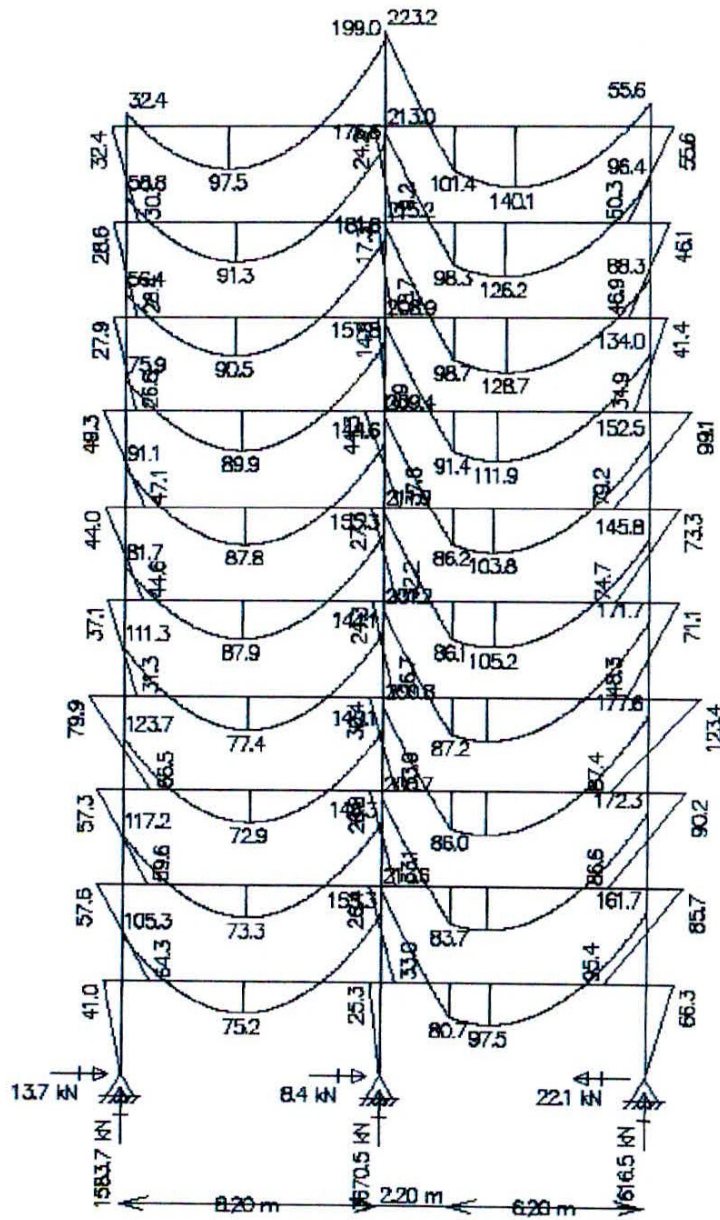


FIGURA 30 – Pórtico P1 Transversal, D.M.F.

Fonte: FTOOL.

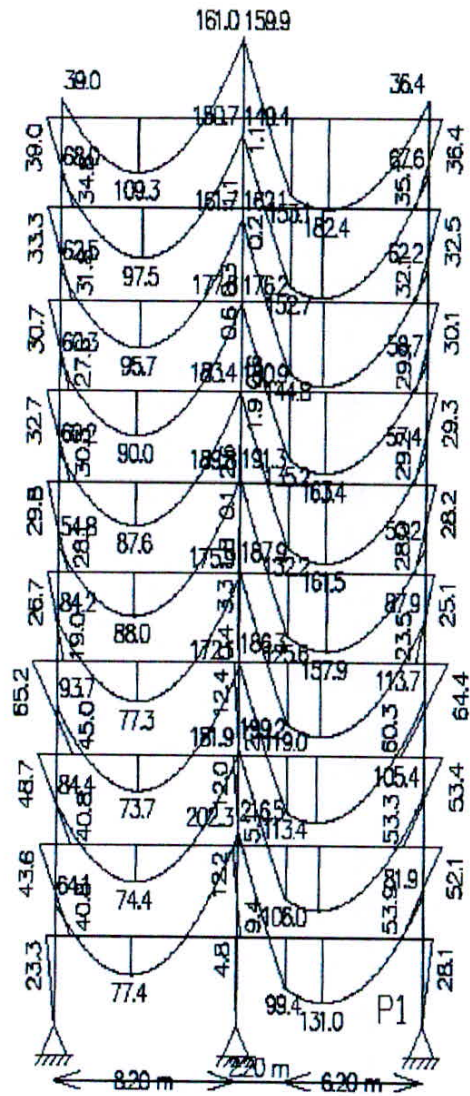


FIGURA 31 – Pórtico P1 Transversal, D.M.F f_{ck} 60 MPa.

Fonte: FTOOL.

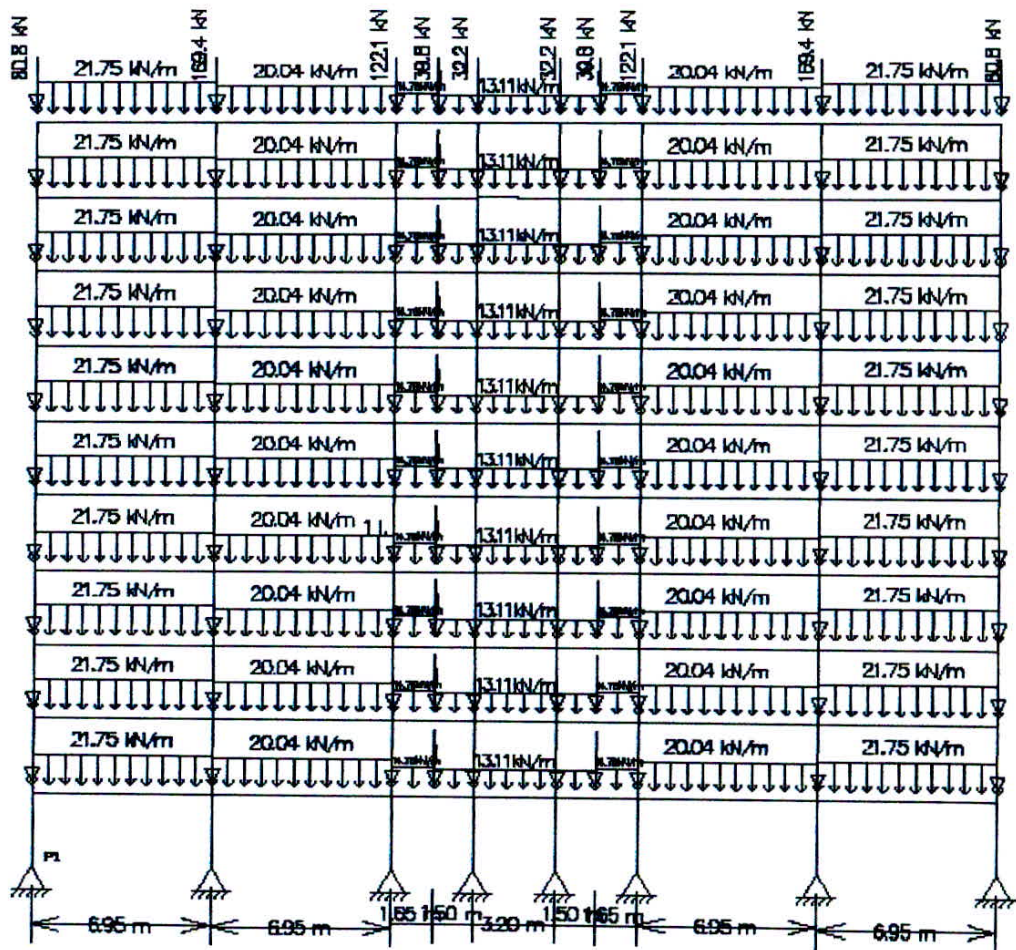


FIGURA 32 – Pórtico P1 Longitudinal, Carregamentos finais.

Fonte: FTOOL.

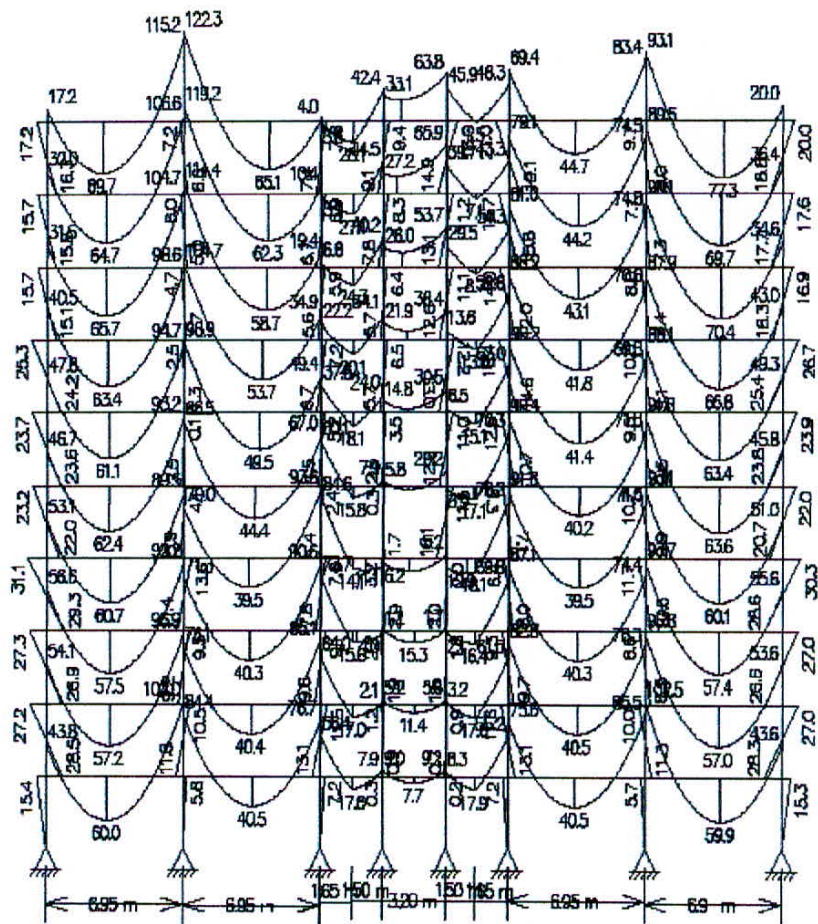


FIGURA 33 – Pórtico P1 Longitudinal, D.M.F.

Fonte: FTOOL.

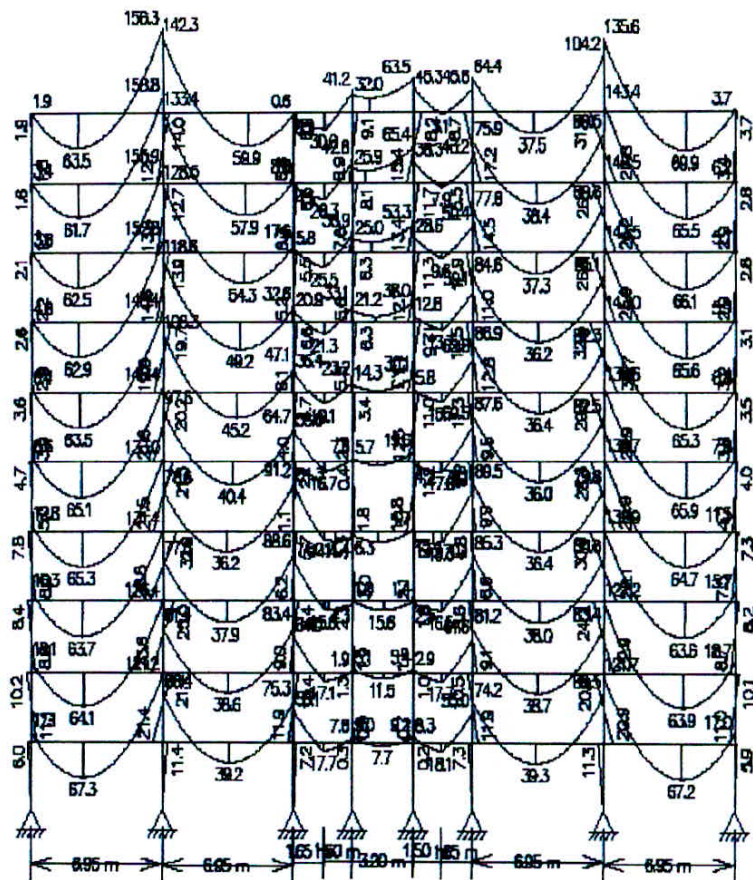


FIGURA 34 – Pórtico P1 Longitudinal, D.M.F f_{ck} 60 MPa.

Fonte: FTOOL.

Dimensionamento do pilar 1 segundo NBR 6118:2003

O método utilizado foi o Método do pilar padrão com curvatura aproximada, o cálculo mostrado abaixo é de um tramo do pilar 1, o mesmo foi usado para os outros tramo do pilar.

Dados:

Trecho 0-1

$$N = 1616,5 \text{ KN}$$

Aço CA-50

$$F_{ck} = 30 \text{ MPa}$$

$$M_{Aemtornodex} = 66,30 \text{ KN.m}$$

$$M_{Bemtornodex} = 0$$

$$M_{Aemtornodey} = 15,4 \text{ KN.m}$$

$$M_{Bemtornodey} = 0$$

- Pré-dimensionamento do pilar

$$A_{c \text{ Ideal}} = \frac{Nd^*}{0,85 f_{cd} + \rho(f_{yd} + 0,85 f_{cd})}$$

$$A_{c \text{ Ideal}} = \frac{1616,5 \cdot 2,35}{0,85 \cdot 3,0 / 1,4 + 1,75 / 100 (50 / 1,15 + 0,85 \cdot 3,0 / 1,4)} = 1453,14 \text{ cm}^2$$

Seção retangular - b = 0,20m, h = 0,90m

- Dimensionamento do pilar

$$l_e \leq \begin{cases} h + l_o \\ l \end{cases}$$

$$l_{e \text{ torno de } x} \leq \begin{cases} 0,90 + 2,7 = 3,60\text{m} \\ 3,1\text{m} \end{cases}$$

$$\ell e_{\text{torno de y}} \leq \begin{cases} 0,20 + 2,7 = \mathbf{2,90m} \\ 3,1m \end{cases}$$

$$\gamma_n = 1,0 \text{ (b} \geq 19\text{cm)}$$

$$\gamma_r = 1,4 \cdot \gamma_n = 1,4$$

- Índice de esbeltez:

$$\lambda = (\ell e \cdot \sqrt{12}) / h$$

$$\lambda_{\text{tomodex}} = \frac{3,10 \cdot \sqrt{12}}{0,90} = 11,93$$

$$\lambda_{\text{tomodey}} = \frac{2,90 \cdot \sqrt{12}}{0,2} = 50,23$$

- Momento mínimo:

$$M_{1d,\min} = N_d \cdot (0,015 + 0,03 \cdot b)$$

$$M_{1d,\min} \text{ em torno de x;}$$

$$M_{1d,\min} = 1616,5 \cdot 1,4 \cdot (0,015 + 0,03 \cdot 0,90) = \mathbf{95,05 \text{ KN.m}}$$

$$M_{1d,\min} \text{ em torno de y;}$$

$$M_{1d,\min} = 1616,5 \cdot 1,4 \cdot (0,015 + 0,03 \cdot 0,2) = \mathbf{47,53 \text{ KN.m}}$$

- Excentricidade accidental:

$$\theta_{1\max} \geq \theta_1 \geq \theta_{1\min}$$

$$\theta_1 = \frac{1}{100 \cdot \sqrt{l}} = \frac{1}{100 \cdot \sqrt{2,70}} = 0,006$$

$$\theta_{1\min} = \frac{1}{300} = 0,0033$$

$$\theta_{1\max} = \frac{1}{200} = \mathbf{0,005rad}$$

- Momento $M_{1d,A}$ Accidental:

$$M_{1d,A} = \theta_1 \cdot l e \cdot N_d$$

Em torno de x, $M_{1d,A} = 0,005 \cdot 3,1 \cdot 1616,5 \cdot 1,4 = 35,08 \text{ KN.m}$

Em torno de y, $M_{1d,A} = 0,005 \cdot 2,9 \cdot 1616,5 \cdot 1,4 = 32,81 \text{ KN.m}$

$$\alpha_b = 0,60 + 0,40 \cdot \frac{M_A}{M_B} \geq 0,4$$

Em torno de x

$$\alpha_b = 0,60 + 0,40 \cdot \frac{M_A}{M_B} \geq 0,4$$

$$\alpha_b = 0,60 + 0,40 \cdot \frac{66,3}{0} \geq 0,4$$

$$\alpha_b = 0,60$$

$$M_{dA} = 66,3 \cdot 1,4 = 92,82 \text{ KN.m}$$

logo $M_{dA} < M_{1d,\min}$, portanto $\alpha_b = 1,0$

Em torno de y

$$\alpha_b = 0,60 + 0,40 \cdot \frac{M_A}{M_B} \geq 0,4$$

$$\alpha_b = 0,60 + 0,40 \cdot \frac{15,40}{0} \geq 0,4$$

$$\alpha_b = 0,60$$

$$M_{dA} = 15,4 \cdot 1,4 = 21,56 \text{ KN.m}$$

logo $M_{dA} < M_{1d,\min}$, portanto $\alpha_b = 1,0$

$$\lambda_{1 \text{ calc.}} = \frac{25 + 12,5 \cdot \frac{e_1}{h}}{\alpha_b}$$

Em que $e_1 = \frac{M_d}{N_d}$.

$\lambda_{1 \text{ calc}}$ em torno de x;

$$e_1 = \frac{95,05}{1616,5 \cdot 1,4} = 0,042 \text{ m ou } \mathbf{4,2 \text{ cm}}$$

$$\lambda_{1 \text{ calc.}} = \frac{25 + 12,5 \cdot \frac{4,2}{90}}{1,00} = \mathbf{25,58}$$

$$35 \leq \lambda_1 \leq 90$$

$$\lambda_1 = 35$$

$\lambda_{1 \text{ calc}}$ em torno de y;

$$e_1 = \frac{47,53}{1616,5 \cdot 1,4} = 0,021 \text{ m ou } \mathbf{2,1 \text{ cm}}$$

$$\lambda_{1 \text{ calc.}} = \frac{25 + 12,5 \cdot \frac{2,1}{90}}{1,00} = \mathbf{26,31}$$

$$35 \leq \lambda_1 \leq 90$$

$$\lambda_1 = 35$$

Como $\lambda < \lambda_1$ em torno de x os efeitos de segunda ordem podem ser desconsiderados.

Como $\lambda > \lambda_1$ em torno de y os efeitos de segunda ordem devem ser considerados.

$$v = N_{Sd} / (A_c f_{cd})$$

$$v = 1,4 \cdot 1616,5 / (20 \cdot 90 \cdot 3 / 1,4) = \mathbf{0,59}$$

O momento total máximo no pilar:

$$M_{d, \text{tot}} = \alpha_b M_{1d,A} + N_d \frac{l^2 e}{10 r} \geq M_{1d,A}$$

$$\frac{1}{r} = \frac{0,005}{h(v + 0,5)} \leq \frac{0,005}{h}$$

$$\frac{1}{r} = \frac{0,005}{0,2(0,59 + 0,5)} \leq \frac{0,005}{0,2}$$

$$\frac{1}{r} = 0,0229 \leq 0,025$$

$$\frac{1}{r} = 0,0229$$

$$M_{d, \text{tot}} = 1,1 \cdot 4,15,4 + 1,4 \cdot 1616,5 \frac{2,9^2}{10} \cdot 0,0229 \geq M_{1d,A}$$

$$M_{d, \text{tot}} = 65,34 \text{KN.m}$$

$$M_{d, \text{tot}} > M_{d1 \text{min}}$$

- Determinação da armadura:

$$v = N_{Sd} / (A_c f_{cd})$$

$$v = 1,4 \cdot 1616,5 / (20 \cdot 90 \cdot 3 / 1,4) = 0,59$$

$$\mu = \frac{M_d}{A_c \cdot h \cdot f_{cd}}$$

Em torno de x

$$\mu = \frac{9505}{20 \cdot 90 \cdot 90 \cdot \frac{3,0}{1,4}} = 0,03$$

$$d' = 4 \text{cm}$$

$$d'/h = 0,04 / 0,90 = 0,04$$

$$\omega = 0,0 \text{ ábaco}$$

$$A_s = (\omega \cdot A_c \cdot f_{cd}) / f_{yd}$$

$$A_s = 0 \text{ cm}^2$$

Em torno de y

$$\mu = \frac{6534}{20.90.20 \cdot \frac{3,0}{1,4}} = 0,08$$

$$d' = 4 \text{ cm}$$

$$d'/h = 0,04/0,20 = 0,2$$

$$\omega = 0,0 \text{ ábaco}$$

$$A_s = (\omega \cdot A_c \cdot f_{cd}) / f_{yd}$$

$$A_s = 0 \text{ cm}^2$$

- Armadura mínima;

$$A_{smin} = 0,15 \cdot \frac{f_{cd}}{f_{yd}} \cdot A_c$$

$$A_{smin} = 0,15 \cdot \frac{\frac{3,0}{50}}{\frac{1,4}{1,15}} \cdot 0,59 \cdot 20.90 = 7,81 \text{ cm}^2$$

$$A_{smáx} = \frac{8}{100} \cdot 20.90 = 144 \text{ cm}^2$$

Como $A_{stornodex} < A_{smin} < A_{smáx}$, portanto $A_s = 7,81 \text{ cm}^2$.

Como $A_{stornodey} < A_{smin} < A_{smáx}$, portanto $A_s = 7,81 \text{ cm}^2$.

$$A_{stornodex} = 7,81 \text{ cm}^2$$

10Ø 10 mm

$$A_{stornodey} = 7,81 \text{ cm}^2$$

$$10Ø10 \text{ mm} = 8 \text{ cm}^2$$

$$\text{Taxa de armadura} = 8/(20.90).100 = 0,44\%$$

Estribo com \varnothing 6,3 mm

$$S \leq \begin{cases} 200 \text{ mm} \\ \text{menor dimensão} \\ 12. \varnothing \text{ barra} \end{cases}$$

$$S \leq \begin{cases} 200 \text{ mm} \\ 200 \text{ mm} \\ 12. 10 \text{ mm} = 120 \text{ mm} \end{cases}$$

$$S = 120 \text{ mm}$$

$$N = 3,1/12 = 26 \text{ estribos}$$

Estribos adicionais

$$20. \varnothing_t = 20. 0,63 = 12,6$$

Comprimento gancho do estribo

$$5. \varnothing_t = 5. 1,0 = 5 \text{ cm} \cdot 2 = 10 \text{ cm}$$

- Diâmetro mínimo e máximo da armadura longitudinal

$$10 \text{ mm} \leq \varnothing \leq 1/8 \text{ da menor dimensão transversal do pilar}$$

$$\varnothing = 10 \text{ mm}$$

$$10 \text{ mm} \leq 10 \text{ mm} \leq 1/8.200 \rightarrow 10 \text{ mm} \leq 10 \text{ mm} \leq 25 \text{ mm}$$

- Espaçamento mínimo e máximo da armadura longitudinal

$$e_{\min} \geq \begin{cases} 20 \text{ mm} \\ \varnothing_l \\ 1,2. d_{\text{máx. agr.}} \end{cases}$$

$$e_{\max} \leq \begin{cases} 2. \text{menor dimensão seção} \\ 400 \text{ mm} \end{cases}$$

$$e_{\min} \geq \begin{cases} 20 \text{ mm} \\ 10 \text{ mm} \\ 1,2,1,9 = 23 \text{ mm} \end{cases}$$

$$e_{\max} \leq \begin{cases} 2.300 = 600 \text{ mm} \\ 400 \text{ mm} \end{cases}$$

$$e_{\text{calc}} = \frac{90-2,4}{4} = 20,3 \text{ cm}$$

- Emendas por traspasse

$$L_{b,\text{nec}} = \alpha_1 \cdot l_b \cdot \frac{A_{s,\text{nec}}}{A_{s,\text{ef}}}$$

$$L_b = \frac{f_{yd}}{f_{bd}} \cdot \frac{\emptyset}{4}$$

$$F_{bd} = \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot \eta_3 \cdot f_{ctd}$$

$$\eta_1 = 2,25 \text{ barras CA-50}$$

$$\eta_2 = 1,0 \text{ boa aderência}$$

$$\eta_3 = 1,0$$

$$f_{ctd} = \frac{f_{ctk,\text{inf}}}{\gamma_c} = \frac{0,21 \cdot \sqrt[3]{f_{ck}^2}}{1,4}$$

Logo,

$$f_{ctd} = \frac{0,21 \cdot \sqrt[3]{30^2}}{1,4} = 1,44 \text{ MPa}$$

$$F_{bd} = 2,25 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,44 = 3,25 \text{ MPa}$$

$$L_b = \frac{\frac{500}{1,15}}{3,25} \cdot \frac{1,0}{4} = 34 \text{ cm}$$

Dados:

Trecho 0-1

$$N = 1616,5 \text{ KN}$$

Aço CA-50

$$F_{ck} = 30 \text{ MPa}$$

$$M_{Aemtornodex} = 66,30 \text{ KN.m}$$

$$M_{Bemtornodex} = 0$$

$$M_{Aemtornodey} = 15,4 \text{ KN.m}$$

$$M_{Bemtornodey} = 0$$

- Pré-dimensionamento do pilar

$$A_{c \text{ Ideal}} = \frac{Nd^*}{0,85 f_{cd} + \rho(f_{yd} + 0,85 f_{cd})}$$

$$A_{c \text{ Ideal}} = \frac{1616,5 \cdot 2,35}{0,85 \cdot 3,0 / 1,4 + 1,75 / 100 (50 / 1,15 + 0,85 \cdot 3,0 / 1,4)} = 1453,14 \text{ cm}^2$$

Seção retangular - b = 0,20m, h = 0,90m

- Dimensionamento do pilar

$$l_e \leq \begin{cases} h + l_0 \\ l \end{cases}$$

$$l_{e \text{ torno de } x} \leq \begin{cases} 0,90 + 2,7 = 3,60\text{m} \\ 3,1\text{m} \end{cases}$$

$$\ell_{e \text{ torno de } y} \leq \begin{cases} 0,20 + 2,7 = 2,90\text{m} \\ 3,1\text{m} \end{cases}$$

$$\gamma_n = 1,0 \quad (b \geq 19\text{cm})$$

$$\gamma_r = 1,4 \cdot \gamma_n = 1,4$$

- Índice de esbeltez:

$$\lambda = (\ell_e \cdot \sqrt{12}) / h$$

$$\lambda_{\text{tornodex}} = \frac{3,10 \cdot \sqrt{12}}{0,90} = 11,93$$

$$\lambda_{\text{tornodey}} = \frac{2,90 \cdot \sqrt{12}}{0,2} = 50,23$$

- Momento mínimo:

$$M_{1d,\min} = N_d \cdot (0,015 + 0,03 \cdot b)$$

$M_{1d,\min}$ em torno de x;

$$M_{1d,\min} = 1616,5 \cdot 1,4 \cdot (0,015 + 0,03 \cdot 0,90) = 95,05 \text{ KN.m}$$

$M_{1d,\min}$ em torno de y;

$$M_{1d,\min} = 1616,5 \cdot 1,4 \cdot (0,015 + 0,03 \cdot 0,2) = 47,53 \text{ KN.m}$$

- Excentricidade acidental:

$$\theta_{1\max} \geq \theta_1 \geq \theta_{1\min}$$

$$\theta_1 = \frac{1}{100 \cdot \sqrt{l}} = \frac{1}{100 \cdot \sqrt{2,70}} = 0,006$$

$$\theta_{1\min} = \frac{1}{300} = 0,0033$$

$$\theta_{1\max} = \frac{1}{200} = 0,005\text{rad}$$

- Momento $M_{1d,A}$ Acidental:

$$M_{1d,A} = \theta_1 \cdot \ell e \cdot N_d$$

$$\text{Em torno de x, } M_{1d,A} = 0,005 \cdot 3,1 \cdot 1616,5 \cdot 1,4 = \mathbf{35,08 \text{ KN.m}}$$

$$\text{Em torno de y, } M_{1d,A} = 0,005 \cdot 2,9 \cdot 1616,5 \cdot 1,4 = \mathbf{32,81 \text{ KN.m}}$$

$$\alpha_b = 0,60 + 0,40 \cdot \frac{M_A}{M_B} \geq 0,4$$

Em torno de x

$$\alpha_b = 0,60 + 0,40 \cdot \frac{M_A}{M_B} \geq 0,4$$

$$\alpha_b = 0,60 + 0,40 \cdot \frac{66,3}{0} \geq 0,4$$

$$\alpha_b = 0,60$$

$$M_{dA} = 66,3 \cdot 1,4 = 92,82 \text{ KN.m}$$

logo $M_{dA} < M_{1d,\min}$, portanto $\alpha_b = \mathbf{1,0}$

Em torno de y

$$\alpha_b = 0,60 + 0,40 \cdot \frac{M_A}{M_B} \geq 0,4$$

$$\alpha_b = 0,60 + 0,40 \cdot \frac{15,40}{0} \geq 0,4$$

$$\alpha_b = 0,60$$

$$M_{dA} = 15,4 \cdot 1,4 = 21,56 \text{ KN.m}$$

logo $M_{dA} < M_{1d,\min}$, portanto $\alpha_b = \mathbf{1,0}$

$$\lambda_{1 \text{ calc.}} = \frac{25 + 12,5 \cdot \frac{e_1}{h}}{\alpha_b}$$

$$\text{Em que } e_1 = \frac{M_d}{N_d}$$

$\lambda_{1 \text{ calc}}$ em torno de x;

$$e_1 = \frac{95,05}{1616,5 \cdot 1,4} = 0,042 \text{ m ou } \mathbf{4,2 \text{ cm}}$$

$$\lambda_{1 \text{ calc.}} = \frac{25 + 12,5 \cdot \frac{4,2}{90}}{1,00} = \mathbf{25,58}$$

$$35 \leq \lambda_1 \leq 90$$

$$\lambda_1 = 35$$

$\lambda_{1 \text{ calc}}$ em torno de y;

$$e_1 = \frac{47,53}{1616,5 \cdot 1,4} = 0,021 \text{ m ou } \mathbf{2,1 \text{ cm}}$$

$$\lambda_{1 \text{ calc.}} = \frac{25 + 12,5 \cdot \frac{2,1}{20}}{1,00} = \mathbf{26,31}$$

$$35 \leq \lambda_1 \leq 90$$

$$\lambda_1 = 35$$

Como $\lambda < \lambda_1$ em torno de x os efeitos de segunda ordem podem ser desconsiderados.

Como $\lambda > \lambda_1$ em torno de y os efeitos de segunda ordem devem ser considerados.

$$v = N_{Sd} / (A_c f_{cd})$$

$$v = 1,4 \cdot 1616,5 / (20 \cdot 90 \cdot 3 / 1,4) = \mathbf{0,59}$$

O momento total máximo no pilar:

$$M_{d, \text{tot}} = \alpha_b M_{1d,A} + N_d \frac{l^2 e}{10 r} \geq M_{1d,A}$$

$$\frac{1}{r} = \frac{0,005}{h(v + 0,5)} \leq \frac{0,005}{h}$$

$$\frac{1}{r} = \frac{0,005}{0,2(0,59 + 0,5)} \leq \frac{0,005}{0,2}$$

$$\frac{1}{r} = 0,0229 \leq 0,025$$

$$\frac{1}{r} = \mathbf{0,0229}$$

$$M_{d,tot} = 1,1,4.15,4 + 1,4.1616,5 \frac{2,9^2}{10} \cdot 0,0229 \geq M_{1d,A}$$

$$M_{d,tot} = \mathbf{65,34KN.m}$$

$$M_{d,tot} > M_{d1min}$$

- Determinação da armadura:

$$v = N_{sd} / (A_c f_{cd})$$

$$v = 1,4.1616,5 / (20.90.3/1,4) = \mathbf{0,59}$$

$$\mu = \frac{M_d}{A_c \cdot h \cdot f_{cd}}$$

Em torno de x

$$\mu = \frac{9505}{20.90.90 \frac{3,0}{1,4}} = \mathbf{0,03}$$

$$d' = 4cm$$

$$d'/h = 0,04/0,90 = \mathbf{0,04}$$

$$\omega = \mathbf{0,0} \text{ ábaco}$$

$$A_s = (\omega \cdot A_c \cdot f_{cd}) / f_{yd}$$

$$A_s = 0 \text{ cm}^2$$

Em torno de y

$$\mu = \frac{6534}{20.90.20 \cdot \frac{3,0}{1,4}} = 0,08$$

$$d^2 = 4 \text{ cm}$$

$$d^2/h = 0,04/0,20 = 0,2$$

$$\omega = 0,0 \text{ ábaco}$$

$$A_s = (\omega \cdot A_c \cdot f_{cd}) / f_{yd}$$

$$A_s = 0 \text{ cm}^2$$

- Armadura mínima;

$$A_{smin} = 0,15 \cdot \frac{f_{cd}}{f_{yd}} \cdot v \cdot A_c$$

$$A_{smin} = 0,15 \cdot \frac{\frac{3,0}{50}}{1,15} \cdot 0,59 \cdot 20.90 = 7,81 \text{ cm}^2$$

$$A_{smáx} = \frac{8}{100} \cdot 20.90 = 144 \text{ cm}^2$$

Como $A_{stornodex} < A_{smin} < A_{smáx}$, portanto $A_s = 7,81 \text{ cm}^2$.

Como $A_{stornodex} < A_{smin} < A_{smáx}$, portanto $A_s = 7,81 \text{ cm}^2$.

Conforme NBR 6118: 2114, a figura abaixo mostra os momentos nas duas direções simultaneamente para a determinação das armaduras longitudinais,

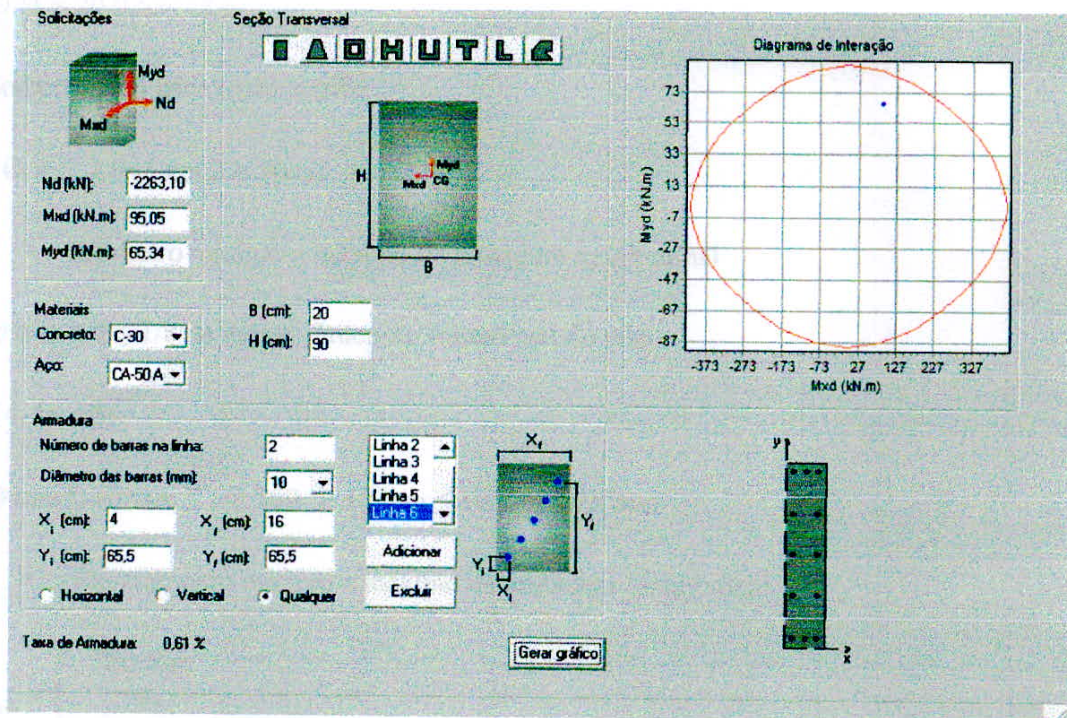


FIGURA 36 – Verificação da armadura P1, NBR 6118:2014.

Fonte: Obliqua.

$$A_{s,\text{efetivo}} = 12 \text{ } \varnothing \text{ de } 10 \text{ mm} = 9,6 \text{ cm}^2$$

$$\text{Taxa de armadura} = 0,61 \%$$

Estribo com \varnothing 6,3 mm

$$S \leq \begin{cases} 200 \text{ mm} \\ \text{menor dimensão} \\ 12 \cdot \varnothing \text{ barra} \end{cases}$$

$$S \leq \begin{cases} 200 \text{ mm} \\ 200 \text{ mm} \\ 12 \cdot 10 \text{ mm} = 120 \text{ mm} \end{cases}$$

$$S = 120 \text{ mm}$$

$$N = 3,1/12 = 26 \text{ estribos}$$

Estribos adicionais

$$20 \cdot \emptyset_t = 20 \cdot 0,63 = 12,6$$

Comprimento gancho do estribo

$$5 \cdot \emptyset_t = 5 \cdot 1,0 = 5 \text{ cm} \cdot 2 = 10 \text{ cm}$$

- Diâmetro mínimo e máximo da armadura longitudinal

$10 \text{ mm} \leq \emptyset \leq 1/8$ da menor dimensão transversal do pilar

$$\emptyset = 10 \text{ mm}$$

$$10 \text{ mm} \leq 10 \text{ mm} \leq 1/8 \cdot 200 \rightarrow 10 \text{ mm} \leq 10 \text{ mm} \leq 25 \text{ mm}$$

- Espaçamento mínimo e máximo da armadura longitudinal

$$e_{\min} \geq \begin{cases} 20 \text{ mm} \\ \emptyset_t \\ 1,2 \cdot d_{\max. agr.} \end{cases}$$

$$e_{\max} \leq \begin{cases} 2 \cdot \text{menor dimensão seção} \\ 400 \text{ mm} \end{cases}$$

$$e_{\min} \geq \begin{cases} 20 \text{ mm} \\ 10 \text{ mm} \\ 1,2 \cdot 1,9 = 23 \text{ mm} \end{cases}$$

$$e_{\max} \leq \begin{cases} 2 \cdot 300 = 600 \text{ mm} \\ 400 \text{ mm} \end{cases}$$

$$e_{\text{calc}} = \frac{90 - 2,4}{4} = 20,3 \text{ cm}$$

- Emendas por traspasse

$$L_{b, \text{nec}} = \alpha_1 \cdot l_b \cdot \frac{A_{s, \text{nec}}}{A_{s, \text{ef}}}$$

$$L_b = \frac{f_{yd}}{f_{bd}} \cdot \frac{\emptyset}{4}$$

$$F_{bd} = \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot \eta_3 \cdot f_{ctd}$$

$\eta_1=2,25$ barras CA-50

$\eta_2= 1,0$ boa aderência

$\eta_3 = 1,0$

$$f_{ctd} = \frac{f_{ctk,inf}}{\gamma_c} = \frac{0,21 \cdot \sqrt[3]{f_{ck}^2}}{1,4}$$

Logo,

$$f_{ctd} = \frac{0,21 \cdot \sqrt[3]{30^2}}{1,4} = 1,44 \text{ MPa}$$

$$F_{bd} = 2,25 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,44 = 3,25 \text{ MPa}$$

$$L_b = \frac{\frac{500}{1,15}}{3,25} \cdot \frac{1,0}{4} = 34 \text{ cm}$$

$$L_{b,nec} = 1 \cdot 34 \cdot 1 = 34 \text{ cm}$$

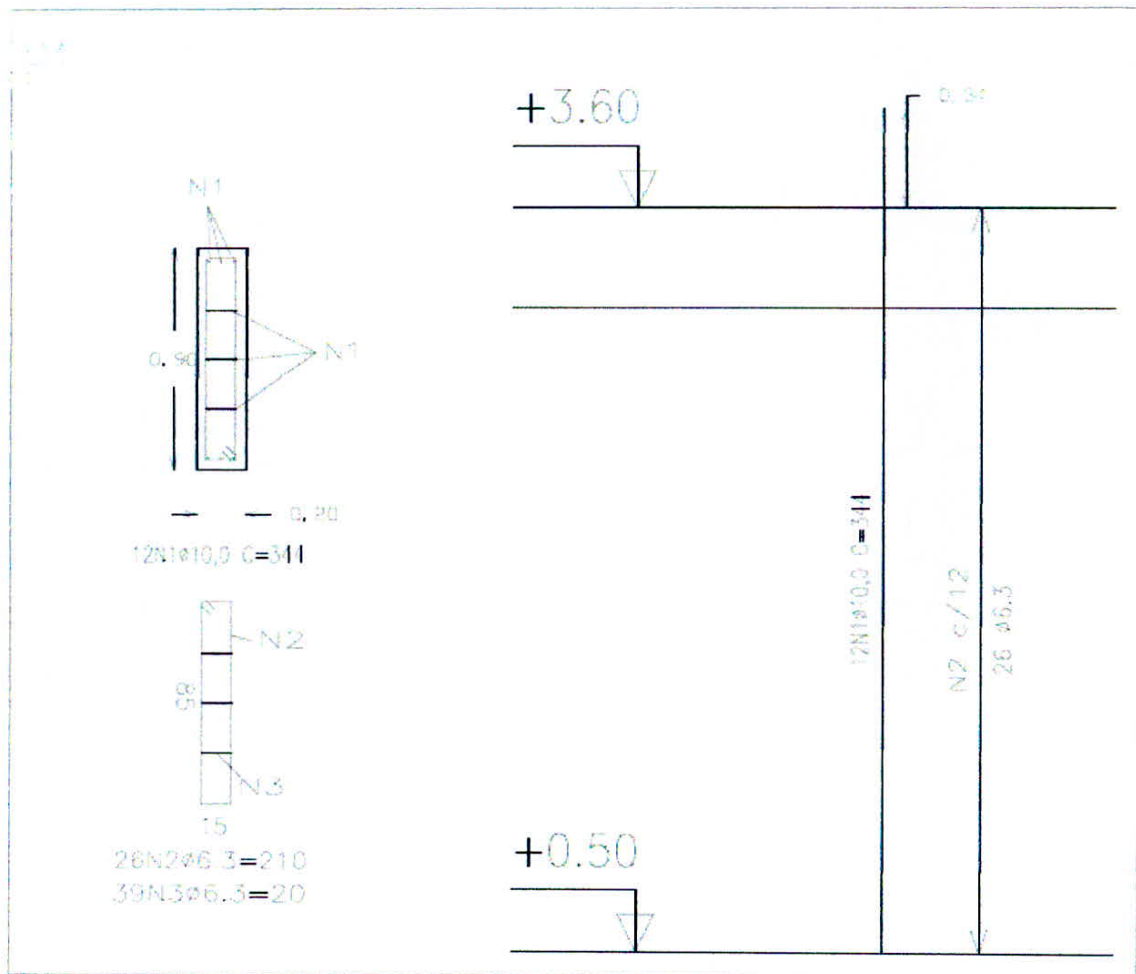


FIGURA 37 – detalhamento P1, NBR 6118:2014.

Fonte: Pessoal

Dimensionamento do pilar 1 segundo NBR 6118:2014 com f_{ck} 60 MPa

O método utilizado foi o Método do pilar padrão com curvatura aproximada, o cálculo mostrado abaixo é de um tramo do pilar 1, o mesmo foi usado para os outros tramo do pilar.

Dados:

Trecho 0-1

$$N = 1616,5 \text{ KN}$$

Aço CA-50

$$F_{ck} = 60 \text{ MPa}$$

$$M_{Aemtorndex} = 28,10 \text{ KN.m}$$

$$M_{Bemtorndex} = 0$$

$$M_{Aemtorndey} = 6,0 \text{ KN.m}$$

$$M_{Bemtorndey} = 0$$

- Pré-dimensionamento do pilar

$$A_{c \text{ Ideal}} = \frac{Nd^*}{0,85 fcd + \rho(fyd + 0,85 fcd)}$$

$$A_{c \text{ Ideal}} = \frac{1616,5 \cdot 2,35}{0,85 \cdot 6,0 / 1,4 + 1,75 / 100 (50 / 1,15 + 0,85 \cdot 6,0 / 1,4)} = 850,31 \text{ cm}^2$$

Seção retangular - b = 0,20m, h = 0,30m

- Dimensionamento do pilar

$$le \leq \begin{cases} h + l_o \\ l \end{cases}$$

$$le_{\text{torno de x}} \leq \begin{cases} 0,30 + 2,7 = 3,00 \text{ m} \\ 3,1 \text{ m} \end{cases}$$

$$le_{\text{torno de y}} \leq \begin{cases} 0,20 + 2,7 = 2,90 \text{ m} \\ 3,1 \text{ m} \end{cases}$$

$$\gamma_n = 1,0 \text{ (} b \geq 19\text{cm)}$$

$$\gamma_r = 1,4 \cdot \gamma_n = 1,4$$

- Índice de esbeltez:

$$\lambda = (\ell e \cdot \sqrt{12}) / h$$

$$\lambda_{\text{tornodex}} = \frac{3,00 \cdot \sqrt{12}}{0,30} = 34,64$$

$$\lambda_{\text{tornodey}} = \frac{2,90 \cdot \sqrt{12}}{0,2} = 50,23$$

- Momento mínimo:

$$M_{1d,\min} = N_d \cdot (0,015 + 0,03 \cdot b)$$

$M_{1d,\min}$ em torno de x;

$$M_{1d,\min} = 1616,5 \cdot 1,4 \cdot (0,015 + 0,03 \cdot 0,30) = 54,31 \text{ KN.m}$$

$M_{1d,\min}$ em torno de y;

$$M_{1d,\min} = 1616,5 \cdot 1,4 \cdot (0,015 + 0,03 \cdot 0,2) = 47,53 \text{ KN.m}$$

- Excentricidade accidental:

$$\theta_{1\text{máx}} \geq \theta_1 \geq \theta_{1\text{mín}}$$

$$\theta_1 = \frac{1}{100 \cdot \sqrt{l}} = \frac{1}{100 \cdot \sqrt{2,70}} = 0,006$$

$$\theta_{1\text{mín}} = \frac{1}{300} = 0,0033$$

$$\theta_{1\text{máx}} = \frac{1}{200} = 0,005 \text{ rad}$$

- Momento $M_{1d,A}$ Accidental:

$$M_{1d,A} = \theta_1 \cdot \ell e \cdot N_d$$

Em torno de x, $M_{1d,A} = 0,005 \cdot 3,0 \cdot 1616,5 \cdot 1,4 = 33,95 \text{ KN.m}$

Em torno de y, $M_{1d,A} = 0,005 \cdot 2,9 \cdot 1616,5 \cdot 1,4 = 32,81 \text{ KN.m}$

$$\alpha_b = 0,60 + 0,40 \cdot \frac{M_A}{M_B} \geq 0,4$$

Em torno de x

$$\alpha_b = 0,60 + 0,40 \cdot \frac{M_A}{M_B} \geq 0,4$$

$$\alpha_b = 0,60 + 0,40 \cdot \frac{28,1}{0} \geq 0,4$$

$$\alpha_b = 0,60$$

$$M_{dA} = 28 \cdot 1,4 = 39,34 \text{ KN.m}$$

logo $M_{dA} < M_{1d,\min}$, portanto $\alpha_b = 1,0$

Em torno de y

$$\alpha_b = 0,60 + 0,40 \cdot \frac{M_A}{M_B} \geq 0,4$$

$$\alpha_b = 0,60 + 0,40 \cdot \frac{6,0}{0} \geq 0,4$$

$$\alpha_b = 0,60$$

$$M_{dA} = 6 \cdot 1,4 = 8,4 \text{ KN.m}$$

logo $M_{dA} < M_{1d,\min}$, portanto $\alpha_b = 1,0$

$$\lambda_{1 \text{ calc.}} = \frac{25 + 12,5 \cdot \frac{e_1}{h}}{\alpha_b}$$

$$\text{Em que } e_1 = \frac{M_d}{N_d}$$

$\lambda_{1 \text{ calc}}$ em torno de x;

$$e_1 = \frac{54,31}{1616,5 \cdot 1,4} = 0,024 \text{ m ou } \mathbf{2,4 \text{ cm}}$$

$$\lambda_{1 \text{ calc.}} = \frac{25 + 12,5 \cdot \frac{2,4}{30}}{1,00} = \mathbf{26,00}$$

$$35 \leq \lambda_1 \leq 90$$

$$\lambda_1 = 35$$

$\lambda_{1 \text{ calc}}$ em torno de y;

$$e_1 = \frac{47,53}{1616,5 \cdot 1,4} = 0,021 \text{ m ou } \mathbf{2,1 \text{ cm}}$$

$$\lambda_{1 \text{ calc.}} = \frac{25 + 12,5 \cdot \frac{2,1}{20}}{1,00} = \mathbf{26,31}$$

$$35 \leq \lambda_1 \leq 90$$

$$\lambda_1 = 35$$

Como $\lambda < \lambda_1$ em torno de x os efeitos de segunda ordem podem ser desconsiderados.

Como $\lambda > \lambda_1$ em torno de y os efeitos de segunda ordem devem ser considerados.

$$v = N_{Sd} / (A_c f_{cd})$$

$$v = 1,4 \cdot 1616,5 / (20 \cdot 30 \cdot 6 / 1,4) = \mathbf{0,88}$$

O momento total máximo no pilar:

$$M_{d, \text{tot}} = \alpha_b M_{1d,A} + N_d \frac{l^2 e}{10 r} \geq M_{1d,A}$$

$$\frac{1}{r} = \frac{0,005}{h(v + 0,5)} \leq \frac{0,005}{h}$$

$$\frac{1}{r} = \frac{0,005}{0,2(0,88 + 0,5)} \leq \frac{0,005}{0,2}$$

$$\frac{1}{r} = 0,018 \leq 0,025$$

$$\frac{1}{r} = \mathbf{0,018}$$

$$M_{d,tot} = 1.1,4.6,0 + 1,4.1616,5 \frac{2,9^2}{10} \cdot 0,018 \geq M_{1d,A}$$

$$M_{d,tot} = \mathbf{42,65KN.m}$$

$$M_{d,tot} < M_{d1min}$$

- Determinação da armadura:

$$v = N_{Sd} / (A_c f_{cd})$$

$$v = 1,4.1616,5 / (20.30.6/1,4) = \mathbf{0,88}$$

$$\mu = \frac{M_d}{A_c \cdot h \cdot f_{cd}}$$

Em torno de x

$$\mu = \frac{5431}{20.30.30 \cdot \frac{6,0}{1,4}} = \mathbf{0,07}$$

$$d^2 = 4cm$$

$$d^2/h = 0,04/0,30 = \mathbf{0,13}$$

$$\omega = \mathbf{0,12} \text{ ábaco}$$

$$A_s = (\omega \cdot A_c \cdot f_{cd}) / f_{yd}$$

$$A_s = \frac{0,12 \cdot 20 \cdot 30 \cdot \frac{6,0}{1,4}}{\frac{50}{1,15}} = 7,09 \text{ cm}^2$$

Em torno de y

$$\mu = \frac{4753}{20 \cdot 30 \cdot 20 \cdot \frac{6,0}{1,4}} = 0,09$$

$$d^2 = 4 \text{ cm}$$

$$d^2/h = 0,04/0,20 = 0,2$$

$$\omega = 0,3 \text{ ábaco}$$

$$A_s = (\omega \cdot A_c \cdot f_{cd}) / f_{yd}$$

$$A_s = \frac{0,3 \cdot 20 \cdot 30 \cdot \frac{6,0}{1,4}}{\frac{50}{1,15}} = 17,74 \text{ cm}^2$$

- Armadura mínima;

$$A_{smin} = 0,15 \cdot \frac{f_{cd}}{f_{yd}} \cdot v \cdot A_c$$

$$A_{smin} = 0,15 \cdot \frac{\frac{6,0}{1,4}}{\frac{50}{1,15}} \cdot 0,88 \cdot 20 \cdot 30 = 7,80 \text{ cm}^2$$

$$A_{smáx} = \frac{8}{100} \cdot 20 \cdot 30 = 48 \text{ cm}^2$$

Como $A_{smin} < A_{stornodex} < A_{smáx}$, portanto $A_s = 7,80 \text{ cm}^2$.

Como $A_{stornodex} < A_{smin} < A_{smáx}$, portanto $A_s = 17,74 \text{ cm}^2$.

Conforme NBR 6118: 2114, a figura abaixo mostra os momentos nas duas direções simultaneamente para a determinação das armaduras longitudinais,

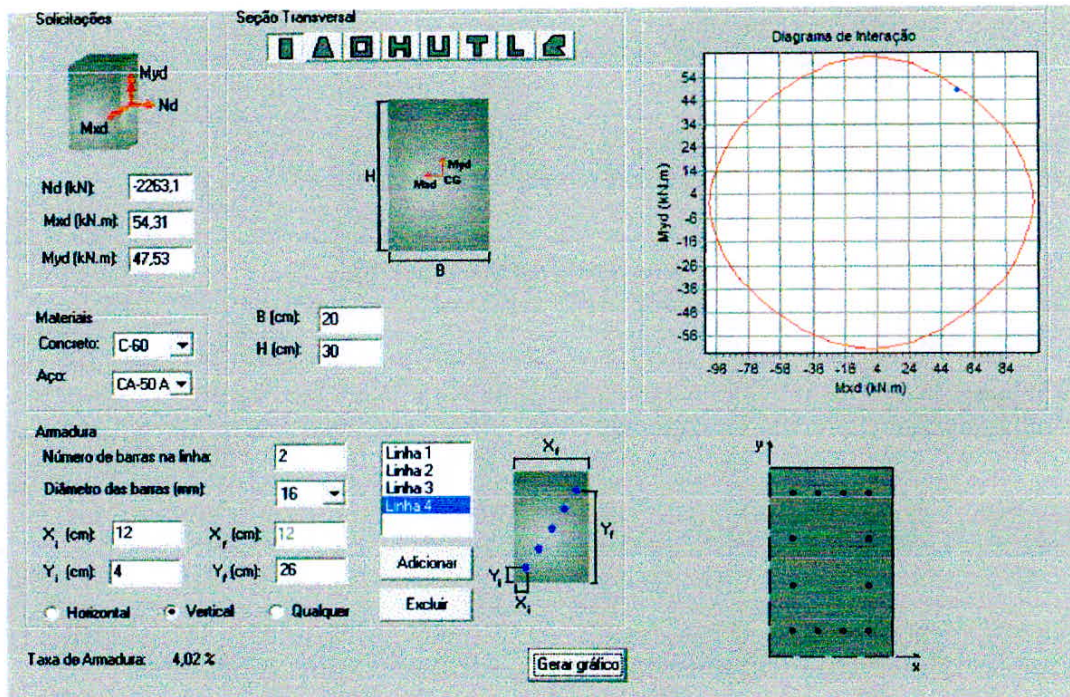


FIGURA 38 – Verificação da armadura P1, NBR 6118:2014 f_{ck} 60 MPa.

Fonte: Obliqua

$$A_{s,\text{efetivo}} = 12 \text{ } \emptyset \text{ de } 16 \text{ mm} = 24,0 \text{ cm}^2$$

$$\text{Taxa de armadura} = 4,02 \%$$

Estribo com \emptyset 6,3 mm

$$S \leq \begin{cases} 200 \text{ mm} \\ \text{menor dimensão} \\ 12 \cdot \emptyset \text{ barra} \end{cases}$$

$$S \leq \begin{cases} 200 \text{ mm} \\ 200 \text{ mm} \\ 12 \cdot 16 \text{ mm} = 192 \text{ mm} \end{cases}$$

$$S = 200 \text{ mm}$$

$$N = 3,1 / 12 = 16 \text{ estribos}$$

Estribos adicionais

$$20 \cdot \emptyset_t = 20 \cdot 0,63 = 12,6$$

Comprimento gancho do estribo

$$5 \cdot \emptyset_t = 5 \cdot 1,6 = 8 \text{ cm} \cdot 2 = 16 \text{ cm}$$

- Diâmetro mínimo e máximo da armadura longitudinal

$10 \text{ mm} \leq \emptyset \leq 1/8$ da menor dimensão transversal do pilar

$$\emptyset = 16 \text{ mm}$$

$$10 \text{ mm} \leq 16 \text{ mm} \leq 1/8 \cdot 200 \rightarrow 10 \text{ mm} \leq 16 \text{ mm} \leq 25 \text{ mm}$$

- Espaçamento mínimo e máximo da armadura longitudinal

$$e_{\min} \geq \begin{cases} 20 \text{ mm} \\ \emptyset_t \\ 1,2 \cdot d_{\text{máx. agr.}} \end{cases}$$

$$e_{\max} \leq \begin{cases} 2 \cdot \text{menor dimensão seção} \\ 400 \text{ mm} \end{cases}$$

$$e_{\min} \geq \begin{cases} 20 \text{ mm} \\ 16 \text{ mm} \\ 1,2 \cdot 1,9 = 23 \text{ mm} \end{cases}$$

$$e_{\max} \leq \begin{cases} 2 \cdot 300 = 600 \text{ mm} \\ 400 \text{ mm} \end{cases}$$

$$e_{\text{calc}} = \frac{30 - 2,4}{3} = 6,8 \text{ cm}$$

$$e_{\text{calc}} = \frac{20 - 2,4}{3} = 4 \text{ cm}$$

- Emendas por traspasse

$$L_{b, \text{nec}} = \alpha_1 \cdot l_b \cdot \frac{A_{s, \text{nec}}}{A_{s, \text{ef}}}$$

$$L_b = \frac{f_{yd}}{f_{bd}} \cdot \frac{\emptyset}{4}$$

$$F_{bd} = \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot \eta_3 \cdot f_{ctd}$$

$$\eta_1 = 2,25 \text{ barras CA-50}$$

$$\eta_2 = 1,0 \text{ boa aderência}$$

$$\eta_3 = 1,0$$

$$f_{ctd} = \frac{f_{ctk,inf}}{\gamma_c} = \frac{0,21 \cdot \sqrt[3]{f_{ck}^2}}{1,4}$$

Logo,

$$f_{ctd} = \frac{0,21 \cdot \sqrt[3]{60^2}}{1,4} = 2,29 \text{ MPa}$$

$$F_{bd} = 2,25 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 2,29 = 5,17 \text{ MPa}$$

$$L_b = \frac{500}{5,17} \cdot \frac{1,6}{4} = 34 \text{ cm}$$

$$L_{b,nec} = 1 \cdot 34 \cdot 1 = \mathbf{34 \text{ cm}}$$

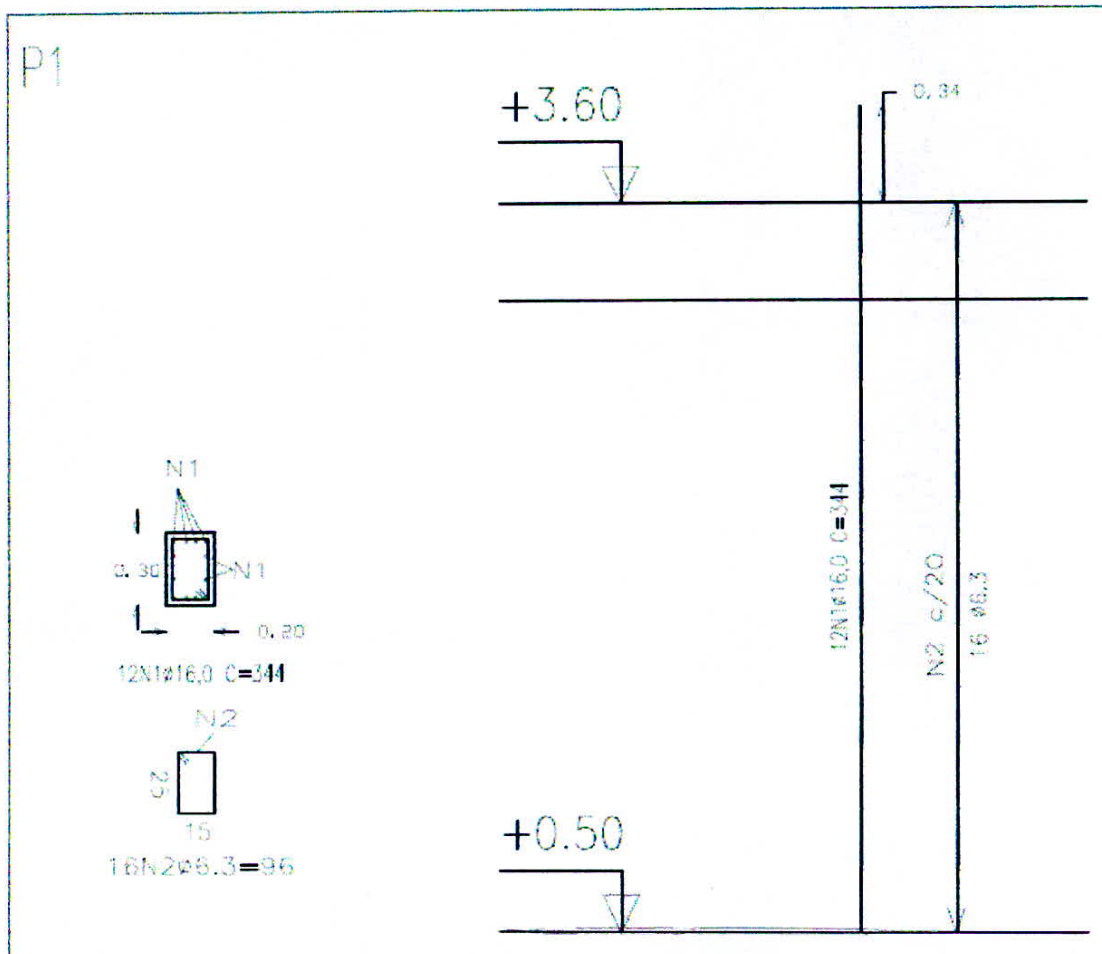


FIGURA 39 – detalhamento P1, NBR 6118:2014 F_{ck} 60 MPa.

Fonte: Pessoal

APÊNDICE C- Dimensionamento dos pilares P11 e P1 com a NBR

6118:2003

Pilar de Canto/Extremidade/Central							f _{ck} (MPa)		30,0	
Pilar	P11		P11		P11		P11		P11	
Pavimento	Trecho 0 - 1		Trecho 1 - 2		Trecho 2 - 3		Trecho 3 - 4		Trecho 4 - 5	
N (kN)	4199,9		3780,4		3358,8		2937		2516,3	
Direção	em torno X	em torno Y	em torno X	em torno Y	em torno X	em torno Y	em torno X	em torno Y	em torno X	em torno Y
M _{Topo Pilar} (kN.m)	0,00	-38,80	0,00	-57,20	0,00	-54,70	0,00	-61,20	0,00	-48,40
M _{Base Pilar} (kN.m)	0,00	0,00	0,00	63,40	0,00	54,60	0,00	57,40	0,00	45,20
L (m)	3,10	3,10	3,10	3,10	3,10	3,10	3,10	3,10	3,10	3,10
L ₀ (m)	2,70	2,70	2,70	2,70	2,70	2,70	2,70	2,70	2,70	2,70
Base Pilar (m)	0,30	0,80	0,30	0,80	0,30	0,80	0,30	0,80	0,30	0,50
Altura Pilar (m)	0,80	0,30	0,80	0,30	0,80	0,30	0,80	0,30	0,50	0,30
γ _n	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
γ _f	1,40		1,40		1,40		1,40		1,40	
Le (m)	3,10	3,00	3,10	3,00	3,10	3,00	3,10	3,00	3,10	3,00
M _a (kN.m)	0,00	-38,80	0,00	63,40	0,00	-54,70	0,00	-61,20	0,00	-48,40
M _b (kN.m)	0,00	0,00	0,00	-57,20	0,00	54,60	0,00	57,40	0,00	45,20
λ	13,42	34,64	11,69	31,18	11,69	31,18	11,69	31,18	18,71	31,18
θ (rad)	0,0050 0	0,0050 0	0,0050 0	0,0050 0	0,0050 0	0,0050 0	0,0050 0	0,0050 0	0,0050 0	0,0050 0
M _{1d,Acidental} (kN.m)	91,14	88,20	82,03	79,39	72,89	70,53	63,73	61,68	54,60	52,84
M _{1d,min} (kN.m)	229,31	141,12	206,41	127,02	183,39	112,86	160,36	98,68	105,68	84,55
α _B	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
λ _{1-calc}	25,61	26,00	25,61	26,00	25,61	26,00	25,61	26,00	25,75	26,00
λ ₁	35,00	35,00	35,00	35,00	35,00	35,00	35,00	35,00	35,00	35,00
1/r	0,0038	0,0101	0,0041	0,0109	0,0044	0,0118	0,0048	0,0128	0,0063	0,0104
1/r _(efetivo)	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
M _{Sd,tot}	0,00	54,32	0,00	88,76	0,00	76,58	0,00	85,68	0,00	67,76

(kN.cm)										
M _d -(topo pilar)	229,31	141,12	206,41	127,02	183,39	112,86	160,36	98,68	105,68	84,55
M _d -(centro pilar)	229,31	141,12	206,41	127,02	183,39	112,86	160,36	98,68	105,68	84,55
M _d -(base pilar)	229,31	141,12	206,41	127,02	183,39	112,86	160,36	98,68	105,68	84,55
M _d -(dimens.)	229,31	141,12	206,41	127,02	183,39	112,86	160,36	98,68	105,68	84,55
v	1,14		1,03		0,91		0,80		1,10	
μ	0,06	0,09	0,05	0,08	0,04	0,07	0,04	0,06	0,07	0,09
d' (m)	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
d'/h	0,06	0,17	0,06	0,17	0,06	0,17	0,06	0,17	0,10	0,17

Determinação da Armadura, utilizando ábacos de Flexão Normal Composta

ω	0,4	0,55	0,3	0,4	0,15	0,25	0,05	0,08	0,4	0,5
As (cm ²)	47,31	65,06	35,49	47,31	17,74	29,57	5,91	9,46	29,57	36,96
As _{mjn} (cm ²)	20,29		18,26		16,22		14,19		12,15	
Núm. Barras	6 # 32,0 mm	8 # 32,0 mm	4 # 32,0 mm	6 # 32,0 mm	4 # 25,0 mm	6 # 25,0 mm	6 # 16,0 mm	6 # 16,0 mm	6 # 25,0 mm	6 # 25,0 mm
Detalhe da Seção							2 # 8,0 mm	2 # 8,0 mm		2 # 20,0 mm
Armadura	8 # 32,0 mm		6 # 32,0 mm		6 # 25,0 mm		2 # 8,0 mm, 6 # 16,0 mm		6 # 25,0 mm, 2 # 20,0 mm	
As _{efetivo} (cm ²)	64,00		48,00		30,00		14,00		36,30	
ρ (%)	2,67%		2,00%		1,25%		0,58%		2,42%	

Pilar de Canto/Extremidade/Central							f _{ck} (MPa)		30,0	
Pilar	P11		P11		P11		P11		P11	
Pavimento	Trecho 5 - 6		Trecho 6 - 7		Trecho 7 - 8		Trecho 8 - 9		Trecho 9 - 10	
N (kN)	2097,1		1677,6		1258,4		838,1		416,2	
Direção	em torno X	em torno Y	em torno X	em torno Y	em torno X	em torno Y	em torno X	em torno Y	em torno X	em torno Y
M _{Topo Pilar} (kN.m)	0,00	-49,50	0,00	-52,00	0,00	-48,10	0,00	-48,40	0,00	-70,60
M _{Base Pilar} (kN.m)	0,00	50,20	0,00	50,50	0,00	45,30	0,00	49,70	0,00	57,40

L (m)	3,10	3,10	3,10	3,10	3,10	3,10	3,10	3,10	3,10	3,10
L ₀ (m)	2,70	2,70	2,70	2,70	2,70	2,70	2,70	2,70	2,70	2,70
Base Pilar (m)	0,30	0,50	0,30	0,50	0,30	0,40	0,30	0,40	0,30	0,40
Altura Pilar (m)	0,50	0,30	0,50	0,30	0,40	0,30	0,40	0,30	0,40	0,30
γ _n	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
γ _f	1,40		1,40		1,40		1,40		1,40	
Le (m)	3,10	3,00	3,10	3,00	3,10	3,00	3,10	3,00	3,10	3,00
M _a (kN.m)	0,00	50,20	0,00	-52,00	0,00	-48,10	0,00	49,70	0,00	-70,60
M _b (kN.m)	0,00	-49,50	0,00	50,50	0,00	45,30	0,00	-48,40	0,00	57,40
λ	21,48	34,64	18,71	31,18	23,38	31,18	23,38	31,18	23,38	31,18
θ (rad)	0,0050 0	0,0050 0	0,0050 0	0,0050 0	0,0050 0	0,0050 0	0,0050 0	0,0050 0	0,0050 0	0,0050 0
M _{1d,Acidental} (kN.m)	45,51	44,04	36,40	35,23	27,31	26,43	18,19	17,60	9,03	8,74
M _{1d,min} (kN.m)	88,08	70,46	70,46	56,37	47,57	42,28	31,68	28,16	15,73	13,98
α _B	1,00	1,00	1,00	0,40	1,00	0,40	1,00	0,40	1,00	0,40
λ _{1-calc}	25,75	26,00	25,75	65,73	25,84	66,48	25,84	68,68	25,84	80,17
λ ₁	35,00	35,00	35,00	65,73	35,00	66,48	35,00	68,68	35,00	80,17
1/r	0,0071	0,0118	0,0081	0,0135	0,0105	0,0141	0,0125	0,0167	0,0125	0,0167
1/r _(efetivo)	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
M _{Sd,tot} (kN.cm)	0,00	70,28	0,00	29,12	0,00	26,94	0,00	27,83	0,00	39,54
M _{d-(topo pilar)}	88,08	70,46	70,46	72,80	47,57	67,34	31,68	67,76	15,73	98,84
M _{d-(centro pilar)}	88,08	70,46	70,46	56,37	47,57	42,28	31,68	28,16	15,73	39,54
M _{d-(basepilar)}	88,08	70,46	70,46	70,70	47,57	63,42	31,68	69,58	15,73	80,36
M _{d-(dimens.)}	88,08	70,46	70,46	72,80	47,57	67,34	31,68	69,58	15,73	98,84
v	0,91		0,73		0,69		0,46		0,23	
μ	0,05	0,07	0,04	0,08	0,05	0,09	0,03	0,09	0,02	0,13
d' (m)	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
d'/h	0,10	0,17	0,10	0,17	0,13	0,17	0,13	0,17	0,13	0,17

Determinação da Armadura, utilizando ábacos de Flexão Normal Composta

ω	0,15	0,21	0	0,1	0	0,1	0	0	0,05	0
As (cm ²)	11,09	15,53	0,00	7,39	0,00	5,91	0,00	0,00	2,96	0,00
AS _{mjn} (cm ²)	10,13		8,10		6,08		4,05		2,01	
Núm. Barras	6 # 16,0 mm	8 # 16,0 mm	4# 16,0 mm	4# 16,0 mm	8 # 10,0 mm	8 # 10,0 mm	6 # 10,0 mm	6 # 10,0 mm	8 # 8,0 mm	8 # 8,0 mm
Detalhe da Seção										

Armadura	8 # 16,0 mm	4# 16,0 mm	8 # 10,0 mm	6 # 10,0 mm	8 # 8,0 mm
AS_{efetivo} (cm²)	16,00	8,00	6,40	4,80	4
ρ (%)	1,07%	0,53%	0,53%	0,40%	0,33%

Pilar de Canto/Extremidade/Central						f _{ck} (MPa)		30,0		
Pilar	P1		P1		P1		P1		P1	
Pavimento	Trecho 0 - 1		Trecho 1 - 2		Trecho 2 - 3		Trecho 3 - 4		Trecho 4 - 5	
N (kN)	1616,5		1452,2		1285,6		1117,8		950,8	
Direção	em torno X	em torno Y	em torno X	em torno Y	em torno X	em torno Y	em torno X	em torno Y	em torno X	em torno Y
M _{Topo Pilar} (kN.m)	-66,30	-15,40	-85,70	-27,20	-90,20	-27,30	-123,40	-31,10	-71,10	-23,30
M _{Base Pilar} (kN.m)	0,00	0,00	95,40	28,50	86,60	26,90	87,40	29,30	48,30	22,00
L (m)	3,10	3,10	3,10	3,10	3,10	3,10	3,10	3,10	3,10	3,10
L ₀ (m)	2,70	2,70	2,70	2,70	2,70	2,70	2,70	2,70	2,70	2,70
Base Pilar (m)	0,20	0,90	0,20	0,90	0,20	0,90	0,20	0,90	0,20	0,55
Altura Pilar (m)	0,90	0,20	0,90	0,20	0,90	0,20	0,90	0,20	0,55	0,20
γ _n	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
γ _r	1,40		1,40		1,40		1,40		1,40	
Le (m)	3,10	2,90	3,10	2,90	3,10	2,90	3,10	2,90	3,10	2,90
M _a (kN.m)	-66,30	-15,40	95,40	28,50	-90,20	-27,30	-123,40	-31,10	-71,10	-23,30
M _b (kN.m)	0,00	0,00	-85,70	-27,20	86,60	26,90	87,40	29,30	48,30	22,00
λ	11,93	50,23	10,39	46,77	10,39	46,77	10,39	46,77	17,01	46,77
θ (rad)	0,0050 0	0,0050 0	0,0050 0	0,0050 0	0,0050 0	0,0050 0	0,0050 0	0,0050 0	0,0050 0	0,0050 0
M _{1d,Acidental} (kN.m)	35,08	32,81	31,51	29,48	27,90	26,10	24,26	22,69	20,63	19,30
M _{1d,min} (kN.m)	95,05	47,53	85,39	42,69	75,59	37,80	65,73	32,86	41,93	27,95
α _B	1,00	1,00	0,40	1,00	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40
λ _{l-calc}	25,58	26,31	64,78	26,31	64,94	65,82	66,33	66,85	66,75	66,33
λ _l	35,00	35,00	64,78	35,00	64,94	65,82	66,33	66,85	66,75	66,33
l/r	0,0051	0,0230	0,0054	0,0243	0,0056	0,0250	0,0056	0,0250	0,0085	0,0235
l/r _(efetivo)	0,0000	0,0230	0,0000	0,0243	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
M _{Sd,tot} (kN.cm)	92,82	65,34	53,42	81,52	50,51	15,29	69,10	17,42	39,82	13,05

$M_{d-(\text{topo pilar})}$	95,05	47,53	119,98	42,69	126,28	38,22	172,76	43,54	99,54	32,62
$M_{d-(\text{centro pilar})}$	95,05	65,34	85,39	81,52	75,59	37,80	69,10	32,86	41,93	27,95
$M_{d-(\text{basepilar})}$	95,05	47,53	133,56	42,69	121,24	37,80	122,36	41,02	67,62	30,80
$M_{d-(\text{dimens.})}$	95,05	65,34	133,56	81,52	126,28	38,22	172,76	43,54	99,54	32,62
v	0,59		0,53		0,47		0,41		0,56	
μ	0,03	0,08	0,04	0,11	0,04	0,05	0,05	0,06	0,08	0,07
d' (m)	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04
d'/h	0,04	0,20	0,04	0,20	0,04	0,20	0,04	0,20	0,07	0,20

Determinação da Armadura, utilizando ábacos de Flexão Normal Composta

ω	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
A_s (cm ²)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

$A_{s_{\min}}$ (cm ²)	7,81		7,01		6,21		5,40		4,59	
Núm. Barras	10 # 10,0 mm	10 # 10,0 mm	10 # 10,0 mm	10 # 10,0 mm	8 # 10,0 mm	8 # 10,0 mm	4 # 12,50 mm	4 # 12,50 mm	6 # 10,0 mm	6 # 10,0 mm
Detalhe da Seção										
Armadura	10 # 10,0 mm		10 # 10,0 mm		8 # 10,0 mm		4 # 12,50 mm		6 # 10,0 mm	
$A_{s_{\text{efetivo}}}$ (cm ²)	8,00		8,00		6,40		5,00		4,80	
ρ (%)	0,44%		0,44%		0,36%		0,28%		0,44%	

Pilar de Canto/Extremidade/Central						f_{ck} (MPa)		30,0		
Pilar	P1		P1		P1		P1		P1	
Pavimento	Trecho 5 - 6		Trecho 6 - 7		Trecho 7 - 8		Trecho 8 - 9		Trecho 9 - 10	
N (kN)	788,1		624,3		462,7		307,3		150,6	
Direção	em torno X	em torno Y	em torno X	em torno Y	em torno X	em torno Y	em torno X	em torno Y	em torno X	em torno Y
$M_{\text{Topo Pilar}}$ (kN.m)	-73,30	-23,70	-99,10	-25,30	-41,40	-15,70	-46,10	-15,70	-55,60	-17,20
$M_{\text{Base Pilar}}$ (kN.m)	74,70	23,60	79,20	24,20	34,90	15,10	46,90	15,80	50,30	16,30
L (m)	3,10	3,10	3,10	3,10	3,10	3,10	3,10	3,10	3,10	3,10

L_0 (m)	2,70	2,70	2,70	2,70	2,70	2,70	2,70	2,70	2,70	2,70
Base Pilar (m)	0,20	0,55	0,20	0,55	0,20	0,30	0,20	0,30	0,20	0,30
Altura Pilar (m)	0,55	0,20	0,55	0,20	0,30	0,20	0,30	0,20	0,30	0,20
γ_n	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
γ_f	1,40		1,40		1,40		1,40		1,40	
Le (m)	3,10	2,90	3,10	2,90	3,00	2,90	3,00	2,90	3,00	2,90
M_a (kN.m)	74,70	-23,70	-99,10	-25,30	-41,40	-15,70	46,90	15,80	-55,60	-17,20
M_b (kN.m)	-73,30	23,60	79,20	24,20	34,90	15,10	-46,10	-15,70	50,30	16,30
λ	19,52	50,23	17,01	46,77	31,18	46,77	31,18	46,77	31,18	46,77
θ (rad)	0,0050 0	0,0050 0	0,0050 0	0,0050 0	0,0050 0	0,0050 0	0,0050 0	0,0050 0	0,0050 0	0,0050 0
$M_{1d,Acidental}$ (kN.m)	17,10	16,00	13,55	12,67	9,72	9,39	6,45	6,24	3,16	3,06
$M_{1d,min}$ (kN.m)	34,76	23,17	27,53	18,35	15,55	13,60	10,33	9,03	5,06	4,43
α_B	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40
λ_{1_calc}	67,89	67,20	71,52	68,83	71,82	67,80	78,40	70,53	100,96	80,35
λ_1	67,89	67,20	71,52	68,83	71,82	67,80	78,40	70,53	90,00	80,35
1/r	0,0091	0,0250	0,0091	0,0250	0,0166	0,0249	0,0167	0,0250	0,0167	0,0250
1/r(efetivo)	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
$M_{Sd,tot}$ (kN.cm)	41,83	13,27	55,50	14,17	23,18	8,79	26,26	8,85	31,14	9,63
M_d (topo pilar)	102,62	33,18	138,74	35,42	57,96	21,98	64,54	21,98	77,84	24,08
M_d (centro pilar)	41,83	23,17	55,50	18,35	23,18	13,60	26,26	9,03	31,14	9,63
M_d (base pilar)	104,58	33,04	110,88	33,88	48,86	21,14	65,66	22,12	70,42	22,82
M_d (dimens.)	104,58	33,18	138,74	35,42	57,96	21,98	65,66	22,12	77,84	24,08
ν	0,47		0,37		0,50		0,33		0,16	
μ	0,08	0,07	0,11	0,08	0,15	0,09	0,17	0,09	0,20	0,09
d' (m)	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04
d'/h	0,07	0,20	0,07	0,20	0,13	0,20	0,13	0,20	0,13	0,20

Determinação da Armadura, utilizando ábacos de Flexão Normal Composta

ω	0	0	0	0	0,16	0	0,25	0	0,4	0
As (cm ²)	0,00	0,00	0,00	0,00	4,73	0,00	7,39	0,00	11,83	0,00
As_{mijn} (cm ²)	3,81		3,02		2,23		1,48		0,73	
Núm. Barras	4 # 10,0 mm	4 # 10,0 mm	4 # 10,0 mm	4 # 10,0 mm	4 # 10,0 mm	4 # 10,0 mm	4 # 10,0 mm	4 # 10,0 mm	4 # 10,0 mm	4 # 10,0 mm
Detalhe da Seção										
Armadura	4 # 10,0 mm		4 # 10,0 mm		4 # 10,0 mm		4 # 10,0 mm		4 # 10,0 mm	

$A_{s\text{efetivo}}$ (cm^2)	3,20	3,20	3,20	3,20	3,2
ρ (%)	0,29%	0,29%	0,53%	0,53%	0,53%

APÊNDICE D- Dimensionamento dos pilares P11 e P1 com a NBR 6118:2014

Pilar de Canto/Extremidade/Central							f_{ck} (MPa)		30,0	
Pilar	P11		P11		P11		P11		P11	
Pavimento	Trecho 0 - 1		Trecho 1 -2		Trecho 2 - 3		Trecho 3 - 4		Trecho 4 - 5	
N (kN)	4199,9		3780,4		3358,8		2937		2516,3	
Direção	em torno X	em torno Y	em torno X	em torno Y	em torno X	em torno Y	em torno X	em torno Y	em torno X	em torno Y
$M_{\text{Topo Pilar}}$ (kN.m)	0,00	-38,80	0,00	-57,20	0,00	-54,70	0,00	-61,20	0,00	-48,40
$M_{\text{Base Pilar}}$ (kN.m)	0,00	0,00	0,00	63,40	0,00	54,60	0,00	57,40	0,00	45,20
L (m)	3,10	3,10	3,10	3,10	3,10	3,10	3,10	3,10	3,10	3,10
L_0 (m)	2,70	2,70	2,70	2,70	2,70	2,70	2,70	2,70	2,70	2,70
Base Pilar (m)	0,30	0,80	0,30	0,80	0,30	0,80	0,30	0,80	0,30	0,50
Altura Pilar (m)	0,80	0,30	0,80	0,30	0,80	0,30	0,80	0,30	0,50	0,30
γ_n	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
γ_f	1,40		1,40		1,40		1,40		1,40	
Le (m)	3,10	3,00	3,10	3,00	3,10	3,00	3,10	3,00	3,10	3,00
M_a (kN.m)	0,00	-38,80	0,00	63,40	0,00	-54,70	0,00	-61,20	0,00	-48,40
M_b (kN.m)	0,00	0,00	0,00	-57,20	0,00	54,60	0,00	57,40	0,00	45,20
λ	13,42	34,64	11,69	31,18	11,69	31,18	11,69	31,18	18,71	31,18
θ (rad)	0,0050	0,0050	0,0050	0,0050	0,0050	0,0050	0,0050	0,0050	0,0050	0,0050

	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$M_{1d,Acidental}$ (kN.m)	91,14	88,20	82,03	79,39	72,89	70,53	63,73	61,68	54,60	52,84
$M_{1d,min}$ (kN.m)	229,31	141,12	206,41	127,02	183,39	112,86	160,36	98,68	105,68	84,55
α_B	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
λ_{1-calc}	25,85	26,40	25,85	26,40	25,85	26,40	25,85	26,40	26,05	26,40
λ_1	35,00	35,00	35,00	35,00	35,00	35,00	35,00	35,00	35,00	35,00
l/r	0,0038	0,0101	0,0041	0,0109	0,0044	0,0118	0,0048	0,0128	0,0063	0,0104
l/r (efetivo)	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
$M_{sd,tot}$ (kN.cm)	0,00	54,32	0,00	88,76	0,00	76,58	0,00	85,68	0,00	67,76
M_d (topo pilar)	229,31	141,12	206,41	127,02	183,39	112,86	160,36	98,68	105,68	84,55
M_d (centro pilar)	229,31	141,12	206,41	127,02	183,39	112,86	160,36	98,68	105,68	84,55
M_d (base pilar)	229,31	141,12	206,41	127,02	183,39	112,86	160,36	98,68	105,68	84,55
M_d (dimens.)	229,31	141,12	206,41	127,02	183,39	112,86	160,36	98,68	105,68	84,55
ν	1,14		1,03		0,91		0,80		1,10	
μ	0,06	0,09	0,05	0,08	0,04	0,07	0,04	0,06	0,07	0,09
d' (m)	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
d'/h	0,06	0,17	0,06	0,17	0,06	0,17	0,06	0,17	0,10	0,17

Verificação da Armadura, utilizando aplicativo OBLIQUA

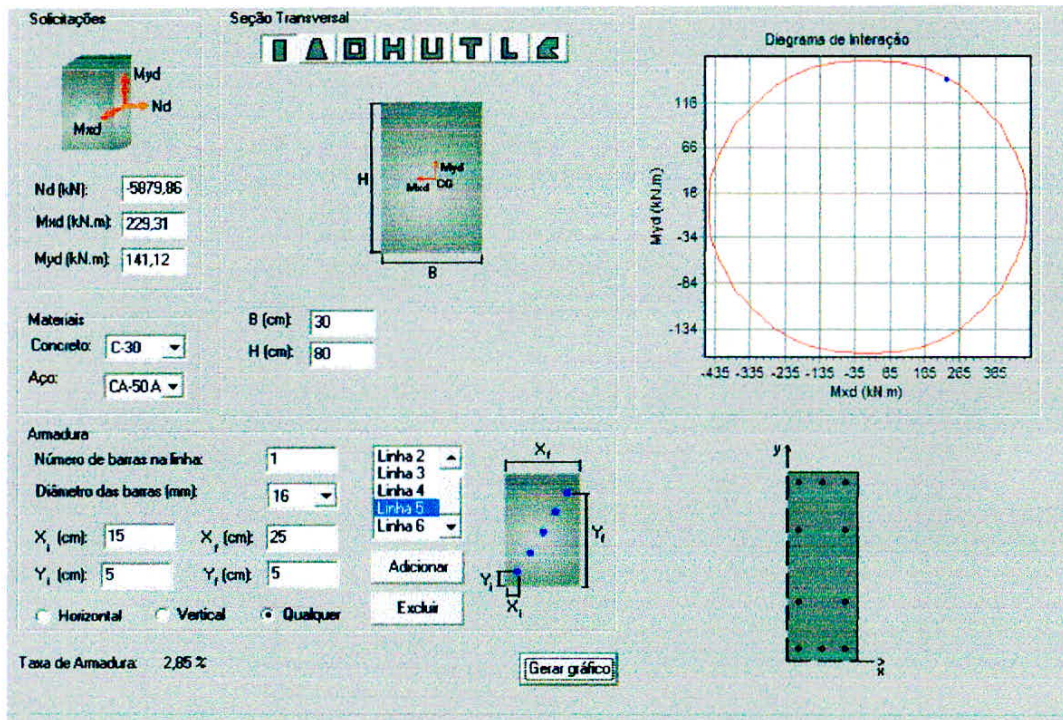
N_d (kN)	-5879,86		-5292,56		-4702,32		-4111,80		-3522,82	
M_d (dimens.)	229,31	141,12	206,41	127,02	183,39	112,86	160,36	98,68	105,68	84,55
Base Pilar (cm)	30,0	80,0	30,0	80,0	30,0	80,0	30,0	80,0	30,0	50,0
Altura Pilar (cm)	80,0	30,0	80,0	30,0	80,0	30,0	80,0	30,0	50,0	30,0
$A_{s,min}$ (cm ²)	20,29		18,26		16,22		14,19		12,15	

Pilar de Canto/Extremidade/Central							f_{ck} (MPa)		30,0	
Pilar	P11		P11		P11		P11		P11	
Pavimento	Trecho 5 - 6		Trecho 6 - 7		Trecho 7 - 8		Trecho 8 - 9		Trecho 9 - 10	
N (kN)	2097,1		1677,6		1258,4		838,1		416,2	
Direção	em torno X	em torno Y	em torno X	em torno Y	em torno X	em torno Y	em torno X	em torno Y	em torno X	em torno Y
$M_{Topo\ Pilar}$ (kN.m)	0,00	-49,50	0,00	-52,00	0,00	-48,10	0,00	-48,40	0,00	-70,60
$M_{Base\ Pilar}$ (kN.m)	0,00	50,20	0,00	50,50	0,00	45,30	0,00	49,70	0,00	57,40

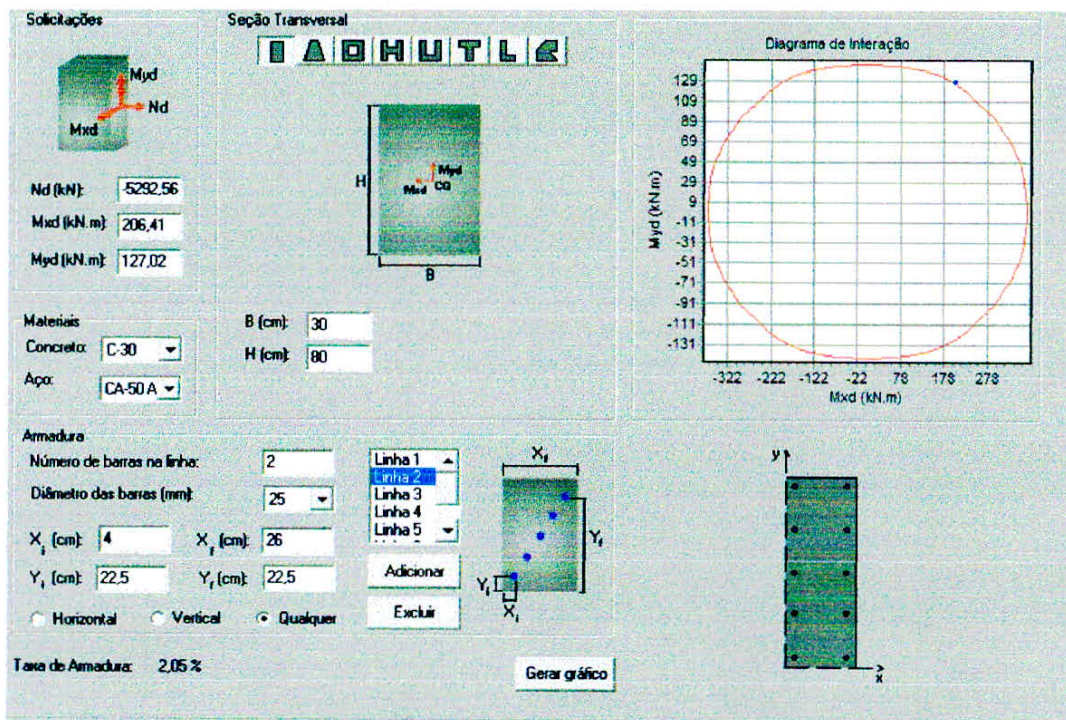
L (m)	3,10	3,10	3,10	3,10	3,10	3,10	3,10	3,10	3,10	3,10
L ₀ (m)	2,70	2,70	2,70	2,70	2,70	2,70	2,70	2,70	2,70	2,70
Base Pilar (m)	0,30	0,50	0,30	0,50	0,30	0,40	0,30	0,40	0,30	0,40
Altura Pilar (m)	0,50	0,30	0,50	0,30	0,40	0,30	0,40	0,30	0,40	0,30
γ _n	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
γ _f	1,40		1,40		1,40		1,40		1,40	
Le (m)	3,10	3,00	3,10	3,00	3,10	3,00	3,10	3,00	3,10	3,00
M _a (kN.m)	0,00	50,20	0,00	-52,00	0,00	-48,10	0,00	49,70	0,00	-70,60
M _b (kN.m)	0,00	-49,50	0,00	50,50	0,00	45,30	0,00	-48,40	0,00	57,40
λ	21,48	34,64	18,71	31,18	23,38	31,18	23,38	31,18	23,38	31,18
θ (rad)	0,0050	0,0050	0,0050	0,0050	0,0050	0,0050	0,0050	0,0050	0,0050	0,0050
M _{1d,Acidental} (kN.m)	45,51	44,04	36,40	35,23	27,31	26,43	18,19	17,60	9,03	8,74
M _{1d,min} (kN.m)	88,08	70,46	70,46	56,37	47,57	42,28	31,68	28,16	15,73	13,98
α _B	1,00	1,00	1,00	0,40	1,00	0,40	1,00	0,40	1,00	0,40
λ _{1-calc}	26,05	26,40	26,05	65,73	26,18	66,48	26,18	68,68	26,18	80,17
λ ₁	35,00	35,00	35,00	65,73	35,00	66,48	35,00	68,68	35,00	80,17
1/r	0,0071	0,0118	0,0081	0,0135	0,0105	0,0141	0,0125	0,0167	0,0125	0,0167
1/r (efetivo)	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
M _{sd,tot} (kN.cm)	0,00	70,28	0,00	29,12	0,00	26,94	0,00	27,83	0,00	39,54
M _{d-(topo pilar)}	88,08	70,46	70,46	72,80	47,57	67,34	31,68	67,76	15,73	98,84
M _{d-(centro pilar)}	88,08	70,46	70,46	56,37	47,57	42,28	31,68	28,16	15,73	39,54
M _{d-(base pilar)}	88,08	70,46	70,46	70,70	47,57	63,42	31,68	69,58	15,73	80,36
M _{d-(dimens.)}	88,08	70,46	70,46	72,80	47,57	67,34	31,68	69,58	15,73	98,84
ν	0,91		0,73		0,69		0,46		0,23	
μ	0,05	0,07	0,04	0,08	0,05	0,09	0,03	0,09	0,02	0,13
d' (m)	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
d'/h	0,10	0,17	0,10	0,17	0,13	0,17	0,13	0,17	0,13	0,17

Verificação da Armadura, utilizando aplicativo OBLIQUA

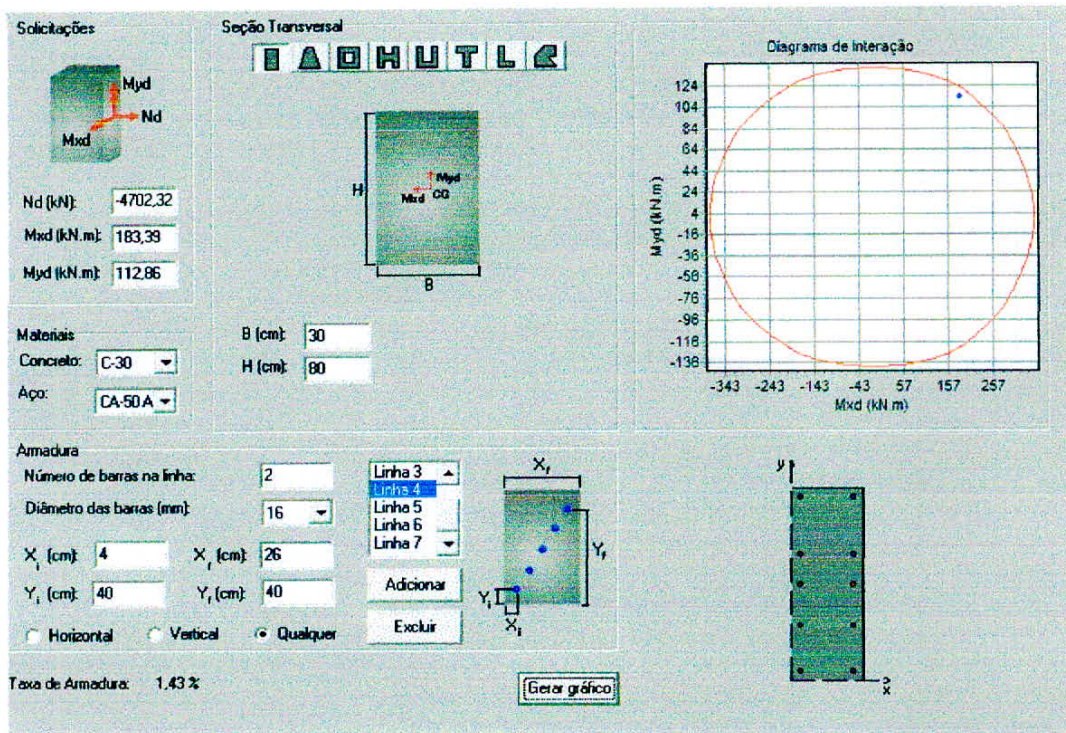
N _d (kN)	-2935,94		-2348,64		-1761,76		-1173,34		-582,68	
M _{d-(dimens.)}	88,08	70,46	70,46	72,80	47,57	67,34	31,68	69,58	15,73	98,84
Base Pilar (cm)	30,0	50,0	30,0	50,0	30,0	40,0	30,0	40,0	30,0	40,0
Altura Pilar (cm)	50,0	30,0	50,0	30,0	40,0	30,0	40,0	30,0	40,0	30,0
A _{S,min} (cm ²)	10,13		8,10		6,08		4,80		4,80	



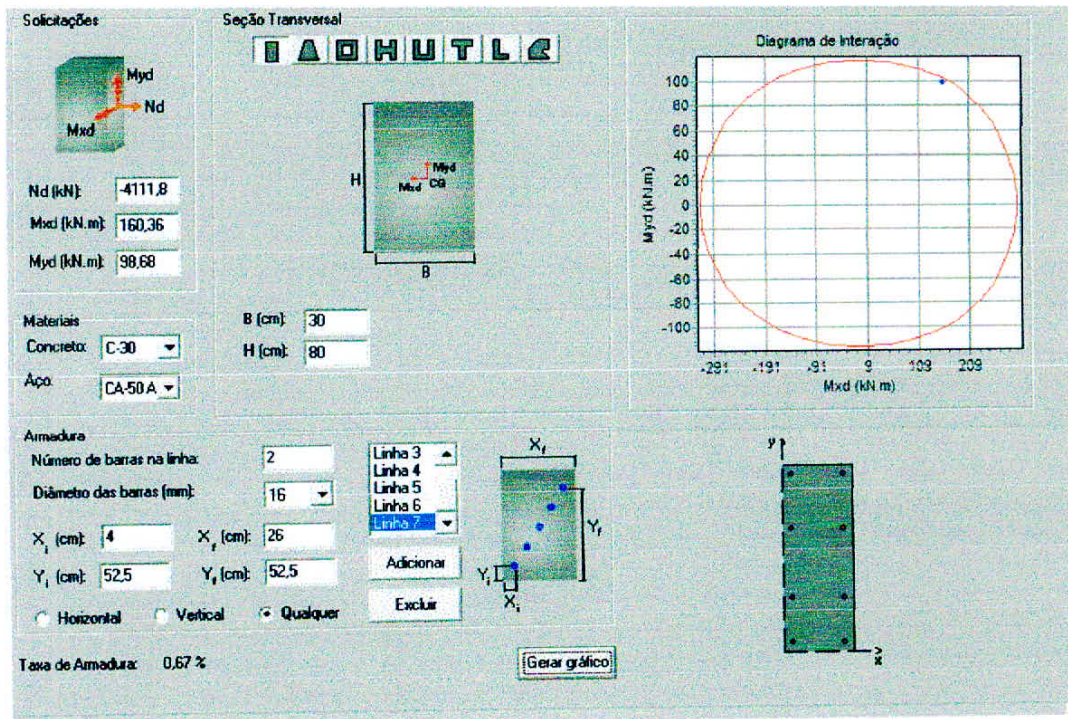
P11 1-2

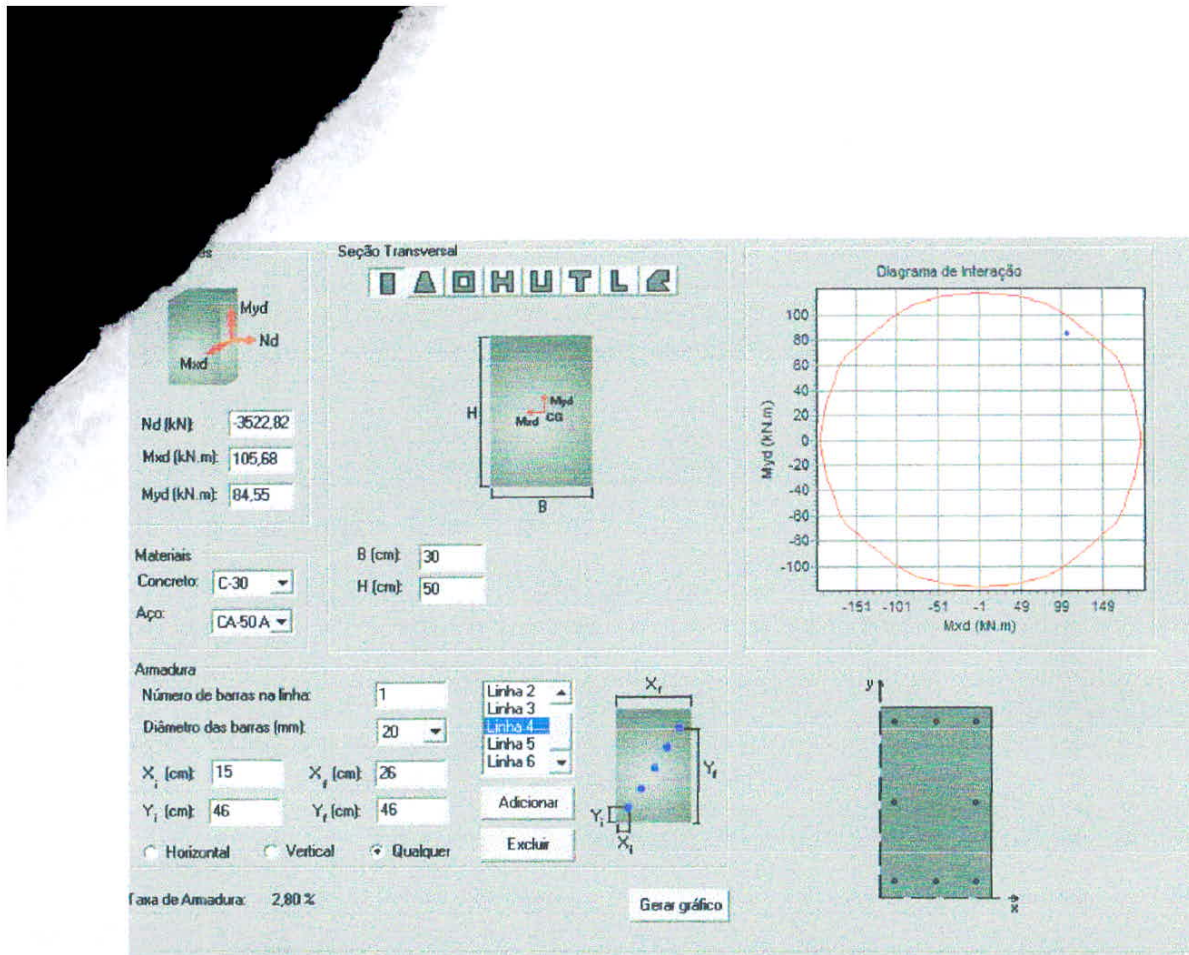


P11 2-3

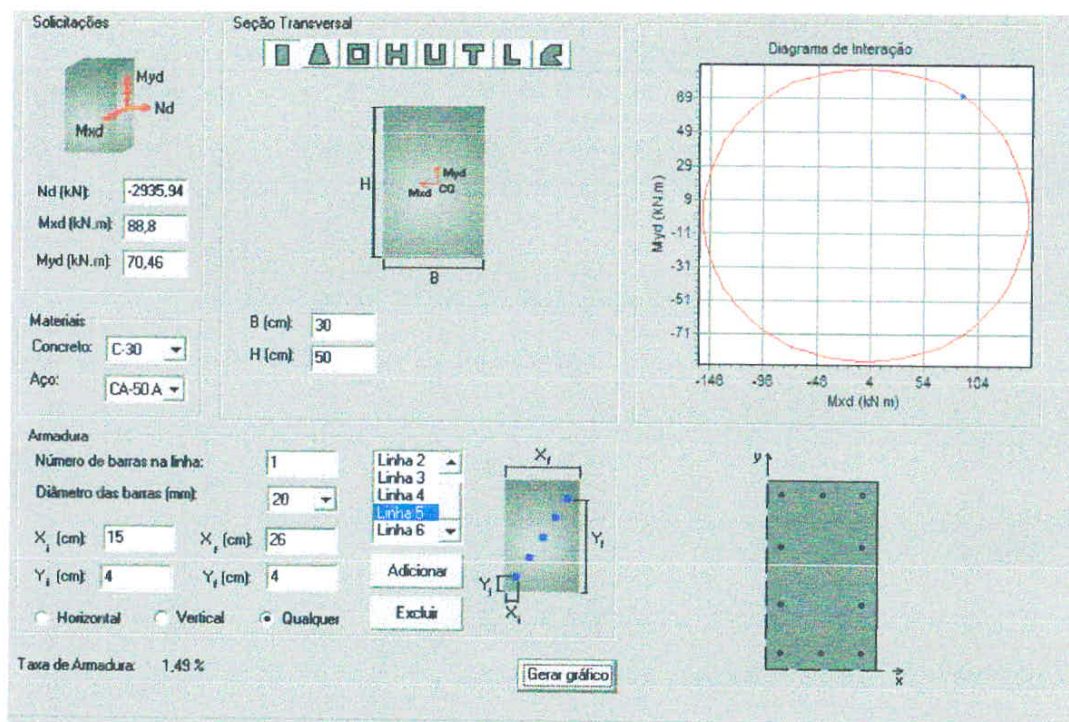


P11 3-4

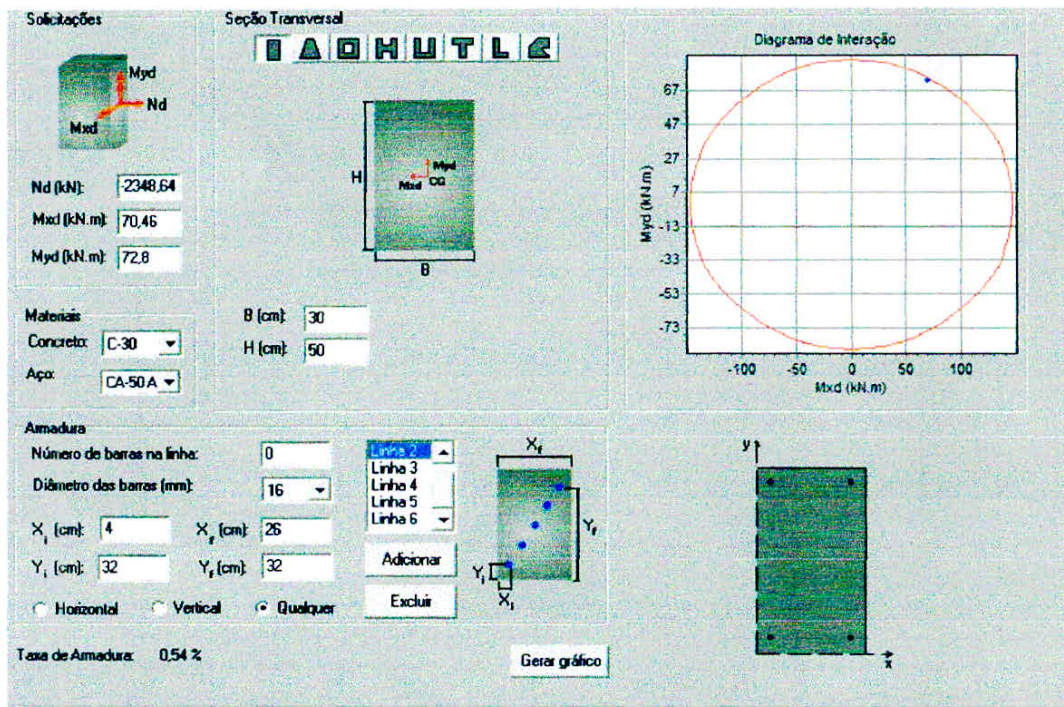




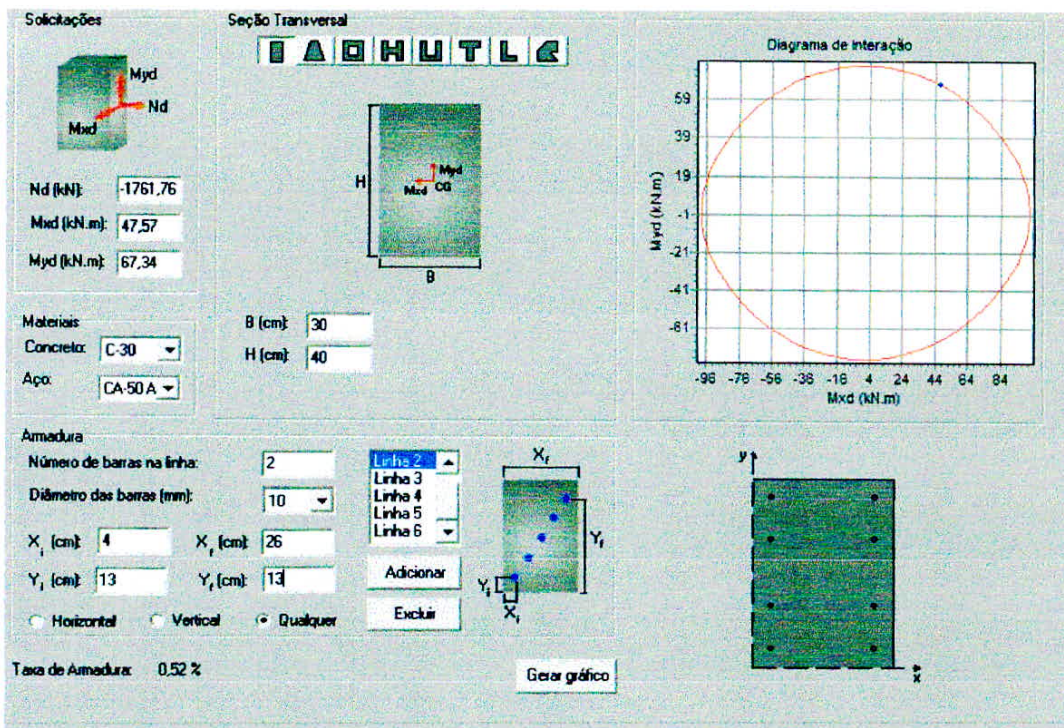
P11 5-6

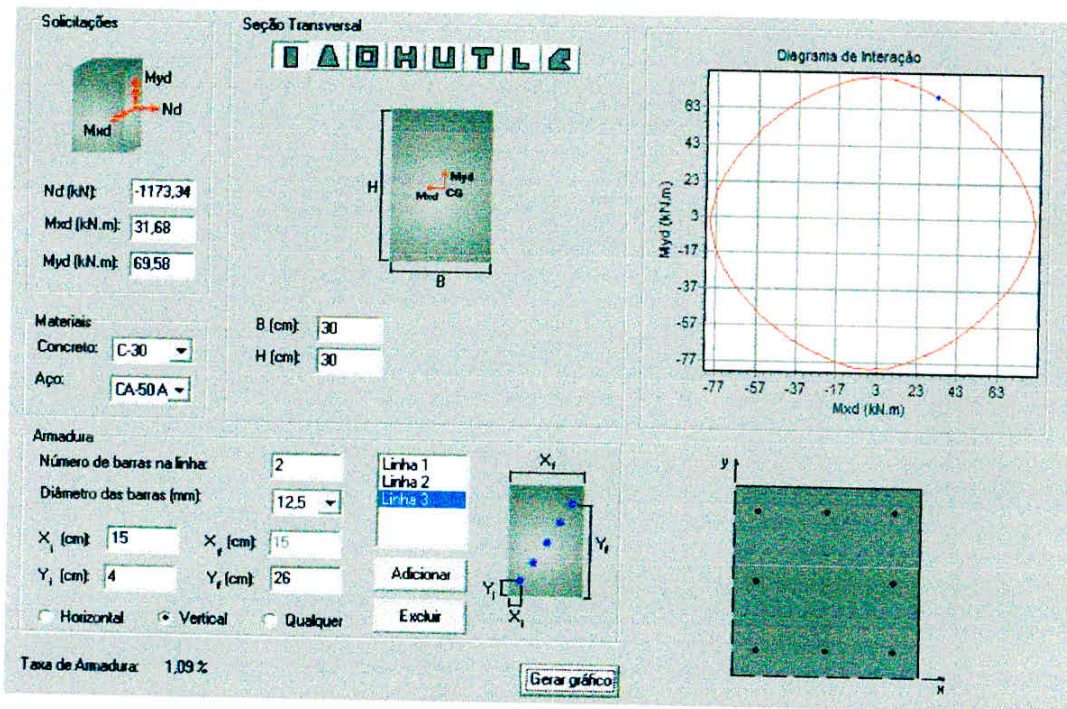


P11 6-7

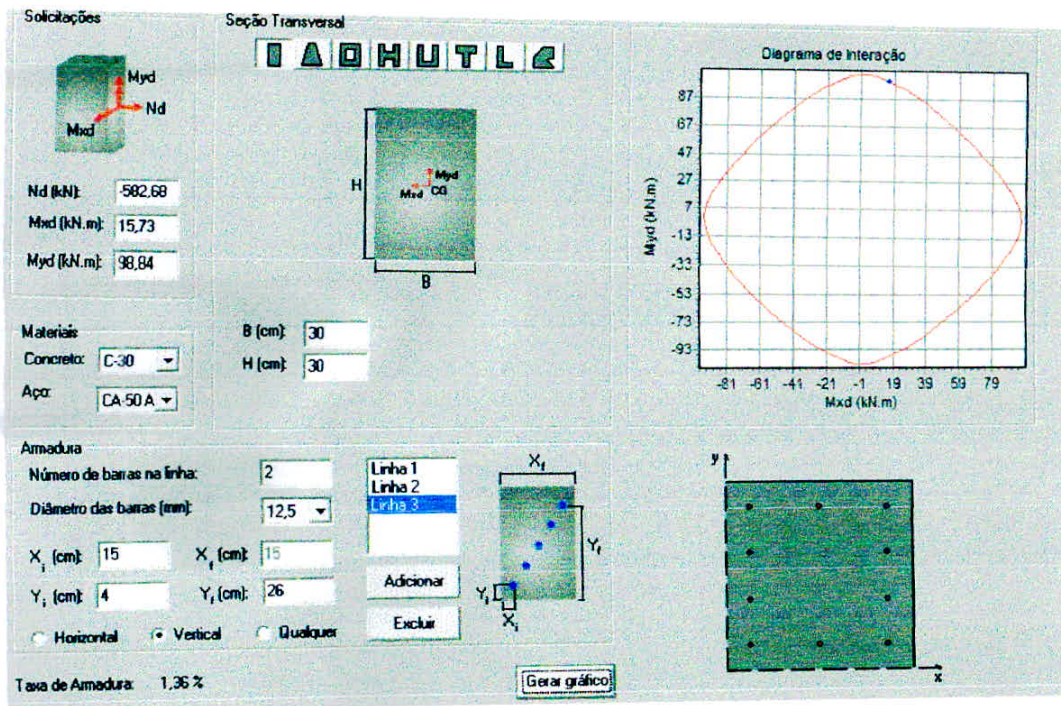


P11 7-8





P11 9-10



Pilar de Canto/Extremidade/Central							f _{ck} (MPa)		30,0	
Pilar	P1		P1		P1		P1		P1	
Pavimento	Trecho 0 - 1		Trecho 1 - 2		Trecho 2 - 3		Trecho 3 - 4		Trecho 4 - 5	
N (kN)	1616,5		1452,2		1285,6		1117,8		950,8	
Direção	em torno X	em torno Y	em torno X	em torno Y	em torno X	em torno Y	em torno X	em torno Y	em torno X	em torno Y
M _{Topo Pilar} (kN.m)	-66,30	-15,40	-85,70	-27,20	-90,20	-27,30	-	-31,10	-71,10	-23,30
M _{Base Pilar} (kN.m)	0,00	0,00	95,40	28,50	86,60	26,90	87,40	29,30	48,30	22,00
L (m)	3,10	3,10	3,10	3,10	3,10	3,10	3,10	3,10	3,10	3,10
L ₀ (m)	2,70	2,70	2,70	2,70	2,70	2,70	2,70	2,70	2,70	2,70
Base Pilar (m)	0,20	0,90	0,20	0,90	0,20	0,90	0,20	0,90	0,20	0,55
Altura Pilar (m)	0,90	0,20	0,90	0,20	0,90	0,20	0,90	0,20	0,55	0,20
γ _n	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
γ _r	1,40		1,40		1,40		1,40		1,40	
Le (m)	3,10	2,90	3,10	2,90	3,10	2,90	3,10	2,90	3,10	2,90
M _a (kN.m)	-66,30	-15,40	95,40	28,50	-90,20	-27,30	-	-31,10	-71,10	-23,30
M _b (kN.m)	0,00	0,00	-85,70	-27,20	86,60	26,90	87,40	29,30	48,30	22,00
λ	11,93	50,23	10,39	46,77	10,39	46,77	10,39	46,77	17,01	46,77
θ (rad)	0,0050 0	0,0050 0	0,0050 0	0,0050 0	0,0050 0	0,0050 0	0,0050 0	0,0050 0	0,0050 0	0,0050 0
M _{1d,Acidental} (kN.m)	35,08	32,81	31,51	29,48	27,90	26,10	24,26	22,69	20,63	19,30
M _{1d,min} (kN.m)	95,05	47,53	85,39	42,69	75,59	37,80	65,73	32,86	41,93	27,95
α _B	1,00	1,00	0,40	1,00	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40
λ _{1-calc}	25,82	26,84	64,78	26,84	64,94	65,82	66,33	66,85	66,75	66,33
λ ₁	35,00	35,00	64,78	35,00	64,94	65,82	66,33	66,85	66,75	66,33
1/r	0,0051	0,0230	0,0054	0,0243	0,0056	0,0250	0,0056	0,0250	0,0085	0,0235
1/r(efetivo)	0,0000	0,0230	0,0000	0,0243	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
M _{Sd,tot} (kN.cm)	92,82	65,34	53,42	81,52	50,51	15,29	69,10	17,42	39,82	13,05
M _{d-(topo pilar)}	95,05	47,53	119,98	42,69	126,28	38,22	172,76	43,54	99,54	32,62
M _{d-(centro pilar)}	95,05	65,34	85,39	81,52	75,59	37,80	69,10	32,86	41,93	27,95
M _{d-(base pilar)}	95,05	47,53	133,56	42,69	121,24	37,80	122,36	41,02	67,62	30,80
M _{d-(dimens.)}	95,05	65,34	133,56	81,52	126,28	38,22	172,76	43,54	99,54	32,62
v	0,59		0,53		0,47		0,41		0,56	
μ	0,03	0,08	0,04	0,11	0,04	0,05	0,05	0,06	0,08	0,07
d' (m)	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04
d'/h	0,04	0,20	0,04	0,20	0,04	0,20	0,04	0,20	0,07	0,20

Verificação da Armadura, utilizando aplicativo OBLIQUA

N_d (kN)	-2263,10		-2033,08		-1799,84		-1564,92		-1331,12	
M_d(dimens.)	95,05	65,34	133,56	81,52	126,28	38,22	172,76	43,54	99,54	32,62
Base Pilar (cm)	20,0	90,0	20,0	90,0	20,0	90,0	20,0	90,0	20,0	55,0
Altura Pilar (cm)	90,0	20,0	90,0	20,0	90,0	20,0	90,0	20,0	55,0	20,0
A_{S_{mjn}} (cm²)	7,81		7,20		7,20		7,20		4,59	

Pilar de Canto/Extremidade/Central						f _{ck} (MPa)		30,0		
Pilar	P1		P1		P1		P1		P1	
Pavimento	Trecho 5 - 6		Trecho 6 - 7		Trecho 7 - 8		Trecho 8 - 9		Trecho 9 - 10	
N (kN)	788,1		624,3		462,7		307,3		150,6	
Direção	em torno X	em torno Y	em torno X	em torno Y	em torno X	em torno Y	em torno X	em torno Y	em torno X	em torno Y
M _{Topo Pilar (kN.m)}	-73,30	-23,70	-99,10	-25,30	-41,40	-15,70	-46,10	-15,70	-55,60	-17,20
M _{Base Pilar (kN.m)}	74,70	23,60	79,20	24,20	34,90	15,10	46,90	15,80	50,30	16,30
L (m)	3,10	3,10	3,10	3,10	3,10	3,10	3,10	3,10	3,10	3,10
L ₀ (m)	2,70	2,70	2,70	2,70	2,70	2,70	2,70	2,70	2,70	2,70
Base Pilar (m)	0,20	0,55	0,20	0,55	0,20	0,30	0,20	0,30	0,20	0,30
Altura Pilar (m)	0,55	0,20	0,55	0,20	0,30	0,20	0,30	0,20	0,30	0,20
γ _n	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
γ _r	1,40		1,40		1,40		1,40		1,40	
Le (m)	3,10	2,90	3,10	2,90	3,00	2,90	3,00	2,90	3,00	2,90
M _a (kN.m)	74,70	-23,70	-99,10	-25,30	-41,40	-15,70	46,90	15,80	-55,60	-17,20
M _b (kN.m)	-73,30	23,60	79,20	24,20	34,90	15,10	-46,10	-15,70	50,30	16,30
λ	19,52	50,23	17,01	46,77	31,18	46,77	31,18	46,77	31,18	46,77
θ (rad)	0,0050	0,0050	0,0050	0,0050	0,0050	0,0050	0,0050	0,0050	0,0050	0,0050
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
M _{1d,Acidental (kN.m)}	17,10	16,00	13,55	12,67	9,72	9,39	6,45	6,24	3,16	3,06
M _{1d,min (kN.m)}	34,76	23,17	27,53	18,35	15,55	13,60	10,33	9,03	5,06	4,43
α _B	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40
λ _{1-calc}	67,89	67,20	71,52	68,83	71,82	67,80	78,40	70,53	100,96	80,35
λ ₁	67,89	67,20	71,52	68,83	71,82	67,80	78,40	70,53	90,00	80,35
l/r	0,0091	0,0250	0,0091	0,0250	0,0166	0,0249	0,0167	0,0250	0,0167	0,0250
l/r _(efetivo)	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
M _{Sd,tot}	41,83	13,27	55,50	14,17	23,18	8,79	26,26	8,85	31,14	9,63

(kN.cm)										
M_d -(topo pilar)	102,62	33,18	138,74	35,42	57,96	21,98	64,54	21,98	77,84	24,08
M_d -(centro pilar)	41,83	23,17	55,50	18,35	23,18	13,60	26,26	9,03	31,14	9,63
M_d -(base pilar)	104,58	33,04	110,88	33,88	48,86	21,14	65,66	22,12	70,42	22,82
M_d -(dimens.)	104,58	33,18	138,74	35,42	57,96	21,98	65,66	22,12	77,84	24,08
ν	0,47		0,37		0,50		0,33		0,16	
μ	0,08	0,07	0,11	0,08	0,15	0,09	0,17	0,09	0,20	0,09
d (m)	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04
d'/h	0,07	0,20	0,07	0,20	0,13	0,20	0,13	0,20	0,13	0,20

Verificação da Armadura, utilizando aplicativo OBLIQUA

N_d (kN)	-1103,34		-874,02		-647,78		-430,22		-210,84	
M_d -(dimens.)	104,58	33,18	138,74	35,42	57,96	21,98	65,66	22,12	77,84	24,08
Base Pilar (cm)	20,0	55,0	20,0	55,0	20,0	30,0	20,0	30,0	20,0	30,0
Altura Pilar (cm)	55,0	20,0	55,0	20,0	30,0	20,0	30,0	20,0	30,0	20,0
$A_{s_{mjn}}$ (cm ²)	4,40		4,40		2,40		2,40		2,40	

P10-1

Solicitações

N_d (kN): -2263,1
 M_{xd} (kN.m): 95,05
 M_{yd} (kN.m): 65,34

Materiais
 Concreto: C-30
 Aço: CA-50 A

Seção Transversal
 B (cm): 20
 H (cm): 80

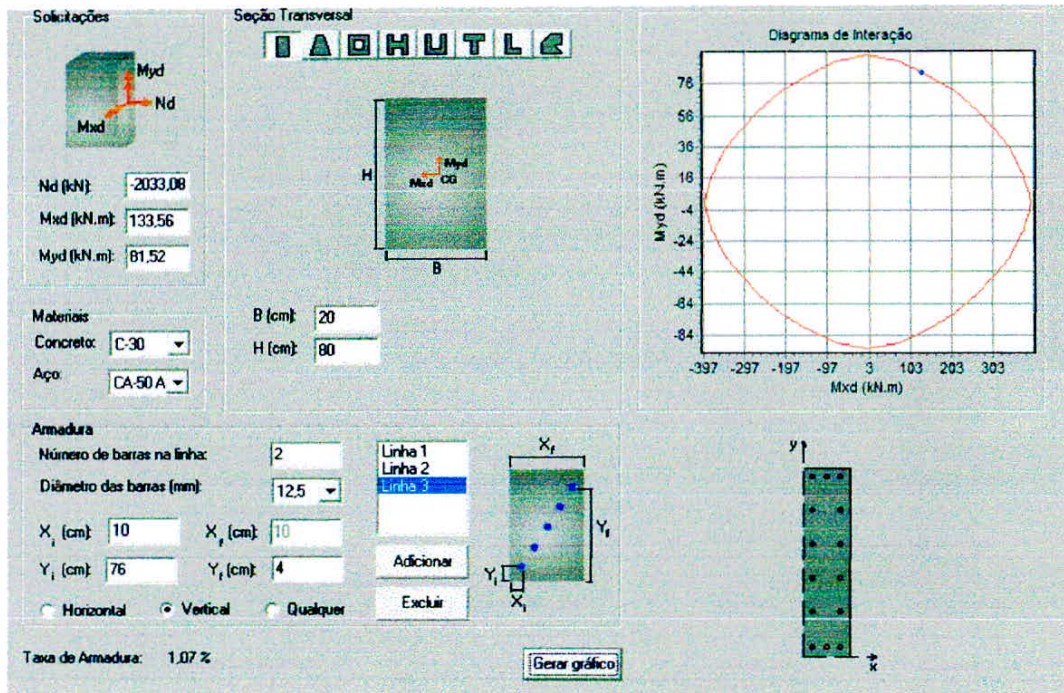
Diagrama de Interação
 Gráfico de interação entre M_{xd} (kN.m) no eixo X e M_{yd} (kN.m) no eixo Y.

Armadura
 Número de barras na linha: 2
 Diâmetro das barras (mm): 10
 X_1 (cm): 10, X_2 (cm): 10
 Y_1 (cm): 4, Y_2 (cm): 76
 Horizontal Vertical Qualquer

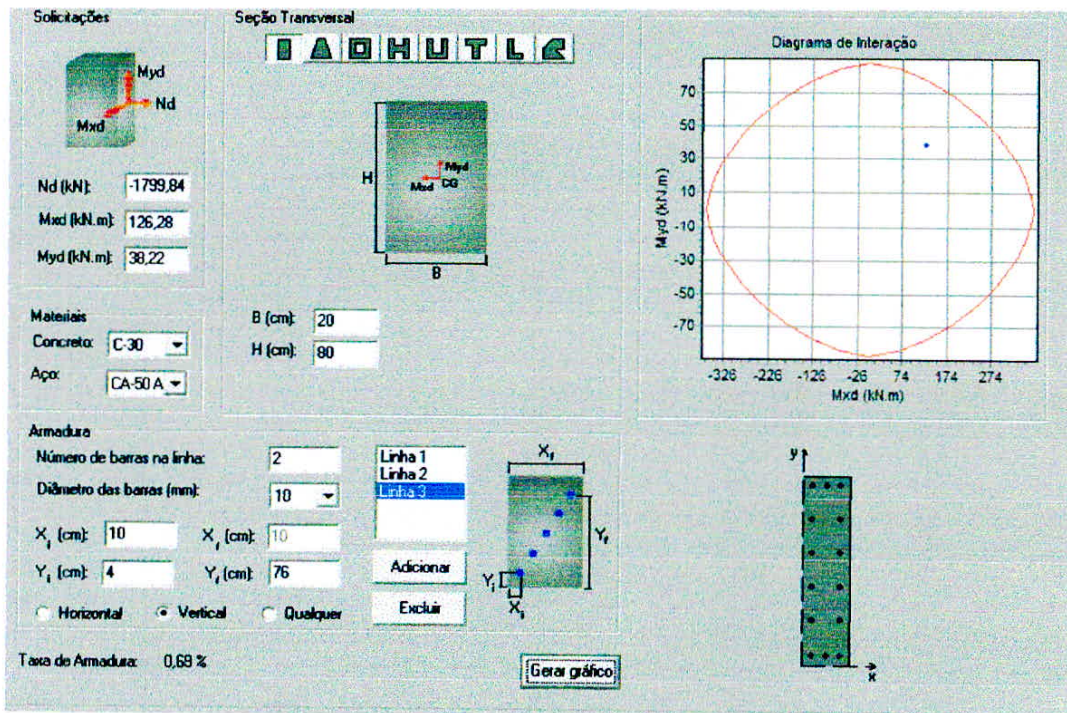
Taxa de Armadura: 0,59 %

Botões: Adicionar, Excluir, Gerar gráfico

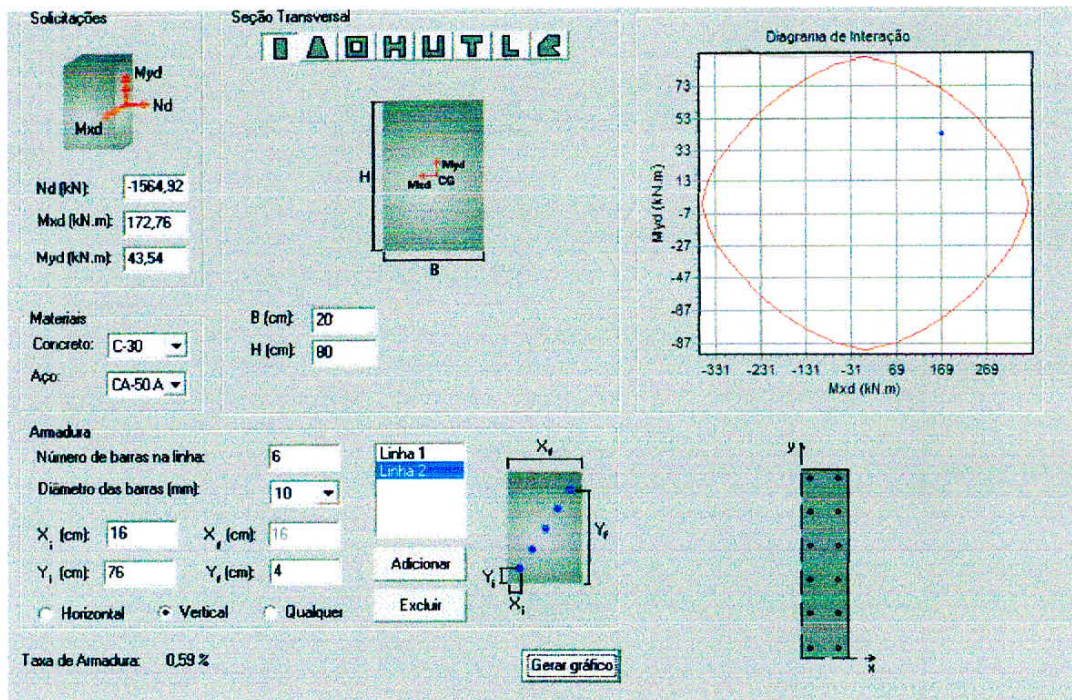
P11-2



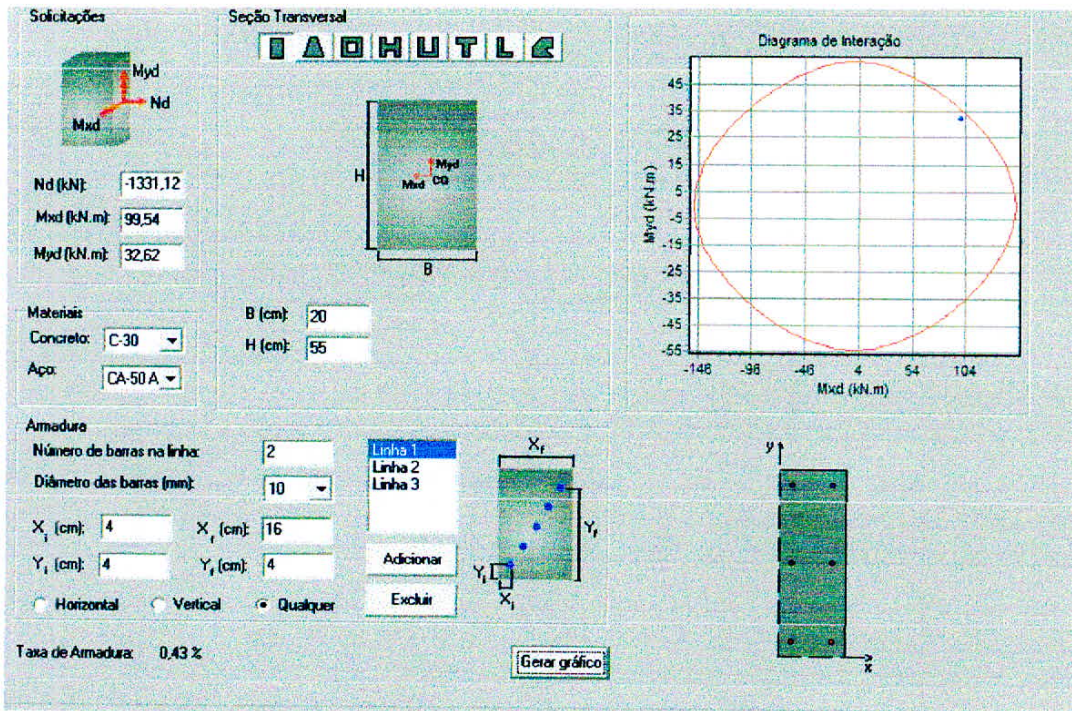
P11-3



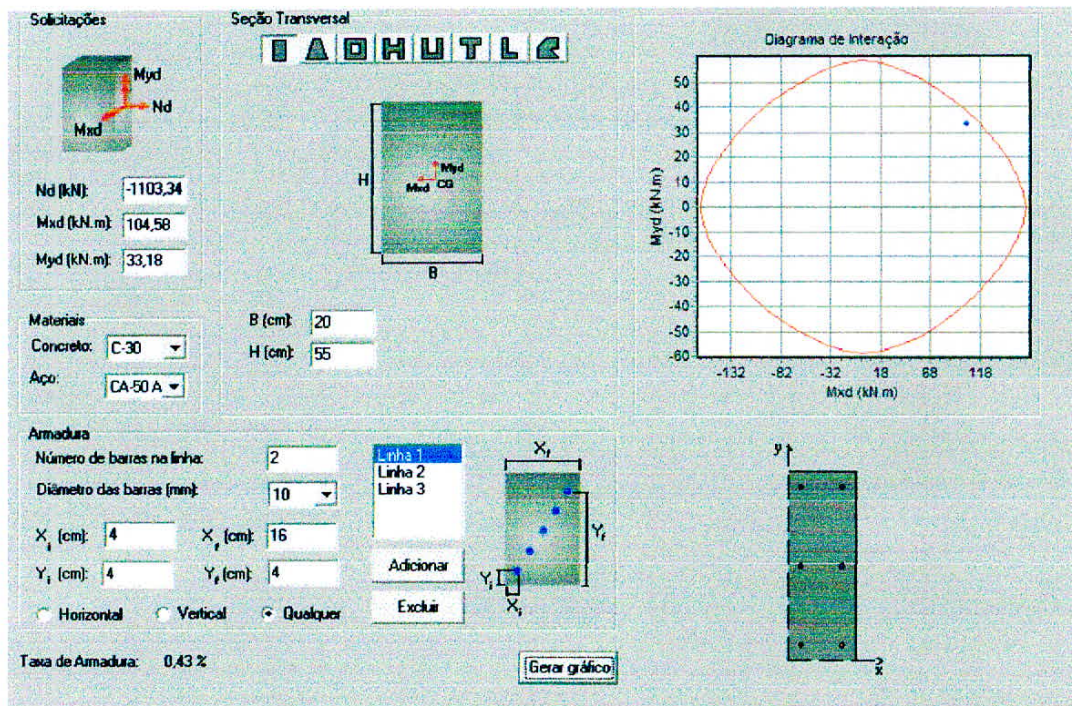
P13-4



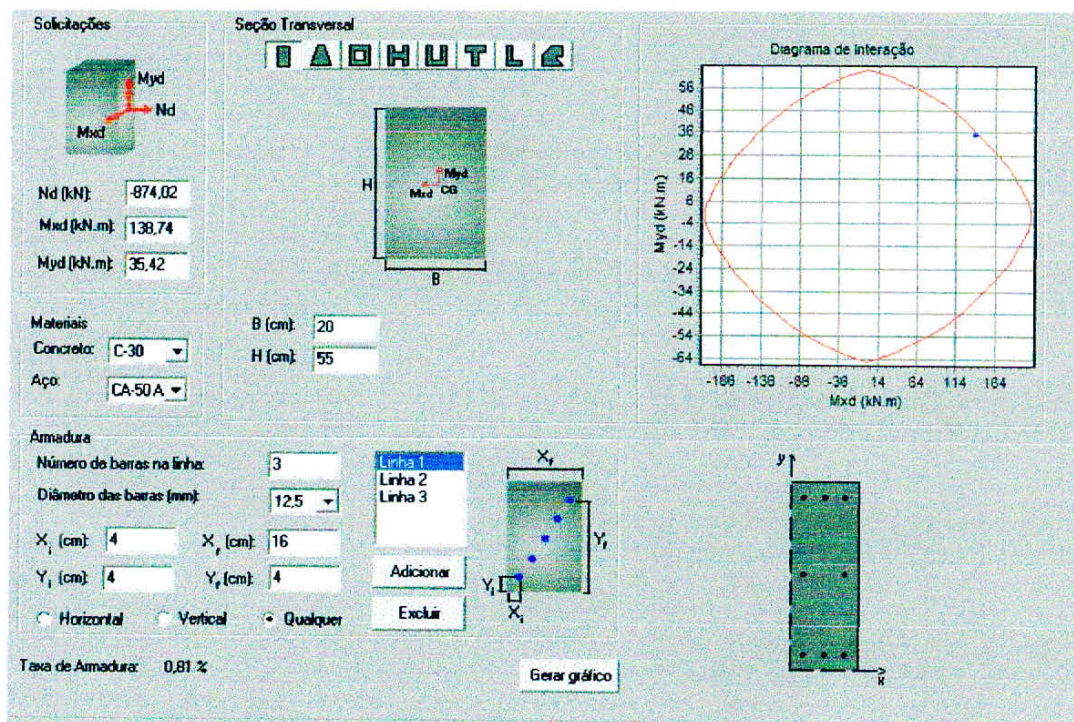
P14-5



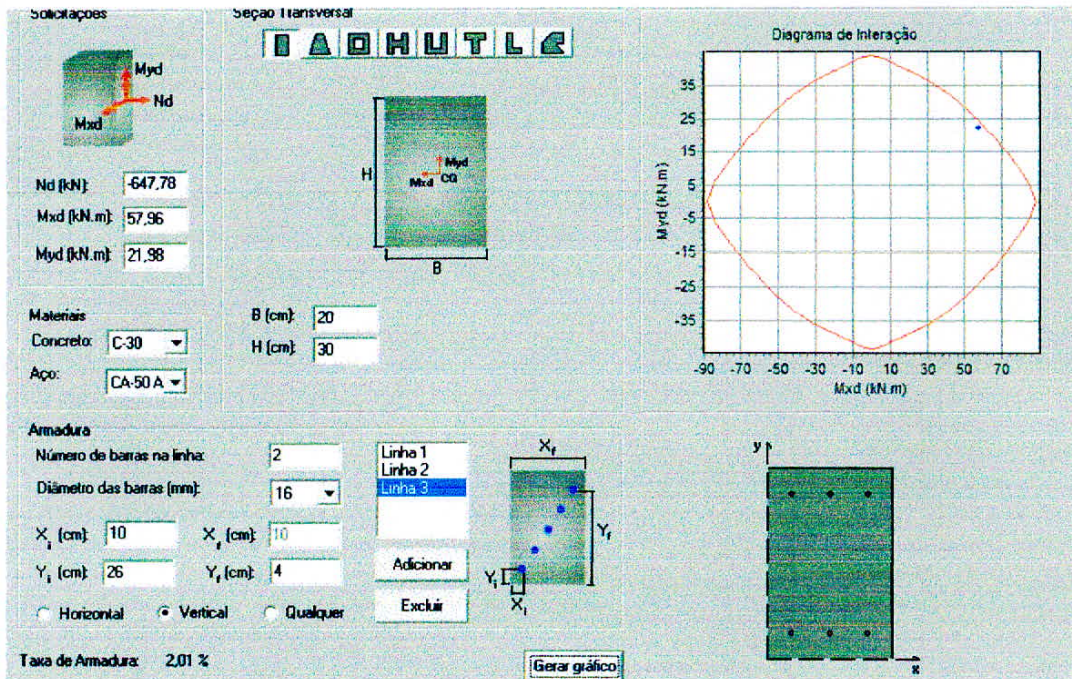
P15-6



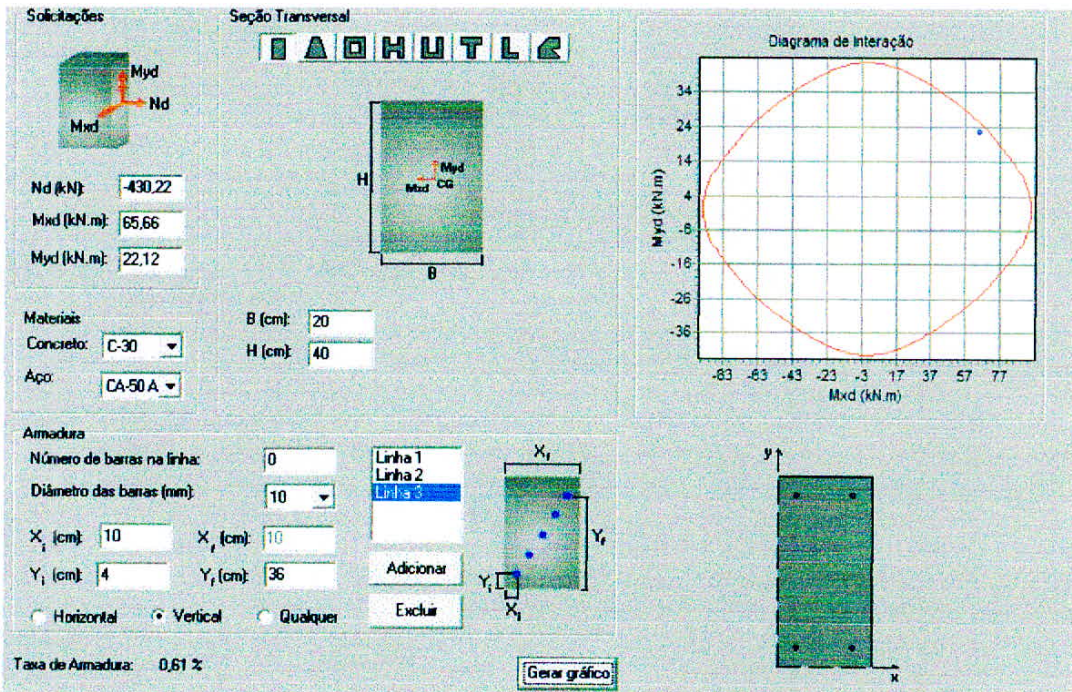
P16-7



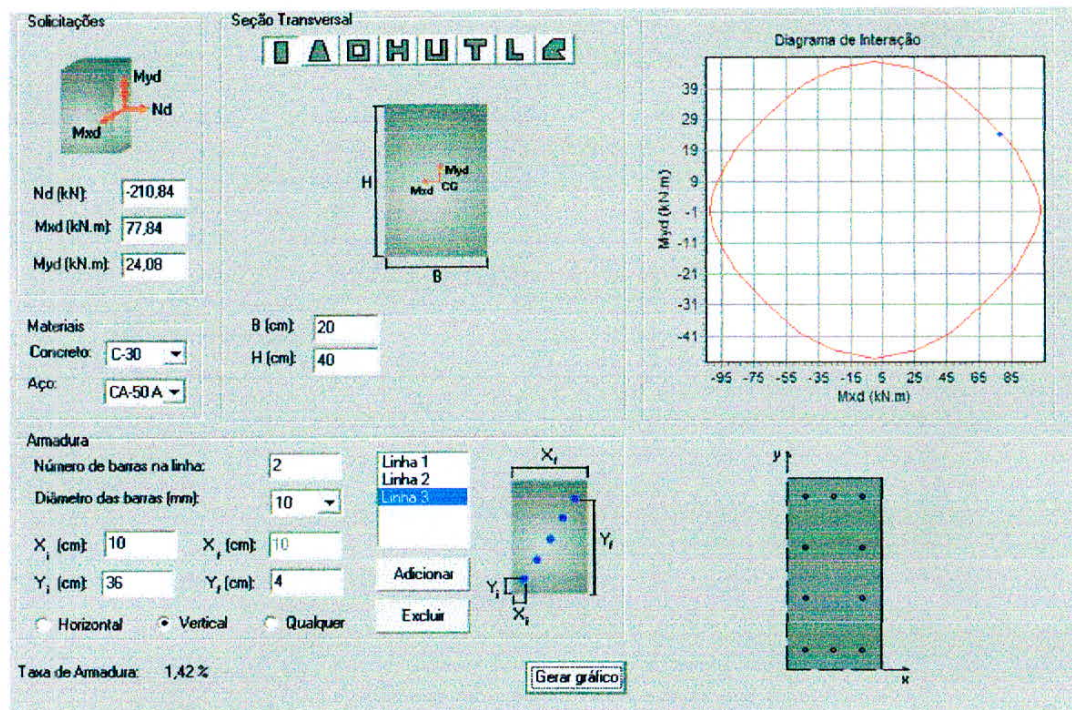
P17-8



P18-9



P19-10



APÊNDICE E– Dimensionamento dos pilares P11 e P1 com a NBR 6118:2014 com f_{ck} 60 MPa

Pilar de Canto/Extremidade/Central						f_{ck} (MPa)		60,0		
Pilar	P11		P11		P11		P11		P11	
Pavimento	Trecho 0 - 1		Trecho 1 - 2		Trecho 2 - 3		Trecho 3 - 4		Trecho 4 - 5	
N (kN)	4199,9		3780,4		3358,8		2937		2516,3	
Direção	em torno X	em torno Y	em torno X	em torno Y	em torno X	em torno Y	em torno X	em torno Y	em torno X	em torno Y
M Topo Pilar (kN.m)	0,00	-15,60	0,00	-25,50	0,00	-20,70	0,00	-19,00	0,00	-11,40
M Base	0,00	0,00	0,00	28,30	0,00	21,80	0,00	19,40	0,00	11,90

Pilar(kN.m)										
L (m)	3,10	3,10	3,10	3,10	3,10	3,10	3,10	3,10	3,10	3,10
L₀ (m)	2,70	2,70	2,70	2,70	2,70	2,70	2,70	2,70	2,70	2,70
Base Pilar (m)	0,20	0,60	0,20	0,60	0,20	0,60	0,20	0,60	0,20	0,40
Altura Pilar (m)	0,60	0,20	0,60	0,20	0,60	0,20	0,60	0,20	0,40	0,20
γ_n	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
γ_r	1,40		1,40		1,40		1,40		1,40	
Le (m)	3,10	2,90	3,10	2,90	3,10	2,90	3,10	2,90	3,10	2,90
M_a (kN.m)	0,00	-15,60	0,00	28,30	0,00	21,80	0,00	19,40	0,00	11,90
M_b (kN.m)	0,00	0,00	0,00	-25,50	0,00	-20,70	0,00	-19,00	0,00	-11,40
λ	17,90	50,23	15,59	46,77	15,59	46,77	15,59	46,77	23,38	46,77
θ (rad)	0,0050 0	0,0050 0	0,0050 0	0,0050 0	0,0050 0	0,0050 0	0,0050 0	0,0050 0	0,0050 0	0,0050 0
M_{1d,Acidental} (kN.m)	91,14	85,26	82,03	76,74	72,89	68,18	63,73	59,62	54,60	51,08
M_{1d,min} (kN.m)	194,04	123,48	174,65	111,14	155,18	98,75	135,69	86,35	95,12	73,98
α_B	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
λ_1 -calc	25,96	26,84	25,96	26,84	25,96	26,84	25,96	26,84	26,18	26,84
λ_1	35,00	35,00	35,00	35,00	35,00	35,00	35,00	35,00	35,00	35,00
1/r	0,0051	0,0152	0,0054	0,0163	0,0059	0,0177	0,0064	0,0192	0,0082	0,0164
1/r(efetivo)	0,0000	0,0152	0,0000	0,0163	0,0000	0,0177	0,0000	0,0192	0,0000	0,0164
M_{Sd,tot} (kN.cm)	0,00	97,07	0,00	112,39	0,00	100,42	0,00	93,69	0,00	65,15
M_d(topo pilar)	194,04	123,48	174,65	111,14	155,18	98,75	135,69	86,35	95,12	73,98
M_d(centro pilar)	194,04	123,48	174,65	112,39	155,18	100,42	135,69	93,69	95,12	73,98
M_d(basepilar)	194,04	123,48	174,65	111,14	155,18	98,75	135,69	86,35	95,12	73,98
M_d(dimens.)	194,04	123,48	174,65	112,39	155,18	100,42	135,69	93,69	95,12	73,98
ν	1,14		1,03		0,91		0,80		1,03	
μ	0,06	0,12	0,06	0,11	0,05	0,10	0,04	0,09	0,07	0,11
d' (m)	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04
d'/h	0,07	0,20	0,07	0,20	0,07	0,20	0,07	0,20	0,10	0,20

Verificação da Armadura, utilizando aplicativo OBLIQUA

N_d (kN)	-5879,86		-5292,56		-4702,32		-4111,80		-3522,82	
M_d(dimens.)	194,04	123,48	174,65	112,39	155,18	100,42	135,69	93,69	95,12	73,98
Base Pilar (cm)	20,0	60,0	20,0	60,0	20,0	60,0	20,0	60,0	20,0	40,0
Altura Pilar (cm)	60,0	20,0	60,0	20,0	60,0	20,0	60,0	20,0	40,0	20,0
A_{S_{mjn}} (cm²)	20,29		18,26		16,22		14,19		12,15	


Pilar de Canto/Extremidade/Central						f _{ck} (MPa)		b _{U,U}		
Pilar	P11		P11		P11		P11		P11	
Pavimento	Trecho 5 - 6		Trecho 6 - 7		Trecho 7 - 8		Trecho 8 - 9		Trecho 9 - 10	
N (kN)	2097,1		1677,6		1258,4		838,1		416,2	
Direção	em torno X	em torno Y	em torno X	em torno Y	em torno X	em torno Y	em torno X	em torno Y	em torno X	em torno Y
M _{Topo Pilar} (kN.m)	0,00	-9,30	0,00	-8,40	0,00	-3,40	0,00	-2,40	0,00	-3,50
M _{Base Pilar} (kN.m)	0,00	10,20	0,00	8,60	0,00	3,70	0,00	2,80	0,00	3,00
L (m)	3,10	3,10	3,10	3,10	3,10	3,10	3,10	3,10	3,10	3,10
L ₀ (m)	2,70	2,70	2,70	2,70	2,70	2,70	2,70	2,70	2,70	2,70
Base Pilar (m)	0,20	0,40	0,20	0,40	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20
Altura Pilar (m)	0,40	0,20	0,40	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20
γ _n	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
γ _f	1,40		1,40		1,40		1,40		1,40	
Le (m)	3,10	2,90	3,10	2,90	2,90	2,90	2,90	2,90	2,90	2,90
M _a (kN.m)	0,00	10,20	0,00	8,60	0,00	3,70	0,00	2,80	0,00	-3,50
M _b (kN.m)	0,00	-9,30	0,00	-8,40	0,00	-3,40	0,00	-2,40	0,00	3,00
λ	26,85	50,23	23,38	46,77	46,77	46,77	46,77	46,77	46,77	46,77
θ (rad)	0,0050 0	0,0050 0	0,0050 0	0,0050 0	0,0050 0	0,0050 0	0,0050 0	0,0050 0	0,0050 0	0,0050 0
M _{1d,Acidental} (kN.m)	45,51	42,57	36,40	34,06	25,55	25,55	17,01	17,01	8,45	8,45
M _{1d,min} (kN.m)	79,27	61,65	63,41	49,32	37,00	37,00	24,64	24,64	12,24	12,24
α _B	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
λ _{1-calc}	26,18	26,84	26,18	26,84	26,84	26,84	26,84	26,84	26,84	26,84
λ ₁	35,00	35,00	35,00	35,00	35,00	35,00	35,00	35,00	35,00	35,00
l/r	0,0092	0,0184	0,0105	0,0211	0,0164	0,0164	0,0211	0,0211	0,0250	0,0250
l/r(efetivo)	0,0000	0,0184	0,0000	0,0211	0,0164	0,0164	0,0211	0,0211	0,0250	0,0250
M _{sd,tot} (kN.cm)	0,00	59,79	0,00	53,71	24,25	29,43	20,83	24,75	12,25	17,15
M _{d-(topo pilar)}	79,27	61,65	63,41	49,32	37,00	37,00	24,64	24,64	12,24	12,24
M _{d-(centro pilar)}	79,27	61,65	63,41	53,71	37,00	37,00	24,64	24,75	12,25	17,15
M _{d-(basepilar)}	79,27	61,65	63,41	49,32	37,00	37,00	24,64	24,64	12,24	12,24
M _{d-(dimens.)}	79,27	61,65	63,41	53,71	37,00	37,00	24,64	24,75	12,25	17,15
v	0,86		0,69		1,03		0,68		0,34	
μ	0,06	0,09	0,05	0,08	0,11	0,11	0,07	0,07	0,04	0,05
d' (m)	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04
d'/h	0,10	0,20	0,10	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20

Verificação da Armadura, utilizando aplicativo OBLIQUA

N_d (kN)	-2935,94		-2348,64		-1761,76		-1173,34		-582,68	
M_d (dimens.)	79,27	61,65	63,41	53,71	37,00	37,00	24,64	24,75	12,25	17,15
Base Pilar (cm)	20,0	40,0	20,0	40,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0
Altura Pilar (cm)	40,0	20,0	40,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0
As_{mjn} (cm²)	10,13		8,10		6,08		4,05		2,01	

P11 0-1

Solicitações

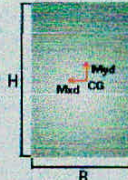


Nd (kN): -5879,86
Mxd (kN.m): 194,04
Myd (kN.m): 123,48

Materiais:
Concreto: C-60
Aço: CA-50 A

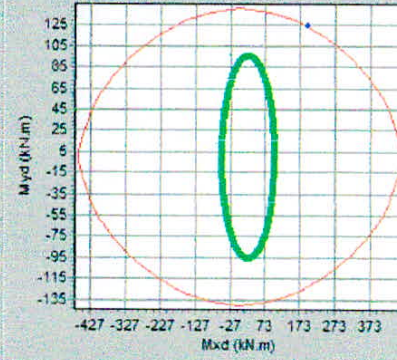
Seção Transversal

IAOHUTLE



B (cm): 20
H (cm): 60

Diagrama de interação



Armadura

Número de barras na linha: 2
Diâmetro das barras (mm): 22

X₁ (cm): 12 X₂ (cm): 12
Y₁ (cm): 4 Y₂ (cm): 56

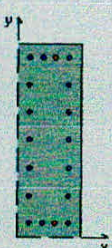
Horizontal Vertical Qualquer

Linha 1
Linha 2
Linha 3
Linha 4

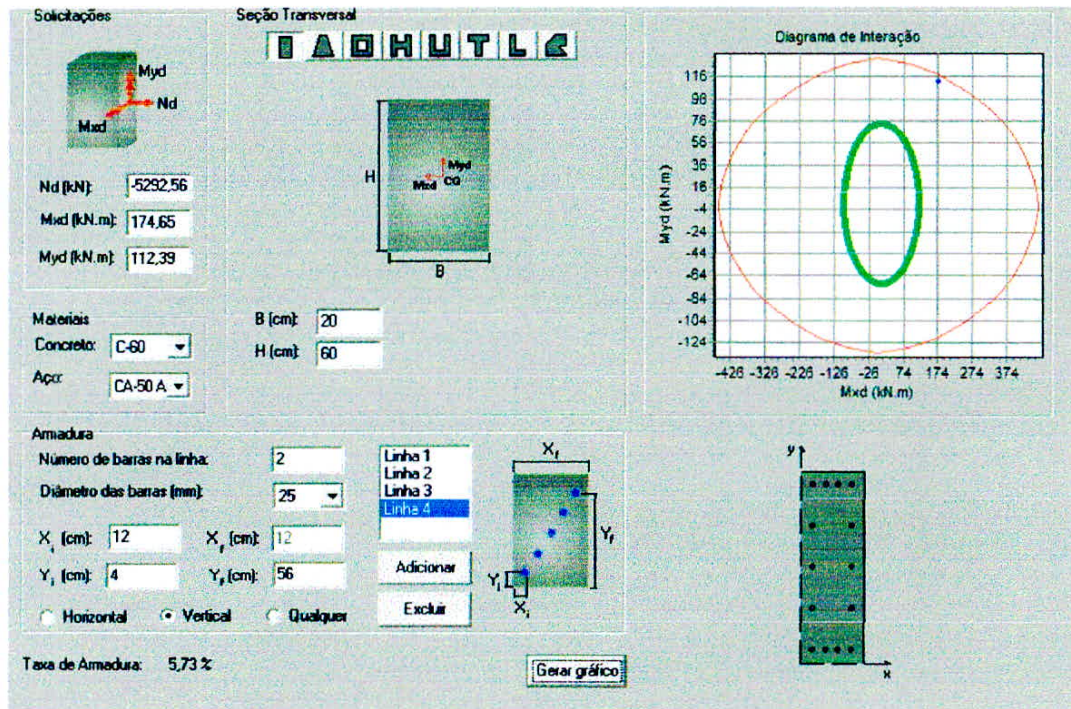
Adicionar
Excluir

Taxa de Armadura: 6,99 %

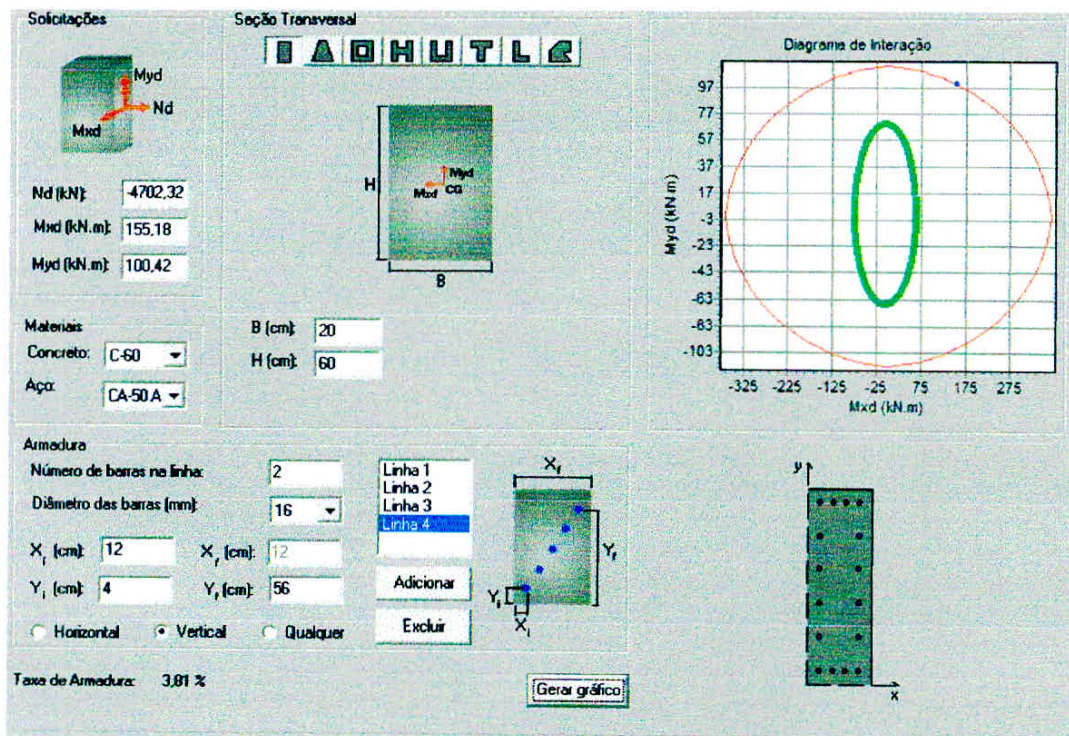
[Gerar gráfico](#)



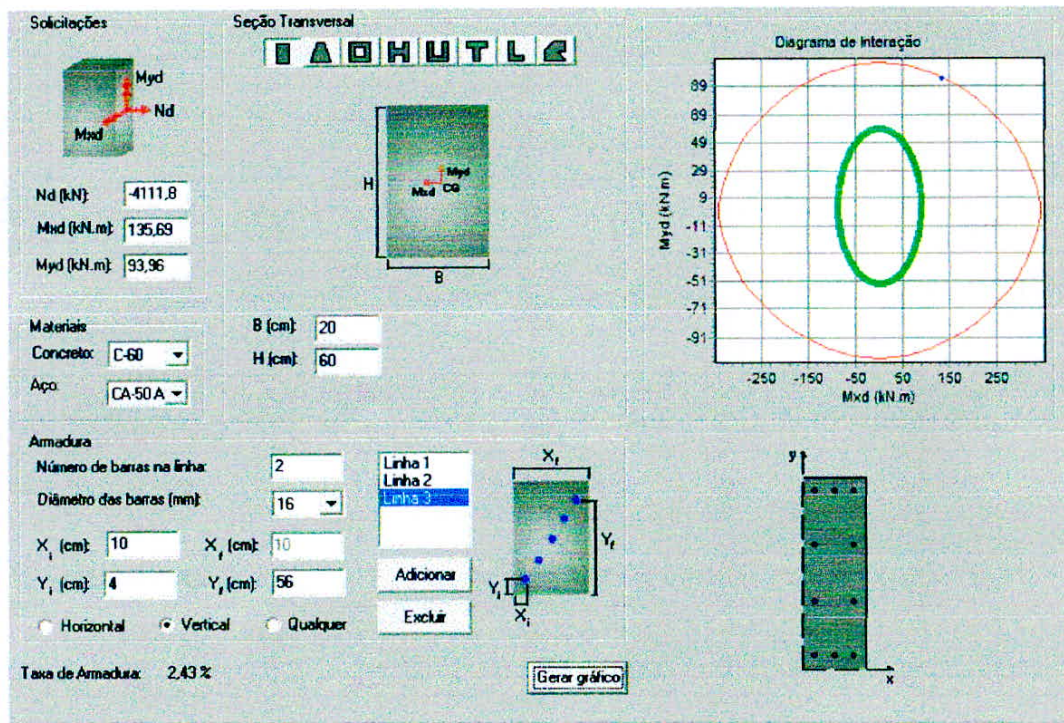
P11 1-2



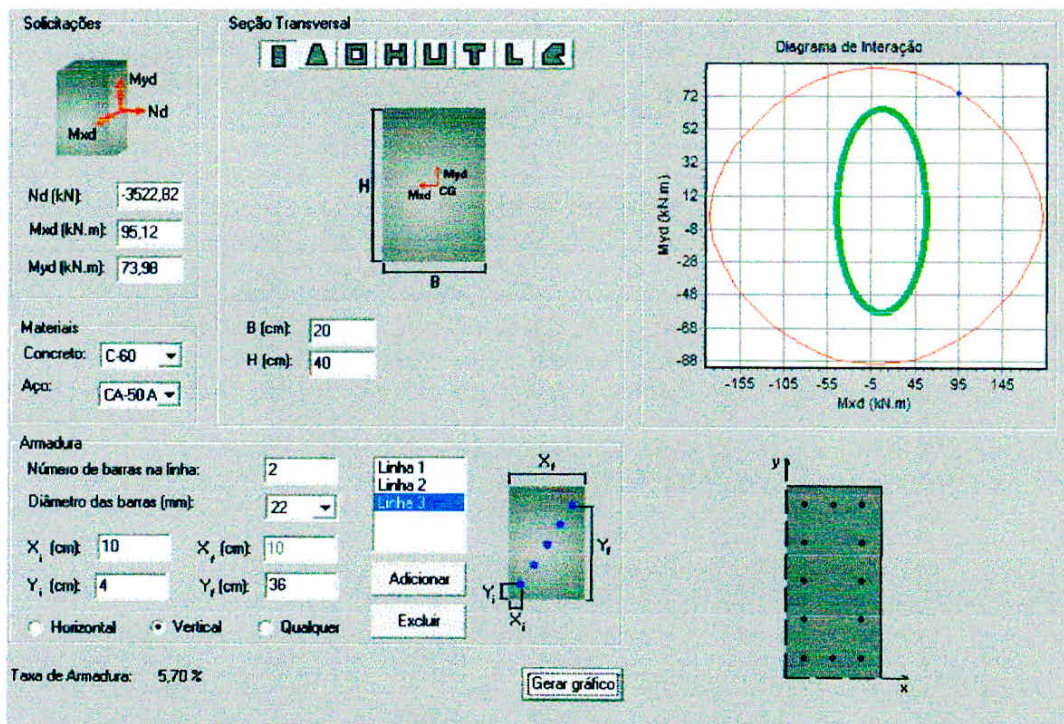
P11 2-3



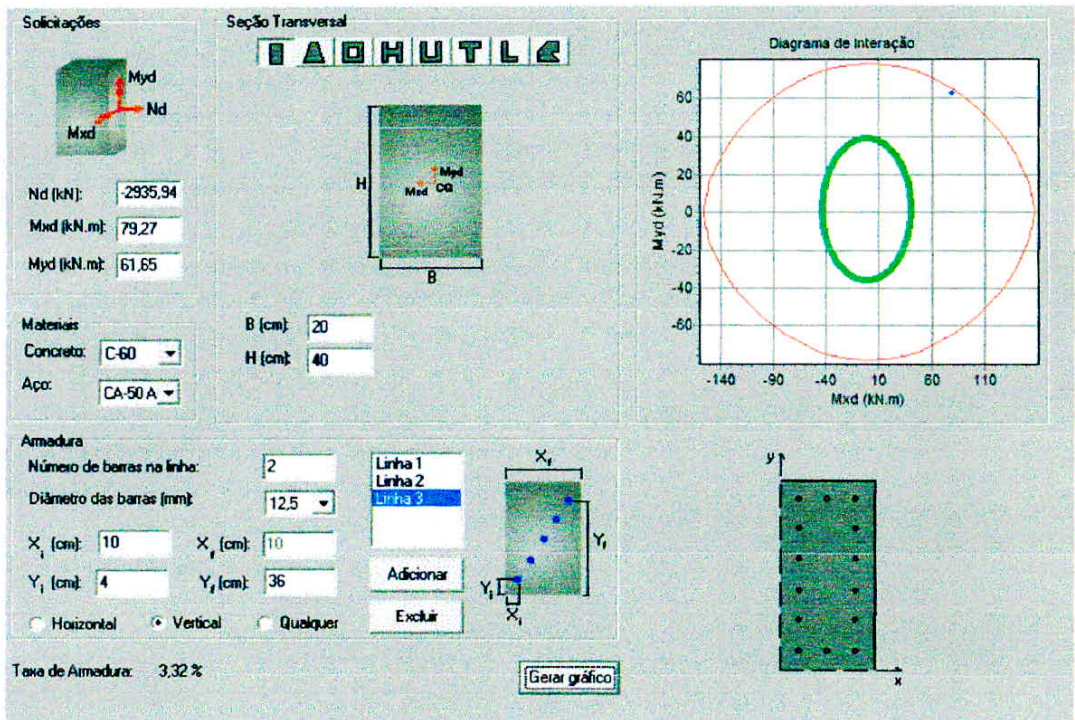
P11 3-4



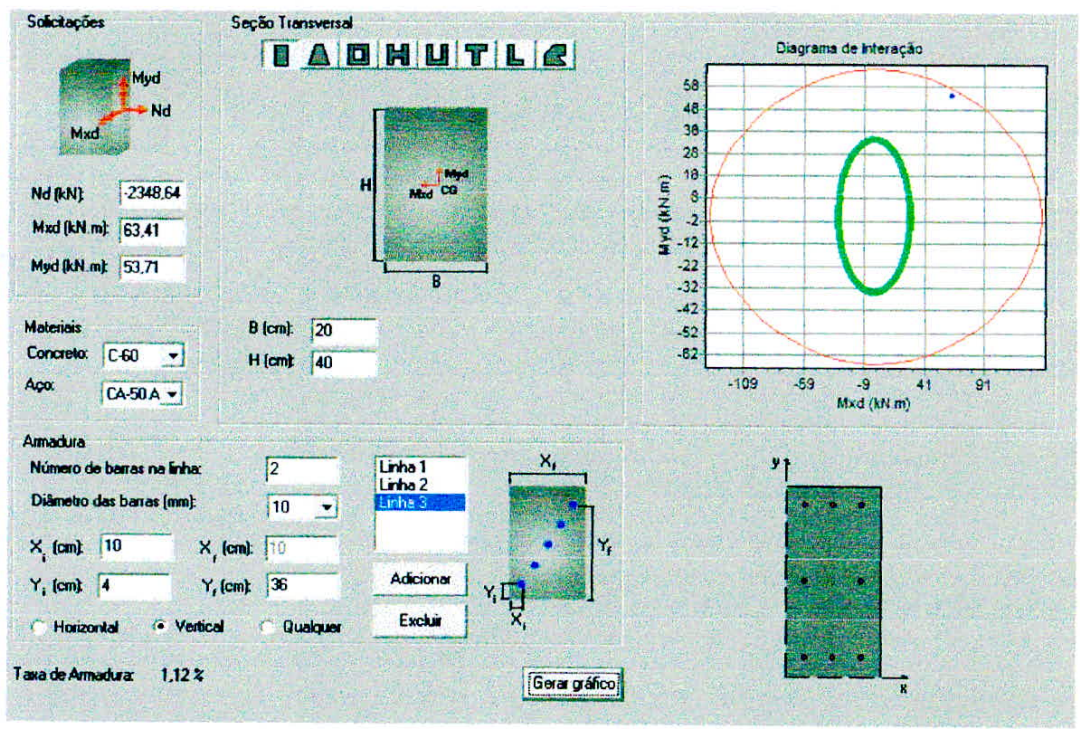
P11 4-5



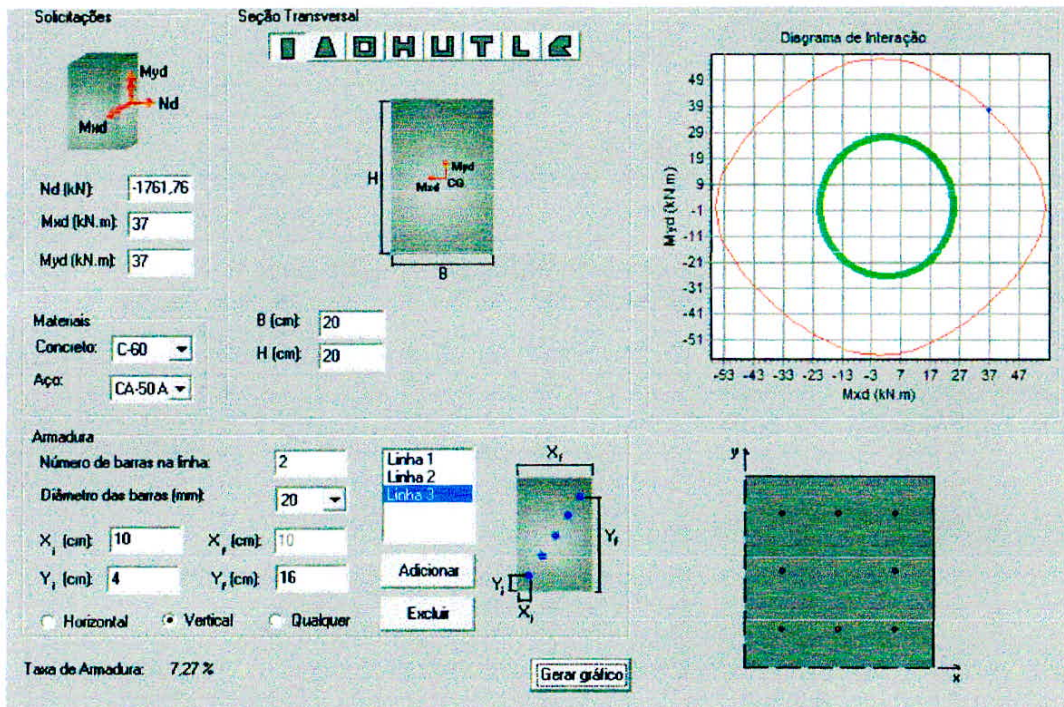
P11 5-6



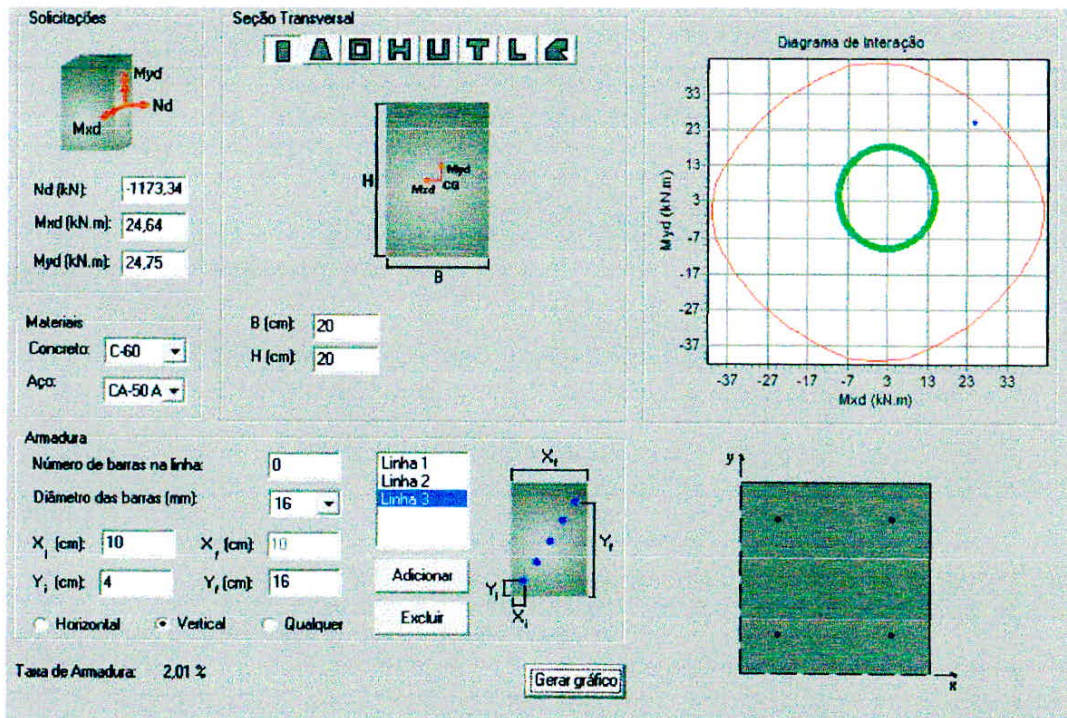
P11 6-7



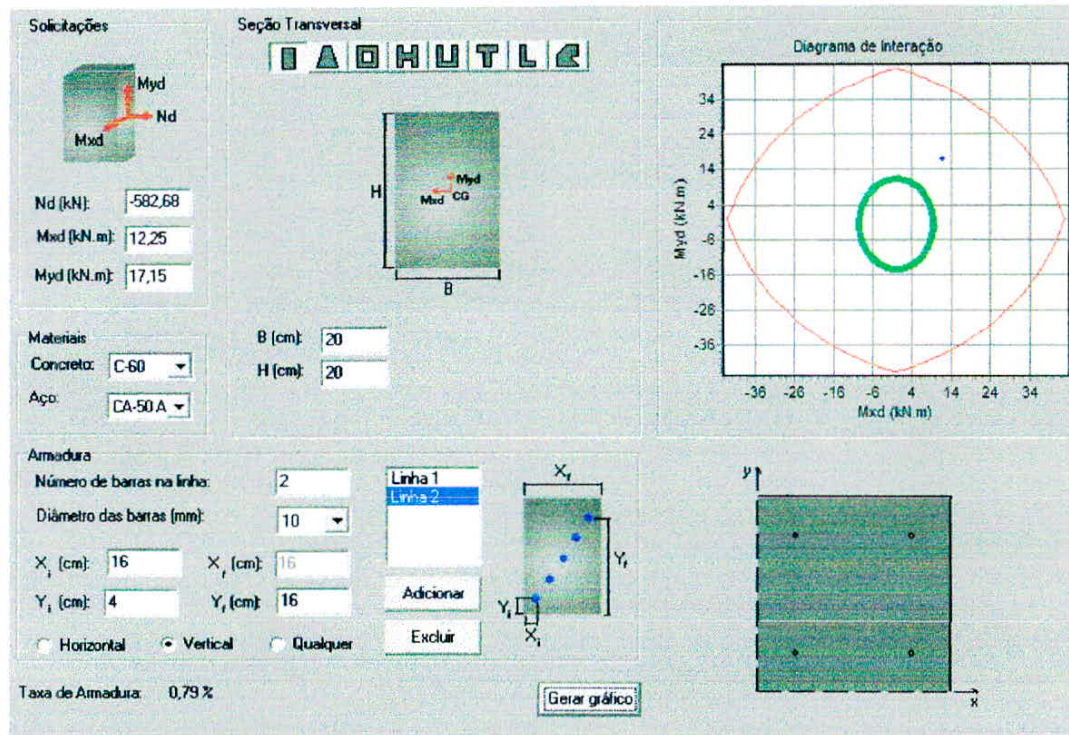
P11 7-8



P11 8-9



P11 9-10



Pilar de Canto/Extremidade/Central							f _{ck} (MPa)		60,0	
Pilar	P1		P1		P1		P1		P1	
Pavimento	Trecho 0 - 1		Trecho 1 - 2		Trecho 2 - 3		Trecho 3 - 4		Trecho 4 - 5	
N (kN)	1616,5		1452,2		1285,6		1117,8		950,8	
Direção	em torno X	em torno Y	em torno X	em torno Y	em torno X	em torno Y	em torno X	em torno Y	em torno X	em torno Y
M _{Topo Pilar} (kN.m)	-28,10	-6,00	-53,10	-10,20	-53,40	-8,40	-64,40	-7,80	-25,10	-4,70
M _{Base Pilar} (kN.m)	0,00	0,00	53,90	11,10	53,30	8,80	60,30	8,00	23,50	5,00
L (m)	3,10	3,10	3,10	3,10	3,10	3,10	3,10	3,10	3,10	3,10
L ₀ (m)	2,70	2,70	2,70	2,70	2,70	2,70	2,70	2,70	2,70	2,70
Base Pilar (m)	0,20	0,30	0,20	0,30	0,20	0,30	0,20	0,30	0,20	0,20
Altura Pilar (m)	0,30	0,20	0,30	0,20	0,30	0,20	0,30	0,20	0,20	0,20
γ _n	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
γ _f	1,40		1,40		1,40		1,40		1,40	
Le (m)	3,00	2,90	3,00	2,90	3,00	2,90	3,00	2,90	2,90	2,90
M _a (kN.m)	-28,10	-6,00	53,90	11,10	-53,40	8,80	-64,40	8,00	-25,10	5,00
M _b (kN.m)	0,00	0,00	-53,10	-10,20	53,30	-8,40	60,30	-7,80	23,50	-4,70
λ	34,64	50,23	31,18	46,77	31,18	46,77	31,18	46,77	46,77	46,77
θ (rad)	0,0050	0,0050	0,0050	0,0050	0,0050	0,0050	0,0050	0,0050	0,0050	0,0050
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
M _{1d,Acidental}	33,95	32,81	30,50	29,48	27,00	26,10	23,47	22,69	19,30	19,30

(kN.m)											
$M_{1d,min}$ (kN.m)	54,31	47,53	48,79	42,69	43,20	37,80	37,56	32,86	27,95	27,95	
α_B	1,00	1,00	0,40	1,00	0,40	1,00	0,40	1,00	0,40	1,00	
λ_{1-calc}	26,40	26,84	66,37	26,84	66,83	26,84	68,50	26,84	66,62	26,84	
λ_1	35,00	35,00	66,37	35,00	66,83	35,00	68,50	35,00	66,62	35,00	
$1/r$	0,0121	0,0181	0,0129	0,0194	0,0139	0,0208	0,0150	0,0226	0,0196	0,0196	
$1/r$ (efetivo)	0,0000	0,0181	0,0000	0,0194	0,0000	0,0208	0,0000	0,0226	0,0000	0,0196	
$M_{sd,tot}$ (kN.cm)	39,34	42,88	30,18	48,66	29,90	43,86	36,06	40,88	14,06	28,92	
M_d -(topo pilar)	54,31	47,53	74,34	42,69	74,76	37,80	90,16	32,86	35,14	27,95	
M_d -(centro pilar)	54,31	47,53	48,79	48,66	43,20	43,86	37,56	40,88	27,95	28,92	
M_d -(base pilar)	54,31	47,53	75,46	42,69	74,62	37,80	84,42	32,86	32,90	27,95	
M_d -(dimens.)	54,31	47,53	75,46	48,66	74,76	43,86	90,16	40,88	35,14	28,92	
ν	0,88		0,79		0,70		0,61		0,78		
μ	0,07	0,09	0,10	0,09	0,10	0,09	0,12	0,08	0,10	0,08	
d' (m)	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	
d'/h	0,13	0,20	0,13	0,20	0,13	0,20	0,13	0,20	0,20	0,20	

Verificação da Armadura, utilizando aplicativo OBLIQUA

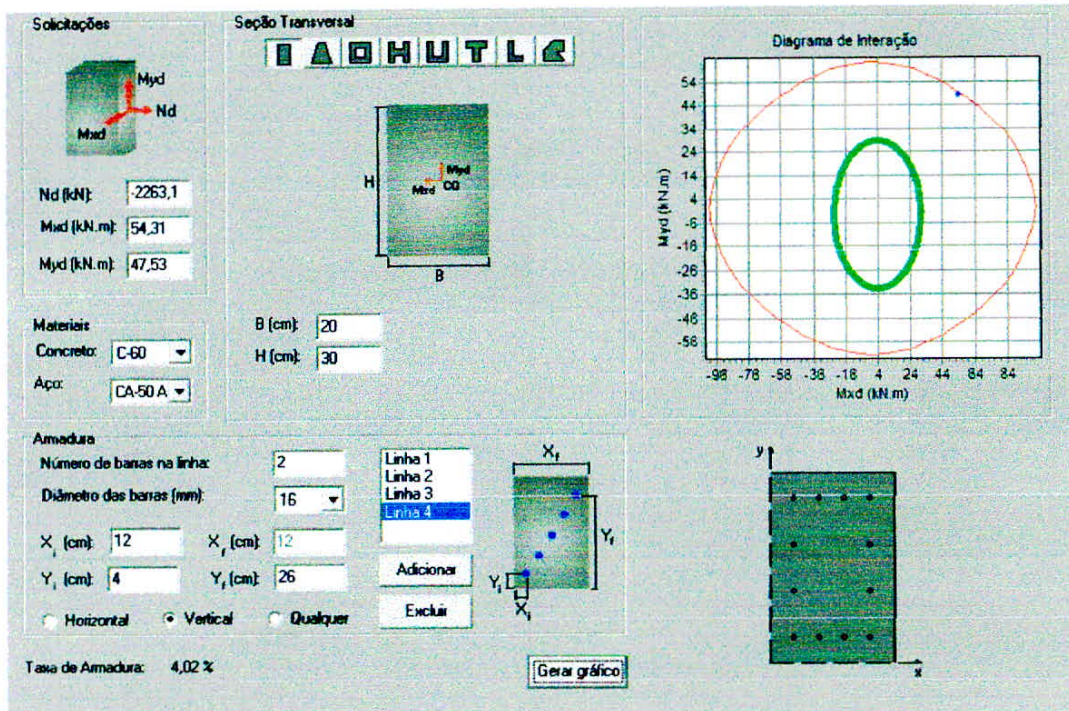
N_d (kN)	-2263,10		-2033,08		-1799,84		-1564,92		-1331,12	
M_d -(dimens.)	54,31	47,53	75,46	48,66	74,76	43,86	90,16	40,88	35,14	28,92
Base Pilar (cm)	20,0	30,0	20,0	30,0	20,0	30,0	20,0	30,0	20,0	20,0
Altura Pilar (cm)	30,0	20,0	30,0	20,0	30,0	20,0	30,0	20,0	20,0	20,0
$A_{s,mjn}$ (cm ²)	7,81		7,01		6,21		5,40		4,59	

Pilar de Canto/Extremidade/Central						f_{ck} (MPa)		60,0		
Pilar	P1		P1		P1		P1		P1	
Pavimento	Trecho 5 - 6		Trecho 6 - 7		Trecho 7 - 8		Trecho 8 - 9		Trecho 9 - 10	
N (kN)	788,1		624,3		462,7		307,3		150,6	
Direção	em torno X	em torno Y	em torno X	em torno Y	em torno X	em torno Y	em torno X	em torno Y	em torno X	em torno Y
$M_{Topo Pilar}$ (kN.m)	-28,20	-3,60	-29,30	-2,60	-30,10	-2,10	-32,50	-1,60	-36,40	-1,90
$M_{Base Pilar}$ (kN.m)	28,00	3,90	29,20	2,90	29,40	2,20	32,10	1,70	35,10	1,80
L (m)	3,10	3,10	3,10	3,10	3,10	3,10	3,10	3,10	3,10	3,10
L_0 (m)	2,70	2,70	2,70	2,70	2,70	2,70	2,70	2,70	2,70	2,70

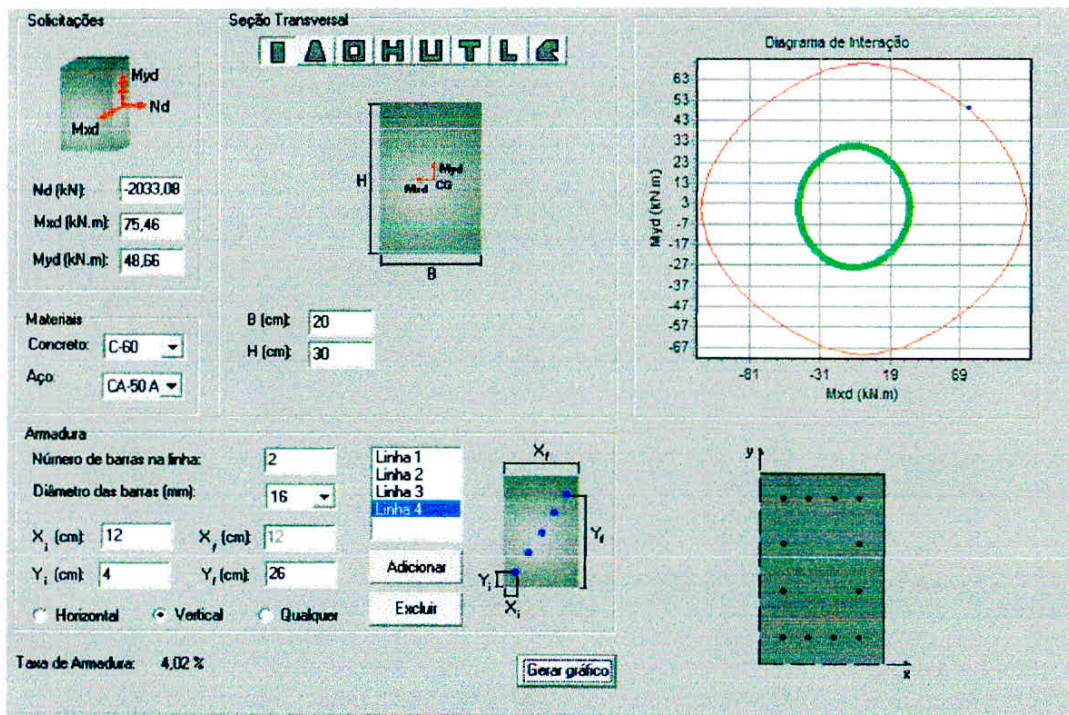
Base Pilar (m)	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20
Altura Pilar (m)	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20
γ_n	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
γ_f	1,40		1,40		1,40		1,40		1,40	
Le (m)	2,90	2,90	2,90	2,90	2,90	2,90	2,90	2,90	2,90	2,90
M_a (kN.m)	-28,20	3,90	-29,30	2,90	-30,10	2,20	-32,50	1,70	-36,40	-1,90
M_b (kN.m)	28,00	-3,60	29,20	-2,60	29,40	-2,10	32,10	-1,60	35,10	1,80
λ	50,23	50,23	46,77	46,77	46,77	46,77	46,77	46,77	46,77	46,77
θ (rad)	0,0050 0	0,0050 0	0,0050 0	0,0050 0	0,0050 0	0,0050 0	0,0050 0	0,0050 0	0,0050 0	0,0050 0
M_{1d,Acidental} (kN.m)	16,00	16,00	12,67	12,67	9,39	9,39	6,24	6,24	3,06	3,06
M_{1d,min} (kN.m)	23,17	23,17	18,35	18,35	13,60	13,60	9,03	9,03	4,43	4,43
α_B	0,40	1,00	0,40	1,00	0,40	1,00	0,40	1,00	0,40	1,00
λ_{1-calc}	68,09	26,84	69,83	26,84	72,66	26,84	79,02	26,84	100,27	26,84
λ_1	68,09	35,00	69,83	35,00	72,66	35,00	79,02	35,00	90,00	35,00
1/r	0,0219	0,0219	0,0248	0,0248	0,0250	0,0250	0,0250	0,0250	0,0250	0,0250
1/r(efetivo)	0,0000	0,0219	0,0000	0,0248	0,0000	0,0250	0,0000	0,0250	0,0000	0,0250
M_{Sd,tot} (kN.cm)	15,79	25,74	16,41	22,26	16,86	16,70	18,20	11,43	20,38	7,09
M_d(topo pilar)	39,48	23,17	41,02	18,35	42,14	13,60	45,50	9,03	50,96	4,43
M_d(centro pilar)	23,17	25,74	18,35	22,26	16,86	16,70	18,20	11,43	20,38	7,09
M_d(basepilar)	39,20	23,17	40,88	18,35	41,16	13,60	44,94	9,03	49,14	4,43
M_d-(dimens.)	39,48	25,74	41,02	22,26	42,14	16,70	45,50	11,43	50,96	7,09
ν	0,64		0,51		0,38		0,25		0,12	
μ	0,12	0,08	0,12	0,06	0,12	0,05	0,13	0,03	0,15	0,02
d' (m)	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04
d'/h	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20

Verificação da Armadura, utilizando aplicativo OBLIQUA

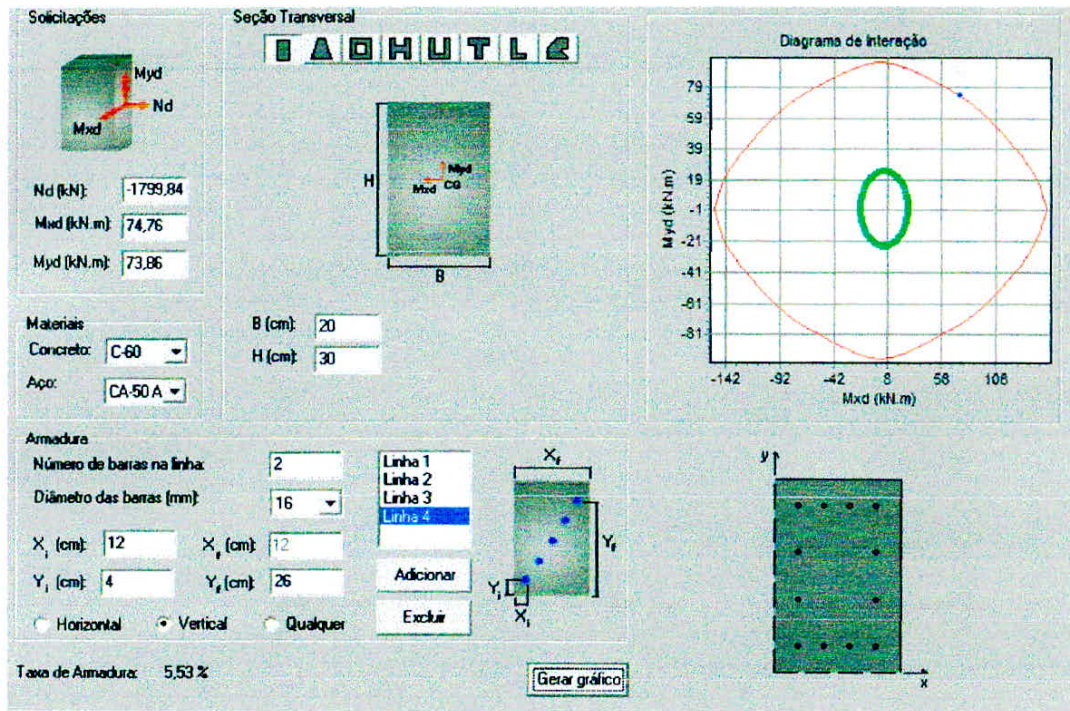
N_d (kN)	-1103,34		-874,02		-647,78		-430,22		-210,84	
M_d-(dimens.)	39,48	25,74	41,02	22,26	42,14	16,70	45,50	11,43	50,96	7,09
Base Pilar (cm)	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0
Altura Pilar (cm)	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0
A_{Smin} (cm²)	3,81		3,02		2,23		1,60		1,60	



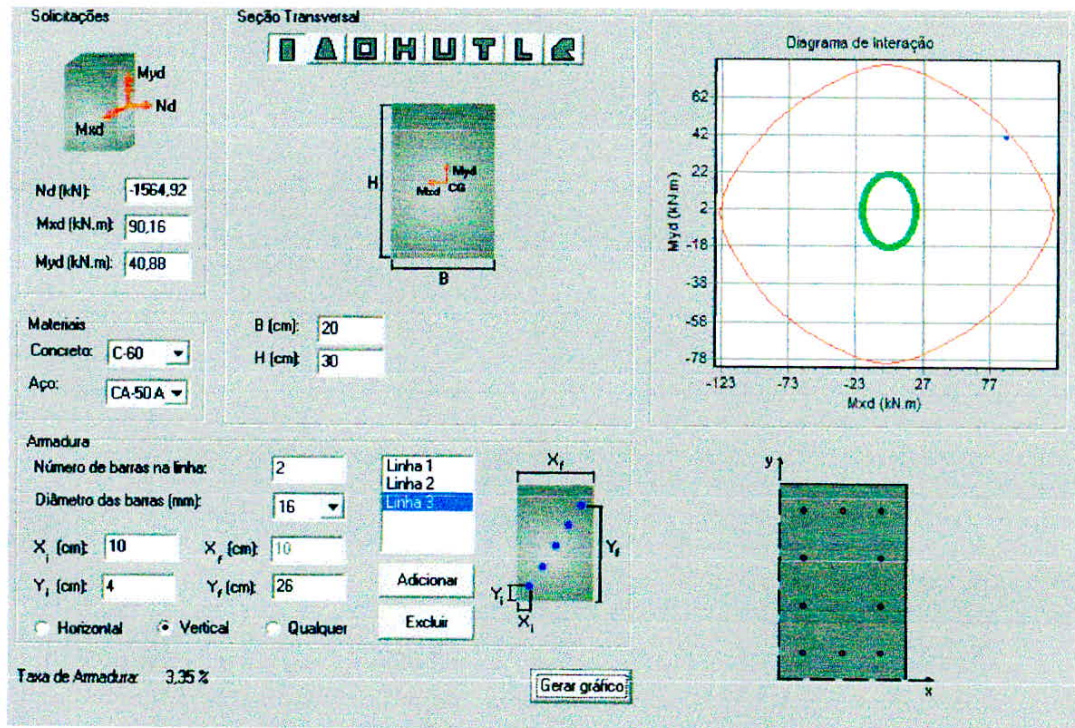
P1 1-2



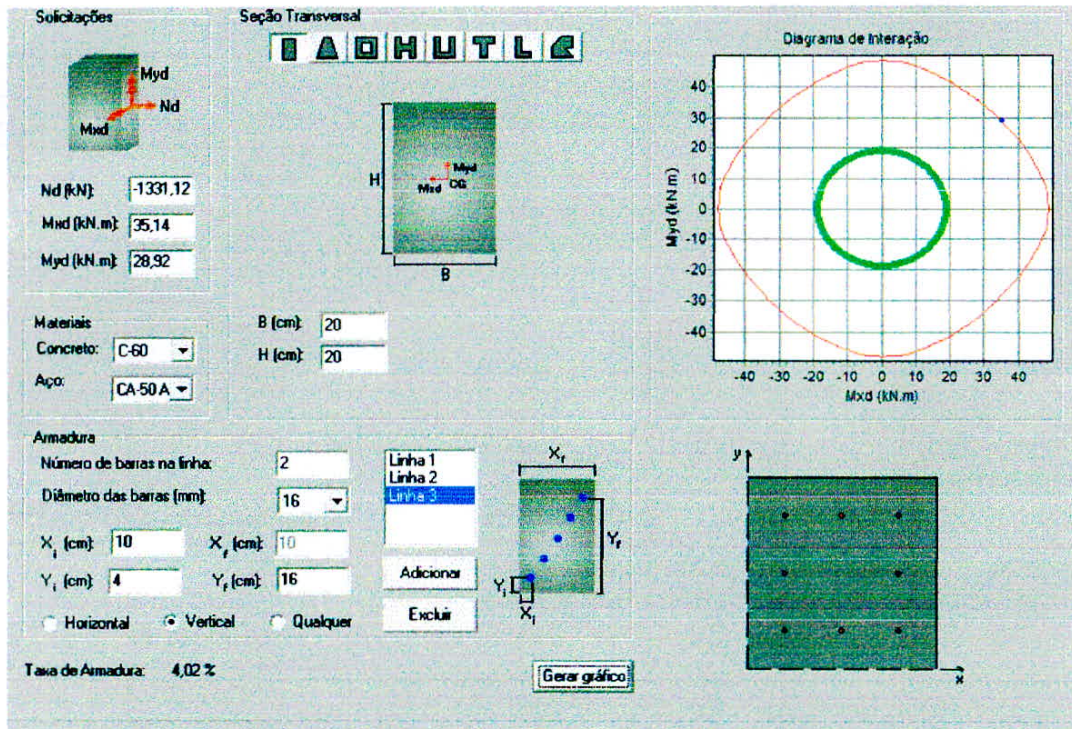
P1 2-3



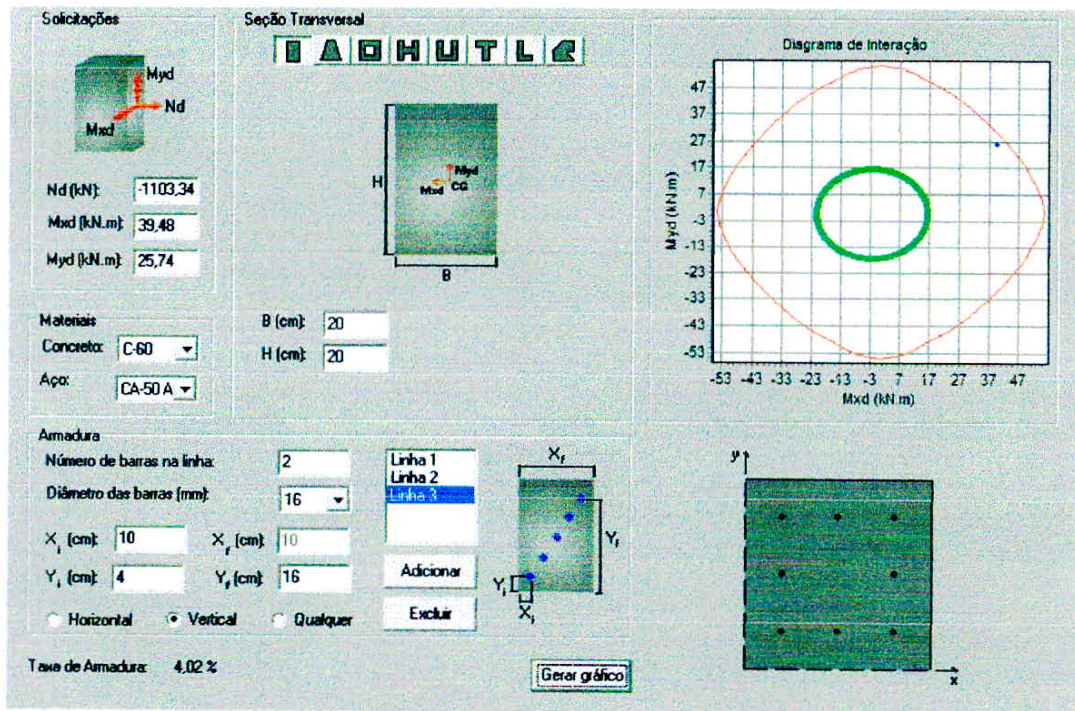
P1 3-4



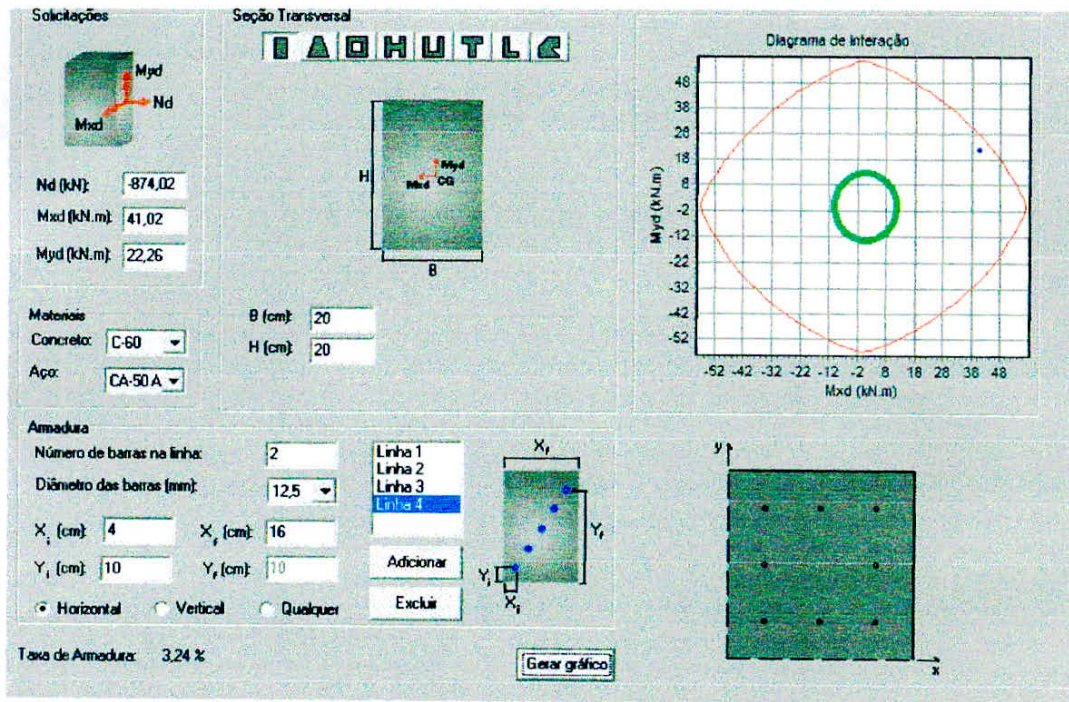
P1 4-5



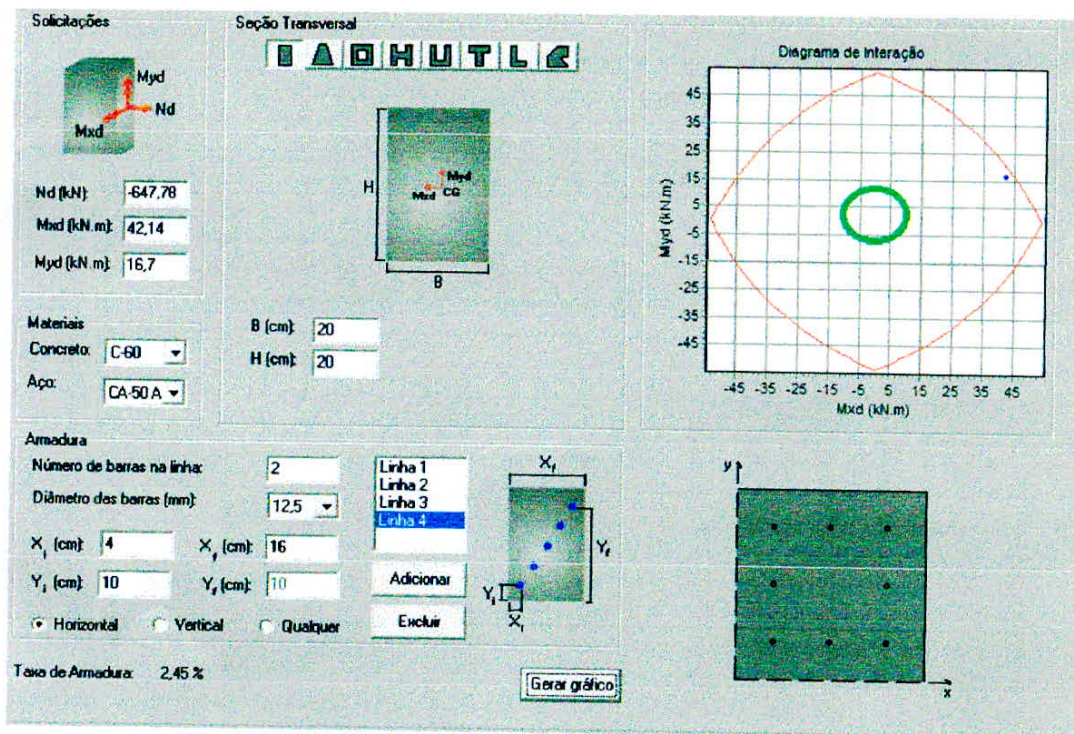
P1 5-6



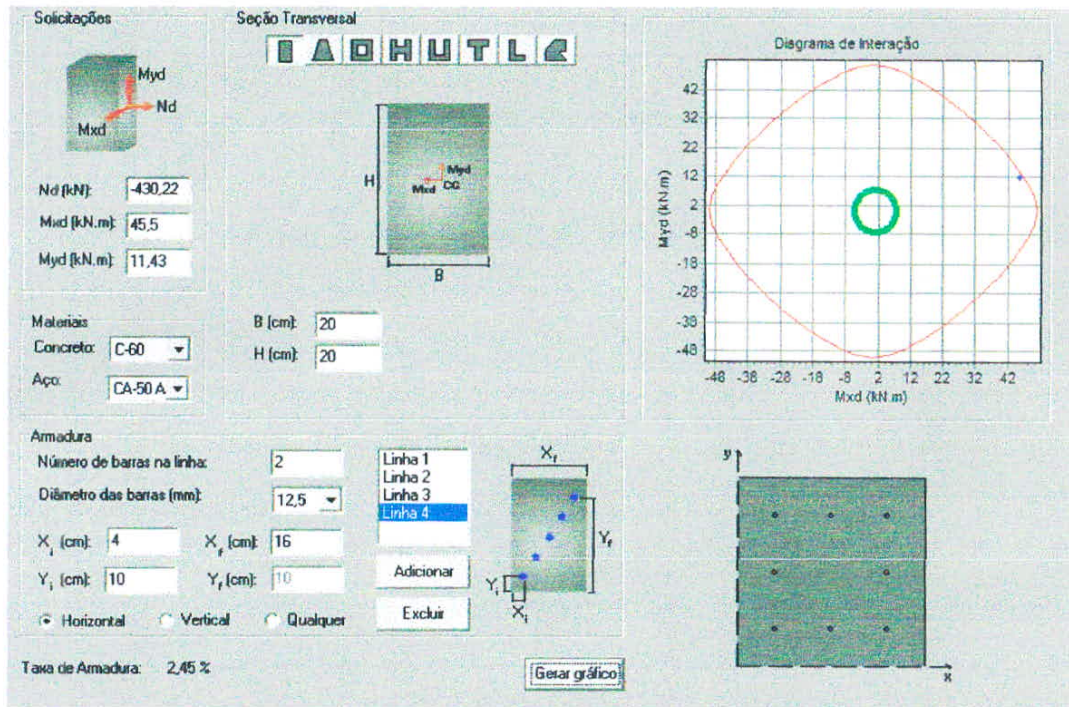
P16-7



P17-8



P18-9



P19-10

