

COMPARAÇÃO DE CUSTOS ENTRE DUAS OPÇÕES DE FUNDAÇÕES PARA EDIFÍCIO RESIDENCIAL LOCALIZADO EM TERESINA, PIAUÍ

RAFAEL FERREIRA CHAVES^{1*}, MARIA DE LOURDES TEIXEIRA MOREIRA²

¹Bacharel em Engenharia Civil pela Universidade Federal do Piauí- UFPI, Teresina/PI (rfc613@gmail.com)

²Professora Doutora - Universidade Federal do Piauí – UFPI, Teresina/PI (mmoreira@ufpi.edu.br)

Apresentado no
Congresso Técnico Científico de Engenharia e da Agronomia - CONTECC 2016
29 de agosto a 1 de setembro de 2016 - Foz do Iguaçu - Brasil

RESUMO: Mesmo não correspondendo ao item de maior dispêndio econômico de uma obra, a escolha do modelo correto de fundação e sua fiel execução podem repercutir em economia de 3% a 7% no orçamento final da edificação. Neste estudo de caso, objetivou-se analisar um modelo alternativo de fundações para um prédio residencial localizado na cidade de Teresina - PI, a fim de comprovar a viabilidade técnica e o ganho econômico com a adoção desse novo modelo. Foram orçadas as fundações por estacas executadas no edifício e o novo modelo adotado do tipo radier nervurado em concreto armado, após seu dimensionamento com utilização do software Eberick V8 Gold, visando comparar os custos de execução. Devido às grandes cargas e heterogeneidade na locação dos pilares do edifício estudado, as viabilidades técnica e econômica foram comprometidas para a utilização do radier.

PALAVRAS-CHAVE: fundações, radier, estacas.

EXPENDITURE COMPARISON BETWEEN TWO FOUNDATION MODELS FOR A RESIDENTIAL BUILDING LOCATED IN TERESINA, PIAUÍ

ABSTRACT: Even not responding to the most expensive item of a construction, the right choice of the foundation model and the perfect execution could result saving of 3% to 7% of the final cost of the construction. This study aimed to analyze an alternative model of foundation for a residential building located in Teresina - PI, hoping to prove technical viability and economic gain as well. Were done the budgets of the pile foundation executed under the building and the new model of foundation using a concrete slab with beams, after calculation of the last one using the Eberick V8 Gold, to compare the expenditure. Because of the heavy loads and the unequal location of the columns the technical and economic viability were lost in case of using concrete slab with beams as foundation, because big dimensions of the beams were needed in this case.

KEYWORDS: foundation, concrete slab, pile foundation.

1 INTRODUÇÃO

As fundações são elementos estruturais que têm por objetivo promover a transferência das cargas da superestrutura ao solo (Tanno, 2012). Para a execução de algumas obras, as características técnicas e geotécnicas impõem restrições quanto ao tipo de fundação empregado, entretanto, em muitos casos existem inúmeras possibilidades de soluções para as fundações devendo-se estudar, antes da tomada de qualquer decisão, as possibilidades que resultarão em menor custo e menor prazo de execução (Velloso & Lopes, 1998).

Segundo Carvalho & Pinheiro (2013), as fundações devem garantir a estabilidade permanente da obra que suportam e para isso, o projeto destes elementos estruturais deve atentar para uma série de critérios, sendo todos de igual importância para a viabilidade técnica do modelo adotado, a citar: estudo do tipo de solo, resistência, deformabilidade e consistência do terreno; a presença de outras

edificações ou galerias nas proximidades da obra, o nível do lençol freático, a análise das ações dos carregamentos e dos recalques admissíveis, além das dimensões e função da estrutura suportada.

Joppert Jr (2007) afirma que mesmo não correspondendo ao item de maior dispêndio econômico de uma obra, a escolha do modelo adotado e sua fiel execução quanto à exatidão técnica podem implicar em repercussão de 3% a 7% no orçamento final da edificação.

A NBR 6122 - Projeto e Execução de Fundações (ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2010) classifica as fundações em dois grupos: fundações superficiais ou rasas, são aquelas que transmitem as cargas da superestrutura ao solo de forma distribuída através da sua base, sendo a cota de assentamento inferior a duas vezes a menor dimensão da base do elemento, com destaque aos blocos, sapatas e radiers e fundações profundas que são representadas pelas estacas e tubulões, as quais transmitem as cargas da superestrutura ao solo por meio de resistência de ponta, resistência lateral ou combinação das duas, sendo sua cota de assentamento superior a duas vezes a menor dimensão em planta do elemento e superior a três metros.

2 METODOLOGIA

2.1 Caracterização da área de estudo

O edifício analisado localiza-se na cidade de Teresina - PI. Trata-se de um edifício residencial de padrão médio constituído por dezesseis pavimentos, sendo destes, um pavimento de subsolo utilizado como estacionamento, um pavimento térreo de áreas comuns e quatorze pavimentos tipo, cada um com dez apartamentos, além de uma cobertura inacessível ao público.

Quanto às características estruturais do edifício, este se constitui por lajes lisas executadas em concreto protendido e pilares bem afastados uns dos outros com distribuição extremamente assimétrica. Para as fundações foram utilizadas estacas metálicas e estacas raiz.

Quanto ao solo do terreno e os estudos geotécnicos utilizados na sua caracterização para dimensionamento das fundações por estaca, foram realizados oito furos de simples sondagem a percussão com *Standard Penetration Test* (SPT) além de dois furos de sondagem mista.

2.2 Procedimentos

O estudo foi realizado mediante os dados obtidos nos projetos estruturais contendo as cargas transmitidas pela superestrutura às fundações, projetos de fundações, relatórios de profundidade de assentamento das estacas executadas e relatórios de sondagem do solo, todos fornecidos pelo escritório regional da construtora responsável pela execução do edifício.

Mediante embasamento em literatura técnica foi escolhido um novo modelo de fundação que fosse viável técnica e economicamente para substituição das estacas executadas e realizado o dimensionamento deste novo modelo por meio de software de larga utilização no mercado nacional.

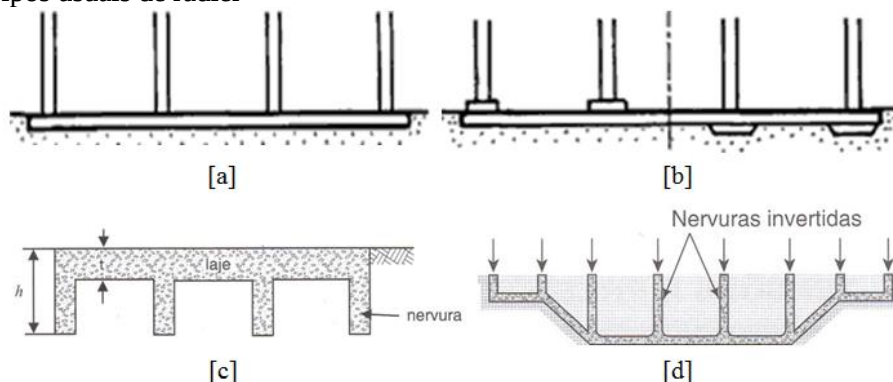
Por fim, foram elaboradas planilhas orçamentárias para as fundações por estaca executadas e para a nova solução proposta, comparando o valor final dos dois orçamentos visando identificar se haveria realmente economia na adoção do novo modelo.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Fundações do tipo radier são convenientes, segundo Budhu (2015), em situações em que o solo é mole, de baixa capacidade de carga, quando há ocorrência de solo e/ou bolsões de solos moles sob as fundações e quando é necessário combater subpressões hidrostáticas. Como as situações citadas estão presentes no estudo de caso, seria a priori uma possível solução para substituição das fundações em estaca executadas no edifício. Dessa forma, foi dimensionada uma fundação do tipo radier, com vista a verificar se tal solução seria economicamente viável.

Segundo a NBR 6122 (ABNT, 2010) radier é o elemento de fundação que suporta a carga de todos os pilares, aplicando suas cargas ao solo de forma distribuída. Complementando, Budhu (2015) ressalta que as fundações do tipo radier podem consistir em lajes apoiadas sobre o solo, ou enterradas a determinada profundidade que compensem total ou parcialmente as cargas aplicadas pela superestrutura, sendo os principais tipos (conforme figura 1): radier liso, adequado para carregamentos leves transmitidos pelos pilares; radier cogumelo, no qual existe um aumento de espessura da laje de fundação na região dos pilares proporcionando maior resistência ao cisalhamento e devido a isso permitindo carregamentos mais expressivos dos pilares; e radier nervurado, que conta com a presença de vigas a fim de aumentar a rigidez da laje, podendo estas ser invertidas.

Figura 1 - Tipos usuais de radier



Legenda: a - Radier liso; b - Radier cogumelo; c - Radier nervurado; d - Radier nervurado com nervuras invertidas. Fonte: a, b-Velloso & Lopes (1998); c, d - Budhu (2015).

Dito isso, a determinação do tipo de radier mais adequado à solução do problema é crucial para o dimensionamento. Logicamente, as soluções através de radier liso ou cogumelo são as de mais simples e de rápida execução, devendo, portanto, ter sua viabilidade analisada primeiramente, através do estudo dos esforços de punção na laje de fundação.

O fenômeno da punção consiste na perfuração de uma placa em consequência às altas tensões cisalhantes provocadas por cargas concentradas atuando em pequenas áreas, resultando em uma ruptura abrupta de consequências desastrosas, de forma que, para solucionar os inconvenientes gerados por tais esforços é necessário aumentar a espessura da laje mesmo que apenas nas regiões dos pilares, com a utilização de capitéis, utilizar vigas ou armações específicas para combater as tensões causadoras da punção, podendo estas soluções serem adotadas isoladamente ou em conjunto (Carvalho & Pinheiro, 2013).

Para verificação das mínimas espessuras da laje de fundação sob os pilares foram elaboradas planilhas de dimensionamento, sendo a tabela 1 um resumo dos valores obtidos para alguns dos pilares mais carregados.

Tabela 1 -Resumo da verificação do radier à punção sob os pilares mais carregados

Pilar	Carregamentos Verticais (KN)	e (cm)	Armadura de punção						
			f_{ywd} (MPa)	n (linhas)	S_r (cm)	l (cm)	A_{sw} (cm ²)	$\varnothing_{punção}$ (mm)	N (n°)
P6	3950	75	435	10	15	15	10,56	12,5	10
P7	4550	85	435	11	15	15	10,63	12,5	10
P8	3700	75	435	10	15	15	9,74	12,5	8
P9	2000	50	435	10	10	10	5,50	12,5	6
P10	6400	115	435	15	15	15	10,94	12,5	10
P11	6000	100	435	20	10	10	7,69	12,5	8
P12	6900	105	435	20	11	11	8,95	12,5	8
P13	8000	115	435	20	12	12	10,48	12,5	10
P14	8900	140	435	20	14	14	13,91	12,5	12

Legenda: e - espessura do radier; f_{ywd} - resistência de cálculo da armadura de punção; n - número de linhas da armadura de punção; S_r - espaçamento entre as linhas da armadura de punção; l - distância entre a face do pilar e a primeira linha da armadura de punção; A_{sw} - área de aço; $\varnothing_{punção}$ - bitola da armadura de punção; N - número de conectores da armadura de punção.

Pela análise dos resultados apresentados na tabela 1 é fácil perceber a inviabilidade de utilização de radier liso, devido à grande espessura da laje de fundação necessária para resistir aos esforços de punção, bem como a inviabilidade do modelo por radier cogumelo, pois seriam necessários cogumelos com grandes espessuras e conseqüentemente grandes dimensões que acabariam por se sobrepor. Dessa forma, por eliminação, o sistema adotado para dimensionamento foi o de radier nervurado por meio de vigas.

Adotada a cota de assentamento do radier de forma que o nível acabado do topo deste elemento coincidissem com o nível acabado do piso do subsolo, conforme estabelecido no projeto de arquitetura, verificaram-se os parâmetros geotécnicos de capacidade do solo e recalque da fundação, comprovando em acordo com a literatura técnica a possibilidade de implantação deste modelo.

Para dimensionamento e detalhamento da estrutura utilizou-se o software Eberick V8 gold, que segundo Mohr (2013), utiliza como método de análise estrutural a hipótese de radier sobre molas de Winkler, onde a placa é substituída por uma malha sobre apoios elásticos equivalentes.

Devido à distribuição nada uniforme dos pilares foram necessárias 67 vigas no total com o objetivo de receber diretamente as cargas aplicadas pelos 95 pilares do edifício, realizando o travamento dos mesmos em todas as direções. Vigas estas que devido aos grandes carregamentos aplicados diretamente pelos pilares exigiram alturas de até dois metros para suportar os esforços cortantes, e conseqüentemente, elevadas taxas de armação à flexão e ao cortante. A laje de fundação, por sua vez, foi dimensionada para espessura de 30 centímetros.

Por fim, foram elaboradas duas planilhas orçamentárias com os custos finais das fundações por estaca e da fundação do tipo radier nervurado, conforme as tabelas 2 e 3 respectivamente, a fim de determinar a mais economicamente vantajosa para a situação analisada.

Tabela 2 - Planilha orçamentária das fundações por estacas

Ítem	Descrição	Classe	Und.	Quant.	Valores			
					Preço unitário		Preço total	
1.0	Fundações profundas - Estacas	NV1					R\$1.339.586,43	
1.1	Estacas em perfil metálico "I" ou "H" com cravação empreitada	SERV	m	2871,80	R\$	363,44	R\$1.043.721,98	
1.2	Estaca raiz com diâmetro Ø 310 mm - montagem de armação com mão de obra própria e execução empreitada	SERV	m	436,80	R\$	286,46	R\$	125.124,06
1.3	Estaca raiz com diâmetro Ø 410 mm - montagem de armação com mão de obra própria e execução empreitada	SERV	m	534,00	R\$	319,74	R\$	170.740,39
2.0	Escavação dos blocos e vigas das fundações	NV1					R\$	15.778,71
2.1	Escavação mecânica de valas (solo com água) até 1,5 m de profundidade	SERV	m³	236,11	R\$	9,40	R\$	2.219,68
2.2	Escavação mecânica de valas (solo com água) entre 1,5 a 4,0 m de profundidade	SERV	m³	177,60	R\$	7,83	R\$	1.391,30
2.3	Escoramento cont. de valas >1,25 m	SERV	m²	199,74	R\$	60,92	R\$	12.167,73
3.0	Forma das fundações	NV1					R\$	38.850,52
3.1	Forma dos blocos de fundação e vigas de equilíbrio	SERV	m²	491,86	R\$	78,99	R\$	38.850,52
4.0	Armação dos blocos de fundações e vigas de equilíbrio	NV1					R\$	91.341,56
4.1	Armação dos blocos de fundação	SERV	kg	24625,00	R\$	3,61	R\$	88.993,82
4.2	Armação das vigas das fundações	SERV	kg	592,00	R\$	3,97	R\$	2.347,74
5.0	Concreto dos blocos de fundações e vigas de equilíbrio	NV1					R\$	132.492,61
5.1	Concreto usinado fck = 30 MPa	SERV	m³	265,22	R\$	487,91	R\$	129.405,32
5.2	Concreto magro - virado em obra	SERV	m²	12,55	R\$	246,06	R\$	3.087,29
6.0	Piso de concreto do Pavimento Subsolo	NV1					R\$	205.513,21
6.1	Armação com tela CA60 (Ø 4.2 mm)	SERV	kg	6180,50	R\$	2,21	R\$	13.639,19
6.2	Concreto usinado fck = 20 MPa	SERV	m³	421,40	R\$	455,33	R\$	191.874,02
TOTAL GERAL							R\$1.823.563,04	

Tabela 3 - Planilha orçamentária da fundação tipo radier nervurado

Ítem	Descrição	Classe	Und.	Quant.	Valores			
					Preço unitário		Preço total	
1.0	Vigas do Pavimento Subsolo	NV1					R\$1.306.601,76	
1.1	Escavação mecânica de valas (solo com água) até 1,5 m de profundidade	SERV	m³	1019,49	R\$	9,40	R\$	9.584,12
1.2	Escavação mecânica de valas (solo com água) entre 1,5 a 4,0 m de profundidade	SERV	m³	1502,17	R\$	7,83	R\$	11.768,16
1.3	Escoramento cont. de valas h > 1,25 m	SERV	m²	2458,37	R\$	60,92	R\$	149.758,60
1.4	Rebaixamento de lençol em valas	SERV	m	1280,80	R\$	19,97	R\$	25.572,92
1.5	Forma em alvenaria de bloco cerâmico	SERV	m²	3872,81	R\$	47,58	R\$	184.266,33
1.6	Armação das vigas	SERV	kg	140884,40	R\$	3,78	R\$	533.226,57
1.7	Concreto usinado fck = 30 Mpa	SERV	m³	804,30	R\$	487,91	R\$	392.425,05
2.0	Radier do Pavimento Subsolo	NV1					R\$ 639.447,72	
2.1	Escavação mecânica em áreas até h=2m	SERV	m³	385,054	R\$	6,27	R\$	2.415,02
2.2	Rebaixamento de lençol em áreas	SERV	ptxdia	900	R\$	10,39	R\$	9.352,94
2.3	Armação do radier	SERV	kg	73602,45	R\$	3,85	R\$	283.201,50
2.4	Concreto usinado fck = 30 Mpa	SERV	m³	706,03	R\$	487,91	R\$	344.478,25
3.0	Piso de concreto do Pav. Subsolo	NV1					R\$ 18.420,56	
3.1	Armação com tela CA60 (Ø 4.2 mm)	SERV	kg	422,49	R\$	2,21	R\$	932,35
3.2	Concreto usinado fck = 20 Mpa	SERV	m³	38,41	R\$	455,33	R\$	17.488,21
TOTAL GERAL							R\$1.964.470,04	

4 CONCLUSÃO

Pela análise das planilhas orçamentárias de custo das fundações por estaca e do radier fica fácil concluir que a adoção deste último modelo não traz qualquer vantagem financeira em detrimento ao primeiro. Apesar das vantagens no combate à subpressão hidrostática e a substituição do piso de concreto do pavimento subsolo pelo próprio radier, este modelo supera em aproximadamente 141 mil reais o custo de execução das fundações por estaca.

No que tange à viabilidade técnica, o radier nervurado também não seria o modelo mais adequado para a situação analisada, pois devido ao grande número de vigas com elevadas alturas seria necessária a abertura de valas profundas em solo encharcado e sem suporte, exigindo escoramento contínuo da parede das valas, além da dificuldade de locação das vigas que devido à heterogeneidade na locação dos pilares têm uma disposição por demais assimétrica. Dessa forma, fica claro que para o caso estudado a utilização de fundações por estaca raiz e metálica é mais adequada que a adoção de radier nervurado em concreto armado.

REFERÊNCIAS

- Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 6122: Projeto e execução de fundações. Rio de Janeiro, 2010. 91p.
- Budhu, M. Fundações e Estruturas de Contenção. 1.ed. Rio de Janeiro: LTC, 2015. 427p.
- Carvalho, R. C.; Pinheiro, L. M. Cálculo e detalhamento de estruturas usuais de concreto armado. 2.ed. São Paulo: Pini, 2013. v. 2. 617p.
- Joppert Jr, I. Fundações e contenções de edifícios. 1.ed. São Paulo: Pini, 2007. 222p.
- Mohr, M. M. Dimensionamento e detalhamento de radier. 2013. Disponível em: <http://faq.altoqi.com.br/content/261/1072/pt-br/dimensionamento-e-detalhamento-de-radier.html>. Acesso em: 9 de janeiro de 2016.
- Tanno, D. C. dos S. Blocos de concreto sobre estacas posicionados nas divisas de terrenos: estudo analítico e análise numérica linear. São Carlos: USP, 2012. 163f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Estruturas).
- Velloso, D.; Lopes, F. de R. Concepção de obras de fundações. In: Hachich, W. et. al. (Orgs.). Fundações: teoria e prática. 2.ed. São Paulo: Pini, 1998. Cap.6, p.211–226.