

EDITAL Nº 03/2018 - PRPI PROGRAMA INSTITUCIONAL DE BOLSAS DE  
INICIAÇÃO EM DESENVOLVIMENTO TECNOLÓGICO E INOVAÇÃO PIBITI  
CNPq/IFCE

PROJETO DE PESQUISA

**TÍTULO**

---

Proposta Solução Econômica para Fundações em Subsolo Arenoso com Sapata Estaqueada (Estapata-GPGEO).

**RESUMO**

---

A fundação é um elemento essencial a qualquer estrutura, cuja função é receber e transmitir ao maciço de solos as cargas recebidas, de forma segura, e merece passar pelo crivo das avaliações criteriosas de qualidade antes, durante e após a execução, tanto para se confirmar um comportamento previsto quanto para readequar, enquanto se executa, o projeto de fundações de forma a aumentar a segurança e reduzir os custos. Em meio aos diversos métodos de fundação utilizados no Brasil, nos últimos anos, cresce o número de obras com a utilização das chamadas fundações mistas, que utilizam, por exemplo, a associação da sapata (fundação rasa) com estacas (fundação profunda). Essa associação de elementos é proposta a fim de melhorar o desempenho das sapatas quanto ao recalque, capacidade de carga ou mesmo reduzindo custos, tornando-se, assim, viável em muitos casos. Infelizmente, existem poucos tipos de pesquisas que estudem de forma aprofundada tal tipo de fundação. Dessa forma, a presente pesquisa trata do desenvolvimento de elemento de fundação misto composto de sapata e estacas de simples execução tipo broca, que servirá como opção econômica, para o subsolo predominante de Fortaleza-CE e obras de pequeno e médio porte. Após criteriosa revisão da literatura, será estudada metodologia de dimensionamento que considere as participações, tanto da sapata (fundação superficial), quanto das estacas (fundações profundas) na transmissão das cargas ao subsolo como dimensões que otimizem a distribuição das tensões no meio físico. O estudo prevê análise numérica com o método dos elementos finitos e confirmação "in situ" com provas de carga em placa. Como resultado o trabalho irá apresentar proposta de produto com dimensões e metodologia de execução padronizadas de forma que seja opção econômica, em relação as práticas usuais, para obras de pequeno e médio porte.

**PALAVRAS-CHAVE**

---

Fundações, Sapata Estaqueada, Subsolo Arenoso, Método dos Elementos Finitos.

## **OBJETIVOS GERAIS E ESPECÍFICOS**

---

A presente pesquisa tem por objetivo geral estudar a aplicação da utilização de Estapatas no projeto de fundações como proposta econômica em subsolo arenoso, bastante presente na região do Ceará.

Os objetivos específicos seguem:

Fazer uma revisão dos métodos existentes para a análise de fundações na forma de sapatas estaqueadas;

Verificar a eficiência das fundações mistas, comparadas as fundações rasas e profundas;

Elaborar uma proposta de metodologia (dimensionamento e execução) de estaca econômica;

Elaborar uma metodologia de cálculo para as Estapatas;

Executar as Estapatas e provas de carga em campo experimental;

Analisar a viabilidade da aplicação de Estapatas em obras;

De posse dos resultados elaborar conclusão e recomendações de continuidade dos estudos.

## **DESCRIÇÃO DO PROBLEMA E SOLUÇÃO PROPOSTA**

---

Nas obras de Engenharia um elemento de fundamental importância e muito estudada é a fundação das edificações. Em meio aos diversos métodos de fundação utilizados no Brasil, nos últimos anos, cresce o número de obras com a utilização das chamadas fundações mistas, que utilizam, por exemplo, a associação da sapata com estacas, conhecida como Estapatas. Essa associação de elementos é proposta a fim de melhorar o desempenho das sapatas quanto ao recalque, capacidade de carga ou mesmo reduzindo custos, tornando-se, assim, viável em muitos casos. Infelizmente, existem poucos tipos de pesquisas que estudem de forma aprofundada tal tipo de fundação. Dessa forma, surge a importância de um estudo mais aprofundado das fundações mistas e sua possível aplicação em subsolos do tipo arenoso, comumente encontrados na região litorânea do Ceará, podendo, assim, tornar-se uma solução viável.

## **REVISÃO BIBLIOGRÁFICA E BUSCA DE ANTERIORIDADE EM BASES DE PATENTES**

---

### **1.0 Introdução**

Toda obra de engenharia, deve ser construída sobre uma estrutura de sustentação que

transfira as cargas da edificação para o solo, a essa estrutura, dá-se o nome de fundação. De forma mais detalhada, conforme cita Cintra e Aoki (2010) a fundação pode ser observada como um sistema composto, não apenas pelo elemento estrutural, mas, também, pelo maciço de solo que a envolve. O objetivo desse sistema é fazer a interação entre o elemento de fundação e o solo, ocorrendo a transmissão ao solo das cargas recebidas da edificação, promovendo, dessa forma, as condições mínimas de segurança da estrutura. Tradicionalmente, elas são divididas em superficiais e profundas e, de forma geral, os projetistas não costumam associar os dois tipos por possuírem maneiras distintas de distribuição da transferência de cargas no solo. Entretanto, novos métodos estão sendo criados explorando as vantagens da associação entre um elemento superficial de fundação com um número ótimo de estacas, as chamados Fundações Mistas, devido ao fato de melhorarem o desempenho da fundação em relação à capacidade de carga e aos recalques. Dentre eles, surgiu a utilização da “sapata estaqueada” e do “radier estaqueado”.

Os termos “Sapata Estaqueada”, e também “Radier Estaqueado”, surgiram para especificar os sistemas de fundação que envolvem a associação de um elemento de fundação superficial (radier ou sapata) com uma estaca ou grupo de estacas, sendo ambas as partes responsáveis pelo desempenho da fundação, quanto a capacidade de carga e recalques.

Entretanto, a análise de “estapatas”, na qual é o foco da pesquisa, não ocorre de forma simplificada, pois, conforme Sales *et al.* (2000), trata-se de um modelo tridimensional, no qual o mecanismo de transferência de carga e a resposta carga-recalque de uma sapata estaqueada (ou radier estaqueado) apresentam natureza complexa, por envolver diversos tipos de interação entre as partes constituintes do elemento de fundação.

No dimensionamento de bloco de estacas x sapata estaqueada, as principais diferenças entre as duas metodologias de cálculo de fundações estaqueadas são que, no bloco de estacas, toda carga é suportada apenas pelas estacas, o bloco é considerado como rígido, é desprezado o contato bloco/solo e é considerado apenas as interações estaca-estaca. Já na sapata estaqueada, o contato entre bloco/solo é considerado, assim como a rigidez real do bloco e os tipos de interação, como, por exemplo, estaca-estaca e estaca-solo, observado na figura 1.

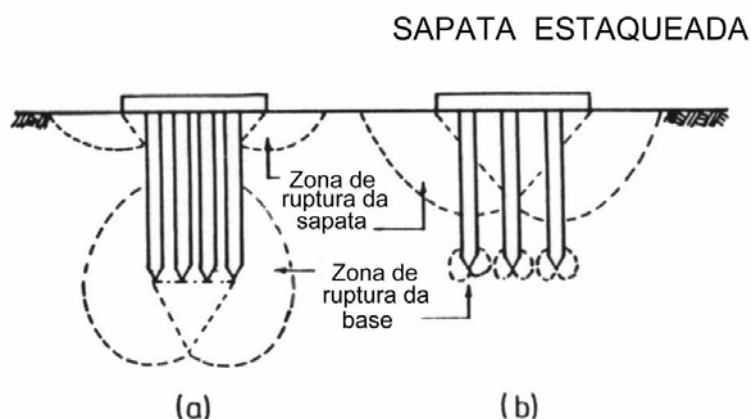


Figura 1 – Formas de ruptura de uma sapata estaqueada (modificado – Phung, 1993).

Um trabalho pioneiro, em termos de capacidade de carga, foi o de Kishida & Meyerhof (1965), que analisou possíveis formas de ruptura de grupos de estacas em areia. Para estacas muito espaçadas, a capacidade de carga da fundação seria a soma da capacidade de carga do radier com a do grupo de estacas. Para estacas pouco espaçadas, ocorreria uma ruptura de todas as estacas em conjunto, como se fosse uma grande estaca única (tubulão equivalente). Neste caso, a capacidade de carga do conjunto seria calculada como a capacidade deste tubulão equivalente, acrescido da capacidade de carga do bloco superficial, considerando-se, contudo, apenas a área do bloco externa à projeção do tubulão equivalente.

Um outro trabalho que merece ser lembrado pelo seu valor histórico é a dissertação de mestrado de Akinmusuru (1973), que realizou uma série de testes em laboratório com modelos reduzidos de sapatas estaqueadas em areias. Anteriormente a ele, alguns autores já haviam realizado testes com grupo de estacas com e sem o contato do bloco, mas acredita-se que Akinmusuru (1973) tenha sido o primeiro autor a estudar, no mesmo solo, o comportamento de uma sapata isolada, estaca isolada e do grupo de estacas com e sem o contato do bloco na superfície, buscando-se isolar a parcela de contribuição da interação bloco/estacas.

No Brasil, a metodologia de “sapatas estaqueadas” já foi utilizada em algumas edificações, como exemplo, pode-se citar o edifício Akasaka, situada na cidade de São Paulo. O projeto estava previsto em sapatas isoladas sob cada pilar. Para reduzir o recalque do pilar com maior carga se avaliou a possibilidade do uso de uma sapata estaqueada. Poulos (1994b) comenta que somente a sapata com 7,5 x 5,5m suportaria a carga do pilar com um fator de segurança de 1,57 e um recalque previsto superior a 50mm, o que foi considerado inaceitável. Decidiu-se, então, pela inclusão de algumas estacas de concreto pré- moldado, com 52cm de diâmetro, 12,5m de comprimento, que possuíam capacidade de carga individual de 2,5MN. Poulos apresentou um estudo paramétrico para a escolha da quantidade de estacas a ser utilizado sob esta sapata. Optou-se por um projeto final de uma sapata sobre 6 estacas, que seriam totalmente mobilizadas, mas garantindo um fator de segurança global (F.S.) da ordem de 2,25 para a fundação, e ainda se limitando o recalque desta fundação em 30mm.

## **2.0 Comportamento mecânico de uma fundação mista:**

Fundações mistas, conforme cita Décourt, (1998), são aquelas compostas por dois elementos, um vertical e um horizontal. A transferência das cargas estruturais ao solo é realizada por meio de duas maneiras: ao longo do fuste e da ponta do elemento vertical como nas estacas convencionais, ou somente pela sua base, como nas fundações rasas. Sendo o terreno superficial de qualidade razoavelmente boa, e os coeficientes de segurança de fundações rasas a ruptura sendo atendidos. Entretanto, ou por motivo de espaço físico para implantação das sapatas, ou por receio que os recalques totais e/ou diferenciais possam vir a ser elevados, algumas poucas estacas são colocadas sob o “radier” ou sob as sapatas (elementos horizontais), com o objetivo único da redução dos recalques. Nesses casos, o número de estacas a ser utilizado é pequeno, tipicamente três a quatro vezes menores do que o correspondente à alternativa em fundação profunda convencional, ou seja, as reduções são da ordem de 65 a 75%, segundo Décourt (1998).

É válido destacar que é possível classificar dois modelos básicos de fundação mista com estaca, um chamado estaca T, na qual o topo da estaca está em contato com a base da sapata, e a chamada estapata onde existe um espaço entre o topo da estaca e a base da sapata. Com esses elementos a rigidez da fundação é aumentada.

Conforme cita Cintra (1998), em um problema de fundações mistas, basicamente, dois são os objetivos a serem alcançados, que são a determinação dos percentuais da carga total a serem transferidos ao solo pelo elemento horizontal e pelo elemento vertical e a determinação da rigidez do conjunto.

### **3.0 Sapata estaqueada**

Essas fundações, como já citado, são formadas a partir de um elemento vertical único, em geral um fuste de estaca de concreto armado e de um elemento horizontal, designado por topo, normalmente concretado na obra. A ligação entre o elemento horizontal e o vertical é feita de modo tal que, idealmente, apenas esforços verticais de compressão sejam transferidos ao elemento vertical (estaca convencional). O elemento horizontal simplesmente se apoia sobre a cabeça do elemento vertical, sem que haja qualquer tipo de engastamento. Esforços horizontais e momentos fletores são, pois transferidos diretamente ao solo pelo topo, conforme cita Décourt, 1998.

Segundo Cintra e Albiero (1997), um bom projeto avaliará a carga “máxima” possível de ser transferida ao elemento vertical e o dimensionará estruturalmente para esse nível de solicitação. Os controles rotineiramente disponíveis no caso de estacas pré-moldadas cravadas, tais como medidas de repique, medidas com o PDA (Pile Driving Analyser) e as provas de carga dinâmicas, poderão ser adicionados para uma verificação de campo da capacidade geotécnica do elemento vertical.

De acordo com Poulos (1991), a aplicação mais eficaz das sapatas estaqueadas ocorre quando a sapata pode fornecer capacidade de carga adequada, mas o recalque e/ou recalques diferenciais da sapata sozinha ultrapassa os valores aceitáveis. Poulos (1991) também analisou uma série de solos e perfis, e concluiu que as seguintes situações podem ser favoráveis:

- (a) perfis de solo composto de argila relativamente rígida;
- (b) perfis de solo constituído por areias relativamente densa.

Em ambas as circunstâncias, a sapata pode fornecer uma proporção significativa da capacidade de carga necessária e rigidez, com as estacas agindo para impulsionar o “desempenho” da fundação, ao invés de fornecer os meios principais de apoio. Por outro lado, existem algumas situações que são desfavoráveis, incluindo:

- (a) perfis de solos contendo argilas moles perto da superfície;
- (b) perfis de solo contendo areias fofas perto da superfície;
- (c) perfis de solo que são susceptíveis de sofrer recalques de adensamento;
- (d) perfis de solo que são susceptíveis de sofrer movimentos de expansão por causas externas.

### **4.0 Fundações tipo Estapata**

Fundações do tipo Estapata são um tipo de fundação mista que utiliza simultaneamente à estaca e a sapata, porém sem contato físico inicial entre a base da sapata e o topo da estaca.

Décourt (1998) mostrou que a semelhança entre os dois tipos de fundações é, porém, apenas aparente. No projeto de uma fundação tipo Estapata, faz-se a previsão dos recalques das sapatas, por exemplo 20 mm. Crava-se à estaca no local da sapata e deixa-se sobre a mesma

um disco de isopor de espessura igual à do recalque previsto. Esse disco impede o contato físico entre a estaca e a sapata, que somente virá a ocorrer caso o recalque supere o previsto. Nesse caso, e somente nesse caso, à estaca passará a atuar, como que freando a evolução do recalque.

A vantagem desse tipo de fundação sobre as fundações rasas convencionais é a garantia que recalques muito maiores do que os previstos não irão ocorrer.

### 5.0 Prova de carga por Placas

O ensaio de prova de carga em placa é um ensaio de campo que consiste na estimativa da deformabilidade de um elemento de fundação direta quando submetido a um carregamento de compressão, de acordo com Costa (1999). Esse ensaio é normatizado pela ABNT (1984), e consiste, segundo Cintra et al. (2011), na instalação de uma placa circular de 0,80 m de diâmetro, rígida e metálica, na mesma cota de projeto da base das fundações, e são aplicadas cargas, em estágios, com medida simultânea de recalques. São obtidos gráficos de tensão x recalque, como o apresentado na Figura 2.

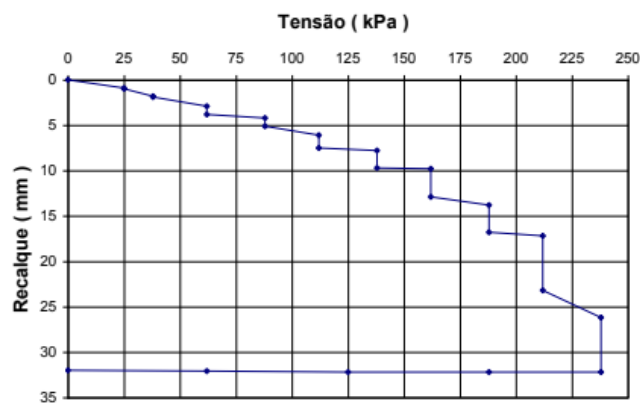


Figura 2. Exemplo de curva tensão x recalque de ensaios de prova de carga em placa (IPT, 1954 apud. Macacari, 2001).

## DIFERENCIAIS E BENEFÍCIOS DA SOLUÇÃO PROPOSTA

---

O estudo e a verificação da aplicação de fundações mistas em subsolo arenoso, como as Estapatas, são de grande contribuição aos projetos de fundações, tendo como principal vantagem sobre as fundações rasas convencionais o fato da garantia que recalques muito maiores do que os previstos não irão ocorrer. Além desse benefício, soma-se o fato de ser uma proposta nova no estado do Ceará, podendo ganhar bastante espaço entre as empresas do ramo de construção civil.

## POTENCIAL DE TRANSFERÊNCIA DE TECNOLOGIA

---

O estudo proposto visa comprovar a viabilidade do uso da fundação do tipo Estapata de forma econômica e comercial em obras em subsolo arenoso no estado do Ceará, onde este procedimento ainda não é praticado. Essa proposta surge devido ao fato desse tipo de fundação melhorar o desempenho em relação à capacidade de carga e aos recalques. Como resultado, a presente pesquisa visa apresentar uma proposta de produto com dimensões e metodologia de execução padronizadas de forma que seja opção econômica, em relação as práticas usuais, para obras de pequeno e médio porte.

## MODELO DE NEGÓCIOS

---

**Proposta de valor:** Proposta Solução Econômica para Fundações em Subsolo Arenoso com a utilização de Estapata.

**Segmento de clientes:** Pequenas, médias e grandes empresas do ramo da Construção Civil.

**Atividade-chave:** Por meio da pesquisa proposta, será verificada a viabilidade da utilização de Estapata em subsolo arenoso no estado de Ceará, criando-se um produto com dimensões e metodologia de execução padronizadas de forma que seja opção econômica, em relação as práticas usuais, para obras de pequeno e médio porte.

**Parcerias principais:** A principal parceria será a Empresa TECNOL- Tecnologia em Concreto, Solo e Pavimentação Ltda, na forma de suporte técnico, concessão de material e concessão de espaço físico.

## CRONOGRAMA DE ATIVIDADES DO(S) BOLSISTA(S): UM PARA CADA BOLSISTA

---

### Bolsista 01

<b>Atividades</b>	<b>Data Início</b>	<b>Data Fim</b>
Revisão bibliográfica: Tipos de fundações mais usuais atualmente e a utilização das fundações mistas.	01/08/2018	01/09/2018
Revisão bibliográfica: Verificação da eficiência das fundações mistas, comparadas as fundações rasas e profundas	01/09/2018	01/10/2018
Revisão bibliográfica: Métodos existentes para a análise de fundações na forma de sapatas estaqueadas.	01/10/2018	01/11/2018
Elaboração de uma proposta de metodologia (dimensionamento e execução) de	01/11/2018	01/12/2018

estaca econômica		
Execução das Estapatas e execução das prova de carga em campo experimental	01/12/2018	01/02/2019
Análises de resultados de prova de carga obtidas no campo experimental	01/02/2019	01/03/2019
Análise da viabilidade da aplicação de Estapatas em obras e estudo detalhado da sua aplicação	01/03/2019	01/05/2019
Elaboração de proposta de produto com dimensões e metodologia de execução padronizadas	01/05/2019	01/07/2019
Considerações finais	01/07/2019	31/07/2019

## Bolsista 02

<b>Atividades</b>	<b>Data Início</b>	<b>Data Fim</b>
	<b>01/08/2018</b>	<b>31/07/2019</b>
Revisão bibliográfica: Tipos de fundações mais usuais atualmente e a utilização das fundações mistas.	01/08/2018	01/09/2018
Revisão bibliográfica: Verificação da eficiência das fundações mistas, comparadas as fundações rasas e profundas	01/09/2018	01/10/2018
Revisão bibliográfica: Métodos existentes para a análise de fundações na forma de sapatas estacadas.	01/10/2018	01/11/2018
Utilização de software utilizando Método dos Elementos Finitos para estudo detalhado das Estapatas	01/11/2018	01/12/2018
Execução das Estapatas e execução das prova de carga em campo experimental	01/12/2018	01/02/2019
Análises de resultados de prova de carga obtidas no campo experimental	01/02/2019	01/03/2019
Estudo detalhado da possível aplicação de Estapatas em obras	01/03/2019	01/05/2019
Análises dos resultados e recomendações de continuidade dos estudos	01/05/2019	01/07/2019
Considerações finais	01/07/2019	31/07/2019

## REFERÊNCIAS

---



- AKINMUSURU, J.O. (1973). The Influence of a Pile Cap on a Bearing Capacity of Piles in Sand. Dissertação de Mestrado. Univ. of Zaria, Nigéria.
- ALONSO, U. R. (2003). Previsão e Controle das Fundações, São Paulo-SP, 3ª Edição, Editora Edgard Blücher,.
- ALONSO, U. R. (2006). Dimensionamento de Fundações Profundas, São Paulo-SP, 4ª Edição, Editora Edgard Blücher,.
- CINTRA, J. C., AOKI, N., ALBIERO, J. H. (2003). Tensão Admissível em Fundações Diretas, São Carlos-SP, Editora RIMA.
- CINTRA, J. C.; AOKI, N (2010). Fundações por estacas: projeto geotécnico. São Paulo: Oficina de Textos.
- CINTRA, J.C.A. (1998). Fundações em Solos Colapsíveis. Gráfica da EESC/USP, São Carlos. 106p.
- CINTRA, J.C.A., ALBIERO, J.H. & VILAR, O.M. (1997). Pile load tests in collapsible soils: conclusions and recommendations. Proc. 14th ICSMFE, Hamburg, p. 781-782.
- COSTA, Y.D.J. Estudo do comportamento de solo não saturado através de provas de carga em placa. Dissertação de Mestrado, EESC/USP, São Carlos/SP, 131 p, 1999.
- DÉCOURT, L. (1998). Análise e Projeto de Fundações Profundas. In: HACHICH, W. et al. Fundações Teoria e Prática. 2ª Edição. São Paulo: Pini, p.265-327.
- HACHICH, W., FALCONI, F. F., SAES, J. L., FROTA, R. G. O., CARVALHO, C. S. e NIYAMA, S. (1996). Fundações - Teoria e Prática , São Paulo-SP, editora Pini-ABMS / ABEF.
- KISHIDA, H. & MEYERHOF, G.G. (1965). Bearing capacity of pile groups under eccentric loads in sand. Proc. 6<sup>th</sup> ICSMFE, Toronto, 2 : 270-274.
- MACACARI, M. F. Variação da capacidade de carga com a sucção e profundidade em ensaios de placa em solo colapsível. Dissertação de mestrado, Escola de Engenharia da Universidade de São Paulo, São Carlos – SP, 2001.
- PHUNG, D.L. (1993). Footings With Settlement-Reducing Piles in Non-Cohesive Soil. PhD Thesis, Dep. of Geotechnical Eng. Chalmers Univ. of Technology, Gothenburg, Sweden, 179p.
- POULOS, H.G. (1991). Foundation economy via piled raft systems. Keynote Paper of 'Piletalk International' 91. Kuala Lumpur. p. 97-106.
- POULOS, H.G. (1994b). Alternative design strategies for piled raft foundations. 3rd Int. Conf. Deep Foundations, Singapore, p. 239-244.
- SALES, M.M., POULOS, H.G. & SMALL, J.C. (2000). Simplified approach for load- settlement estimation of piled rafts. Journal of Geot. Eng. Div., ASCE.
- VELLOSO, D.A. e LOPES, F. R. (2002). Fundações-Critérios de Projeto, Investigação do Subsolo e Fundações Superficiais, Rio de Janeiro, COPPE-UFRJ.
- VELLOSO, D.A. e LOPES, F. R. (2002). Fundações-Fundações Profundas, Rio de Janeiro, COPPE-UFRJ.

