

3 INSTRUMENTAÇÃO DE RADIERS ESTAQUEADOS

3.1. INTRODUÇÃO

Nas duas últimas décadas, radiers de concreto armado têm sido uma solução frequentemente indicada para a fundação de estruturas de grande porte em depósitos profundos de argila rija pré-adensada, sendo os recalques diferenciais, o fator determinante do projeto final.

Na maioria dos casos, quando as cargas da superestrutura são bem distribuídas sobre o radier semi flexível, os recalques no centro serão maiores do que nas bordas. Esses recalques diferenciais, quando excessivos, podem comprometer a funcionalidade e até mesmo a estabilidade da construção. Para limitar esses recalques o procedimento mais comum tem sido estaquear o radier e, uma vez tomada essa decisão, geralmente se considera que toda a carga estrutural será suportada pelas estacas, sendo a capacidade de suporte do radier ignorada ou considerada apenas para suportar seu peso próprio.

Isso mostra a importância de se obter informações confiáveis sobre o comportamento de radiers estaqueados, de modo que se possa desenvolver métodos de projeto que considerem devidamente a transferência direta de carga do radier para o solo. Importantes resultados sobre a interação radier-estacas-solo foram obtidos através de ensaios em modelos reduzidos ou pela instrumentação de radiers estaqueados construídos em argila de Londres e de Frankfurt (Cooke et al., 1981; Sommer, 1986; entre outros), cujos principais resultados e conclusões são apresentados a seguir.

3.2. RESULTADOS EXPERIMENTAIS

3.2.3. Prédio sobre radier estaqueado em Londres

Cooke et al. (1981) descrevem a investigação do comportamento de um radier estaqueado, que constitui a fundação de um prédio localizado no norte de Londres, durante um período de 6 anos desde o início da construção até a ocupação do edifício.

A edificação (Figura 3. 1) é constituída por um bloco de 16 pavimentos com 43,3m de comprimento e 19,2m de largura. A fundação consiste de um radier de concreto armado com 0,9m de espessura conectando 351 estacas escavadas de concreto moldadas “in situ”, com 0,45m de diâmetro e 13m de comprimento, sendo espaçadas de 1,6m ao longo da largura e de 1,63m ao longo do comprimento do edifício. A planta da fundação mostrando suas dimensões e a disposição das estacas é apresentada na Figura 3. 2. A carga de trabalho calculada para as estacas foi 565kN e qualquer carga suportada diretamente pelo radier foi ignorada pelo projeto.



Figura 3. 1 – Prédio construído sobre radier estaqueado (apud Cooke *et al.*, 1981).

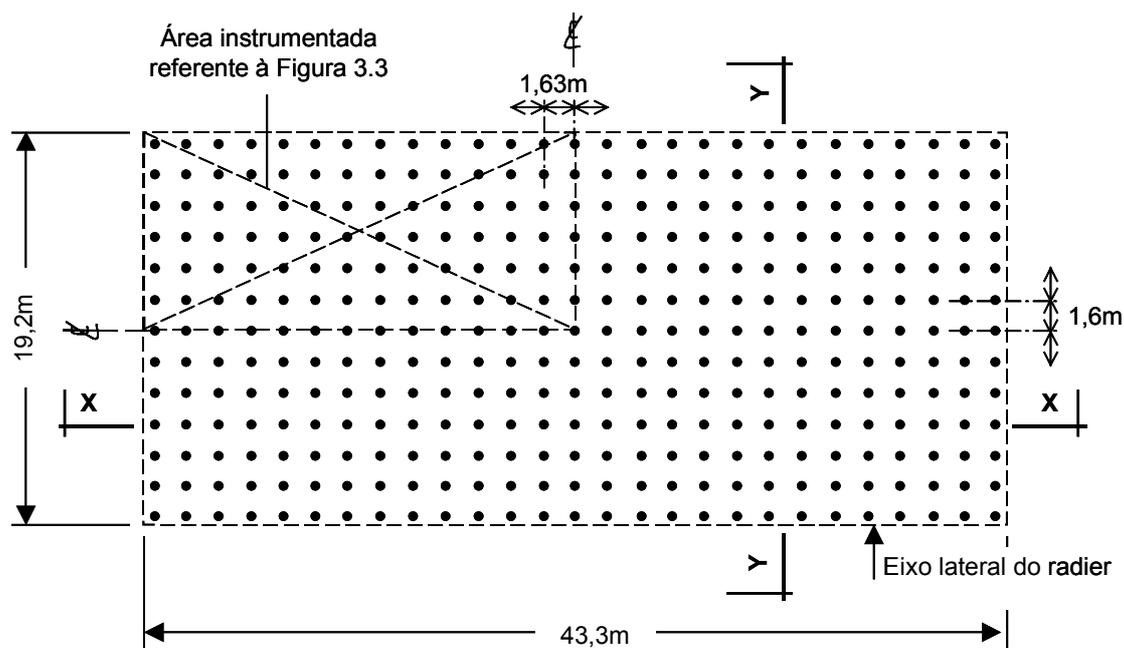


Figura 3. 2 – Detalhes do radier estaqueado mostrando a disposição das 351 estacas (modificado de Cooke *et al.*, 1981).

Os principais objetivos da instrumentação foram observar a distribuição de carga entre as estacas, e separar a proporção de carga transferida diretamente ao solo de suporte pela base do radier. Para fornecer esta informação, células de carga foram instaladas no topo de estacas representativas e células de pressão foram instaladas em determinados pontos na interface solo-radier.

Um objetivo secundário foi estabelecer se na prática existem diferenças entre as proporções de resistência lateral e de ponta, sob condições de trabalho, entre as estacas características do grupo analisado. Isso porque, diferenças significativas entre as componentes de resistência lateral e de ponta no centro e extremidades de estacas em um conjunto constituído de três estacas alinhadas, foram anteriormente medidas em ensaios instrumentados na argila de Londres (Cooke *et. al*, 1980). Esses ensaios indicaram ainda que as diferenças seriam consideravelmente maiores no caso de radiers estaqueados formados por grande número de estacas e que seria apropriado considerá-las no projeto.

Para investigar esse aspecto do comportamento de grupos de estacas foram necessárias células de carga adicionais na base de estacas pré-selecionadas. Dessa forma decidiu-se colocar células na base e no topo de todas as estacas escolhidas, mas devido a prazos de execução a instalação da instrumentação foi possível em

apenas uma das estacas do canto, em três estacas ao longo do eixo lateral e quatro estacas internas (Figura 3. 3).

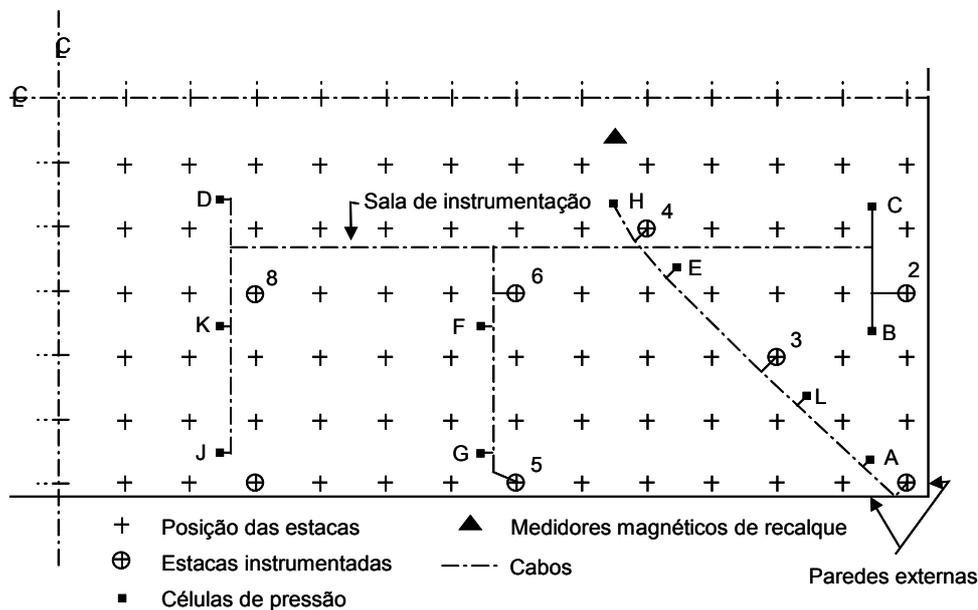


Figura 3. 3 – Planta da região instrumentada (modificado de Cooke *et al.*, 1981).

Leituras dos extensômetros, das células de carga das estacas e das células de pressão do radier foram feitas em intervalos frequentes durante a construção. As seguintes observações resultaram dessa instrumentação:

A) Recalques

Os deslocamentos medidos a uma profundidade de 0,4m abaixo do radier foram considerados representativos dos recalques da área central do mesmo. A Figura 3. 4 apresenta a aplicação da carga durante a construção e a evolução das leituras dos medidores magnéticos de recalques em diversas profundidades, mostrando que o recalque ao final da construção foi 10mm e que o recalque aumentou cerca de 70% ao longo dos quatro anos seguintes.

B) Distribuição de cargas nas estacas

A aplicação da carga nas estacas para sete das estacas instrumentadas é mostrada na Figura 3. 5. A célula de carga no topo da estaca 7 não forneceu leituras confiáveis e, por esta razão, estas não foram incluídas. Pode-se observar que a estaca do canto suportou cargas maiores que as outras estacas instrumentadas em todos os estágios da construção. As cargas nas duas estacas do

eixo e nas quatro estacas internas podem ser agrupadas em duas classes claramente definidas, com as estacas do eixo suportando menos que duas vezes a carga média suportada pelas estacas internas.

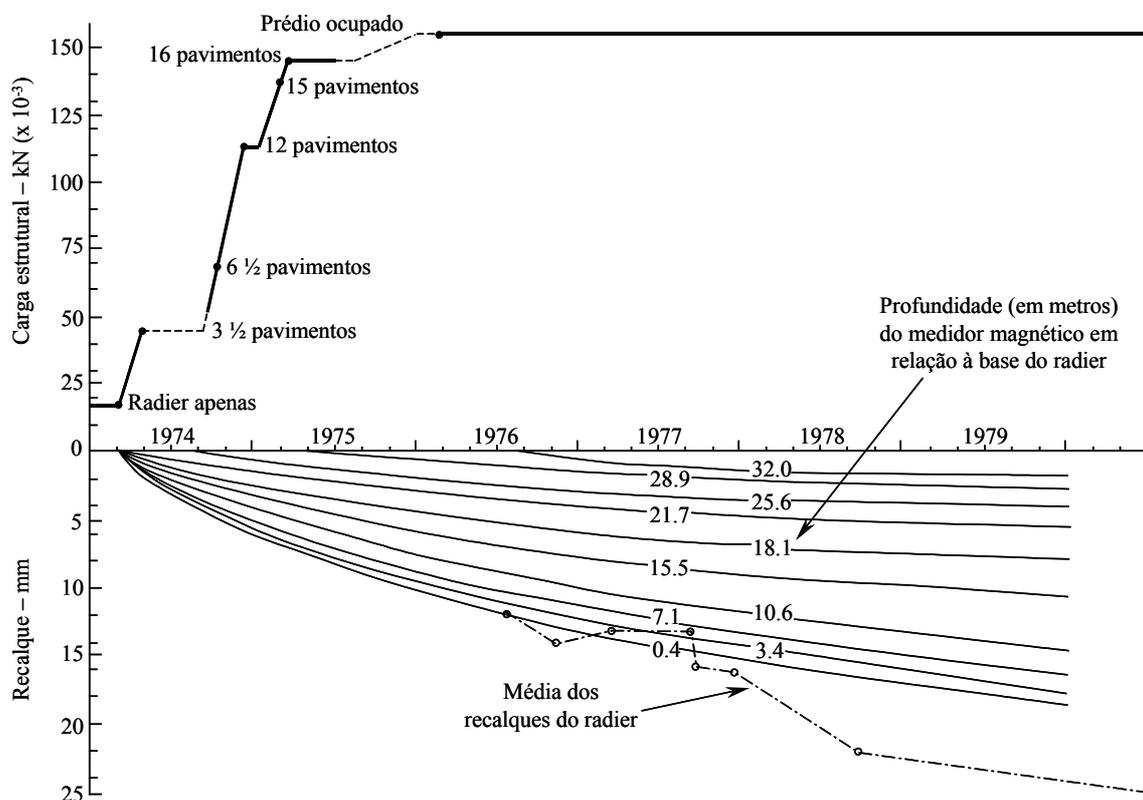


Figura 3. 4 – Desenvolvimento da carga durante a construção e leituras dos medidores magnéticos de recalque (modificado de Cooke *et al.*, 1981).

C) Atrito lateral e resistência de ponta das estacas

Por causa da semelhança entre as cargas suportadas pelas duas estacas do eixo e por cada uma das quatro estacas internas, somente valores médios das cargas para estas estacas foram considerados nas análises subsequentes. Figura 3. 6 mostra as cargas suportadas pelas estacas do canto, do eixo e internas nos principais estágios da construção, assim como as correspondentes cargas médias transmitidas para a base das estacas. O atrito médio no fuste de cada estaca característica, expresso pela diferença entre a carga média aplicada e a carga média na base, é também apresentado na Figura 3. 6.

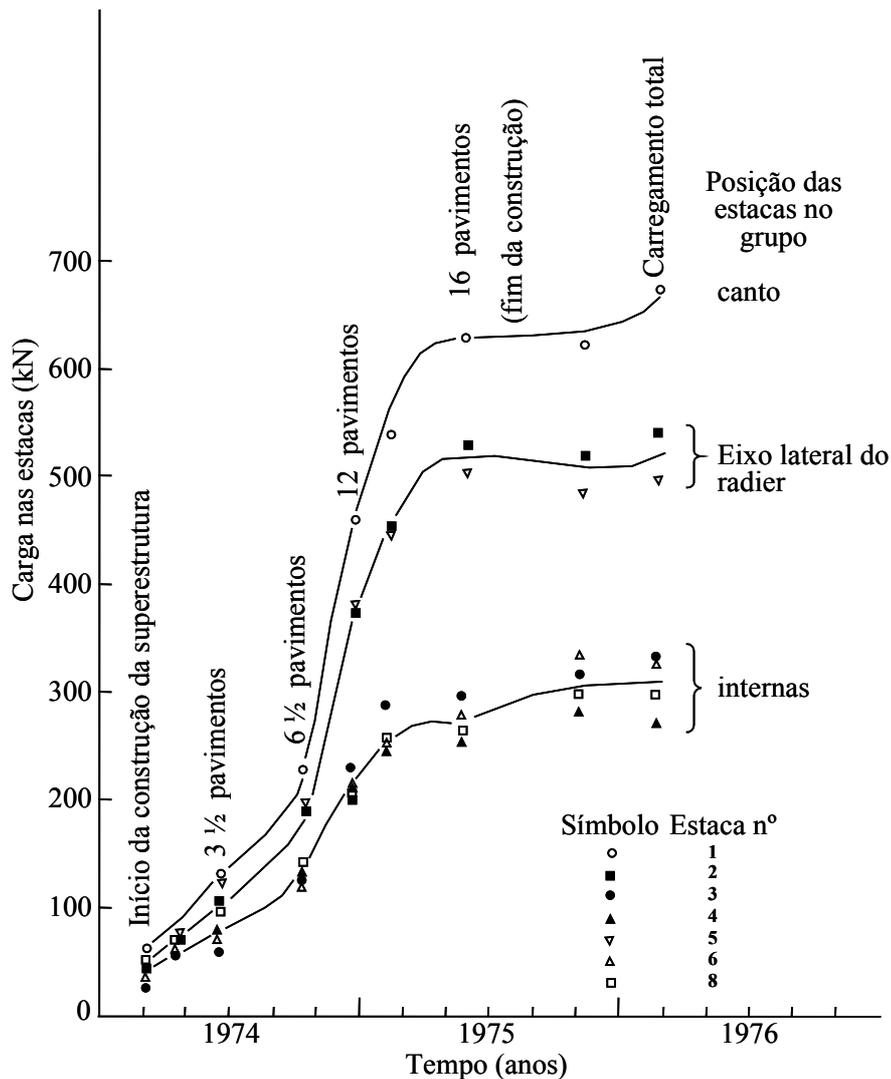


Figura 3. 5 – Aplicação do carregamento nas estacas durante a construção (modificado de Cooke *et al.*, 1981).

D) Pressões de contato no radier

As pressões de contato entre o radier e a argila foram medidas em onze pontos, cada um no centro de um quadrado formado pelas quatro estacas adjacentes. Os contornos das pressões máximas no radier são mostrados na Figura 3. 7. Devido ao número insuficiente de células de pressão total instaladas na fundação não se pode obter contornos de alta precisão. Entretanto, ao admitir que as variações das pressões máximas foram suaves em todas as direções, e simétricas sobre os dois eixos da planta do edifício, contornos representativos foram obtidos. Nota-se que as pressões de pico foram maiores nos cantos da construção e decrescem na direção do centro do radier, de forma análoga à variação do carregamento das estacas.

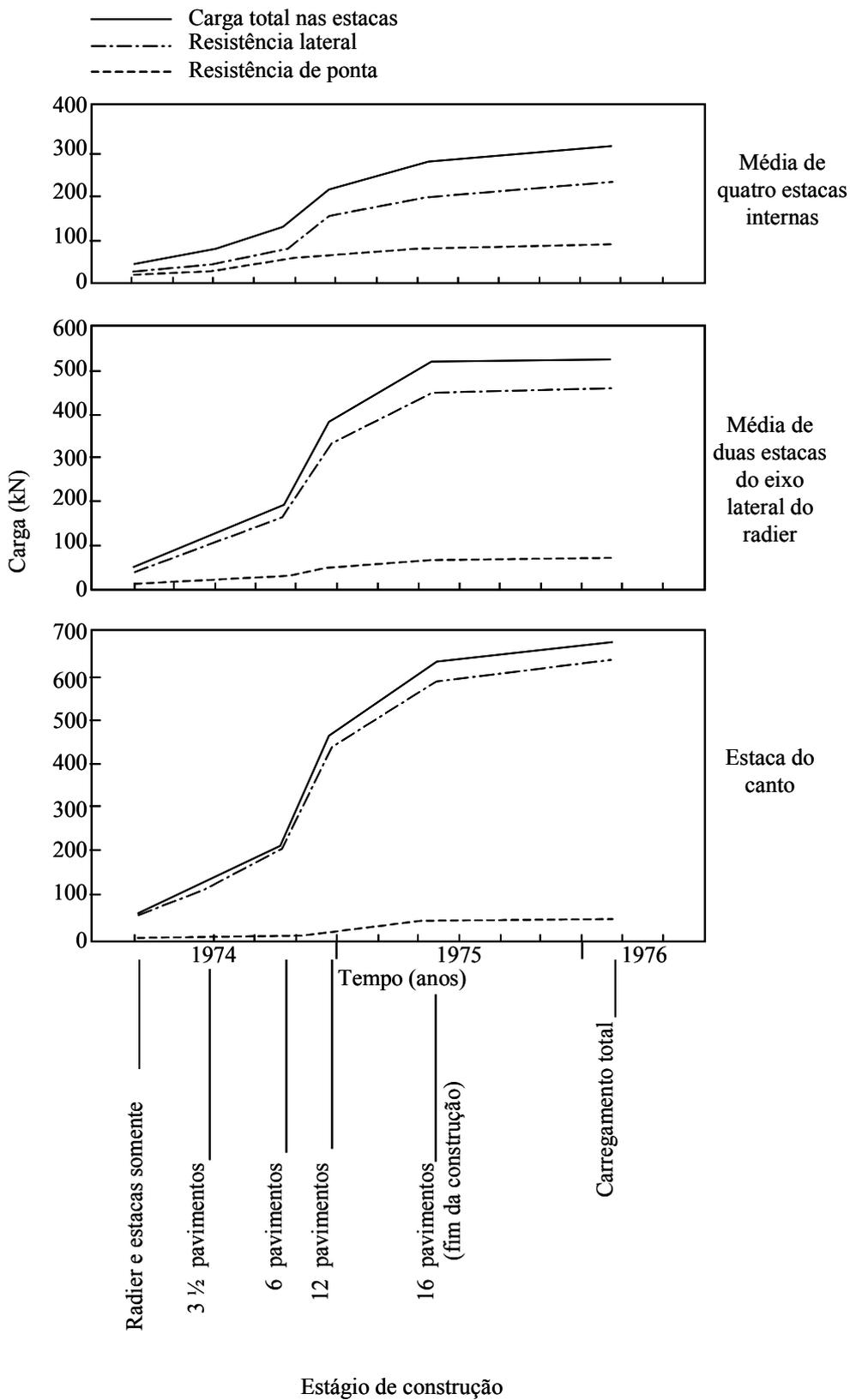
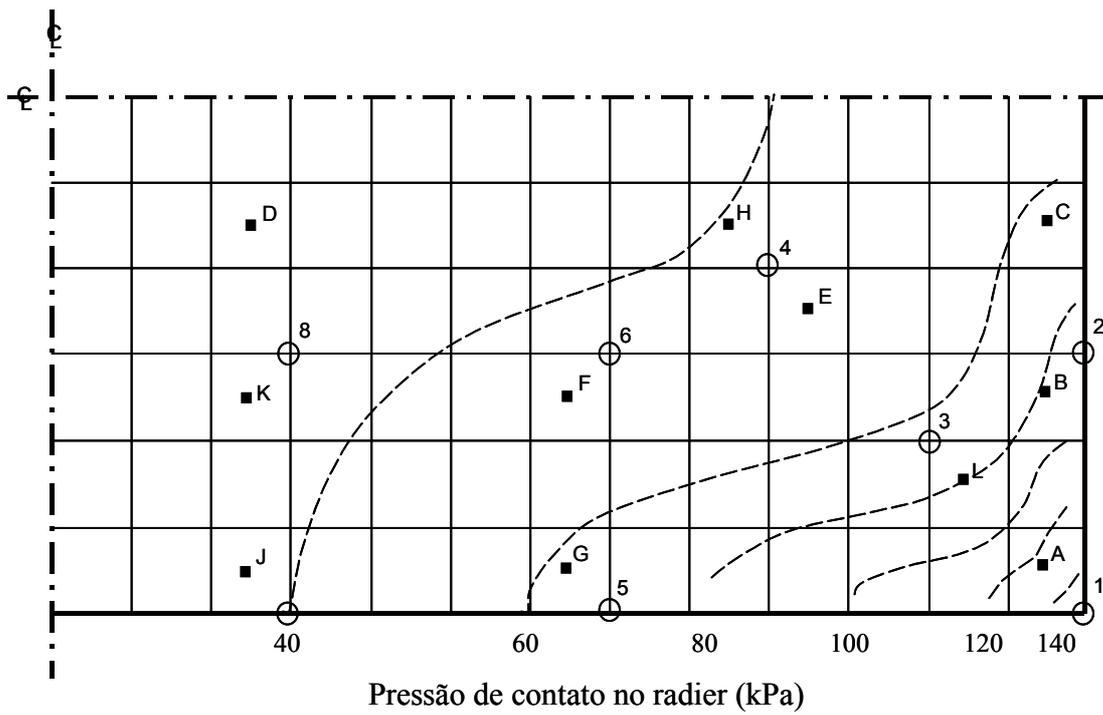
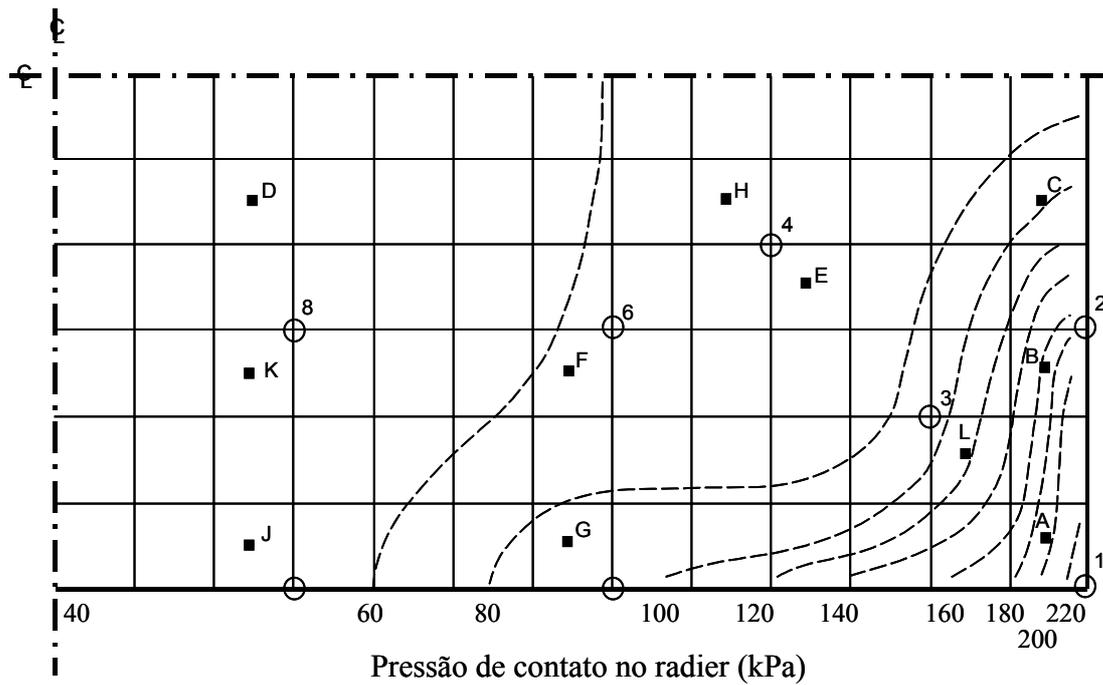


Figura 3. 6 – Desenvolvimento no tempo das parcelas de resistência de ponta e atrito lateral nas estacas características (modificado de Cooke *et al.*, 1981).



(a)



(b)

- Células de pressão no radier
- Estacas instrumentadas

Figura 3. 7 – Pressões de pico no radier: (a) em aproximadamente 45% da carga total (6 ½ pavimentos); (b) em 100% da carga total, com a construção ocupada (modificado de Cooke *et al.*, 1981).

E) Divisão de carga entre as estacas e o radier

Devido a limitações na instrumentação, algumas hipóteses tiveram que ser feitas de modo que se pudesse estimar as cargas suportadas por todas as estacas e a carga total suportada pelo radier. No caso das estacas foi possível estimar valores de carga em estacas não-instrumentadas, admitindo-se que as variações eram suaves em todas as direções e que para cada estágio de construção os contornos de carga das estacas, devido à simetria do problema, atravessavam os dois eixos da construção em ângulos retos. Dos contornos das pressões de pico abaixo do radier foi possível extrair valores para a pressão de pico dentro de cada área quadrada delimitada pelas quatro estacas adjacentes. Assim, a pressão média de contato no radier sobre cada uma dessas áreas foi obtida ao se aplicar uma correção para considerar a variação entre os baixos valores de pressão desconhecidos na periferia do fuste de cada estaca e os valores médios de pico medidos ou estimados à meia distância entre as mesmas. Esta distribuição de pressão provavelmente se aproxima de um parabolóide invertido, no qual pressões de pico ocorrem na origem do mesmo e pressões nulas ocorrem na superfície do fuste de cada estaca. Tal distribuição de pressão entre quatro estacas no interior do grupo é mostrada na Figura 3. 8(a).

Por causa da dificuldade de calcular a pressão média efetiva para este sólido complexo, duas simplificações adicionais foram feitas:

a) a pressão de contato foi considerada nula no eixo de cada estaca;

b) as áreas da seção transversal dos fustes das estacas foram admitidas suficientemente pequenas quando comparadas com a área da planta do radier, de modo que os efeitos na distribuição de pressões na seção transversal de cada estaca pudesse ser ignorado.

Uma distribuição das pressões de contato baseada nessas simplificações é mostrada na Figura 3. 8(b). Para este caso, a pressão média do radier para cada área quadrada entre os eixos das quatro estacas é dada por 0,67 vezes o valor de pico. As cargas totais calculadas a partir dos contornos das pressões de pico mostradas na Figura 3. 7 foram então multiplicadas por 0,67 para fornecer os valores mais prováveis da carga suportada diretamente pelo radier.

Na Figura 3. 9, o carregamento total da fundação, expresso pela soma dos carregamentos das estacas e do radier em cinco estágios de construção, é

comparado com a carga da superestrutura nos mesmos estágios (Figura 3. 4). Variações na carga total da fundação, suportada pelas estacas durante a construção, são também mostradas na Figura 3. 10.

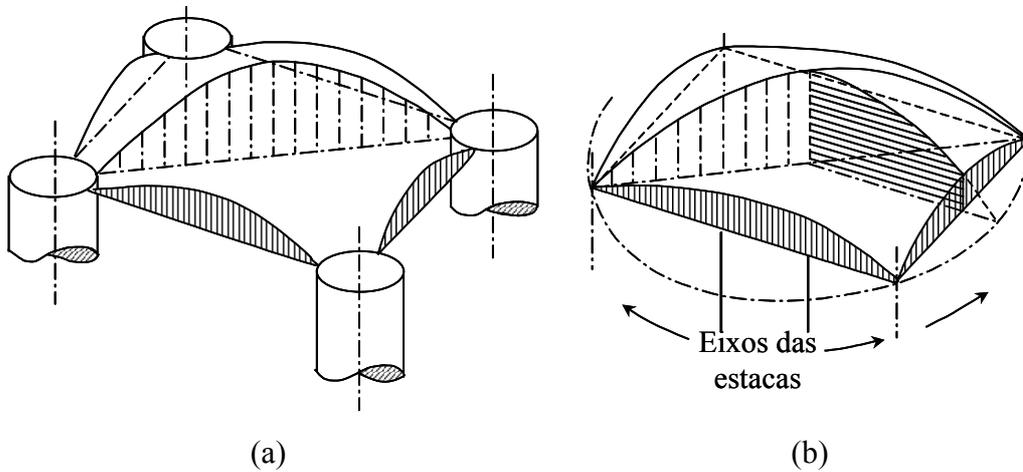


Figura 3. 8 – (a) Distribuição provável de pressão de contato na base de uma área do radier entre quatro estacas adjacentes; (b) distribuição de pressão admitida para obtenção da carga total do radier (modificado de Cooke *et al.*, 1981).

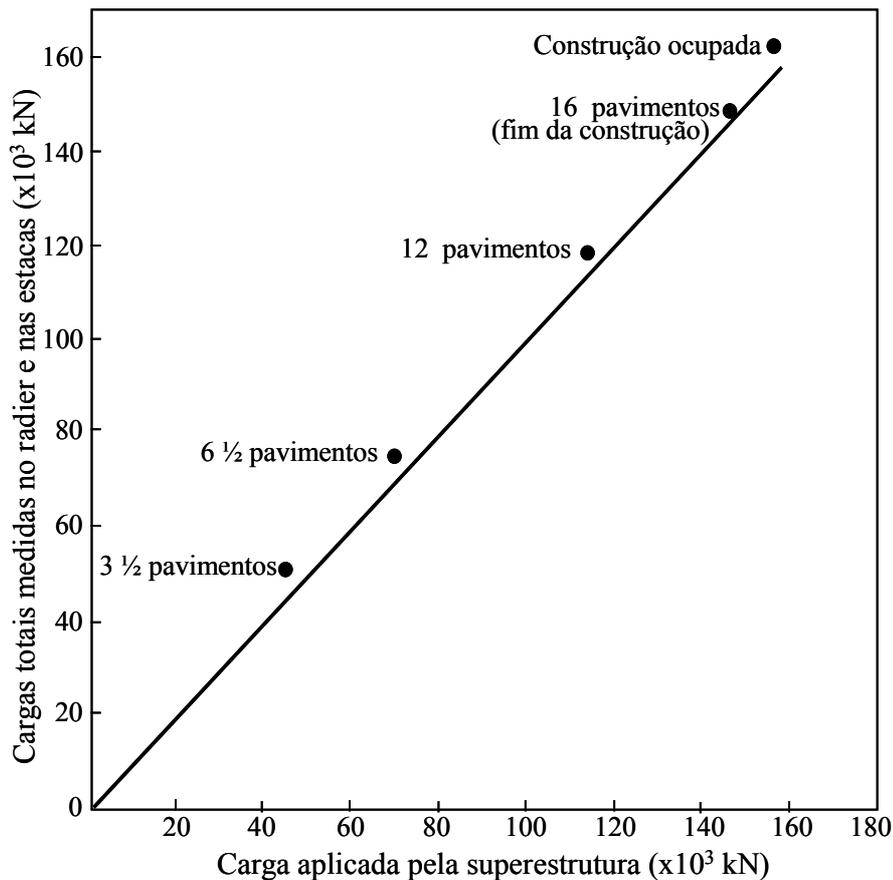


Figura 3. 9 – Carga total na fundação em cinco estágios de construção comparada com a carga aplicada pela superestrutura (modificado de Cooke *et al.*, 1981).

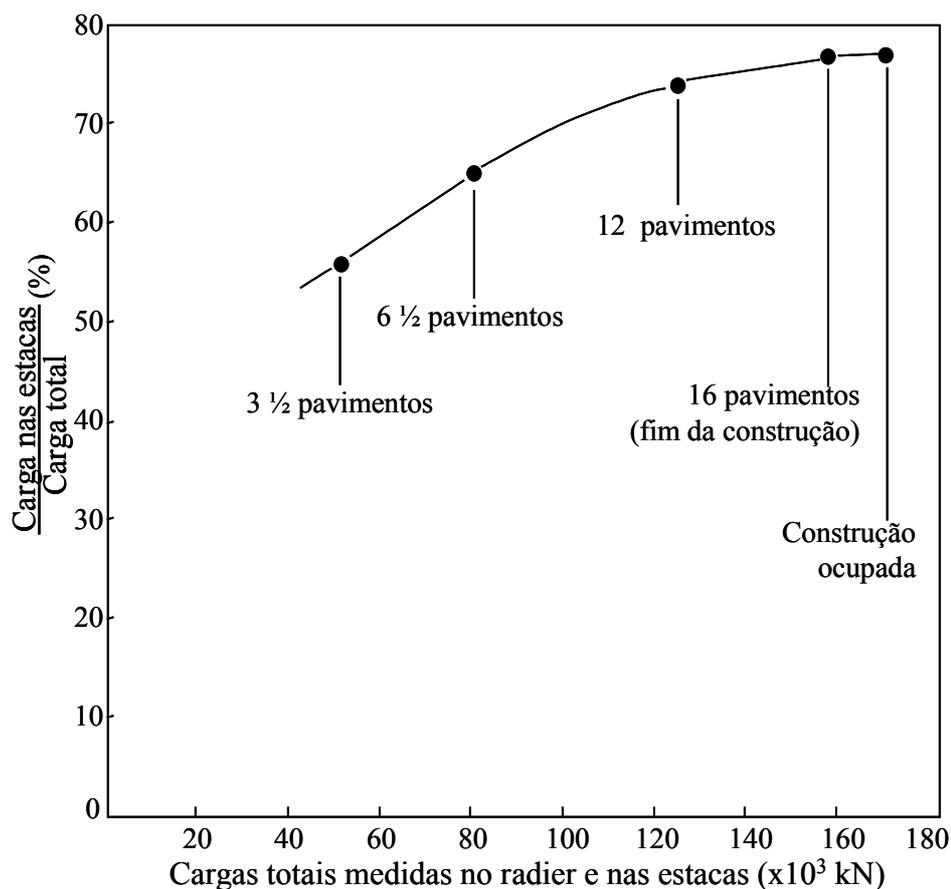


Figura 3. 10 – Proporção da carga total suportada pelas estacas em vários estágios de construção.

Padfield e Sharrock (1983) discutem um projeto alternativo para a fundação desse prédio, propondo o uso de apenas 40 estacas, situadas próximo ao centro do radier e espaçadas de 3,2m (7,1 diâmetros). Esse esquema mostrou ser possível diminuir significativamente todos os recalques diferenciais, mesmo considerando-se um radier de grande flexibilidade.

3.2.4. Ensaio em modelos reduzidos

Para projetar radiers estaqueados com eficiência e economia é necessário saber como as cargas estruturais são transferidas ao solo de suporte pelos elementos da fundação, e além disso entender os fatores que afetam os recalques diferenciais e totais sob condições de trabalho. Cooke (1986) discute esses aspectos condicionantes no projeto de um radier estaqueado e apresenta resultados

de ensaios em modelos reduzidos realizados em radiers de vários tamanhos, não-estaqueados e estaqueados, em argila homogênea remoldada.

Esses resultados mostraram que quando as estacas são incluídas no radier com o único objetivo de reduzir recalques, nenhuma redução significativa é alcançada quando o espaçamento entre as estacas é inferior a $4d$ (d = diâmetro da estaca), sugerindo que espaçamentos de $6d$ a $8d$ podem ser mais eficientes. Entretanto, Cooke (1986) ressalta que essa observação deve ser verificada através do estudo de modelos mais detalhados ou de observações em estruturas reais com pequeno número de estacas.

Esse autor observa ainda que para se obter a máxima contribuição das estacas na redução de recalques, estas devem ser relativamente longas em relação à largura da fundação. Ensaios em modelos mostraram que, no caso em que a relação entre o comprimento das estacas e a largura do radier é menor que 2, a redução dos recalques pode girar em torno de $1/3$ a $1/2$ do recalque obtido para um radier não-estaqueado sob a mesma carga em depósito de argila homogênea. Na prática, em argilas cuja rigidez aumenta com a profundidade, as reduções no recalque podem ser esperadas ainda maiores.

Com relação à distribuição de carga entre as estacas e o radier observada em radiers estaqueados em solos argilosos, Cooke (*op. cit.*) conclui que depende sobretudo do carregamento estrutural e da rigidez do sistema fundação-superestrutura. Entretanto, nos casos em que a superestrutura é altamente rígida no fim da construção, a distribuição de carga depende particularmente do número de estacas e do espaçamento entre elas. Considerando os espaçamentos mais usuais, pode-se esperar que as estacas dos cantos e dos eixos recebam 2 e 1,5 vezes mais carga que as estacas do centro, respectivamente.

3.2.5. Prédio sobre radier estaqueado em Frankfurt

Um dos mais altos edifícios da Europa, o Messe Turm com 256m de altura e 60 pavimentos, foi construído sobre um radier estaqueado em argila de Frankfurt (Figura 3. 11 (a)). Sommer *et al.* (1991) descreveram o projeto, a construção e o sistema de instrumentação, juntamente com os resultados medidos durante e após a construção.

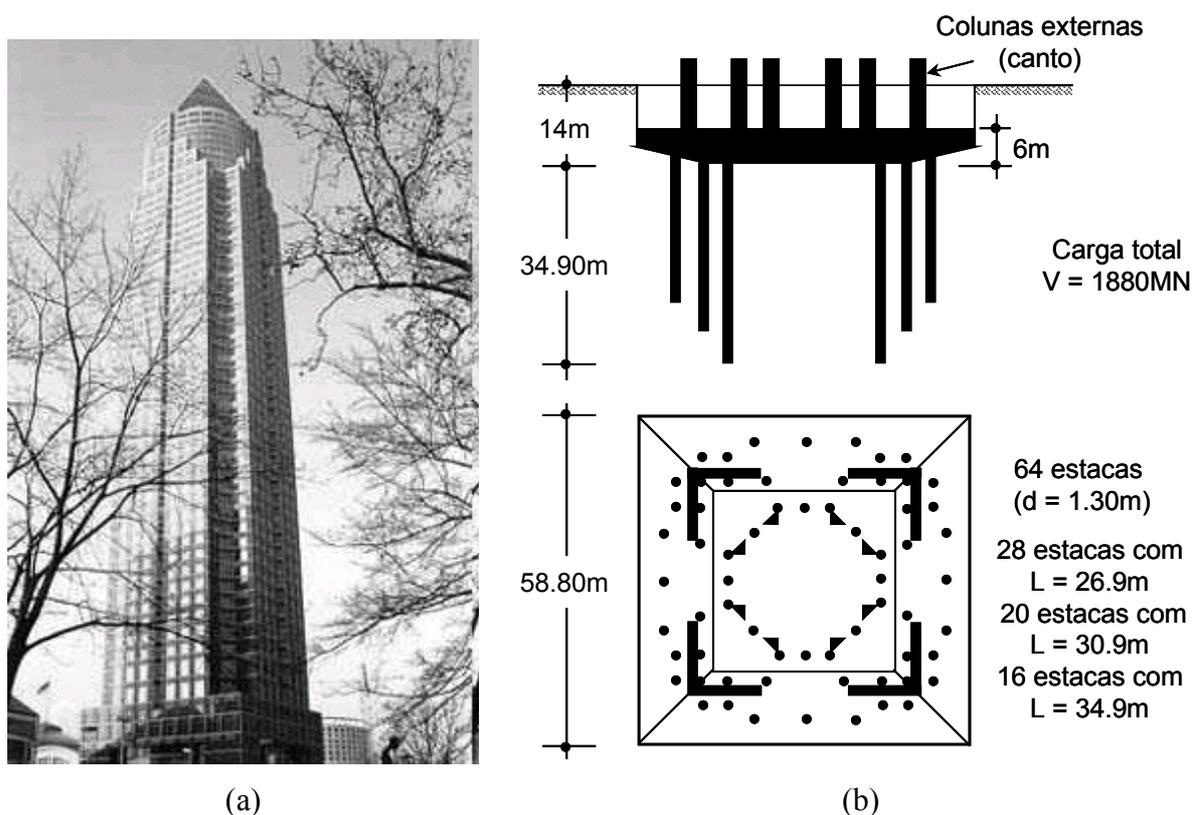


Figura 3. 11 – Edifício Messe Turm construído em Frankfurt, na Alemanha: (a) vista real da estrutura; (b) radier estaqueado otimizado (modificado de Sommer *et al.*, 1991).

Foram consideradas as seguintes propriedades para a argila de Frankfurt:

- módulo de Young $E_s = E_{s0}(1 + az)$ onde $E_{s0} = 7\text{MPa}$, $a = 0,35$ e z é a profundidade em metros abaixo da superfície do solo;

- teor de umidade natural $w_n = 35\% \pm 10\%$;
- limite de liquidez $LL = 65\% \pm 10\%$;
- limite de plasticidade $LP = 35\% \pm 10\%$;
- índice de consistência $I_C = 0,85 \pm 0,1$.

A resistência ao cisalhamento não-drenada da argila fissurada aumenta com a profundidade conforme apresentado na Figura 3. 12.

A fundação do Messe Turm consiste de um radier estaqueado cuja base se encontra a 14m de profundidade a partir da superfície do terreno, dos quais 9m estão abaixo do nível d'água. A espessura do radier varia de 6m no centro a 3m nas bordas. Considerando-se o edifício suportado apenas pelo radier, recalques

entre 35cm e 40cm seriam esperados. Assim, um grupo de estacas de grande diâmetro foi projetado para combater os recalques diferenciais e a inclinação da edificação. Ainda na fase de projeto, atenção especial foi dispensada à disposição dessas estacas no radier, de modo a aumentar a eficiência do grupo na redução dos recalques e da inclinação. Dessa forma, um total de 64 estacas foram dispostas abaixo do radier em três círculos concêntricos, de modo que o comprimento das estacas fosse aumentado na direção dos círculos mais internos (Figura 3. 11 (b)). As estacas possuem diâmetro $d = 1,3\text{m}$ e variam, em comprimento, de 26,9m a 34,9m. A distância entre os centros das estacas varia de $3,5d$ a $6d$.

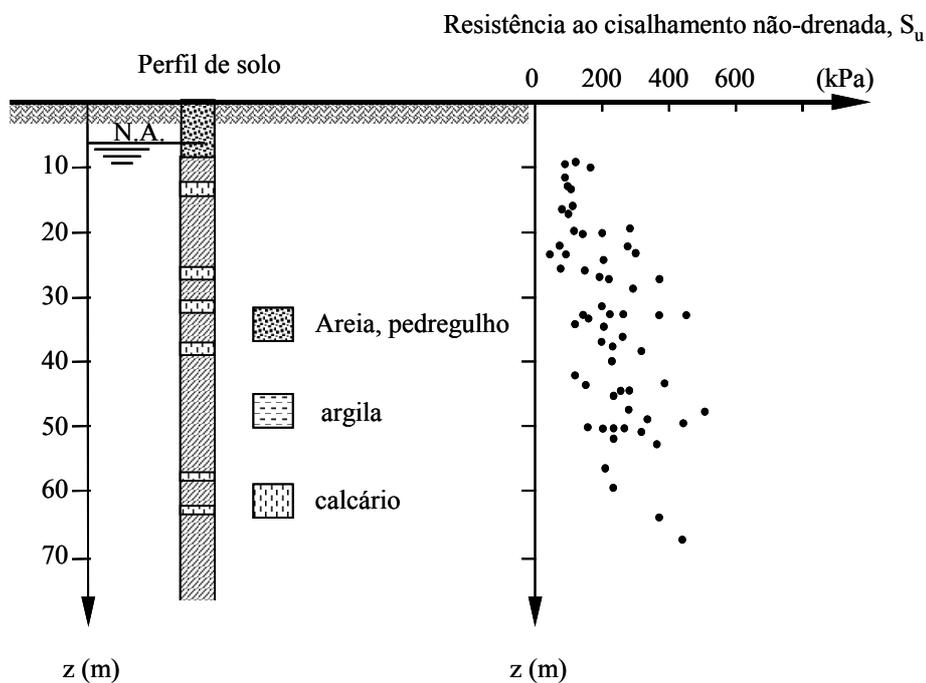


Figura 3. 12 – Perfil de solo e resistência ao cisalhamento não-drenada (modificado de Sommer *et al.*, 1991).

O radier e as estacas foram projetados com base numa análise limite. Inicialmente considerou-se que as estacas suportariam apenas 30% do carregamento total da construção e o radier transmitiria os demais 70%. Numa segunda hipótese, as estacas suportariam 55% da carga total e o radier o restante. Por fim, o radier e as estacas foram projetados para satisfazer ambas as condições.

A capacidade estrutural das estacas lhes permitia suportar a carga total da construção e no entanto elas foram projetadas para romper por atrito ao ser

atingida a sua capacidade de suporte, inferior a sua capacidade estrutural. Desse modo, a parcela de carga total que podia ser transferida às estacas foi limitada.

Um detalhe do projeto de instrumentação foi incorporado ao projeto da fundação, de modo que o comportamento da fundação pudesse ser monitorado, incluindo recalques e inclinação. Foi possível também avaliar as cargas nas estacas, as pressões de contato e atrito lateral, bem como a distribuição de cargas entre as estacas e o radier. A Figura 3. 13 apresenta a localização dos instrumentos.

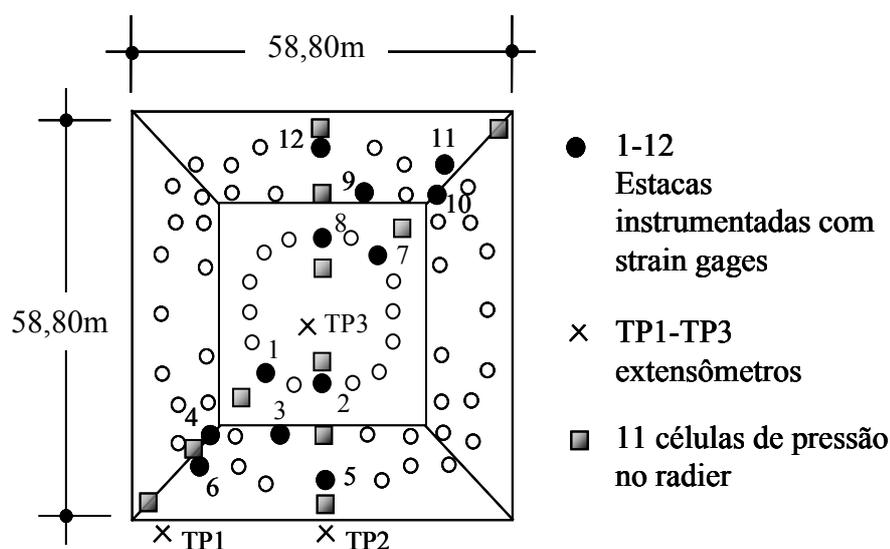


Figura 3. 13 – Localização dos instrumentos (modificado de Sommer *et al.*, 1991).

Com base nos resultados experimentalmente medidos da instrumentação pôde-se destacar as seguintes observações:

A) Recalques

Imediatamente após a concretagem do radier, foram medidos recalques variando entre 10mm e 15mm, mostrando que o compartilhamento de carga entre as estacas e o solo de suporte se desenvolve desde a fase inicial de construção do radier. A superestrutura foi construída num ritmo acelerado, de modo que a altura máxima do edifício foi alcançada em cerca de um ano. Em janeiro de 1990, quando aproximadamente 90% da superestrutura estava concluída, os recalques nas bordas do radier e no centro eram aproximadamente 4cm e 7cm, respectivamente (Figura 3. 14), observando-se que os recalques que ocorreram antes do endurecimento do concreto do radier foram desprezados. Essa figura

indica ainda que a maior parte da inclinação total do radier ocorreu na fase inicial da construção, logo após a concretagem.

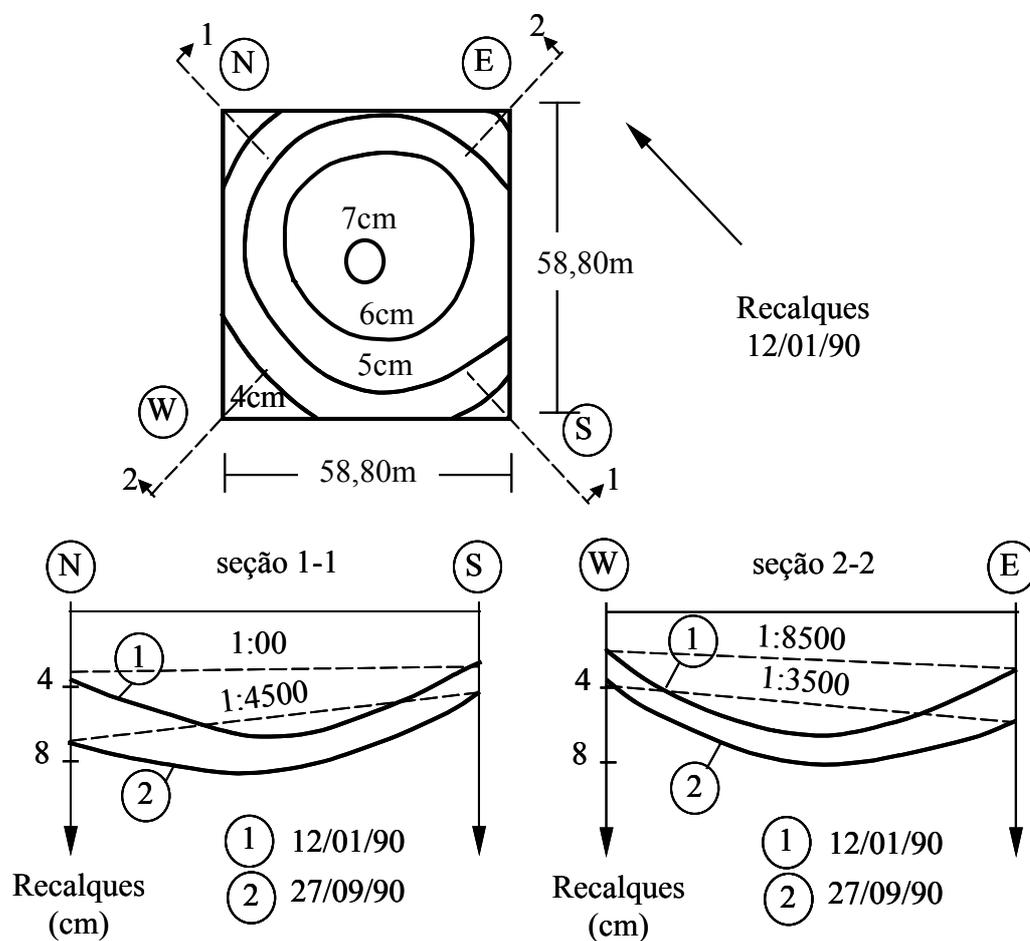


Figura 3. 14 – Inclinação do radier (modificado de Sommer *et al.*, 1991).

A verticalidade da superestrutura foi continuamente corrigida durante a construção, e como resultado, o Messe Turm foi praticamente construído como uma estrutura vertical. É importante observar que, caso essa correção não tivesse ocorrido, o recalque diferencial do radier causaria um deslocamento lateral do topo da torre cerca de 4,5 vezes maior do que aquele medido.

B) Medidas dos extensômetros

Foram instalados extensômetros a diversas profundidades para medir a distribuição do recalque com a profundidade (Figura 3. 15). Essas medidas

indicaram que cerca de 20% a 30% do recalque total ocorreu a até 70m abaixo do nível do terreno.

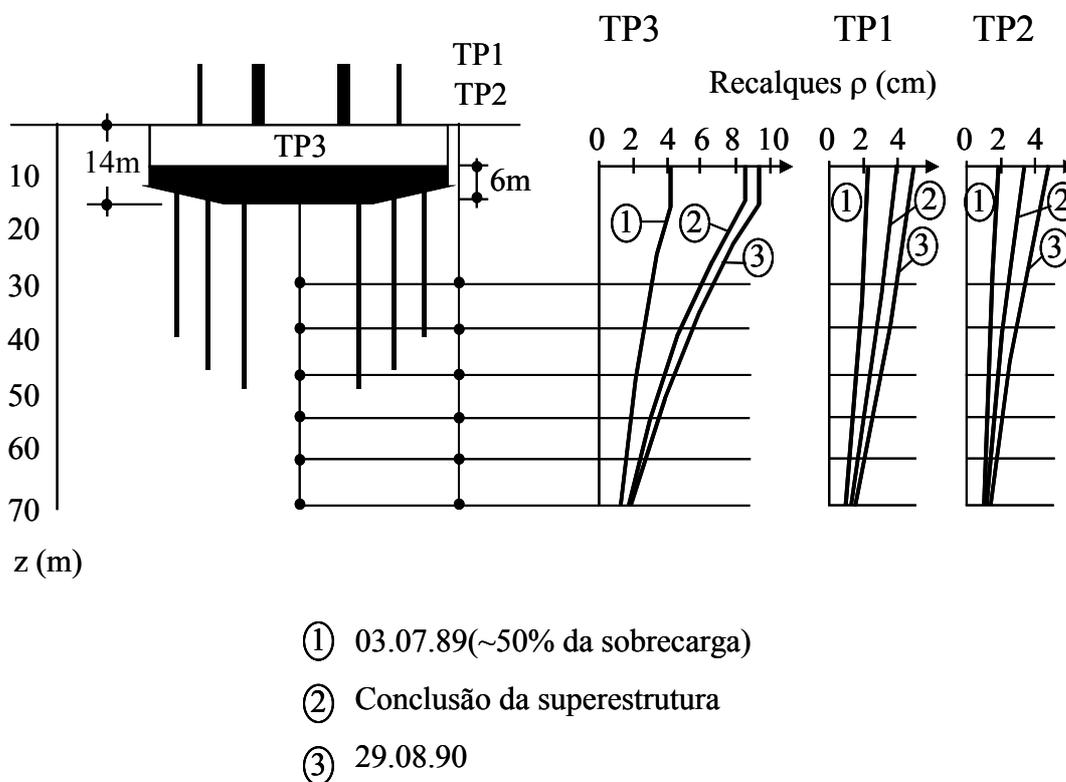


Figura 3. 15 – Distribuição de recalques com a profundidade (modificado de Sommer *et al.*, 1991).

C) Cargas nas estacas, atrito lateral e pressões de contato

Após a conclusão da superestrutura, a carga nas estacas dos anéis interno e externo foi medida em torno de 10-11MN, enquanto que no anel médio estava em torno de 13MN (Figura 3. 16). Essas medidas indicam que uma desejável distribuição uniforme de cargas foi quase alcançada, o que talvez pudesse ser melhorada com um ajuste no comprimento das estacas.

Devido à compressão do solo na base do radier pelo peso do concreto, as regiões superiores das estacas compreendidas entre 10 e 15m do comprimento total foram inicialmente carregadas por atrito lateral negativo (curva 1, Figura 3. 17). Após a aplicação de 50% da carga total da estrutura, ainda pôde-se observar

essa influência (curva 2) que diminuiu apenas após a conclusão da superestrutura (curva 3).

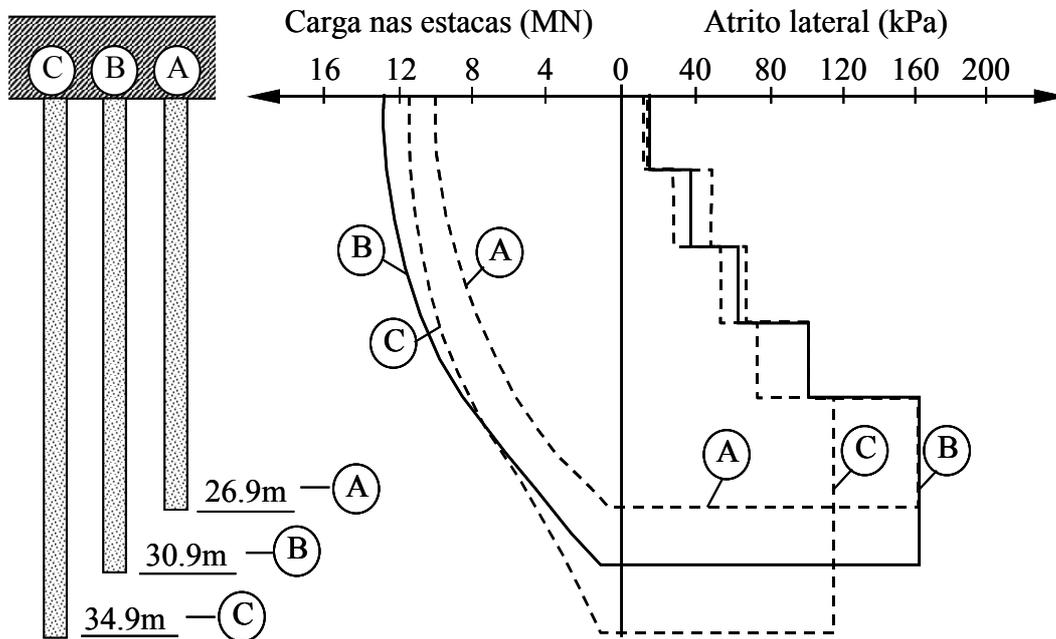


Figura 3. 16 – Distribuição de carga e atrito lateral nas estacas após a conclusão da superestrutura (modificado de Sommer *et al.*, 1991).

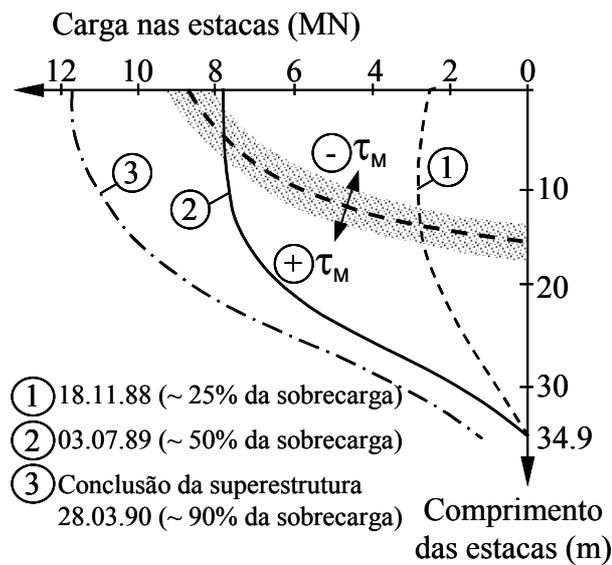


Figura 3. 17 – Distribuição de carga nas estacas (modificado de Sommer *et al.*, 1991).

Após a conclusão da superestrutura, a pressão de contato média, efetiva, sob o radier foi cerca de 165kPa, sendo 20% maior no centro quando comparada com as bordas (Figura 3. 18). Essas pressões de contato foram medidas por 11 células de pressão instaladas na base do radier.

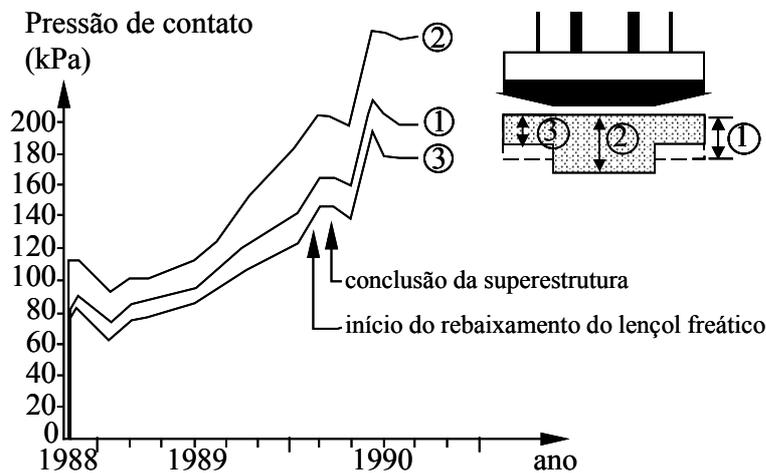


Figura 3. 18 – Pressão de contato média, efetiva, na interface solo-radier (modificado de Sommer *et al.*, 1991).

D) Distribuição de carga entre o radier e as estacas

Após a conclusão do trabalho estrutural, cerca de 55% da carga total da construção foi transferida ao subsolo através das estacas, enquanto que os 45% restantes foram transferidos diretamente ao solo pelo radier, conforme ilustra a Figura 3. 19.

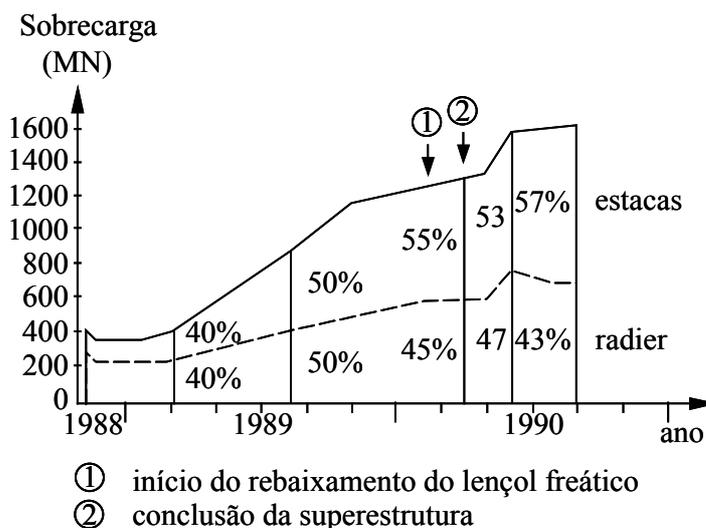


Figura 3. 19 – Distribuição de carga entre as estacas e o radier (modificado de Sommer *et al.*, 1991).

Como se pode observar, após uma breve análise desses resultados, o radier estaqueado projetado para suportar o Messe Turm reduziu de modo eficiente os recalques diferenciais e a inclinação, objetivo central do projeto que orientou a escolha do tipo de fundação.

3.2.6. Prédio sobre radier estaqueado no Japão

Esse trabalho descreve os resultados da instrumentação de um prédio de quatro pavimentos construído em concreto armado, cuja fundação consiste de um radier estaqueado com estacas de atrito largamente espaçadas, em um depósito de solo constituído por argila pré-adensada e areia.

O prédio localiza-se na cidade de Urawa no Japão. A Figura 3. 20 mostra um modelo da fundação, as cargas de projeto das colunas e o perfil do solo. O peso próprio da fundação foi estimado em 30MN, coincidindo com o valor da carga de projeto da superestrutura. O módulo de Young do solo (Figura 3. 20 (b)) foi calculado com base nos resultados da simulação de um ensaio de carregamento vertical em 26 estacas de concreto moldadas *in situ* (Yamashita *et al.*, 1987).

A Tabela 3. 1 apresenta as dimensões, o módulo de Young e coeficiente de Poisson do radier e das vigas da fundação.

Tabela 3. 1 – Dimensões e parâmetros elásticos do radier e das vigas da fundação (modificado de Yamashita e Kakurai, 1991).

Estrutura	Largura (m)	Altura (m)	Módulo de Young (MPa)	Coefficiente de Poisson
Radier	-	0,3	2,06 x 10 ⁴	0,167
Vigas	(A) 0,35 – 0,90 (B) 0,25 – 0,32	1,8		

Se a planta da fundação fosse considerada retangular, o recalque estimado ao se carregar a superfície do radier sob carga uniformemente distribuída igual à pressão média de contato seria de 4cm no centro e 1cm nas bordas, além de uma inclinação de 1/500 radianos. Entretanto, a planta da fundação é assimétrica, de tal modo que a distribuição de carga não é uniforme, sendo a carga de projeto da coluna na parte central muito maior do que em qualquer outro lugar do radier. Desse modo, um radier de elevada rigidez seria indispensável para prevenir

recalques diferenciais, o que tornaria a solução inviável do ponto de vista econômico.

Nesta etapa, a carga da superestrutura foi presumida concentrada, optando-se então por adicionar ao radier uma estaca de atrito sob cada uma das colunas com o objetivo de reduzir os recalques diferenciais. A Figura 3. 21 mostra a disposição e especificação dessas estacas de atrito (perfis H em aço). A base das estacas foi apoiada a aproximadamente 17m de profundidade.

Com o objetivo de avaliar o comportamento do radier estaqueado, foram medidos os recalques diferenciais e totais da fundação, assim como a carga axial nas estacas e a pressão de contato na interface solo-radier. A Figura 3. 21 mostra as posições da instrumentação para medidas do recalque e das estacas instrumentadas.

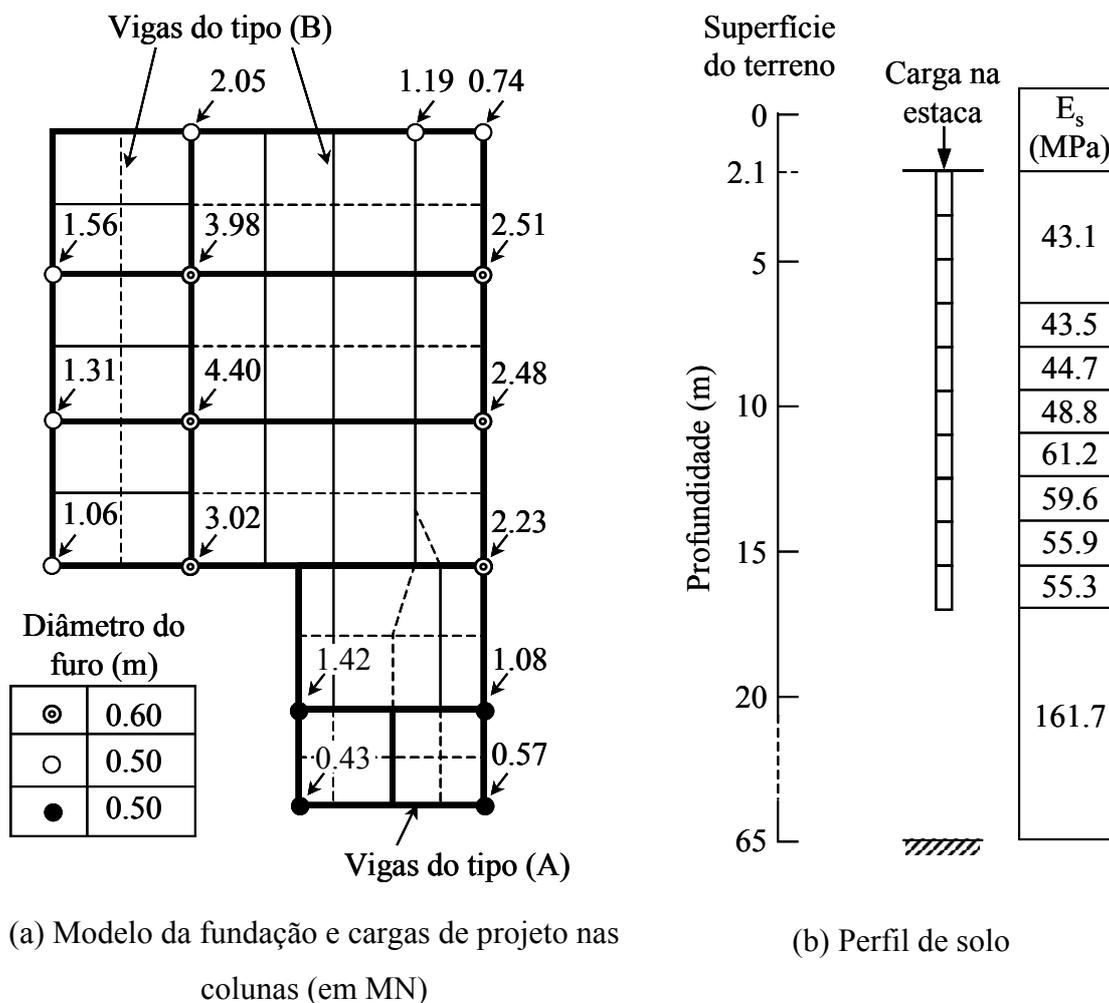


Figura 3. 20 – Modelo da estrutura da fundação e do perfil de solo (modificado de Yamashita e Kakurai, 1991).

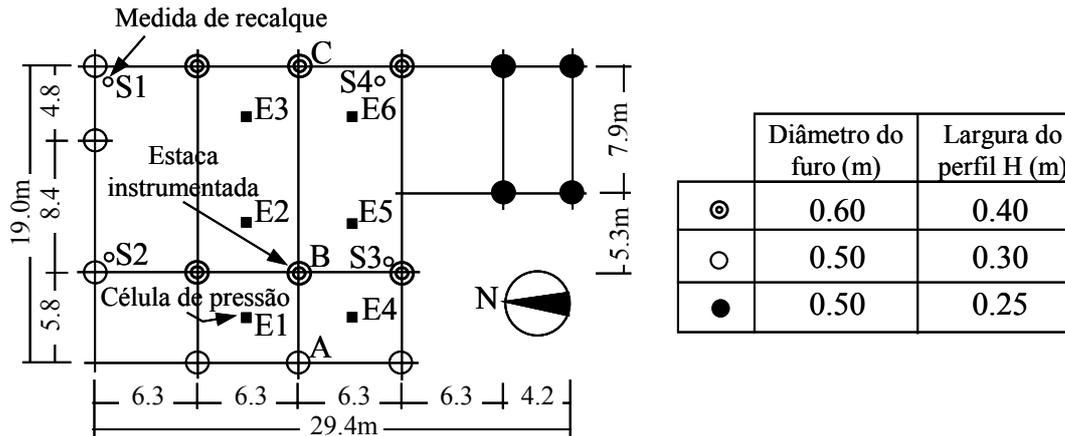


Figura 3. 21 – Planta da fundação e posições de monitoramento (modificado de Yamashita e Kakurai, 1991).

A Figura 3. 22 apresenta os recalques totais medidos na fundação. Pode-se observar que até a completa construção da superestrutura, os recalques aumentaram de 3mm para 15mm, sendo o maior valor observado no medidor S3. A maior inclinação, em torno de 1/760 radianos, foi medida em S3 e S4.

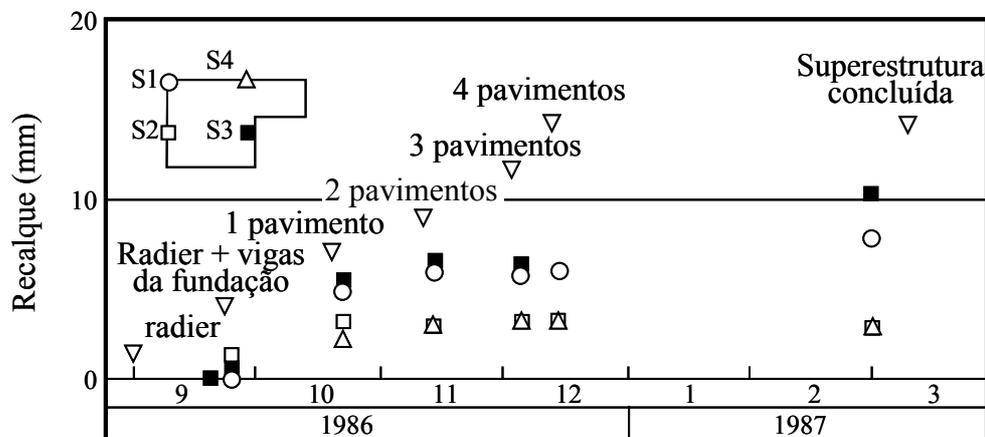


Figura 3. 22 – Recalques totais medidos (modificado de Yamashita e Kakurai, 1991).

A Figura 3. 23 mostra a aplicação no tempo da força axial próximo ao topo (posição E1 na Figura 3. 21) de três estacas instrumentadas. Nota-se que a força axial na estaca A permanece praticamente estável enquanto as forças nas estacas B e C mostram um pequeno acréscimo entre nove e doze meses após a conclusão da superestrutura, observando-se, após esse período, apenas pequenas flutuações nos valores das forças axiais.

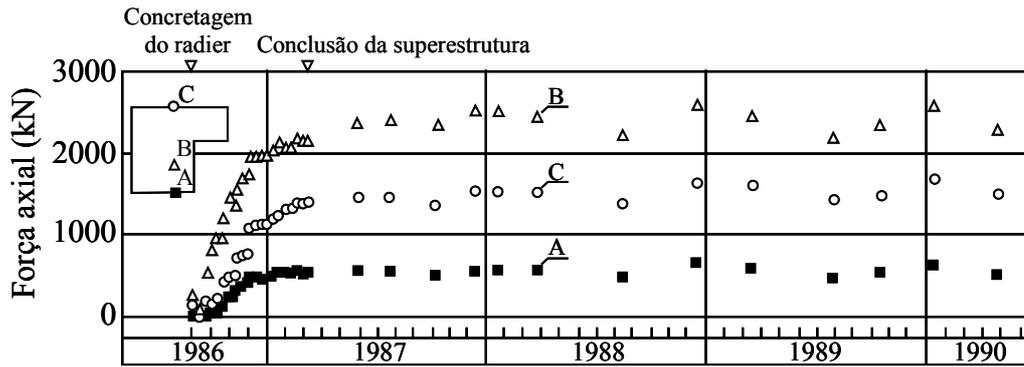


Figura 3. 23 – Aplicação da força axial no topo das estacas (modificado de Yamashita e Kakurai, 1991).

A Tabela 3. 2 lista a carga no topo da estaca e a razão entre a carga no topo da estaca e a carga na coluna, na conclusão da superestrutura e um ano após.

Tabela 3. 2 – Força axial medida no topo da estaca e relação entre a força axial e a carga na coluna (modificado de Yamashita e Kakurai, 1991).

Estaca	Ao fim da construção		1 ano após a construção	
	Carga na estaca (MN)	$\frac{\text{Carga na estaca}}{\text{Carga na coluna}}$	Carga na estaca (MN)	$\frac{\text{Carga na estaca}}{\text{Carga na coluna}}$
A	0,53	0,40	0,55	0,42
B	2,08	0,47	2,32	0,53
C	1,35	0,55	1,49	0,60

A Figura 3. 24 mostra o desenvolvimento da força axial ao longo da estaca B, na qual foram instalados medidores de deformação nas quatro posições indicadas.

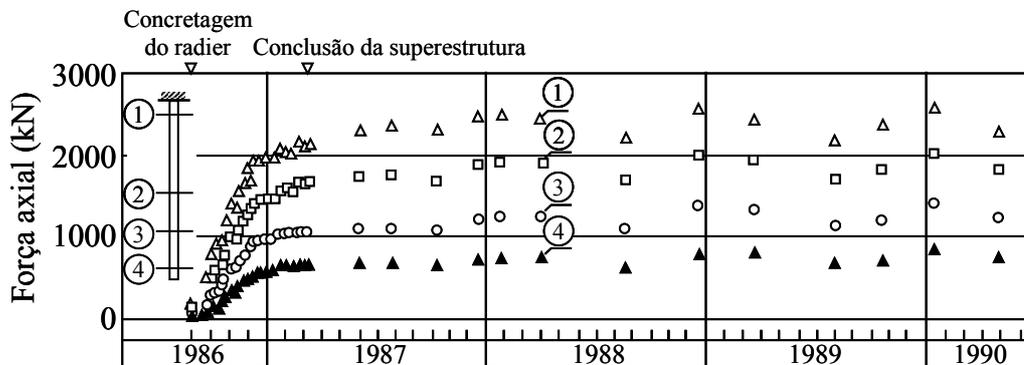


Figura 3. 24 – Desenvolvimento da força axial ao longo da estaca B (modificado de Yamashita e Kakurai, 1991).

As pressões de contato no radier foram medidas através de células de pressão instaladas na face inferior do mesmo, sendo os resultados apresentados na Figura 3. 25. As pressões aumentaram de 14kPa a 64kPa até o fim da construção, com o valor médio variando de 3kPa a 80kPa até julho de 1989, quando as pressões de contato permaneceram praticamente constantes.

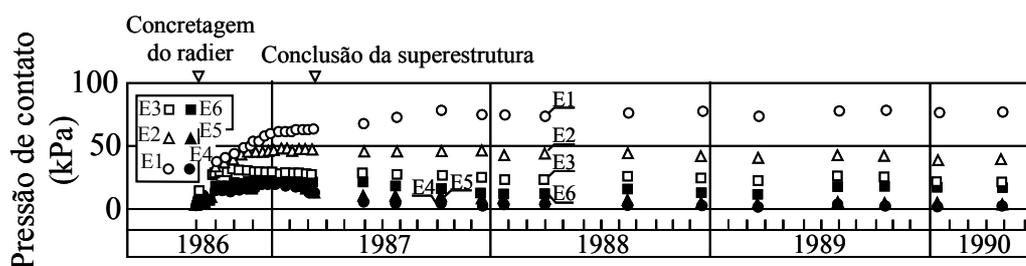


Figura 3. 25 – Evolução das pressões de contato na face inferior do radier (modificado de Yamashita e Kakurai, 1991).

Com base em todas essas observações, Yamashita e Kakurai (1991) concluíram que as estacas de atrito se mostraram eficientes na redução dos recalques diferenciais do radier, que parecem ter sido permanentes.