ANÁLISE DA RELAÇÃO CUSTO-BENEFÍCIO ENTRE ESTACA QUADRADA, ESTACA CIRCULAR E ESTACA ESTRELA

COST-BENEFIT ANALYSIS BETWEEN SQUARE PILE, CIRCULAR PILE AND STAR PILE.

Guilherme Volpe Rodrigues, Pedro Luiz Borges Freire, André Luís Gomes Paes

Universidade Santa Cecília, Faculdade de Engenharia, Curso de Engenharia Civil
E-mail para contato: pedroluizfreire@gmail.com

RESUMO – No ramo da construção civil, com o passar do tempo, podemos observar significativas transformações nas tecnologias utilizadas no setor, como por exemplo nas fundações. Acompanhando estas mudanças, surgiu no mercado um novo modelo de estaca de concreto armado com seções transversais na forma de estrela. Portanto, este trabalho tem como objetivo analisar e comparar o custo-benefício em função da resistência e valor de mercado entre a estaca estrela, a estaca quadrada e a estaca circular. Para realização desta pesquisa, estudou-se outras literaturas que se basearam no método de Decourt-Quaresma. Após efetuação dos cálculos se concluiu que a estaca estrela não apresenta um diferencial positivo no mercado, sendo inferior no quesito custo-benefício as outras estacas.

Palavras-chave: Fundações; Estaca Estrela; Estaca Quadrada; Estaca Circular; Custo-Benefício.

ABSTRACT – In the field of civil construction, over time, we can observe significant transformations in the technologies used in the sector, such as foundations. Following these changes, a new model of reinforced concrete pile with cross-sections in the shape of a star appeared on the market. Therefore, this work have as objective to analyze and compare the cost-benefit in function of strength and market value between star piles, square piles and circular piles. To carry out this research, other literatures that were based on the Decourt-Quaresma method were studied. After the calculations, it was concluded that the star pile does not present a positive differential in the market, being inferior in the cost-benefit aspect to the other piles.

Keywords: Foundations; Star Piles; Square Piles; Circular Piles; Cost-Benefit.

1 INTRODUÇÃO

De acordo com Vargas (1982), fundação é um termo utilizado na engenharia civil para determinar as estruturas responsáveis por distribuir as solicitações das construções ao solo. Existem vários tipos de fundações e são projetadas levando em consideração a carga que recebem e as características geotécnicas dos solos que as suportarão.

Conforme Campos (2015), as fundações em estacas têm a finalidade de transmitir as cargas a pontos resistentes do solo por meio de sua extremidade inferior ou do atrito lateral estaca/ solo.

Segundo Campos (2015), para tal, existem dois grupos: estacas pré-moldadas e estacas moldadas in loco. A primeira compreende estacas de madeira, de concreto e metálico e a segunda é estaca do tipo Broca, Strauss, Franki, Raiz, Hélice Contínua e escavada com lama.

Essas devem seguir todas as especificações da Norma Brasileira (NBR) 6118, Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) 2014 e NBR 9062 (ABNT 2017), tratando estas sobre o processo de execução e estudo sobre o concreto a ser utilizado além da análise de sua resistência.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

Para a análise dos dados foi utilizado uma revisão de literatura baseada em estudos e artigos desenvolvidos por professores na Universidade Santa Cecília, além dos trabalhos mencionados posteriormente na bibliografia.

Consoante Martins, Marques e Rebouças (2017), no artigo estudado foram realizados comparativos através do Método de Decourt-Quaresma (1978), que visa à determinação da carga de ruptura de estacas, através dos dados fornecidos por Sondagens à Percussão (SPT).

$$Qadm = \frac{Ql\ kN}{1{,}3} + \frac{Qp\ kN}{4} = kN \quad (1)$$

$$Ql = p * L * q1 = kN \quad (2)$$

$$q1 = \frac{N}{3} + 1 = \frac{kN}{m^2} \quad (3)$$

$$Qp = Ap * Np * K \quad (4)$$

Sendo:

Qadm a carga admissível da estaca (kN)
Ql a parcela da carga de ruptura resultante do atrito ao longo do fuste (kN)
Qp a parcela da carga de ruptura resultante da ponta da estaca (kN)
p perímetro da estaca (m)
L o comprimento da estaca (m)
q1 o atrito unitário (kPa)
N o número de golpes médios ao longo do fuste (golpes)
Np o número de golpes médio junto à ponta (golpes)
Ap a área da ponta da estaca (m²)
K o fator característico do solo (kPa) conforme mostrado no Quadro 1.

Quadro 1: Fator característico do solo

Tipo de solo	Fator K (kPa)
Argila	107
Silte argiloso	178
Silte arenoso	222
Areia	356

Os dados utilizados no método foram extraídos da sondagem de uma obra executada na cidade de Praia Grande/SP, conforme Figura 1.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

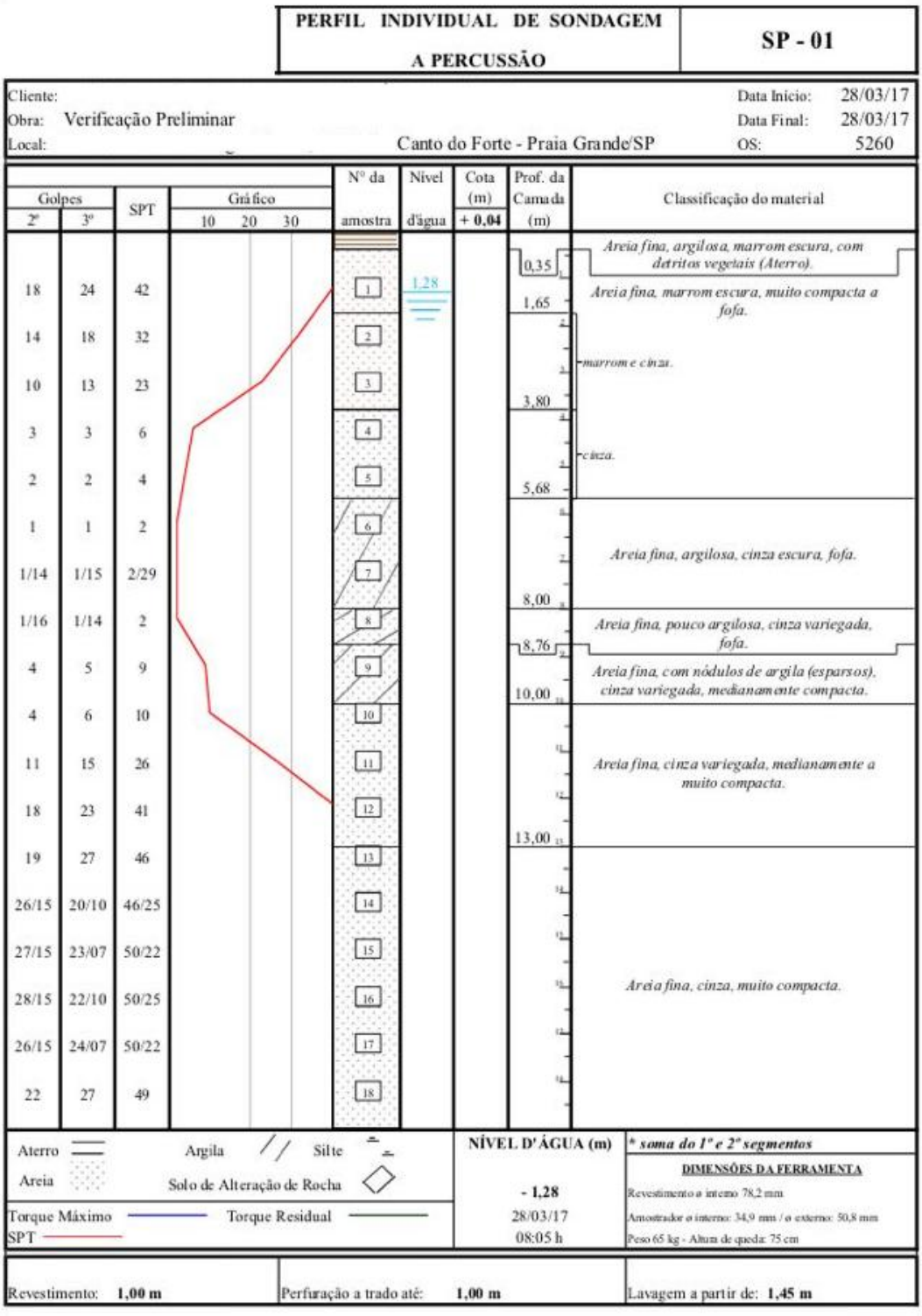
3.1 ESTACAS PRÉ-MOLDADAS

De acordo com Alonso (2012), de todos os materiais de construção, o concreto é um dos que melhor se presta à confecção de estacas e em particular das pré-moldadas pelo controle da qualidade que se pode exercer tanto na confecção quanto na cravação.

Segundo Fagundes (2016), estaca pré-moldada ou pré-fabricada em concreto é uma estaca constituída em segmentos de concreto pré-moldado ou pré-fabricado inserida no terreno por golpes de martelo de gravidade, de explosão, hidráulico ou martelo vibratório.

Como exemplo de estaca pré-moldada em concreto temos a quadrada, a circular e a estrela, que serão abordadas detalhadamente mais adiante.

Figura 1: Sondagem da cidade de Praia Grande-SP



Fonte: Martins, Marques e Rebouças, 2017

3.2 TIPOS DE ESTACAS: QUADRADAS E CIRCULARES

3.2.1 Estaca Quadrada

De acordo com Paes (2025), a estaca quadrada, conforme a Figura 2, é um dos modelos mais antigos e é utilizada em diversas obras até hoje devido a sua capacidade de carga e comportamento no solo. A estaca quadrada continua sendo objeto de obra muito utilizado por alguns construtores, por suas características muito conhecidas e assim muitos optam por este modelo mais tradicional. Algumas das empresas que se destacam no ramo são: Benaton, Protendit, Cassol Pré-Fabricados e Prefaz.

Figura 2: Estacas de concreto armado e seção quadrada

Fonte: www.serki.com.br



Segundo Raposeiro da Silva (2015), as estacas são fabricadas para suportar esforços de flexão, horizontal e de tração e os dados são fornecidos pelos fabricantes. Todas as estacas são fabricadas com características mínimas a suportar inicialmente o processo de transportes e cravação no terreno em obra, a fim de evitar danos nessas etapas de serviço e não sendo incluso nesse valor de resistência, as cargas da estrutura e capacidade de serviço. Essas características mínimas são obtidas em provetes cilíndricos de 450MPa C45/55.

As fabricantes fornecem informações sobre as características das estacas, que são necessárias para realização de cálculos em projetos, conforme mostra a Figura 3, referente à estaca quadrada.

Figura 3: Tabela com dados específicos de estacas quadradas

ESTACA	Área Cheia (cm²)	Área de Concreto (cm²)	Perímetro (cm)	Furo Central (cm)	Espessura da Parede (cm)	Massa (Kg / m)	Compressão Admissível (Nk) (tf)	Tração Admissível (Nk) (tf)
PRODUÇÃO NORMAL - QUADRADAS MACIÇAS								
17 x 17	289	289	68	X	X	71	35	5.5
20 x 20	400	400	80	X	X	98	50	7.9
23 x 23	529	529	92	X	X	130	69	7.9
26 x 26	676	676	104	X	X	166	90	10.4

Fonte: www.benaton.com.br

3.2.2 Estaca Circular

Segundo a fabricante SCAC Soluções em Estruturas e Engenharia, a estaca circular de concreto armado segundo a Figura 4 é uma estaca bem aceita pelos engenheiros de fundação, devido a sua grande área de contato com o solo proporcionado pela sua geometria circular. As estacas circulares podem ser plenas ou vazadas. A estaca vazada proporciona uma redução de peso e facilita o seu transporte.

Figura 4: Estacas de concreto armado e seção circular



Fonte: http://scac.com.br/produtos/

Segundo a Benaton Fundações, a estaca passa por processo de qualidade que é controlado e fiscalizado por laboratório próprio desde a sua concretagem até a cura do concreto para obtenção da resistência. Sendo assim, a estaca deve resistir os esforços de manuseio, transporte utilização e cravação no solo.

Também segundo a Benaton Fundações, a estaca tem a função de transmitir a carga que recebe para solos mais resistentes em sua extremidade inferior evitando recalques e o processo de cravação das estacas pode ser feito através de bate-estaca, mas este processo não pode ser utilizado em qualquer lugar, pois, se for usado ao lado de residências pode ocorrer patologias em suas construções.

Os valores correspondentes as características da estaca circular são fornecidos pela fabricante, demonstrado na Figura 5.

Figura 5: Tabela com características técnicas

Fonte: http://www.benaton.com.br/html/estacas-benaton.htm

PRODUÇÃO NORMAL - CIRCULARES VAZADAS								
Ø 33 17,8	855	607	104	17,8	7,6	149	83	10,9
Ø 38 20,3	1134	810	119	20,3	8,8	198	116	10,9
Ø 42 20,3	1385	1061	132	20,3	10,8	260	154	13,7
Ø 50 25,4	1963	1457	157	25,4	12,3	357	213	19,7
Ø 60 35,6	2827	1834	188	35,6	12,2	449	266	31,3
PRODUÇÃO ESPECIAL - PRODUZIDAS SOB DEMANDA								
30x30 16,5	900	686	120	16,5	6,7	168	94	10,4
Ø 33	855	855	104	X	X	209	116	13,8

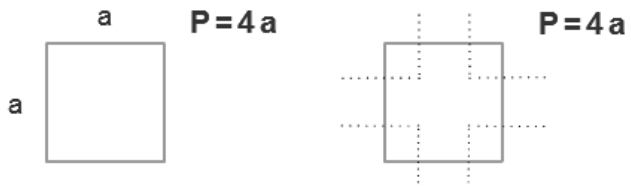
3.3 ESTACA ESTRELA

De acordo com Paes (2025), atualmente as estacas pré-moldadas de concreto têm uma grande utilização na construção civil, porém devido às limitações na interação da estaca junto ao solo por difícil cravabilidade leva-se em consideração somente o terreno, mesmo o elemento estrutural não atingindo sua carga máxima.

Diante disso, segundo dados da empresa Foá, afim de aproveitar completamente o material, surgiu a ideia de a partir de um quadrado e retirando-se os quatro vértices, diminui-se a área da figura, no entanto seu perímetro não é reduzido como ilustra a Figura 6.

Figura 6: Perímetro da estaca estrela

Fonte: www.foa.com.br



Portanto, conforme defendido pela empresa citada anteriormente, otimizar a relação do perímetro com área da seção por ser mais econômico e aumentar a reação por atrito do solo, conforme figura 7 além de uma sensível melhora na cravabilidade justo que em sua instalação desloca menores volumes de solo dos que se comparam a ela em diâmetro circunscrito.

Figura 7: Estaca seção estrela

Fonte: www.foa.com.br



Segundo a empresa Foá, o concreto dessa estaca possui Resistência Característica do Concreto (fck) de 40 Mega Pascal (Mpa). A estaca estrela tem dez seções que podem ser: ETR 229, ETR 269, ETR 298, ETR 360, ETR 406, ETR 445, ETR 525, ETR 605, ETR 707 e ETR 809, cada uma delas com suas características estruturais como mostra a Figura 8.

Figura 8: Características estruturais da estaca estrela

Fonte: www.foa.com.br

Seção	Diâmetro do Circ. Circunscrito cm (D)	Área Circunscrita cm2 (Acr)	Área de Concreto cm2 (Ac)	Cargas Admissíveis Compressão tf (Nc)	Tração tf (Nt)	Perímetro Colado cm (p1)	Perímetro Circunscrito cm (p2)	Distância Mínima entre Eixos cm	Massa kg/m
ETR 229	22.9	411.8	278.0	36.0	5.8	84.1	72.1	60	66
ETR 269	26.9	568.3	368.5	49.0	5.8	93.1	84.6	65	90
ETR 298	29.8	697.4	445.0	60.0	8.7	101.8	93.7	75	106
ETR 406	40.6	1294.6	676.0	95.0	10.9	141.8	127.6	100	159
ETR 445	44.9	1584.1	856.5	127.0	15.2	162.0	141.1	110	201
ETR 525	52.5	2164.7	1055.7	186.0	14.9	178.9	164.9	130	250
ETR 605	60.5	2903.3	1343.0	231.0	14.9	219.0	191.0	150	325

Suas cargas são calculadas de acordo com a NBR 6118 – Projetos de estruturas de concreto e a NBR 9062 – Projeto e execução de estruturas de concreto-moldado.

3.4 CÁLCULO

Os cálculos são baseados em seções de áreas aproximadas conforme dados disponibilizados pelas empresas fabricantes.

SEÇÃO TRANSVERSAL DAS ESTACAS E GRUPOS

a) Quadradas – Grupo 1 (Empresa: Prefaz)

Modelos: 30 x 30 e 40 x 40 (cm)

b) Circulares – Grupo 2 (Empresa: Benaton Fundações)

Modelos: ϕ33cm e ϕ38cm

c) Estrelas – Grupo 3 (Foá Engenharia e Pré-fabricados)

Modelos: ϕ29,8cm e ϕ40,6cm

As estacas possuem as seguintes características:

Concreto armado

Fck= 40000 (kPa)

L= 12m (comprimento da estaca)

Analisando os estudos de Martins, Marques e Rebouças, 2017, obteve-se os resultados apresentados na Figura 9, utilizando-se da equação 1 a 4.

Figura 9: Resultados das cargas sobre as estacas

Fonte: Martins, Marques e Rebouças, 2017

S.T	Modelo 1	modelo 2
Quadrada	40x40	30x30
	Qadm= 1119,25 KN	Qadm= 739,25 kN
Circular	38	33
	Qadm= 803,33 kN	Qadm=635,38 KN
Estrela	40,6	29,8
	Qadm= 743,56 kN	Qadm= 520,26 kN

Baseando-se na pesquisa feita com as empresas fabricantes de estaca citadas nesse trabalho, o custo de cada uma delas por metro linear, tendo seu resultado encontrado no Quadro 2.

Quadro 2: Custo da estaca por metro linear (R$/m)

Fonte: Martins, Marques e Rebouças, 2017

Dimensão da estaca (cm)	**Quadrada (R$)**	**Circular (R$)**	**Estrela (R$)**
30x30	100	-	-
40x40	152	-	-
33	-	33	-
38	-	38	-
29,8	-	-	57,90
40,6	-	-	88,81

4 CONCLUSÃO

Analisando resultados no estudo a partir do método de Decourt-Quaresma, foi possível concluir que dentre as classes analisadas a que possuí maior capacidade de carga é a estaca de seção quadrada e a com menor capacidade é a estrela. E observando-se o custo a circular é mais econômica, com a quadrada apresenta maiores custos. Deste modo foi concluído que a seção circular apresenta o melhor custo-benefício em nosso país, com a estaca estrela não demonstrando um grande diferencial positivo em relação as demais. Agradecemos ao nosso orientador André Luís Gomes Paes pelo apoio no decorrer do projeto e também agradecemos às nossas famílias e a Deus pelo apoio e força no decorrer do curso, já projetando a execução de projetos futuros.

5 REFERÊNCIAS

Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 6118: Projeto de estruturas de concreto. Rio de Janeiro, 2023.

Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 9062: Projeto e execução de estruturas de concreto pré-moldado. Rio de Janeiro, 2017.

Alonso UR. Fundações Teoria e Prática. São Paulo: Pini, 2012.

Benaton Fundações. Tipos de Estacas. São Paulo. Disponível em: https://benaton.com.br/estacas-pre-moldadas/. Acesso em 9 de setembro de 2025.

Campos JC. Elementos de fundações em concreto. São Paulo: Oficina de Textos, 2015.

Estacas FOÁ. Estacas estrela. São Paulo. Disponível em: http://foa.com.br/produtos/estacas-estrela/. Acesso em 9 de setembro de 2025.

Fagundes, C.A. Estudo comparativo da fundação de um edifício modelo: estaca rotativa x pré-moldada. 2016. Universidade Regional do Noroeste do Rio Grande do Sul, Santa Rosa.

Martins JC, Marques IB, Rebouças GL. Estudo comparativo entre o emprego de estaca estrela, estaca circular e estaca quadrada. 2017. Universidade Santa Cecília. Santos.

Paes, AL. Análise comparativa entre a utilização de estacas: estaca estrela, estaca circular e estaca quadrada. 2025. Faculdade Única de Ipatinga, Ipatinga.

Raposeiro da Silva, P. Tecnologia da construção e dos sistemas construtivos I: Estacas cravadas – pré-fabricadas.2015. Mestrado em engenharia civil, Instituto Superior de Engenharia de Lisboa, Portugal.

SCAC Soluções em estruturas e engenharia. SCAC: Estacas centrifugadas. São Paulo. Disponível em: https://issuu.com/scacengenharia/docs/catalogotecnicoestacascentrifugadas. Acesso em 9 de setembro de 2025.

Vargas, M. Fundações de Edifícios. São Paulo: Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 1982.