

## **ESTUDO DE VIABILIDADE ECONÔMICA DE DIFERENTES TIPOS DE FUNDAÇÃO EM EDIFÍCIO EM TERESINA – PI**

SARA REIS ARAUJO<sup>1\*</sup>, MARIA DE LOURDES TEIXEIRA MOREIRA<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Engenheira civil, UFPI, Teresina-PI, sarareis.ar@gmail.com

<sup>2</sup> Dr. Professora Engenharia civil, UFPI, Teresina-PI, mmoreira@ufpi.edu.br

Apresentado no

Congresso Técnico Científico da Engenharia e da Agronomia – CONTECC'2016  
29 de agosto a 1 de setembro de 2016–Foz do Iguaçu, Brasil

**RESUMO:** O estudo de viabilidade econômica de um projeto de fundações é necessário ao processo de concepção deste, tendo em vista a avaliação da exequibilidade da implantação de cada alternativa de fundação, quando a obra, por suas características, permite uma variedade de soluções, o que é uma situação recorrente. Visto isso, o presente estudo buscou identificar o tipo de fundação mais viável economicamente em um edifício em Teresina-PI, através de uma metodologia que engloba a restrição de opções baseada na viabilidade técnica, o dimensionamento e a comparação de custos de diferentes tipos de fundações, superficiais e profundas. Esta comparação foi realizada a partir da análise de custos para cada tipo de fundação escolhido na avaliação de viabilidade técnica, considerando as características da região quanto aos preços, à disponibilidade dos materiais, de mão de obra qualificada para o método construtivo, e de tecnologia. Dessa forma, este trabalho englobou tanto a avaliação de critérios técnicos quanto econômicos no intuito de identificar o tipo de fundação mais viável economicamente no edifício estudado.

**PALAVRAS-CHAVE:** Fundações. Estacas. Viabilidade Econômica.

### **ECONOMIC FEASIBILITY STUDY OF DIFFERENT TYPES OF FOUNDATIONS IN BUILDING IN TERESINA-PI**

**ABSTRACT:** An economic feasibility study of a foundation project is required for its conception process, focusing on assessment of the feasibility of the deployment of each foundation alternative, when the work allows a variety of solutions, which is a recurring situation. With this objective, this present study sought to identify the foundation type more economically viable for a building in Teresina-PI using a methodology which includes the restriction of options based on the technical feasibility, the dimensioning and the cost comparison of different foundation types, shallow and deep. This comparison was performed from the analysis of costs for each type of the foundation chose by the technical feasibility assessment, considering the characteristics of the region as for the prices, for the availability of materials, qualified labor for the constructive method, and technology. Thus, this work encompassed both the assessment of technical and economic criteria in order to identify the most economically type of foundation in the studied building.

**KEYWORDS:** Foundations. Piles. Economic Viability.

### **INTRODUÇÃO**

No processo de concepção de projetos de fundações, as alternativas são impostas pelas condições das obras. Condições estas que tornam a melhor solução, para os mesmos esforços nas fundações, variável ao ser analisada em diferentes locais e épocas.

São poucos os casos em que apenas as características topográficas e geológicas dos terrenos não permitem mais de uma solução de fundação, fazendo necessária a avaliação de outros elementos condicionantes, como a facilidade de acesso de equipamentos, transporte, ocorrência de lâmina d'água, e características das construções vizinhas.

Partindo da análise das condições da obra, o presente estudo tem a finalidade de promover a investigação da viabilidade econômica de alternativas de fundações superficiais e profundas em particular de um edifício localizado na cidade de Teresina-PI.

Segundo Limmer (2008) a etapa de verificação da viabilidade técnica e econômica de um projeto é a fase de avaliação da exequibilidade deste considerando os recursos tecnológicos disponíveis e a relação custo benefício a ser obtida quando da utilização do produto resultante do projeto. Após a avaliação de viabilidade econômica é possível desenvolver um modelo preliminar de projeto que permitirá conhecer as características de sua execução.

Embora os resultados deste estudo não possam ser generalizados, mesmo para outros edifícios da região, pretende-se apresentar uma metodologia de escolha dos tipos de fundações mais adequadas por meio de um estudo que contenha uma restrição de opções baseada na viabilidade técnica, no dimensionamento, no levantamento de custo de serviços, materiais, e equipamentos para cada tipo de solução.

Depois de escolhidas as fundações consideradas mais viáveis tecnicamente, a análise de custos levou em consideração as características da região quanto aos preços, à disponibilidade dos materiais, de mão de obra qualificada para o método construtivo, e de tecnologia. Com isto o estudo busca retratar as condições e dificuldades para a implantação de diferentes tipos de fundação em obras da cidade, e de como estas dificuldades influenciam economicamente na decisão pelo tipo de fundação em Teresina.

## **MATERIAL E MÉTODOS**

O edifício estudado é um edifício multifamiliar localizado em uma Zona Residencial ZR3, caracterizada por ocupação de média densidade e lotes de médio porte de acordo com a lei complementar N° 3.560, que define a organização do espaço urbano de Teresina.

Os dados fornecidos do edifício, necessários para a escolha dos tipos de fundação analisados e o dimensionamento destes, foram os estudos geotécnicos, constituídos de perfis resultantes de dois furos de sondagem à percussão e dois furos de sondagem mista; os valores característicos dos carregamentos solicitantes nas fundações, expostos; também a planta de locação e o detalhamento das sapatas, as quais são o tipo de fundação existente no edifício.

O perfil de sondagem mista número um, logo após aproximadamente 1,5 metros de profundidade apresentou uma camada de aproximadamente três metros de argila mole inviabilizando assim a fundação por estacas Strauss, por causa do seu método executivo.

Outra estaca não escolhida neste estudo foi a estaca Franki, que é um tipo de fundação cuja execução causa vibrações excessivas, inadequadas para a zona onde está localizado o edifício. Também seria necessária a adoção de camisa perdida aumentando assim o custo.

Neste caso a estaca raiz tem as vantagens de não provocar vibrações nem poluição sonora à vizinhança. Uma desvantagem é o grande despejo de água no terreno.

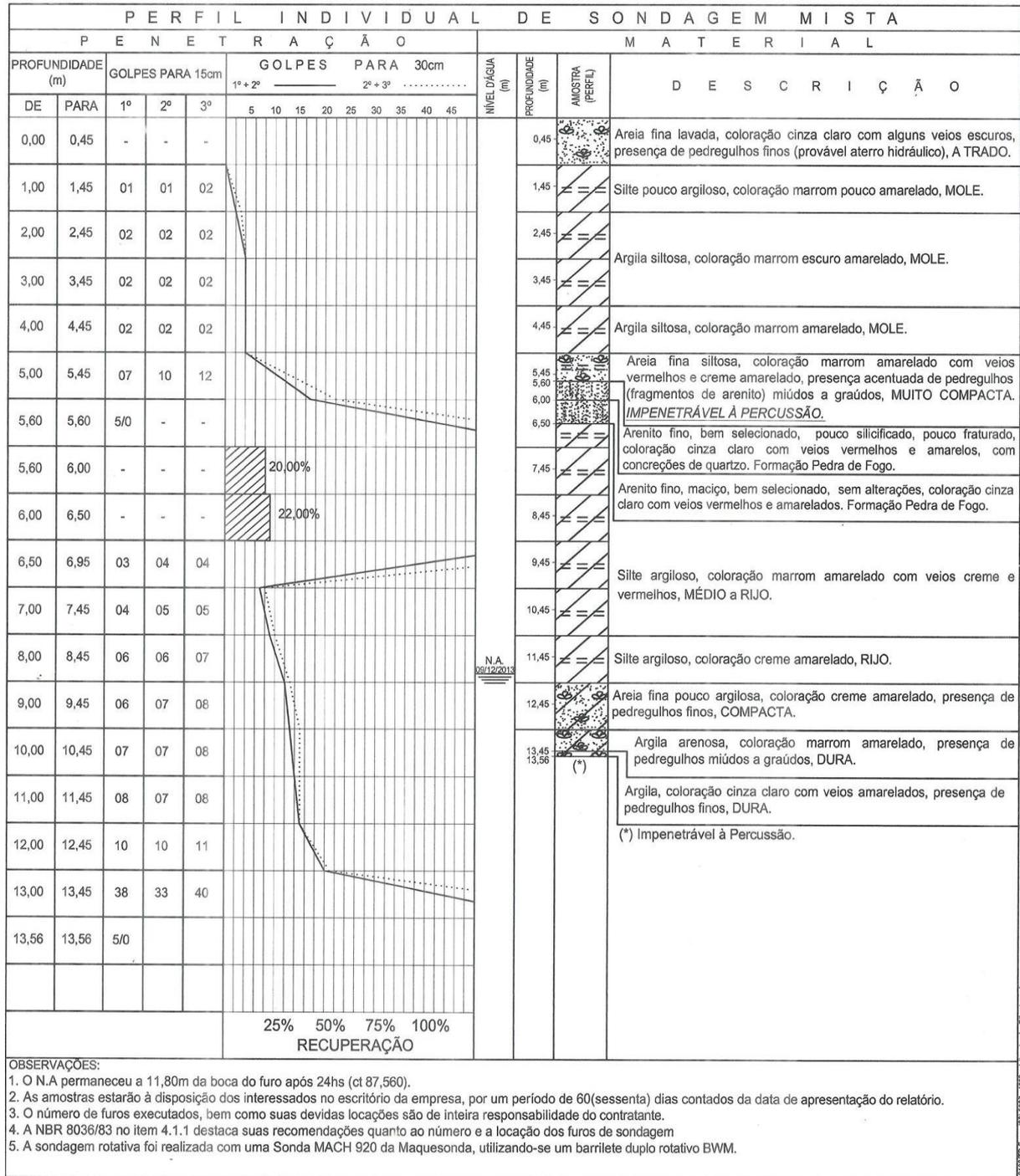
Optou-se por adotar estacas pré-moldadas de concreto, porém a aproximadamente 4,50 metros de profundidade da cota do pavimento do subsolo está presente uma camada com presença acentuada de pedregulhos seguida de uma camada de arenito. Este aspecto do solo pode ocasionar quebras neste tipo de estaca, por isso adotou-se uma dimensão de 3 metros para a estaca, para evitar que sua profundidade somada à do bloco chegasse até a camada pedregulhosa.

Ao calcular a capacidade de carga da estaca pré-moldada nesta profundidade pelo método de Décourt e Quaresma, não foi obtido o resultado esperado. A capacidade de carga da estaca de seção quadrada de 40 x 40 cm resultou em 500,18 kN subestimando assim a resistência do material da estaca nessa dimensão que vale 700 kN e fazendo necessária a utilização de no mínimo treze estacas para o pilar solicitado pela maior carga.

Tendo em vista as considerações acima, os tipos de fundação escolhidos para o dimensionamento foram tubulões e estacas metálicas. O emprego de tubulões foi motivado pela possibilidade de escavação através da camada de arenito e a possibilidade da execução de tubulão a céu aberto, já que a profundidade projetada destes não atingiu o nível de água. O uso de estacas metálicas foi influenciado por sua alta capacidade de carga e pela possibilidade de ultrapassar sem quebras as camadas de solo pedregulhoso e de arenito.

Abaixo o perfil de sondagem mista 1. Um cuidado tomado na análise dos perfis de sondagem foi considerar a existência de um pavimento de subsolo com profundidade de 2,4 metros abaixo do nível de referencia da sondagem.

Figura 1. Perfil de sondagem mista 1.



O método utilizado para estimar a capacidade de carga das estacas foi o de Aoki e Velloso, mediante o qual foi estimada a mesma capacidade de ponta ( $Q_p$ ) para as estacas nas duas profundidades, a partir da média dos valores dos dois perfis de sondagem mista para a primeira camada impenetrável à percussão. A capacidade de carga por atrito lateral ( $Q_s$ ) foi calculada para cada profundidade, também a partir da média dos valores dos dois perfis de sondagem mista.

Durante o cálculo da capacidade de ponta constatou-se que o uso de perfis metálicos não resultava em uma capacidade de ponta adequada para as cargas da construção, por isso foram adotadas estacas tubulares com ponta fechada com esta finalidade.

Os tubulões foram projetados para serem executados a céu aberto e sem revestimento. A profundidade de todos é de 4,10 m, onde, para esta profundidade foi estimada a capacidade de carga tratando, neste trabalho, dos tubulões como fundações diretas.

Nenhum tubulão neste projeto se encontra próximo ao limite do terreno, de forma que todos tem base circular.

A tensão admissível foi inicialmente estimada a partir da média entre os métodos de Décourt e Quaresma, de Alonso, de Aoki e Velloso, e do método empírico indicado pela NBR 6122/1996.

Por ser considerado como fundação direta, ao utilizar os métodos de Aoki e Velloso, Alonso e de Décourt e Quaresma, considerou-se apenas a parcela da ponta ( $Q_p$ ) para estimar a capacidade de carga.

## RESULTADOS E DISCUSSÕES

A avaliação da viabilidade econômica consistiu na elaboração de uma composição de custos unitários para cada serviço envolvido na execução de cada tipo de fundação. Para isto foram levados em consideração os custos de mão de obra, materiais e equipamentos, pesquisados utilizando o Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil -SINAPI na determinação do valor dos insumos para a localidade de Teresina.

As descrições dos serviços e os coeficientes para os insumos foram pesquisados nas tabelas de custos da Secretaria da Infraestrutura do estado do Ceará – SEINFRA.

Também se recorreu a pesquisas de custos de serviços e fornecimento de materiais em empresas ou fornecedores, aqui explicitadas quando utilizadas.

Para a avaliação de custos das sapatas foram observados os serviços de escavação e carga do material escavado, sendo o solo de primeira categoria e a carga mecanizada com caminhão basculante. Também os serviços de lançamento e cura do concreto moldado *in loco* para o fck de 30 MPa, de forma e desforma deste, de montagem das armaduras, e da aplicação do lastro de concreto regularizado com espessura de 5 cm.

Foram analisados os custos para a implantação de fundações por estacas nas duas profundidades em que foram dimensionadas, são estas 4,5 m e 12,5 m. Para cada profundidade analisou-se separadamente os custos para a construção dos blocos, das vigas de travamento e para a cravação por percussão das estacas.

A avaliação dos custos dos blocos incluiu os mesmos serviços e insumos utilizados na composição de custos da fundação por sapatas. Nesta avaliação acrescentou-se ao volume de concreto do bloco o volume necessário para a ampliação das seções dos pilares P1, P4, P10 E P3.

Quanto às estacas, os materiais adotados, que são os tubos metálicos estruturais de 14,13 cm e 35,56 cm de diâmetro, não tiveram fornecedores encontrados em Teresina e nos estados próximos. Por isso neste trabalho considerou-se a compra dos tubos na empresa Vallourec & Mannesmann, localizada em Belo Horizonte – MG. Foi informado pela empresa que a estimava do custo do material, incluindo o transporte é de R\$3,60 por quilograma.

Os custos dos serviços de cravação das estacas também foram obtidos através de pesquisa, na empresa MD Campos Engenharia, localizada em Teresina – PI. Utilizaram-se os custos informados por esta empresa, são estes: R\$ 5000,00 para a mobilização do bate-estacas, R\$ 70,00 por metro de cravação, utilizando o martelo de 30 kN e R\$ 50,00 por corte dos tubos.

À profundidade de 4,5 metros, a quantidade dimensionada de estacas é 50 estacas de diâmetro 35,56 cm e 19 estacas de diâmetro 14,13 cm.

Prevedo danos na cabeça da estaca durante a cravação, o comprimento necessário do tubo adotado para cada estaca é 4 m, necessário para que haja 3,5 metros sob o bloco e 0,5 m para o corte do arrasamento.

Na avaliação dos custos da fundação por tubulões foram incluídos para cada tubulão os serviços de escavação e concretagem da base e do fuste, bem como a carga mecanizada do material escavado, e a aplicação da armadura.

Foi realizada também a estimativa de custos para a construção do bloco sobre quatro tubulões. Esta, realizada da mesma forma que para os blocos sobre estacas, resultou em R\$ 8063,15.

O volume do fuste para a escavação e concretagem foi calculado a partir do diâmetro aumentado 5% conforme definido por Décourt & Albiero (1998) para tubulões a céu aberto sem contenção lateral.

Foram comparados os custos entre as fundações, sem incluir os valores de vigas de travamento em quaisquer destas. Em relação aos custos da fundação em sapatas, fundação adotada no edifício em estudo, custo relativo resulta no demonstrado na tabela 1

Tabela 1. Comparação de custo entre as fundações

<b>Tipo de fundação</b>	<b>Custo total</b>	<b>Custo relativo</b>
Sapata	R\$ 111869,70.	100%
Tubulão	R\$64785,87	57,91%
Estaca metálica a 4,5m	R\$134833,33	120,53%
Estaca metálica a 12,5m	R\$280271,11	250,53%

Nota-se que a diferença dos custos entre as fundações por estacas nas duas profundidades é bastante acentuada. Esta se torna maior ao se considerar os custos para a construção das vigas de travamento, que foram estimadas incluindo os mesmo serviços para a construção dos blocos, exceto o lastro de concreto regularizado. No projeto destas fundações a 4,5 metros de profundidade necessitou-se de 23 vigas de travamento que tiveram o custo total estimado em R\$18622,65. À profundidade de 12,5 metros necessitou-se de mais seis vigas de travamento, elevando o custo em R\$ 4094,02.

## CONCLUSÕES

Por meio dos resultados obtidos nesta pesquisa conclui-se que a solução em fundação mais viável economicamente para o edifício estudado é de tubulões. O custo destes, R\$ 64785,87, apresentou-se 42,09% menor que o da opção por sapatas, 51,95% menor que o da opção por estacas metálicas quando cravadas a 4,5 m de profundidade e, e 76,88% menor que o da opção por estacas metálicas quando cravadas a 12,5 m de profundidade.

Contribuíram para este resultado os baixos custos envolvidos nos serviços de escavação e o menor custo do material e da aplicação do concreto. Como restrição ao seu uso, temos os problemas ligados à segurança do trabalho.

Em comparação com as sapatas utilizadas no edifício, os tubulões empregaram menor quantidade de concreto e armadura, conseqüência do fato de as sapatas estarem implantadas a um metro de profundidade, onde o índice de resistência à penetração,  $N_{spt.}$ , ainda era baixo, precisando-se de seções maiores para obter a tensão admissível adequada, Além disso os tubulões dispensam os serviços de forma e da de lastro regularizado.

As fundações por estacas metálicas apresentaram menor viabilidade econômica, especialmente, caso não seja obtida a nega das estacas à profundidade de 4,5 m e se opte pela cravação destas estacas a 12,5 m de profundidade. O maior custo obtido nestas estacas deve-se aos custos do material e também do serviço de cravação, que necessita de equipamento bate-estacas.

## REFERÊNCIAS

- Décourt, L.; Albiero, J.H. Análise e projeto de fundações profundas. In: Hachich et al. Fundações Teoria e Prática. 2. ed. São Paulo: PINI, 1998. p. 265 – 327.
- Limmer, Carl Vicente. Planejamento, orçamentação e controle de projetos e obras. Rio de Janeiro: LTC, 2008.