

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
ESCOLA DE ENGENHARIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL**

Gustavo Simonato

**PROGRAMA COMPUTACIONAL PARA
DIMENSIONAMENTO E DETALHAMENTO DE BLOCOS
RÍGIDOS**

Porto Alegre
dezembro 2015

GUSTAVO SIMONATO

**PROGRAMA COMPUTACIONAL PARA
DIMENSIONAMENTO E DETALHAMENTO DE BLOCOS
RÍGIDOS**

Trabalho de Diplomação apresentado ao Departamento de Engenharia Civil da Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, como parte dos requisitos para obtenção do título de Engenheiro Civil

Orientador: Alexandre Rodrigues Pacheco

Porto Alegre
dezembro 2015

GUSTAVO SIMONATO

**PROGRAMA COMPUTACIONAL PARA
DIMENSIONAMENTO E DETALHAMENTO DE BLOCOS
RÍGIDOS**

Este Trabalho de Diplomação foi julgado adequado como pré-requisito para a obtenção do título de ENGENHEIRO CIVIL e aprovado em sua forma final pelo Professor Orientador e pela Coordenadora da disciplina Trabalho de Diplomação Engenharia Civil II (ENG01040) da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Porto Alegre, dezembro de 2015

Prof. Alexandre Rodrigues Pacheco
PhD pela The Pennsylvania State University
Orientador

BANCA EXAMINADORA

Prof. Alexandre R. Pacheco (UFRGS)
PhD pela The Pennsylvania State University

Prof. Américo Campos Filho (UFRGS)
Dr. pela Universidade de São Paulo

Prof. Roberto Domingos Rios (UFRGS)
Dr. pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Dedico este trabalho a meus pais, Edemilson e Teresinha,
e à minha namorada Marlova, que me apoiaram
especialmente durante o período do meu Curso de
Graduação e sempre estiveram ao meu lado.

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao Prof. Alexandre Rodrigues Pacheco, orientador deste trabalho, pelo incentivo, atenção e dedicação.

Agradeço aos engenheiros Edemir Caetano Simonato e Carlos Roberto Moura de Moraes, pela camaradagem, atenção e ensinamentos.

Agradeço aos amigos Eduardo Zluhan Samrsla, Lucas Magrini Rigo, Tobias Rizzatti e Natanael Postal Frainer, pelos momentos de companheirismo e força.

Agradeço aos irmãos Fábio e Christian Simonato, pelo carinho e compreensão em todos os momentos.

*Forever trusting who we are
And nothing else matters
James Hetfield / Lars Ulrich*

RESUMO

SIMONATO, G. **Programa computacional para dimensionamento e detalhamento de blocos rígidos**. 2015. 70 f. Trabalho de Diplomação (Graduação em Engenharia Civil) – Departamento de Engenharia Civil. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

Diferentes tipos de solos, com diferentes características e resistências, exigem soluções diferentes para a fundação das edificações. As fundações tem uma importância significativa, dado que são os elementos que fazem a transferência dos esforços da supraestrutura para o solo. O trabalho enfoca os blocos de coroamento de duas, três e quatro estacas, rígidos. Uma das metodologias utilizada para cálculo destes – e é adotada no trabalho – é o modelo das bielas e dos tirantes, onde os esforços são transmitidos às estacas por bielas comprimidas (concreto) e tirantes tracionados (barras da armadura) – a metodologia é indicada pela bibliografia técnica. Os blocos rígidos caracterizam-se por grande altura e volume de concreto, e são amplamente mais utilizados do que os blocos flexíveis, nos projetos atuais. Com o aumento das áreas construídas, para as edificações, surge como consequência um número maior de blocos de fundação. A utilização de ferramentas computacionais vem sendo cada vez mais utilizadas no campo da Engenharia, tanto pelo grande ganho em produtividade como pela precisão nos resultados. O trabalho desenvolveu planilhas de cálculo para calcular os parâmetros dos blocos (desde suas geometrias às armaduras), bem como gerar memória de cálculo para cada um destes e um arquivo de parâmetros a ser processado em um software auxiliar (CAD TQS) para se obter o detalhamento dos blocos. Os cálculos atendem às especificações das normas e bibliografia técnicas. Considera-se que as rotinas desenvolvidas atendem à proposta do trabalho.

Palavras-chave: Blocos rígidos de coroamento. Modelo das bielas e tirantes.
Concreto armado. Projeto estrutural.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Diagrama das etapas do trabalho	15
Figura 2 – Critério de rigidez da NBR 6118	18
Figura 3 – Critério de rigidez da EHE	19
Figura 4 – Esquema do mecanismo de formação das bielas e dos tirantes em um bloco de quatro estacas	20
Figura 5 – Geometria do pilar retangular	21
Figura 6 – Geometria dos blocos de duas estacas	24
Figura 7 – Exemplo de distribuição das armaduras nos blocos	26
Figura 8 – Verificação das tensões na base do bloco	31
Figura 9 – Diagrama tensão-deformação idealizado do concreto	34
Figura 10 – Diagrama tensão-deformação para aços de armaduras passivas	35
Figura 11 – Entrada de dados - variáveis (bloco de duas estacas)	38
Figura 12 – Entrada de dados e processamento (bloco de duas estacas)	39
Figura 13 – Entrada de dados - variáveis (bloco de três estacas)	40
Figura 14 – Entrada de dados e processamento (bloco de três estacas)	41
Figura 15 – Entrada de dados - variáveis (bloco de quatro estacas)	42
Figura 16 – Entrada de dados e processamento (bloco de quatro estacas)	43
Figura 17 – Desenho (bloco de duas estacas) – arquivo DWG	45
Figura 18 – Desenho (bloco de três estacas) – arquivo DWG	48
Figura 19 – Desenho (bloco de quatro estacas) – arquivo DWG	51

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Valores para o coeficiente η_1	28
Tabela 2 – Valores para o coeficiente η_2	28
Tabela 3 – Valores para o coeficiente η_3	28
Tabela 4 – Armaduras calculadas – Blocos de duas estacas	53
Tabela 5 – Armaduras – Método de Blévoit – Blocos de duas estacas	54
Tabela 6 – Armaduras calculadas – Blocos de três estacas	55
Tabela 7 – Armaduras – Método de Blévoit – Blocos de três estacas	55
Tabela 8 – Armaduras calculadas – Blocos de quatro estacas	57
Tabela 9 – Armaduras – Método de Blévoit – Blocos de quatro estacas	57
Tabela 10 – Comparativo – Blocos de duas estacas – Planilha/Método de Blévoit	58
Tabela 11 – Comparativo – Blocos de três estacas – Planilha/Método de Blévoit	59
Tabela 12 – Comparativo – Blocos de quatro estacas – Planilha/Método de Blévoit	59

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	11
2 DIRETRIZES DA PESQUISA	13
2.1 QUESTÃO DE PESQUISA	13
2.2 OBJETIVOS DA PESQUISA	13
2.2.1 Objetivo principal	13
2.2.2 Objetivos secundários	13
2.3 PRESSUPOSTO	13
2.4 DELIMITAÇÕES	14
2.5 LIMITAÇÕES	14
2.6 DELINEAMENTO	14
3 BLOCOS RÍGIDOS DE COROAMENTO DE ESTACAS	17
3.1 DEFINIÇÃO DE BLOCOS RÍGIDOS	17
3.2 COMPORTAMENTO ESTRUTURAL	19
3.3 ESPAÇAMENTO ENTRE ESTACAS	21
3.4 CÁLCULO DA ARMADURA DE TRAÇÃO	22
3.5 ARMADURAS DE DISTRIBUIÇÃO, LATERAL E SUPERIOR	24
3.5.1 Armaduras de distribuição	24
3.5.2 Armadura lateral e superior	25
3.6 ARMADURA DE SUSPENSÃO	26
3.7 ARMADURA DE ARRANQUE DOS PILARES	27
3.8 ANCORAGEM DA ARMADURA DOS PILARES	27
3.9 VERIFICAÇÃO DO ESMAGAMENTO DO CONCRETO NAS BIELAS COMPRIMIDAS	29
3.9.1 Verificação por Alonso (1983)	30
3.9.2 Verificação por Araújo (2014)	30
3.10 CARACTERÍSTICAS DOS MATERIAIS: AÇO E CONCRETO	32
4 MODELO DE CÁLCULO	36
4.1 ESFORÇOS NAS ESTACAS	36
4.2 ENTRADA DE DADOS E PROCESSAMENTO	37
4.3 BLOCOS DE DUAS ESTACAS	43
4.4 BLOCOS DE TRÊS ESTACAS	45
4.5 BLOCOS DE QUATRO ESTACAS	48
5 COMPARATIVO DO CÁLCULO COM O MÉTODO DE BLÉVOT	52

5.1 DIMENSIONAMENTO	52
5.1.1 Blocos de duas estacas	52
5.1.2 Blocos de três estacas	54
5.1.3 Blocos de quatro estacas	56
5.2 COMPARATIVOS DE RESULTADOS	57
5.2.1 Blocos de duas estacas	58
5.2.2 Blocos de três estacas	58
5.2.3 Blocos de quatro estacas	59
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS	60
REFERÊNCIAS	61
APÊNDICE A	62
APÊNDICE B	65
APÊNDICE C	68

1 INTRODUÇÃO

Segundo Guerrin e Lavaur (2002, p. 1-2), “As fundações de uma construção são as suas partes em contato com o solo, ao qual transmitem suas cargas.”. Para uma boa organização dessas, devem ser preenchidas certas condições, respeitando certos princípios, sendo alguns deles: prudência com o solo (problemas na superestrutura devidos a falhas na infraestrutura são, na maior parte das vezes, graves, além de terem elevado custo de reparo); fundações em um bom solo (análise econômica de como obter apoio no solo disponível); conhecimento das características físicas, mecânicas, e das possibilidades de carregamento; evitar perda de resistência no terreno pela presença de lençol freático. Araújo (2014, p. 257) também fornece alguns requisitos a serem satisfeitos por uma boa fundação: segurança contra ruptura do solo, recalques compatíveis com a capacidade de acomodação da estrutura e recalques diferenciais. Fusco (2013, p. 345) também salienta a necessidade de as peças serem suficientemente rígidas para que a deformação destas não afete os esforços atuantes na superestrutura, tampouco no terreno de fundação.

Para diferentes tipos de solos, dadas suas respectivas características e resistências, faz-se necessária a escolha entre fundações rasas ou profundas, rígidas ou flexíveis. Considerando-se cargas significativas – um edifício alto, por exemplo –, havendo solos mais resistentes na superfície, a opção por fundações rasas (sapatas, em solos mais homogêneos, e placas de fundação (radiers), em solos menos resistentes ou menos homogêneos) é a mais utilizada. Já com uma resistência menor no solo faz-se o uso de fundações profundas – estacas utilizam a sua área lateral (além da área da base) para transmitir os esforços da estrutura para o solo. Para a transmissão de esforços da estrutura para as estacas, usam-se blocos de coroamento, que servem também para agrupar estacas e redistribuir os esforços pontuais para estas estacas.

Os blocos rígidos – para o escopo do trabalho serão considerados apenas estes – se caracterizam por sua grande altura, necessária para sua condição de rigidez: sendo rígidos, admitem o uso de uma metodologia conhecida como Método das Bielas e Tirantes, que considera os esforços sendo transferidos às estacas por bielas comprimidas do concreto e por tirantes tracionados – devido a isso a necessidade de armaduras na região inferior dos blocos – e é indicada por normas técnicas.

Com o passar dos anos, o volume de obras no mercado vem crescendo, implicando em um grande número de blocos de fundação. As ferramentas computacionais, também, vêm sendo cada vez mais usadas por engenheiros para auxiliar tanto na produtividade quanto numa maior precisão de resultados nos mais diversos campos da Engenharia. O intuito do presente trabalho é desenvolver um programa de linguagem de fácil entendimento para os usuários calcularem blocos rígidos de coroamento de estacas, gerando uma memória de cálculo simples, para conferência dos resultados e, também, um detalhamento inicial dos blocos, com as respectivas armaduras, em um desenho para software CAD.

2 DIRETRIZES DA PESQUISA

As diretrizes para desenvolvimento do trabalho são descritas nos próximos itens.

2.1 QUESTÃO DE PESQUISA

A questão de pesquisa do trabalho é: quais rotinas computacionais podem ser usadas para minimizar processos repetitivos de cálculo e desenho de blocos de fundação?

2.2 OBJETIVOS DA PESQUISA

Os objetivos da pesquisa estão classificados em principal e secundários e são descritos a seguir.

2.2.1 Objetivo principal

O objetivo principal do trabalho é a criação de um *software* para o cálculo de blocos rígidos de fundação sobre estacas para pilares isolados, com uma saída de dados parametrizada com os dados do cálculo para processamento em um *software* de desenho.

2.2.2 Objetivos secundários

O objetivo secundário do trabalho é a criação de memória de cálculo para cada um dos blocos, para fins de conferência e interpretação do usuário, bem como documentação do cálculo.

2.3 PRESSUPOSTO

O trabalho tem por pressuposto que o método das bielas e tirantes é válido para a análise dos esforços nos blocos rígidos.

2.4 DELIMITAÇÕES

O trabalho delimita-se ao cálculo de blocos rígidos de fundação de duas, três e quatro estacas, com a criação de memória de cálculo e detalhamento destes.

2.5 LIMITAÇÕES

São limitações do trabalho:

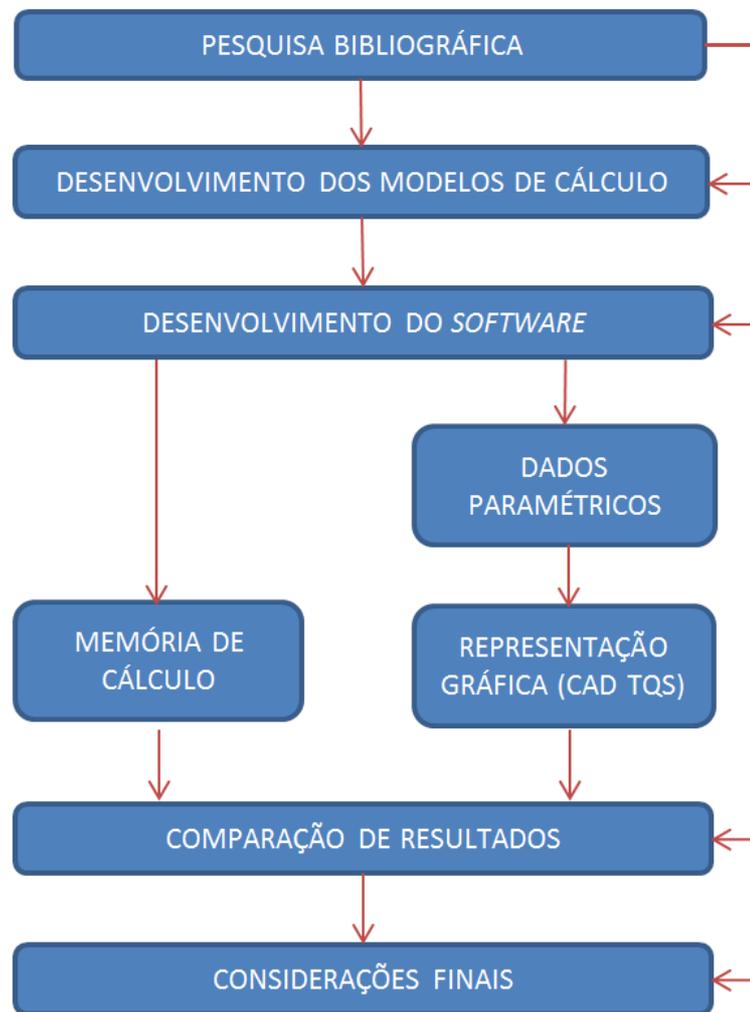
- a) considerados apenas blocos sob efeito de um pilar retangular isolado, com centro de carga coincidindo com o centro de carga do bloco, sem a consideração de esforços horizontais;
- b) os blocos a serem calculados são blocos de duas estacas (retangular), de três estacas (triangular equilátero, com a armadura principal sobre as estacas, ligando-as duas a duas) e de quatro estacas (quadrangular, com a armadura principal sobre as estacas, nas direções horizontais e verticais, ligando-as duas a duas);
- c) para entrada de dados será utilizado o *software* Microsoft Excel[®]; para o processamento de cálculo e memória de cálculo, será usada uma única linguagem de programação, VBA, parte integrante do *software* citado;
- d) para detalhamento, será utilizada a Linguagem de Desenho Paramétrico, sistema integrante do *software* TQS, gerando um arquivo de desenho compatível com os sistemas CAD/TQS.

2.6 DELINEAMENTO

O trabalho será realizado através das etapas apresentadas a seguir, que estão representadas na Figura 1, e são descritas nos próximos parágrafos:

- a) pesquisa bibliográfica;
- b) desenvolvimento dos modelos de cálculo;
- c) desenvolvimento do software;
- d) dados paramétricos;
- e) representação gráfica do bloco;
- f) comparação de resultados;
- g) considerações finais.

Figura 1 – Diagrama das etapas do trabalho



(fonte: elaborado pelo autor)

A pesquisa bibliográfica visa desenvolver o embasamento teórico do assunto, com base em respectivas normas técnicas e bibliografia, podendo ser livros, artigos, periódicos, trabalhos de conclusão, teses e dissertações. É uma etapa primordial e, por isso, está presente durante todo o desenvolvimento do trabalho, de forma a garantir a validade deste.

Já na etapa do desenvolvimento dos modelos de cálculo, o empenho está no desenvolvimento de fluxogramas do cálculo tanto dos esforços a serem considerados após algumas simplificações quanto no do dimensionamento do bloco – por serem casos um tanto quanto diferentes entre si, em se tratando de considerações pontuais, há a necessidade de um algoritmo adaptado para cada um dos casos.

Com relação à etapa do desenvolvimento do *software*, a primeira das duas partes do desenvolvimento consiste na tradução da linguagem matemática para a da linguagem de programação utilizada (*VBA*) – aqui também se tem duas fases: a primeira de cálculo e criação da memória de cálculo; e a segunda, com a criação do arquivo com os dados paramétricos para o detalhamento dos blocos. A segunda parte do desenvolvimento do *software* consiste em utilizar uma segunda linguagem (*DP*, a linguagem de desenho paramétrico do *software* *TQS*) para criar as rotinas necessárias para o processamento do arquivo parametrizado, resultante da primeira etapa, de forma a gerar a representação gráfica do bloco em planta baixa e em cortes transversais, mostrando a disposição das armaduras.

A comparação de resultados será feita confrontando os resultados fornecidos pelo *software* com dados de planilhas pré-programadas com outros métodos – o intuito é verificar o quanto os resultados diferem entre si.

3 BLOCOS RÍGIDOS DE COROAMENTO DE ESTACAS

Neste capítulo, serão tratadas as informações referentes aos blocos rígidos – métodos de projeto, critérios para dimensionamento e informações sobre os materiais utilizados.

O capítulo é dividido em: definição de blocos rígidos; comportamento estrutural; espaçamento entre estacas; cálculo da armadura de tração; armaduras de distribuição, lateral e superior; armadura de suspensão; verificação do esmagamento do concreto nas bielas; características dos materiais – aço e concreto; armadura de arranque dos pilares.

3.1 DEFINIÇÃO DE BLOCOS RÍGIDOS

Segundo a NBR 6118 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2014, p. 190), “Blocos são estruturas de volume usadas para transmitir às estacas e aos tubulões as cargas de fundação, podendo ser considerados rígidos ou flexíveis, por critério análogo ao definido para sapatas.”. O critério, que diferencia blocos e sapatas rígidos de flexíveis, conforme a NBR 6118 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2014, p. 188), é tal que a fórmula 1 seja verificada nas duas direções – a fórmula é dada para o caso da sapata, sendo análoga a esta a formulação para o bloco:

$$h \geq (a-a_p)/3 \quad (\text{fórmula 1})$$

Onde:

h é a altura da sapata;

a é a dimensão da sapata em uma determinada direção;

a_p é a dimensão do pilar na mesma direção.

Já a norma espanhola EHE¹ (COMISIÓN PERMANENTE DEL HORMIGÓN, 2007, apud ARAÚJO, 2014, p. 302) classifica como rígidos blocos que satisfaçam a fórmula 2:

$$h \geq 0,5 l_{o,max} \quad (\text{fórmula 2})$$

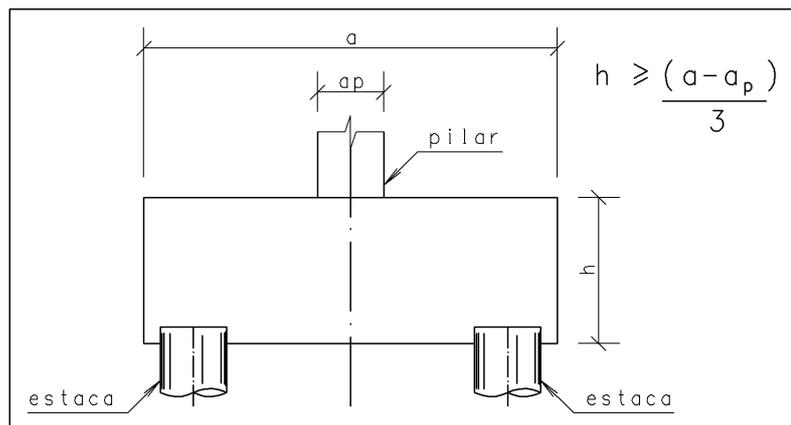
Onde:

h é a altura do bloco;

$l_{o,max}$ é a distância do eixo da estaca mais afastada até a face do pilar.

As Figuras 2 e 3 demonstram os critérios expressados pelas fórmulas 1 e 2.

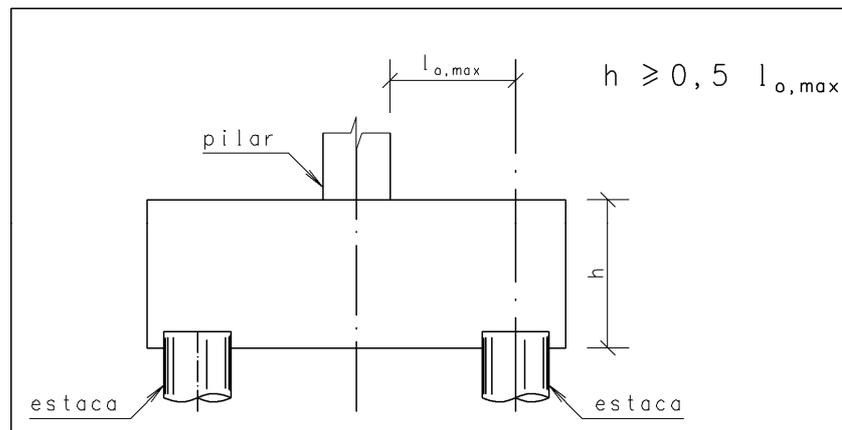
Figura 2 – Critério de rigidez da NBR 6118



(fonte: baseado em ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2014)

¹ COMISIÓN PERMANENTE DEL HORMIGÓN. **Instrucción de Hormigón Estructural**. EHE. Madrid, 2007.

Figura 3 – Critério de rigidez da EHE



(fonte: baseado em COMISIÓN PERMANENTE DEL HORMIGÓN, 2007, apud ARAÚJO, 2014, p. 302)

Araújo (2014, p. 301-302) cita:

O dimensionamento dos blocos rígidos sobre estacas é feito através do modelo de bielas e tirantes. Entretanto, não há um consenso quanto à altura mínima necessária para garantir esse comportamento, muito menos em relação aos demais parâmetros geométricos do bloco [...]

Já a NBR 6118 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2014, p. 192) diz que o bloco deve ter altura mínima suficiente para que a armadura de arranque dos pilares tenha a ancoragem necessária. Fusco (2013, p. 347) indica, além deste critério, uma altura mínima de trinta centímetros.

3.2 COMPORTAMENTO ESTRUTURAL

A NBR 6118 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2014, p. 190), diz que:

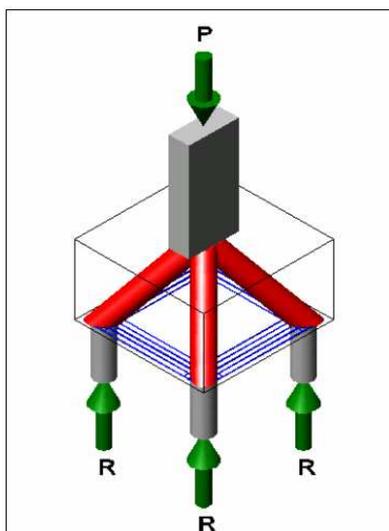
O comportamento estrutural se caracteriza por:

- a) trabalho à flexão nas duas direções, mas com trações essencialmente concentradas nas linhas sobre as estacas (reticulado definido pelo eixo das estacas, com faixas de largura igual a 1,2 vez seu diâmetro);
- b) forças transmitidas do pilar para as estacas essencialmente por bielas de compressão, de forma e dimensões complexas;
- c) trabalho ao cisalhamento também em duas direções, não apresentando ruínas por tração diagonal, e sim por compressão das bielas, analogamente às sapatas.

[...] Para o cálculo e dimensionamento dos blocos, são aceitos [...] modelos biela-tirante tridimensionais.

Conforme Schlaich e Schafer² (1988 apud FUSCO, 2013, p. 125), o Método das Bielas e Tirantes consiste em considerar barras ideais retilíneas comprimidas – bielas de concreto – e tirantes tracionados – armaduras de aço. A Figura 4 ilustra o método aplicado a um bloco de quatro estacas, com as bielas comprimidas representadas em vermelho, e os tirantes tracionados, em azul.

Figura 4 – Esquema do mecanismo de formação das bielas e dos tirantes em um bloco de quatro estacas



(fonte: LEMOS, 2008)

Araújo (2014, p. 302) diz que para se garantir uma inclinação mínima de $\arctg 1/2$ ($26,6^\circ$; devido a efeitos de punção, podem ocorrer fissuras com essa inclinação), é necessário adotar a relação dada pela fórmula 3.

$$d \geq r/1,7 \quad (\text{fórmula 3})$$

Onde:

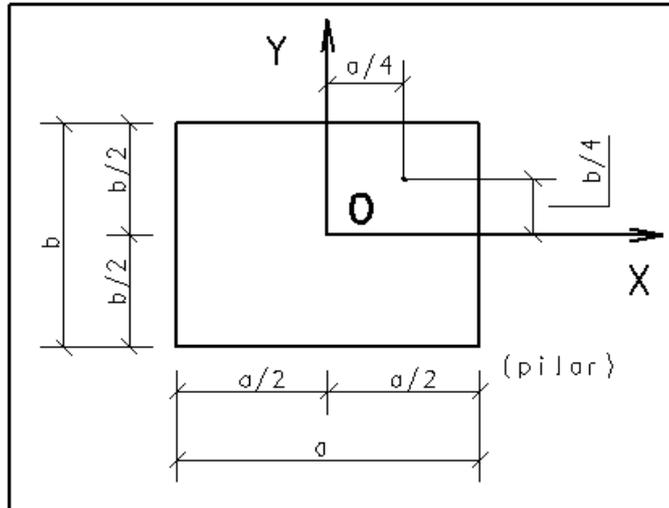
d é a altura útil do bloco;

r é a distância da estaca mais afastada até um ponto O situado dentro do pilar, a uma distância $x = 0,25 a$, e $y = 0,25 b$, sendo a e b as dimensões do pilar em x e y , respectivamente.

² SCHILAICH, J.; SCHAFER, K. **Consistent Design of Structural Concrete Using Strut-and-Tie Model**. 5º Colóquio sobre comportamento e projeto de estruturas. PUC/RJ, Agosto/1988.

A Figura 5 mostra o ponto O em um pilar – supõe-se que a biela parta do ponto O em direção à estaca.

Figura 5 – Geometria do pilar retangular



(fonte: adaptado de ARAÚJO, 2014)

Para Fusco (2013, p. 345):

[...] a altura do bloco deve permitir a transmissão direta da carga, da base do pilar ao topo das estacas, por meio de bielas comprimidas.

Admite-se que essa possibilidade exista desde que as bielas fiquem inclinadas de ângulo não inferior a $\arctg 1/2$ [$26,6^\circ$] em relação à horizontal. Todavia, por segurança, recomenda-se que o bloco tenha altura suficiente para que a estaca mais afastada não exija biela com inclinação menor que $\arctg 2/3$ [$33,69^\circ$] em relação à horizontal. Desse modo, as bielas mais abatidas ficam com inclinação na faixa entre $\arctg 2/3$ e $\arctg 1$ [entre $33,69^\circ$ e 45°] [...]

3.3 ESPAÇAMENTO ENTRE ESTACAS

A NBR 6118 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2003, p. 169) define que “No caso de conjuntos de blocos e estacas rígidos, com espaçamento de $2,5\varnothing$ a $3\varnothing$ (onde \varnothing é o diâmetro da estaca), pode-se admitir plana a distribuição de carga nas estacas.” – esta informação não consta na versão atualizada (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2014). Fusco (2013, p. 347) também cita estes espaçamentos como regras práticas usuais. Este critério será utilizado – espaçamento entre estacas entre $2,5\varnothing$ a $3\varnothing$ – para o dimensionamento dos blocos.

Já, para o espaçamento entre face externa da estaca e face do bloco, Fusco (2013, p. 347) mostra, também como regra prática usual, uma distância igual ao diâmetro da estaca, enquanto Guerrin e Lavour (2002, p. 251-252) – ele apenas cita especificamente para o caso de uma e duas estacas – propõe uma distância de 15 cm, concordando com Alonso (1983, p. 185).

Fusco (2013, p. 350) diz também que “[...] na base do bloco, as estacas penetram de cinco a dez centímetros em seu interior, o que também reduz a inclinação das bielas e amplia a área de sustentação dessas bielas.”.

3.4 CÁLCULO DA ARMADURA DE TRAÇÃO

Fusco (2013, p. 353) considera que as armaduras de tração podem ser organizadas segundo dois critérios diferentes: o primeiro deles sendo “[...] determinado pelos planos que contêm as próprias bielas, onde seriam concentradas as armaduras principais.”, complementando que o arranjo, desta maneira, “[...] pode levar à superposição de muitas camadas de armadura, fato que deve ser evitado, tanto pela perda de altura útil que acarreta quanto pela dificuldade de concretagem adequada da região dos cruzamentos múltiplos.”; já o segundo “[...] é empregar armaduras em apenas duas direções ortogonais entre si.”. Os blocos de três ou quatro estacas permitem soluções alternativas, e as armaduras devem todas ter ganchos para garantia de ancoragem perfeita, estando estas dobras situadas entre a face do bloco e a face externa da estaca.

Segundo a NBR 6118 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2014, p. 191), a armadura de flexão (tração) precisa ser posicionada, nas faixas definidas pelas estacas (conforme citado na seção 3.2 do presente documento, a faixa compreende uma largura de 1,2 vezes o diâmetro da estaca), um mínimo de 85% da armadura necessária, considerando, também, o equilíbrio com as respectivas bielas, além de as barras necessitarem ir de face a face do bloco, com ganchos nas duas extremidades – a ancoragem é medida a partir das faces interna das estacas.

As áreas de aço a serem utilizadas são calculadas por equações de equilíbrio estático, relacionando o momento causado pela carga total N do pilar e as reações causadas pelas armaduras tracionadas a uma distância z (braço de alavanca) – Araújo (2014, p. 303) diz ainda

que, para o caso de o problema ser hiperestático, “[...] admite-se que o bloco seja infinitamente rígido e aplica-se a equação de compatibilidade de deslocamentos.”.

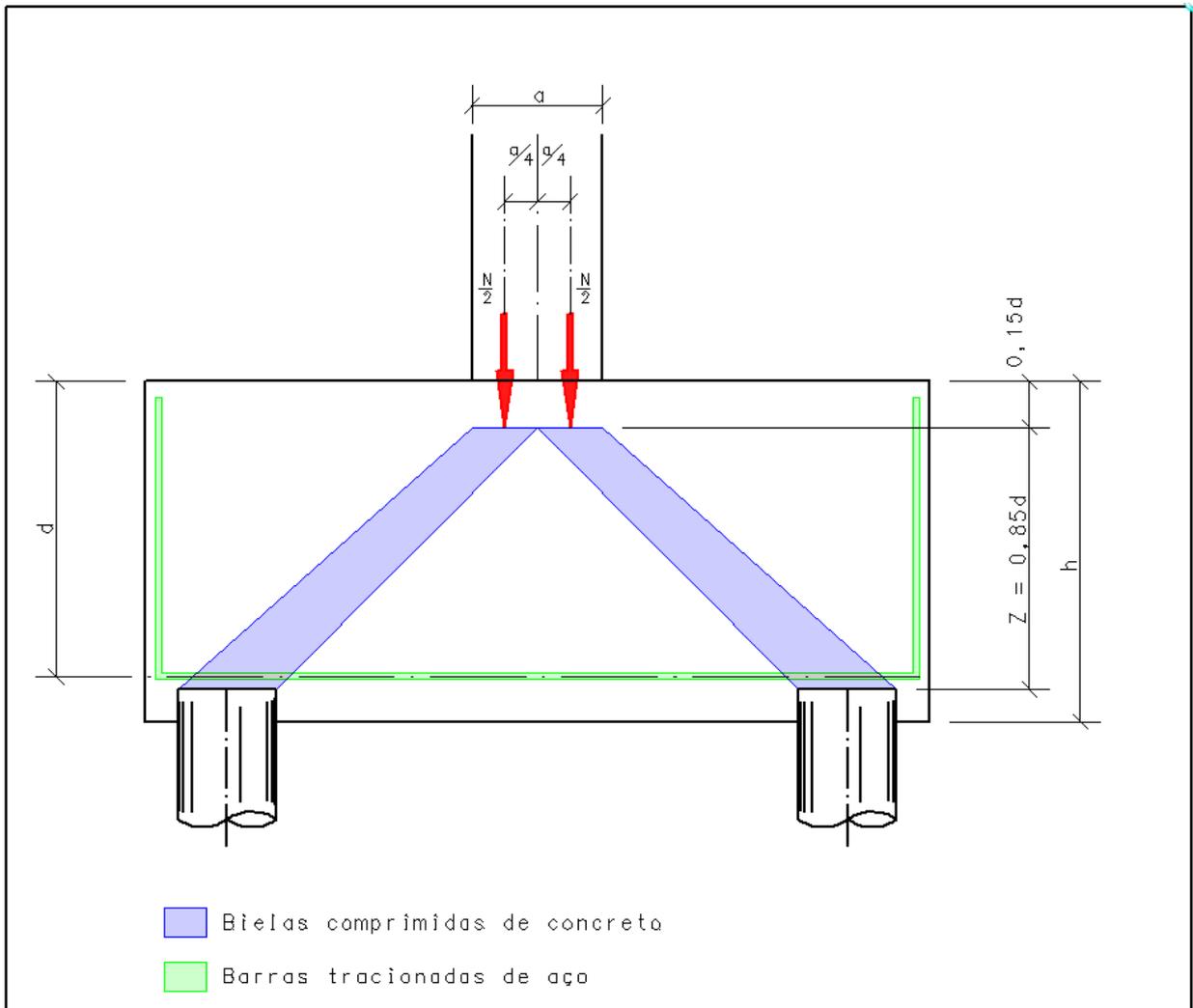
O valor de z considerado por Fusco (2013, p. 354), relaciona parâmetros de altura e resistência, fornecendo um valor $z \cong 0,80h$, com h sendo a altura total do bloco. Já Alonso (1983, p. 187) considera o z (o autor denomina como d a altura útil total do bloco, do topo da estaca ao topo do bloco, relacionando-o como $d \geq e/2$, onde e é a distância entre o eixo de estacas, para blocos de duas e três estacas). Analogamente, pode-se considerar $d \geq (e \sqrt{2})/2$ para blocos de quatro estacas. A altura total h considera um embutimento h_0 , assim tendo-se $h=d+h_0$.

Araújo (2014, p. 305) considera, para blocos de duas estacas, $z \cong 0,85d$, com d sendo a altura útil do bloco, a fim de minimizar o esmagamento das bielas de compressão no topo do bloco.

A aplicação da carga total N dá-se a uma distância de $0,25a$ do eixo do pilar, onde a é a dimensão do pilar na direção analisada.

A Figura 6 ilustra a onde estão os pontos de aplicação da carga, bem como alguns parâmetros da geometria dos blocos.

Figura 6 – Geometria dos blocos de duas estacas



(fonte: adaptado de ARAÚJO, 2014)

3.5 ARMADURAS DE DISTRIBUIÇÃO, LATERAL E SUPERIOR

Além das armaduras principais – correspondentes aos tirantes tracionados do modelo de bielas e tirantes –, é necessário o uso de outras armaduras, para fins de controle de fissuração ou transferências de esforços do bloco.

3.5.1 Armaduras de distribuição

A NBR 6118 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2014, p. 191) define que “Para controlar a fissuração, deve ser prevista armadura positiva adicional, independente da armadura principal de flexão, em malha uniformemente distribuída em duas direções para 20% dos esforços totais.”. Desde que justificado algum controle de fissuras nas referidas regiões, o valor pode ser reduzido.

Araújo (2014, p. 316) diz que a armadura secundária (armadura de distribuição) entre as faixas da armadura principal devem ser superior, em cada direção, a 25% da área da armadura principal situada em cada faixa.

3.5.2 Armadura lateral e superior

Segundo a NBR 6118 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2014, p. 191):

Em blocos com duas ou mais estacas em uma única linha, é obrigatória a colocação de armaduras laterais e superior.

Em blocos de fundação de grandes volumes, é conveniente a análise da necessidade de armaduras complementares.

A armadura lateral A_s' (armadura de pele; estribos horizontais) a ser distribuída na altura do bloco, segundo Alonso (1983, p. 185) equivale a $A_s' = A_s / 8$, onde A_s é o total da armadura principal calculada, e tem a finalidade de reduzir as aberturas das fissuras. Araújo (2014, p. 318) limita-se a dizer que uma armadura para prevenir fissuras devidas a choques térmicos. *American Concrete Institute*³ (2011 apud ARAÚJO, 2014, p. 318) define uma armadura na ordem de 2,0 cm²/m como sendo o suficiente para tal necessidade dos blocos, com espaçamento máximo de 20 cm entre barras, tanto lateral como superior.

Com respeito à armadura superior, Alonso (1983, p. 185) diz:

Certos autores sugerem a colocação de uma armadura usando-se uma seção mínima que atenda à disposições construtivas e outros dispensam a colocação desta

³ AMERICAN CONCRETE INSTITUTE. Building Code Requirements for Structural Concrete (ACI 318M-11) and Commentary. 2011.

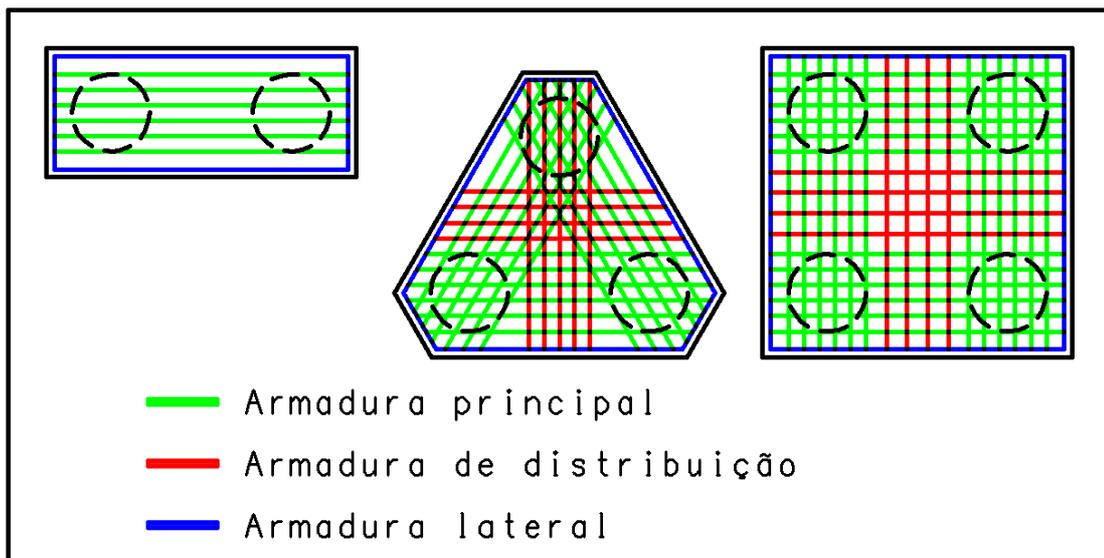
armadura por entender que a mesma dificulta a confecção do bloco, trazendo mais desvantagens que vantagens para o mesmo.

Araújo (2014, p. 312) define uma área mínima para armadura superior (ao menos para blocos de duas estacas), com uma área mínima de 10% da área da armadura principal inferior.

Para o presente trabalho, será adotado o critério de área mínima de aço para a armadura superior como 10% da área da armadura principal inferior, para os blocos de duas estacas.

A Figura 7 representa a distribuição de armaduras a serem utilizadas no presente trabalho: será considerada uma armadura principal de flexão distribuída 100% sobre as estacas, com uma armadura de distribuição de 25% da armadura principal, em cada direção, onde não há armadura principal, e uma armadura lateral distribuída em toda a altura dos blocos.

Figura 7 – Exemplo de distribuição das armaduras nos blocos



(fonte: elaborado pelo autor)

3.6 ARMADURA DE SUSPENSÃO

A NBR 6118 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2014, p. 191) diz que:

Se for prevista armadura de distribuição para mais de 25% dos esforços totais ou se o espaçamento entre estacas for maior que 3 vezes o diâmetro da estaca, deve ser prevista armadura de suspensão para a parcela de carga a ser equilibrada.

Para blocos de duas estacas, Leonhardt e Mönning (1978 apud ARAÚJO, 2014, p. 317) diz que a armadura de suspensão é formada por estribos verticais envolvendo as armaduras principais. Para os demais blocos, esta armadura deve ser dimensionada para a força de $N_d/(1,5n)$, onde $n \geq 3$ é o número de estacas e N_d é a força vertical, majorada, a que o bloco está sujeito.

Pelos critérios propostos nos itens 3.3 e 3.5.1 para o presente trabalho, não haverá necessidade de utilização de armadura de suspensão, exceto nos blocos de duas estacas.

3.7 ARMADURA DE ARRANQUE DOS PILARES

Um dos critérios para a altura mínima dos blocos, descrito pela NBR 6118 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2014, p. 192), é de que:

O bloco deve ter altura suficiente para permitir a ancoragem da armadura de arranque dos pilares. Nessa ancoragem pode-se considerar o efeito favorável da compressão transversal às barras decorrente da flexão do bloco [...]

Fusco (2013, p. 355) diz:

Nos blocos que suportam pilares submetidos à compressão centrada, todas as barras da armadura longitudinal do pilar estão submetidas ao mesmo nível de tensões, e sua ancoragem se dá essencialmente na região superior do bloco, sob a ação da compressão transversal das bielas diagonais [...]

O critério a ser utilizado no trabalho será o da altura do bloco ter, no mínimo, o comprimento de ancoragem da armadura de arranque do pilar sobre o mesmo.

3.8 ANCORAGEM DA ARMADURA DOS PILARES

Sendo o comprimento das ancoragens da armadura de arranque dos pilares um dos determinantes da altura mínima dos blocos, a NBR 6118 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2014) fornece um vasto formulário para o cálculo desde comprimento de ancoragem.

$$f_{ct,m} = 0,3 f_{ck}^{2/3} \quad (\text{fórmula 4})$$

Onde $f_{ct,m}$ é a resistência média à tração do concreto e f_{ck} é a resistência característica à compressão do concreto aos 28 dias, em MPa.

$$f_{ctk,inf} = 0,7 f_{ctm} \quad (\text{fórmula 5})$$

Onde $f_{ctk,inf}$ é a resistência característica inferior à tração do concreto.

$$f_{bd} = \eta_1 \eta_2 \eta_3 f_{ctk,inf}/\gamma_c \quad (\text{fórmula 6})$$

Onde f_{bd} é a resistência de aderência entre armadura e concreto, $\gamma_c = 1,4$ é o coeficiente de minoração de resistência do concreto, e η_1 , η_2 e η_3 são coeficientes cujos valores são apresentados nas Tabelas 1, 2 e 3, respectivamente.

Tabela 1 – Valores para o coeficiente η_1

	Barras		
	lisas	entalhadas	nervuradas
η_1	1,0	1,4	2,25

(fonte: adaptado de ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2014, p. 29)

Tabela 2 – Valores para o coeficiente η_2

	Aderência	
	boa	má
η_2	1,0	0,7

(fonte: baseado em ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2014, p. 34)

Tabela 3 – Valores para o coeficiente η_3

Bitola		
$\phi \geq 32 \text{ mm}$		$\phi \geq 32 \text{ mm}$
η_3	1,0	$(132-\phi)/100$

(fonte: baseado em ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2014, p. 35)

Na Tabela 3, o valor do diâmetro ϕ é dado em milímetros.

$$l_b = (\phi/4) (f_{yd}/f_{bd}) \geq 25\phi \quad (\text{fórmula 7})$$

Onde l_b é o comprimento de ancoragem básico, $f_{yd} = f_{yk}/1,15$ é a resistência minorada do aço, em megapascal, e ϕ é a bitola da armadura utilizada, em milímetros.

$$l_{b,nec} = \alpha l_b (A_{s,calc}/A_{s,ef}) \geq l_{b,min} \quad (\text{fórmula 8})$$

$$l_{b,min} \geq \begin{cases} 0,3 l_b \\ 10 \phi \\ 100 \text{ mm} \end{cases} \quad (\text{fórmula 9})$$

Onde:

$l_{b,nec}$ é o comprimento de ancoragem necessário;

$l_{b,min}$ é o comprimento de ancoragem mínimo;

$A_{s,calc}$ é a área de aço calculada para a ancoragem;

$A_{s,ef}$ é a área de aço efetiva utilizada na ancoragem;

$$\alpha \begin{cases} 1,0 \text{ para barras sem gancho} \\ 0,7 \text{ para barras tracionadas com gancho} \end{cases}$$

3.9 VERIFICAÇÃO DO ESMAGAMENTO DO CONCRETO NAS BIELAS COMPRIMIDAS

Para a verificação do esmagamento do concreto nas bielas comprimidas, os autores propõem maneiras bem distintas entre si.

3.9.1 Verificação por Alonso (1983)

Alonso (1983, p. 186-187) apresenta uma expressão simplificada, na fórmula 10:

$$(\gamma V)/(b_w d) \geq \begin{cases} 2 f_{tk} & (a/d \geq 1) \\ f_{tk} & (1 < a/d \leq 1,5) \\ 0,4 f_{tk} & (a/d > 2,0) \end{cases} \quad (\text{fórmula 10})$$

Onde:

$f_{tk} = 0,06 f_{ck} + 0,7$ é a resistência à tração do concreto com $f_{ck} > 18\text{MPa}$;

a é a distância do centro da estaca ao centro da biela;

b_w é a largura do bloco na seção considerada;

d é a altura útil do bloco;

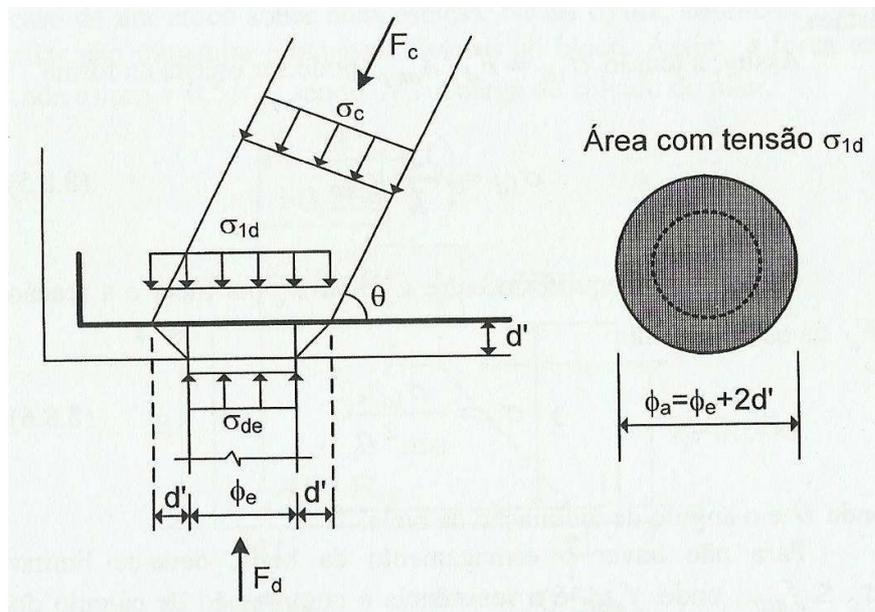
V é a força vertical;

$\gamma = \gamma_g \gamma_c \cong 1,96$ é o coeficiente de majoração de carga e minoração de resistência.

3.9.2 Verificação por Araújo (2014)

Para Araújo (2014, p. 305-307), “[...] é necessário verificar se não há perigo de esmagamento do concreto junto às estacas, na base do bloco.”. Consideram-se as tensões σ_{de} no topo da estaca propagando-se até o nível da armadura, conforme demonstrado na Figura 8.

Figura 8 – Verificação das tensões na base do bloco



(fonte: ARAÚJO, 2014, p.305)

A tensão σ_{1d} no nível das armaduras relaciona-se através da fórmula 11:

$$\sigma_{1d} = (1,4/(1+2 d'/\phi_e)^2) (F_k/A_e) \quad (\text{fórmula 11})$$

Onde:

d' é a distância do fundo do topo da estaca até a armadura;

ϕ_e é o diâmetro da estaca;

$F_k = F_d/1,4$ é a força de compressão da estaca;

A_e é a área da estaca.

O equilíbrio das forças F_c e F_d é mostrado pela fórmula 12.

$$\sigma_c = \sigma_{1d}/\sin^2\theta \quad (\text{fórmula 12})$$

Onde θ é o ângulo da inclinação da biela.

Para não haver o esmagamento da biela, $\sigma_c \leq f_{cdr}$, onde f_{cdr} é a resistência a compressão de cálculo do concreto do bloco, reduzida para levar em conta a possibilidade de fissuração do concreto na região de ancoragem da armadura do banzo tracionado. A fórmula 13 mostra o cálculo da resistência f_{cdr} , e a fórmula 14 relaciona a tensão de serviço nas estacas σ_{ke} com os demais parâmetros.

$$f_{cdr} = 0,60 (1-f_{ck}/250) (f_{ck}/1,4) \quad (\text{fórmula 13})$$

Onde:

f_{ck} é a resistência característica à compressão do concreto aos 28 dias, em MPa.

$$\sigma_{ke} = F_k/A_e \leq 0,30 (1-f_{ck}/250) (1+2 d'/\varnothing_e)^2 f_{ck} \sin^2\theta \quad (\text{fórmula 14})$$

Caso a condição proposta pela fórmula 14 não seja atendida, a altura do bloco deve ser aumentada, de forma que o ângulo θ também aumente.

3.10 CARACTERÍSTICAS DOS MATERIAIS: AÇO E CONCRETO

Para o escopo do trabalho, serão considerados apenas concretos nas classes C20 a C50 e, portanto, as fórmulas utilizadas limitar-se-ão a essas classes. De acordo com a NBR 6118 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2014, p. 24), o módulo de elasticidade inicial do concreto E_{ci} , na ocasião de não serem realizados ensaios para medição do mesmo, será calculado pela fórmula 15.

$$E_{ci} = \alpha_e 5600 \sqrt{f_{ck}} \quad (\text{fórmula 15})$$

Sendo:

$\alpha_e = 1,2$ para basalto e diabásio;

$\alpha_e = 1,0$ para granito e gnaisse;

$\alpha_e = 0,9$ para calcário;

$\alpha_e = 0,7$ para arenito;

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

E_{ci} e f_{ck} dados em megapascal (MPa), com $20\text{Mpa} \leq f_{ck} \leq 50 \text{ MPa}$.

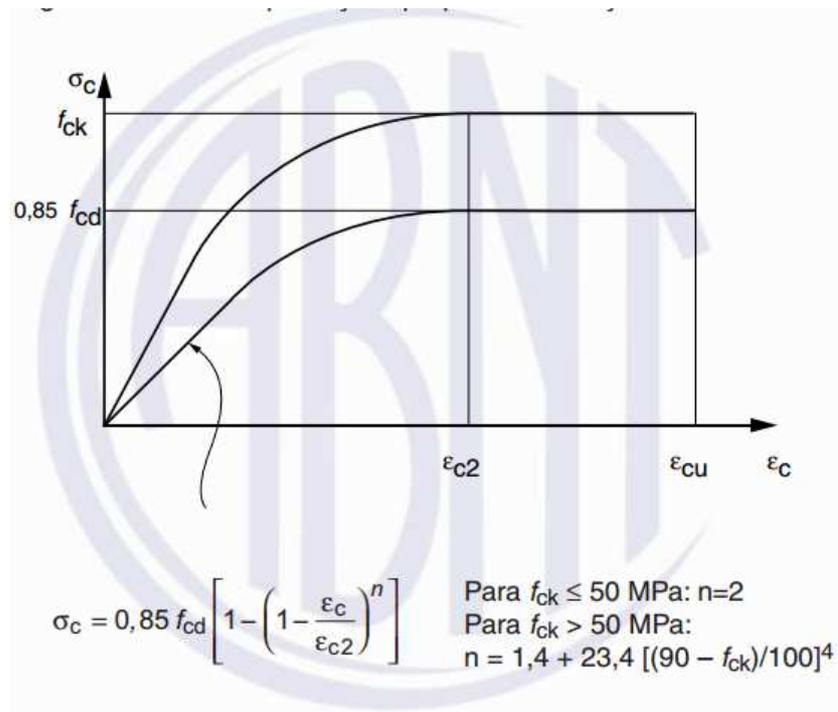
O módulo de deformação secante E_{cs} , de maneira análoga ao E_{ci} , pode ser calculado pela fórmula 16.

$$E_{cs} = \alpha_i E_{ci} \quad (\text{fórmula 16})$$

Onde $\alpha_i = 0,8 + 0,2 f_{ck}/80 \leq 1,0$.

No que se trata de tensão-deformação do concreto, a NBR 6118 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2014, p. 26) apresenta um diagrama idealizado, bem como seu equacionamento, mostrado na Figura 9.

Figura 9 – Diagrama tensão-deformação idealizado do concreto

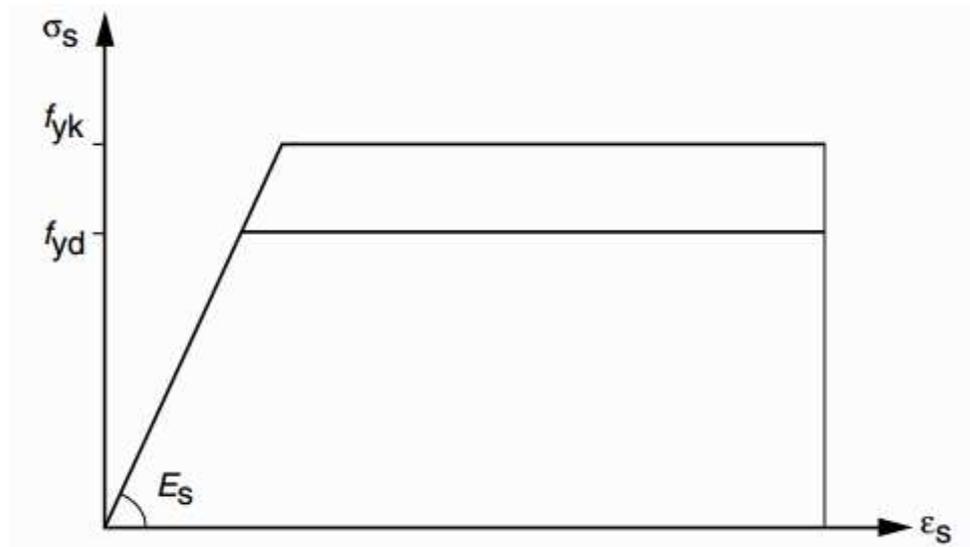


(fonte: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2014, p. 26)

Onde, para concretos de classe até C50, $\epsilon_{c2} = 0,2\%$ (deformação específica de encurtamento do concreto no início do patamar plástico) e $\epsilon_{cu} = 0,35\%$ (deformação específica de encurtamento do concreto na ruptura).

Para o aço de armadura passiva, segundo a NBR 6118 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2014, p. 29), o módulo de elasticidade, tanto na falta de ensaios como de valores fornecidos pelo fabricante, pode ser admitido como $E_{cs} = 210\text{GPa}$. O diagrama tensão-deformação é mostrado na Figura 10.

Figura 10 – Diagrama tensão-deformação para aços de armaduras passivas



(fonte: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2014, p. 29)

4 MODELO DE CÁLCULO

Neste capítulo, serão tratadas as informações referentes ao cálculo dos blocos rígidos.

Para o dimensionamento das armaduras principais, serão utilizadas as fórmulas propostas por Araújo (2014, p. 308-312).

4.1 ESFORÇOS NAS ESTACAS

Sendo os blocos rígidos, os momentos aplicados pelo pilar são distribuídos igualmente para as estacas, segundo a fórmula 17.

$$F_{eq} = M/d \quad (\text{fórmula 17})$$

Onde F_{eq} é a força resultante na estaca, M é o momento aplicado na direção x ou y , e d é a distância do momento à força F na direção y ou x , respectivamente.

Para o seguinte trabalho, será calculado o esforço para a maior estaca, e considerado este para todas as estacas – desta forma sendo indiferente o sentido de aplicação do momento. As fórmulas 18, 19 e 20 mostram a força total $F_{z,eq}$ a que os blocos de duas, três e quatro estacas estarão sujeito, respectivamente.

$$F_{z,eq} = (F_z/2 + M_y/d_x) 2 \quad (\text{fórmula 18})$$

$$F_{z,eq} = (F_z/3 + M_y/d_x + M_x/d_y) 3 \quad (\text{fórmula 19})$$

$$F_{z,eq} = (F_z/4 + M_y/(2 d_x) + M_x/(2 d_y)) 4 \quad (\text{fórmula 20})$$

Onde $F_{z,eq}$ é a força total equivalente atuante no bloco, M_x e M_y os momentos atuantes nos eixos x e y, respectivamente, e d_x e d_y as distâncias dos momentos às estacas na respectiva direção.

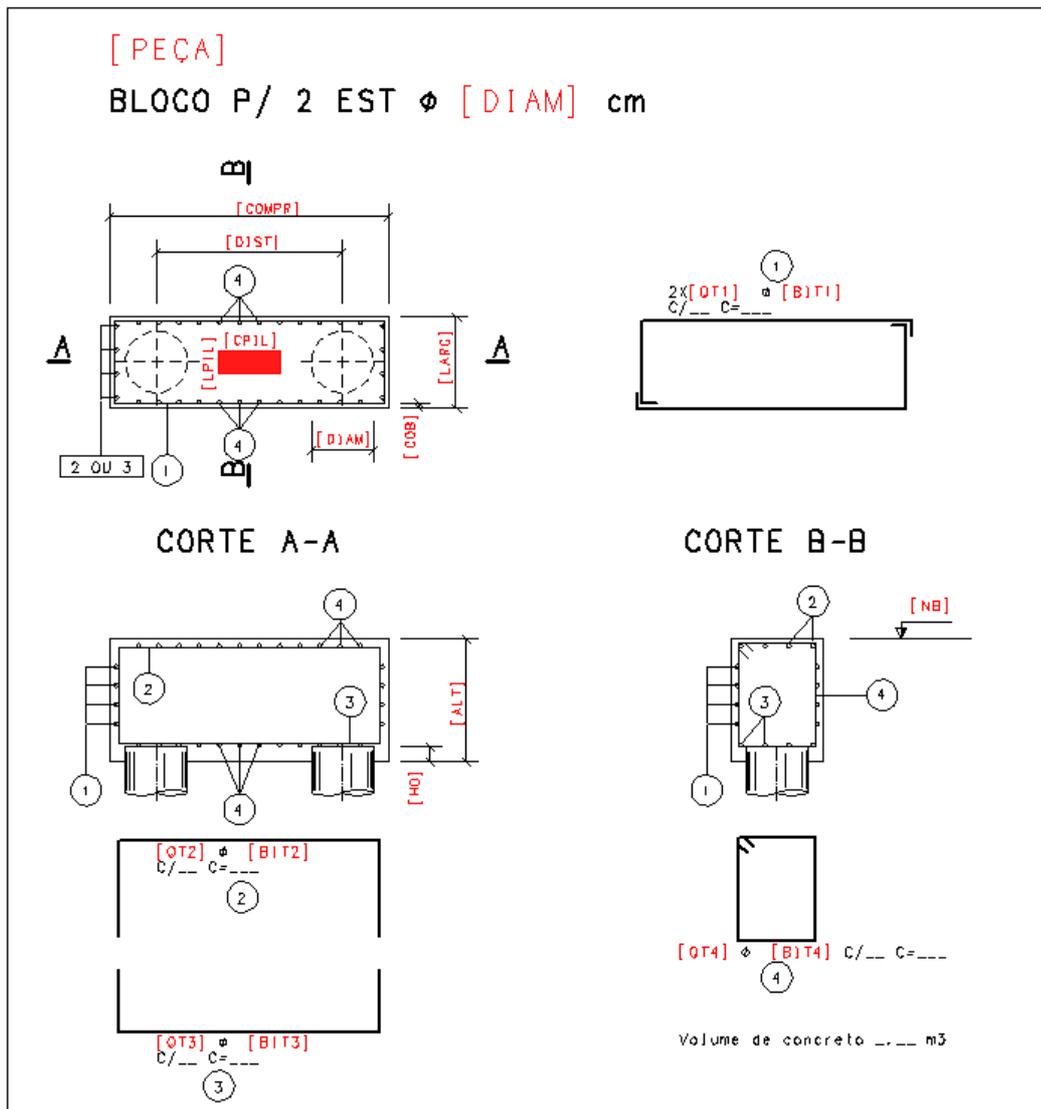
4.2 ENTRADA DE DADOS E PROCESSAMENTO

Ao clicar no botão “Calcula Todos (Colunas C a J)”, todas as colunas com o campo “Peça” preenchido gera uma memória de cálculo para cada um dos blocos, separadamente, em formato TXT (arquivo simples de texto). Caso os campos referentes às bitolas sejam preenchidos, o cálculo do respectivo A_s é feito usando estas e, caso contrário, adota o menor A_s , dentre alguns valores, presentes na memória de cálculo. Os campos com fundo cinza não devem ser editados, excetuando-se, opcionalmente, os campos respectivos às bitolas, caso seja do interesse do usuário utilizar alguma bitola especificamente, ou arbitrar uma bitola diferente do que a proposta pelo programa inicialmente.

Ao clicar no botão “Exporta Todos (Colunas C a J)”, serão criados arquivos com extensão DP (desenho paramétrico) para cada um dos blocos a serem processados pelo *software* TQS® (este arquivo DP é processado a partir de uma série de rotinas, programadas em um arquivo de extensão DPS, de forma a gerar o arquivo DWG customizado conforme programado). Juntamente, é gerado um arquivo de projeto de extensão PRJ para cada projeto, nele constando os blocos cujos DPs foram exportados.

As figuras 11 e 12 mostram a máscara do desenho do bloco e a planilha de entrada de dados para cálculo, respectivamente, do bloco de duas estacas; as figuras 13 e 14, do bloco de três estacas; e as figuras 15 e 16, do bloco de quatro estacas.

Figura 11 – Entrada de dados - variáveis (bloco de duas estacas)



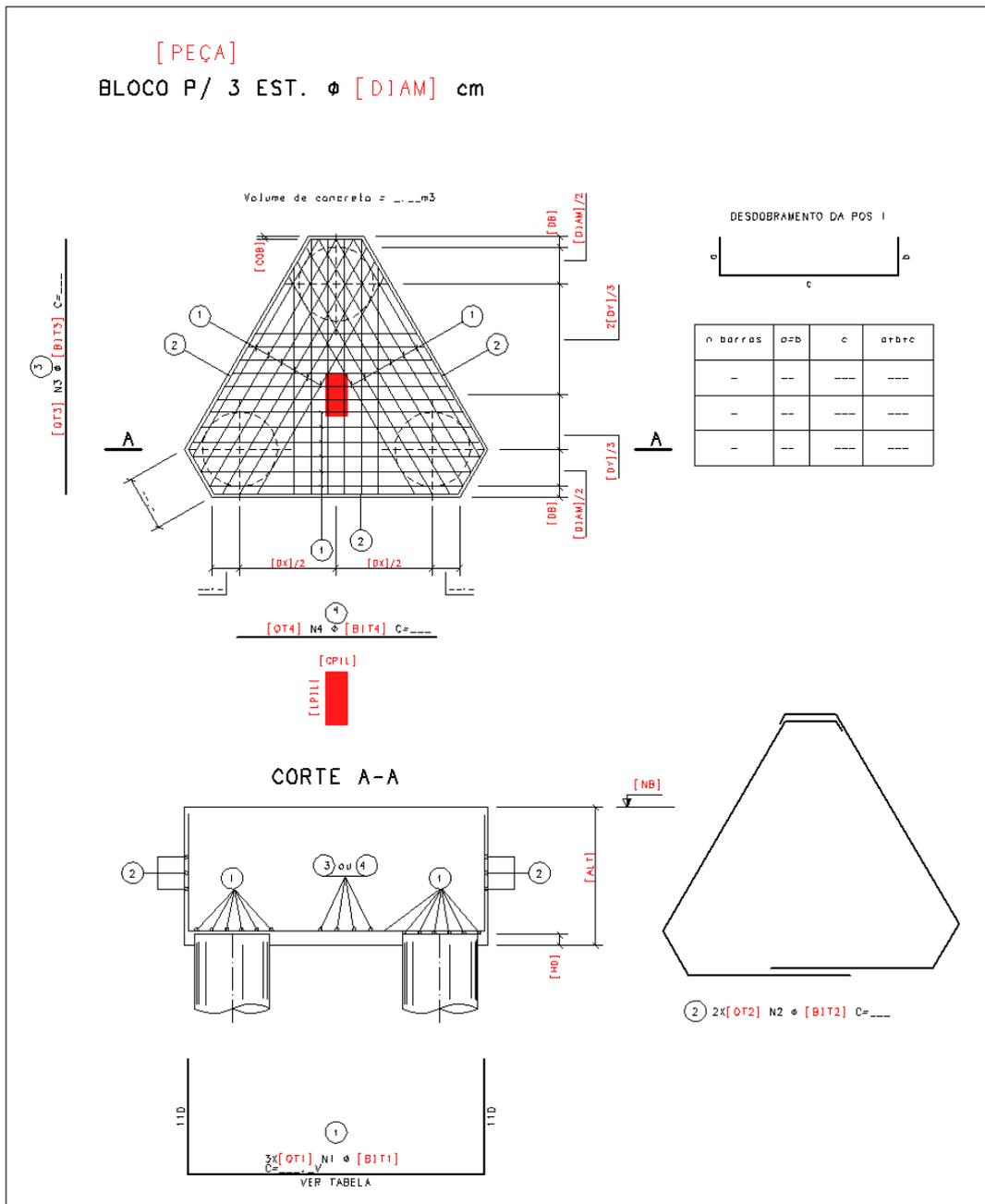
(fonte: elaborado pelo autor)

Figura 12 – Entrada de dados e processamento (bloco de duas estacas)

[PROJETO] 123		Calcula Todos (Colunas C a J)		
		Exporta Todos (Colunas C a J)		
[PEÇA]	Peças detalhadas	BLOCO P339	BLOCO P327	BLOCO P324
	Escala 1:x	1:33.33	1:33.33	1:33.33
	fck (kgf/cm ²)	250 kgf/cm ²	250 kgf/cm ²	250 kgf/cm ²
	Estaca secao CIRC=1 ;QUADRADA=0	1	1	1
[COMPR]	Comprimento (X)	230.0 cm	270.0 cm	300.0 cm
[LARG]	Largura (Y)	80.0 cm	90.0 cm	100.0 cm
[ALT]	Altura total (Z)	100.0 cm	120.0 cm	130.0 cm
[DIAM]	Diametro das estacas (cm)	60.0 cm	70.0 cm	80.0 cm
[DIST]	Dist. entre eixos das estacas (cm)	150.0 cm	180.0 cm	200.0 cm
[NB]	Nivel superior do bloco (NB - cm)	223.0 cm	570.0 cm	555.0 cm
[H0]	Altura da estaca dentro do bloco(cm)	10 cm	10 cm	10 cm
[COB]	Cobrimento (cm)	3.0 cm	3.0 cm	3.0 cm
[QT3]	Nº de barras - longit. inferior	9	8	10
[BIT3]	Bitola - longit. inferior (mm)	20.0 mm	25.0 mm	25.0 mm
[QT2]	Nº de barras - longit. Superior	3	4	5
[BIT2]	Bitola - longit. superior (mm)	12.5 mm	12.5 mm	12.5 mm
[QT1]	Nº de barras - estribo horizontal	7	7	10
[BIT1]	Bitola - estribo horizontal (mm)	8.0 mm	10.0 mm	10.0 mm
[QT4]	Nº de barras - estribo vertical	18	15	19
[BIT4]	Bitola - estribo vertical (mm)	10.0 mm	12.5 mm	12.5 mm
[CPIL]	Comprimento do pilar (cm)	40.0 cm	40.0 cm	40.0 cm
[LPIL]	Largura do pilar (cm)	20.0 cm	20.0 cm	20.0 cm
[Fz]	Força vertical atuante (Fz - tf)	195.0 tf	282.1 tf	349.3 tf
[My]	Momento atuante - y (My - tfm)	22.9 tf m	22.1 tf m	43.6 tf m
[Fzk]	Força equivalente (tf)	226.0 tf	307.0 tf	393.0 tf
[Fzd]	Força equivalente ($\gamma_c = 1.4$) (tf)	316.4 tf	429.8 tf	550.2 tf

(fonte: elaborado pelo autor)

Figura 13 – Entrada de dados - variáveis (bloco de três estacas)



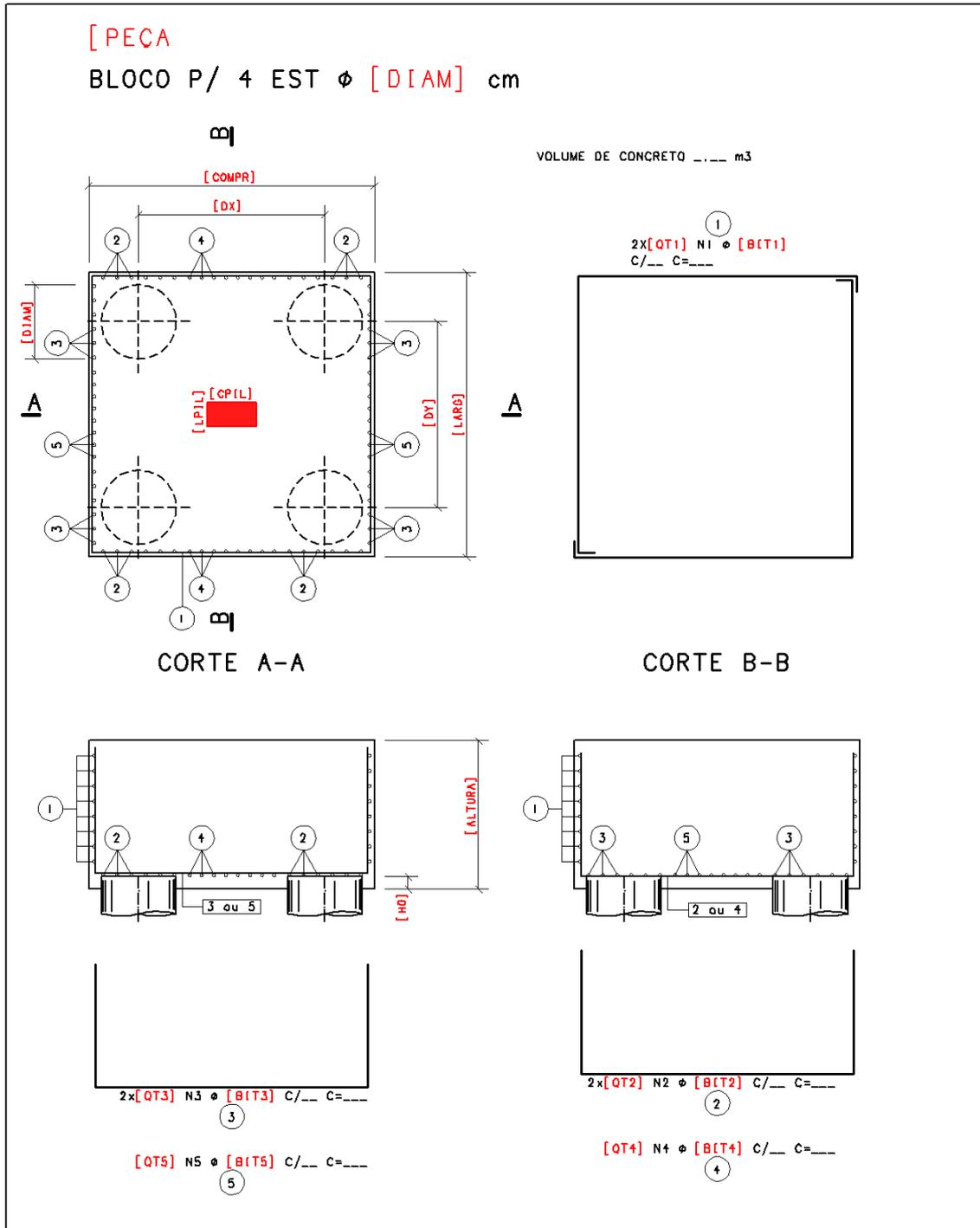
(fonte: elaborado pelo autor)

Figura 14 – Entrada de dados e processamento (bloco de três estacas)

[PEÇA]	Peças detalhadas	BLOCO P307	BLOCO P204	BLOCO 325
	Escala 1:x	1:33.33	1:33.33	1:33.33
	fck (kgf/cm ²)	250 kgf/cm ²	250 kgf/cm ²	250 kgf/cm ²
	Estaca secao CIRC=1 ;QUADRADA=0	1	1	1
[DX]	Distância entre estacas (X)	150.0 cm	180.0 cm	180.0 cm
[DY]	Distância entre estacas (Y)	130.0 cm	156.0 cm	156.0 cm
[ALT]	Altura total (Z)	90.0 cm	110.0 cm	130.0 cm
[DIAM]	Diametro das estacas (cm)	60.0 cm	70.0 cm	70.0 cm
[NB]	Nível superior do bloco (NB - cm)	570.0 cm	570.0 cm	570.0 cm
[H0]	Altura da estaca dentro do bloco(cm)	10.0 cm	10.0 cm	10.0 cm
[DB]	Distância da estaca à borda do bloco (cm)	10.0 cm	10.0 cm	10.0 cm
[COB]	Cobrimento (cm)	3.0 cm	3.0 cm	3.0 cm
[QT1]	Nº de barras - armadura principal	6	8	6
[BIT1]	Bitola - armadura principal(mm)	25.0 mm	20.0 mm	25.0 mm
[QT2]	Nº de barras - estribo horizontal	7	8	11
[BIT2]	Bitola - estribo horizontal(mm)	12.5 mm	12.5 mm	12.5 mm
[QT3]	Nº de barras - distribuição (X)	4	5	6
[BIT3]	Bitola - distribuição (X) (mm)	16.0 mm	12.5 mm	12.5 mm
[QT4]	Nº de barras - distribuição (Y)	3	4	4
[BIT4]	Bitola - distribuição (Y) (mm)	20.0 mm	16.0 mm	16.0 mm
[CPIL]	Comprimento do pilar (cm)			
[LPIL]	Largura do pilar (cm)			
[Fz]	Força vertical atuante (Fz - tf)	232.9 tf	224.3 tf	342.1 tf
[Mx]	Momento atuante - x (Mx - tfm)	39.3 tf m	47.9 tf m	52.9 tf m
[My]	Momento atuante - y (My - tfm)	2.1 tf m	1.4 tf m	0.0 tf m
[Feq (total)]	Força equivalente (tf)	328.0 tf	319.0 tf	444.0 tf
[Fdeq (total)]	Força equivalente ($\gamma_c = 1.4$) (tf)	459.2 tf	446.6 tf	621.6 tf

(fonte: elaborado pelo autor)

Figura 15 – Entrada de dados - variáveis (bloco de quatro estacas)



(fonte: elaborado pelo autor)

Figura 16 – Entrada de dados e processamento (bloco de quatro estacas)

		Calcula Todos (Colunas C a J)		
[PROJETO] 687		Exporta Todos (Colunas C a J)		
[PEÇA]	Peças detalhadas	BLOCO 316	BLOCO 220	BLOCO 219
	Escala 1:x	1:33.33	1:33.33	1:33.33
	fck (kgf/cm ²)	250 kgf/cm ²	250 kgf/cm ²	250 kgf/cm ²
	Estaca secao CIRC=1 ;QUADRADA=0	1	1	1
[COMPR]	Comprimento (X)	300.0 cm	230.0 cm	270.0 cm
[LARG]	Largura (Y)	300.0 cm	230.0 cm	270.0 cm
[ALT]	Altura total (Z)	160.0 cm	120.0 cm	140.0 cm
[DIAM]	Diametro das estacas (cm)	80.0 cm	60.0 cm	70.0 cm
[DX]	Dist. entre eixos das estacas (X)	200.0 cm	150.0 cm	180.0 cm
[DY]	Dist. entre eixos das estacas (Y)	200.0 cm	150.0 cm	180.0 cm
[NB]	Nivel superior do bloco (NB - cm)	570.0 cm	570.0 cm	570.0 cm
[HO]	Altura da estaca dentro do bloco(cm)	10	10	10
[COB]	Cobrimto (cm)	3.0 cm	3.0 cm	3.0 cm
[QT2]	Nº de barras - arm. longitudinal (X - p/ estaca)	5	6	7
[BIT2]	Bitola - arm. longitudinal (X - p/ estaca) (mm)	25.0 mm	25.0 mm	25.0 mm
[QT3]	Nº de barras - arm. longitudinal (Y - p/ estaca)	5	6	7
[BIT3]	Bitola - arm. longitudinal (Y - p/ estaca) (mm)	25.0 mm	25.0 mm	25.0 mm
[QT1]	Nº de barras - estribo horizontal	25	13	22
[BIT1]	Bitola - estribo horizontal	8.0 mm	12.5 mm	10.0 mm
[QT4]	Nº de barras - arm. longitudinal (X - distrib.)	8	7	8
[BIT4]	Bitola - arm. longitudinal (X - distrib.) (mm)	10.0 mm	12.5 mm	12.5 mm
[QT5]	Nº de barras - arm. longitudinal (Y - distrib.)	8	7	8
[BIT5]	Bitola - arm. longitudinal (Y - distrib.) (mm)	10.0 mm	12.5 mm	12.5 mm
[CPIL]	Comprimento do pilar (cm)			
[LPIL]	Largura do pilar (cm)			
[Fz]	Força vertical atuante (Fz - tf)	343.6 tf	348.6 tf	428.6 tf
[Mx]	Momento atuante - x (Mx - tfm)	2.1 tf m	16.4 tf m	44.3 tf m
[My]	Momento atuante - y (My - tfm)	20.0 tf m	23.6 tf m	17.9 tf m
[Feq (total)]	Força equivalente por estaca (máximo - tf)	366.0 tf	402.0 tf	498.0 tf
[Feqz (total)]	Força equivalente por estaca (máximo - tf)	128.1 tf	140.7 tf	174.3 tf

(fonte: elaborado pelo autor)

4.3 BLOCOS DE DUAS ESTACAS

Para o cálculo da altura do bloco, são utilizadas definições do capítulo 3, juntamente com verificação do esmagamento nas bielas junto às estacas. Caso a altura estipulada inicialmente for menor que a mínima necessária, esta é imposta para o dimensionamento do bloco.

A força no tirante é dada pela fórmula 21 e, para a área de aço da seção, pela fórmula 22. A área de aço da face superior é dada pela fórmula 23 e a da armadura dos estribos horizontais e verticais – por face – pelas fórmulas 24 e 25, respectivamente.

$$R_{sd} = 0,5 F_{zd} (0,5 \text{ dist}_x - 0,25a)/(0,85 d) \quad (\text{fórmula 21})$$

$$A_{S_{inf}} = R_{sd}/f_{yd} = 0,5 F_{zd} (0,5 \text{ dist}_x - 0,25a)/(0,85 d f_{yd}) \quad (\text{fórmula 22})$$

$$A_{S_{sup}} = A_{S_{inf}} / 10 \quad (\text{fórmula 23})$$

$$A_{S_{w_{hor}}} = A_{S_{inf}} / 8 \quad (\text{fórmula 24})$$

$$A_{S_{w_{ver}}} = 0,075 B \quad (\text{fórmula 25})$$

Sendo:

R_{sd} a força no tirante tracionado;

F_{zd} a solicitação total atuante no bloco;

dist_x a distância entre as estacas;

a o comprimento do pilar;

d a altura útil do bloco;

B é a largura do bloco;

$A_{S_{inf}}$ a área de aço do tirante;

f_{yd} a resistência à tração do aço;

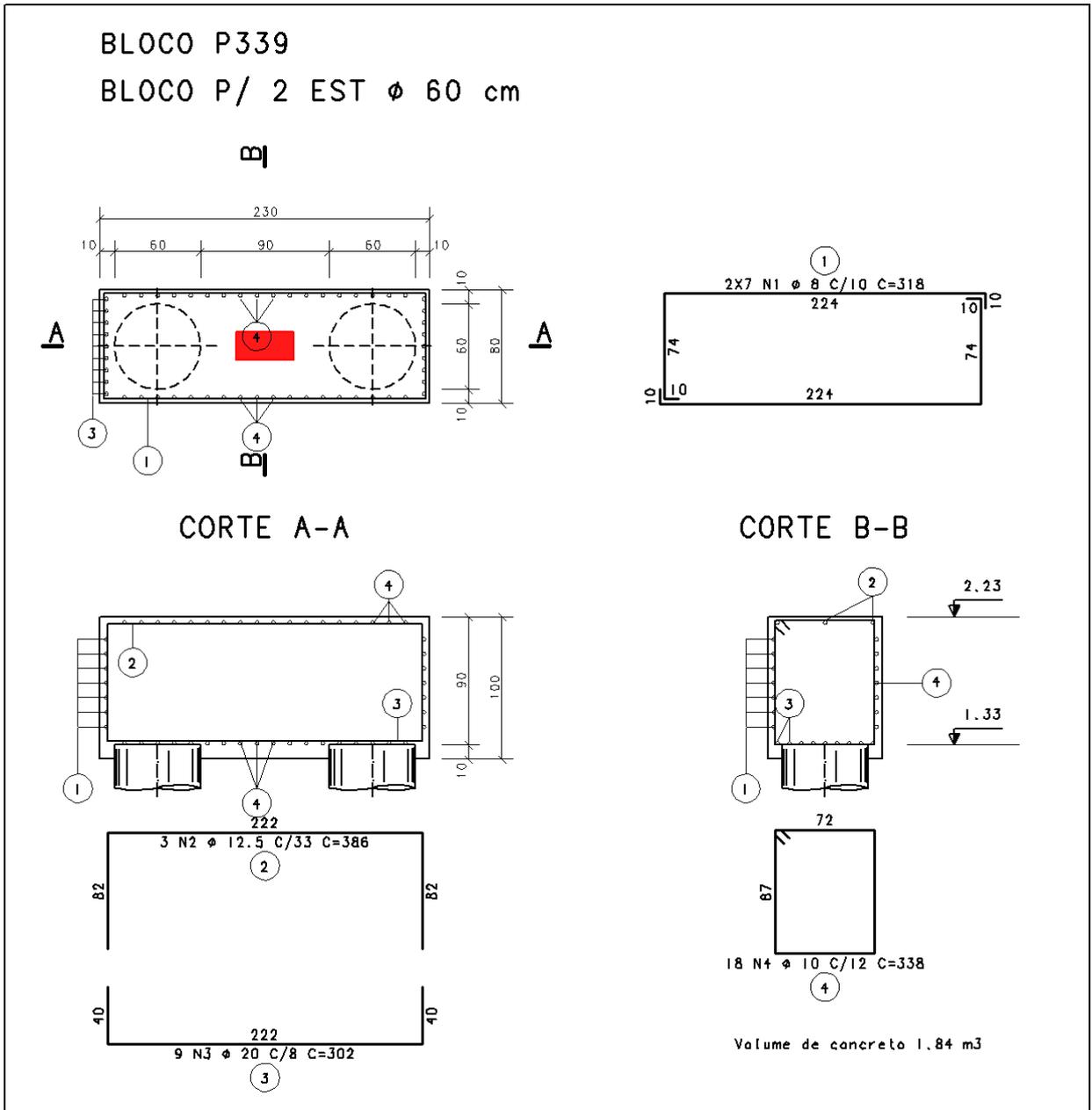
$A_{S_{sup}}$ a área de aço na face superior do bloco;

$A_{S_{w_{hor}}}$ a área de aço dos estribos horizontais;

$A_{S_{w_{ver}}}$ a área de aço dos estribos verticais.

A figura 17 mostra o DWG referente ao Bloco P339, com os dados utilizados conforme mostrado na figura 12. No apêndice 1, visualiza-se a memória de cálculo gerada, referente ao Bloco P339.

Figura 17 – Desenho (bloco de duas estacas) – arquivo DWG



(fonte: elaborado pelo autor)

4.4 BLOCOS DE TRÊS ESTACAS

Para o cálculo da altura do bloco, são utilizadas definições do capítulo 3, juntamente com verificação do esmagamento nas bielas junto às estacas. Caso a altura estipulada inicialmente for menor que a mínima necessária, esta é imposta para o dimensionamento do bloco.

A força na biela comprimida é dada pela fórmula 26. Considerando o triângulo como equilátero, tem-se a força no tirante é dada pela fórmula 27 e, para a área de aço da seção, pela fórmula 28. A área de aço da armadura dos estribos horizontais é dada pela fórmula 29. A área de aço da armadura de distribuição, em cada direção, é dada pela fórmula 30.

$$T_d = F_{zd} \left(\frac{l \sqrt{3}}{3} - 0,25 a \right) / (0,85 d) \quad (\text{fórmula 26})$$

$$R_{sd} = T_d / \sqrt{3} \quad (\text{fórmula 27})$$

Sendo

F_{zd} a força na estaca mais solicitada;

T_d a força na biela comprimida;

R_{sd} a força no tirante tracionado;

a o comprimento do pilar;

d a altura útil do bloco;

l a distância entre as estacas.

$$A_s = R_{sd} / f_{yd} = F_{zd} \left(\frac{l \sqrt{3}}{3} - 0,25 a \right) / (0,85 d f_{yd} \sqrt{3}) \quad (\text{fórmula 28})$$

$$A_{s_{hor}} = (3 A_s) / 8 \quad (\text{fórmula 29})$$

$$A_{s_{dist}} = 0,25 A_s \quad (\text{fórmula 30})$$

Sendo

A_s a área de aço no tirante tracionado;

R_{sd} a força no tirante tracionado;

a o comprimento do pilar;

d a altura útil do bloco;

f_{yd} a resistência à tração do aço;

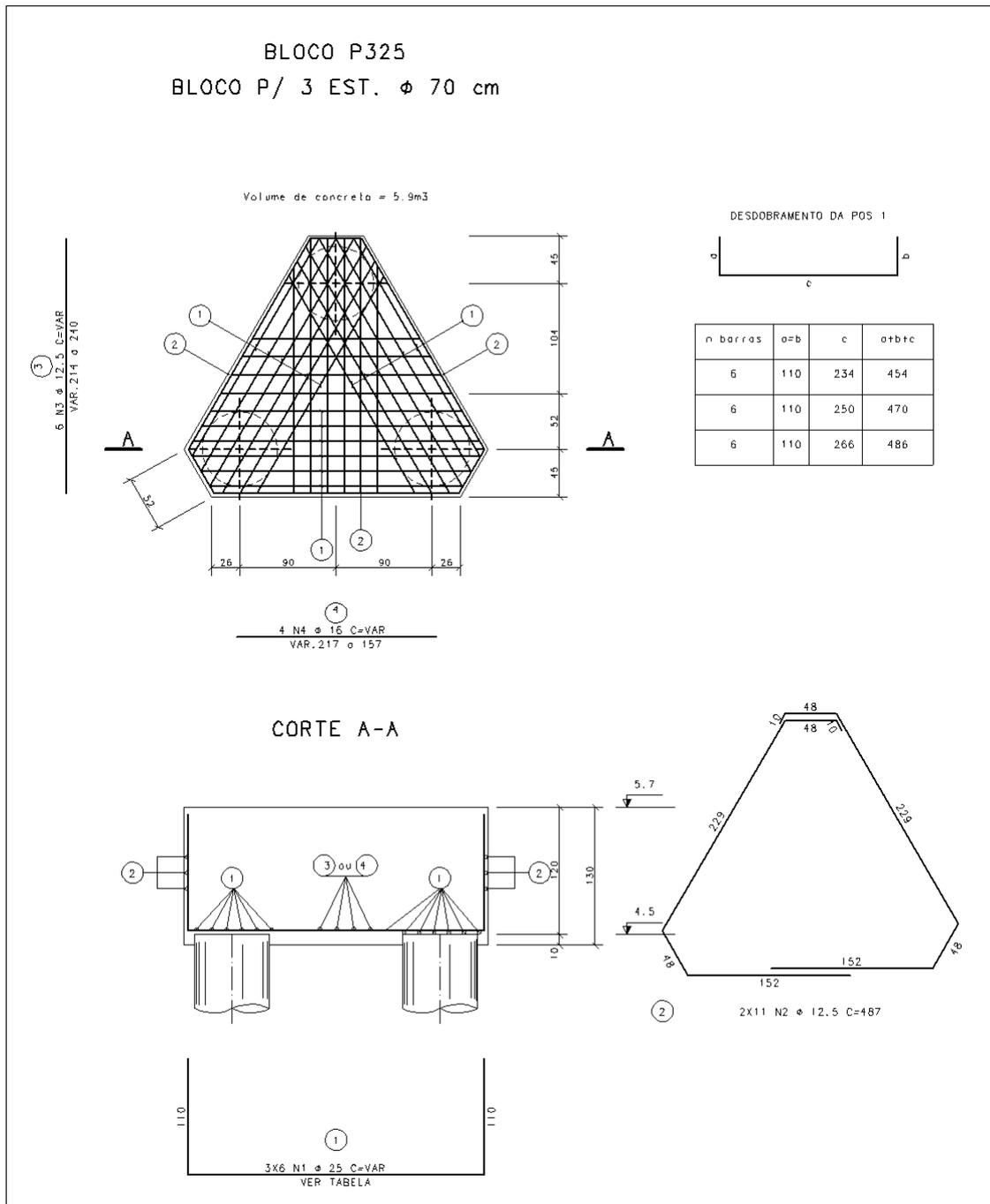
l a distância entre as estacas;

$A_{sw_{hor}}$ a área de aço dos estribos horizontais;

$A_{s_{dist}}$ a área de aço de distribuição entre as estacas, em cada uma das direções x e y.

A figura 18 mostra o DWG referente ao Bloco P325, com os dados utilizados conforme mostrado na figura 14. No apêndice 2, visualiza-se a memória de cálculo gerada, referente ao Bloco P325.

Figura 18 – Desenho (bloco de três estacas) – arquivo DWG



(fonte: elaborado pelo autor)

4.5 BLOCOS DE QUATRO ESTACAS

Para o cálculo da altura do bloco, são utilizadas definições do capítulo 3, juntamente com verificação do esmagamento nas bielas junto às estacas. Caso a altura estipulada inicialmente for menor que a mínima necessária, esta é imposta para o dimensionamento do bloco.

As forças nos tirantes são dadas pelas fórmulas 31 e 32, respectivamente para a direção x e y; a área de aço das armaduras principais, para cada um destes esforços, é dada pelas fórmulas 33 e 34, bem como a área de aço para a armadura de distribuição – entre as armaduras principais – é calculada pelas fórmulas 35 e 36. Para a área de aço da dos estribos horizontais, utiliza-se o valor calculado pela fórmula 37.

$$R_{sd_x} = 0,25 F_z d (0,5 \text{ dist}_x - 0,25a)/(0,85 d) \quad (\text{fórmula 31})$$

$$R_{sd_y} = 0,25 F_z d (0,5 \text{ dist}_y - 0,25b)/(0,85 d) \quad (\text{fórmula 32})$$

$$A_{s_x} = R_{sd_x}/f_{yd} = 0,25 F_z d (0,5 \text{ dist}_x - 0,25a)/(0,85 d f_{yd}) \quad (\text{fórmula 33})$$

$$A_{s_y} = R_{sd_y}/f_{yd} = 0,25 F_z d (0,5 \text{ dist}_y - 0,25b)/(0,85 d f_{yd}) \quad (\text{fórmula 34})$$

$$A_{s_{x,dist}} = 0,25 A_{s_{x,t}} = 0,5 A_{s_x} \quad (\text{fórmula 35})$$

$$A_{s_{y,dist}} = 0,25 A_{s_{y,t}} = 0,5 A_{s_y} \quad (\text{fórmula 36})$$

$$A_{s_{w_{hor}}} = (2 A_{s_x} + 2 A_{s_y}) / 8 \quad (\text{fórmula 37})$$

Sendo:

R_{sd_x} e R_{sd_y} as forças nos tirantes tracionados nas direções x e y;

F_{zd} a solicitação total atuante no bloco;

$dist_x$ e $dist_y$ as distâncias entre as estacas nas direções x e y ;

a e b as dimensões do pilar nas direções x e y ;

d a altura útil do bloco;

A_{s_x} e A_{s_y} a área de aço sobre as estacas nas direções x e y ;

f_{yd} a resistência à tração do aço;

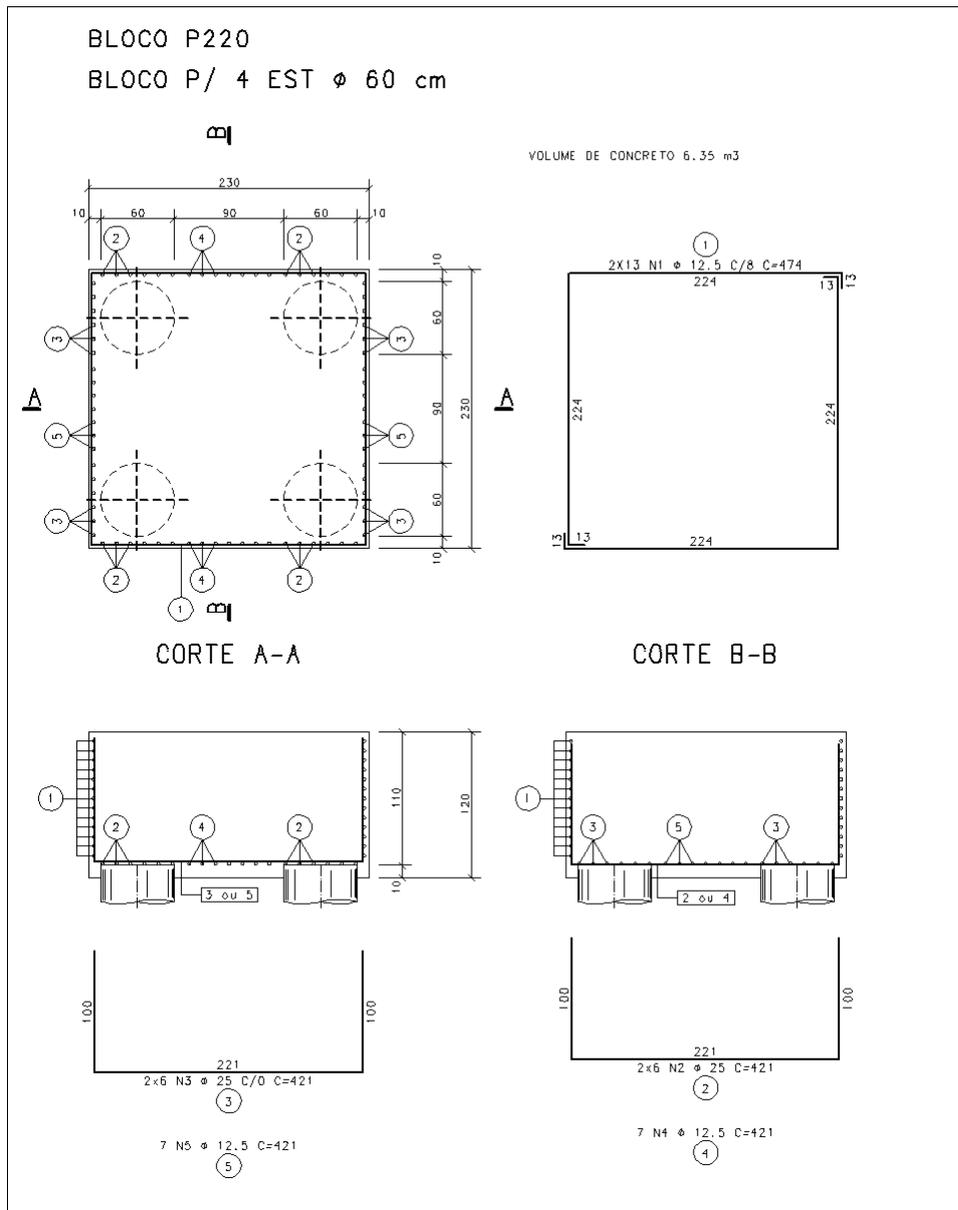
$A_{s_{x,t}}$ e $A_{s_{y,t}}$ a área total de aço sobre as estacas nas direções x e y ;

$A_{s_{x,dist}}$ e $A_{s_{y,dist}}$ a área total de aço entre as estacas nas direções x e y ;

$A_{s_{hor}}$ a área de aço dos estribos horizontais.

A figura 19 mostra o DWG referente ao Bloco P220, com os dados utilizados conforme mostrado na figura 16. No apêndice 3, visualiza-se a memória de cálculo gerada, referente ao Bloco P220.

Figura 19 – Desenho (bloco de quatro estacas) – arquivo DWG



(fonte: elaborado pelo autor)

5 COMPARATIVO DO CÁLCULO COM O MÉTODO DE BLÉVOT

Para a comparação das armaduras calculadas anteriormente, será utilizado o Método das Bielas (Método de Blébot). O Método das Bielas é amplamente empregado dado seu suporte experimental (116 ensaios de Blébot, entre outros), tradição no Brasil e Europa, além de o modelo de treliça ser intuitivo (BASTOS, 2013, pg. 2).

5.1 DIMENSIONAMENTO

Nas próximas seções, serão apresentados os formulários utilizados para o dimensionamento – serão adotadas as mesmas seções e carga máxima utilizadas para o dimensionamento pela metodologia proposta pelo presente trabalho – a partir de BASTOS (2013, pg. 5-19) . Serão contempladas apenas as fórmulas finais para cálculo das armaduras a serem comparadas com o proposto pelo trabalho.

5.1.1 Blocos de duas estacas

Para o cálculo da armadura principal, Blébot verificou que a armadura principal apresentava uma força medida 15% maior à fornecida pelo cálculo teórico, assim considerado para o cálculo da armadura principal, distribuída sobre o topo das estacas, conforme demonstrado na fórmula 38. O cálculo dos estribos verticais e da armadura de pele, em casa face lateral, é dada pelas fórmulas 39 e 40, respectivamente. O método utiliza apenas uma armadura negativa para montagem no topo do bloco, não dimensionando-a.

$$A_s = R_{sd}/f_{yd} = (1,15Nd) (2 e - a_p) / (8 d f_{yd}) \quad (\text{fórmula 38})$$

$$A_{sh,s} = 0,075 B \quad (\text{fórmula 39})$$

$$A_{sw,s} = 0,075 B \quad (\text{fórmula 40})$$

Sendo

A_s a área de aço no tirante tracionado, sobre as estacas;

R_{sd} a força no tirante tracionado;

f_{yd} a resistência à tração do aço;

N_d a força total a que o bloco está submetido;

e a distância entre as estacas;

a_p a largura do pilar;

d a altura útil do bloco;

B a largura do bloco;

$A_{sw,s}$ a área de aço mínima, por face, por metro, dos estribos verticais;

$A_{sh,s}$ a área de aço mínima, por face, por metro, dos estribos horizontais.

A tabela 4 mostra um resumo do cálculo efetuado conforme o apresentado neste trabalho. A tabela 5 mostra um resumo de cálculo efetuado conforme o método de Blévoit.

Tabela 4 – Armaduras calculadas – Blocos de duas estacas

	Planilha		
	BLOCO P324	BLOCO P327	BLOCO P339
Comprimento	300,0 cm	270,0 cm	230,0 cm
Largura	100,0 cm	90,0 cm	80,0 cm
Entre estacas	200,0 cm	180,0 cm	150,0 cm
Altura Total	130,0 cm	120,0 cm	100,0 cm
As longitudinal inferior	48,7 cm²	37,0 cm²	27,2 cm²
As longitudinal superior	4,9 cm²	3,9 cm²	2,8 cm²
As estribos horizontais	6,10 cm²/m.face	4,90 cm²/m.face	3,50 cm²/m.face
As estribos verticais	7,50 cm²/m.face	6,75 cm²/m.face	6,00 cm²/m.face

(fonte: elaborado pelo autor)

Tabela 5 – Armaduras – Método de Blévoat – Blocos de duas estacas

	Método de Blévoat		
	BLOCO P324	BLOCO P327	BLOCO P339
Comprimento	300,0 cm	270,0 cm	230,0 cm
Largura	100,0 cm	90,0 cm	80,0 cm
Entre estacas	200,0 cm	180,0 cm	150,0 cm
Altura Total	130,0 cm	120,0 cm	100,0 cm
As longitudinal inferior	54,6 cm²	41,3 cm²	30,2 cm²
As longitudinal superior	---	---	---
As estribos horizontais	7,50 cm²/m.face	6,75 cm²/m.face	6,00 cm²/m.face
As estribos verticais	7,50 cm²/m.face	6,75 cm²/m.face	6,00 cm²/m.face

(fonte: elaborado pelo autor)

5.1.2 Blocos de três estacas

Para o cálculo da armadura principal podem ser adotadas diversas disposições. Será adotado o dimensionamento com armaduras paralelas aos lados (sobre as estacas) e malha ortogonal, equivalente ao usado neste trabalho – configuração mais utilizada no Brasil, além de apresentar a menor fissuração e maior economia (BASTOS, 2013, pg. 12). O cálculo da armadura principal é dado pela fórmula 41. As fórmulas 42 e 43 correspondem à armadura de pele – por face – e uma armadura em malha – nas duas direções –, respectivamente.

$$A_s = (N_d \sqrt{3}) (e \sqrt{3} - 0,9a_p) / (27 d f_{yd}) \quad (\text{fórmula 41})$$

$$A_{sh,s} = A_{s,total} / 8 = 3 A_s / 8 \quad (\text{fórmula 42})$$

$$A_{s,dist} = A_s / 5 \quad (\text{fórmula 43})$$

Sendo

A_s a área de aço o tirante tracionado, sobre as estacas;

N_d a força total a que o bloco está submetido;

e a distância entre as estacas;

a_p a largura do pilar;

d a altura útil do bloco;

f_{yd} a resistência à tração do aço;

$A_{sh,s}$ a área de aço mínima, por face, por metro, dos estribos horizontais;

$A_{s,total}$ a área de aço total da armadura principal;

$A_{s,dist}$ a área de aço mínima de distribuição, para cada direção, entre as estacas.

A tabela 6 mostra um resumo do cálculo efetuado conforme o apresentado neste trabalho. A tabela 7 mostra um resumo de cálculo efetuado conforme o método de Blévo.

Tabela 6 – Armaduras calculadas – Blocos de três estacas

	Planilha		
	BLOCO P204	BLOCO P307	BLOCO P325
Entre estacas (X)	180,0 cm	150,0 cm	180,0 cm
Entre estacas (Y)	156,0 cm	130,0 cm	156,0 cm
Altura Total	110,0 cm	90,0 cm	130,0 cm
As principal	24,2 cm ²	25,9 cm ²	28,0 cm ²
As distribuição	6,00 cm ²	6,50 cm ²	7,00 cm ²
As estribos horizontais	9,10 cm ²	9,70 cm ²	10,50 cm ²

(fonte: elaborado pelo autor)

Tabela 7 – Armaduras – Método de Blévo – Blocos de três estacas

	Método de Blévo		
	BLOCO P204	BLOCO P307	BLOCO P325
Entre estacas (X)	180,0 cm	150,0 cm	180,0 cm
Entre estacas (Y)	156,0 cm	130,0 cm	156,0 cm
Altura Total	110,0 cm	90,0 cm	130,0 cm
As principal	20,5 cm ²	22,0 cm ²	23,8 cm ²
As distribuição	4,11 cm ²	4,40 cm ²	4,77 cm ²
As estribos horizontais	7,70 cm ²	8,25 cm ²	8,94 cm ²

(fonte: elaborado pelo autor)

5.1.3 Blocos de quatro estacas

Para o cálculo da armadura principal podem ser adotadas diversas disposições. Será adotado o dimensionamento com armaduras paralelas aos lados (sobre as estacas) e em malha, equivalente ao usado neste trabalho. O cálculo da armadura principal, sobre cada duas estacas, para cada um dos lados – considerando-se o bloco com seção quadrada – é dado pela fórmula 44. As fórmulas 45 e 46 correspondem à armadura de pele – por face – e uma armadura em malha – nas duas direções –, respectivamente.

$$A_s = N_d (2 e - a_p) / (16 d f_{yd}) \quad (\text{fórmula 44})$$

$$A_{s,s} = A_{s,\text{total}} = 4 A_s / 8 = 0,5 A_s \quad (\text{fórmula 45})$$

$$A_{s,\text{dist}} = 0,25 A_s \quad (\text{fórmula 46})$$

Sendo

A_s a área de aço no tirante tracionado, sobre as estacas, para ambas as direções;

N_d a força total a que o bloco está submetido;

e a distância entre as estacas;

a_p a largura do pilar;

d a altura útil do bloco;

f_{yd} a resistência à tração do aço;

$A_{s,s}$ a área de aço mínima, por face, dos estribos horizontais;

$A_{s,\text{total}}$ a área de aço total da armadura principal;

$A_{s,\text{dist}}$ a área de aço mínima de distribuição, para cada direção, entre as estacas.

A tabela 8 mostra um resumo do cálculo efetuado conforme o apresentado neste trabalho. A tabela 9 mostra um resumo de cálculo efetuado conforme o método de Blévoit.

Tabela 8 – Armaduras calculadas – Blocos de quatro estacas

	Planilha		
	BLOCO P219	BLOCO P220	BLOCO P316
Comprimento	270,0 cm	230,0 cm	300,0 cm
Largura	270,0 cm	230,0 cm	300,0 cm
Entre estacas (X)	180,0 cm	150,0 cm	200,0 cm
Entre estacas (Y)	180,0 cm	150,0 cm	200,0 cm
Altura Total	140,0 cm	120,0 cm	160,0 cm
As principal (X)	32,7 cm ²	26,0 cm ²	23,1 cm ²
As distribuição (X)	8,6 cm ²	7,4 cm ²	6,1 cm ²
As principal (Y)	32,7 cm ²	26,0 cm ²	23,1 cm ²
As distribuição (Y)	8,6 cm ²	7,4 cm ²	6,1 cm ²
As estribos horizontais	17,20 cm ²	14,70 cm ²	12,30 cm ²

(fonte: elaborado pelo autor)

Tabela 9 – Armaduras – Método de Blévet – Blocos de quatro estacas

	Método de Blévet		
	BLOCO P219	BLOCO P220	BLOCO P316
Comprimento	270,0 cm	230,0 cm	300,0 cm
Largura	270,0 cm	230,0 cm	300,0 cm
Entre estacas (X)	180,0 cm	150,0 cm	200,0 cm
Entre estacas (Y)	180,0 cm	150,0 cm	200,0 cm
Altura Total	140,0 cm	120,0 cm	160,0 cm
As principal (X)	27,8 cm ²	22,1 cm ²	19,6 cm ²
As distribuição (X)	6,9 cm ²	5,5 cm ²	4,9 cm ²
As principal (Y)	27,8 cm ²	22,1 cm ²	19,6 cm ²
As distribuição (Y)	6,9 cm ²	5,5 cm ²	4,9 cm ²
As estribos horizontais	13,88 cm ²	11,03 cm ²	9,82 cm ²

(fonte: elaborado pelo autor)

5.2 COMPARATIVOS DE RESULTADOS

Nas próximas seções, serão apresentadas as relações entre os dimensionamentos.

5.2.1 Blocos de duas estacas

A tabela 10 mostra a razão entre as armaduras calculadas pelo proposto neste trabalho e as armaduras calculadas pelo método de Blévo.

Tabela 10 – Comparativo – Blocos de duas estacas – Planilha/Método de Blévo

	BLOCO P324	BLOCO P327	BLOCO P339
As longitudinal inferior	0,892 x	0,895 x	0,900 x
As longitudinal superior			
As estribos horizontais	0,813 x	0,726 x	0,583 x
As estribos verticais	1,000 x	1,000 x	1,000 x

(fonte: elaborado pelo autor)

Os campos com fundo vermelho (“As longitudinal inferior” e “As estribos horizontais”) mostram as armaduras subdimensionadas; os campos com fundo cinza (“As longitudinal superior”) não mostram relação – o método de Blévo não propõe um cálculo específico para estas armaduras; os campos com fundo amarelo (“As estribos verticais”) mostram a mesma armadura calculada pelos dois métodos.

Para o cálculo do “As longitudinal inferior” (armadura principal) calculado pelo presente trabalho não foi considerado o aumento de 15% na força nestas armaduras, verificado experimentalmente por Blévo – caso fosse, a armadura principal seria, mesmo que minimamente, maior –; as demais armaduras continuariam sendo menores.

Ao analisar os dados, tem-se que o método de Blévo é conservador em relação ao proposto no trabalho.

5.2.2 Blocos de três estacas

A tabela 11 mostra a razão entre as armaduras calculadas pelo proposto neste trabalho e as armaduras calculadas pelo método de Blévo.

Tabela 11 – Comparativo – Blocos de três estacas – Planilha/Método de Bléivot

	BLOCO P204	BLOCO P307	BLOCO P325
As principal	1,178 x	1,177 x	1,175 x
As distribuição	1,460 x	1,477 x	1,469 x
As estribos horizontais	1,181 x	1,176 x	1,175 x

(fonte: elaborado pelo autor)

Os campos com fundo verde ("As principal", "As distribuição" e "As estribos horizontais") mostram as armaduras superdimensionadas.

Ao analisar os dados, tem-se que o proposto pelo trabalho é conservador em relação a Bléivot, aproximadamente 18% maior para o "As principal" e o "As estribos horizontais", e aproximadamente 48% maior para o "As distribuição".

5.2.3 Blocos de quatro estacas

A tabela 12 mostra a razão entre as armaduras calculadas pelo proposto neste trabalho e as armaduras calculadas pelo método de Bléivot.

Tabela 12 – Comparativo – Blocos de quatro estacas – Planilha/Método de Bléivot

	BLOCO P180	BLOCO P150	BLOCO P200
As principal (X)	1,178 x	1,178 x	1,176 x
As distribuição (X)	1,240 x	1,342 x	1,242 x
As principal (Y)	1,178 x	1,178 x	1,176 x
As distribuição (Y)	1,240 x	1,342 x	1,242 x
As estribos horizontais	1,240 x	1,333 x	1,252 x

(fonte: elaborado pelo autor)

Os campos com fundo verde ("As principal (X)", "As distribuição (X)", "As principal (Y)", "As distribuição (Y)" e "As estribos horizontais") mostram as armaduras superdimensionadas.

Ao analisar os dados, tem-se que o proposto pelo trabalho é conservador em relação a Bléivot, aproximadamente 18% maior para o "As principal" (nas duas direções), e aproximadamente de 24% a 34% maior para o "As distribuição" (nas duas direções) e o "As estribos horizontais".

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

No presente trabalho foi proposta a criação de rotinas computacionais para o dimensionamento e detalhamento de blocos de duas estacas (em linha), três estacas (triângulo equilátero) e quatro estacas (quadrangular). Para o dimensionamento, fez-se uma pesquisa bibliográfica para a aquisição de critérios de projeto que satisfaçam às normas técnicas. O modelo utilizado para o cálculo foi o modelo de bielas e tirantes, o qual consiste em uma treliça teórica com bielas comprimidas (concreto) e tirantes tracionados (barras de aço). As entradas de dados foram feitas com auxílio do software Microsoft Excel[®] – na planilha consta um desenho esquemático com os parâmetros utilizados no detalhamento. O cálculo dos blocos, a criação de arquivo com a memória de cálculo e a criação do arquivo a ser processado posteriormente para gerar o detalhamento dos blocos foi feito em VBA, juntamente com a planilha com a entrada de dados. A interface utilizada mostra simplicidade e agilidade em se tratando da entrada de dados e visualização de parâmetros de desenho.

Considera-se como atingido o objetivo da elaboração de rotinas tanto para cálculo como para criação de memória de cálculo e detalhamento do bloco – sempre observando as variações com outros métodos. Como sugestão para continuidade do trabalho, destaca-se:

- a) exportação de memória de cálculo para o formato LaTeX, que possibilita uma melhor visualização de equações para a memória de cálculo – arquivos de texto podem ser visualizados facilmente, mas tem uma limitação quanto a símbolos utilizados;
- b) entrada de dados via programa compilável, em Visual Basic, a fim de não haver dependência do *software* Microsoft Excel[®];
- c) detalhamento em *software* CAD mais acessível ao público (Autodesk AutoCAD).

REFERÊNCIAS

- ALONSO, U. R. **Exercícios de Fundações**. 1. ed. (12. reimpr.) São Paulo: Edgard Blücher, 1983 (reimpr. 2001).
- ARAÚJO, J. M. de. **Curso de Concreto Armado**. 4. ed. Rio Grande: Dunas, 2014. v. 4.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6118**: projeto de estruturas de concreto – procedimento. Rio de Janeiro, 2003.
- _____. **NBR 6118**: projeto de estruturas de concreto – procedimento. Rio de Janeiro, 2014.
- BASTOS, P. S. S. **Blocos de fundação**. 2013. 82f. Notas de aula (Estruturas de Concreto III) – Departamento de Engenharia Civil, Universidade Estadual Paulista, Bauru, 2013. Disponível em <<http://www.feb.unesp.br/pbastos/concreto3/Blocos.pdf>>. Acesso em 15 nov. 2015.
- FUSCO, P. B. **Técnica de armar as estruturas de concreto**. 2. ed. São Paulo: Pini, 2013.
- GUERRIN, A.; LAVAUUR, R. C. **Tratado de Concreto Armado**. Traduzido por Carlos Antonio Lauand. Hemus, 2002.
- LEMO, P. S. B. **Programa para o projeto de blocos rígidos de coroamento de estacas**. 2008. 79 f. Trabalho de Diplomação (Graduação em Engenharia Civil) – Departamento de Engenharia Civil. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2008.
- LEONHARDT, F.; MÖNNIG, E. **Construções de concreto**. V.3, Rio de Janeiro: Interciência, 1978.

APÊNDICE A – Memória de Cálculo – Bloco P339 - bloco de duas estacas

MEMÓRIA DE CÁLCULO - BLOCO P339

(0)

$$h = 100 \text{ cm}$$

(1)

$$h \geq (\text{compr} - l_{pil})/3 = 63,3 \text{ cm}$$

(2)

$$h \geq (\text{dist} - l_{pil}) * 0.5 = 75 \text{ cm}$$

(3)

$$h \geq h_0 + d = h_0 + (\text{dist}/2 - c_{pil}/4)/1.7 = 48,2 \text{ cm}$$

(4)

$$h \geq h_0 + d = h_0 + (\text{distest}/2) = 85 \text{ cm}$$

(5)

$$l_b = 37,669 * \phi \geq 25 * \phi = 75,3 \text{ cm } [\phi = 20\text{mm}]$$

$$l_{bmin} \geq \{ 0.3 * l_b \parallel 10 * \phi \parallel 100\text{mm} \} = 22,6 \text{ cm}$$

$$l_{bnec} = \alpha * l_b * A_{scalc} / A_{sef} \geq l_{bmin} \rightarrow l_{bnec} = 52,7 \text{ cm}$$

$$h \geq l_{bnec} + 2 * c_{ob} + h_0 = 68,7 \text{ cm}$$

[0] --> h = 100 cm

*** a altura inicial do bloco será utilizada ***

$$Z = 0.85 * d = 0.85 * (h - h_0) = 76,5 \text{ cm}$$

$$\theta = \text{atan}[Z / ((\text{dist} - l_{pil})/2)] = 54,3^\circ$$

$$\tan[\theta] = 1,39$$

$$d' = c_{ob} + \phi/2 = 4 \text{ cm}$$

$$F_{zd} = 1.4 * F_{zk} = 316,4 \text{ tf}$$

esmagamento das bielas comprimidas

$$k = (1 + 2 * d_l / \text{diam})^2 = 1,3$$

$$A_e = (\pi/4) * k * \text{diam}^2 = 3631,6\text{cm}^2$$

$$\sigma_{ke} = (0.5 * F_{zd}) / (1.4 * A_e) \leq 0.3 * (1 - f_{ck}/250) * k * f_{ck} * \text{sen}^2(\theta)$$

$$0,3112\text{kN/cm}^2 \leq 0,5716\text{kN/cm}^2$$

*** sem problema com as bielas comprimidas ***

$$R_{sd} = (0.5 * F_{zd}) * (\text{dist} / 2 - c_{pil} / 4) / Z = 1182 \text{ kN/cm}^2$$

$$A_{s,princ} = R_{sd} / f_{yd} = 27,2 \text{ cm}^2$$

$$\rightarrow 14 \{ 16\text{mm } c/4\text{cm} \rightarrow 28,16\text{cm}^2$$

$$\rightarrow 9 \{ 20\text{mm } c/7\text{cm} \rightarrow 28,28\text{cm}^2$$

$$\rightarrow 6 \{ 25\text{mm } c/12\text{cm} \rightarrow 29,46\text{cm}^2$$

$$** 9 \{ 20\text{mm } c/7\text{cm} \rightarrow 28,28\text{cm}^2$$

$$A_{s,sup} = A_{s,princ} / 10 = 2,8 \text{ cm}^2$$

$$\rightarrow 4 \{ 10\text{mm } c/24\text{cm} \rightarrow 3,14\text{cm}^2$$

$$\rightarrow 3 \{ 12,5\text{mm } c/36\text{cm} \rightarrow 3,69\text{cm}^2$$

$$\rightarrow 2 \{ 16\text{mm } c/72\text{cm} \rightarrow 4,03\text{cm}^2$$

$$\rightarrow 1 \{ 20\text{mm } c/72\text{cm} \rightarrow 3,15\text{cm}^2$$

$$** 3 \{ 12,5\text{mm } c/36\text{cm} \rightarrow 3,69\text{cm}^2 **$$

estribos horizontais

$$A_{sw,hor} = A_{sinf,ef} / 8 = 3,5 \text{ cm}^2 \text{ [por face]}$$

-> 11 { 6,3mm c/7cm -> 3,83cm²/m
-> 7 { 8mm c/11cm -> 3,93cm²/m
-> 5 { 10mm c/15cm -> 4,37cm²/m
-> 3 { 12,5mm c/22cm -> 4,1cm²/m
** 7 { 8mm c/11cm -> 3,93cm²/m **

estribos verticais

Asw,ver > 0.075*larg [por face] = 6 cm²/m [face]

-> 45 { 6,3mm c/5cm -> 6,11cm²/m
-> 28 { 8mm c/7cm -> 6,13cm²/m
-> 18 { 10mm c/12cm -> 6,15cm²/m
-> 12 { 12,5mm c/17cm -> 6,41cm²/m
** 18 { 10mm c/12cm -> 6,15cm²/m **

APÊNDICE B – Memória de Cálculo – Bloco P325 - bloco de três estacas

MEMÓRIA DE CÁLCULO - BLOCO P325

(0)

$$h = 130 \text{ cm}$$

(1)

$$h \geq h_0 + d = h_0 + (dx/2) = 100 \text{ cm}$$

$$h \geq h_0 + d = h_0 + (dy/2) = 88 \text{ cm}$$

(2)

$$l_b = 37,669 \cdot \phi \geq 25 \cdot \phi = 75,3 \text{ cm } [\phi=20\text{mm}]$$

$$l_{bmin} \geq \{ 0,3 \cdot l_b \parallel 10 \cdot \phi \parallel 100\text{mm} \} = 22,6 \text{ cm}$$

$$l_{bnec} = \alpha \cdot l_b \cdot A_{scalc} / A_{sef} \geq l_{bmin} \rightarrow l_{bnec} = 52,7 \text{ cm}$$

$$h \geq l_{bnec} + 2 \cdot c_{ob} + h_0 = 68,7 \text{ cm}$$

[0] --> h = 130 cm

*** a altura inicial do bloco será utilizada ***

$$Z = 0,85 \cdot d = 0,85 \cdot (h - h_0) = 102 \text{ cm}$$

$$\theta = \text{atan} [Z / ((\text{dist} - l_{pil}) / 2)] = 48,6^\circ$$

$$\tan[\theta] = 1,13$$

$$d' = c_{ob} + \phi / 2 = 4 \text{ cm}$$

$$F_{zd} = 1,4 \cdot F_{zk} = 207,2 \text{ tf}$$

esmagamento das bielas comprimidas

$$k = (1 + 2 \cdot d' / \text{diam})^2 = 1,2$$

$$A_e = (\pi/4) \cdot k \cdot \text{diam}^2 = 4778,2 \text{ cm}^2$$

$$\sigma_{ke} = (F_{zd}/3) / (1,4 \cdot A_e) \leq 0,3 \cdot (1 - f_{ck}/250) \cdot k \cdot f_{ck} \cdot \text{sen}^2(\theta)$$

$$0,1549 \text{ kN/cm}^2 \leq 0,4712 \text{ kN/cm}^2$$

*** sem problema com as bielas comprimidas ***

$$T_d = (F_{zd}/3) \cdot (dx / (3^{0,5}) - c_{pil} / 4) / Z = 2111,1 \text{ kN/cm}^2$$

$$R_{sd} = T_d / (3^{0,5}) = 1218,8 \text{ kN/cm}^2$$

$$A_{s,princ} = R_{sd} / f_{yd} = 28 \text{ cm}^2$$

$$\rightarrow 14 \{ 16\text{mm } c/5\text{cm} \rightarrow 28,16\text{cm}^2$$

$$\rightarrow 9 \{ 20\text{mm } c/8\text{cm} \rightarrow 28,28\text{cm}^2$$

$$\rightarrow 6 \{ 25\text{mm } c/14\text{cm} \rightarrow 29,46\text{cm}^2$$

$$** 6 \{ 25\text{mm } c/14\text{cm} \rightarrow 29,46\text{cm}^2$$

$$A_{s,dist} = 0,25 \cdot A_{s,princ} = 7 \text{ cm}^2$$

$$\rightarrow 9 \{ 10\text{mm } c/11\text{cm} \rightarrow 7,07\text{cm}^2$$

$$\rightarrow 6 \{ 12,5\text{mm } c/15\text{cm} \rightarrow 7,37\text{cm}^2$$

$$\rightarrow 4 \{ 16\text{mm } c/22\text{cm} \rightarrow 8,05\text{cm}^2$$

$$\rightarrow 3 \{ 20\text{mm } c/27\text{cm} \rightarrow 9,43\text{cm}^2$$

$$** 6 \{ 12,5\text{mm } c/15\text{cm} \rightarrow 7,37\text{cm}^2 **$$

$$\rightarrow 9 \{ 10\text{mm } c/8\text{cm} \rightarrow 7,07\text{cm}^2$$

$$\rightarrow 6 \{ 12,5\text{mm } c/12\text{cm} \rightarrow 7,37\text{cm}^2$$

$$\rightarrow 4 \{ 16\text{mm } c/17\text{cm} \rightarrow 8,05\text{cm}^2$$

$$\rightarrow 3 \{ 20\text{mm } c/21\text{cm} \rightarrow 9,43\text{cm}^2$$

$$** 4 \{ 16\text{mm } c/17\text{cm} \rightarrow 8,05\text{cm}^2 **$$

estribos horizontais

$$A_{sw,hor} = 3 \cdot A_{s,princ} / 8 = 10,5 \text{ cm}^2/\text{m} \text{ [por face]}$$

$$\rightarrow 41 \{ 6,3\text{mm } c/2\text{cm} \rightarrow 10,67\text{cm}^2/\text{m}$$

$$\rightarrow 26 \{ 8\text{mm } c/4\text{cm} \rightarrow 10,9\text{cm}^2/\text{m}$$

-> 17 { 10mm c/6cm -> 11,13cm²/m
-> 11 { 12,5mm c/10cm -> 11,25cm²/m
** 11 { 12,5mm c/10cm -> 11,25cm²/m **

APÊNDICE C – Memória de Cálculo – Bloco P220 - bloco de quatro estacas

MEMÓRIA DE CÁLCULO - BLOCO P220

(0)

$$h = 120 \text{ cm}$$

(1)

$$h \geq (\text{compr} - \text{cpil}) / 3 = 76,7 \text{ cm}$$

$$h \geq (\text{larg} - \text{lpil}) / 3 = 76,7 \text{ cm}$$

(2)

$$h \geq h_0 + d = h_0 + (dx * (2^{0.5}) / 2) = 116,1 \text{ cm}$$

$$h \geq h_0 + d = h_0 + (dy * (2^{0.5}) / 2) = 116,1 \text{ cm}$$

(3)

$$l_b = 37,669 * \phi \geq 25 * \phi = 94,2 \text{ cm } [\phi = 25 \text{ mm}]$$

$$l_{bmin} \geq \{ 0,3 * l_b \parallel 10 * \phi \parallel 100 \text{ mm} \} = 28,3 \text{ cm}$$

$$l_{bnec} = \alpha * l_b * A_{scalc} / A_{sef} \geq l_{bmin} \rightarrow l_{bnec} = 65,9 \text{ cm}$$

$$h \geq l_{bnec} + 2 * c_{ob} + h_0 = 81,9 \text{ cm}$$

[0] --> h = 120 cm

*** a altura inicial do bloco será utilizada ***

$$Z = 0,85 * d = 0,85 * (h - h_0) = 93,5 \text{ cm}$$

$$\theta = \text{atan} \left[Z / \left(\left((dx - \text{cpil}) / 2 \right)^2 + \left((dy - \text{lpil}) / 2 \right)^2 \right)^{0.5} \right] = 41,4^\circ$$

$$\tan[\theta] = 0,88$$

$$d' = c_{ob} + \phi / 2 = 4,2 \text{ cm}$$

$$F_{zd} = 1,4 * F_{zk} = 562,8 \text{ tf}$$

esmagamento das bielas comprimidas

$$k = (1 + 2 * d_l / \text{diam})^2 = 1,3$$

$$A_e = (\pi / 4) * k * \text{diam}^2 = 3685,2 \text{ cm}^2$$

$$\sigma_{ke} = (0,25 * F_{zd}) / (1,4 * A_e) \leq 0,3 * (1 - f_{ck} / 250) * k * f_{ck} * \text{sen}^2(\theta)$$

$$0,2727 \text{ kN/cm}^2 \leq 0,3847 \text{ kN/cm}^2$$

*** sem problema com as bielas comprimidas ***

$$R_{sdx} = (0,25 * F_{zd}) * (dx / 2 - \text{cpil} / 4) / Z = 1128,6 \text{ kN/cm}^2$$

$$R_{sdy} = (0,25 * F_{zd}) * (dy / 2 - \text{lpil} / 4) / Z = 1128,6 \text{ kN/cm}^2$$

$$A_{sx} = R_{sdx} / f_{yd} = 26 \text{ cm}^2$$

$$\rightarrow 13 \{ 16 \text{ mm } c / 5 \text{ cm} \rightarrow 26,15 \text{ cm}^2$$

$$\rightarrow 9 \{ 20 \text{ mm } c / 7 \text{ cm} \rightarrow 28,28 \text{ cm}^2$$

$$\rightarrow 6 \{ 25 \text{ mm } c / 12 \text{ cm} \rightarrow 29,46 \text{ cm}^2$$

$$** 6 \{ 25 \text{ mm } c / 12 \text{ cm} \rightarrow 29,46 \text{ cm}^2$$

$$A_{sx, \text{dist}} = 0,25 * A_{sx} = 7,4 \text{ cm}^2$$

$$\rightarrow 10 \{ 10 \text{ mm } c / 10 \text{ cm} \rightarrow 7,85 \text{ cm}^2$$

$$\rightarrow 7 \{ 12,5 \text{ mm } c / 15 \text{ cm} \rightarrow 8,59 \text{ cm}^2$$

$$\rightarrow 4 \{ 16 \text{ mm } c / 30 \text{ cm} \rightarrow 8,05 \text{ cm}^2$$

$$\rightarrow 3 \{ 20 \text{ mm } c / 45 \text{ cm} \rightarrow 9,43 \text{ cm}^2$$

$$** 7 \{ 12,5 \text{ mm } c / 15 \text{ cm} \rightarrow 8,59 \text{ cm}^2 **$$

$$A_{sy} = R_{sdy} / f_{yd} = 26 \text{ cm}^2$$

$$\rightarrow 13 \{ 16 \text{ mm } c / 5 \text{ cm} \rightarrow 26,15 \text{ cm}^2$$

-> 9 { 20mm c/7cm -> 28,28cm²
 -> 6 { 25mm c/12cm -> 29,46cm²
 ** 6 { 25mm c/12cm -> 29,46cm²

Asy,dist = 0,25 * Asy,t = 7,4 cm²
 -> 10 { 10mm c/10cm -> 7,85cm²
 -> 7 { 12,5mm c/15cm -> 8,59cm²
 -> 4 { 16mm c/30cm -> 8,05cm²
 -> 3 { 20mm c/45cm -> 9,43cm²
 ** 7 { 12,5mm c/15cm -> 8,59cm² **

estribos horizontais

Asw,hor = (2*(Asx,ef+Asy,ef) + (Asxd,ef+Asyd,ef) / 8 = 14,7 cm²

-> 48 { 6,3mm c/2cm -> 14,98cm²
 -> 30 { 8mm c/3cm -> 15,09cm²
 -> 19 { 10mm c/5cm -> 14,92cm²
 -> 13 { 12,5mm c/7cm -> 15,96cm²
 ** 13 { 12,5mm c/7cm -> 15,96cm² **