

PROVA DE CARGA EM LAJES PRÉ-FABRICADAS UNIDIRECIONAIS

Ernani Mendes Nobre
enobre@accvia.com.br

Resumo

O presente texto não tem a pretensão de apresentar à comunidade científica um roteiro para realização de provas de carga. Sua intenção é, meramente, possibilitar uma visão geral deste assunto, para engenheiros, fabricantes de pré-moldados de concreto e construtores, enfatizando sua importância para lajes unidirecionais. A relevância do tema se justifica pela recente evolução de novos materiais e produtos pré-fabricados.

Palavras-chave: concreto pré-fabricado, análise experimental de estruturas, lajes.

Abstract

The present text does not intend to present to the scientific community a guide for the accomplishment of load tests. Its intention is merely to provide an overview of this subject for engineers, precast concrete manufacturers and constructors, emphasising its relevance for one-way slabs. The importance of this subject is reinforced by the current development of new materials and precast products.

Keywords: precast concrete, structures experimental analysis, slabs.

1 Introdução

A grande evolução e a colocação de novos produtos no mercado da construção civil, no que diz respeito a lajes de cobertura e de piso, têm proporcionado uma grande demanda de testes de carga nesses tipos de elementos estruturais. Este artigo trata especificamente de provas de carga estáticas em lajes unidirecionais protendidas e não protendidas, como é o caso de painéis alveolares, elementos de seção T e TT, lajes com nervuras pré-moldadas ou nervuras com armação treliçada e elementos de enchimento com blocos vazados ou poliestireno expandido.

O objetivo maior do texto é apresentar aos engenheiros civis, construtores e fabricantes de pré-moldados de concreto armado e protendido, a simplicidade do método utilizado para a realização de uma prova de carga estática nos elementos anteriormente mencionados, sem grandes custos a serem despendidos. O resultado é uma avaliação segura da real capacidade de carga da estrutura construída, de acordo com o que prescrevem as normas brasileiras da ABNT.

Todos os cálculos realizados nos ensaios foram efetuados com base na NBR 6118:1980 e na NBR 7197:1989, antes da publicação da nova norma NBR 6118:2003. As adaptações das expressões para esta norma atual são simples e dizem respeito apenas às propriedades mecânicas do concreto.

Todas as etapas do teste devem seguir as prescrições da norma brasileira da ABNT, NBR 9607:1986 "Prova de Carga em Estruturas de Concreto Armado e Protendido".

2 Aplicação das Provas de Carga

Os motivos da solicitação do ensaio devem ser relacionados, a fim de que se direcione corretamente o planejamento da prova de carga.

De acordo com a NBR 9607, os testes devem ser aplicados nas seguintes situações:

1. Aceitação da estrutura;
2. Alteração das condições de utilizações da estrutura;
3. Fases construtivas que acarretam solicitações excepcionais em parte da estrutura;
4. Após acidentes ou anomalias observados durante a execução ou vida de uma estrutura;
5. Falta total ou parcial de elementos de projeto;
6. Desconhecimento das condições construtivas;
7. Estudo do comportamento da estrutura.

3 Etapas de uma Prova de Carga

Sugerem-se as seguintes etapas a serem seguidas na realização de um teste de carga:

1. Indicação das características da obra;
2. Descrição do estado de conservação da obra;
3. Estudos teóricos prévios;
4. Carregamento de ensaio;
5. Especificação dos instrumentos utilizados;
6. Descrição do controle efetuado durante o carregamento;
7. Procedimento do ensaio;
8. Análise dos resultados.

As etapas de 1. a 6. fazem parte do planejamento da prova de carga, que deve ser apresentado e discutido com antecedência, a fim de que possam ser efetuados todos os preparativos indispensáveis ao procedimento do ensaio.

As etapas de 7. a 8. são realizadas somente após a total preparação da estrutura em termos de elementos do carregamento, instrumentação e descrição detalhada dos procedimentos a serem realizados durante o teste propriamente dito.

A seguir são delineadas todas as etapas, com indicações de como devem ser procedidas, apresentando-se exemplos e ilustrações de casos reais.

4 Características da Obra

Devem ser apresentados os desenhos de forma das lajes a serem ensaiadas, com todas as suas dimensões, de maneira a permitir a completa concepção do planejamento da prova de carga.

As cargas acidentais verticais, de acordo com o seu uso, são anotadas para posterior utilização nas previsões teóricas, flechas admissíveis e planejamento do carregamento do ensaio.

A carga permanente de revestimento pode ou não ser adicionada à sobrecarga no ensaio, dependendo se referido revestimento já estiver executado na obra.

A equipe de campo deve observar anomalias, deteriorações, fissuras, deformações, recalques e movimentações de juntas nas lajes, antes e durante o ensaio, inclusive com documentação fotográfica de boa precisão.

5 Estudos Teóricos Prévios

5.1 Hipóteses Adotadas

Devem ser apresentados esquemas estruturais das lajes, conforme exemplo ilustrativo da Figura 1, com a finalidade de orientar os carregamentos de prova. O esquema ilustra o caso de vigotas com eixos distantes de 40 cm.

A resistência do concreto aos 28 dias é outra informação necessária para os cálculos teóricos.

5.2 Idade Fictícia das Lajes

A fim de que se possa fazer a previsão correta das deformações lentas para serem comparadas com os valores experimentais, torna-se necessário que as idades de cada laje nos dias de seus respectivos ensaios sejam anotadas, de forma a servir de base para os cálculos teóricos prévios.

Os formatos das seções transversais das lajes pré-fabricadas também fazem parte da determinação dos elementos geométricos utilizados nos cálculos das flechas.

A Figura 2 apresenta o esquema genérico de carregamento com sacos de cimento para lajes pré-fabricadas com vigotas de eixos distantes 40 cm, umas das outras.

Por se tratar de carregamentos unidirecionais, são ensaiadas em cada laje, apenas as faixas centrais, com largura que depende da largura dos painéis ou distâncias entre vigotas. A faixa de carregamento de 2 m nos dá uma boa precisão das flechas nos centros de cada vão.

5.4 Dimensionamento do Carregamento

De acordo com a tabela - Classificação das Provas de Cargas da NBR 9607, a prova de carga pode ser classificada de acordo com a finalidade do ensaio, determinando-se desta maneira o Fator de Carregamento ψ .

O fator ψ tem por finalidade indicar o nível de sollicitação a que deve ser submetida uma seção ou ponto de uma estrutura, durante uma prova de carga. Este fator é expresso por: $\Psi = \frac{F_e}{F_d}$, onde:

F_e = esforço solicitante teórico devido ao carregamento de prova de carga;

F_d = esforço solicitante teórico devido ao carregamento de projeto.

Com isso, o carregamento de prova pode ser dimensionado como função do carregamento de projeto (q) considerado no cálculo estrutural conforme esquema da Figura 1.

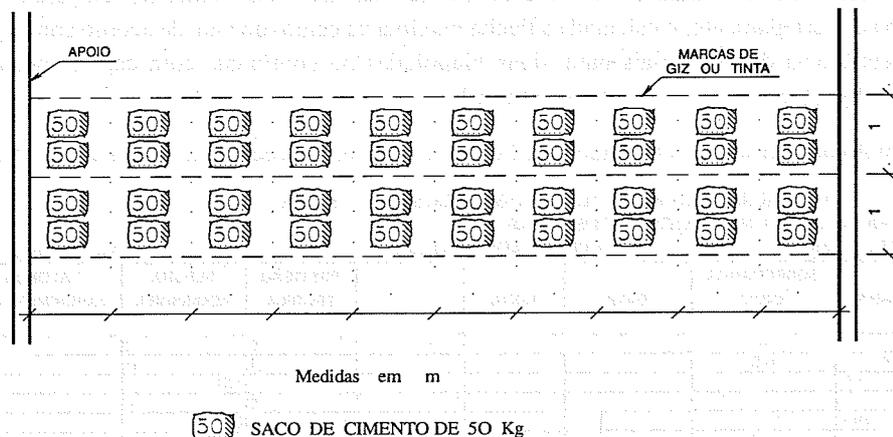


Figura 2 - Modelo de Esquema de Carregamento com Sacos de Cimento

5.5 Fator de Segurança do Ensaio (F_s)

A norma NBR 9607 define o fator de segurança do ensaio como a relação:

$$F_s = \frac{F_u}{F_e}, \text{ onde :}$$

F_u = esforço resistente último teórico da seção;

F_e = esforço solicitante teórico devido ao carregamento de prova de carga.

De acordo com a NBR 6118, o coeficiente de minoração γ_c do concreto é 1,4 e o coeficiente de ponderação para as ações é $\gamma_f = 1,4$. Minorando-se os materiais e majorando-se as ações obtém-se para F_s o valor de 1,96.

O Módulo de Deformação Longitudinal Secante do concreto E_c utilizado nos cálculos deste texto, é obtido da NBR 6118, através da expressão:

$$E_c = 0,9 \times 21.000 \sqrt{f_{ck} + 35} \quad \text{onde: } E_c \text{ e } f_{ck} \text{ em kgf/cm}^2.$$

Para a nova NBR 6118, utiliza-se a seguinte expressão para o Módulo de Elasticidade Secante:

$$E_{cs} = 4.760 f_{ck}^{1/2} \quad \text{onde: } E_{cs} \text{ e } f_{ck} \text{ em megapascal.}$$

Nos casos de lajes pré-moldadas com capeamento moldado no local, tendo em vista que o concreto utilizado na capa de concreto, algumas vezes, tem resistência menor que o concreto das vigotas, deve-se reduzir a largura efetiva da mesa pela razão E_c (capeamento) / E_c (vigota) (COMITÊ EURO-INTERNATIONAL DU BETON, 1991), para levar em conta esta diferença de resistência dos concretos e finalmente, efetuar os cálculos com o módulo de deformação longitudinal do concreto reduzido.

Utilizando-se as propriedades geométricas, é possível calcular o momento de inércia para cada tipo de seção transversal.

Para o cálculo das flechas em lajes constituídas de vigotas ou painéis com protensão completa, é respeitado o estado limite de formação de fissuras (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1989) trabalhando-se com o Momento de Inércia Homogeneizado no Estádio I.

Para lajes de concreto armado, a NBR 6118:1980 dispensa o efeito da fissuração no cálculo das flechas, sendo portanto realizado no Estádio I, e pela NBR 6118:2003, este cálculo é exigido, sendo realizado no Estádio II.

5.7.2 Fluência

O modelo teórico adotado pela NBR 7197 e também pela nova NBR 6118:2003 para a deformação lenta é baseado nas recomendações do COMITÊ EURO-INTERNATIONAL DU BETON (1991), conforme mencionado em HANAI (1988).

Para o cálculo da flecha, com protensão completa, é respeitado o estado limite de formação de fissuras (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1989), trabalhando-se no Estádio I, com o momento de inércia homogeneizado I_h (momento de inércia da seção bruta de concreto), dado pela seguinte expressão:

$$I_h = I_c + (\alpha_p - 1) \sum (A_{pi} \cdot e_{pi}^2), \text{ obtida dos compêndios do concreto armado, onde:}$$

$$\alpha_p = \frac{E_s}{E_c}$$

I_c = momento de inércia da seção transversal de concreto;

A_{pi} = área da seção transversal das cordoalhas da camada i ;

e_{pi} = distância de A_{pi} ao centróide da seção transversal.

Para o concreto armado, pela NBR 6118:1980, utiliza-se esta mesma expressão, substituindo-se A_{pi} por A_s e A_s' .

No caso de se utilizar a nova norma NBR 6118:2003, trabalha-se com seções fissuradas, utilizando-se o momento de inércia equivalente, conforme Fórmula de Branson dada pela expressão:

$$I_{eq} = \left(\frac{M_r}{M_a} \right)^3 \cdot I_0 + \left[1 - \left(\frac{M_r}{M_a} \right)^3 \right] \cdot I_{II}$$

onde:

I_0 = momento de inércia da seção bruta de concreto (I_h);

I_{II} = momento de inércia da seção fissurada no Estádio II;

M_a = momento fletor na seção crítica do vão;

M_r = momento de fissuração da peça, conforme.

Tendo em vista que o carregamento de projeto a ser aplicado fica no local de 12 a 24 horas, calcula-se a deformação lenta para controlar as flechas após este período. Assim, o cálculo do coeficiente de fluência ϕ é elaborado de acordo com a NBR 7197, em três parcelas, desta forma: $\phi = \phi_a + \phi_f + \phi_d$, onde:

ϕ_a = fluência rápida irreversível;

ϕ_f = fluência irreversível;

ϕ_d = fluência reversível.

As expressões para o cálculo da fluência pela NBR 7197, conforme já mencionado, são baseadas nas recomendações do COMITÊ EURO-INTERNATIONAL DU BETON (1991), conforme detalhado em VASCONCELOS (1980), HANAI (1988) e MENDES (1993).

Cálculo de ϕ_a

Utiliza-se a equação da Figura 2 da NBR 7197:

$$\phi_a = 0,8 \left[1 - \frac{f_c(t_0)}{f_c(t_\infty)} \right], \text{ (função do crescimento da resistência do concreto com a idade)}$$

Cálculo de ϕ_f

$$\phi_f = \phi_{f\infty} [\beta_f(t) - \beta_f(t_0)] \quad \text{onde: } \phi_{f\infty} = \phi_{1C} \cdot \phi_{2C}$$

ϕ_{1C} depende da umidade relativa do ambiente e da consistência do concreto, obtido na Tabela 2 da NBR 7197.

$$\phi_{2C} = \frac{0,42 + h_{fic}}{0,20 + h_{fic}} \quad \text{sendo:}$$

h_{fic} é a espessura fictícia da laje em m que depende da relação entre o volume e a área exposta, sendo dada pela expressão:

$$h_{fic} = \gamma \frac{2A_c}{u_{ar}}, \text{ onde:}$$

γ = coeficiente que depende da umidade relativa do ambiente e obtido da Tabela 2 da NBR 7197;

A_c = área da seção transversal da laje em m²;

u_{ar} = parte do perímetro externo da seção transversal da laje em contato com o ar.

Da Figura 3 da NBR 7197, fazendo-se $h = h_{fic}$, obtêm-se expressões polinomiais para o cálculo de $\beta_f(t)$

$$A = 42h^3 - 350h^2 + 588h + 113$$

$$B = 768h^3 - 3060h^2 + 3234h - 23$$

$$C = -200h^3 + 13h^2 + 1090h + 183$$

$$D = 7.579h^3 - 31.916h^2 + 35.343h + 1.931$$

$$\beta_f(t) = \frac{t^2 + At + B}{t^2 + Ct + D}, \text{ (nesta expressão a idade fictícia } t \text{ é dada em dias, não inferior a 3 dias)}$$

Cálculo de ϕ_d

ϕ_d , o coeficiente de deformação lenta reversível, depende apenas da duração do carregamento.

$$\phi_d = \phi_{d\infty} \cdot \beta_d \quad \text{onde:}$$

$\phi_{d\infty}$ = coeficiente de deformação reversível igual a 0,4 de acordo com a NBR 7197.

$$\beta_d = \frac{t - t_0 + 20}{t - t_0 + 70} \text{ (leva em conta o intervalo de tempo } t - t_0 \text{ decorrido após o carregamento).}$$

Finalmente: $\phi = \phi_a + \phi_f + \phi_d$

Como a flecha deve atingir o valor admissível somente no final do período de vida da laje, este fator também é considerado e descontado no ensaio. Estes são os limites de segurança da última linha dos formulários da Tabela 1.

Segundo RICALDONI (1982), a flecha residual referente à fluência irreversível também deve ser anotada no dia seguinte, após o descarregamento da laje.

Conforme TAKEYA (1988), no caso de prova de carga em que o carregamento é aplicado num dia e retirado no outro, a deformação lenta é pequena, tanto é que a norma indica para t_0 valor mínimo de 3 dias no cálculo de β_f .

Segundo a norma NBR 7197, a deformação por fluência é composta de duas partes, uma rápida e outra lenta; a rápida é irreversível e ocorre nas primeiras 24h após o carregamento; a lenta é por seu turno composta de outras duas parcelas, a lenta irreversível e a lenta reversível. Portanto, no caso da prova de carga, o que mais influencia é a deformação rápida que depende apenas da relação $f_c(t_0) / f_c$ (final) entre as resistências do concreto na data aplicação do carregamento e a resistência final (tempo infinito).

Se a prova de carga for realizada com o concreto com idade superior a 28 dias (que é a situação usual), essa relação resulta próximo de 1, e assim o valor de ϕ_a resulta muito próximo de zero.

Sendo assim, a deformação residual (flechas) em provas de carga desse tipo não pode ser atribuída somente à fluência do concreto. Ela, (deformação residual), é decorrente principalmente da fissuração do concreto, acomodação nos apoios, temperatura, etc. Estes são alguns dos fatores que justificam elevados valores experimentais encontrados para as flechas residuais em relação aos teóricos.

Para o cálculo da deformação residual teórica considerando apenas a fluência:

$$\phi_{res} = \phi_a + \phi_f = \phi - \phi_d$$

5.7.3 Retração

Além disso, considera-se também a retração do concreto ϕ_{cs} . A retração é um fenômeno que ocorre ao longo do tempo e independe do carregamento aplicado, mas é dependente principalmente da umidade relativa do meio ambiente, da consistência do concreto e da espessura fictícia da laje, conforme NBR 7197 e HANAI (1988).

Segundo a NBR 7197, bem como a nova NBR 6118:2003, a deformação específica devido à retração entre os instantes t_0 e t , deve ser calculada segundo a expressão:

$$\epsilon_{cs}(t, t_0) = \epsilon_{cs\infty} [\beta_s(t) - \beta_s(t_0)], \text{ onde:}$$

$$\epsilon_{cs\infty} = \epsilon_{1s} \cdot \epsilon_{2s}$$

ϵ_{1s} = coeficiente que depende da umidade relativa do ambiente e da consistência do concreto, fornecido pela Tabela 2 da NBR 7197.

ϵ_{2s} = coeficiente que depende da espessura fictícia da laje, dado pela expressão:

$$\epsilon_{2s} = \frac{0,33 + 2h_{fc}}{0,21 + 3h_{fc}}$$

$\beta_s(t)$ ou $\beta_s(t_0)$ = coeficiente relativo à retração no instante t ou t_0 , obtido de gráficos ou então a partir da expressão polinomial, constante na Figura 4 da NBR 7197:

$$\beta_s(t) = \frac{\left(\frac{t}{100}\right)^3 + A\left(\frac{1}{100}\right)^2 + B\left(\frac{1}{100}\right)}{\left(\frac{1}{100}\right)^3 + C\left(\frac{1}{100}\right)^2 + D\left(\frac{1}{100}\right) + E}, \text{ onde:}$$

$$A = 40$$

$$B = 116h^3 - 282h^2 + 220h - 4,8$$

$$C = 2,5h^3 - 8,8h + 40,7$$

$$D = -75h^3 + 585h^2 + 496h - 6,8$$

$$E = -169h^4 + 88h^3 + 584h^2 - 39h + 0,8,$$

t = idade fictícia do concreto no instante considerado em dias

t_0 = idade fictícia do concreto no instante em que o efeito da retração na laje começa ser considerado, em dias.

Como ε_{cs} representa uma deformação específica, a hipótese de proporcionalidade da deformação lenta com a tensão no concreto, permite relacionar o encurtamento unitário lento de retração ε_{cs} ao encurtamento elástico ε_c através do coeficiente de retração ϕ_{cs} :

$\phi_{cs} = \frac{\varepsilon_{cs}}{\varepsilon_c}$ e sendo: $\varepsilon_c = \frac{\sigma_c}{E_c}$, tem-se: $\phi_{cs} = \frac{E_c}{\sigma_c} \varepsilon_{cs}$, onde σ_c é a tensão normal de compressão no concreto, resultante das cargas permanentes mais a de protensão, quando for o caso. Assim, considera-se a tensão máxima do diagrama tensão-deformação da NBR 6118: $\sigma_c = 0,85f_{cd}$.

5.7.4 Deformação Lenta Total

O coeficiente de deformação lenta total será então a soma algébrica: $\phi_t = \phi + \phi_{cs}$. No exemplo do formulário da Tabela 1, as flechas teóricas para cada etapa são as elásticas. Na linha de carregamento após 24 horas de aplicação, aplica-se o coeficiente de deformação lenta total. Para a flecha residual, retirado o carregamento, aplica-se ($\phi_t - \phi_d$) à flecha elástica com carga total.

Na coluna de *Flecha Admissível* da Tabela 1, as flechas parciais por etapa de carregamento são obtidas das flechas teóricas sendo estas divididas pela flecha com deformação lenta total para 10.000 dias (vida útil) e multiplicadas pela flecha admissível da norma NBR 6118 (Limite de Segurança), tendo em vista que este limite deve ocorrer no final da vida da laje.

5.8 Critérios de Aceitação dos Resultados

Uma vez aplicado o carregamento de ensaio, não sendo atingidas as flechas máximas admissíveis de cada etapa, os resultados são considerados satisfatórios e o ensaio encerrado.

6 Carregamento de Ensaio

Tendo em vista a facilidade de manuseio, normalmente o carregamento é feito com sacos de cimento de 50 kg.

Sendo as lajes armadas em uma direção, existem condições de projetar um carregamento localizado em uma faixa no centro de cada laje, percorrendo todo o vão como indicado nas Figuras 1 e 2. Assim, no exemplo, são marcadas as faixas centrais de 2m de largura quadriculando-se cada m^2 .

Cada quadrado marcado de $1 m^2$ deve ser então carregado com sacos de cimento, de maneira a compor normalmente etapas de 0,5 em 0,5 kN.

Assim, são utilizados dois sacos/ m^2 em cada camada ($1 kN/m^2$), como já mencionado e indicado nas Figuras 2 e 3.

As lajes que tem carregamento parcialmente distribuído são carregadas de acordo com o esquema estrutural da Figura 1. Faz-se primeiro o carregamento menor q_1 em toda a extensão da laje e, sobre o mesmo, passa-se em seguida ao carregamento parcial q_2 , conforme esquematizado na Figura 1.



Figura 3. Laje Totalmente Carregada (Fonte: Prova de carga realizada nas obras do Colégio GEO DUNAS).

7 Instrumentos Utilizados

Os principais instrumentos a seguir especificados, estão indicados em TAKEYA (1988) e ROCHA (1942).

7.1 Relógios Comparadores

Para medição dos deslocamentos verticais (flechas) são utilizados relógios comparadores, também denominados deflectômetros.

Os relógios são instalados com o auxílio de uma haste de ferro para cada relógio, fixada no teto conforme esquema da Figura 4 e ilustrado nas Figuras 5 e 6. Os cursores são encostados apurados nos centros das faces das chapas de aço colocadas sobre os andaimes e, em seguida, os deflectômetros calibrados para leitura inicial.

7.2 Dispositivos de Montagem

Os deflectômetros são fixados em hastes de ferro, presas ao teto através de buchas e parafusos nos locais de medição. Ao ser aplicada a carga, a haste cede para baixo pressionando o deflectômetro contra uma superfície fixa (chapa de aço), a qual aciona o cursor e este movimenta os ponteiros do relógio comparador, permitindo assim a leitura da deflexão.

7.3 Outros Dispositivos

Além dos deflectômetros e das hastes, também são utilizados outros instrumentos de controle do ensaio, tais como:

- Câmara fotográfica;
- Lente de aumento para localização de eventuais fissuras;
- Trens de aço e de nylon;
- Extensômetros mecânicos, para medir deformações específicas de tração nos locais de momento fletor negativo (Somente para lajes contínuas).

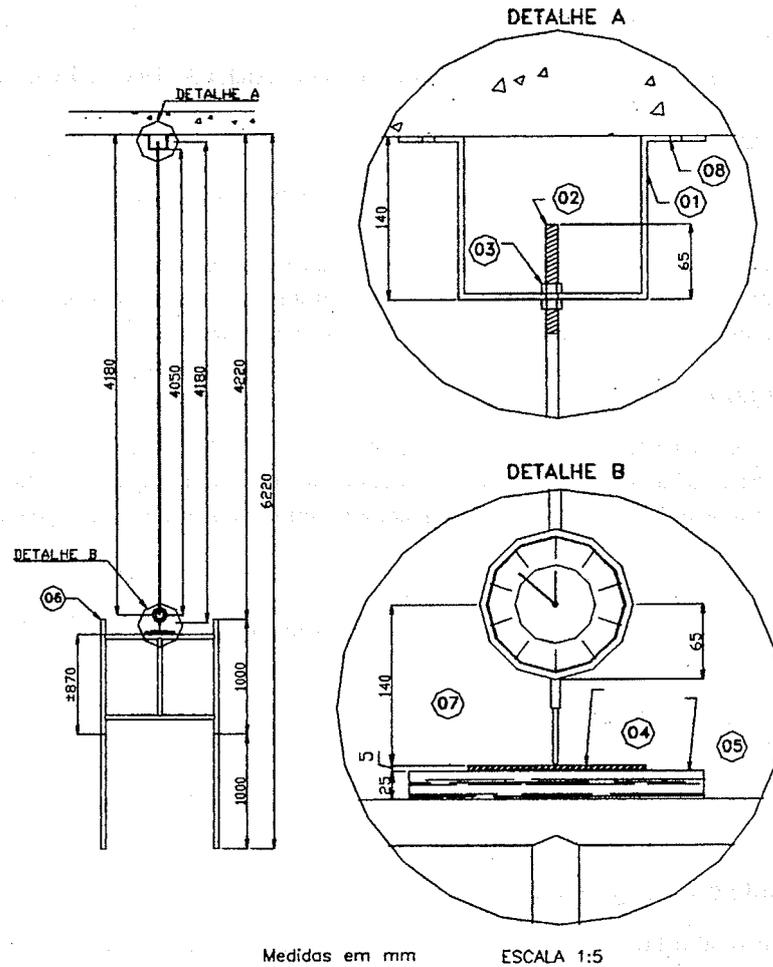
8 Controle Efetuado Durante o Carregamento

Como já foi mencionado, normalmente utilizam-se etapas de 50 kg. A cada etapa são lidos os deslocamentos, registrando-se em formulários apropriados conforme indicado na Tabela 1.

Inicialmente, faz-se um carregamento de $0,5 \text{ kN/m}^2$ para estabilização da estrutura, descarregando-se em seguida. Neste ponto, é feita a leitura inicial no deflectômetro para a sobrecarga nula. Finalmente, procede-se o carregamento conforme já mencionado anteriormente e as leituras efetuadas no deflectômetro. A cada etapa, faz-se a diferença para verificar se a flecha não ultrapassa o limite de segurança pré-fixado pela NBR 6118. Os valores são registrados nos formulários da Tabela 1. Verifica-se também, a cada etapa, se ocorrem fissuras na face inferior do centro da laje ou nas faces superiores próximas aos apoios, quando se tratar de lajes contínuas. São aguardados 15 minutos para a estabilização dos deslocamentos da laje, entre uma etapa e outra.

O carregamento efetuado na laje permanece até o dia seguinte. No final do dia, faz-se uma leitura para verificação de alguma eventual anomalia. No início do dia seguinte, faz-se outra leitura para se verificar os efeitos da deformação lenta. Em seguida, a laje é descarregada e feita a leitura da flecha residual. Todos estes valores são registrados nos formulários da Tabela 1.

Os detalhes de carregamento, instrumentação e eventuais anomalias devem ser registrados através de fotografias de boa resolução.



LEGENDA:

- 1 - Suportes para fixação na laje
- 2 - Hastes
- 3 - Porcas sextavadas para haste
- 4 - Chapa de contato do deflectômetro
- 5 - Tábuas
- 6 - Peças para torre de andaime
- 7 - Deflectômetro
- 8 - Tiro no teto ou parabolts

Figura 4 - Vista da Montagem do Suporte Fixo no Teto (Tiro ou Parabolts) com hastes, porcas e deflectômetro.

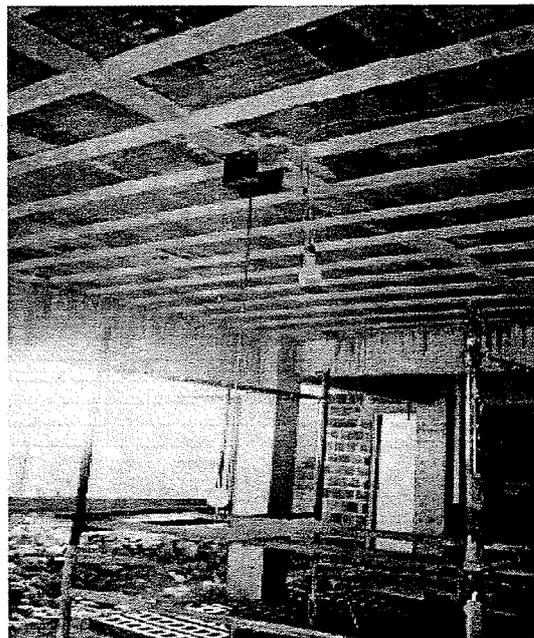


Figura 5 - Dispositivo de medição utilizado no Colégio GEO DUNAS

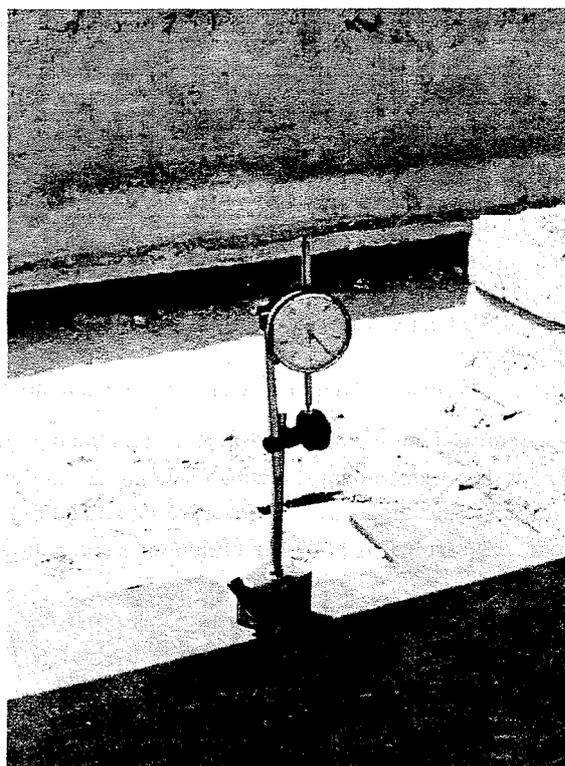


Figura 6 - Vista do Deflectômetro (Fonte: Prova de carga realizada nas obras do Aeroporto Pinto Martins de Fortaleza-CE).

9. Análise Dos Resultados

Tabela 2 - Exemplo de Análise dos Resultados

| PROVA DE CARGA NAS LAJES DE COBERTURA | | | | | | | | |
|---------------------------------------|-----------|------------------|---------------------------------|---------------------|----------|--|---------------------------------|--------------|
| IDADE : 28 dias | | DATAS DE ENSAIO: | | 13/01/98 e 14/01/98 | | Medidas em 0,01 mm | | |
| ETAPA | DATA | HORA | SOBRECARGA kN/m ² | ADMISSÍVEL | EXPERIM. | DIFERENÇA ADMISSÍVEL EXPERIMENT. | % EXPERIMENT./ ADMISSÍVEL | OBSERVAÇÕES |
| | 13/1/1998 | 10h47 | 0,00 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| 1 | 13/1/1998 | 11h | 0,50 | 103 | 35 | 68 | 34 | |
| 2 | 13/1/1998 | 13h | 1,00 | 204 | 74 | 130 | 36 | |
| 3 | 13/1/1998 | 13h35 | 1,50 | 307 | 115 | 192 | 37 | |
| 4 | 13/1/1998 | 14h35 | 2,00 | 615 | 161 | 454 | 26 | |
| 5 | 13/1/1998 | 18h30 | 2,00 | 615 | 329 | 286 | 54 | Final do dia |
| 6 | 14/1/1998 | 6h45 | 2,00 | 702 | 329 | 373 | 47 | 12 h |
| 7 | 14/1/1998 | 9h15 | 0,00 | - | 25 | - | - | Residual |

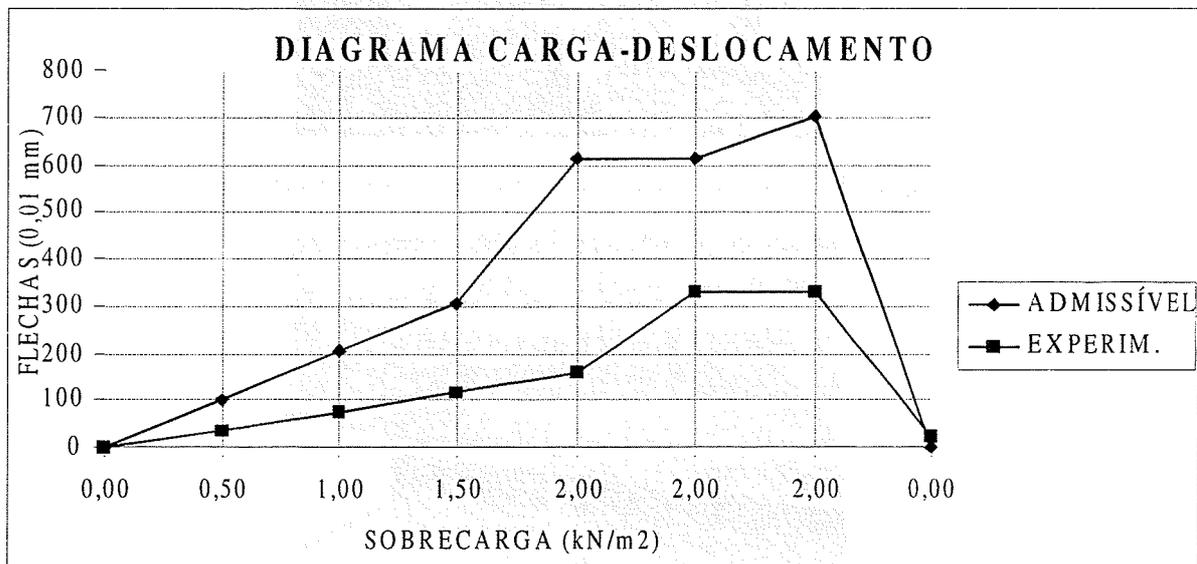


Figura 7 - Diagrama Carga-Deslocamento

Os dados das previsões teóricas/admissíveis e os dados experimentais ficam registrados na Tabela 1.

O resumo e a análise comparativa dos deslocamentos tabulados de um dos deflectômetros, estão indicados na Tabela 2. O diagrama carga-deslocamento para este mesmo aparelho está representado na Figura 7.

A maior parte da interpretação dos resultados pode ser obtida da análise da Tabela 2. Os pontos mais importantes observados devem ser anotados.

Tendo atingido experimentalmente a carga máxima prevista pelas previsões em condições satisfatórias, a estrutura ensaiada é, portanto, considerada apta para ser utilizada.

Referências

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 6118:1980: Projeto e execução de obras de concreto armado*. Rio de Janeiro, 1980. 76p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 6118:2003: Projeto de estruturas de concreto*. Rio de Janeiro, 2003. 170p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 7197:1989: Projeto de estruturas de concreto protendido*. Rio de Janeiro, 1989. 71p.

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 9607:1986: Prova de carga em estruturas de concreto armado e protendido*. Rio de Janeiro, 1986. 14p.
- COMITÉ EURO-INTERNATIONAL DU BETON CEB-FIP *Model Code 1990: final draft*. Lausanne, 1991. 159p. (Bulletin d'Information, 203).
- EL DEBS, M. K. *Concreto pré-moldado: fundamentos e aplicações*. São Carlos: EESC/USP, 2000. 456p.
- HANAI, J. B. *Fundamentos do concreto protendido. Texto base para o curso de Engenharia Civil*. São Carlos: EESC/USP, 1988.
- LEONHARDT, F.; MÖNNIG, E. *Construções de concreto: verificação da capacidade de utilização*. Rio de Janeiro: Interciência, 1977. v.4. 210p.
- LIN, T. Y.; BURNS, N. H. *Design of prestressed concrete structures*. New York: John Wiley & Sons, 1982. 646p.
- MENDES, J. A. *Cálculo automático de perdas progressivas em peças de concreto protendido*. 1993. Tese (Doutorado em Engenharia de Estruturas) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos.
- RICALDONI, J. Análise experimental de estruturas. São Paulo: EPUSP. In. *Manual do Engenheiro*. v. 2, tomo 2. Porto Alegre: Globo, 1982. 243p.
- ROCHA, P. F. *Ensaio de verificação de estruturas*. São Paulo: IPT, 1942. 22p.
- TAKEYA, T. *Introdução à análise experimental de estruturas*. São Carlos: EESC/USP, 1988. 27p.
- VASCONCELOS, A. C. *Manual prático para a correta utilização do aço no concreto protendido em obediência às normas atualizadas*. Rio de Janeiro: Livros Técnicos Científicos, 1980. 64p.

SOBRE O AUTOR

Ernani Mendes Nobre

Engenheiro Civil pela UFC em 1971, Especialização em Consultoria para Pequena e Média Indústria pela UNICAMP em 1973, Mestre em Engenharia de Estruturas pela EESC/USP em 1992, Consultor credenciado do SEBRAE, Professor Adjunto aposentado do Departamento de Engenharia Civil do CCT/UNIFOR, Engenheiro aposentado Chefe da Unidade de Estruturas da DITEC/NUTEC, Sócio Fundador da Associação Cearense de Engenharia Estrutural – ACEE. Atualmente trabalha na Área de Análise Experimental de Estruturas, presta consultoria para Micro e Pequenas Indústrias de Pré-moldados e atua em Projetos Estruturais.