

## **ESTUDO DE SOLO PARA FUNDAÇÕES EM ÁREAS DE POSSÍVEL DESENVOLVIMENTO URBANO DE SANTARÉM-PA**

KAYNA COSTA GREGÓRIO<sup>1</sup>, LUIZ ANTÔNIO RACHADEL COSTA<sup>2</sup>, \*FERNANDO AUGUSTO FERREIRA DO VALLE<sup>3</sup>,

<sup>1</sup>Acadêmica Curso de Engenharia Civil, CEULS/ULBRA, Santarém-PA, kaynagregorio@hotmail.com;

<sup>2</sup> Acadêmico Curso de Engenharia Civil, CEULS/ULBRA, Santarém-PA, rachadel\_@hotmail.com;

<sup>3</sup>Professor Engenheiro Civil M.Sc, CEULS/ULBRA, Santarém-PA, fafvalle@hotmail.com;

Apresentado no  
Congresso Técnico Científico da Engenharia e da Agronomia – CONTECC'2017  
8 a 11 de agosto de 2017 – Belém-PA, Brasil

**RESUMO:** A cidade de Santarém foi fundada em 1661 e, desde então, seu crescimento populacional e industrial vem acontecendo de maneira desorganizada, gerando interferências no setor da construção civil, em alguns casos no que diz respeito a parâmetros geotécnicos. A execução de edificações sem o prévio conhecimento das características que o solo do terreno apresenta, é um dos grandes fatores da causa de manifestações patológicas, podendo, até mesmo, em alguns casos levar a construção ao colapso. Diante disto, foram selecionados seis bairros com potencial de crescimento urbano da cidade de Santarém, para analisar o solo e definir qual o tipo de fundação mais viável dentro dos parâmetros técnico-econômicos para a construção de uma casa popular de 48,6m<sup>2</sup>. De acordo com os laudos de sondagem do tipo SPT, as características de solo predominante encontrada nos bairros da Nova República, Cipoal, Mararu, Urumari, Alvorada e na Vila de Alter do Chão foi areno-argiloso, sem a presença do lençol freático, com exceção de Alter do Chão. O tipo de fundação mais adequada para a edificação foi o Radier, cujo dimensionamento foi realizado de acordo com as características apresentadas nos laudos descritos no presente trabalho.

**PALAVRAS-CHAVE:** Construção civil, laudos, bairros, edificações.

## **SOIL STUDY OF AREAS OF POSSIBLE DEVELOPMENT URBAN IN SANTARÉM-PA**

**ABSTRACT:** The city of Santarém was founded in 1661 and, since then, its population and industrial growth has been happening in a disorganized way, generating interferences in the civil construction sector, in some cases with respect to geotechnical parameters. The execution of buildings without the previous knowledge of the characteristics that the soil of the land presents, is one of the great factors of the cause of pathological manifestations, and may even, in some cases, lead the construction to collapse. In view of this, six neighborhoods with urban growth potential of the city of Santarém were selected to analyze the soil and define the most viable type of foundation within the technical-economic parameters for the construction of a popular house of 48.6m<sup>2</sup>. According to SPT-type survey reports, the predominant soil characteristics found in the New Republic, Cipoal, Mararu, Urumari, Alvorada and Alter Do Chão neighborhoods were arenaceous, without the presence of the groundwater, with Exception of Alter do Chão. The most suitable type of foundation for the building was Radier, whose design was carried out according to the characteristics presented in the reports described in this work.

**KEY WORDS:** Civil construction, reports, neighborhoods, buildings.

## **INTRODUÇÃO**

A cidade de Santarém, fundada em 1661, serviu como ponto de apoio para a circulação de mercadorias na região Oeste do Pará, e com o passar dos anos, a vila foi se desenvolvendo,

transformando-se em município. Porém, o seu crescimento populacional aconteceu de forma desproporcional, tendo o seu apogeu nas décadas de 60 e 70, com a abertura das rodovias Santarém-Cuiabá e Santarém-Curuá-Una.

Em função desse crescimento desorganizado, muitos bairros periféricos foram surgindo e as construções, principalmente residenciais, eram executadas praticamente sem nenhum parâmetro técnico, sem levar em consideração os conhecimentos básicos que a Engenharia Civil proporciona. Diante disto muitos problemas de manifestações patológicas foram surgindo nas construções, como fissuras, infiltrações, e até mesmo em alguns casos o colapso destas. Sendo assim, unir os assuntos crescimento urbano com estudo de solo é importante para evitar problemas de pequeno e grande porte nas edificações, vias públicas, e promover melhorias com questões envolvendo saneamento básico, como tratamento de esgoto e disponibilização de água para a população, entre outros.

Para o estudo foram escolhidos seis bairros na cidade, abrangendo regiões sul e sudeste do município, que são áreas onde Santarém ainda sofre expansão populacional e industrial no decorrer dos últimos anos, por circundarem as principais rodovias que a cortam, fazendo ligação com demais cidades e estados do Brasil. Os bairros referem-se a Nova República e Cipoal – no entorno da Santarém-Cuiabá (BR-163) –, Urumari e Mararu – Santarém-Curuá-Una (PA-370) – e bairro Alvorada e a Vila de Alter Chão, que são os dois extremos da PA-457 (Rodovia Everaldo Martins).

Diante destas questões, fica fácil entender que as fundações são de suma importância para estabilidade de qualquer edificação, sem elas, é impossível desenvolver qualquer projeto. A escolha equivocada do tipo de fundação mais apropriada para o terreno em que se queira construir pode trazer prejuízos graves ao construtor, e para defini-la é necessário a averiguação das camadas mais profundas de solo, apresentando suas características mais peculiares.

O principal objetivo deste artigo é descrever o processo de escolha da fundação mais adequada para um determinado tipo de solo, com base na análise de laudos de sondagem do tipo SPT. Esses laudos são de regiões selecionadas na cidade de Santarém, que tem grande potencial de crescimento, para que, assim, as futuras construções nesses locais apresentem menor índice de patologias, tenham maior durabilidade, além de poder auxiliar na identificação de possíveis manifestações patológicas e potencial indicativo de reparo nas edificações já existentes. Sabe-se que, contratar um profissional da área da construção civil não é acessível para todas as pessoas, porém, a literatura e as pesquisas estão disponíveis para todas as classes. Além disso, também é apresentado as vantagens e desvantagens da escolha da fundação, atentando, principalmente, ao custo benefício da estrutura, uma vez que a maior parte da população que ocupa esses bairros atendem as camadas mais carentes da sociedade.

## **MATERIAIS E MÉTODOS**

Para o desenvolvimento deste trabalho de pesquisa recorreu-se, nas primeiras etapas, a seleção de um acervo bibliográfico consistente com o tema e com o levantamento de dados. Este levantamento consistiu na coleta de relatórios de ensaios SPT realizados em áreas que o município de Santarém poderá expandir populosamente. As principais regiões são as que circundam as três rodovias da cidade, sendo elas a BR 163 (Santarém-Cuiabá), PA 370 (Santarém-Curuáuna) e PA 475 (Rodovia Everaldo Martins), onde há o frequente crescimento populacional e desenvolvimento urbano do município.

O acervo bibliográfico contém, além de artigos e autores experientes no que se diz respeito à ensaios de Sondagem a Percussão, as normas da ABNT que regram esse procedimento na prática, e a parte histórica da cidade de Santarém, que conta como se deu o Desenvolvimento Urbano ao redor das rodovias ao longo dos anos. O levantamento de dados foi feito com a ajuda das empresas PRESIM - Premoldados Simões Engenharia e Comércio LTDA e da MTEC Geotecnia, que forneceram os Laudos de Sondagem. Com base nisso, buscou-se identificar os perfis Nspt para as diversas unidades geotécnicas identificadas, bem como os perfis médios de cada zona.

A partir das informações contidas nos laudos (estratigrafia, nível d'água, entre outros) foram averiguadas as condições do solo de cada região, para que pudessem receber o modelo mais adequado de fundação, levando em consideração suas características e o tipo de edificação que será estabelecida. Por se tratar de áreas onde o crescimento acontece aceleradamente, a definição do tipo de fundação mais apropriada deve ser indispensável onde, através de um projeto detalhado, evita com que a construção sofra manifestações patológicas ao longo de sua “vida útil”, garantindo mais estabilidade e segurança aos moradores.

No dimensionamento da fundação para o solo identificado pelos laudos, foi necessário caracterizar que tipo de edificação a fundação iria sustentar, ou seja, as cargas que atuaram sobre o terreno. A proposta apresentada é a locação de uma casa popular possuindo dois quartos, um banheiro social, sala e uma cozinha americana que será conjugada a sala, totalizando 48,6m<sup>2</sup> de área. Também foi apresentado o dimensionamento da fundação indicada, que foi realizado na versão 8 do software Eberick, programa indicado para o cálculo de estruturas. Além de cálculos de coeficientes de recalques verticais e horizontais para que fosse acrescentado nos comandos do programa.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para exemplificar o dimensionamento de um radier liso em concreto armado, foi criado um projeto de uma casa popular com cinco cômodos (Dois quartos, um banheiro, uma sala e uma cozinha americana), possuindo 48,60 m<sup>2</sup> de área. A escolha deste tipo de fundação se deu em função de fatores técnico-econômicos, como o custo e o tempo na execução, além da sua simplicidade ao dimensionamento, e da sua segurança quanto ao equilíbrio das cargas da edificação.

Além disso, por ser uma construção de pequeno porte, uma fundação em sapatas ou em blocos seria inviável, pois os elementos ficariam muito próximos entre si, chegando até mesmo a interceptarem. Dória (2007) afirma que o radier é empregado quando o solo tem baixa capacidade de carga, quando deseja-se uniformizar recalques, quando as áreas das sapatas se aproximam umas das outras ou, ainda, quando a área destas for maior que a metade da área da construção. Ressalva, também, que, “a fundação do tipo radier pode ser suportada por pilares em situações em que o lençol freático encontra-se próximo a superfície ou aonde a base do solo é suscetível a grandes recalques”. Baseando-se nos solos apresentados pelos laudos, o radier pode ser utilizado em todos os seis bairros citados, uma vez que apresentam características similares com a presença predominante do solo areno-argiloso.

Para o Eberick, algumas informações são bastante necessárias para serem inseridas na janela de diálogo da laje de fundação, como os coeficientes de recalque horizontal (kh) e vertical (kn), onde kh foi dado pela relação  $k_1$  multiplicado pela razão entre a profundidade e a largura da laje – na unidade de kgf/m<sup>3</sup>, mas deve ser transformado para tf/m<sup>3</sup> para o programa, e o kn é determinado pela razão entre o kh e o coeficiente de Poisson de acordo com o tipo de solo na camada. Tomando como partida o solo do bairro Nova República, solo argilo-arenoso com a predominância da argila e sem a presença do nível d'água nas camadas superficiais, o kh resultou em 5 tf/m<sup>3</sup> e o kn em 17 tf/m<sup>3</sup>.

No bairro Cipoal, o coeficiente de recalque horizontal para argila é dado pela formulação  $K_h = 0,2 * k_1 / B$  - onde o valor de  $k_1$  é adotado para argila mole resultando em 4,6 tf/m<sup>3</sup>, e o kn coeficiente de Poisson adotado para argilas foi no valor de 11,5 tf/m<sup>3</sup>.

No bairro Mararu, a camada superficial onde o radier será fixado é composta por areia argilosa muito fofa, com coeficiente de recalque vertical (kv) de 17,24 tf/m<sup>3</sup> e coeficiente de recalque horizontal (kh) de 5 tf/m<sup>3</sup>. No Urumari, o coeficiente de recalque horizontal (kh) para o tipo de solo caracterizado na sua camada superficial, que foi o argiloso, foi de 4,6 tf/m<sup>3</sup> e o coeficiente de recalque vertical (kv) foi no valor de 11,5 tf/m<sup>3</sup>. No bairro Alvorada, o coeficiente de recalque horizontal (kh) para o solo argiloso foi no valor de 4,6 tf/m<sup>3</sup>, e o coeficiente de recalque vertical (kn) foi 11,5 tf/m<sup>3</sup>.

Na vila de Alter do Chão, o solo é arenoso, com presença de argila, e o nível do lençol freático foi encontrado na cota de 5,8 metros. As regiões que ficam as margens do Rio Tapajós apresentam o N.A. mais superficial, podendo variar de profundidade de acordo com o período de cheia e seca. Foi feito uma única perfuração nessa região, para verificar se este solo era completamente arenoso, porém há bastante presença de argila nas camadas mais profundas. A sua camada superficial é composta por solo arenoso, onde o coeficiente de recalque horizontal (kh) para a argila é de 4,6 tf/m<sup>3</sup> e o vertical (kn) é de 11,5 tf/m<sup>3</sup>.

Além dos coeficientes, também é necessário colocar na janela de diálogo da laje de fundação os carregamentos que serão sustentados pela placa de radier, como as cargas da estrutura, calculado através do peso próprio da edificação, carga acidental e de revestimento, peso das paredes. Para este caso, adotou-se a espessura da parede o valor de 0,15 metros, o pé direito de 3,0 metros, a quantidade de paredes de 40 metros lineares. resultando num total de 324 KN distribuídos numa placa de área de 48,6 m<sup>2</sup> de área. Além disso, ainda é considerado o peso da cobertura, que foi adotado 70 kgf/m<sup>2</sup> para o telhado e sobrecarga de 1,5 kN/m<sup>2</sup>. Foi considerado o fck de 25 MPa para o concreto, com módulo de elasticidade de 24150 Mpa e peso específico de 25,00 kN/m<sup>3</sup>, de acordo com o quadro abaixo.

Quadro 1 – Dados do Radier

Radier	Seção (cm)			Cargas (kN/m <sup>2</sup> )			
	H	Elevação	Nível	Peso Próprio	Acidental Revestimento	Paredes Outras	Total
L1	16	0.00	0.00	4.00	1.50 1.03	0.00 7.30	13.82

Fonte: Eberick, 2016.

Os coeficientes de recalque em todas as áreas estudadas apresentaram valores muito próximos. Tal fato proporcionou a definição da mesma fundação, com a mesma composição estrutural para todos os solos analisados neste estudo. Ao colocar todos esses dados no Eberick, obteve-se o dimensionamento do Radier, com detalhamento de armaduras e ferragem positiva e negativa, com espessura de 16cm e utilização de vergalhões de 8.0mm e 6.3mm.

Quadro 2 – Cálculos do Radier

Radier	Direção	ARMADURAS POSITIVAS (RADIÉR)								Armadura inferior	Armadura superior	Cisalhamento
		Momento positivo				Momento negativo						
		Seção	Flexão	Verificação axial (compressão)	Verificação axial (tração)	Seção	Flexão	Verificação axial (compressão)	Verificação axial (tração)			
L1	X	bw = 100.0 cm h = 16.0 cm	Md = 7.63 kN.m/m As = 1.60 cm <sup>2</sup> /m A's = 0.00 cm <sup>2</sup> /m			bw = 100.0 cm h = 16.0 cm	Md = 0.23 kN.m/m As = 0.05 cm <sup>2</sup> /m A's = 0.00 cm <sup>2</sup> /m			As = 1.61 cm <sup>2</sup> /m ø6.3 c/19 (1.64 cm <sup>2</sup> /m) fiss = 0.00 mm		vsd = 1.93 kN/m vrd1 = 67.17 kN/m Modelo I vrd2 = 463.65 kN/m vsw = 0.00 kN/m asw = 0.00 cm <sup>2</sup> /m
	Y	bw = 100.0 cm h = 16.0 cm	Md = 7.63 kN.m/m As = 1.70 cm <sup>2</sup> /m A's = 0.00 cm <sup>2</sup> /m			bw = 100.0 cm h = 16.0 cm	Md = 0.25 kN.m/m As = 0.05 cm <sup>2</sup> /m A's = 0.00 cm <sup>2</sup> /m			As = 1.70 cm <sup>2</sup> /m ø6.3 c/18 (1.73 cm <sup>2</sup> /m) fiss = 0.00 mm		vsd = 1.93 kN/m vrd1 = 64.01 kN/m vrd2 = 436.32 kN/m vsw = 0.00 kN/m asw = 0.00 cm <sup>2</sup> /m

MALHA BASE SUPERIOR		
Laje	As,cal	As,ef
L1	1.75 cm <sup>2</sup> /m	ø8.0 c/10 cm (5.03 cm <sup>2</sup> /m)

Fonte: Eberick, 2016.

Diante dos dados apresentados, obtiveram-se os seguintes resultados:

Quadro 3 – Resultados

Nome	Espessura (cm)	Carga (kN/m <sup>2</sup> )	Mdx (kN.m/m)	Mdy (kN.m/m)	Asx	Asy	Flecha (cm)
L1	16	13.82	0.42	0.42	As = 1.61 cm <sup>2</sup> /m (ø6.3 c/19 - 1.64 cm <sup>2</sup> /m)	As = 1.70 cm <sup>2</sup> /m (ø6.3 c/18 - 1.73 cm <sup>2</sup> /m)	-0.07

Fonte: Eberick, 2016.

As análises realizadas indicaram que o radier proposto neste estudo poderá ser assente em solos com tensão admissível de 1,8 kgf/m<sup>2</sup>. Nas camadas superficiais dos solos analisados neste trabalho, a tensão admissível ficou entre 0,4 kgf/m<sup>2</sup> e 2,0 kgf/m<sup>2</sup>, por isso, para os solos com tensões admissíveis abaixo de 1,8 kgf/m<sup>2</sup>, é necessário a escavação entre 0,8 a 1,0 metro de profundidade. Ou então, aumentar a espessura da placa do radier para 0,20m.

## CONCLUSÃO

Este trabalho apresenta assunto relevante no que se diz respeito à importância do conhecimento do solo através dos ensaios de Sondagem a Percussão, para que se possa definir o tipo de fundação que mais se adequa ao solo detectado e a edificação que será construída sobre este.

Com base na seleção de seis bairros com potencial de crescimento urbano na cidade de Santarém, foi idealizado um projeto para uma casa popular com 48,6m<sup>2</sup> de área para que se definisse a fundação mais adequada para o solo que essas áreas iriam apresentar. Foram analisados diversos laudos de sondagens fornecidos pelas empresas especializadas na área de geotecnia, Presim e MTEC, instaladas na cidade, e foi constatado que o tipo de solo caracterizado é areno-argiloso, e a fundação mais indicada para todos os seis terrenos que sustentam a edificação é do tipo Radier. O

dimensionamento desta laje invertida foi realizado na versão 8 do Eberick. Para que o Eberick forneça o dimensionamento completo da estrutura, foram necessários alguns cálculos empíricos para que se estabelecessem as cargas que o radier iria sustentar, e os coeficientes de recalque do solo.

Na execução destes cálculos, foi possível perceber que os coeficientes de recalque vertical e horizontal dos solos possuíam valores iguais ou muito aproximados. Diante disso, o cálculo do radier, bem como sua espessura e armação é adequada para todos os locais propostos. Para as camadas que o terreno evidencia tensão admissível abaixo de 1,8 kgf/m<sup>2</sup>, faz-se necessário a escavação em uma profundidade entre 0,8 e 1,0 metro.

Diante de tudo o que foi apresentado, pode-se constatar que as fundações são elementos com função essencial em qualquer obra, seja ela de grande ou pequeno porte. É uma parte tão fundamental do projeto, que torna até os piores tipos de solo realmente passível de qualquer construção. Para o caso de Santarém, cidade carente de infraestrutura urbana e saneamento básico, ter o mínimo de conhecimento sobre o solo predominante já possibilita o desenvolvimento de edificações com beleza arquitetônica singular que ofereça maior segurança estrutural para o morador.

## REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. Execução de sondagens de simples reconhecimento dos solos: método de ensaio. Apresentação: NBR 6484. Rio de Janeiro/01 BRASIL.

CICHINELLI, G.C. – Mercado construção. **Fundações Profundas**. 2015. Disponível em: <<http://construcaomercado.pini.com.br/negocios-incorporacao-construcao/163/artigo338059-1.aspx>>. Acesso em: Setembro, 2016

DÓRIA, L. E. S. – **Projeto de fundação em concreto tipo radier** – mestrado. Universidade federal de Alagoas. 108 p. Alagoas-Maceió, 2007

FOGAÇA, M. – Infraestrutura Urbana, projeto custos e construção – **Fundações e Contensões**. 2012. Disponível em: <<http://infraestruturaurbana.pini.com.br/solucoes-tecnicas/20/fundacao-com-tubuloes-perfuracao-profunda-usada-na-construcao-de-271662-1.aspx>>. Acesso em: Setembro, 2016.

FONSECA, Wilde Dias – **Santarém Momentos Históricos** – ICBS – 6ª Edição. 2015 220f, Santarém, 2015.