

ESTUDO DO DIMENSIONAMENTO DE RADIER EM CONCRETO ARMADO PARA EDIFICAÇÕES POPULARES

Danilo Silva dos Santos⁽¹⁾; Lucas da Mata Rocha Menezes⁽²⁾; Fernanda Gabriela Ferreira Ribeiro⁽³⁾; Euler Wagner Freitas Santos⁽⁴⁾; Rodolfo Santos da Conceição⁽⁵⁾

⁽¹⁾ Pesquisador; Instituto Federal de Sergipe, danilo_silva@outlook.com; ⁽²⁾ Pesquisador; Instituto Federal de Sergipe, lucass.menezes@gmail.com; ⁽³⁾ Estudante; Instituto Federal de Sergipe, fernandagfribeiro@hotmail.com; ⁽⁴⁾ Professor; Instituto Federal de Sergipe, euler.wagner@ifs.edu.br; ⁽⁵⁾ Instituto Federal de Sergipe, rodolfo.aju@hotmail.com;

Resumo: Placas de fundação têm se mostrado alternativas economicamente viáveis em diversos cenários, entre eles o mercado de edificações populares. No entanto, em nosso país, essas edificações têm sido construídas sem maiores exigências técnicas e na ausência de profissionais habilitados. Este trabalho tem como objetivo o estudo do dimensionamento das placas de fundação para essa categoria de edificações. O estudo contou com valores de carregamento e dimensões da superestrutura características de edificações populares, porém com variações de parâmetros de deformabilidade do solo. Ao final, através da análise da taxa de aço das placas, são recomendados valores de espessura do radier e distância entre pilares tendo em vista sobretudo o fator custo.

Palavras-chave: Interação solo-estrutura. Radier. Construções populares.

Abstract: Raft foundation have been considered an economically viable alternative in several scenarios, among them the popular construction market. However, in our country, these buildings are built without major technical requirements and in the absence of qualified professionals. This work aims to study the design of the foundation plates for this category of buildings. The study counted on load values and superstructure's dimensions characteristics of popular buildings, yet with variations of soil deformability parameter. At the end, through the analysis of the plates' steel rates, it is recommended thickness values and distances between pillars, which can reduce costs.

Keywords: Soil-structure interaction. Raft foundation. Popular construction.

INTRODUÇÃO

Acidentes estruturais têm ocorrido com frequência no Brasil, a despeito da falta de ações extremas que são frequentes em outras nações, tais como terremotos, tufões, ciclones, tsunamis e até mesmo ações terroristas. Esses acidentes somados totalizam dezenas de vítimas fatais e centenas de feridos, um histórico significativo que chama a atenção para a qualidade e segurança das construções brasileiras (SOUZA; ENAMI, 2009).

No estado de Sergipe, são recorrentes acidentes em edificações, a exemplo do acidente ocorrido em obra localizada no bairro Coroa do Meio, na cidade de Aracaju, em julho de 2014, o qual teve repercussão nacional (NAVARRO, 2015). Além disso, é de se suspeitar que inúmeros acidentes estruturais sem vítimas fatais ocorram, porém sem algum registro formal. Em alguns casos, nem mesmo as autoridades competentes chegam a tomar conhecimento dos fatos, tendo em vista o acobertamento imediato por parte dos proprietários/construtores, conforme citado por Souza e Enami (2009).

Principalmente em bairros carentes, a construção de residências é feita pelos próprios moradores, sem a contratação de um profissional habilitado. Esta prática certamente leva a edificações sem o grau de segurança recomendados pelas normas brasileiras, gerando riscos com danos materiais e com consequências à integridade física dos moradores.

Assim, as estruturas das edificações populares são geralmente construídas com base apenas na experiência dos profissionais contratados para executar a obra, os quais, entretanto, limitam-se a repetir obras executadas anteriormente. Muitas vezes

ocorrem superdimensionamentos ou subdimensionamentos dos elementos estruturais, cuja execução carece de atenção a procedimentos relativos ao controle de qualidade dos materiais.

Segundo Caputo (1988), existem dois tipos de problemas fundamentais em projetos e execuções de fundações, que são: as deformações e a ruptura de uma massa de solo.

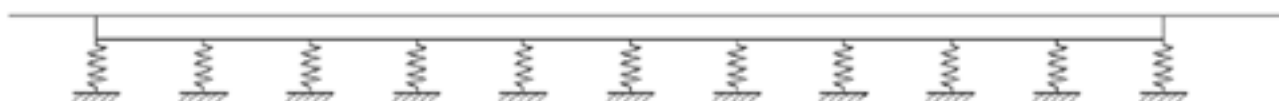
Em placas de fundação para edificações populares, as considerações sobre ruptura são certamente menos significativas que as de deformações, dado que os carregamentos são considerados baixos em

relação à área ocupada, o que acaba por diminuir a tensão transferida ao solo.

Em geral, para tensões baixas, o solo pode ser considerado como um material elasto-plástico. Isso significa que, com o aumento de carregamento, ele possui uma região elástica, seguida de uma região plástica antes da sua ruptura.

Na região elástica, a Lei de Hooke é válida, e, diante disso, Winkler (1867) sugeriu que o solo pode se comportar como uma série de molas elásticas com rigidez equivalente, como mostrado na Figura 1.

Figura 1 - Representação de apoio elástico sob placa de fundação



A equação a seguir expressa a relação de Winkler:

$$P = k_v \cdot d$$

Nela, P é a tensão aplicada, d é o deslocamento e k_v é o coeficiente de recalque ou de reação vertical que pode ter como unidade kgf/cm^3 ou tf/m^3 .

Ainda que bastante válido, o modelo de Winkler é uma simplificação, pois não leva em conta o efeito da continuidade do solo. Antoniazzi (2011) salienta que o módulo de reação k_v não constitui uma propriedade do solo, mas está atrelado a diversos fatores como a forma e a dimensão da fundação, o tipo de construção e flutuações de carregamento.

No entanto, é possível determinar o valor de k_v , através de ensaio de placa ou de valores típicos que levam em consideração a natureza do solo. Há ainda algumas correlações com o módulo de elasticidade do solo. A Tabela 1 apresenta os valores de k_v em tf/m^3 tal como proposto por Terzaghi (1955), sendo q_u a resistência à compressão não-drenada.

Tabela 1 - Valores de k_v (tf/m^3)

Argilas	q_u (KPa)	Faixa de Valores	Valor proposto
Riga	100 a 200	1600 a 3200	2400
Muito rijas	200 a 400	3200 a 6400	4800
Dura	>400	>6400	9600
Areias	Faixa de Valores	Areia acima NA	Areia submersa
Fofas	600 a 1900	1300	800
Medianamente compacta	1900 a 9600	4200	2600
Compacta	9600 a 3200	1600	9600

Fonte: Terzaghi (1955) *apud* Antoniazzi (2011)

Moraes (1976) também propôs uma relação que é apresentada na Tabela 2.

Tabela 2 - Valores de k_v (tf/m³)

Tipo de solo	k_v (tf/m ³)
Turfa leve - solo pantanoso	500 a 1000
Turfa pesada - solo pantanoso	1000 a 1500
Areia fina de praia	1000 a 1500
Aterro de silte, de areia e cascalho	1000 a 2000
Argila molhada	2000 a 3000
Argila úmida	4000 a 5000
Argila seca	6000 a 8000
Argila seca endurecida	10.000
Silte compactado com areia e pedra	8000 a 10.000
Silte compactado com areia e muita pedra	10.000 a 12.000
Cascalho miúdo com areia fina	8000 a 12.000
Cascalho médio com areia fina	10.000 a 12.000
Cascalho grosso com areia grossa	12.000 a 15.000
Cascalho grosso com pouca areia	15.000 a 20.000
Cascalho grosso com pouca areia compacta	20.000 a 25.000

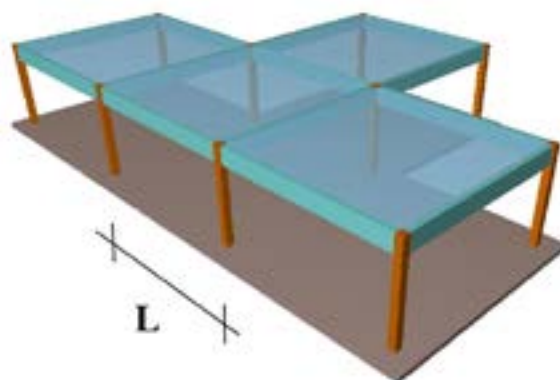
Fonte: Moraes (1976) *apud* Antoniazzi (2011)

No presente estudo, através do uso de programas computacionais parametrizados em consonância com a norma que trata do projeto e execução de estruturas de concreto (NBR 6118/2014), busca-se realizar o dimensionamento estrutural de placas de fundação (radier) em concreto armado com dimensões e carregamentos usuais de moradias populares, levando em consideração, ainda, a influência da deformabilidade do solo onde esse elemento de fundação é assentado. Do estudo, busca-se agregar informações técnicas aos resultados de outro projeto concluído em 2016, ambos destinados à elaboração de um documento norteador voltado a auxiliar as etapas de projeto estrutural e execução de edificações de pequeno porte.

MATERIAIS E MÉTODOS

A metodologia utilizada para o alcance dos objetivos consistiu no dimensionamento da fundação do tipo radier para nove estruturas, cujo modelo típico tridimensional é mostrado na Figura 2, com o auxílio do *software* CypeCAD®, licenciado para GEOTEC Consultoria e Serviços Ltda. A distância entre os vãos L dessa estrutura foi considerada constante em cada lançamento e variou entre 2,0 m e 6,0 m, com incrementos de 0,5 m, para se obterem as nove estruturas de fundações analisadas.

Figura 2 - Perspectiva do pórtico utilizado, apoiado na placa de fundação.



As vigas utilizadas possuíam seção transversal 15 cm x 55 cm, os pilares 20 cm x 20 cm e a diferença entre os topos de níveis de piso (pé esquerdo) foi de 2,80 m. As lajes possuíam 12 cm de altura e carga permanente de 100 kgf/m².

Foram utilizados quatro diferentes coeficientes de recalque do solo, sendo eles: 100 tf/m³, 500 tf/m³, 1000 tf/m³ e 2000 tf/m³.

A Tabela 3 mostra, para cada valor de vão L admitido, os volumes de concreto e os pesos de aço, para as diferentes espessuras de radier utilizadas.

Tabela 3 - Volume de concreto da placa de fundação em função da espessura (h) e valor (L)

L (m)	h (cm)	Conc. (m³)
2,0	12	3,44
	14	4,01
	16	4,58
2,5	12	4,94
	14	5,76
	16	6,58
3,0	12	6,19
	14	7,22
	16	8,26
3,5	12	8,05
	14	9,39
	16	10,74
4,0	12	10,15
	14	11,84
	16	13,54
4,5	12	12,49
	14	14,57
	16	16,66
5,0	12	16,40
	14	19,14
	16	21,87
5,5	12	19,49
	14	22,74
	16	25,99
6,0	12	22,84
	14	26,65
	16	30,45

Assim, foram então registrados os valores quantitativos de aço para diferentes classes de resistência do concreto, sendo elas: C25 e C30.

Optou-se por não realizar otimização da armadura das placas de fundação, uma vez que se observou pouca interferência nos resultados objeto de análise desse estudo.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A seguir, são apresentados os gráficos com as taxas de aço, em kgf/m³, em função da variação do vão L e da espessura do radier para as estruturas analisadas, com a variação dos coeficientes de recalque do solo (100 tf/m³, 500 tf/m³, 1000 tf/m³ e 2000 tf/m³).

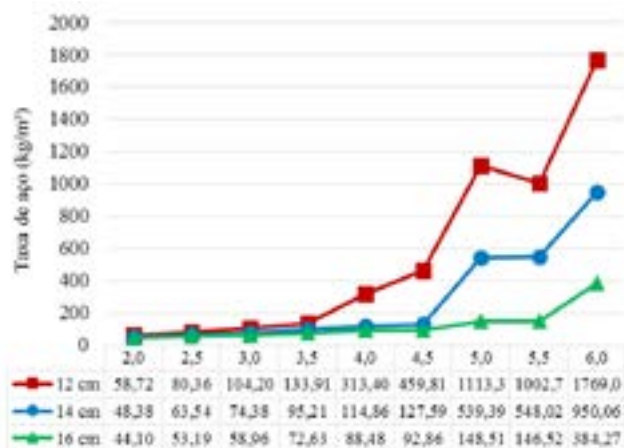
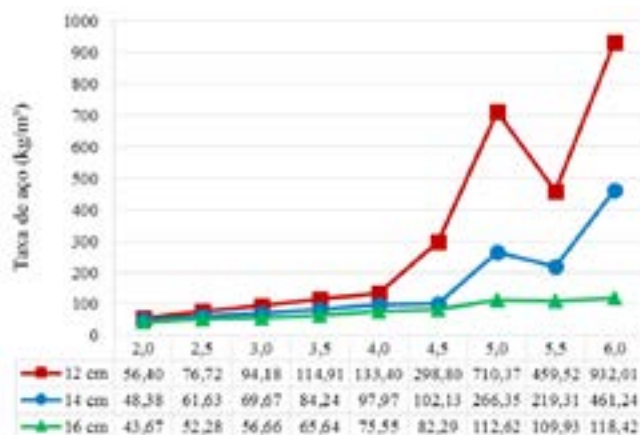
Figura 3 - Taxas de aço para radier C25 e coeficiente de reação de 100 tf/m³**Figura 4** - Taxas de aço para radier C25 e coeficiente de recalque de 500 tf/m³

Figura 5 - Taxas de aço para radier C25 e coeficiente de recalque de 1000 tf/m³.

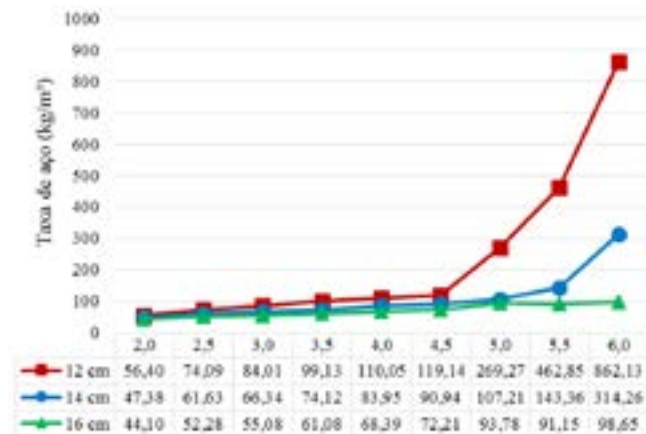


Figura 8 - Taxas de aço para radier C30 e coeficiente de recalque de 500 tf/m³.

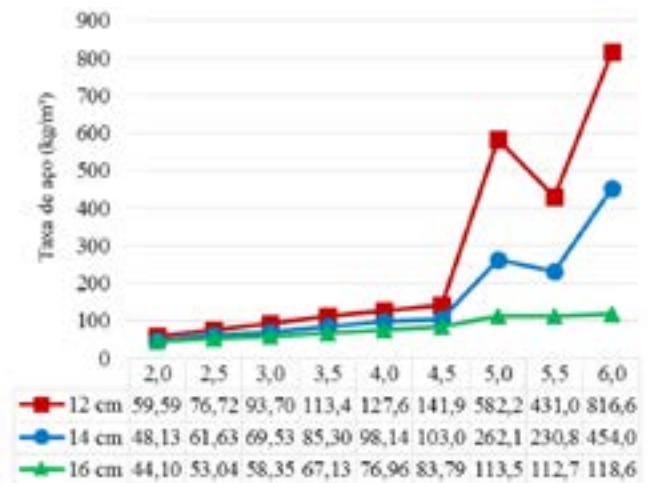


Figura 6 - Taxas de aço para radier C25 e coeficiente de recalque de 2000 tf/m³.

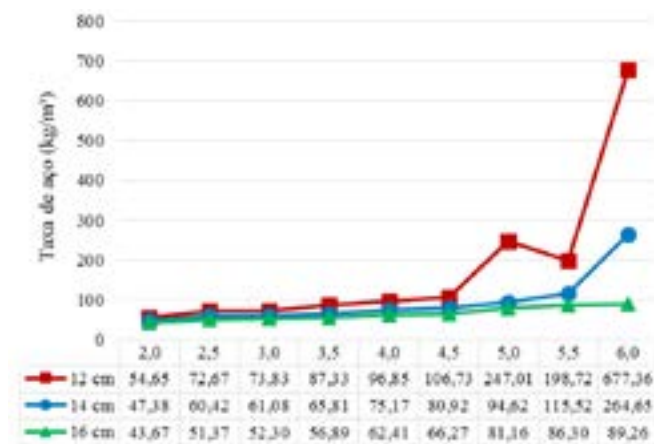


Figura 9 - Taxas de aço para radier C30 e coeficiente de recalque de 1000 tf/m³.

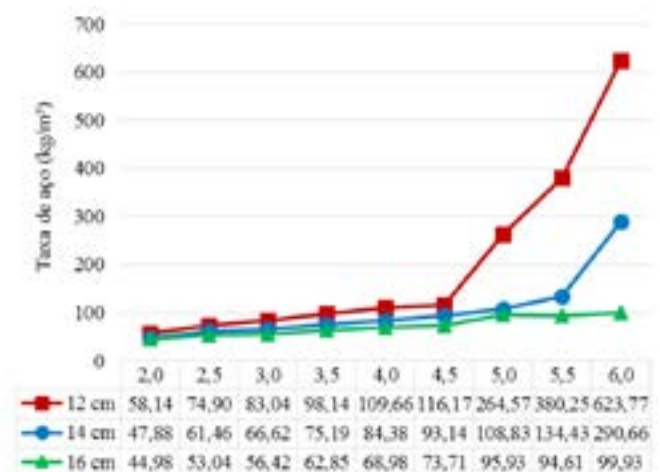


Figura 7 - Taxas de aço para radier C30 e coeficiente de reação de 100 tf/m³.

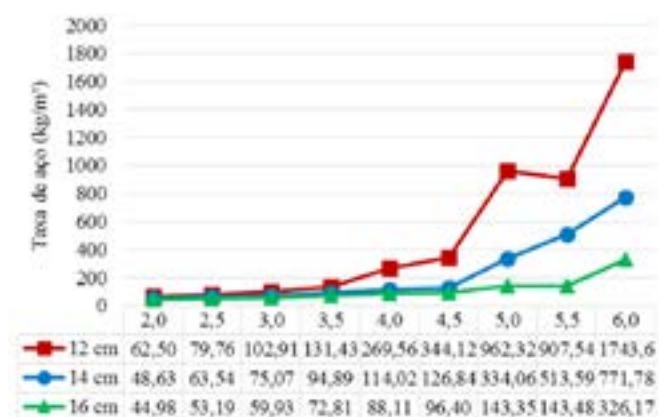
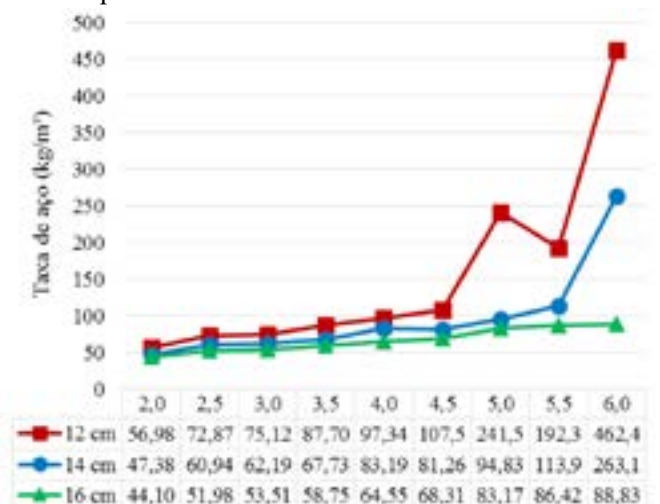


Figura 10 - Taxas de aço para radier C30 e coeficiente de recalque de 2000 tf/m³.



Usualmente, valores de taxas de aço considerados viáveis no mercado para radier de concreto armado apoiado sobre o solo tendem a ser entre 60 e 80 quilos de aço por metro cúbico de concreto (kg/m^3).

A Tabela 4 mostra a faixa de valores de L e espessura (h) em que se atingem as taxas de aço consideradas menores que 80 kgf/m^3 .

Tabela 4 - Valores máximos de L para valores usuais de taxa de aço e concreto C25 e C30.

k_v (tf/m^3)	h (cm)	L (m) para C25	L (m) para C30
100	12	2,00	2,50
	14	3,00	3,00
	16	3,50	3,50
500	12	2,50	2,50
	14	3,00	3,00
	16	4,00	4,00
1000	12	2,50	2,50
	14	3,50	3,50
	16	4,50	4,00
2000	12	3,00	3,00
	14	4,00	3,50
	16	4,50	4,50

Percebe-se pouca diferença com a variação da classe de resistência do concreto. Isso indica que o coeficiente de recalque do solo é mais relevante para o dimensionamento do radier do que o próprio concreto.

CONCLUSÕES

Foi notado que, quanto maior o valor de k_v , maior a redução nos valores de taxas de aço, o que se deve à menor intensidade de esforços internos causados pela menor deformação do solo sobre o qual a placa se apoia.

Pelas relações obtidas, caso o solo sobre o qual será construída a edificação tenha uma alta deformabilidade, com k_v próximo de 100 tf/m^3 , recomenda-se radier com espessura mínima de 14 cm e modulação máxima de vãos de 3,50 m. Para vãos

maiores que 3,50 m, torna-se inviável o projeto do radier uma vez que as taxas de aço superam os valores citados como de referência de mercado.

Ao contrário do que se esperava inicialmente, não foi notada grande influência na variação da classe de resistência do concreto. Para todas as variações de k_v consideradas nesse trabalho, a espessura ideal do radier varia entre 14 e 16 cm, considerando esse elemento como fundação de edificações de pequeno porte.

REFERÊNCIAS

- ANTONIAZZI, Juliana Pippi. **Interação solo-estrutura de edifícios com fundações superficiais**. 2011. 138f. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2011.
- SOUZA, R. A.; ENAMI, R. M. Sobre os acidentes estruturais recentes ocorridos na cidade de Maringá - PR. **Revista Tecnológica**, v. 18, p. 91-101, 2009.
- NAVARRO, Fredson. **Prédio de quatro andares desaba em Aracaju**. Portal G1 - Sergipe, 2014. Disponível em <<http://g1.globo.com/se/sergipe/noticia/2014/07/apos-fortes-chuvas-predio-de-quatro-andares-desaba-em-aracaju.html>>. Acesso em: 17 jul. 2015