

CÁLCULO DE ESTAQUEAMENTO PLANO POR MEIO DE PLANILHAS ELETRÔNICAS

T. R. Ferreira¹, B. C. S. Lopes², R. K. Q. Souza³, R. G. Delalibera⁴

Engenharia Civil – Campus Catalão

¹. tobias.trf@hotmail.com; ². bcs_90@hotmail.com; ³. rhuankarlo@hotmail.com;
⁴. delalibera@pq.cnpq.br

1. INTRODUÇÃO

Blocos sobre estacas são elementos de vital importância na infraestrutura de uma obra que seja projetada e executada por meio de estacas. Para que possa existir um correto dimensionamento dos blocos de coroamento (ou blocos sobre estacas), é necessário o prévio conhecimento das reações nas estacas. A pesquisa conduzirá o usuário a determinar o número de estacas por pilar, bem como encontrar os valores de reações dentro das variáveis adotadas no desenvolvimento da rotina computacional. Variáveis essas que estão relacionadas ao tipo de estaca, forma de execução, quantidade e disposição das estacas.

Toda edificação tem como resultado um conjunto de esforços que deverá ser obrigatoriamente suportado pelo terreno sobre o qual serão construídas suas fundações. Quando as camadas superficiais do solo não resistem aos esforços solicitantes é necessário buscar camadas resistentes mais profundas, para isso, se faz necessária a utilização de fundações profundas (estacas ou tubulões). Segundo a NBR 6122:2010, fundações profundas são definidas como sendo um elemento de fundação que transmite a carga ao terreno pela base (resistência de ponta), por sua superfície lateral (resistência de fuste) ou por uma combinação das duas, e que está assente em profundidade superior ao dobro de sua menor dimensão em planta, e no mínimo 3 m.

Revisado pelo orientador.

¹ Orientando: Tobias Ribeiro Ferreira, graduando do curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de Goiás, Campus Catalão, tobias.trf@hotmail.com ;

² Co-autora: Bárbara Crysthine de Sousa Lopes, graduando do curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de Goiás, Campus Catalão, bcs_90@hotmail.com ;

³ Co-autor: Rhuan Karlo de Queiroz Souza, graduando do curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de Goiás, Campus Catalão, rhuankarlo@hotmail.com ;

⁴ Orientador: Rodrigo Gustavo Delalibera Professor do curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de Goiás, Campus Catalão, delalibera@pq.cnpq.br

Endereço: Avenida Dr. Lamartine Pinto de Avelar nº 1120, Setor Universitário, 75.704-020, departamento de Engenharia Civil.

Dentro desse contexto podem ser incluídas as estacas, descrita também pela NBR 6122:2010 como, elemento de fundação profunda executada inteiramente por equipamentos ou ferramentas, sem que, em qualquer fase de sua execução, haja descida de operário.

As estacas usualmente encontradas no mercado podem ser classificadas em duas categorias: estacas de deslocamento e estacas escavadas.

As estacas de deslocamento são aquelas introduzidas no terreno através de algum processo que não provoca a retirada do solo, são elas: estaca pré-moldada de concreto, estaca metálica, estaca de madeira, estaca tipo Franki.

As estacas escavadas são aquelas executadas “in situ” através de perfuração do terreno por um processo qualquer, manual ou mecânico, com remoção de material, com ou sem a utilização de fluido estabilizante (lama bentonita), e utilizando ou não revestimento para proteção do fuste. Como exemplo disso tem-se: estaca tipo Strauss, estaca trado rotativo; estaca hélice contínua, estacas-Raiz.

Sempre que se utiliza estaqueamento é necessário que exista bloco de ligação entre a estrutura e a (as) estaca (as), logo, esse elemento tem importância fundamental na edificação, porém não permite uma inspeção visual quando está em serviço. Por isso é necessário conhecer seu comportamento quando está sobre a ação ou efeito de cargas. Os blocos são estruturas tridimensionais (figura 1), o que torna seu funcionamento complexo.

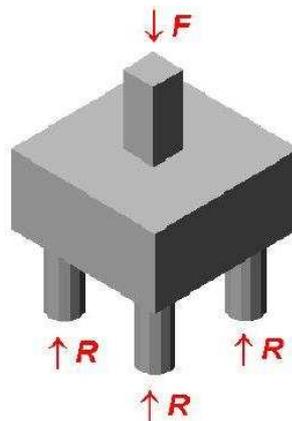


Figura 1: Bloco de coroamento sobre quatro estacas, Munhoz (2004).

A distribuição das estacas no bloco de coroamento deve ser feita de forma que se obtenha segurança e economia. De acordo com o número de estacas por bloco as disposições das mesmas são feitas de maneiras diferentes, como pode ser visto na figura 2.

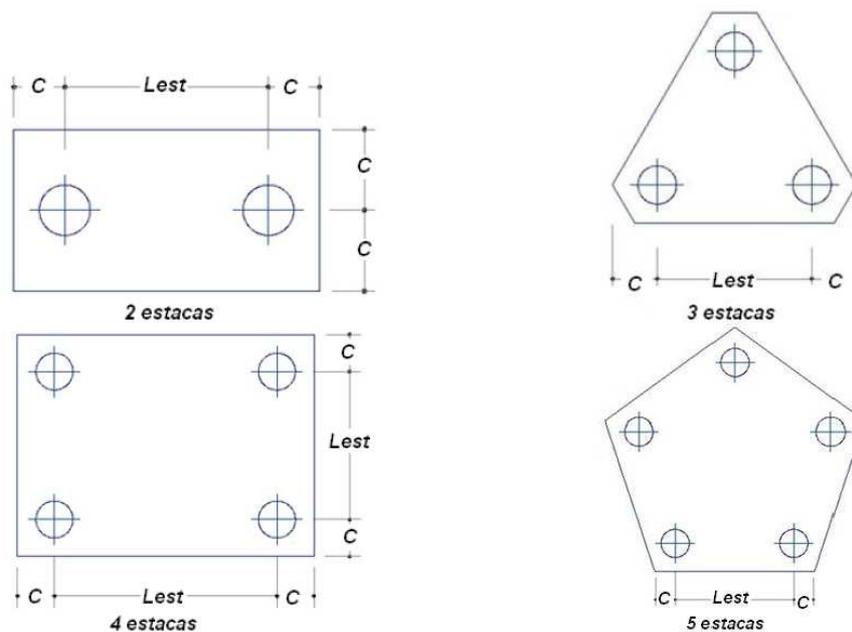


Figura 2: Blocos sobre duas, três, quatro e cinco estacas.

Para uma correta análise comportamental do bloco devem ser determinadas as reações nas estacas. O método normalmente utilizado para o cálculo do estaqueamento é o método da superposição de efeitos, que calcula a ação em cada estaca somando-se os efeitos da ação vertical e dos momentos fletores, oriundos da superestrutura.

Inicialmente os Blocos sobre estacas eram tratados como viga e não existiam teorias para peças curtas onde as zonas de perturbação envolvem praticamente momento fletor e a força cortante. As primeiras pesquisas realizadas foram feitas considerando dois aspectos, análise teórica elástica linear e ensaios experimentais. Sendo o primeiro, dividido em dois métodos: a analogia de bielas e tirantes, BLÉVOT & FRÉMY (1967) e a teoria de viga, CEB-FIP (1970).

BLÉVOT & FRÉMY (1967) realizaram ensaios em modelos de blocos sobre duas, três e quatro estacas totalizando mais de cem blocos, submetidos à ação de força centrada, com a finalidade de estudar os comportamentos destes elementos estruturais, verificando a teoria de bielas e a influencia dos diferentes tipos de arranjos de armaduras.

MAUTONI (1972) realizou ensaio em blocos sobre duas estacas, e suas principais conclusões foram um método para determinar a força de ruína de um bloco e a determinação do mecanismo de colapso.

TAYLOR e CLARKE (1976) ensaiaram blocos com quatro estacas para verificar a influência do tipo do arranjo da armadura no comportamento estrutural do bloco. Os pesquisadores verificaram que a força última pode ser de até 30 % dependendo do tipo de arranjo de armadura.

MIGUEL (2000) realizou ensaio experimental e análise numérica, por meio do método dos elementos finitos, de blocos de concreto armado sobre três estacas, submetidos à ação de força centrada. O objetivo principal era verificar a formação de fissuras e o modo de ruptura. A autora concluiu que o método das bielas desenvolvido por Blévoit & Frémy (1967) mostrou ser conservativo, indicando margem de segurança de 12%.

MUNHOZ (2004) realizou análise numérica computacional de blocos com até cinco estacas, verificando a existência de um fluxo de tensões predominante para as estacas logo abaixo do pilar no mesmo eixo vertical. Sua análise, contudo, não contemplava as não linearidades física e geométrica.

DELALIBERA (2006) em seu trabalho realizou análise experimental e numérica em blocos sobre duas estacas submetidos à ação de força centrada e excêntrica. Foi desenvolvida uma análise numérica tridimensional de blocos levando em consideração as não linearidades físicas do material e geometria do elemento, fissuração do concreto e a influência das armaduras no comportamento do elemento. Com a análise numérica feita por DELALIBERA (2006), foi possível perceber o comportamento e a forma das bielas de compressão e concluir que a geometria dos modelos difere das usualmente sugeridas por diversos autores.

2. OBJETIVOS

O objetivo desse trabalho é elaborar uma rotina computacional (planilha eletrônica) para o cálculo das reações nas estacas em blocos de coroamento sobre uma, duas, três, quatro, cinco e seis estacas, verificando a influência do tipo de estaca, de seu diâmetro e considerando a existência substrato não muito rígido e estacas de grande comprimento. Optou-se em analisar blocos de até seis estacas, pois, para edifícios correntes os blocos com mais de seis estacas são excepcionalidades e tornam-se antieconômicos.

Este trabalho é o primeiro de uma série de três trabalhos, que estão sendo desenvolvidos por outras pesquisas de iniciação científica. Além do cálculo das reações das estacas nos blocos de coroamento (desenvolvido neste trabalho), também serão elaboradas rotinas computacionais para o cálculo da quantidade de armadura necessária para os blocos

sobre estacas e, uma rotina computacional para a verificação das tensões junto às zonas nodais superior (interface pilar-bloco) e inferior (interface bloco-estaca), como também a verificação do fendilhamento (provocado por tensões de tração perpendiculares a biela. Entende-se por biela, o fluxo das tensões de compressão existentes no interior do bloco).

A planilha eletrônica será disponibilizada para o meio técnico e científico, por meio do sítio eletrônico do curso de engenharia civil do campus Catalão, da Universidade Federal de Goiás.

3. METODOLOGIA

Para a obtenção dos esforços axiais nas estacas existem vários métodos, sendo que todos eles são baseados em hipóteses simplificadas, a exemplo disso tem-se o método de SCHIEL (1957) que adota as seguintes hipóteses: o bloco é considerado infinitamente rígido, ou seja, suas deformações podem ser desprezadas diante da grande deformação das estacas; o material da estaca é considerado elástico e linear, portanto obedece a lei de Hooke; a reação em cada estaca é proporcional à projeção do deslocamento do topo da estaca sobre o eixo da mesma, antes do deslocamento. O método do professor SCHIEL (1957) é denominado de “Estática dos Estaqueamentos” e é muito utilizado no meio técnico. Contudo, este método apresenta resultados satisfatórios, quando as estacas apresentam grandes comprimentos e são apoiadas em substratos não muito rígidos, DELALIBERA (2006).

No Método da Superposição, as estacas devem ser verticais e paralelas, situação denominada *estaqueamento* paralelo, ter o mesmo diâmetro, comprimento e serem do mesmo tipo. Na figura 3 tem-se a representação do método da superposição.

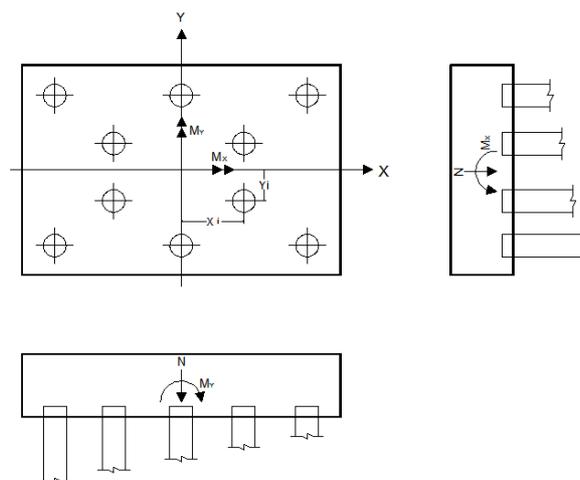


Figura 3: Método da Superposição ALONSO (1983).

Para ser válido o procedimento, os eixos x e y devem ser os eixos principais de inércia. Assim a força resultante P_i em uma estaca genérica i com coordenadas (x_i, y_i) é dada por:

$$P_i = \frac{N}{n} \pm \frac{M_y x_i}{\sum x_i^2} \pm \frac{M_x y_i}{\sum y_i^2} \quad (\text{Equação 1})$$

Onde N é a carga vertical resultante, n é o número de estacas, M_x e M_y os momentos atuantes em torno do eixo x e y respectivamente.

A adoção do sinal positivo na equação 1 baseia-se na orientação da figura 3.

Só são aceitas reações nas estacas no máximo iguais às forças admissíveis geotécnicas de tração e compressão nas estacas. Este método nada mais é do que aplicar a fórmula de flexão composta da Resistência dos Materiais, pelas hipóteses serem as mesmas.

4. RESULTADOS

4.1. NÚMERO DE ESTACAS

Primeiramente, calcula-se a carga média de todos os pilares (P_{MED}) e divide-se por três, para que boa parte dos blocos tenham 3 estacas, pois estes blocos apresentam estabilidade adequada e são econômicos. Com isso, a carga de trabalho de Projeto (\bar{P}_e) será dada por:

$$\bar{P}_e = \frac{P_{MED}}{3} \quad (\text{Equação 2})$$

Determinada a carga de trabalho \bar{P}_e de projeto, o número n de estacas necessário para transferir a carga vertical P de um pilar para o solo, será:

$$n = \frac{1,10 \cdot P}{\bar{P}_e} \quad (\text{Equação 3})$$

Onde 1,10 é um coeficiente que leva em conta o peso próprio do bloco.

Observações:

- a) O número de estacas será aproximado para o número inteiro mais próximo do valor calculado;
- b) Em princípio, o número de estacas deverá ser $n \geq 3$, para que o bloco tenha rigidez em relação a dois eixos ortogonais;
- c) Poderá ser utilizado $n \leq 3$ desde que exista algum elemento estrutural que confira rigidez suficiente na direção mais fraca, como por exemplo, uma viga baldrame ou alavanca (Figura 4);
- d) É conveniente evitar blocos com mais de 5 ou 6 estacas, por questões econômicas;
- e) Num mesmo bloco devem ser utilizadas estacas com mesma carga de trabalho.

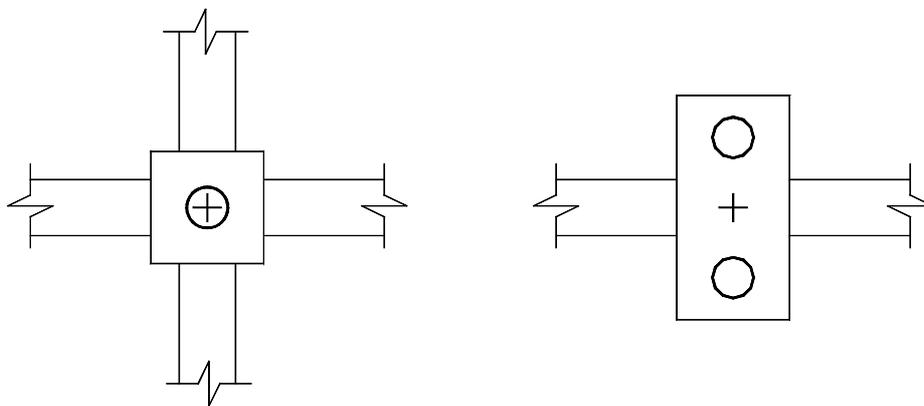


Figura 4: Bloco com uma ou duas estacas.

4.2. DIMENSÕES DOS BLOCOS

Calculado o número de estacas, no caso de blocos rígidos, serão obedecidas às seguintes relações entre as dimensões:

A distância mínima ℓ entre os eixos das estacas será calculada considerando o tipo de estaca adotado na fundação e o formato da mesma, sendo que:

Estacas de seção circular: pré-moldada: $2,5 \cdot \phi_e$; moldada "in loco": $3,0 \cdot \phi_e$.

Estacas de seção quadrada: 1,75 vezes a diagonal da estaca.

Na geometria em planta o contorno do bloco deverá acompanhar a forma gerada pela disposição das estacas, de modo que envolva suficientemente as estacas com um mínimo de 15 centímetros entre a face do bloco e a face da estaca.

4.3. DESENVOLVIMENTO DA ROTINA COMPUTACIONAL

A rotina computacional foi desenvolvida em uma planilha eletrônica, onde foram implementadas as equações descritas anteriormente, sendo que durante a programação foi desenvolvida uma interface por onde serão incluídas as variáveis: tipo de estaca, diâmetro, dimensões do pilar que chega ao bloco, esforços solicitantes, características do concreto, coeficientes de peso próprio e de segurança devido a não ocorrência de inspeção visual, sendo que essa interface pode ser vista na figura 5.

Ressalta-se que a programação foi desenvolvida utilizando “macros”, portanto para o correto funcionamento da rotina essa opção deverá estar habilitada, na planilha.

Outro ponto a ser observado é que em função do projeto ser desenvolvido simultaneamente à suas etapas subsequentes, foi feito um arranjo que considera as ações horizontais como sendo momento fletor secundário, que é o produto dessas forças, pelo seu respectivo braço de alavanca, ou seja, a força horizontal multiplicada pela altura do bloco.

Depois de feita a entrada de dados (regiões destacadas em verde na figura 5), automaticamente será calculado o número necessário de estacas para resistir às cargas, logo em seguida, seleciona-se se o botão próxima etapa, novamente tem-se uma tela de interação com o usuário, onde deverá ser escolhido o formato do bloco (figura 6), atentando unicamente para a quantidade de estaca (s) calculada na etapa anterior.

Entrada de Dados		Resultados Parciais	Pilar
Força Normal (KN):	400	Quantidade de Estacas	0
Mx (KN.m):	100		
My (KN.m):	100		
Fx (KN):	50		
Fy (KN):	50		
Dimensão a do pilar (cm):	30		
Dimensão b do pilar (cm):	30		
Inclinação θ da biela ($45^\circ \leq \theta \leq 55^\circ$):	45		
fck do Concreto (MPa):	35		
Coefficiente P.P.:	1,1		
Coefficiente α :	1,2		
Estaca:	Pré Moldada		
Tipo de Estaca:	Vibrada Concreto		
Diâmetro Adotado (cm):	33		
Carga Nominal (KN):	700		
Carga Admissível Geotécnica (KN):	300		
		ETAPA ANTERIOR	
		PRÓXIMA ETAPA	

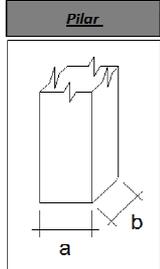


Figura 5: Interface de entrada de dados.

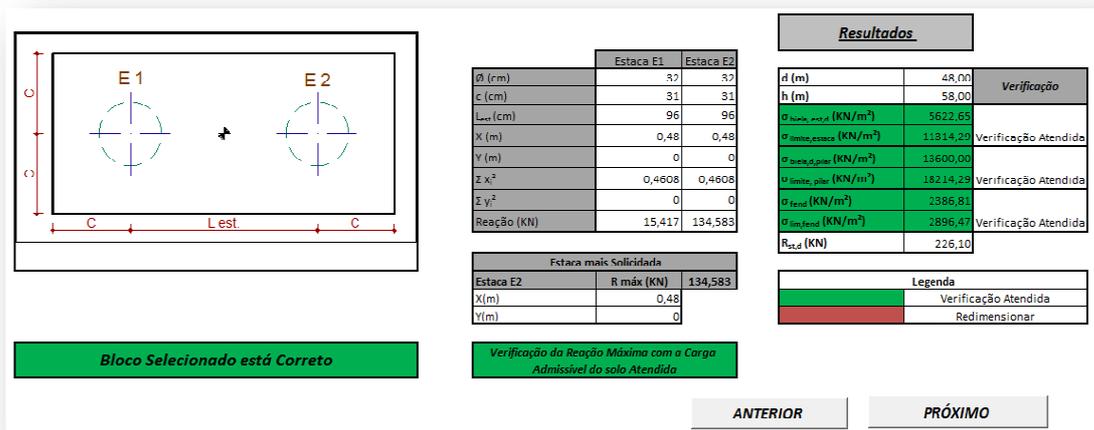


Figura 9: Resultado final da planilha.

6. CONCLUSÃO

Este projeto é o primeiro de uma série de três projetos apresentados junto ao projeto de pesquisa: Projeto, dimensionamento e verificação de blocos sobre estacas. Sendo que a obtenção das reações das estacas será utilizada nos projetos seguintes, para a determinação de esforços nas bielas de compressão, e posterior a essa etapa, será dimensionada as armaduras de aço para que o bloco de coroamento possa suportar a solicitação requerida deste elemento estrutural.

Com o desenvolvimento da pesquisa e implementação computacional, desenvolveu-se uma rotina computacional voltada à profissionais e alunos que trabalhem com projetos de estruturas e fundações, a fim de auxiliá-los nos cálculos e verificações existentes nos blocos de ligação entre a (s) estaca (s) e a estrutura.

A próxima etapa desta pesquisa, será a desenvolvimento de outra rotina computacional, para o cálculo do comprimento do fuste necessário para que a estaca, suporte a reação máxima, calculada em etapa anterior.

A rotina final desenvolvida na planilha eletrônica será disponibilizada no sítio do curso de Engenharia Civil do campus Catalão.

7. REFERÊNCIAS

ALONSO, U. R. (1983). *Exercícios de Fundações*. Editora Edgard Blücher Ltda.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (2007). *NBR 6118 – Projeto de Estruturas de Concreto*, Rio de Janeiro.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (2010). *NBR 6122: - Projeto e execuções de fundações*. Rio de Janeiro.

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, São Carlos.

DELALIBERA, R. G. (2006). *Análise Numérica e Experimental de Blocos de Concreto Armado Sobre Duas Estacas Submetidas à Ação de Força Centrada e Excêntrica*. Tese (Doutorado). Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlo;

SCHIEL, F. (1957). *Estática das construções*. Publicação Nº. 10, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos.

RAMOS, F. A. C. (2007). *Análise Numérica de Blocos sobre dez estacas: Cálculo das Reações de apoio*. São Carlos. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

BLÉVOT, J.; FRÉMY, R. (1967). *Semelles sur piex. Analles d Institut Techique du Bâtiment et des Travaux Publics*, Paris, v. 20, n. 230, p. 223-295, fev.

MIGUEL, M. Giongo, J. S.; Takeya, T. (2000). *Análise experimental de blocos sobre três estacas*. XXIX Jornadas Sul-Americanas de Engenharia Estrutural. CDROM, Brasília.

MAUTONI, M. (1972). *Blocos sobre dois apoios*. São Paulo, Grêmio Politécnico;