

ANÁLISE EXPERIMENTAL DO MÉTODO DAS BIELAS PARA DUAS DIFERENTES DISPOSIÇÕES DE ARMADURA DE TRAÇÃO EM BLOCOS RIGIDOS SOBRE TRÊS ESTACAS

Welinton Tibincoski dos Santos (1), Alexandre Vargas (2)

UNESC – Universidade do Extremo Sul Catarinense

(1)welinton@unescc.net, (2) avargas@unescc.com

RESUMO

Blocos sobre estacas são elementos utilizados a fim de transferir as cargas da superestrutura para um conjunto de estacas. É um dos elementos que garantem a segurança de toda estrutura, sendo essencial o conhecimento de seu real comportamento. Na atualidade, poucos são os estudos realizados nesta área, uma vez que os métodos utilizados para dimensionamento destes elementos tratam-nos de modo simplificado e não existem no texto da NBR 6118:2007, critérios para dimensionamento e verificações de segurança. Portanto, este trabalho objetiva estudar experimentalmente o comportamento estrutural de blocos rígidos sobre três estacas, dimensionados pelo Método das Bielas, diferenciando a armadura de tração em duas diferentes disposições: segundo os lados e segundo as medianas. O objetivo principal foi verificar a influência da disposição de armadura de tração, no comportamento estrutural do elemento. Foram moldados dois grupos com três amostras cada, sendo cada grupo com uma das disposições de armadura. As amostras foram instrumentadas com LVDT's na face inferior e submetidas à ação de carga no centro de gravidade, sendo analisada a capacidade de carga, abertura de fissura e deslocamento vertical. Os resultados experimentais demonstram que o Método das bielas é conservador, proporcionando coeficiente de segurança mínimo, na carga de fissuração, igual a dois para ambas as disposições de armadura de tração. Os modelos tiveram comportamentos de fissuração semelhantes para as duas disposições de armadura, sendo originadas no centro de gravidade para ambas as disposições e caminhando inclinada em cada face lateral para a disposição segundo os lados e verticalmente para a disposição segundo as medianas. Verificou-se que as duas disposições de armadura de tração, mesmo gerando um comportamento de fissuração diferenciado, podem ser utilizadas normalmente, no entanto, a escolha da disposição segundo os lados gera uma economia de 42% de aço sem afetar a eficiência do elemento, em comparação com a disposição segundo as medianas.

Palavras-Chave: concreto armado; método das bielas; blocos sobre três estacas.

1. INTRODUÇÃO

Segundo Miguel (2000), “blocos sobre estacas são importantes elementos estruturais cuja função é, basicamente, transferir as ações do pilar para um grupo de estacas.” Geralmente, estes elementos não permitem a inspeção visual quando em serviço, sendo importante o conhecimento do seu real comportamento estrutural. Infelizmente, no caso dos blocos sobre estacas, o número de ensaios realizados não

é tão grande como o de outros elementos em concreto armado, como, por exemplo, as vigas. Os métodos para dimensionamento destes elementos até os dias atuais tratam-nos de modo simplificado, sendo necessário o aprofundamento do conhecimento estrutural destes elementos. Um dos métodos de cálculo, usualmente empregados para projetos de blocos rígidos sobre estacas no Brasil é o “Método das Bielas”, baseado nos estudos de BLÉVOT (França, 1967), que considera no interior do bloco uma treliça tridimensional composta por barras tracionadas e barras comprimidas. Com esta analogia, podemos afirmar que “as barras comprimidas seriam as bielas de concreto nas quais a tensão de compressão deve ser verificada” e “as barras tracionadas seriam os tirantes compostos por armaduras definidas pela força de tração” (Oliveira, 2009). No caso de blocos rígidos sobre três estacas, podem-se ter diferentes arranjos de armadura de tração, sendo eles: armadura segundo as medianas, segundo os lados e em malha. Guerrin (1980), afirma que “a segunda disposição de armaduras (segundo os lados) é a melhor, proporcionando uma economia de 34% no aço”. Para Munhoz (2004), “os blocos com distribuição de barras segundo os lados apresentam menor número de fissuras e menor área de armadura”. Esta economia de aço, adotando-se a disposição segundo os lados do triângulo, se dá pelo fato de que, para este arranjo de armadura, o esforço do tirante deve ser decomposto na direção das estacas, conforme preconizado pelo Método das Bielas. De acordo com Araújo (2003), “para o bloco ser considerado rígido, sua altura h deve ser maior ou igual a $l_{m\acute{a}x}/2$, onde $l_{m\acute{a}x}$ é à distância do eixo da estaca mais afastada até a face do pilar.” Munhoz (2004), salienta que “atualmente, poucos trabalhos têm sido desenvolvidos nesta área, estes trazem algumas colaborações, mas no âmbito nacional o avanço das pesquisas tem sido relativamente lento”, outrossim, a NBR 6118:2007 não fornece em seu texto um roteiro para verificações e dimensionamento destes elementos. Com o intuito de aprofundar os conhecimentos relacionados á estes elementos, este trabalho tem como objetivo principal, analisar experimentalmente o desempenho de blocos rígidos sobre três estacas, submetidos á ação de força aplicada no centro de gravidade. As amostras são iguais na geometria, porém adotam-se duas das possíveis disposições de armadura de tração: segundo os lados e segundo as medianas. Foram moldados dois grupos com três amostras cada, sendo cada grupo com uma disposição de armadura, e submetidas á ação de força centrada, visando avaliar o comportamento

estrutural, abertura de fissura e deslocamento vertical para essas duas diferentes disposições de armadura de tração.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

O planejamento experimental desta pesquisa estabeleceu inicialmente, moldar um bloco sobre três estacas “teste”, para que norteasse o dimensionamento dos modelos à serem analisados, evitando erros inesperados e para que houvesse a oportunidade de observar o comportamento deste elemento.

2.1. MATERIAIS

2.1.1. BLOCOS SOBRE TRÊS ESTACAS

Em uma segunda etapa, após a análise e observações em relação ao bloco “teste”, foram moldados seis elementos em escala real, sendo divididos em dois grupos com três amostras cada. Todos os modelos foram dimensionados seguindo os mesmos parâmetros, obtendo as mesmas dimensões em planta, mesma altura e mesma carga de projeto, porém variando a armadura principal em duas disposições: paralelo aos lados e nas direções das medianas. Para que não ocorressem erros na identificação das amostras durante a execução dos ensaios, foi adotada como identificação das amostras, a seqüência mostrada na Tabela 1.

Tabela 1: Identificação dos modelos

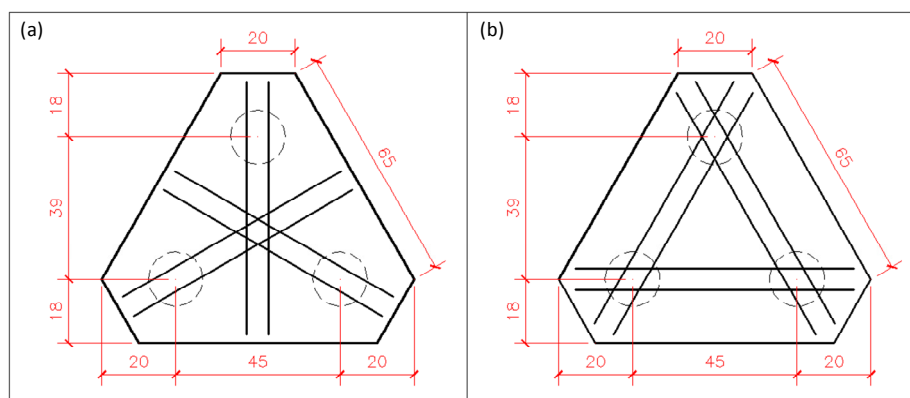
Grupo	Modelo de Armadura	Identificação
1	Lados do Triângulo	BL1
		BL2
		BL3
2	Medianas do Triângulo	BM1
		BM2
		BM3

Fonte: Welinton Tibincoski dos Santos (2013)

Os blocos sobre três estacas, dispostas em triângulo equilátero, foram dimensionados segundo o Método das Bielas para blocos rígidos. Para os modelos foram adotadas estacas com diâmetro de 15 cm e pilar de seção quadrada de 20 x

20 cm. Para os blocos foi estabelecida altura útil de 20 cm, embutimento das estacas de 5 cm, totalizando altura total de 25 cm. A distância entre eixos das estacas é de 45 cm e inclinação das bielas comprimidas de 45°. A Figura 1 identifica os dois arranjos de armadura adotados: (a) - armadura principal segundo as medianas e (b) - armadura principal segundo os lados.

Figura 1 – Disposição de armadura para os dois modelos adotados



Fonte: Welinton Tibincoski dos Santos (2013)

2.1.2 RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DO CONCRETO

O controle tecnológico para aferir a resistência do concreto utilizado na confecção dos blocos sobre três estacas, se dá através de ensaios de compressão axial em corpos de prova cilíndricos de diâmetro 10 cm e altura 20 cm, que seguem as recomendações da NBR 5739:1994. Foram ensaiados três corpos de prova à compressão, sendo todos aos 28 dias.

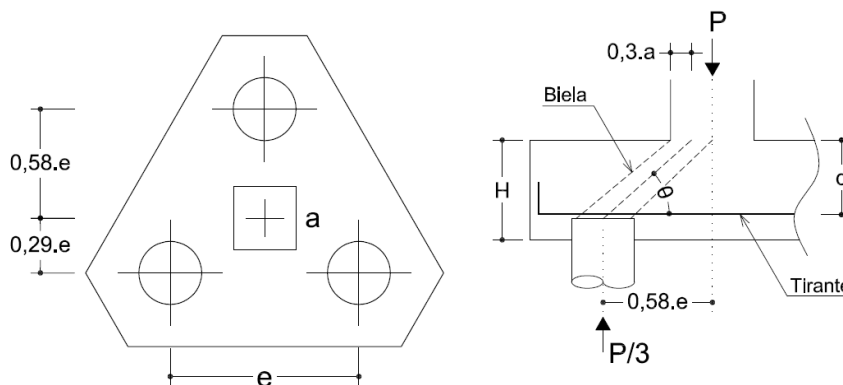
2.2 MÉTODO

2.2.1 DIMENSIONAMENTO DE BLOCOS RÍGIDOS PELO MÉTODO DAS BIELAS

Na literatura atual, encontramos diversos autores que abordam o método das bielas em seus trabalhos, porém nesta pesquisa, abordaremos as recomendações de Moraes (1976), pois se julgou o mais completo dentre a bibliografia consultada. Para o dimensionamento de blocos rígidos sobre três estacas, Moraes (1976) utiliza as recomendações de BLÉVOT (França, 1967), isto é, utiliza o Método das Bielas para

a determinação das armaduras resistentes. A determinação dos esforços é feita tomando como base o modelo da Figura 2.

Figura 2 – Modelo de cálculo para o método das bielas



Fonte: Marcello de Cunha Moraes (1976)

A inclinação das bielas deve estar entre $45^\circ \leq \theta \leq 55^\circ$, ou seja, a altura útil deve respeitar o limite apresentado abaixo, na equação 01;

$$0,58 \cdot \left(e - \frac{a}{2} \right) \leq d \leq 0,825 \cdot \left(e - \frac{a}{2} \right) \quad \text{equação (1)}$$

A inclinação das bielas é dada pela equação 02.

$$\operatorname{tg} \theta = \frac{d}{\frac{e \cdot \sqrt{3}}{3} - 0,3 \cdot a} \quad \text{equação (2)}$$

Em que:

- θ = Ângulo da biela
- d = Altura útil do bloco;
- e = Espaçamento entre estacas;
- a = Menor dimensão do pilar.

A equação 03 indica o valor Z segundo as medianas do triângulo formado pelas estacas.

$$Z = \frac{P}{9 \cdot d} \cdot (e \cdot \sqrt{3} - 0,9 \cdot a) \quad \text{equação (3)}$$

Em contrapartida, a equação 04 indica o valor Z' segundo os lados do triângulo formado pelas estacas.

$$Z' = \frac{P}{9.d} \cdot \left(e - \frac{a}{2} \right) \quad \text{equação (4)}$$

Em que:

- P = Carga do pilar
- Z = Esforço no tirante segundo as medianas do triângulo
- Z' = Esforço no tirante segundo os lados do triângulo
- e = Espaçamento entre estacas;
- d = Altura útil do bloco;
- a = Dimensão do pilar.

Para o cálculo da armadura necessária, utiliza-se a seguinte expressão;

$$A_s = \frac{1,4 \cdot Z}{f_{yd}} \quad \text{equação (5)}$$

Em que:

- A_s = Área de aço
- Z = Esforço no tirante segundo a disposição adotada
- f_{yd} = Tensão de cálculo de escoamento do aço

Para verificação de segurança da estrutura, necessita-se analisar as tensões de compressão atuantes junto ao pilar e junto à estaca. Para isso as duas condições a seguir precisam ser satisfeitas.

$$\frac{P}{A_b \cdot \text{sen}^2 \theta} \leq \frac{1,75 \cdot f_{ck}}{1,65} \quad \text{equação (6)}$$

$$\frac{P}{A' b \cdot 3 \cdot \text{sen}^2 \theta} \leq \frac{1,75 \cdot f_{ck}}{1,65} \quad \text{equação (7)}$$

Em que:

- P = Carga do pilar;
- A_b = Área da seção transversal do pilar;
- A' b = Área da seção transversal da estaca;
- f_{ck} = Resistência à compressão do concreto.

2.2.2 DIMENSIONAMENTO DOS MODELOS PELO MÉTODO DAS BIELAS

A partir das equações demonstradas anteriormente, procederam-se os cálculos através das recomendações abordadas por Moraes (1976), utilizando o método das bielas, onde foi realizada a determinação das armaduras resistentes e a verificação das tensões junto ao pilar e junto às estacas. Para o procedimento de cálculo, adotou – se como carga de cálculo transferida pelo pilar (P_d) igual a 130 kN,

espaçamento entre estacas (e) 45 cm, altura útil (d) 20 cm, diâmetro de estacas 15 cm, dimensão do pilar (a) 20 x 20 cm, resistência á compressão do concreto (f_{ck}) 20 MPa e tensão de escoamento do aço (f_{yk}) 500 MPa. A verificação de tensão na região do pilar e nas regiões das estacas é apresentada na Tabela 2.

Tabela 2: Verificação das tensões atuantes

Região	Ab (cm²)	σ_c (kN/cm²)	$\sigma_c, limite$ (kN/cm²)	Verificação $\sigma_c \leq \sigma_c, limite$
Pilar	400,00	0,65	2,12	ok
Estaca	176,71	0,49	2,12	ok

Fonte: Welinton Tibincoski dos Santos (2013)

Os resultados do dimensionamento das armaduras resistentes para os dois modelos de armadura de tração, podem ser identificados na Tabela 3.

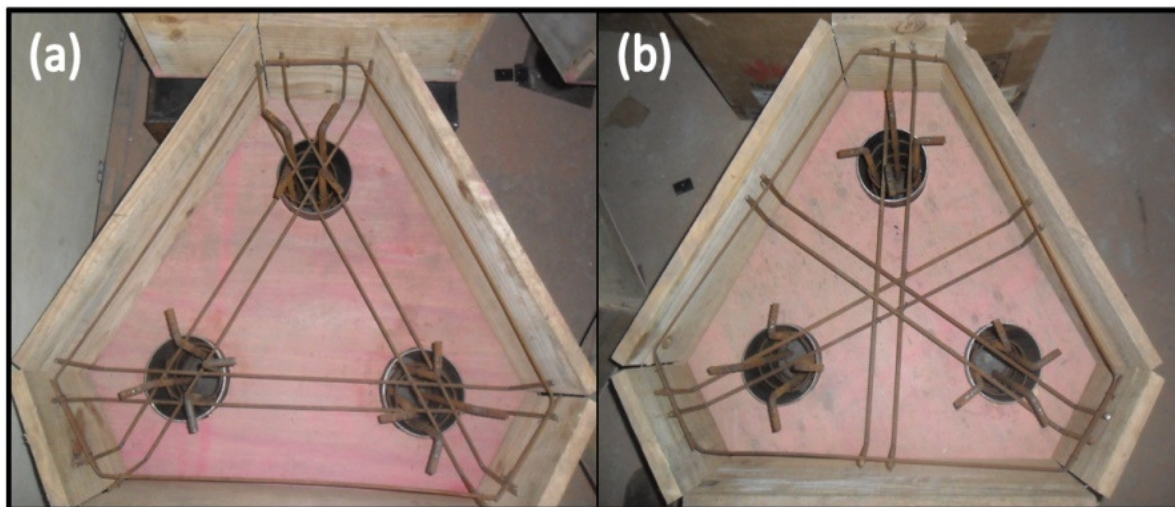
Tabela 3: Resultados do dimensionamento pelo Método das bielas

Grupo	Modelo de Armadura	Esforço no Tirante (kN)	Área de aço (cm²)
1	Lados do Triângulo	25,28	0,58
2	Medianas do Triângulo	43,29	1,00

Fonte: Welinton Tibincoski dos Santos (2013)

De acordo com as áreas de aço encontradas no dimensionamento pelo Método das bielas, adotou-se para a disposição segundo os lados 2 \varnothing 6,3 mm e para a disposição segundo as medianas 2 \varnothing 8,0 mm, ambas espaçadas em 5cm, sendo esta armadura disposta na face superior de cada estaca. Como armadura para as estacas, adotou-se 4 \varnothing 12,5 mm com estribos de 5,0 mm cada 5 cm, sendo ancoradas 10 cm no interior do bloco. Além desta armadura, decidiu-se revestir as estacas com tubo metálico, afim de elevar a sua capacidade portante, pois foi observado no ensaio do bloco “teste” que a ruptura foi iniciada por este elemento. A Figura 3 demonstra as armaduras adotadas para cada tipo de disposição de armadura de tração, sendo (a) – armadura segundo os lados do triângulo e (b) – armadura segundo as medianas formadas pelo triângulo.

Figura 3 – Disposição das armaduras nos modelos executados.

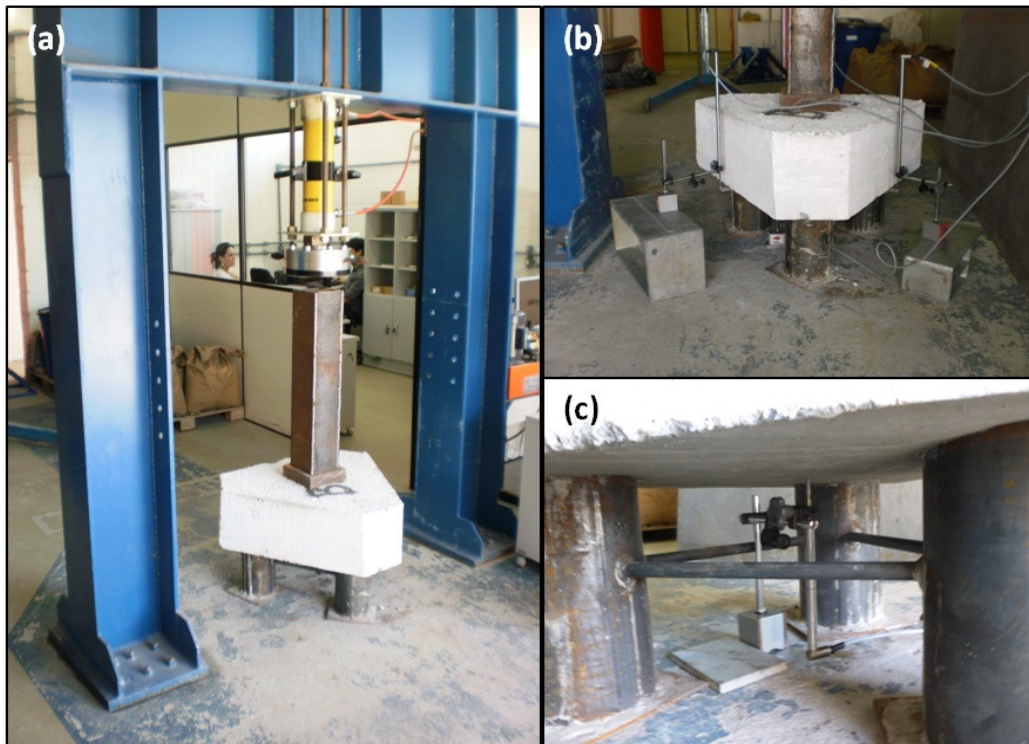


Fonte: Welinton Tibincoski dos Santos (2013)

2.2.3 METODOLOGIA DE ENSAIO

Os blocos submetidos aos ensaios de laboratório foram instrumentados com a finalidade de se obter os valores da carga aplicada no pilar e os deslocamentos verticais da face inferior dos modelos, afim de analisar o comportamento estrutural de duas disposições de armadura dimensionadas pelo método das bielas. A aplicação da força no pilar foi realizada por meio de um cilindro hidráulico com capacidade nominal de 500 kN, os valores dos deslocamentos na face inferior dos modelos foram obtidos por meio de transdutores de deslocamento (LVDT), fixados por meio de suportes magnéticos com haste articulada e as fissuras foram medidas manualmente, com o auxílio de um fissurômetro. Para simulação de pilar, foi utilizado uma chapa metálica (20 x 20 cm) e perfil metálico (W 150 x 13 kg), sendo apoiados na face superior de cada modelo, no centro de gravidade. Os ensaios foram realizados no Laboratório Experimental de Estruturas, localizado no Parque Científico e Tecnológico - IPARQUE UNESC. As amostras receberam carregamento puramente vertical, sendo que os estágios de aplicação de carga foram 130 kN (carga de cálculo), 200 kN, 300 kN e 400 kN (limite do cilindro hidráulico). Na Figura 4 podemos verificar o esquema de ensaio adotado para os dois grupos de blocos sobre três estacas, sendo (a) o posicionamento do pilar no centro de gravidade do modelo, (b) e (c) o posicionamento dos transdutores de deslocamento nas faces inferiores dos blocos.

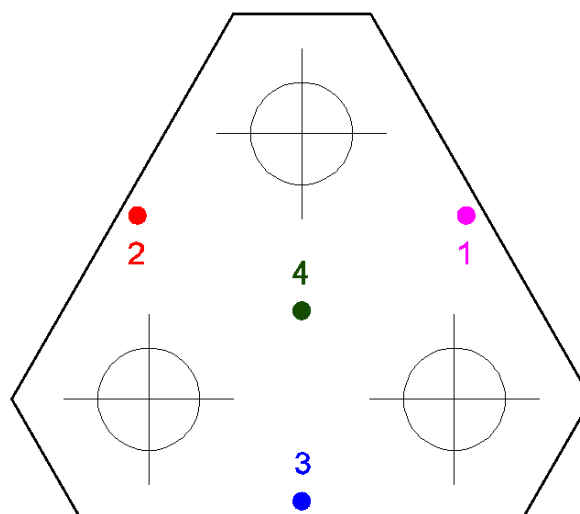
Figura 4 – Ensaio laboratoriais dos modelos.



Fonte: Welinton Tibincoski dos Santos (2013)

Em todos os modelos foram instalados um total de quatro transdutores de deslocamento na face inferior dos blocos, sendo um no centro de gravidade e outros três próximos as faces laterais. A Figura 5 traz o posicionamento dos transdutores de deslocamento instalados e suas respectivas identificações.

Figura 5 – Disposição dos transdutores de deslocamento



Fonte: Welinton Tibincoski dos Santos (2013)

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1 CONCRETO

Para o concreto utilizado na confecção dos modelos, executou-se o ensaio de compressão axial no Laboratório de Materiais de Construção – UNESC, sendo que a média da resistência à compressão aos 28 dias foi de 20,20 MPa, estando em conformidade para utilização nesta pesquisa. Os valores de resistência dos corpos de prova cilíndricos estão evidenciados na Tabela 3.

Tabela 4: Resistência à compressão (f_{cm}) das amostras

Amostra	Resistência (MPa)
CP 1	20,50
CP 2	19,60
CP 3	20,50
Média (f_{cm})	20,20
Desvio Padrão	0,52

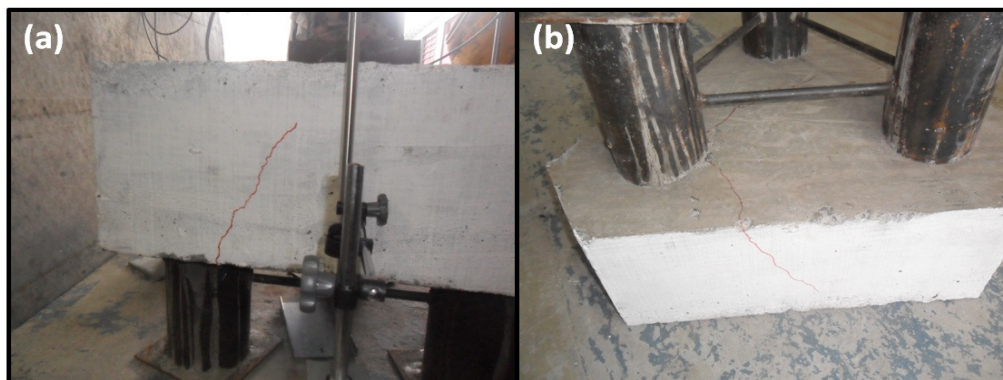
Fonte: Welinton Tibincoski dos Santos (2013)

3.2 COMPORTAMENTO ESTRUTURAL DOS MODELOS ANALISADOS

O comportamento estrutural dos blocos sobre três estacas analisados foi semelhante para cada grupo de disposição de armadura de tração, porém com algumas peculiaridades que os diferenciam. Todos os modelos ensaiados suportaram elevadas cargas, valores em torno de 400kN, tornando as duas disposições de armadura eficientes. Em nenhum dos modelos foi observado o efeito de punção. Foi observado que para a disposição segundo os lados do triângulo, com a aplicação de carga, originou-se uma fissura no centro de gravidade da peça, caminhando para as estacas e subindo inclinada para cada face lateral. Para a disposição de armadura segundo as medianas do triângulo, esta fissura gerada pela aplicação da carga também se origina no centro de gravidade da peça, mas segue perpendicular à face lateral, subindo verticalmente para a face superior. A Figura 6 apresenta a formação de fissura para a disposição segundos os lados, em que (a) – fissura na face lateral do bloco e (b) fissuras na face inferior do bloco. Na Figura 7, é

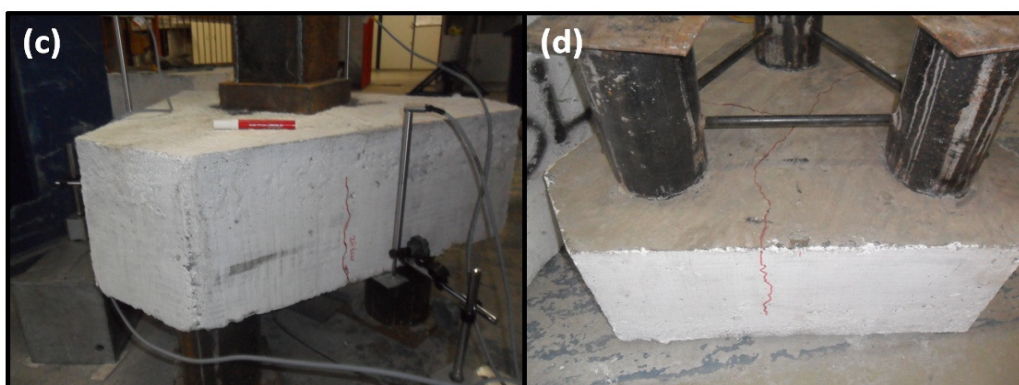
demonstrada a formação de fissura para a disposição segundo as medianas, sendo (c) – fissura na face lateral e (d) – fissura na face inferior do modelo.

Figura 6 – Formação de fissura com armadura segundo os lados



Fonte: Welinton Tibincoski dos Santos (2013)

Figura 7 – Formação de fissura com armadura segundo as medianas



Fonte: Welinton Tibincoski dos Santos (2013)

Com a realização dos ensaios, verificou-se que os modelos adotados nesta pesquisa, dimensionados pelo método das bielas, suportaram elevadas cargas, na ordem de 400 kN e pela limitação momentânea do equipamento, não foi possível determinar a carga de ruptura dos modelos, pois a capacidade do cilindro hidráulico utilizado não permitiu cargas superiores à 420 kN. Sendo assim, foi adotado como carga última (N_{ult}) o limite do equipamento. A carga de fissuração (N_{fr}), foi determinada visualmente com o aparecimento da primeira fissura na face lateral dos modelos. Os resultados da carga de fissuração e carga última são apresentados na Tabela 4, onde (N_d) é a carga de cálculo, (N_{fr}/N_d) é a relação entre carga de fissuração e carga de cálculo e (N_{ult}/N_d) é a relação entre carga última e carga de cálculo.

Tabela 5: Resultados de cargas obtidas nos ensaios.

Grupo	Modelo de Armadura	Modelo	N_d (kN)	N_{fr} (kN)	N_{ult} (kN)	$\frac{N_{fr}}{N_d}$	$\frac{N_{ult}}{N_d}$	
1	Lados do Triângulo	BL1	130	290	410	2,2	3,2	
		BL2	130	280	406	2,2	3,1	
		BL3	130	250	385	1,9	3,0	
	Média				273	400	2,1	3,1
	Desvio Padrão				21	13	0,2	0,1
2	Medianas do Triângulo	BM1	130	400	415	3,1	3,2	
		BM2	130	370	412	2,8	3,2	
		BM3	130	390	405	3,0	3,1	
	Média				387	411	3,0	3,2
	Desvio Padrão				15	5	0,2	0,1

Fonte: Welinton Tibincoski dos Santos (2013)

Por meio dos resultados obtidos nos ensaios, demonstrados na tabela acima, podemos observar que o dimensionamento pelo método das bielas é conservador, pois as relações N_{fr}/N_d e N_{ult}/N_d foram superiores a dois para ambos os grupos, o que vale dizer que o coeficiente de segurança obtido é superior à dois, além dos coeficientes de segurança usuais utilizados no dimensionamento de elementos de concreto armado. A disposição segundo as medianas obteve um comportamento 30% e 3% superior à disposição segundo os lados, para a média de cargas de fissuração e última, respectivamente.

3.3 ABERTURA DE FISSURA

A abertura de fissura foi determinada fazendo a medição manual das mesmas, com o auxílio de um fissurômetro. Observou-se uma única fissura no centro de gravidade e dividindo-se para as três faces laterais, em ambas as disposições de armadura. No estágio de aplicação da carga de cálculo (130 kN), não foram detectadas aberturas de fissuras nas faces laterais em qualquer um dos modelos. Entretanto, com o acréscimo de aplicação de carga, as fissuras foram detectadas com pequenas aberturas, sendo gradativamente aumentadas em função da carga aplicada. Durante a execução do ensaio, quando alcançado o último estágio de aplicação de carga

(400 kN), manteve-se acionado o cilindro hidráulico e a partir deste momento, foi executada a medição da abertura de fissura. Observou-se que no fim do ensaio, momento em que se cessava a aplicação de carga, reduzia-se o valor de abertura de fissura. A Tabela 5 apresenta os valores de aberturas de fissuras para os dois grupos de blocos sobre três estacas, sendo W_1 o valor de fissura para o estágio último de aplicação de carga e W_0 o valor de fissura no fim do ensaio, sem aplicação de carga.

Tabela 6: Resultados de abertura de fissura.

Grupo	Modelo de Armadura	Modelo	W_1 (mm)	W_0 (mm)
1	Lados do Triângulo	BL1	0,7	0,2
		BL2	0,3	0,2
		BL3	0,8	0,4
	Média		0,6	0,3
	Desvio Padrão		0,3	0,1
2	Medianas do Triângulo	BM1	0,3	0,1
		BM2	0,8	0,2
		BM3	0,4	0,4
	Média		0,5	0,2
	Desvio Padrão		0,3	0,2

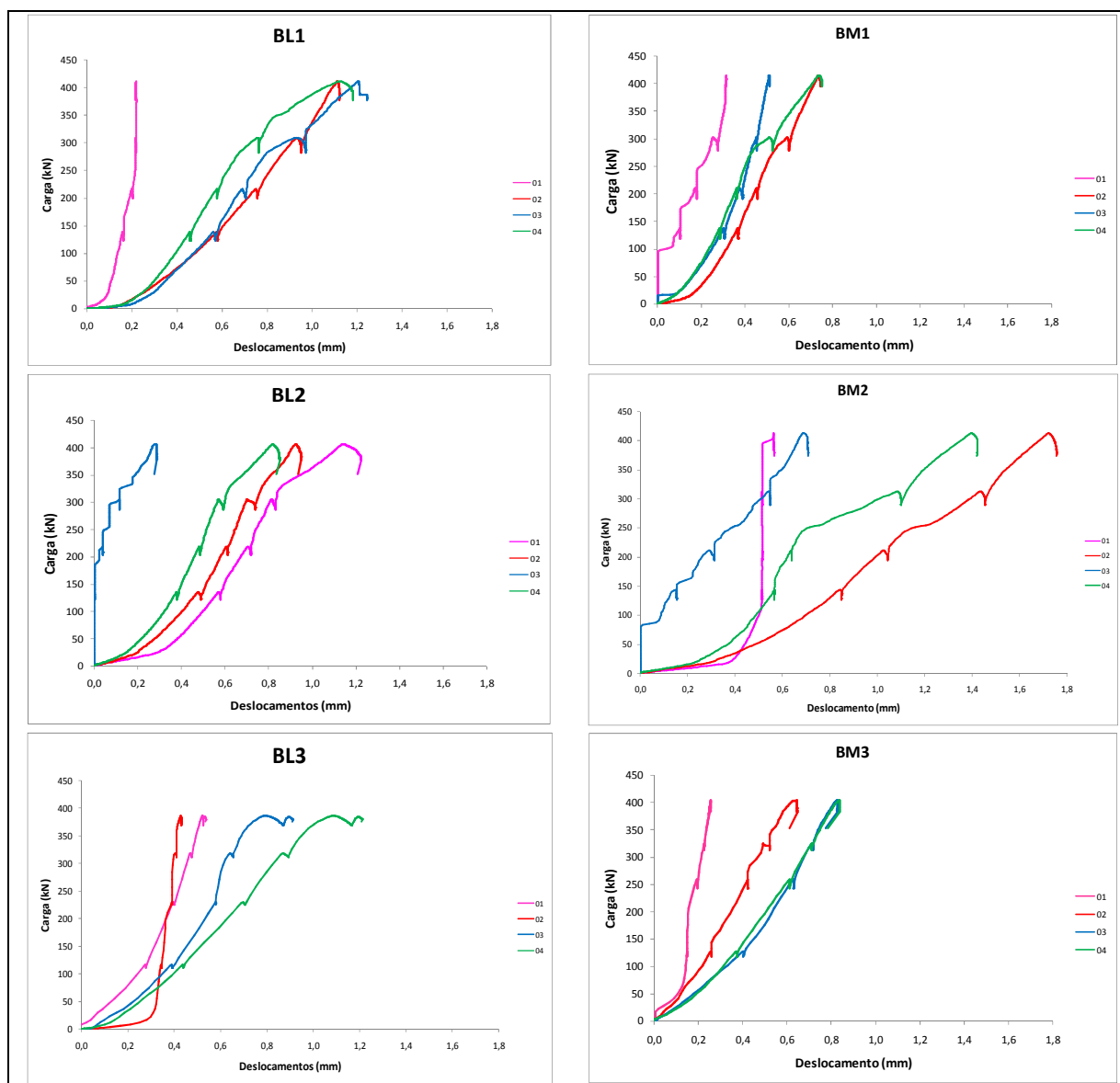
Fonte: Welinton Tibincoski dos Santos (2013)

Por meio dos dados apresentados, podemos verificar que os modelos ainda possuíam comportamento elasto-plástico ao final do ensaio, visto que as fissuras tiveram redução de abertura após a finalização do mesmo. A média da fissura na face lateral dos modelos, mostrou-se muito próxima para as duas disposições de armadura de tração, 0,60 mm de abertura de fissura para a disposição segundo os lados e 0,50 mm de abertura de fissura para a disposição segundo as medianas. Segundo a NBR 6118:2007, para a Classe de Agressividade II, para qual foi dimensionado os modelos, a abertura de fissura deve ser limitada em 0,3 mm. Podemos afirmar que os modelos atenderam este critério de norma, pois não foi detectada fissura nas faces laterais dos modelos analisados perante a carga de cálculo (130 kN), sendo visualizadas apenas com valores de carga superiores.

3.4 DESLOCAMENTOS VERTICAIS

Os deslocamentos verticais dos modelos foram determinados pela leitura dos quatro LVDT's dispostos nas faces inferiores de cada modelo, conforme demonstrado na metodologia de ensaio. Na Figura 9 são apresentadas as curvas Carga x Deslocamento para cada modelo ensaiado.

Figura 8 – Deslocamentos verticais dos Grupos 1 e 2.



Fonte: Welinton Tibincoski dos Santos (2013)

Ao analisar os valores de deslocamento nos quatro LVDT's em cada bloco, verificamos que tais valores foram diferentes entre si, indicando que os modelos não deformaram uniformemente. Isto pode ser explicado pela irregularidade no piso da

laje de reação do laboratório, sendo este ensaio muito sensível ao nivelamento. Na Tabela 6 é apresentada a compilação dos resultados de deslocamento para os dois grupos analisados, onde D_{max} é o deslocamento máximo dos modelos.

Tabela 7: Resultados de deslocamento vertical.

Grupo	Modelo de Armadura	Modelo	D_{max} (mm)
1	Lados do Triângulo	BL1	1,24
		BL2	1,21
		BL3	1,21
		Média	1,22
		Desvio Padrão	0,02
2	Medianas do Triângulo	BM1	0,75
		BM2	1,75
		BM3	0,79
		Média	1,09
		Desvio Padrão	0,57

Fonte: Welinton Tibincoski dos Santos (2013)

Por meio dos dados apresentados, observa-se que a média dos deslocamentos para a disposição de armadura de tração segundo as medianas é 10,66 % inferior, em relação à disposição segundo as medianas. Os dados indicam o bom funcionamento do Método das Bielas e a segurança, quanto ao deslocamento, para ambas as disposições de armadura.

4. CONCLUSÕES

Por meio dos resultados obtidos nos ensaios, podemos afirmar que o dimensionamento de blocos rígidos sobre três estacas, dimensionados pelas recomendações de Moraes (1976) se mostrou conservador, pois as relações N_{fr}/N_d e N_{ult}/N_d foram em média 2,1 e 3,0 respectivamente. Cabe ressaltar, que não foi possível estabelecer a carga de ruína dos modelos analisados, pois o equipamento disponibilizado pelo Laboratório Experimental de Estruturas – UNESC, não permitiu carregamentos superiores à 420 kN. As fissuras identificadas nos modelos mostraram que as duas disposições originam valores próximos de abertura, mesmo havendo modos de fissuração diferentes entre si, pois comparando a média de

abertura de fissura na face lateral dos modelos, observou-se 0,6 mm para a disposição segundo os lados e 0,5 mm para disposição segundo as medianas, porém a disposição segundo as medianas obteve valores 16,70% inferiores. Os modelos atenderam os requisitos da NBR 6118:2007 quanto á abertura de fissura, pois não houve identificação das mesmas no estágio de aplicação de carga relativo à carga de cálculo (130 kN). Os deslocamentos verticais foram avaliados em quatro pontos para cada modelo ensaiado, obtendo-se valores próximos para as duas disposições de armadura, isto comprova o bom funcionamento do Método das Bielas em relação á rigidez do bloco, para os dois modelos de armadura adotados, porém a disposição segundo as medianas obteve valores 10,66% inferiores, em relação à disposição segundo os lados. Constatou-se nesta pesquisa que, a escolha do tipo de disposição de armadura de tração, é fundamental para se ter um bom funcionamento do elemento, pois esta impacta em seu comportamento estrutural. Para blocos sobre três estacas dimensionados pelo Método das Bielas, atestou-se que as duas disposições de armadura de tração avaliadas podem ser utilizadas normalmente, porém a escolha da disposição de armadura segundo os lados, resulta em uma economia de 42% de aço, sem afetar a sua eficiência.

5. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Blocos rígidos sobre estacas são elementos de grande importância na engenharia estrutural, porém ainda são poucos os estudos nesta área. Sendo assim, são feitas algumas sugestões para trabalhos futuros:

- Realizar experimentos para blocos sobre três estacas, adotando a disposição em malha, para análise de sua eficiência;
- Realizar experimentos para blocos de quatro ou cinco estacas, diferenciando a disposição de armadura, para efeito de comparação do comportamento estrutural em função da quantidade de estacas;
- Realizar experimentos para blocos sobre estacas, reduzindo o ângulo da biela comprimida, para análise de sua capacidade portante;

6. REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - **Concreto – Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos - NBR 5739 (1994)**. Rio de Janeiro: ABNT, 1994.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Projeto de estruturas de concreto: procedimento - NBR 6118:2007**. Rio de Janeiro: ABNT, 2007.

ARAÚJO, J. M. (2003). **Curso de concreto armado**. Rio Grande, Editora Dunas, v.4.

GUERRIN, A. **Tratado de concreto armado**. São Paulo: Hemus, 6.v

MORAES, Marcello de Cunha. **Estruturas de fundações**. 3.ed São Paulo: McGraw-Hill, 1976. 264 p.

MIGUEL, M. G. (2000). **Análise experimental e numérica de blocos sobre três estacas**. Tese (Doutorado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

MUNHOZ, F. S. (2004). **Análise do comportamento de blocos de concreto armado sobre estacas submetidas à ação de força centrada**. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

OLIVEIRA, L. M. (2009). **Diretrizes para projeto de blocos de concreto armado sobre estacas**. Tese (Mestrado) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.