



PROJETO DE FUNDAÇÕES EM SAPATAS COM TENSÃO ADMISSÍVEL DO SOLO ELEVADA E PROVA DE CARGA EM PLACA

Gentil Miranda Junior

Engenheiro Civil, Gebase Engenharia de Solos e Fundações, Campinas/SP, Brasil,
gentil@gebase.com.br

Eduardo Oliveira de Melo

Engenheiro Civil, Gebase Engenharia de Solos e Fundações, Campinas/SP, Brasil,
eduardo@gebase.com.br

Marcelo Soares Horta de Lima

Engenheiro Civil, Gebase Engenharia de Solos e Fundações, Campinas/SP, Brasil,
marcelo@gebase.com.br

Arthur Maioli Peçanha de Almeida

Engenheiro Civil, Gebase Engenharia de Solos e Fundações, Campinas/SP, Brasil,
arthur@gebase.com.br

RESUMO: Este trabalho apresenta as soluções de fundações de um empreendimento residencial com 2 torres de 26 pavimentos e 4 sub-solos em Sorocaba/SP, num terreno onde as sondagens a percussão encontraram impenetrável antes da cota do último sub-solo e as sondagens mistas posteriormente solicitadas, apresentaram até 6 passagens com matacões, com espessuras superiores a 1 m. Foi necessário adotar uma elevada tensão admissível no solo para que as sapatas suportassem os esforços solicitantes nas fundações. Então foi realizada prova de carga em placa para confirmar a tensão admissível do solo adotada e verificar se os deslocamentos medidos atendem ao estado de deformações previsto em projeto. A prova de carga atingiu o dobro da tensão prevista em projeto e os deslocamentos medidos foram admissíveis, atendendo desta forma a NBR 6122/2022. Assim o projeto foi validado, gerando segurança e economia para o empreendimento, pois se a tensão adotada não fosse atendida, o projeto teria que ser inteiramente modificado para estacas raiz. Como há uma grande diferença de empuxos entre os fundos e a frente da obra, o cálculo estrutural chegou a esforços de momento permanentes elevados o que impossibilitou em alguns pilares a solução em sapatas e exigiu solução em estacas raiz.

PALAVRAS-CHAVE: Fundações, Prova de carga em placa, sapatas, contenções, raiz.

ABSTRACT: This work presents the foundation solutions for a residential development with 2 towers of 26 floors and 4 basement levels in Sorocaba, São Paulo, Brazil, on a site where percussion drilling encountered impenetrable soil before reaching the bottommost basement level, and subsequently requested core boring revealed the presence of large boulders, with thicknesses

Aponte a câmera do seu
smartphone para o
QR Code ao lado e salve o
evento na sua agenda.



sefe 10

exceeding 1 meter, in up to 6 passages. It was necessary to adopt a high allowable soil bearing capacity to ensure that the footings could support the applied loads in the foundations. Therefore, a plate load test was conducted to confirm the adopted allowable soil bearing capacity and to verify whether the measured displacements comply with the anticipated deformation state as per the design. The plate load test reached twice the planned stress in the design, and the observed displacements were acceptable, thus meeting the requirements of the NBR 6122/2022. In this manner, the design was validated, providing both safety and cost-effectiveness for the project. If the adopted stress criteria were not satisfied, the entire design would have needed to be modified for the use of root piles. Due to significant differential forces of active earth pressure between the back and front of the construction, the structural calculations resulted in high permanent moment loads, which made it unfeasible to utilize footings for certain pillars. As a result, a solution involving root piles was required.

KEYWORDS: Foundation, Plate load test, countainment structures, footing foundations, root pile.





1 Características do empreendimento

O empreendimento consiste em duas Torres residenciais numa região de alta densidade populacional e exigiu um elevado número de vagas de garagem, levando à necessidade de ter 4 sub-solos.

Na frente da obra, a escavação até o último sub-solo foi de 9 a 11 m enquanto que nos fundos variou entre 15 a 17 m. Essa diferença de até 6 m entre a contenção nos fundos com relação à frente da obra, gerou empuxos desbalanceados e portanto esforços permanentes de momentos elevados, que se somam aos esforços de momento devido ao vento.

A solução de fundações técnica e economicamente mais adequada foi em fundações diretas (sapatas) possibilitada pela boa capacidade de carga encontrada no solo no nível do último sub-solo.

Porém, tendo em conta os elevados esforços que o calculista estrutural forneceu, para que as dimensões das sapatas coubessem no espaço disponível do terreno, foi necessário adotar uma alta tensão admissível no solo: 1 MPa (~10 kfg/cm²)

Sendo uma tensão elevada em prol da segurança do projeto e para melhor previsão de deslocamentos, foi solicitada a execução de uma prova de carga em placa. Como reação para a prova de carga, utilizou-se estacas raiz. O equipamento de estaca raiz já seria contratado para a execução das fundações de alguns pilares, nos quais os esforços de momento ultrapassavam numericamente entre 50% a 100% o valor dos esforços verticais.

2 Características geotécnicas do solo

2.1 Ensaios de investigação geotécnica

O solo encontrado foi uma alternância de silte areno argiloso com areia silto argilosa muito compacto, com presença de matacões (granitos, leucocrático). Em um furo de sondagem mista encontrou-se 3 interferências e no apresentado na Figura 2.1, 6 matacões.

A cota do último sub-solo é 578,95 m representando no furo de sondagem apresentado na Figura 2,1 um corte de 12,7 m (portanto, cota 571,63 m do referencial utilizado pela sondagem).

Aponte a câmera do seu
smartphone para o
QR Code ao lado e salve o
evento na sua agenda.



DIÂMETRO DE PERFURAÇÃO E MÉTODO	PROFUNDIDADE NO SENTIDO DO FURO	COTAS NA VERTICAL	ESPESURA DAS CAMADAS	PERFIL GEOLÓGICO	DESCRIÇÃO DO MATERIAL	RESISTÊNCIA A PENETRAÇÃO AMOSTRADOR TIPO TERZAGHI N° DE GOLPES / 30 cm										GRAU DE FRATURA-MENTO		ALTERAÇÃO	FRATURAMENTO	N° DE PEÇAS POR MANOBRAS	NÍVEL D'ÁGUA
						45	40	35	30	25	20	15	10	05	RECUPERAÇÃO DE AMOSTRA		N° DE FRATURAS/m				
						10	20	30	40	50	60	70	80	90	15	10	05				
RD - Ø NW	0.60	583.73	0.60		Argila arenosa, com entulhos diversos, marrom clara (aterro).																
	1.00	583.33	0.40		Concreto.																
	1.15	583.18																			
	2.00	582.33			Areia fina, silte argilosa, micécea, muito compacta, vermelha escura/clara (solo residual).																
	2.15	582.20																			
	3.00	581.33	2.10																		
	3.10	581.23																			
	4.00	580.33			Silte areno argiloso, micéceo, muito compacto, amarelo escuro, vermelho claro (solo residual).																
	4.10	580.21																			
	5.00	579.33																			
	5.30	579.03	2.20																		
	5.75	579.58		+	Granito, leucocrático, estrutura compacta, textura cristalina com granulação média a grossa, constituída fundamentalmente por quartzo, feldspato e mica, ácido (rocha ígnea ou magmática, intrusiva ou plutônica).													A4	F6	>20	
	6.11	578.22	0.81	+															A1	F4	5
	6.56	577.77			Silte areno argiloso, micéceo, com fragmentos de rocha em decomposição, compacto a muito compacto, amarelo escuro, vermelho claro (solo residual).																
	7.00	577.33																			
	7.13	577.20	1.02		Areia fina, silteosa, micécea, muito compacta, vermelha clara (solo residual).																
	8.00	576.33	0.89																		
	8.02	576.11		+	Granito, leucocrático, estrutura compacta, textura cristalina com granulação fina a média, constituída fundamentalmente por quartzo, feldspato e mica, ácido (rocha ígnea ou magmática, intrusiva ou plutônica).														A4	F6	>20
	9.00	575.33	0.98	+																	
	9.42	574.91		+	Silte areno argiloso, pouco micéceo, muito compacto, vermelho claro, amarelo escuro (solo residual).																
10.00	574.33																				
10.30	574.03	1.30		Granito, leucocrático, estrutura compacta, textura cristalina com granulação fina a média (rocha ígnea ou magmática, intrusiva ou plutônica).															A4	F6	>20
11.00	573.33	0.70	+																		
11.12	573.21	0.12	+	Silte areno argiloso, pouco micéceo, muito compacto, amarelo escuro (solo residual).																	
12.00	572.33	0.88	+	Granito, leucocrático (rocha ígnea ou magmática, intrusiva ou plutônica).															A4	F6	>20
12.27	572.06		+																		
13.00	571.33			Silte areno argiloso, pouco micéceo, muito compacto, amarelo escuro (solo residual).																	
13.25	571.08	1.25																			
14.00	570.33			Silte arenoso, micéceo, com fragmentos de rocha em decomposição, muito compacto, vermelho claro, marrom claro (solo residual).																	
14.15	570.18																				
- Continua na Próxima Folha -																					

Figura 2.1. Sondagem mista (1ª página)

Aponte a câmera do seu smartphone para o QR Code ao lado e salve o evento na sua agenda.



DIÂMETRO DE PERFURAÇÃO E MÉTODO	PROFUNDIDADE NO SEU DO FURO	COTAS NA VERTICAL	ESPESSURA DAS CAMADAS	PERFIL GEOLÓGICO	DESCRIÇÃO DO MATERIAL	RESISTÊNCIA A PENETRAÇÃO AMOSTRADOR TIPO TERZAGHI N° DE GOLPES / 30 cm										GRAU DE FRATURAMENTO	ALTERAÇÃO	FRATURAMENTO	N° DE PEÇAS POR MANGUEIRA	NÍVEL D'ÁGUA
						RECUPERAÇÃO DE AMOSTRA														
						45	40	35	30	25	20	15	10	05	00					
RD - Ø NW	15.00	569.33	1.99	+	+	Granito, leucocrítico, estrutura compacta, textura cristalina com granulação fina a média, constituída fundamentalmente por quartzo, feldspato e mica, ácido (rocha ígnea ou magmática, intrusiva ou plutônica).	16	30												
	15.24	569.09					15	29												
	16.00	568.33	1.76	+	+	Granito, leucocrítico, estrutura compacta, textura cristalina com granulação média a grossa, constituída fundamentalmente por quartzo, feldspato e mica, ácido (rocha ígnea ou magmática, intrusiva ou plutônica).	21	30												
	17.00	567.33					20	29												
	17.45	566.88	0.45	+	+	Areia média a grossa, pouco siltsosa, pouco micácea, vermelha clara (solo residual).	51													
	18.00	566.33																		
	18.30	566.03	1.70	+	+	Areia fina a média, pouco siltsosa, pouco micácea, muito compacta, amarela escura (solo residual).	21	30												
	19.00	565.33					20	29												
	19.15	565.18	0.85	+	+	Granito, leucocrítico, estrutura compacta, textura cristalina com granulação média a grossa, constituída fundamentalmente por quartzo, feldspato e mica, ácido (rocha ígnea ou magmática, intrusiva ou plutônica).	30	15												
	20.00	564.33					29	14												
20.08	564.25	0.20	+	+	Areia fina a média, pouco siltsosa, pouco micácea, muito compacta, amarela escura (solo residual).	30	15													
20.20	564.13					29	14													

REVESTIMENTO UTILIZADO: NW
COMPRIMENTO = 15.30 m

OBS.: A PARADA DA SONDADEM DE SEU CONFORME ORIENTAÇÕES DA CONTRATANTE.

% DE R.Q.D.
ROCK QUALITY DESIGNATION:

05.30 A 05.75 m = 067%
05.75 A 06.11 m = 058%
08.02 A 09.00 m = 000%
10.30 A 11.00 m = 000%
11.12 A 12.00 m = 000%
15.24 A 16.00 m = 023%
16.00 A 17.00 m = 015%
19.15 A 20.00 m = 035%

Figura 2.2. Sondagem mista (continuação)

Aponte a câmera do seu smartphone para o QR Code ao lado e salve o evento na sua agenda.



3 Soluções de fundações adotadas

Tendo em conta a alta capacidade de suporte do solo no nível do 4º subsolo, a solução adotada foi em sapatas e, onde necessário, em estacas raiz, que são estacas com elevada capacidade de carga à tração. O projeto de fundações é apresentado na Figura 3.1, onde a maior parte dos pilares foram projetados em sapatas, sendo necessária a associação de pilares na maior parte dos casos, e foram projetadas fundações em estacas raiz nos pilares onde os esforços de momento eram numericamente substancialmente maiores do que os esforços de compressão, impossibilitando a solução em sapatas. Há pilares com momentos numericamente o dobro dos esforços verticais.

Percebe-se que mesmo adotando uma tensão alta, de 1 MPa, o espaçamento entre sapatas resultou pequeno.

As sapatas de maiores dimensões em planta foram de 8m x 11m e de 6m x 12m e a maior associação foi de 5 pilares,

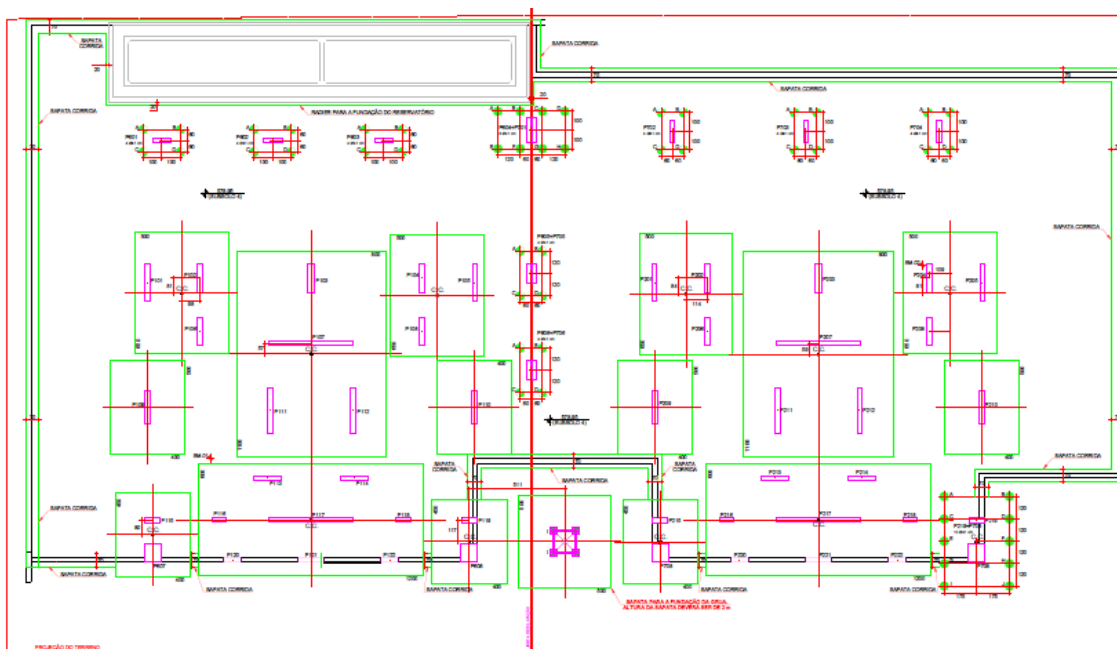


Figura 3.1. Projeto de fundações

As estacas raiz projetadas foram de 400 mm de diâmetro, prevendo a possibilidade de redução de diâmetro por encontrar rocha ou matacões ao longo da perfuração. As estacas raiz apresentaram 3 m de perfuração em solo natural e 4 m em aletração de rocha.

4 Prova de carga em placa

A prova de carga em placa foi projetada com reações em estaca raiz para atingir duas vezes a tensão admissível do solo adotada em projeto. Nota-se um comportamento diferente na curva no final da prova de carga, porque nesse último estágio de carregamento, não foi possível manter a tensão máxima de 1,99 MPa devido a limitações no curso do cilindro hidráulico.

Aponte a câmera do seu
smartphone para o
QR Code ao lado e salve o
evento na sua agenda.



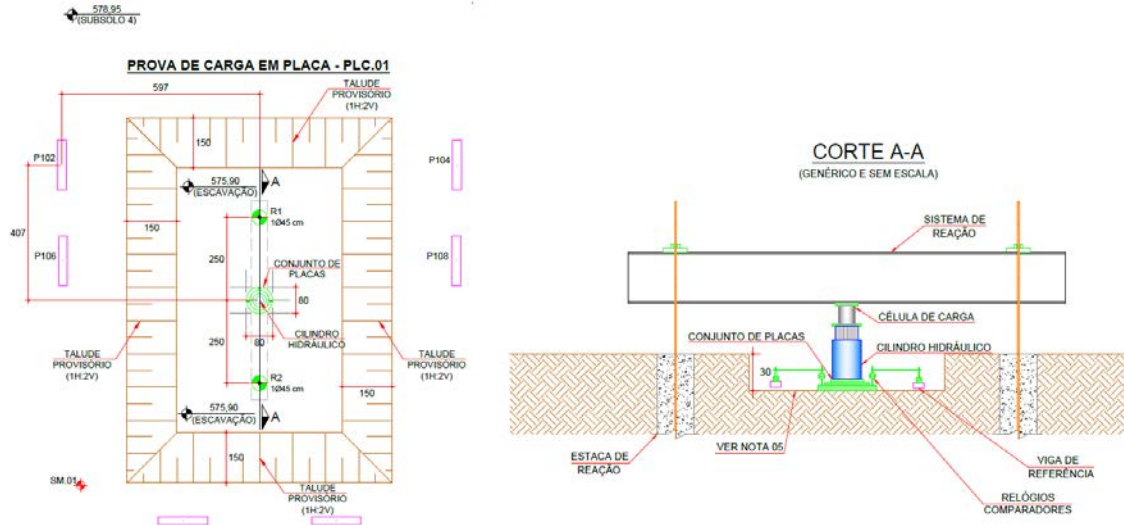


Figura 4.1. Projeto da prova de carga em placa.

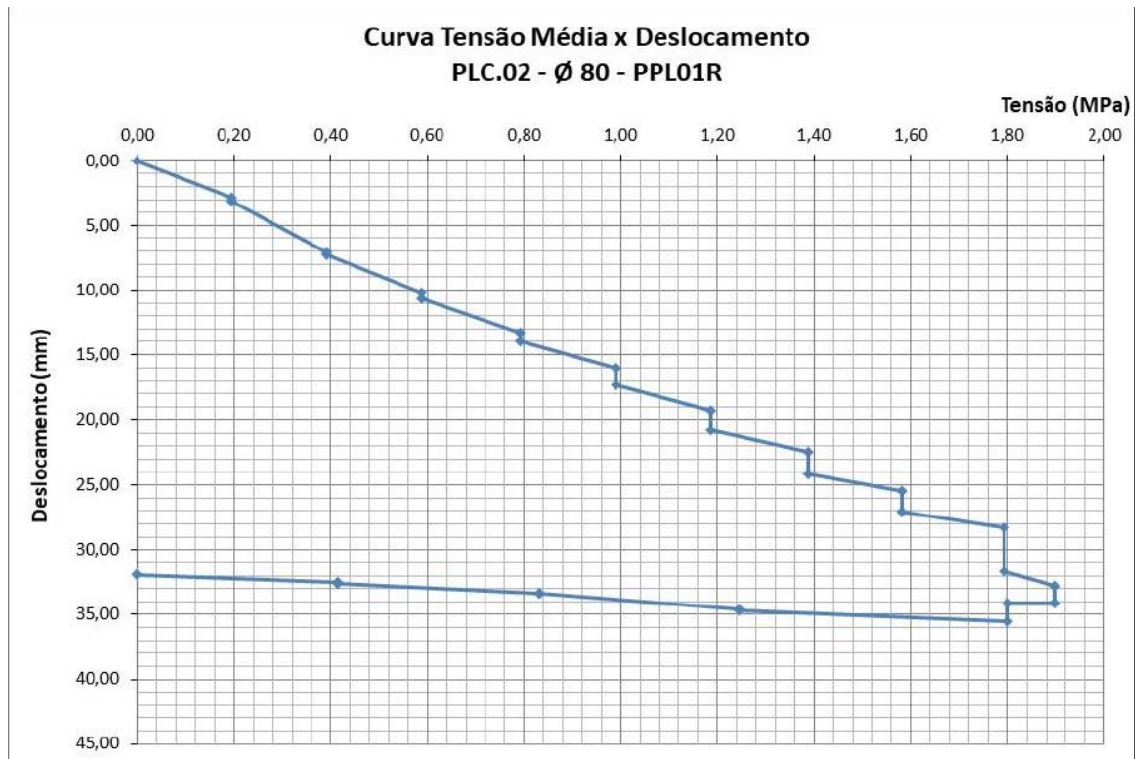


Figura 4.2. Curva tensão versus deslocamento da prova de carga em placa.

O resultado da prova de carga foi considerado satisfatório, pois houve praticamente uma linearidade do comportamento tensão versus deslocamento e os deslocamentos obtidos na tensão de projeto de 1 MPa estão dentro de valores admissíveis.

Aponte a câmera do seu smartphone para o QR Code ao lado e salve o evento na sua agenda.





5 Observações sobre a execução das escavações e contenções do empreendimento.

Na Figura 5.1 apresenta-se uma foto da obra sendo executada, numa fase em que a 3ª linha de tirantes estava sendo executada. Há um trecho onde os perfis metálicos pararam antes do previsto por conta de matacões e nesse trecho, após a quebra dos matacões, através de furos e utilização de expansores, foi executado solo grampeado. As fundações desse trecho de cortina foi substituída por sapatas corridas, travadas em sapatas de pilares mais próximos.

Nessa foto aparecem parte dos matacões removidos e quebrados.



Figura 5.1. Execução das contenções do empreendimento com tirantes provisórios e solo grampeado.

Aponte a câmera do seu
smartphone para o
QR Code ao lado e salve o
evento na sua agenda.



6 Conclusões.

A realização de prova de placa em projetos onde é necessário aplicar uma elevada tensão no solo tem um relevante papel, pois fornece ao consultor de fundações informações para verificar se suas premissas são atendidas em termos de segurança na capacidade de carga e sobre se os deslocamentos são admissíveis.

A presença de elevada quantidade de matacões no terreno torna a execução das estruturas de contenções complexa, gerando a necessidade de dar soluções alternativas durante a execução da obra.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos aos profissionais da construtora, da empresa que executou a prova de carga em placa, da empresa de fundações que cravou os perfis metálicos e executou as estacas raiz, da empresa de contenções executora dos tirantes e do solo grampeado e aos que trabalharam na elaboração do projeto.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Associação Brasileira de Normas Técnicas (2019). NBR 6122. Projeto e execução de fundações.

Associação Brasileira de Normas Técnicas (2019). NBR 6489. Solo – Prova de carga estática em fundação direta.

Associação Brasileira de Normas Técnicas (2013). NBR 15575. Edificações Habitacionais – Desempenho.

Aponte a câmera do seu
smartphone para o
QR Code ao lado e salve o
evento na sua agenda.

