

Glaico Silva Araujo

Análise experimental de escoramento residual em edifícios:
monitoramento da construção de modelo físico de concreto armado
em verdadeira grandeza

Dissertação apresentada ao Instituto de Pesquisas
Tecnológicas do Estado de São Paulo – IPT, para
obtenção do título de Mestre em Habitação: Planejamento
e Tecnologia

Área de concentração: Tecnologia em Construção de
Edifícios

Orientador: Eng. Prof. Dr. Roberto K. Nakaguma

São Paulo
Dezembro/2005

Dedicatória

*A minha esposa,
Céresti.*

Agradecimentos

Em especial ao meu orientador, Prof. Dr. Roberto Nakaguma, pela paciência, confiança e dedicação.

À Área de Estruturas da Seção de Vias Terrestres e Estruturas do CT-Obras do IPT, pelo apoio nas atividades de instrumentação e monitoramento da estrutura, particularmente ao Eng. Alfredo Pinto da Conceição Neto.

À Construtora Cyrela, em especial aos Engenheiros George Zausner e Antonio Carlos Zorzi, pelo incentivo à formação técnica de seus funcionários.

Ao Eng. Daniel Tencer, que forneceu apoio a todas as etapas de construção da estrutura de concreto.

Aos meus pais, João Araújo e Lenita, nos quais sempre me espelhei.

Às empresas que colaboraram quanto ao projeto e fornecimento de materiais e mão-de-obra para a execução da estrutura: Peri, Cauê, Belgo Mineira, Avantes, Mega Forma, França & Associados e Paulo Assahi.

À secretaria do CENATEC pelo apoio manifestado no período de convívio.

RESUMO

A análise de uma estrutura de concreto armado de edifício em construção, desde o lançamento do concreto fresco até a sua cura, por meio de métodos analíticos ou numéricos, é tarefa extremamente complexa devido principalmente às alterações que ocorrem ao longo do tempo das características mecânicas do concreto e do carregamento, além da interação da estrutura com o escoramento e o escoramento residual.

Em vista dessas dificuldades, optou-se no presente trabalho pela análise experimental através da construção de um modelo físico de uma estrutura de concreto armado com dois pisos superiores, em verdadeira grandeza (dimensões externas em planta de 3,25m x 4,95m, 4 pilares de 20,0cm x 20,0cm e com pé-direito de cada pavimento de 2,20m), onde foram simuladas todas as etapas de construção empregadas usualmente em edifícios, seguindo de forma simplificada o sistema 1 + 2, ou seja, um piso escorado e simultaneamente dois pisos inferiores reescorados. Apesar de serem construídos apenas dois pisos superiores, foi simulada a construção de mais dois pisos adicionais através de carregamento aplicado sobre o 2º piso.

Todas as etapas da construção foram monitoradas através de instrumentação instalada na estrutura (defletômetros) e nas escoras (*strain gages*).

Para as vigas foram empregados escoramentos residuais vertical e inclinado; e para as lajes, apenas escoramento residual inclinado. Os objetivos foram elaborar metodologia de ensaio, analisar o desempenho dos sistemas empregados e, no caso das vigas, comparar os dois sistemas de escoramento residual quanto à viabilidade de uso e ao desempenho.

Esses objetivos básicos relacionados foram atingidos, com a elaboração e implantação de metodologia de ensaios, identificação das dificuldades envolvidas (principalmente para o caso inclinado) e com a obtenção de evidências experimentais características dos dois tipos de escoramento residual, os quais se mostraram viáveis. Contudo, como os resultados finais obtidos foram próximos entre si e, principalmente, devido às limitações do modelo (apenas dois pisos), não foi

possível verificar vantagens de desempenho do tipo inclinado de forma mais ampla. Nesse sentido, são feitas sugestões de continuidade dos estudos experimentais realizados.

Palavras-chave: edificação, construção, estrutura, concreto armado, escoramento, escoramento residual, instrumentação, monitoramento

ABSTRACT

Experimental analysis of the residual shoring in buildings: concrete physical model construction's monitoring

The analysis of the reinforced-concrete structure of a building under construction by employing analytical and numerical methods, since the fresh concrete is poured until it is cured, is an extremely complex task, in particular because of the changes of the mechanical characteristics of the concrete and of the loading that take place along the time, in addition to the interaction between the concrete structure and the shoring and residual shoring.

In view of such difficulties, for the purposes of this paper, the option was taken towards the experimental analysis by using a physical model of a reinforced-concrete structure with two upper floors, at actual scale (external dimensions of 3.25m x 4.95m in the plan, 4 columns of 20.0cm x 20.0cm, and each floor with ceiling-height of 2.20m), where all stages usually employed in erecting buildings were simulated, following in a simplified manner the 1 + 2 system, i.e., a system in which one floor is under shoring and simultaneously two lower floors are under residual shoring. Although only two upper floors were constructed, the construction of two additional floors was simulated through the application of loading onto the 2nd floor.

All construction stages were monitored through instruments installed in the structure (deflectometers) and in the shore bars (strain gages).

Vertical and inclined residual shoring systems were used for the beams and only inclined residual shoring for the slabs. The purpose was to analyze the performance of the system employed, and as regards the beams, to compare the two residual shoring systems in terms of their use viability and performance.

Those related basic objectives were achieved, including the elaboration of the test and experimental procedures, identification of the difficulties involved (mainly for the inclined case), and the observation of the main characteristics of the behavior of the two types of residual shoring systems, noting that both of them showed to be viable. However, since the final results were very closed and mainly because of the restrictions imposed by the model (only two floors), it was not possible to clearly

establish the performance advantage of the inclined type. In this way, suggestions are made in order to continue the experimental work realized.

Key words: building, construction, structure, reinforced concrete, shoring, residual shoring, instruments, monitoring

Lista de figuras

Figura 1 – Detalhe de apoio das escoras inclinadas	34
Figura 2 – Viga de maior vão totalmente escorada	35
Figura 3 – Escoras das extremidades retiradas e instalação das reescoras inclinadas	36
Figura 4 – Escoras centrais retiradas	36
Figura 5 – Desenho esquemático indicando escoramento residual inclinado em lajes e tira de apoio para permitir desforma	37
Figura 6 – Flechas iniciais instaladas no 1 ^o piso	96
Figura 7 – Flechas finais instaladas no 1 ^o piso	97

Lista de quadros

Quadro 1 - Flechas instaladas em elementos da estrutura, relativas a seus apoios
Quadro 2 - Características mecânicas do concreto
Quadro 3 - Fases analisadas do monitoramento de deslocamento
Quadro 4 - Resultados obtidos no monitoramento (Fase 1)
Quadro 5 - Resultados obtidos no monitoramento (Fase 2)
Quadro 6 - Resultados obtidos no monitoramento (Fase 3)
Quadro 7 - Resultados obtidos no monitoramento (Fase 4)
Quadro 8 - Resultados obtidos no monitoramento (Fase 5)
Quadro 9 - Resultados obtidos no monitoramento (Fase 6)
Quadro 10 - Resultados obtidos no monitoramento (Fase 7)
Quadro 11 - Resultados obtidos no monitoramento (Fase 8)
Quadro 12 - Resultados obtidos no monitoramento (Fase 9)
Quadro 13 - Resultados obtidos no monitoramento (Fase 10)
Quadro 14 - Resultados obtidos no monitoramento (Fase 11)
Quadro 15 - Resultados obtidos no monitoramento (Fase 12)
Quadro 16 - Incremento de deslocamentos “instantâneos” do 2 ^o piso
Quadro 17 - Resultados obtidos no monitoramento (Fase 13)
Quadro 18 - Resultados obtidos no monitoramento (Fase 14)
Quadro 19 - Recuperação de deslocamento da laje do 2 ^o piso
Quadro 20 - Resultados obtidos no monitoramento (Fase 15)
Quadro 21 - Resultados obtidos no monitoramento (Fase 16)
Quadro 22 - Resultados obtidos no monitoramento (Fase 17)

Quadro 23 - Deslocamentos extremos observados no monitoramento (vigas de maior vão)	.....
Quadro 24 - Diferença entre deslocamentos no final de cada fase (vigas de menor vão)	.....
Quadro 25 - Diferenças máximas e mínimas, ao longo do monitoramento, entre deslocamentos das vigas de menor vão	.....
Quadro 26 - Deslocamentos extremos observados no monitoramento (vigas de maior vão)	.....
Quadro 27 - Diferença entre deslocamentos no final de cada fase (vigas de maior vão)	.....
Quadro 28 - Diferenças máximas e mínimas, ao longo do monitoramento, entre deslocamentos nas vigas de maior vão	.....
Quadro 29 - Deslocamentos acumulados no final do monitoramento (Etapa 113)	.....
Quadro 30 - Diferenças absolutas e relativas (%) entre deslocamentos de vigas, com reescoras verticais ou inclinadas (Etapa 113)	.....
Quadro 31 - Esforços nas escoras do 1 ^o piso	.....
Quadro 32 - Peso próprio dos elementos da estrutura	.....
Quadro 33 - Flechas iniciais na estrutura (fôrma), antes da concretagem	.....

Lista de desenhos do Anexo A

Desenho F1 - Forma de pilares (Convenções)	118
Desenho F2 - Forma de pilares (Leitura de painéis)	119
Desenho F3 - Forma de pilares (Detalhe de montagem)	120
Desenho F4 - Forma de pilares (Detalhe de gualho).....	121
Desenho F6 - Forma de pilares (Pontaltes e Gratas)	122
Desenho F7 - Forma de pilares (Planta baixa)	123
Desenho L1 - Forma de laje	124
Desenho L2 - Forma de laje (Paginação do compensado)	125
Desenho V1 - Forma das vigas	126
Desenho V2 - Forma das vigas (Convenções)	127
Desenho V3 - Forma das vigas (Corte)	128
Desenho V4 - Forma das vigas (Detalhes V1)	129
Desenho V5 - Forma das vigas (Detalhes V2)	130
Desenho V6 - Forma das vigas (Detalhes V3)	131
Desenho V7 - Forma das vigas (Detalhes V4)	132
Desenho C1 - Escoramento Residual Inclinado (viga de maior vão)	133
Desenho C2 - Escoramento Residual Inclinado (viga de menor vão)	134
Desenho A1 - Armação da laje	135
Desenho A2 - Armação das vigas de maior vão	136
Desenho A3 - Armação das vigas de menor vão	137
Desenho A4 - Armação dos pilares	138
Desenho E1 - Escoramento (Legenda)	139
Desenho E2 - Escoramento (Corte BB)	140

Desenho E3 - Escoramento (Corte AA)	141
Desenho E4 - Escoramento (planta cimbramento de lajes)	142
Desenho E5 - Escoramento (planta cimbramento de vigas)	143
Desenho RE-1 - Sistema de Escoramento e Reescoramento (Carregamentos)	144
Desenho RE-2 - Sistema de Escoramento e Reescoramento (1 ^a Laje - 1 ^a Etapa) (1 ^a Laje - 2 ^a Etapa "A")	145
Desenho RE-3 - Sistema de Escoramento e Reescoramento (1 ^a Laje - 2 ^a Etapa "B") (1 ^a Laje - 2 ^a Etapa "C")	146
Desenho RE-4 - Sistema de Escoramento e Reescoramento (1 ^a Laje - 3 ^a Etapa) (1 ^a Laje - 4 ^a Etapa)	147
Desenho RE-5 - Sistema de Escoramento e Reescoramento (2 ^a Laje - 2 ^a Etapa) (2 ^a Laje - 3 ^a Etapa "A")	148
Desenho RE-6 - Sistema de Escoramento e Reescoramento (2 ^a Laje - 3 ^a Etapa "B") (2 ^a Laje - 3 ^a Etapa "C")	149
Desenho RE-7 - Sistema de Escoramento e Reescoramento (2 ^a Laje - 4 ^a Etapa)	150

Lista de figuras do Anexo B

Figura 1 - Sistema de Escoramento e Reescoramento do modelo físico construído.....	152
Figura 2 - Escoramento do 1º piso.....	153
Figura 3 - Reescoramento do 1º piso.....	154
Figura 4 - Escoramento do 2º piso.....	155
Figura 5 - Reescoramento do 2º piso.....	156
Figura 6 - Defletômetro instalado no 1º e no 2º piso.....	157

Lista de tabelas do Anexo B

Tabela 1 - Cronograma da construção e do monitoramento da obra.....	158
Tabela 2 - Leituras da instrumentação das escoras.....	159 -61
Tabela 3 - Esforços transmitidos às escoras.....	162 -65
Tabela 4 - Leituras da instrumentação das vigas e lajes.....	166 -69
Tabela 5 - Deslocamentos verticais das vigas e lajes.....	170 -74
Tabela 6 - Deslocamentos verticais das vigas de lajes (eliminando deslocamento do 2 ^o piso devido a concretagem desse piso).....	175 -79
Tabela 7 - Incremento de deslocamento nas fases do monitoramento.....	180
Tabela 8 - Escoras instrumentadas: constantes de calibração.....	181
Tabela 9 - Características do concreto, em função da idade – Resistência e módulo de elasticidade.....	182

Lista de gráficos do Anexo B

Gráfico 1.1- Esforços no escoramento do 1º piso (região azul).....	183
Gráfico 1.2 - Esforços no escoramento da viga A, de maior vão, do 1º piso (região azul).....	184
Gráfico 1.3 - Esforços no escoramento da viga B, de menor vão, do 1º piso (região azul).....	185
Gráfico 1.4 - Esforços no escoramento da viga C, de maior vão, do 1º piso (região azul).....	186
Gráfico 1.5 - Esforços no escoramento da viga D, de menor vão, do 1º piso (região azul).....	187
Gráfico 1.6 - Esforços no escoramento da laje do 1º piso (região azul).....	188
Gráfico 2.1 - Esforços no reescoramento do 1º piso (região amarela).....	189
Gráfico 2.2 - Esforços no reescoramento das vigas de maior vão do 1º piso (região amarela).....	190
Gráfico 2.3 - Esforços no reescoramento das vigas de menor vão do 1º piso (região amarela).....	191
Gráfico 2.4 - Esforços no reescoramento das vigas do 1º piso (região amarela).....	192
Gráfico 3.1 - Esforços no escoramento do 2º piso (região verde).....	193
Gráfico 3.2 - Esforços no escoramento das vigas de maior vão do 2º piso (região verde).....	194
Gráfico 3.3 - Esforços no escoramento das vigas de menor vão do 2º piso (região verde).....	195
Gráfico 3.4 - Esforços no escoramento da laje do 2º piso (região verde).....	196
Gráfico 4.1 - Esforços no reescoramento do 2º piso (região laranja).....	197

Gráfico 4.2 - Esforços no reescoramento das vigas de maior vão do 2º piso (região laranja).....	198
Gráfico 4.3 - Esforços no reescoramento das vigas de menor vão do 2º piso (região laranja).....	199
Gráfico 4.4 - Esforços no reescoramento da laje do 2º piso (região laranja).....	200
Gráfico 5.1 - Deslocamentos do 1º e 2º pisos.....	201
Gráfico 5.2 - Deslocamentos do 1º piso.....	202
Gráfico 5.3 - Deslocamentos do 2º piso.....	203
Gráfico 5.4 - Deslocamentos das vigas de maior vão dos 1º e 2º pisos.....	204
Gráfico 5.5 - Deslocamentos das vigas de menor vão do 1º e 2º pisos.....	205
Gráfico 5.6 - Deslocamentos das lajes do 1º e 2º pisos.....	206
Gráfico 6.1 - Deslocamentos do 1º e 2º pisos (eliminando deslocamento do 2º piso devido a concretagem desse piso).....	207
Gráfico 6.2 - Deslocamentos do 1º piso (eliminando deslocamento do 2º-piso devido a concretagem desse piso).....	208
Gráfico 6.3 - Deslocamentos do 2º piso (eliminando deslocamento do 2º-piso devido a concretagem desse piso).....	209
Gráfico 6.4 - Deslocamentos das vigas de maior vão do 1º e 2º pisos (eliminando deslocamento do 2º-piso devido a concretagem desse piso).....	210
Gráfico 6.5 - Deslocamentos das vigas de menor vão do 1º e 2º pisos (eliminando deslocamento do 2º-piso devido a concretagem desse piso).....	211
Gráfico 6.6 - Deslocamentos das lajes do 1º e 2º pisos (eliminando deslocamento do 2º-piso devido a concretagem desse piso).....	212
Gráfico 7.1 - Incrementos de deslocamento do 1º e do 2º piso	213
Gráfico 7.2 - Incrementos de deslocamento do 1º piso.....	214

Gráfico 7.3 - Incrementos de deslocamento do 2º piso.....	215
Gráfico 7.4 - Incrementos de deslocamento do 1º e do 2º piso, relativos à Etapa 113.....	216
Gráfico 7.5 - Incrementos de deslocamento do 1º piso, relativos à Etapa 113.....	217
Gráfico 7.6 - Incrementos de deslocamento do 2º piso, relativo à Etapa 113.....	218
Gráfico 8 - Resistência média do concreto ($f_{cméd}$) x Idade.....	219
Gráfico 9 - Módulo de elasticidade médio do concreto ($E_{cméd}$) x Idade.....	219
Gráfico 10 - Calibração de escoras instrumentadas 1 a 4.....	220
Gráfico 11 - Calibração de escoras instrumentadas 5 a 8.....	221
Gráfico 12 - Calibração de escoras instrumentadas 9 a 12.....	222
Gráfico 13 - Calibração de escoras instrumentadas 13 a 16.....	223
Gráfico 14 - Calibração de escoras instrumentadas 17 e 18.....	224

Lista de fotos do Anexo C

Foto 1 - Limpeza do terreno para fundação em radier	226
Foto 2 - Armação e fôrma do radier	226
Foto 3 - Detalhe da armação do radier e da broca	227
Foto 4 - Concretagem do radier	227
Foto 5 - Moldagens de corpos-de-prova do concreto do radier	228
Foto 6 - Concretagem do radier	228
Foto 7 - Acabamento do radier utilizando-se régua de madeira	229
Foto 8 - Acabamento do radier utilizando-se régua de madeira.....	229
Foto 9 - Acabamento do radier utilizando-se desempenadeira	230
Foto 10 - Radier finalizado	230
Foto 11 – Detalhe dos arranques para pilares	231
Foto 12 - Armação dos pilares do 1º pavimento	231
Foto 13 - Fôrma e escoramento do 1º pavimento	232
Foto 14 - Detalhe do escoramento do 1º pavimento	232
Foto 15 - Fôrma e escoramento de viga do 1º pavimento	233
Foto 16 - Gastalho, fôrma e gravatas dos pilares do 1º pavimento	233
Foto 17 - Fôrma de pilar e vigas do 1º pavimento em execução	234
Foto 18 - Detalhe de apoio para reescoramento inclinado da viga	234
Foto 19 - Armação de pilar, vigas e lajes do 1º pavimento	235
Foto 20 - Detalhe da armação de vigas e arranque de pilar	235
Foto 21 - Armação da laje do 1º pavimento	236
Foto 22 - Dispositivo utilizado para fixação de arame para medição de deslocamento da laje	236

Foto 23 - Sistema de escoramento com vigas H-20	237
Foto 24 - Apoio para reescoramento inclinado da laje em execução	237
Foto 25 - Apoio para reescoramento inclinado da laje finalizado	238
Foto 26 - Detalhe do dispositivo para fixação de arame, utilizado para medição de deslocamento de vigas	238
Foto 27 - Sistema empregado para fixação de dispositivo para medição de deslocamento da laje	239
Foto 28 - Detalhe de <i>strain gages</i> colados nas escoras	239
Foto 29 - Concretagem do 1º pavimento	240
Foto 30 - Concretagem do 1º pavimento	240
Foto 31 - Concretagem do 1º pavimento	241
Foto 32 - Laje do 1º pavimento finalizada	241
Foto 33 - Corpos-de-prova de concreto do 1º pavimento	242
Foto 34 - Escoramento do 1º pavimento	242
Foto 35 - Gastalho e arranque de pilar do 2º pavimento	243
Foto 36 - Defletômetro utilizado para medição de deslocamento da laje	243
Foto 37 - Escoramento do 1º pavimento após concretagem	244
Foto 38 - Detalhe do apoio inferior do reescoramento inclinado de viga	244
Foto 39 - Detalhe do apoio inferior do reescoramento inclinado de viga	245
Foto 40 - Reescora inclinada apoiada em viga	245
Foto 41 - Sistema de reescoramento inclinado de viga	246
Foto 42 - Detalhe do apoio inferior de reescoramento de laje	246
Foto 43 - Fôrma e armação de pilar do 2º pavimento	247
Foto 44 - Vigas H-20 utilizadas para escoramento de laje	247
Foto 45 - Vigas H-20 utilizadas para escoramento de vigas	248
Foto 46 - Assoalho do 2º pavimento em execução	248
Foto 47 - Fôrma de viga e laje do 2º pavimento em execução	249

Foto 48 - Tubulação utilizada para concretagem do 2º pavimento	249
Foto 49 - Concretagem do 2º pavimento	250
Foto 50 - Concretagem do 2º pavimento	250
Foto 51 - Concretagem do 2º pavimento	251
Foto 52 - Escoramento do 2º pavimento após concretagem	251
Foto 53 - Areia utilizada como carregamento	252
Foto 54 - Areia ensacada para carregamento da estrutura	252
Foto 55 - Transporte dos sacos de areia para o carregamento	253
Foto 56 - Distribuição do carregamento do 2º pavimento	253
Foto 57 - Distribuição do carregamento do 2º pavimento	254

Lista de símbolos

A, B, C, D - vigas A, B, C, D

A|v, B|v, C|v, D|v - vigas A, B, C, D escoradas com barras verticais

A/v, D/v - vigas A, D reescoradas com barras verticais

B/i, C/i - vigas B, C reescoradas com barras inclinadas

CP - corpo-de-prova

D_i - defletômetro numerado i (i=1 a 10)

E_c - módulo de elasticidade longitudinal do concreto

E_i - esforço axial na escoras instrumentadas (i=1 a 18)

E_{cméd} – módulo de elasticidade longitudinal médio do concreto

f_c - resistência do concreto à compressão

f_{cméd} – resistência média do concreto

f_{ck} – resistência característica do concreto

K - constante de calibração

L - vão teórico

L/|flecha| - razão entre o vão teórico e o módulo da flecha

Laje|v - painel de laje escorado com barras verticais

Laje/i - painel de laje reescorado com barras inclinadas

(n+m) - (número de níveis escorados + número de níveis reescorados)

NBR - Norma Brasileira Registrada

ε - deformação específica

με - 10⁻⁶ (deformação específica)

Sumário

1	INTRODUÇÃO	24
1.1	Metodologia do trabalho	25
1.2	Objetivos	26
1.3	Desenvolvimento da dissertação	27
2	CIMBRAMENTO NA EXECUÇÃO DA ESTRUTURA	28
2.1	Cargas atuantes na execução de estrutura	28
2.2	Cimbramento: fôrmas e escoramento	28
2.3	Sistema de escoramento residual	29
2.4	Processo de desforma	32
2.4.1	Desforma no sistema de escoramento residual convencional (vertical)	32
2.4.2	Desforma no sistema de escoramento residual convencional e inclinado .	33
3	TRABALHO EXPERIMENTAL	38
3.1	Modelo físico em verdadeira grandeza	38
3.2	Instrumentação das escoras	40
3.3	Instrumentação da estrutura	41
3.4	Procedimento para a instalação das escoras e das reescoras	41
3.5	Simulação da execução do 3 ^o e 4 ^o pisos – Cargas aplicadas no 2 ^o piso ...	42
3.6	Determinação das características mecânicas do concreto.....	42
3.7	Inspeções visuais programadas.....	42
4	RESULTADOS DOS ENSAIOS E DO MONITORAMENTO.....	43
4.1	Ensaio de calibração das escoras instrumentadas.....	43
4.2	Ensaio de caracterização mecânica do concreto.....	43

4.3	Determinação de esforços nas escoras.....	43
4.4	Medidas de deslocamentos verticais durante a construção.....	45
4.5	Medidas de flechas instaladas na estrutura.....	46
4.6	Resultado das inspeções visuais.....	47
5	ANÁLISE DOS DADOS OBTIDOS.....	48
5.1	Características mecânicas do concreto.....	48
5.2	Deslocamentos verticais desenvolvidos durante a construção.....	49
5.2.1	Deslocamentos instantâneos na concretagem do 1 ^o e do 2 ^o piso	49
5.2.2	Incrementos de deslocamento nas várias fases do monitoramento.....	49
5.2.3	Deslocamentos ao longo do monitoramento.....	79
5.2.4	Deslocamentos no final do monitoramento.....	89
5.3	Esforços nas escoras e reescoras.....	92
5.4	Flechas finais instaladas na estrutura.....	95
5.4.1	Configurações inicial e final da estrutura	95
5.4.2	Análise das flechas finais instaladas na estrutura	97
5.5	Inspeções visuais.....	102
6	CONCLUSÕES.....	103
	Referências Bibliográficas.....	109
	Anexo A - Construção da obra (Modelo Físico)	111
	Anexo B - Figuras, tabelas e gráficos referentes ao monitoramento da estrutura.....	151
	Anexo C - Fotos.....	225

1 INTRODUÇÃO

A concretagem da estrutura de um pavimento de edifício é basicamente feita usando-se suporte temporário composto por fôrmas, para moldagem das peças, e pelo conjunto de escoras e reescoras, o qual é apoiado em pavimentos inferiores, com certa idade e resistência desenvolvida.

Durante o processo construtivo, os itens de fundamental importância associados às deformações do concreto são a ordem da materialização de cargas, o processo de escoramento e a velocidade da construção, aspectos que infelizmente não têm recebido, de forma geral, a devida atenção (RUIZ, J.C; DUTARI, L.G.,1992).

A NBR-6118 (1980) contém recomendações gerais sobre escoramento durante a fase de construção de estruturas de concreto armado:

- Item 9.2.2 – “O escoramento deverá ser projetado de modo a não sofrer, sob a ação de seu peso, do peso da estrutura e das cargas acidentais que possam atuar durante a execução da obra, deformações prejudiciais à forma da estrutura ou que possam causar esforços no concreto na fase de endurecimento”.
- Item 9.2.3 – “Devem ser tomadas as precauções necessárias para evitar recalques prejudiciais provocados no solo ou na parte da estrutura que suporta o escoramento, pelas cargas por este transmitidas”.
- Item 14.2.1 – “A retirada das fôrmas e do escoramento só poderá ser feita quando o concreto se encontrar suficientemente endurecido para resistir às ações que sobre ele atuarem e não conduzir a deformações inaceitáveis, tendo em vista o baixo módulo e a maior probabilidade de grande deformação lenta quando o concreto é solicitado com pouca idade”.

“Se não for demonstrado o atendimento das condições acima e não se tendo usado cimento de alta resistência inicial ou processo que acelere o endurecimento, a retirada das fôrmas e do escoramento não deve dar-se antes dos seguintes prazos:

- faces laterais: 3 dias;
- faces inferiores, deixando-se pontaletes bem encunhados e convenientemente espaçados: 14 dias;

- faces inferiores, sem pontaletes: 21 dias”.

Note-se que a falta de projeto de escoramento adequado ou a retirada prematura do escoramento, conforme acima referido, pode levar a estrutura a situações inaceitáveis, referentes a:

- Estado Limite de Serviço: deformações excessivas e fissuração que prejudiquem uso ou a durabilidade.
- Estado Limite Último: deformações plásticas excessivas ou instabilidade que caracterizem ruptura.

A prevenção quanto ao aparecimento de patologias na estrutura durante a construção, conforme as recomendações da NBR 6118 (1980), deve levar em conta a tendência atual relativa às características dos materiais e dos projetos estruturais, em função de obtenção de maior economia: estruturas mais esbeltas e flexíveis; redução da taxa de armadura; variação das características do concreto, em termos de resistência inicial, módulo de elasticidade e características de deformação lenta. Estas características afetam o desempenho das estruturas de concreto, exigindo adequação do projeto de escoramento.

Por outro lado, o mercado, altamente competitivo, em busca contínua de diminuição de custos, procura na prática redução do número de jogos de fôrmas e de escoras e, ao mesmo tempo, redução do período entre ciclos de concretagem.

O sistema mais usado no mercado, economicamente viável, que possibilita aumento da velocidade de construção, com redução do número de jogos de fôrmas e de escoras, sem o comprometimento da segurança e qualidade da obra, se empregado adequadamente, é o chamado escoramento residual, que parece ser o termos mais apropriado, objeto de análise desta dissertação. É também usual o emprego das denominações escoramento permanente ou reescoramento.

Nota: Por simplicidade, usa-se o termo reescora (barras empregadas no escoramento residual) para diferenciação do termo “escora” (barras empregadas no escoramento).

1.1 Metodologia do trabalho

A análise de uma estrutura de concreto armado de edifício no período de sua construção, desde o lançamento do concreto fresco até o endurecimento, por meio de métodos analíticos ou numéricos, é tarefa extremamente complexa devido

principalmente às alterações que ocorrem, ao longo do tempo, das características mecânicas do concreto e do carregamento.

Na análise deve-se considerar as variações ao longo do tempo da estrutura quanto à geometria e quanto às propriedades não lineares do concreto (resistência e deformação). Além disso, deve-se também levar em conta na evolução da construção a interação da estrutura de concreto com o sistema de escoramento e de escoramento residual.

Em vista dessas dificuldades, neste trabalho optou-se pela análise experimental através da construção de um modelo físico de uma estrutura de concreto armado com dois pisos superiores, em verdadeira grandeza, onde são simuladas todas as etapas de construção empregadas usualmente em edifícios, com o uso de escoras e de reescoras metálicas.

O trabalho foi desenvolvido tomando como base normas, bibliografia consultada, a maior parte referente a cálculos teóricos aproximados, a experiência profissional do autor em construções de estruturas de concreto armado de edifícios residenciais e também com o apoio do IPT na área de instrumentação, monitoramento e análise experimental de estruturas.

1.2 Objetivos

Os objetivos do presente trabalho estão descritos a seguir:

- Proposição de metodologia de análise experimental de desempenho de escoramento e escoramento residual de estrutura de concreto armado, no que se refere à instrumentação —incluindo controles e calibrações—, ensaios em corpos-de-prova, tratamento e análise de dados.
- Levantamento de dados referentes à deformação da estrutura e às cargas transferidas para as escoras e reescoras, desde o lançamento do concreto fresco até seu endurecimento e obtenção da resistência de projeto.
- Análise do desempenho do sistema de escoramento e escoramento residual empregado e, no caso das vigas, comparação dos dois sistemas de escoramento residual (vertical e inclinado) quanto ao desempenho e à viabilidade de uso.

- Exame da viabilidade do emprego de sistema de escoramento residual (inclinado) visando redução dos esforços na estrutura, ou seja, de possíveis danos nas idades iniciais, devendo-se notar que no sistema com reescoras verticais as cargas dos elementos do piso são transferidas diretamente para os elementos correspondentes do piso inferior, enquanto que no sistema de reescoras inclinadas são transferidas para a região de apoio junto aos pilares, o que pode, em princípio, representar menos deformações nos elementos do piso inferior.

1.3 Desenvolvimento da dissertação

No capítulo 1 são mencionadas algumas questões atuais que devem ser consideradas no projeto de escoramento e escoramento residual da estrutura, relacionadas ao projeto estrutural, ao concreto e à necessidade de redução de custos da construção da estrutura seja pela redução no número de jogos de fôrmas e de escoras, seja pela redução do período entre ciclos de concretagem. Descreve também os objetivos do trabalho e os motivos da abordagem adotada (análise experimental).

O capítulo 2 refere-se ao sistema suporte para a concretagem da estrutura, composto por fôrmas, escoras e reescoras. Descrevem-se os conceitos básicos —referentes ao escoramento residual tradicional, com barras a prumo e referentes ao escoramento residual com barras inclinadas—, as operações, as fases da desforma, as variáveis e as possibilidades envolvidas.

O Capítulo 3 trata do trabalho experimental desenvolvido, relatando as características do modelo físico construído, as fases de sua construção, os escoramentos e escoramentos residuais empregados, as instrumentações feitas para as escoras e para a estrutura de concreto, os ensaios realizados em laboratório, etc.

O capítulo 4 apresenta os resultados obtidos nos ensaios, no monitoramento e nas inspeções visuais realizadas.

O capítulo 5 faz a análise dos resultados obtidos e o capítulo 6 apresenta as conclusões do trabalho realizado.

2 CIMBRAMENTO NA EXECUÇÃO DA ESTRUTURA

2.1 Cargas atuantes na execução de estrutura

Na concretagem de uma estrutura de concreto armado de edifício atuam cargas verticais, que incluem o peso próprio dos materiais referentes ao concreto, armadura, fôrmas, escoramento, mão-de-obra e equipamentos empregados no local, além dos impactos produzidos pelo lançamento do concreto.

Também atuam as cargas horizontais, como as provocadas pela ação do vento, por peças em balanço, pelo movimento produzido pelo lançamento do concreto, pela operação de equipamentos, etc. Nessa dissertação serão considerados apenas carregamentos verticais; as ações horizontais não fazem parte do escopo do trabalho.

2.2 Cimbramento: fôrmas e escoramento

O sistema de suporte das cargas, no ato da concretagem de uma estrutura de edifício, é basicamente composto por fôrmas, para moldagem das peças, que são apoiadas por escoramento que se assenta em pavimento inferior, o qual possui concreto já com certa idade e certa resistência desenvolvida.

Escoras utilizadas para apoio das fôrmas são componentes estruturais de barra (trabalham à compressão) de madeira maciça ou tubular, de aço. Estas últimas são basicamente compostas por dois segmentos telescópicos que permitem regulagem de altura, com travamento através de pinos.

Note-se que a carga crítica das escoras, de ruína à flambagem, depende da área da seção transversal, do comprimento e de detalhes como furos existentes nas paredes do tubo para a inserção dos pinos de travamento. A carga admissível é obtida da carga de ruptura determinada em ensaios de compressão axial, adotando-se coeficiente de segurança, usualmente em torno de três (BATISTA e MASCIA, 2006).

A retirada do escoramento das faces inferiores dos elementos estruturais deve-se dar com o concreto com valores de resistência e módulo de elasticidade bastante próximos dos finais, projetados para a estrutura, observando-se que a NBR 6118 da Associação Brasileira de Normas Técnicas (1980), recomenda prazo de 21

dias para a retirada total do escoramento, na ausência de procedimentos específicos que garantam a não ocorrência de deformações inaceitáveis (Ver capítulo 1).

A procura por maior economia pelo mercado —em termos de redução do número de jogos de fôrma e de escoras e do período entre ciclos de concretagem— levou à solução encontrada com êxito no chamado escoramento residual. Este sistema será tratado, em detalhes, nos próximos itens.

2.3 Sistema de escoramento residual

Basicamente a retirada do escoramento do pavimento concretado deve ocorrer quando o concreto já tiver resistência suficiente para suportar seu próprio peso, sem ocorrência de deformações excessivas, em prazo compatível com o desenvolvimento da resistência necessária.

Em relação ao sistema de escoramento, o sistema de escoramento residual leva a um ganho de economia na medida em que possibilita a retirada das fôrmas e da maior parte das escoras (que podem ser reaproveitadas na concretagem do pavimento seguinte) em um prazo bem menor, conforme já referido em literatura, segundo mecanismo resumido a seguir. (GARDNER, 1985; MOSALLAM e CHEN, 1991; PRADO, 1999; ZORZI, 2002).

Diferentemente do escoramento, onde depois da retirada das escoras a própria estrutura suporta seu peso, no sistema de escoramento residual permite-se que o peso seja suportado parcialmente pela própria estrutura (de forma compatível com a resistência já adquirida) e impõe-se que o restante do peso seja redistribuído, através de reescoras, pelos pavimentos imediatamente inferiores, que possuem resistências gradativamente maiores quanto mais baixa for a localização do pavimento na obra.

No sistema de escoramento residual, apesar de se ter muitas possibilidades de variação, desenvolvem-se algumas operações básicas, relacionadas a seguir, que se repetem ciclicamente:

- (1) ⇒ Concretagem de novo pavimento, escorado.
- (2) Retirada de reescoras instaladas no nível mais baixo da construção.

- (3) Retirada das escoras e fôrmas instaladas no último pavimento concretado e implantação de reescoras nesse nível.
- (4) Instalação das fôrmas e escoras [reaproveitadas de (3)] para a concretagem do pavimento seguinte.
- (5) Concretagem do pavimento seguinte \Rightarrow Retorno a (1).

Algumas das variáveis envolvidas no sistema de escoramento residual, citadas a seguir, são definidas de forma diferente dependendo da estratégia adotada pelas diversas construtoras:

- Locação das escoras e reescoras.
- Número de barras empregado como escoras e reescoras.
- Prazo de desforma, de retirada das escoras e das reescoras.
- (Número de níveis escorados + Número de níveis reescorados), como por exemplo:
 - (3+0): três níveis de escoras e fôrmas, sem nível com reescoras;
 - (2+1): dois níveis de escoras e fôrmas mais um nível de reescoras;
 - (1+2): um nível de escoras e fôrmas mais dois níveis de reescoras;
 - (1+3): um nível de escoras e mais três níveis de reescoras. Observe-se que esta opção é atualmente a mais utilizada pelas grandes construtoras do mercado.

Note-se que o número de reescoras adotado para os diversos níveis inferiores, pode variar. Por exemplo, no sistema (1+3) pode-se estabelecer no primeiro nível certo número N de reescoras; no segundo nível imediatamente inferior, 70% de N; no terceiro nível, 50% de N.

Também o momento da implantação do escoramento residual pode ocorrer:

- antes da concretagem;
- durante a concretagem;
- antes da desforma ou
- após a desforma.

Algumas recomendações e observações de caráter geral acerca do escoramento residual, tendo em vista evitar deformações excessivas no concreto jovem, podem ser feitas como diretrizes gerais, mas que devem ser analisadas criticamente em cada caso em particular:

- as reescoras devem ser instaladas com critério de maneira a facilitar a liberação da quase totalidade das fôrmas e das escoras, quando for o caso;
- no sistema convencional de escoramento residual, as reescoras a prumo podem ser posicionadas logo após a concretagem;
- observar que com o emprego de fôrmas com maior rigidez (maior “estruturação”) pode-se utilizar menor quantidade de escoras ou de reescoras, porém com capacidade de carga maior;
- no projeto de reescoras de pavimentos deve-se considerar a parcela estimada do peso da estrutura reescorada e a rigidez desta estrutura, observando-se que para peso maior, a quantidade de reescoras, ou a capacidade de carga das reescoras, deverá ser correspondentemente maior. Também, para menor rigidez do elemento estrutural adotar menor espaçamento entre as reescoras, o que possibilitaria eventualmente a utilização de escoras com menor capacidade de carga, e
- na opinião do autor, as reescoras devem ser posicionadas de maneira que os esforços sejam transferidos gradativamente aos elementos estruturais de maior rigidez, ou seja, das lajes para as vigas e das vigas para os pilares.

O cálculo teórico do sistema escoramento/escoramento residual aplicado a edifícios, levando em conta os carregamentos descritos no item 2.1, foi abordado em diversos trabalhos, adotando-se hipóteses simplificadoras e chegando-se a algoritmos de grande utilidade prática, como por exemplo, nos artigos de GRUNDY e KABAILA (1963); LIU, CHEN e BOWMAN (1985); MOSALLAM e CHEN (1991,1992); PRADO, J.F.M.A (1999).

No próximo item descreve-se o processo de desforma, considerando os casos de reescoras convencionais (a prumo), e também de reescoras inclinadas.

2.4 Processo de desforma

2.4.1 Desforma no sistema de escoramento residual convencional (vertical)

A retirada das fôrmas pode ocorrer de diversas maneiras de acordo com a quantidade de pavimentos escorados e reescorados. Apenas, a título de exemplo, no sistema (3+0) quando são utilizados três níveis de fôrmas e de escoras, sem reescoras, a retirada das escoras do nível mais baixo não apresenta dificuldades, já que este pavimento encontra-se com resistência suficiente e poderá possivelmente suportar seu peso próprio e demais cargas atuantes na construção, em face de sua idade, sem a ocorrência de deslocamentos inaceitáveis.

Contudo, para os sistemas de escoramento residual empregados no mercado, é necessária a adoção de alguns cuidados e procedimentos relativos ao processo de desforma. A seguir são descritos alguns desses procedimentos e algumas observações pertinentes, que visam evitar deformações excessivas na estrutura e que podem ser consideradas dependendo da estratégia assumida.

- Prever faixas de chapas de madeira compensada nos assoalhos das lajes e detalhes nas fôrmas das vigas de maneira que os fundos destas possam permanecer juntamente com as reescoras, permitindo a retirada do restante das fôrmas sem necessidade de retirar toda a sustentação do pavimento, evitando a transmissão precoce de esforços consideráveis à estrutura recém concretada.
- Providenciar as faixas e os fundos sobressalentes das fôrmas das vigas no ato da fabricação das fôrmas, notando-se que estes dispositivos podem ser feitos, por questão de economia, com chapas de madeira compensada de qualidade inferior em relação ao empregado no restante das fôrmas, já que serão usados em número menor de vezes e por isso sofrerão menos desgastes.
- Como a fôrma favorece a retenção da umidade no concreto, sua retirada precoce pode causar aumento significativo de retração e conseqüente queda na rigidez da peça estrutural. Portanto, na desforma com pouca idade, como no caso de se empregar escoramento residual, deve-se prever processo de

cura, como descrevem Levy e Helene (1996), que evite a perda brusca de água para o ambiente por evaporação.

- A título de esclarecimento, note-se que fissuras originárias do efeito de retração nas primeiras idades do concreto estão relacionadas basicamente a fenômenos de perda de água por secagem (retração hidráulica) e a ocorrências de origem térmica durante o processo de hidratação do cimento (calor de hidratação). Influem de forma importante no processo, características como dimensões da peça de concreto, consumo de cimento, dosagem do concreto, etc. Condições ambientais, como vento, aquecimento, baixa umidade relativa do ar, etc., intensificam o processo de retração (ISAÍÁ, 2005). Além disso, condições de contorno da peça, como vínculos externos, que restringem a movimentação livre do elemento, ocasionam o aparecimento de tensões de tração, as quais, se superiores à resistência a tração do concreto, resultam em abertura de fissuras.
- O uso de escoras de cabeça descendente (*drop head*) é recomendável, pois possibilitaria a implantação do escoramento residual através do próprio uso de parte das escoras já instaladas no escoramento, sem mudança de posição, evitando assim transmissão indesejada de maiores esforços à estrutura e, ao mesmo tempo, reduzindo o trabalho e a quantidade de equipamentos envolvidos no processo. Note-se, contudo, que este tipo de escora não é facilmente encontrado no mercado, estando sua aplicação limitada no momento; além disso, o tipo de estruturação das lajes usualmente projetada não segue padrão desejável para o uso do equipamento referido.
- Alguns projetistas recomendam que o concreto atinja 70% do fck para liberação da desforma das lajes (ZORZI, 2002), visando maior segurança. Contudo, este procedimento leva à necessidade de controle da resistência do concreto através de ensaios de corpos-de-prova nesta fase e retarda a instalação do escoramento residual.

2.4.2 Desforma no sistema de escoramento residual inclinado

Da mesma forma que no processo de escoramento residual convencional (a prumo) deverão ser previstas nas fôrmas faixas nos panos de laje e nos fundos de

viga, com a finalidade de receber as reescoras, que pelo fato de serem inclinadas exigirão certas adaptações.

Para o caso das vigas, deverão ser instaladas na região central do fundo da fôrma, dispositivos de madeira ou metálicos, chanfrados nas extremidades, de maneira a poder receber as escoras inclinadas e ao mesmo tempo enrijecer esta região da fôrma para resistir aos esforços de compressão transmitidos (Anexo C/ Figura 3; Fotos 14, 18, 39, 40 e 41).

Devem ser previstos durante a concretagem de cada pavimento apoios inferiores para as escoras inclinadas. Para as lajes, inicialmente pensou-se em uma barra de aço inclinada, com bitola de 16mm e comprimento externo de cerca de 20cm (Figura 1), que seria inserida no interior da reescora tubular, de modo a fixá-la. Contudo, adianta-se que, em testes preliminares realizados, este dispositivo não funcionou adequadamente sendo substituídos por apoios de madeira, os quais posteriormente foram envolvidos por pequeno bloco graute aderido à estrutura.

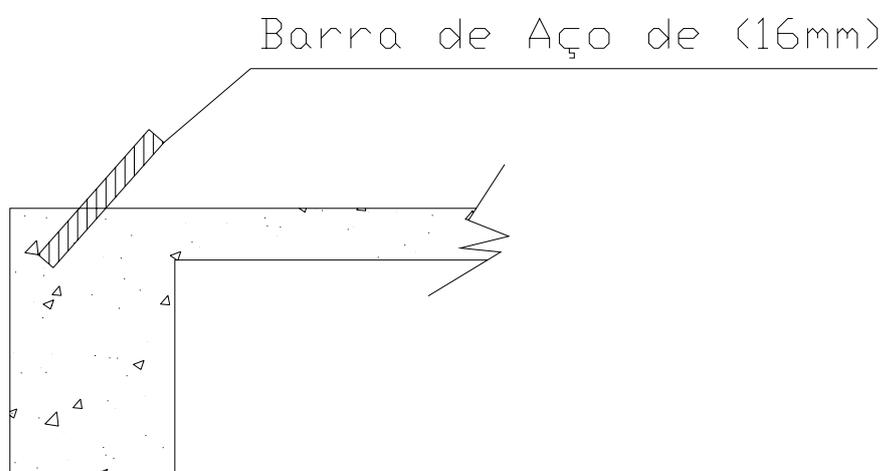


Figura 1 – Detalhe de apoio das escoras inclinadas (posteriormente alterado, conforme texto acima)

Nas fôrmas das lajes também devem ser providenciadas faixas isoladas para posicionamento das escoras inclinadas. O elemento de travamento entre essas faixas referidas deve ser instalado sobre calço apropriado de modo a deixar pequeno espaço livre junto às fôrmas da laje, visando possibilitar suas retiradas na ocasião de implantação das reescoras (Anexo C/ Figura 2; Fotos 24 e 25). Note-se,

que o posicionamento das reescoras na direção perpendicular ao das faixas da fôrma é necessário para evitar interferências entre os dispositivos de apoio das reescoras e as longarinas empregadas no escoramento da laje (Anexo C/ Foto 25).

A desforma das vigas deve ser iniciada pelas suas extremidades de modo a deixar livre o espaço entre a peça de apoio das escoras inclinadas e os pilares. Em seguida, as reescoras inclinadas são devidamente instaladas, o que permite então a retirada das escoras sob a peça de apoio central (Figura 3).

No caso do emprego de reescoras inclinadas a distribuição de carga da laje do pavimento recém concretado se dará para as vigas do pavimento imediatamente inferior e dessas vigas para as bases dos pilares desse mesmo pavimento. Já as cargas das vigas do pavimento recém concretado serão direcionadas para as bases dos pilares desse próprio pavimento.

Nas Figuras 2 a 5 apresentam-se ilustrações de seqüências da instalação do sistema de reescoras inclinadas na viga de maior vão.

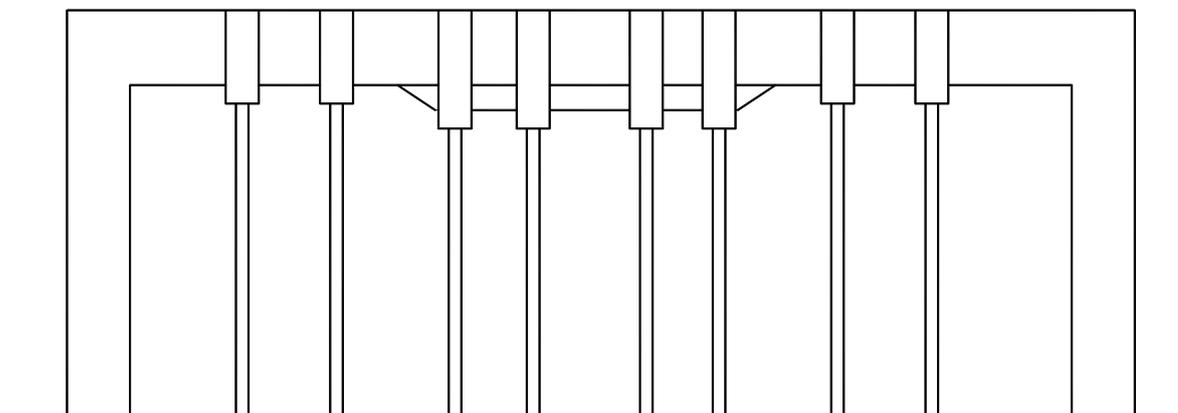


Figura 2 – Viga de maior vão totalmente escorada.

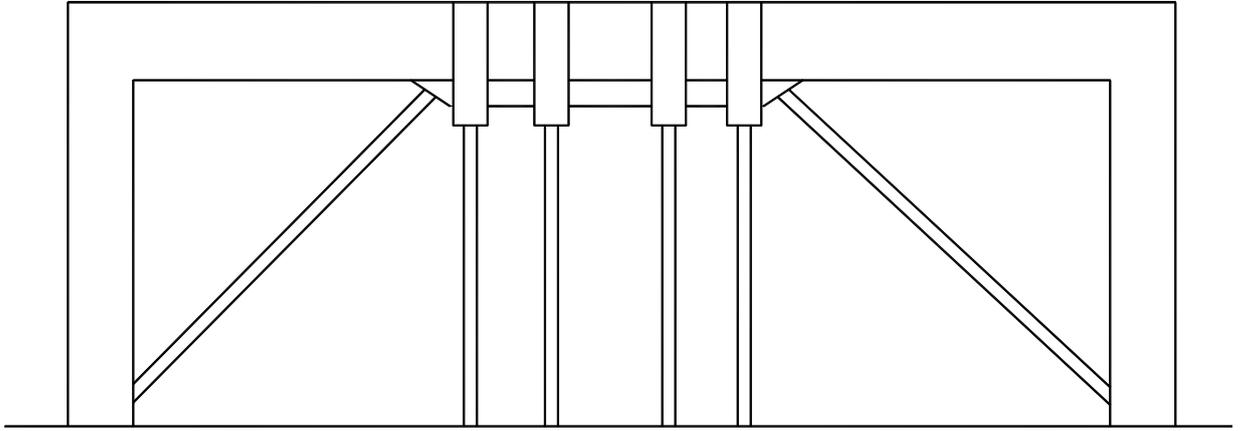


Figura 3 – Escoras das extremidades retiradas e instalação das reescoras inclinadas.

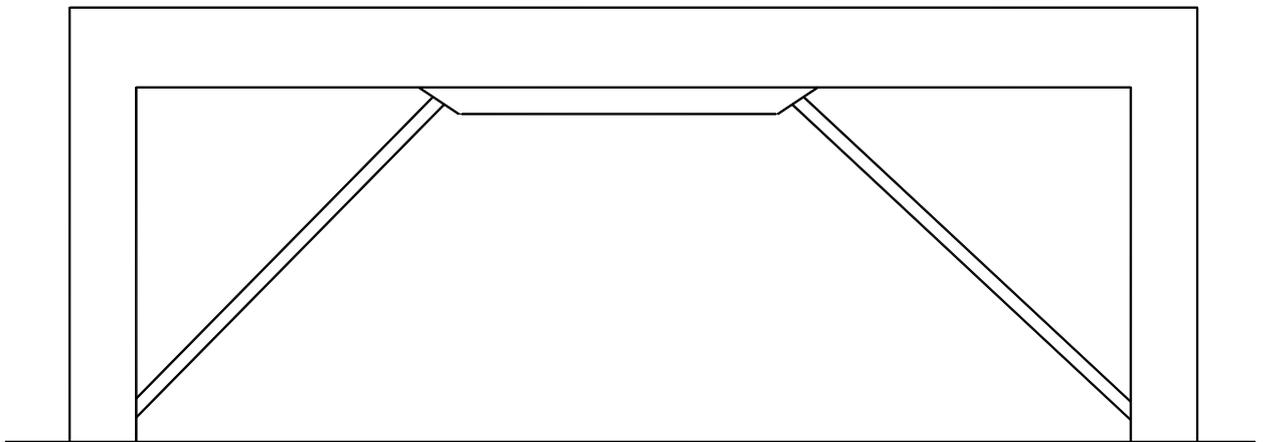


Figura 4 – Escoras centrais retiradas.

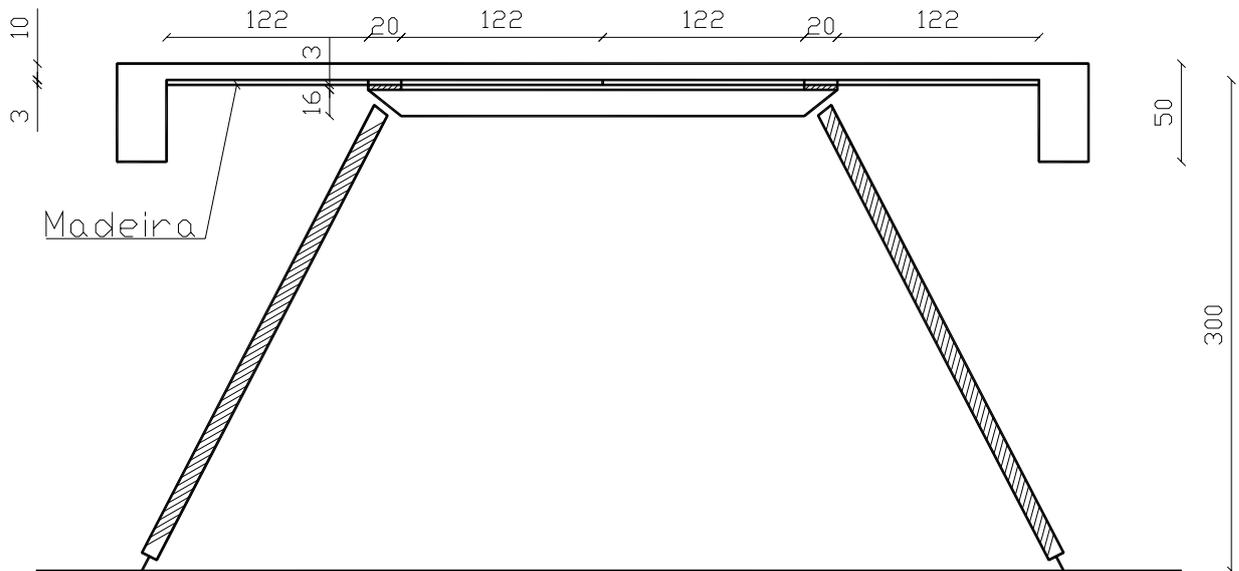


Figura 5 – Desenho esquemático indicando escoramento residual inclinado em lajes e tira de apoio para permitir a desforma.

Note-se que as escoras com cabeça descendente (*drop head*), no caso de escoramento residual inclinado, não tem utilidade especial, podendo ser usado apenas como reescora normal.

3 TRABALHO EXPERIMENTAL

Descrevem-se neste capítulo o modelo físico de concreto armado construído, a instrumentação implantada na estrutura e nas escoras metálicas e os ensaios realizados de caracterização do concreto.

3.1 Modelo físico em verdadeira grandeza

O modelo físico construído possui as seguintes características:

- 2 pisos superiores.
- 4 pilares de 20,0cm x 20,0cm.
- 2 painéis de laje de 3,25m x 4,95m, com espessura de 8,0cm.
- 4 vigas de 15cm x 40cm, no perímetro externo.
- Pé-direito de cada pavimento de 2,20m.
- Fundação direta em *radier*, sobre 4 brocas.
- Concreto especificado em projeto de 20,0 MPa.

Procurou-se, na medida do possível, usar na construção da estrutura equipamentos similares aos empregados em uma grande Construtora de São Paulo, inclusive a mesma mão-de-obra experiente, e os mesmos procedimentos referentes à montagem das fôrmas e operações de escoramento e de escoramento residual. Inclusive os projetos envolvidos, estrutural e das fôrmas / escoramento, foram desenvolvidos pelas mesmas empresas que usualmente prestam serviços para a referida Construtora, segundo procedimentos semelhantes. Estas medidas foram adotadas visando manter semelhanças, o mais possível, entre as execuções do modelo e dos edifícios, para que os resultados obtidos fossem representativos da prática do mercado atual.

Na execução do modelo reduzido foi adotado, em face de restrições práticas, o sistema (1+2) de forma simplificada, segundo o esquema da Figura 1, apresentada no Anexo B. O escoramento da estrutura foi realizado conforme mostram as Figuras 2 e 4 do anexo B. Para o escoramento residual da estrutura foram empregados, conforme indicam as Figuras 2 a 5 do Anexo B:

- escoramento residual vertical em uma viga de maior vão e em uma viga de menor vão, de cada piso;
- escoramento residual inclinado em uma viga de maior vão e em uma viga de menor vão, de cada piso;
- lajes dos dois pisos, com escoramento residual inclinado.

A construção do modelo foi feita segundo as seguintes fases:

- Fase 1
 - Fundação direta em radier.O radier serviu de apoio para as escoras e reescoras do 1º piso superior.
- Fase 2
 - Montagem das fôrmas e armaduras dos pilares, vigas e laje do 1º piso.
- Fase 3
 - Concretagem do 1º piso, incluindo pilares.
- Fase 4
 - Escoramento residual do 1º piso.
 - Montagem das fôrmas e armaduras dos pilares, vigas e laje do 2º piso.
- Fase 5
 - Concretagem do 2º piso, incluindo pilares.

Nos oito primeiros dias, após o lançamento do concreto, a superfície superior das lajes dos dois pisos foi mantida úmida, para minimizar a retração do concreto.

Apesar de serem construídos apenas dois pisos superiores (1º e 2º pisos), foi simulada a construção de mais dois pisos (3º e 4º pisos) através de carregamento aplicado em duas etapas sobre o 2º piso, visando verificação do comportamento da estrutura do 1º piso (reescorado e/ou livre) e do 2º piso (reescorado), conforme mostrado na Figura 1 do Anexo B. O desenvolvimento dessas atividades, ao longo do tempo, seguiu o cronograma das etapas previstas para a construção da obra, ou seja, a construção de um piso por semana, segundo prática usual de mercado.

A descrição da obra e do processo construtivo, incluindo plantas, fôrmas, sistemas de escoramento e de escoramento residual empregados, estão apresentados em detalhes no Anexo A e ilustrado com fotos no Anexo C.

O cronograma da execução da obra, incluindo todas as atividades realizadas, está apresentado na Tabela 1 do Anexo B.

3.2 Instrumentação das escoras

Foram instrumentadas 18 escoras tubulares metálicas com rosetas extensométricas de resistência elétrica bidirecionais, compostas por dois extensômetros elétricos unidirecionais (*strain gages*) de 2,0mm de comprimento, dispostos perpendicularmente entre si, para medidas de deformações.

Em cada uma das escoras —na região central de seu comprimento, considerando a situação final de instalação na obra—, foram coladas duas rosetas em uma mesma seção transversal, em posições diametralmente opostas, com configuração de ligação elétrica em “ponte completa”, de modo a eliminar as deformações de flexão e de torção, com saída (*output*) sensível apenas a esforços normais nas escoras (compressão ou tração).

As escoras instrumentadas desta forma, operando como sensor de detecção de esforços normais (célula de carga), foram calibradas em prensa hidráulica, permitindo a determinação de “constantes de calibração” (K), igual à relação entre carga aplicada e a saída da ponte extensométrica. Desta forma, para determinado carregamento da escora, a medida na saída da ponte multiplicada pela constante de calibração resulta no esforço normal solicitante da escora.

Além das 18 escoras instrumentadas acima referidas, foi instrumentada de forma semelhante uma escora extra (“escora padrão”), portanto representativa do conjunto das escoras instrumentadas. Esta escora foi mantida descarregada durante todo o monitoramento, em local protegido de intempéries e impactos e foi utilizada para medições periódicas de controle, visando detectar eventuais “desvios de zero” na resposta da instrumentação ao longo do período de monitoramento.

Os extensômetros de resistência elétrica empregados na instrumentação são auto compensados em relação à variação de temperatura, ou seja, a saída da ponte extensométrica pode ser considerada insensível à variação de temperatura.

3.3 Instrumentação da estrutura

A estrutura foi instrumentada com o emprego de 10 defletômetros (relógios comparadores, com precisão de 0,01mm), instalados no meio de vão de todas as vigas e no centro dos painéis de laje dos dois pisos da estrutura, para a medida de deslocamentos verticais absolutos em relação ao piso do térreo, considerado rígido.

Foram utilizados dispositivos construídos com fios de ínvar (com baixo coeficiente de dilatação térmica, visando a minimização da influência da temperatura na estrutura), fixos em uma extremidade na armadura do elemento estrutural monitorado e ancorada na laje sobre o solo, considerada imóvel, e passando pelos defletômetros.

Para a passagem do fio de ínvar fixo na laje do 2º piso e ancorado na laje sobre o solo, foi deixado um furo de cerca de 10,0cm de diâmetro na laje do 1º piso.

Também foi feita uma instrumentação análoga com um defletômetro no prédio do Laboratório de Estruturas do IPT (Prédio nº 41, construído especialmente para ensaios de modelos físicos reduzidos de micro-concreto das comportas da Barragem de Itaipu), bem ao lado do modelo físico em questão, considerando um fio de ínvar instalado entre duas lajes de concreto, consideradas bastante rígidas, separadas de cerca de 3,0m. Desta forma, como esta estrutura foi mantida descarregada e protegida de impactos, considerou-se com boa aproximação que a variação de deslocamento acusada por esta instrumentação (defletômetro de controle) é decorrente apenas da variação da temperatura. Esta variação de deslocamento em cada etapa do monitoramento foi descontada das leituras feitas nos defletômetros instalados no modelo físico.

3.4 Procedimento para a instalação das escoras e das reescoras

Nas operações de escoramento e de escoramento residual, as barras instrumentadas (Anexo B/Figuras 2 a 6) foram monitoradas tendo em vista o controle do desenvolvimento de esforços normais nas barras. Através desse controle, procurou-se impor nas reescoras de elementos estruturais correspondentes valores semelhantes de componentes verticais de esforços normais.

3.5 Simulação da construção do 3º e 4º pisos – Cargas aplicadas no 2º piso

Para maior abrangência da análise, foi simulada a construção de mais dois pisos adicionais (3º e 4º pisos) através da aplicação de carregamentos distribuídos sobre o 2º piso.

Por questão de simplicidade e também porque a análise do comportamento das reescoras verticais e inclinadas é feita de forma comparativa, optou-se por aplicar, para cada pavimento simulado, carregamento total igual ao determinado para o escoramento do 1º piso na ocasião de sua concretagem, ou seja, 4984,1daN, conforme descrito no item 5.5.

O carregamento, constituído de sacos de areia de 30kg cada, foi aplicado de forma uniformemente distribuído sobre o piso, em 3 etapas, cada uma com carga de igual intensidade.

3.6 Determinação de características mecânicas do concreto

Foram determinados através de ensaios, para efeito de controle e referência, os seguintes parâmetros do concreto empregado na moldagem do 1º piso, quanto à resistência e deformabilidade, em idades reduzidas:

- resistência do concreto à compressão (f_c) nas idades de 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 14, 21 e 28 dias, segundo a normas NBR 5738 (2003) (moldagem de corpos-de-prova) e NBR 5739 (1994) (ensaio de compressão) .
- módulo de elasticidade (E_c), nas idades de 2, 7, 14, 21 e 28 dias, segundo a norma NBR 8522 (2003).

Foram tomados dois corpos-de-prova para cada determinação acima referida.

3.7 Inspeções visuais programadas

Para todas as etapas da construção da estrutura foram programadas inspeções visuais, a olho nu, visando detectar fissuras ou outros danos no concreto ou nos elementos, dispositivos, apoios e ligações do sistema de escoramento.

4 RESULTADOS DOS ENSAIOS E DO MONITORAMENTO

Os resultados obtidos nos ensaios e no monitoramento, realizados conforme descrito no Capítulo 3, estão apresentados a seguir.

4.1 Ensaios de calibração das escoras instrumentadas

Os dados obtidos nos ensaios de calibração em compressão axial e as correspondentes curvas “carga x deformação” estão apresentados nos Gráficos 10 a 14 do Anexo B.

Nesses gráficos, pode-se observar que o comportamento das escoras até a carga máxima aplicada nos ensaios (1512 daN), quanto à relação carga x deformação, é linear.

As constantes de calibração, determinadas como coeficientes angulares das retas interpoladas aos dados de ensaio, através do método dos mínimos quadrados, estão relacionadas na Tabela 8 do Anexo B. Através dessas constantes é possível determinar as cargas de compressão transmitidas às escoras.

4.2 Ensaios de caracterização mecânica do concreto

Os resultados obtidos de resistência e módulo de elasticidade do concreto, referentes a várias idades, encontram-se relacionados na Tabela 9 do Anexo B e ilustrados nos Gráficos 8 e 9 / Anexo B.

4.3 Determinação de esforços nas escoras

Utilizando as constantes de calibração determinadas nos ensaios de compressão axial (Anexo B / Tabela 8), foram calculados para cada etapa do monitoramento os esforços normais transmitidos às escoras e às reescoras.

Durante todo o período de monitoramento da estrutura, os desvios das leituras de zero da “escora padrão” foram desprezíveis, menor que $20 \mu\epsilon$, sendo por isso desprezados.

As leituras da instrumentação das escoras ou das reescoras, durante todo o período de monitoramento, estão apresentadas na Tabela 2 do Anexo B. Os esforços de compressão transmitidos às escoras estão relacionados na Tabela 3 do

Anexo B. Os gráficos correspondentes estão apresentados no Anexo B, conforme descrito a seguir.

Nota: Convenção de sinais para esforços nas escoras e reescoras: sinal positivo indica compressão e negativo tração.

Região azul (escoramento do 1º piso):

- Gráfico 1.1 – Esforços no escoramento do 1º piso
- Gráfico 1.2 – Esforços no escoramento da viga A (maior vão) do 1º piso
- Gráfico 1.3 – Esforços no escoramento da viga B (menor vão) do 1º piso
- Gráfico 1.4 – Esforços no escoramento da viga C (maior vão) do 1º piso
- Gráfico 1.5 – Esforços no escoramento da viga D (menor vão) do 1º piso
- Gráfico 1.6 – Esforços no escoramento da laje do 1º piso

Região amarela (escoramento residual do 1º piso):

- Gráfico 2.1 – Esforços no escoramento residual do 1º piso
- Gráfico 2.2 – Esforços no escoramento residual das vigas maior vão do 1º piso
- Gráfico 2.3 – Esforços no escoramento residual das vigas menor vão do 1º piso
- Gráfico 2.4 – Esforços no escoramento residual da laje do 1º piso

Região verde (escoramento do 2º piso)

- Gráfico 3.1 – Esforços no escoramento do 2º piso
- Gráfico 3.2 – Esforços no escoramento das vigas de maior vão do 2º piso
- Gráfico 3.3 – Esforços no escoramento das vigas de menor vão do 2º piso
- Gráfico 3.4 – Esforços no escoramento da laje do 2º piso

Região laranja (escoramento residual do 2º piso):

- Gráfico 4.1 – Esforços no escoramento residual do 2º piso
- Gráfico 4.2 – Esforços no escoramento residual das vigas de maior vão do 2º piso
- Gráfico 4.3 – Esforços no escoramento residual das vigas de menor vão do 2º piso

- Gráfico 4.4 – Esforços no escoramento residual da laje do 2º piso

As regiões denominadas “azul, amarela, verde e laranja”, acima referidas, correspondem às fases de escoramento e escoramento residual do 1º piso e escoramento e escoramento residual do 2º piso, respectivamente e foram adotadas para efeito de facilidade de visualização dessas fases nas Tabelas 2 e 3, onde essas cores foram correspondentemente reproduzidas.

4.4 Medidas de deslocamentos verticais durante a construção

Os deslocamentos verticais do 1º piso e do 2º piso foram medidos tomando-se como referência, respectivamente, as situações “logo após a concretagem do 1º piso” (os defletômetros, nesse caso somente foram instalados após a concretagem) e “imediatamente antes da concretagem do 2º piso”.

Em cada etapa do monitoramento foram descontadas as variações medidas pelo “defletômetro de controle”, conforme referido no item 3.3.

Nota: Convenção de sinais para os deslocamentos: sinal negativo indica abaixamento da estrutura e positivo, elevação.

As leituras dos defletômetros, ao longo de todo o monitoramento, estão apresentadas na Tabela 4 do Anexo B.

Os deslocamentos verticais calculados estão relacionados na Tabela 5 do Anexo B. Os gráficos correspondentes estão apresentados da seguinte maneira no Anexo B:

- Gráfico 5.1 – Deslocamentos do 1º e 2º pisos
- Gráfico 5.2 – Deslocamentos do 1º piso
- Gráfico 5.3 – Deslocamentos do 2º piso
- Gráfico 5.4 – Deslocamentos das vigas de maior vão do 1º e 2º pisos
- Gráfico 5.5 – Deslocamentos das vigas de menor vão do 1º e 2º pisos
- Gráfico 5.6 – Deslocamentos das lajes do 1º e 2º pisos
- Gráfico 6.1 – Deslocamentos do 1º e 2º pisos (eliminando deslocamento do 2º piso devido à concretagem desse piso)

- Gráfico 6.2 – Deslocamentos do 1º piso (eliminando deslocamento do 2º piso devido à concretagem desse piso)
- Gráfico 6.3 – Deslocamentos do 2º piso (eliminando deslocamento do 2º piso devido à concretagem desse piso)
- Gráfico 6.4 – Deslocamentos das vigas de maior vão do 1º e 2º piso (eliminando deslocamento do 2º piso devido à concretagem desse piso)
- Gráfico 6.5 – Deslocamentos das vigas de menor vão do 1º e 2º pisos (eliminando deslocamento do 2º piso devido à concretagem desse piso)
- Gráfico 6.6 – Deslocamentos das lajes do 1º e 2º pisos (eliminando deslocamento do 2º piso devido à concretagem desse piso).

4.5 Medidas de flechas instaladas na estrutura

Foram medidas as flechas instaladas nas vigas e lajes da estrutura, após o término do monitoramento, com a estrutura descarregada, tomando como referência o plano que contém os apoios dos referidos elementos. Essas flechas, bem como a correspondente relação “vão / flecha” (considerando, em cada caso, o vão entre os apoios do elemento), estão apresentadas no quadro abaixo.

Quadro 1 – Flechas instaladas em elementos da estrutura, relativas a seus apoios

Relações “vão L(mm) / |flecha(mm)|”

Piso	Viga de maior vão		Viga de menor vão		Laje	
	A	C	B	D	Direção do lado maior	Direção do lado menor
	Reesc. vert.	Reesc. incl.	Reesc. incl.	Reesc. vert.		
1º	15,0	10,0	5,0	4,5	-18,4	-22,8
	L/317	L/475	L/610	L/678	L/258	L/134
2º	10,8	5,5	12,4	9,6	-10,9	-3,9
	L/440	L/864	L/246	L/318	L/436	L/782

Flechas em mm

Vãos teóricos (Figura 2 / Anexo B) – Vigas A, C: L=4,75m; Vigas B, D: L=3,05m.

Deslocamento positivo indica elevação e negativo, abaixamento.

4.6 Resultado das inspeções visuais

Nas inspeções visuais realizadas a olho nu durante todas as etapas de construção da estrutura, e mesmo posteriormente à cura do concreto, não foram observadas fissuras, mesmo capilares (com abertura menor que 0,1mm), nem outros danos localizados no concreto.

Durante a tentativa inicial de instalação das escoras inclinadas, pela dificuldade de fixação, os apoios originalmente projetados (esperas de barras de aço) foram trocados por apoios de madeira. Esses apoios, logo em seguida, foram confinados no interior de pequenos blocos de graute, aderidos à estrutura, por questões de maior segurança.

5 ANÁLISE DOS DADOS OBTIDOS

5.1 Características mecânicas do concreto

A partir da Tabela 9, apresentada no Anexo B, também referida no item 4.2, obtém-se o seguinte:

Quadro 2- Características mecânicas do concreto

Idade (dias)	Resistência f_c (MPa)	% em relação a 20,0 MPa	% em relação a 28 dias	Módulo de elasticidade E_c (MPa)	% em relação a 28 dias
2 (*)	11,1	55,5	37,6	19851	73,7
7 (**)	20,3	101,5	68,6	22927	85,1
28	29,6	148,0	100,0	26935	100,0

Resistência estabelecida em projeto: 20,0 MPa.

(*) Retirada das escoras e implantação das reescoras.

(**) Idade do pavimento na ocasião da concretagem do pavimento imediatamente superior.

Verifica-se nos dados acima que na idade de 2 dias, ocasião da retirada da escoras e implantação das reescoras, já se nota significativo aumento da resistência (55,5% em relação à resistência especificada em projeto ou 37,6% em relação à resistência aos 28 dias) e do módulo de elasticidade (73,7% em relação ao módulo aos 28 dias). Na idade de 7 dias, ocasião da concretagem do pavimento seguinte, esses valores já são bastante elevados (resistência: 101,5% da resistência especificada em projeto ou 68,6% da resistência aos 28 dias; módulo de elasticidade igual a 85,1% do valor aos 28 dias).

Apesar dos acréscimos da resistência e do módulo de elasticidade serem significativos já nas idades iniciais, deve-se notar que as solicitações aplicadas ao concreto jovem provocarão um aumento considerável das deformações imediata e lenta (no tempo infinito), em vista da ocorrência da fissuração e da perda de rigidez, ou seja, as deformações desenvolvidas dependem do histórico do carregamento aplicado à estrutura, desde o início de sua vida (NBR 6118 (1980), item 14.2.1; ALMEIDA PRADO, 1999 ; SBAROUNIS, 1984). Da mesma maneira, Ruiz e Dutari (1992), mostraram que quanto mais tarde se realizar a transferência de esforços

para a estrutura (portanto, para menor velocidade de construção), mais reduzidas serão as deformações instantânea e lenta.

5.2 Deslocamentos verticais desenvolvidos durante a construção

Os dados referidos na análise apresentada neste item foram extraídos do Anexo B, das Tabelas 5 e 6, os quais estão também representados nos Gráficos 5.1 a 5.6 e 6.1 a 6.6. A notação empregada das variáveis está de acordo com a constante nas Figuras 1 a 6 do Anexo B.

5.2.1 Deslocamentos instantâneos na concretagem do 1º e do 2º piso

Os deslocamentos instantâneos provocados em cada um dos pisos, devido à concretagem do próprio piso, apesar de representar apenas movimentação das fôrmas, sem introdução de solicitações na massa do concreto fresco, serão considerados em algumas análises que tratem das flechas totais instaladas na estrutura. Note-se que como o deslocamento instantâneo não foi medido para o 1º piso, quando necessário, será tomado como estimativa, o deslocamento instantâneo correspondente do 2º piso.

5.2.2 Incrementos de deslocamento nas várias fases do monitoramento

Neste item são apresentados os incrementos de deslocamento da estrutura, nas fases mais relevantes do monitoramento relacionadas no quadro a seguir. Além disso, são também indicados, como referência, os deslocamentos absolutos acumulados desde o início do monitoramento até a etapa final da fase considerada. Esses incrementos referidos estão resumidos na Tabela 7 e mostrados no Gráfico 7.1 a 7.3 do Anexo B. São feitos comentários sobre as ocorrências relevantes nas diversas fases.

Não se consideram neste item os deslocamentos instantâneos no piso (1º ou 2º piso), causados pela concretagem do próprio piso.

Quadro 3- Fases analisadas do monitoramento de deslocamento

Fases analisadas	Idade do concreto (*) (dias)		Situação		
	1º Piso	2º Piso	1º Piso	2º Piso	Carregamento
(1) Etapas 3 a 14: 1º piso escorado	0 - 2	-	Escorado / Concretagem	-	-
(2) Etapas 14 a 17: reescoramento do 1º piso	2 - 2	-	Reescorado	-	-
(3) Etapas 17 a 35: 1º piso reescorado	2 - 7	-	Reescorado	-	-
(4) Etapas 35 a 36: concretagem do 2º piso	7 - 7	0 - 0	Reescorado	Escorado / Concretagem	-
(5) Etapas 36 a 44: 1º piso reesc. e 2º piso escorado	7 - 9	0 - 2	Reescoradp	Escorado	-
(6) Etapas 44 a 47: reescoramento do 2º piso	9 - 9	2 - 2	Reescorado	Reescorado	-
(7) Etapas 47 a 56: 1º e 2º pisos reescorados	9 - 14	2 - 7	Reescorado	Reescorado	-
(8) Etapas 56 a 59: carga do "3º piso"	14 - 14	7 - 7	Reescorado	Reescorado	Simulação carregamento 3º piso
(9) Etapas 59 a 68: sob carga do "3º piso"	14 - 16	7 - 9	Reescorado	Reescorado	Simulação carregamento 3º piso
(10) Etapas 68 a 69: retirada do reesc. 1º piso	16 - 16	9 - 9	Livre	Reescorado	3º piso carregado (simulação)
(11) Etapas 69 a 77: sob carga do "3º piso"	16 - 21	9 - 14	Livre	Reescorado	3º piso carregado (simulação)
(12) Etapas 77 a 80: carga do "4º piso"	21 - 21	14 - 14	Livre	Reescorado	Simulação carregamento 4º piso
(13) Etapas 80 a 99: sob carga do "3º e 4º piso"	21 - 29	14 - 22	Livre	Reescorado	Carregamento 3º e 4º piso (simulação)
(14) Etapas 99 a 102: descarregamento 2º piso	29 - 29	22 - 22	Livre	Reescorado	Descarregamento 3º e 4º piso
(15) Etapas 102 a 107: estrutura descarregada	29 - 30	22 - 23	Livre	Reescorado	-
(16) Etapas 107 a 108: retirada do reesc. 2º piso	30 - 30	23 - 23	Livre	Livre	-
(17) Etapas 108 a 113: estrutura descarregada	30 - 32	23 - 25	Livre	Livre	-

(*) No quadro, a notação "m - n" indica idade do concreto: "m" dias na etapa inicial e "n" dias na etapa final da fase considerada.

FASE 1) 1º piso escorado (etapas 3 a 14)

Situação:

- 1º piso: escorado; idade do concreto (etapa 3: 0 dia; etapa 14: 2 dias)
- 2º piso: inexistente
- Carregamento no 2º piso:

Quadro 4 – Resultados obtidos no monitoramento (Fase1)

Piso	1º					2º				
	(Laje|v)	(A|v)	(B|v)	(C|v)	(D|v)	-	-	-	-	-
Deslocamento (mm)	D1	D2	D3	D4	D5	-	-	-	-	-
Varição no período analisado (Etapas 3 a 14)	-0,91	0,51	0,07	0,39	0,28	-	-	-	-	-
Acumulado (zero inicial até a Etapa 14)	-0,91	0,51	0,07	0,39	0,28	-	-	-	-	-

(*) Nota: ...|v indica emprego de escoramento vertical.

.../v ou .../i, indica emprego de reescoramento vertical ou inclinado, respectivamente.

Ausência dos símbolos acima indica elemento estrutural livre, sem escoras ou reescoras.

A, C e B, D referem-se às vigas A, C (maior vão) e B, D (menor vão), respectivamente – ver Anexo A / Figura 2

Deslocamentos entre as etapas 3 e 14:

- 1º piso
 - Vigas de menor vão/escorado { B: 0,07m e D: 0,28mm.
 - Vigas de maior vão/escorado { A: 0,51mm e C: 0,39mm.
 - Laje/escorada { -0,91mm.

Comentários:

- 1º piso
 - Vigas de menor vão B e D: Ocorrência pequena elevação, de forma contínua, nos primeiros dias após a concretagem, fato que pode ser atribuído à cura do concreto. Em seguida, os deslocamentos permaneceram praticamente inalterados – Gráfico 6.5

- Vigas de maior vão A e C: Ocorrência de pequena elevação no período, de forma análoga ao verificado para as vigas de menor vão – Gráfico 6.4
- Laje: Ocorrência de abaixamento contínuo–Gráfico 6.6. Os deslocamentos da laje foram significativos (-0,91mm) e com evolução contínua no período. Os efeitos de cura do concreto (elevação) foram provavelmente suplantados pelo abaixamento devido aos efeitos do peso próprio do concreto.

FASE 2) Implantação do reescoramento do 1º piso (etapas 14 a 17)

Situação:

- 1º piso: reescoramento; idade do concreto (etapas 15 e 17: 2 dias)
- 2º piso: inexistente
- Carregamento no 2º piso

Quadro 5 – Resultados obtidos no monitoramento (Fase 2)

Piso	1º					2º				
	(Laje/i)	(A/v)	(B/i)	(C/i)	(D/v)	-	-	-	-	-
Elemento (*)	(Laje/i)	(A/v)	(B/i)	(C/i)	(D/v)	-	-	-	-	-
Deslocamento (mm)	D1	D2	D3	D4	D5	-	-	-	-	-
Varição no período analisado (Etapas 14 a 17)	0,11	0,51	-0,12	0,18	0,16	-	-	-	-	-
Acumulado (zero inicial até a Etapa 17)	-0,80	1,02	-0,05	0,57	0,44	-	-	-	-	-

(*) Nota: .../v indica emprego de escoramento vertical.
 .../v ou .../i, indica emprego de reescoramento vertical ou inclinado, respectivamente.
 Ausência dos símbolos acima indica elemento estrutural livre, sem escoras ou reescoras.
 A, C e B, D referem-se às vigas A, C (maior vão) e B, D (menor vão), respectivamente – ver Anexo A / Figura 2

Deslocamentos entre as etapas 14 e 17:

- 1º piso
 - Vigas de menor vão { B/reescora inclinada: -0,12m e D/reescora vertical: 0,16mm
 - Vigas de maior vão { A/reescora vertical: 0,51mm e C/reescora inclinada: 0,18mm.

- Laje/reescora inclinada { 0,11mm.

Comentários:

- 1º piso
- A implantação do escoramento residual do 1º piso ocorreu fazendo-se a transferência dos esforços de compressão das escoras instaladas para as reescoras através do emprego de escoramento auxiliar (escoramento auxiliar empregado apenas com a finalidade de liberar algumas escoras instrumentadas, a serem instaladas em outras posições). A transferência foi realizada de forma gradual, controlando-se a variação dos esforços através do monitoramento das reescoras instrumentadas, a fim evitar sobrecarga excessiva em algumas barras, com variação excessiva de deslocamento nas vigas e na laje.
- Vigas de menor vão: Pouca alteração de deslocamentos. Note-se que a viga de menor vão B do 1º piso (D3) abaixou cerca de 0,5mm na retirada do escoramento e que esse valor foi praticamente recuperado na implantação do escoramento residual – Gráfico 6.5.
- Vigas de maior vão: Ocorrência de pequena elevação – Gráfico 6.4.
- Laje: Praticamente sem alteração de deslocamento – Gráfico 6.6.

FASE 3) 1º piso reescorado (etapas 17 a 35)

Situação:

- 1º piso: reescorado; idade do concreto (etapa 17: 2 dias; etapa 35: 7 dias)
- 2º piso: inexistente
- Carregamento no 2º piso

Quadro 6 – Resultados obtidos no monitoramento (Fase 3)

Piso	1º					2º				
	(Laje/i)	(A/v)	(B/i)	(C/i)	(D/v)	-	-	-	-	-
Deslocamento (mm)	D1	D2	D3	D4	D5	-	-	-	-	-
Varição no período analisado (Etapas 17 a 35)	-0,99	-0,82	-0,21	-1,34	-0,23	-	-	-	-	-
Acumulado (zero inicial até a Etapa 35)	-1,79	0,20	-0,26	-0,77	0,21	-	-	-	-	-

(*) Nota: .../v indica emprego de escoramento vertical.
 .../v ou .../i, indica emprego de esc. res. vertical ou inclinado, respectivamente.
 Ausência dos símbolos acima indica elemento estrutural livre, sem escoras ou reescoras.
 A, C e B, D referem-se às vigas A, C (maior vão) e B, D (menor vão), respectivamente – ver Anexo A / Figura 2

Deslocamentos entre as etapas 17 e 35:

- 1º piso
 - Vigas de menor vão { B/reescora inclinada: -0,21m e D/reescora vertical: -0,23mm.
 - Vigas de maior vão { A/reescora vertical: -0,82mm e C/reescora inclinada: -1,34mm.
 - Laje/reescora inclinada { -0,99mm.

Comentários:

- 1º piso
 - Vigas de menor vão B e D: Incrementos semelhantes para o reescoramento vertical (-0,23mm) e inclinado (-0,21mm) – Gráfico 6.5.
 - Vigas de maior vão A e C: Ocorrência de abaixamento maior para o reescoramento inclinado (-1,34mm) que para o reescoramento vertical (-0,82mm) – Gráfico 6.4; note-se que, como neste caso as reescoras estão apoiadas em piso indeformável, os deslocamentos medidos são decorrentes apenas das deformações dos sistemas de reescoramento empregados; portanto, a comparação entre os dois tipos de reescoramento é direta, ou seja, o vertical bloqueia mais o aparecimento de flechas que o inclinado.

- Laje: Incremento de -0,99mm, com progressão de deslocamento, de forma semelhante ao ocorrido no período anterior, com a estrutura escorada – Gráfico 6.6.

FASE 4) Concretagem do 2º piso (1º piso: etapas 35 a 36)

Situação:

- 1º piso: reescorado; idade do concreto (etapas 35 e 36: 7 dias)
- 2º piso: escorado
- Carregamento no 2º piso: não há

Quadro 7 – Resultados obtidos no monitoramento (Fase 4)

Piso	1º					2º				
	(Laje|i)	(A|v)	(B|i)	(C|i)	(D|v)	(Laje|v)	(A|v)	(B|v)	(C|v)	(D|v)
Deslocamento (mm)	D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7	D8	D9	D10
Varição no período analisado (Etapas 35 a 36)	-0,69	-0,15	-0,02	-0,28	0,00	-	-	-	-	-
Acumulado (zero inicial até a Etapa 36)	-2,48	0,05	-0,28	-1,05	0,21	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

(*) Nota: ...|v indica emprego de escoramento vertical.
 ...|v ou ...|i, indica emprego de reescoramento vertical ou inclinado, respectivamente.
 Ausência dos símbolos acima indica elemento estrutural livre, sem escoras ou reescoras.
 A, C e B, D referem-se às vigas A, C (maior vão) e B, D (menor vão), respectivamente – ver Anexo A / Figura 2

Deslocamentos entre as etapas 35 e 36:

- 1º piso
 - Vigas de menor vão { B/reescora inclinada: -0,02m e D/reescora vertical: 0,00mm.
 - Vigas de maior vão { A/reescora vertical: -0,15mm e C/reescora inclinada : -0,28mm.
 - Laje/reescora inclinada { -0,69mm.

Comentários:

- 1º piso

- Vigas de menor vão B e D : Incrementos desprezíveis – Gráfico 6.5.
- Vigas de maior vão A e C : Deslocamentos instantâneos pequenos, de qualquer forma maior para o reescoramento inclinado (-0,28mm) que para o vertical
- (-0,15mm) – Gráfico 6.4.
- Laje: Ocorrência de deslocamento instantâneo considerável (-0,69mm) – Gráfico 6.6.

FASE 5) 1º reescorado e 2º piso escorado (etapas 36 a 44)

Situação:

- 1º piso: reescorado; idade do concreto (etapa 36: 7 dias; etapa 44: 9 dias)
- 2º piso: escorado; idade do concreto (etapa 36: 0 dias; etapa 44: 2 dias)
- Carregamento no 2º piso: não há

Quadro 8 – Resultados obtidos no monitoramento (Fase 5)

Piso	1º					2º				
	Laje|i	A|v	B|i	C|i	D|v	Laje|v	A|v	B|v	C|v	D|v
Elemento (*)	D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7	D8	D9	D10
Deslocamento (mm)										
Varição no período analisado (Etapas 36 a 44)	-0,46	-0,07	-0,08	-0,22	0,00	-0,71	0,14	0,04	0,03	0,09
Acumulado (zero inicial até a Etapa 44)	-2,94	-0,02	-0,36	-1,27	0,21	-0,71	0,14	0,04	0,03	0,09

(*) Nota: ... |v indica emprego de escoramento vertical.

...|v ou ...|i, indica emprego de reescoramento vertical ou inclinado, respectivamente.

Ausência dos símbolos acima indica elemento estrutural livre, sem escoras ou reescoras.

A, C e B, D referem-se às vigas A, C (maior vão) e B, D (menor vão), respectivamente – ver Anexo A / Figura 2

Deslocamentos entre as etapas 36 e 44:

- 1º piso
 - Vigas de menor vão { B/reescora inclinada: -0,08m e D/reescora vertical: 0,00mm.
 - Vigas de maior vão { A/reescora vertical: -0,07mm e C/reescora inclinada: 0,22mm.

- Laje/reescora inclinada { -0,46mm.
- 2º piso
- Vigas de menor vão/escorado { B: 0,04mm; D: 0,09mm.
- Vigas de maior vão/escorado { A: 0,14mm; C: 0,03mm.
- Laje/escorada { -0,71mm.

Comentários:

- 1º piso
- Vigas de menor vão B e D: Incrementos desprezíveis – Gráfico 6.5.
- Vigas de maior vão A e C: Pequenos incrementos; maior para o reescoramento inclinado (-0,22mm) que para o reescoramento vertical (-0,07mm) – Gráfico 6.4.
- Laje: Incremento de -0,46mm, com progressão de deslocamento de forma semelhante ao constatado desde o início do monitoramento – Gráfico 6.6.
- 2º piso
- Vigas de menor vão B e D: Incrementos desprezíveis – Gráfico 6.5. Da mesma forma como foi observado para o 1º piso (Fase 1 / etapas 3 a 14), ocorreu pequena elevação nos dias iniciais após a concretagem, devido à retração.
- Vigas de maior vão A e C: Incrementos desprezíveis – Gráfico 6.4. É válida a mesma observação feita para as vigas de menor.
- Laje: Incremento considerável de -0,71mm, com progressão de deslocamento – Gráfico 6.6. Da mesma forma como foi observado para o 1º piso (Fase 1 / etapas 3 a 14), os efeitos da cura do concreto (elevação) foram provavelmente suplantados pelo abaixamento devido aos efeitos do peso próprio do concreto.

FASE 6) Implantação do reescoramento do 2º piso (etapas 44 a 47)

Situação:

- 1º piso: reescorado; idade do concreto (etapas 44 a 47: 9 dias)
- 2º piso: reescoramento; idade do concreto (etapas 44 a 47: 2 dias)
- Carregamento no 2º piso: não há

Quadro 9 – Resultados obtidos no monitoramento (Fase 6)

Piso	1º					2º				
	Elemento (*)	Laje/i	A/v	B/i	C/i	D/v	Laje/i	A/v	B/i	C/i
Deslocamento (mm)	D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7	D8	D9	D10
Varição no período analisado (Etapas 44 a 47)	0,62	-0,05	-0,01	0,30	-0,18	-0,15	0,08	0,02	0,20	0,02
Acumulado (zero inicial até a Etapa 47)	-2,32	-0,07	-0,37	-0,97	0,03	-0,86	0,22	0,06	0,23	0,11

(*) Nota: ..|v indica emprego de escoramento vertical.
 .../v ou .../i, indica emprego de reescoramento vertical ou inclinado, respectivamente.
 Ausência dos símbolos acima indica elemento estrutural livre, sem escoras ou reescoras.
 A, C e B, D referem-se às vigas A, C (maior vão) e B, D (menor vão), respectivamente – ver Anexo A / Figura 2

Deslocamentos entre as etapas 44 e 47:

- 1º piso
 - Vigas de menor vão {B/reescora inclinada: -0,01mm e D/reescora vertical: -0,18mm.
 - Vigas de maior vão { A/reescora vertical: -0,05mm e C/reescora inclinada: 0,30mm.
 - Laje/reescora inclinada { 0,62mm.
- 2º piso
 - Vigas de menor vão { B/reescora inclinada: 0,02mm; D/reescora vertical: 0,02mm.
 - Vigas de maior vão { A/reescora vertical: 0,08mm; C/reescora inclinada: 0,20mm.
 - Laje/reescora inclinada { -0,15mm.

Comentários:

- 1º piso
 - Vigas de menor vão B e D: Incrementos pequenos – Gráfico 6.5: menor abaixamento para o reescoramento inclinado que para o reescoramento vertical, indicando que o reescoramento inclinado da viga do 2º piso produziu maior alívio de carga na viga suporte do piso inferior.
 - Vigas de maior vão A e C: Incrementos pequenos – Gráfico 6.4; o reescoramento vertical e o inclinado das vigas do 2º piso produziram abaixamento (-0,05mm) e elevação (0,30mm), respectivamente, nas vigas correspondentes do 1º piso, indicando que o reescoramento inclinado produziu alívio de carga na viga suporte do piso inferior, da mesma forma como ocorreu para as vigas de menor vão.
 - Laje: Elevação de 0,62mm, correspondente ao alívio de cargas provenientes da substituição do escoramento vertical pelo reescoramento inclinado da laje do 2º piso. – Gráfico 6.6.
- 2º piso
 - Vigas de menor vão: Incrementos desprezíveis – Gráfico 6.5.
 - Vigas de maior vão: Pequenos incrementos – Gráfico 6.4.
 - Laje: Pequeno incremento – Gráfico 6.6.

FASE 7) 1º e 2º pisos reescorados (etapas 47 a 56)**Situação:**

- 1º piso: reescorado; idade do concreto (etapa 47: 9 dia; etapa 56: 14 dias)
- 2º piso: reescorado; idade do concreto (etapa 47: 2 dia; etapa 56: 7 dias)
- Carregamento no 2º piso: não há

Quadro 10 – Resultados obtidos no monitoramento (Fase 7)

Piso	1º					2º				
	Laje/i	A/v	B/i	C/i	D/v	Laje/i	A/v	B/i	C/i	D/v
Elemento (*)	D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7	D8	D9	D10
Deslocamento (mm)	D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7	D8	D9	D10
Varição no período analisado (Etapas 47 a 56)	0,13	0,00	0,05	0,15	0,00	-0,48	-0,01	-0,20	-0,58	-0,22
Acumulado (zero inicial até a Etapa 56)	-2,19	-0,07	-0,32	-0,82	0,03	-1,34	0,21	-0,14	-0,35	-0,11

(*) Nota: ... |v indica emprego de escoramento vertical.
 ..v ou .../i, indica emprego de reescoramento vertical ou inclinado, respectivamente.
 Ausência dos símbolos acima indica elemento estrutural livre, sem escoras ou reescoras.
 A, C e B, D referem-se às vigas A, C (maior vão) e B, D (menor vão), respectivamente – ver Anexo A / Figura 2

Deslocamentos entre as etapas 47 e 56:

- 1º piso
 - Vigas de menor vão { B/reescora inclinada: 0,05mm e D/reescora vertical: 0,00mm.
 - Vigas de maior vão { A/reescora vertical: 0,00mm e C/reescora inclinada: 0,15mm.
 - Laje/ reescora inclinada { 0,13mm.
- 2º piso
 - Vigas de menor vão { B/reescora inclinada: -0,20mm; D/reescora vertical: -0,22mm.
 - Vigas de maior vão { A/reescora vertical: -0,01mm; C/reescora inclinada: -0,58mm.
 - Laje reescora inclinada { -0,48mm.

Comentários

- 1º piso
 - Vigas de menor vão B e D: Incrementos desprezíveis – Gráfico 6.5.

- Vigas de maior vão A e C: Incrementos desprezíveis – Gráfico 6.4.
- Laje: Incremento desprezível. A implantação do reescoramento inclinado no 2º piso, interrompeu a progressão do deslocamento em desenvolvimento desde o início do monitoramento – Gráfico 6.6.
- 2º piso
 - Vigas de menor vão B e D: Incrementos pequenos e semelhantes para o reescoramento vertical (-0,22mm) e inclinado (-0,20mm) – Gráfico 6.5.
 - Vigas de maior vão A e C: Ocorrência de maior abaixamento para o reescoramento inclinado (-0,58mm) que para o reescoramento vertical (-0,01mm), indicando que o reescoramento inclinado bloqueia menos a formação de flechas que o escoramento vertical – Gráfico 6.4.
 - Laje: Incremento de -0,48mm, com progressão de deslocamento em continuidade à variação constatada desde o início do monitoramento – Gráfico 6.6.

FASE 8) Aplicação da carga do “3º piso” (etapas 56 a 59)

Situação:

- 1º piso: reescorado; idade do concreto (etapas 56 e 59: 14 dias)
- 2º piso: reescorado; idade do concreto (etapas 56 e 59: 7 dias)
- Carregamento no 2º piso: simulação da carga do “3º piso”

Quadro 11 – Resultados obtidos no monitoramento (Fase 8)

Piso	1º					2º				
	Laje/i	A/v	B/i	C/i	D/v	Laje/i	A/v	B/i	C/i	D/v
Elemento (*)										
Deslocamento (mm)	D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7	D8	D9	D10
Varição no período analisado (Etapas 59 a 56)	-0,19	-0,10	-0,09	-0,11	0,00	-1,17	-0,38	-0,12	-0,43	-0,10
Acumulado (zero inicial até a Etapa 59)	-2,38	-0,17	-0,41	-0,93	0,03	-2,51	-0,17	-0,26	-0,78	-0,21

(*) Nota: ...|v indica emprego de escoramento vertical.

.../v ou .../i, indica emprego de reescoramento vertical ou inclinado, respectivamente.

Ausência dos símbolos acima indica elemento estrutural livre, sem escoras ou reescoras.

A, C e B, D referem-se às vigas A, C (maior vão) e B, D (menor vão), respectivamente – ver Anexo A / Figura 2

Deslocamentos entre as etapas 56 e 59:

- 1º piso
 - Vigas de menor vão { B/reescora inclinada: -0,09mm e D/reescora vertical: 0,00mm.
 - Vigas de maior vão { A/reescora vertical: -0,10mm e C/reescora inclinada: -0,11mm.
 - Laje/ reescora inclinada { -0,19mm.
- 2º piso
 - Vigas de menor vão { B/reescora inclinada: -0,12mm; D/reescora vertical: -0,10mm.
 - Vigas de maior vão { A/reescora vertical: -0,38mm; C/reescora inclinada: -0,43mm.
 - Laje reescora inclinada { -1,17mm.

Comentários

- 1º piso
 - Vigas de menor vão B e D: Incrementos desprezíveis – Gráfico 6.5.
 - Vigas de maior vão A e C: Incrementos desprezíveis – Gráfico 6.4.
 - Laje: Incrementos desprezíveis; note-se que não havia cargas aplicadas diretamente sobre a laje – Gráfico 6.6.
- 2º piso
 - Vigas de menor vão B e D: Incrementos desprezíveis, não havendo praticamente diferença para os reescoramentos vertical (-0,12mm) e inclinado (-0,10mm) – Gráfico 6.5.
 - Vigas de maior vão A e C: Incrementos semelhantes, pequenos mas não desprezíveis, para os reescoramentos vertical (-0,38mm) e inclinado (-0,43mm) – Gráfico 6.4.

- Laje: Deslocamento instantâneo de -1,17mm (L/2607), com resposta “linear” considerando as 3 etapas de carregamento; deslocamento considerado elevado, levando-se em conta que o 1º e o 2º piso estavam reescorados – Gráfico 6.6.

FASE 9) Sob carregamento do “3º piso” (etapas 59 a 68)

Situação:

- 1º piso: reescorado; idade do concreto (etapa 59: 14 dias, etapa 68: 16 dias)
- 2º piso: reescorado; idade do concreto (etapa 59: 7 dias, etapa 68: 9 dias)
- Carregamento no 2º piso: simulação da carga do 3º piso

Quadro 12 – Resultados obtidos no monitoramento (Fase 9)

Piso	1º					2º				
	Laje/i	A/v	B/i	C/i	D/v	Laje/i	A/v	B/i	C/i	D/v
Elemento (*)										
Deslocamento (mm)	D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7	D8	D9	D10
Varição no período analisado (Etapas 59 a 68)	-0,25	-0,23	-0,08	-0,21	-0,09	-0,36	-0,36	-0,12	-0,42	-0,50
Acumulado (zero inicial até a Etapa 68)	-2,63	-0,40	-0,49	-1,14	-0,06	-2,87	-0,53	-0,38	-1,20	-0,71

(*) Nota: .../v indica emprego de escoramento vertical.

.../v ou .../i, indica emprego de reescoramento vertical ou inclinado, respectivamente.

Ausência dos símbolos acima indica elemento estrutural livre, sem escoras ou reescoras.

A, C e B, D referem-se às vigas A, C (maior vão) e B, D (menor vão), respectivamente – ver Anexo A / Figura 2

Deslocamentos entre as etapas 59 e 68:

- 1º piso
 - Vigas de menor vão { B /reescora inclinada: -0,08mm e D/reescora vertical: -0,09mm.
 - Vigas de maior vão { A/reescora vertical: -0,23mm e C/reescora inclinada: -0,21mm.
 - Laje/reescora inclinada: -0,25mm.
- 2º piso

- Vigas de menor vão { B/reescora inclinada: -0,12mm; D/reescora vertical: -0,50mm.
- Vigas de maior vão { A/reescora vertical: -0,36mm; C/reescora inclinada: -0,42mm.
- Laje/reescora inclinada { -0,36mm.

Comentários:

- 1º piso
 - Vigas de menor vão B e D: Incrementos desprezíveis – Gráfico 6.5.
 - Vigas de maior vão A e C: Incrementos pequenos, semelhantes para os reescoramentos vertical (-0,23mm) e inclinado (-0,21mm). – Gráfico 6.4.
 - Laje: Incremento pequeno; note-se que não havia cargas aplicadas diretamente sobre o painel de laje do 1º piso – Gráfico 6.6.
- 2º piso
 - Vigas de menor vão B e D: No reescoramento vertical (-0,50mm) houve incremento maior que no reescoramento inclinado (-0,12mm) – Gráfico 6.5.
Não há motivos aparentes para este fato, pois os deslocamentos das vigas de menor vão do 1º piso foram muito baixos e semelhantes entre si (-0,08mm para reescoramento inclinado e -0,09mm para reescoramento vertical); pode ter ocorrido acomodação maior no reescoramento vertical.
 - Vigas de maior vão A e C: Incrementos próximos para os reescoramentos vertical (-0,36mm) e inclinado (-0,42mm) – Gráfico 6.4.
 - Laje: Incremento (-0,36mm) comparável com o das vigas de maior vão – Gráfico 6.6.

FASE 10) Retirada do reescoramento do 1º piso (etapas 68 a 69)

Situação:

- 1º piso: livre; idade do concreto (etapas 68 e 69: 16 dias)
- 2º piso: reescorado; idade do concreto (etapas 68 e 69: 9 dias)

- Carregamento no 2º piso: simulação da carga do 3º piso

Quadro 13 – Resultados obtidos no monitoramento (Fase10)

Piso	1º					2º				
	Laje	A	B	C	D	Laje/i	A/v	B/i	C/i	D/v
Elemento (*)	D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7	D8	D9	D10
Deslocamento (mm)	D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7	D8	D9	D10
Varição no período analisado (Etapas 68 a 69)	-0,96	-0,73	-0,21	-0,32	-0,25	-0,20	-0,34	-0,07	-0,03	-0,16
Acumulado (zero inicial até a Etapa 69)	-3,59	-1,13	-0,70	-1,46	-0,31	-3,07	-0,87	-0,45	-1,23	-0,87

(*) Nota: ...|v indica emprego de escoramento vertical.

.../v ou .../i, indica emprego de reescoramento vertical ou inclinado, respectivamente.

Ausência dos símbolos acima indica elemento estrutural livre, sem escoras ou reescoras.

A, C e B, D referem-se às vigas A, C (maior vão) e B, D (menor vão), respectivamente – ver Anexo A / Figura 2

Deslocamentos entre as etapas 68 e 69:

- 1º piso
 - Vigas de menor vão/livre { B/reescora inclinada: -0,21mm e D/reescora vertical: -0,25mm.
 - Vigas de maior vão/livre { A/reescora vertical: -0,73mm e C/reescora inclinada: -0,32mm.
 - Laje/livre { -0,96mm.
- 2º piso
 - Vigas de menor vão { B/reescora inclinada: -0,07mm; D/reescora vertical: -0,16mm.
 - Vigas de maior vão { A/reescora vertical: -0,34mm; C/reescora inclinada: -0,03mm.
 - Laje/reescora inclinada { -0,20mm.

Comentários:

- 1º piso
 - Vigas de menor vão B e D: Incrementos pequenos e semelhantes para os reescoramentos vertical (-0,25mm) e inclinado (-0,21mm) – Gráfico 6.5.

- Vigas de maior vão A e C: Incremento maior para o reescoramento vertical (-0,73mm) que para o reescoramento inclinado (-0,32mm) devido à retirada do reescoramento do 1º piso, desta forma aproximando os deslocamentos totais dos dois tipos de reescoramento (Veja Quadro 10 acima: -1,13mm para a viga A / reescoramento vertical e -1,46mm para a viga C / reescoramento inclinado) – Gráfico 6.4.
- Esta diferença de incrementos se deve ao fato de que como o reescoramento vertical teve maior capacidade de bloqueio de deslocamento do que o reescoramento inclinado, na sua retirada o alívio de deslocamento da estrutura (abaixamento) foi correspondentemente maior, o que é vantajoso, pois este deslocamento ocorreu em idade maior do concreto.
- Laje: Abaixamento significativo (-0,96mm), atribuído à retirada do reescoramento da própria laje – Gráfico 6.6.
- 2º piso
 - Vigas de menor vão B e D: Incrementos desprezíveis – Gráfico 6.5.
 - Vigas de maior vão A e C: Incremento maior para o reescoramento vertical (-0,34mm) que para o reescoramento inclinado (-0,03mm) devido à retirada do reescoramento do 1º piso, pelo mesmo motivo descrito para as vigas de vão maior do 1º piso; desta forma, também aproximando os deslocamentos totais dos dois tipos de reescoramento (ver Quadro 10 : -0,87mm para a viga A / reescoramento vertical e -1,23mm para a viga C / reescoramento inclinado) – Gráfico 6.4.
 - Laje: Pequeno incremento (-0,20mm); a retirada do reescoramento da laje do 1º piso pouco afetou o deslocamento da laje do 2º piso, pois o reescoramento dessa laje não estava apoiado diretamente na laje do 1º piso – Gráfico 6.6.

FASE 11) Sob carregamento do “3º piso” (etapas 69 a 77)

Situação:

- 1º piso: livre; idade do concreto (etapa 69: 16 dias; etapa 77: 21 dias)
- 2º piso: reescorado; idade do concreto (etapa 69: 9 dias; etapa 77: 14 dias)
- Carregamento no 2º piso: simulação da carga do 3º piso

Quadro 14 – Resultados obtidos no monitoramento (Fase 11)

Piso	1º					2º				
	Laje	A	B	C	D	Laje/i	A/v	B/i	C/i	D/v
Elemento (*)	D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7	D8	D9	D10
Deslocamento (mm)	D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7	D8	D9	D10
Varição no período analisado (Etapas 69 a 77)	-1,19	-0,60	-0,23	-0,33	-0,32	-0,32	-0,56	-0,23	-0,37	-0,34
Acumulado (zero inicial até a Etapa 77)	-4,78	-1,73	-0,93	-1,79	-0,63	-3,39	-1,43	-0,68	-1,60	-1,21

(*) Nota: .../v indica emprego de escoramento vertical.

.../v ou .../i, indica emprego de reescoramento vertical ou inclinado, respectivamente.

Ausência dos símbolos acima indica elemento estrutural livre, sem escoras ou reescoras.

A, C e B, D referem-se às vigas A, C (maior vão) e B, D (menor vão), respectivamente – ver Anexo A / Figura 2

Deslocamentos entre as etapas 69 a 77:

- 1º piso
 - Vigas de menor vão/livre { B: -0,23mm e D: -0,32mm.
 - Vigas de maior vão/livre { A: -0,60mm e C: -0,33mm.
 - Laje/livre { -1,19mm.
- 2º piso
 - Vigas de menor vão { B/reescora inclinada: -0,23mm; D/reescora vertical: -0,34mm.
 - Vigas de maior vão { A/reescora vertical: -0,56mm; C/reescora inclinada: -0,37mm.
 - Laje/reescora inclinada { -0,32mm.

Comentários:

- 1º piso

- Vigas de menor vão B e D: Incremento maior para a viga D/antigo reescoramento vertical (-0,32mm) que para a viga B/antigo reescoramento inclinado (-0,23mm), mantendo a tendência da fase anterior – Gráfico 6.5.
- Vigas de maior vão A e C: Incremento maior para a viga A/antigo reescoramento vertical (-0,60mm) que para a viga C/antigo reescoramento inclinado (-0,33mm), mantendo também a tendência da fase anterior – Gráfico 6.4.
- Laje: Incremento de -1,19mm, com progressão de deslocamento, de forma semelhante ao constatado nas fases iniciais do monitoramento – Gráfico 6.6.
- 2º piso
 - Vigas de menor vão B e D: Incremento maior para o reescoramento vertical (-0,34mm) que para o reescoramento inclinado (-0,23mm), mantendo também a tendência da fase anterior – Gráfico 6.5.
 - Vigas de maior vão A e C: Incremento maior para o reescoramento vertical (-0,56mm) que para o reescoramento inclinado (-0,37mm), mantendo também a tendência da fase anterior – Gráfico 6.4.
 - Laje: Incremento de -0,32mm, com progressão de deslocamento semelhante ao fase da anterior – Gráfico 6.6.

FASE 12) Aplicação da carga do “4º piso” (etapas 77 a 80)

Situação:

- 1º piso: livre; idade do concreto (etapas 77e 80: 21 dias)
- 2º piso: reescorado; idade do concreto (etapas 77e 80: 14 dias)
- Carregamento no 2º piso: simulação das cargas do 3º e 4º piso

Quadro 15 – Resultados obtidos no monitoramento (Fase 12)

Piso	1º					2º				
	Laje	A	B	C	D	Laje/i	A/v	B/i	C/i	D/v
Elemento (*)	D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7	D8	D9	D10
Deslocamento (mm)	D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7	D8	D9	D10
Varição no período analisado (Etapas 77 a 80)	-0,01	-0,16	0,02	0,02	-0,12	-0,61	-0,31	-0,25	-0,20	-0,14
Acumulado (zero inicial até a Etapa 80)	-4,79	-1,89	-0,91	-1,77	-0,75	-4,00	-1,74	-0,93	-1,80	-1,35

(*) Nota: ...|v indica emprego de escoramento vertical.

.../v ou .../i, indica emprego de reescoramento vertical ou inclinado, respectivamente.

Ausência dos símbolos acima indica elemento estrutural livre, sem escoras ou reescoras.

A, C e B, D referem-se às vigas A, C (maior vão) e B, D (menor vão), respectivamente – ver Anexo A / Figura 2

Deslocamentos entre as etapas 77 e 80:

- 1º piso
 - Vigas de menor vão/livre { B: 0,02mm e D: -0,12mm.
 - Vigas de maior vão/livre { A: -0,16mm e C: 0,02mm.
 - Laje/livre { -0,01mm.
- 2º piso
 - Vigas de menor vão { B/reescora inclinada: -0,25mm; D/reescora vertical: -0,14mm.
 - Vigas de maior vão { A/reescora vertical: -0,31mm; C/reescora inclinada: -0,20mm.
 - Laje/reescora inclinada { -0,61mm.

Comentários:

- 1º piso
 - Vigas de menor vão B e D: Incrementos desprezíveis – Gráfico 6.5.
 - Vigas de maior vão A e C: Incrementos desprezíveis – Gráfico 6.4.
 - Laje: Incremento desprezível – Gráfico 6.6.

- 2º piso
 - Vigas de menor vão B e D: Incrementos pequenos, sendo maior para o reescoramento inclinado (-0,25mm) que para o reescoramento vertical (-0,14mm) – Gráfico 6.5.
 - Vigas de maior vão A e C: Incrementos pequenos, sendo menor para o reescoramento inclinado (-0,20mm) que para o reescoramento vertical (-0,31mm) – Gráfico 6.4.
 - Laje: Deslocamento instantâneo de -0,61mm, com resposta “linear” considerando as 3 etapas de carregamento – Gráfico 6.6.
 - Os incrementos de deslocamento “instantâneos” do 2º piso, pelo menos para as vigas de maior vão e laje, que são de maior intensidade, foram menores na Fase 12 (carregamento do 4º piso) do que na Fase 8 (carregamento do 3º piso) em função da diferença de idade nessas duas ocasiões, como se pode verificar no quadro abaixo:

Quadro 16 – Incremento de deslocamentos “instantâneos” do 2º piso

Carregamento aplicado Simulação de construção	Idade do 2º piso (resistência do concreto)	Flecha (mm) nas vigas de maior vão do 2º piso		Flecha (mm) na laje do 2º piso
		Reescoramento vertical	Reescoramento inclinado	
3º piso	7 dias (20,3 MPa)	-0,38	-0,43	-1,17
4º piso	14 dias (22,8 MPa)	-0,31	-0,20	-0,61

Note-se que os carregamentos aplicados no 2º piso praticamente não causaram deslocamentos instantâneos no 1º piso.

FASE 13) Sob carregamento do “3º piso e do 4º piso” (etapas 80 a 99)

Situação:

- 1º piso: livre; idade do concreto (etapa 80: 21 dias; etapa 99: 29 dias)
- 2º piso: reescorado; idade do concreto (etapa 80: 14 dias; etapa 99: 22 dias)

- Carregamento no 2º piso: simulação de cargas do 3º e do 4º piso

Quadro 17 – Resultados obtidos no monitoramento (Fase 13)

Piso	1º					2º				
	Laje	A	B	C	D	Laje/i	A/v	B/i	C/i	D/v
Elemento (*)	D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7	D8	D9	D10
Deslocamento (mm)	D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7	D8	D9	D10
Varição no período analisado (Etapas 80 a 99)	-1,29	-0,49	-0,25	-0,49	-0,24	-0,88	-0,98	-0,48	-0,76	-0,38
Acumulado (zero inicial até a Etapa 99)	-6,08	-2,38	-1,16	-2,26	-0,99	-4,88	-2,72	-1,41	-2,56	-1,73

(*) Nota: .../v indica emprego de escoramento vertical.

.../v ou .../i, indica emprego de reescoramento vertical ou inclinado, respectivamente.

Ausência dos símbolos acima indica elemento estrutural livre, sem escoras ou reescoras.

A, C e B, D referem-se às vigas A, C (maior vão) e B, D (menor vão), respectivamente – ver Anexo A / Figura 2

Deslocamentos entre as etapas 80 a 99:

- 1º piso
 - Vigas de menor vão/livre { B: -0,25mm e D: -0,24mm.
 - Vigas de maior vão/livre { A: -0,49mm e C: -0,49mm.
 - Laje/livre { -1,29mm.
- 2º piso
 - Vigas de menor vão { B/reescora inclinada: -0,48mm; D/reescora vertical: -0,38mm.
 - Vigas de maior vão { A/reescora vertical: -0,98mm; C/reescora inclinada: -0,76mm.
 - Laje/reescora inclinada { -0,88mm.

Comentários:

- 1º piso
 - Vigas de menor vão B e D: Incrementos idênticos para as duas vigas, B/sob reescoramento vertical do 2º piso (-0,24mm) e D/sob reescoramento inclinado do 2º piso (-0,25mm) – Gráfico 6.5.

- Vigas de maior vão A e C: Incrementos idênticos (-0,49mm) para as duas vigas, A/sob reescoramento vertical do 2º piso e C/sob reescoramento inclinado do 2º piso – Gráfico 6.4.
- Laje: Incremento de -1,29mm, com progressão de deslocamento de forma semelhante ao constatado nas fases iniciais do monitoramento – Gráfico 6.6.
- 2º piso
- Vigas de menor vão B e D: Incremento de -0,38mm para o reescoramento vertical e de -0,48mm para o reescoramento inclinado – Gráfico 6.5.
- Vigas de maior vão A e C: Incrementos consideráveis de -0,98mm para o reescoramento vertical e de -0,76mm para o escoramento residual inclinado – Gráfico 6.4.
- Laje: Incremento considerável de -0,88mm, com progressão de deslocamento de forma semelhante ao constatado em fases anteriores – Gráfico 6.6.

FASE 14) Descarregamento total da estrutura (etapas 99 a 102)

Situação:

- 1º piso: livre; idade do concreto (etapas 99 e 102: 29 dias)
- 2º piso: reescorado; idade do concreto (etapas 99 e 102: 22 dias)
- Carregamento no 2º piso: não há

Quadro 18 – Resultados obtidos no monitoramento (Fase 14)

Piso	1º					2º				
	Laje	A	B	C	D	Laje/i	A/v	B/i	C/i	D/v
Elemento (*)	D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7	D8	D9	D10
Deslocamento (mm)	0,40	0,48	0,29	0,26	0,26	1,77	0,75	0,30	0,92	0,37
Varição no período analisado (Etapas 99 a 102)	-5,68	-1,90	-0,87	-2,00	-0,73	-3,11	-1,97	-1,11	-1,64	-1,36
Acumulado (zero inicial até a Etapa 102)										

(*) Nota: ...|v indica emprego de escoramento vertical.

.../v ou .../i, indica emprego de reescoramento vertical ou inclinado, respectivamente.

Ausência dos símbolos acima indica elemento estrutural livre, sem escoras ou reescoras.

A, C e B, D referem-se às vigas A, C (maior vão) e B, D (menor vão), respectivamente – ver Anexo A / Figura 2

Deslocamentos entre as etapas 99 e 102:

- 1º piso
 - Vigas de menor vão/livre { B: 0,29mm e D: 0,26mm.
 - Vigas de maior vão/livre { A: 0,48mm e C: 0,26mm.
 - Laje/livre { 0,40mm.
- 2º piso
 - Vigas de menor vão { B/reescora inclinada: 0,30mm; D/reescora vertical: 0,37mm.
 - Vigas de maior vão { A/reescora vertical: 0,75mm; C/reescora inclinada: 0,92mm.
 - Laje/reescora inclinada { 1,77mm.

Comentários:

- 1º piso
 - Vigas de menor vão B e D: Elevações instantâneas semelhantes para as vigas solicitadas pelos reescoramentos vertical do 2º piso (0,29mm) e inclinado (0,26mm) – Gráfico 6.5.
 - Vigas de maior vão A e C: Elevação instantânea de 0,48mm para a viga solicitada pelo reescoramento vertical do 2º piso e de 0,26mm, para o reescoramento inclinado – Gráfico 6.4.
 - Laje: Elevação instantânea de 0,40mm, bem menor que o alívio verificado no 2º piso (1,77mm, item abaixo), notando-se que não havia carregamento diretamente aplicado sobre a laje do 1º piso (reescoramento inclinado da laje do 2º piso) – Gráfico 6.6.
- 2º piso
 - Vigas de menor vão B e D: Elevações instantâneas semelhantes para as vigas com reescoramentos vertical (0,37mm) e inclinado (0,30mm) – Gráfico 6.5.

- Vigas de maior vão A e C: Elevação instantânea de 0,75mm para o reescoramento vertical e de 0,92mm para o reescoramento inclinado – Gráfico 6.4.
- Laje: Elevação instantânea considerável de 1,77mm – Gráfico 6.6. Observe-se que a recuperação de deslocamento da laje do 2º piso / D6 (1,77mm), na descarga, correspondeu exatamente ao abaixamento total (-1,78mm) nos carregamentos realizados nas Fases 8 e 12, conforme mostra a Quadro 18, o que é indicação de comportamento linear da estrutura.

Quadro 19 – Recuperação de deslocamento da laje 2º piso

Piso	1º					2º				
	Laje/i	A/v	B/i	C/i	D/v	Laje/i	A/v	B/i	C/i	D/v
Elemento (*)	D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7	D8	D9	D10
Deslocamento (mm)	D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7	D8	D9	D10
Aplicação da carga do 3º piso Fase 8 (Etapas 59 a 56)	-0,19	-0,10	-0,09	-0,11	0,00	-1,17	-0,38	-0,12	-0,43	-0,10
Aplicação da carga do 4º piso Fase 12 (Etapas 77 a 80)	-0,01	-0,16	0,02	0,02	-0,12	-0,61	-0,31	-0,25	-0,20	-0,14
Soma das Fases 8 e 12	-0,20	-0,26	-0,07	-0,09	-0,12	-1,78	-0,69	-0,37	-0,63	-0,24
Descarregamento total da estrutura Fase 14 (Etapas 99 a 102)	0,40	0,48	0,29	0,26	0,26	1,77	0,75	0,30	0,92	0,37

(*) Nota: ...|v indica emprego de escoramento vertical.

.../v ou .../i, indica emprego de reescoramento vertical ou inclinado, respectivamente.

Ausência dos símbolos acima indica elemento estrutural livre, sem escoras ou reescoras.

A, C e B, D referem-se às vigas A, C (maior vão) e B, D (menor vão), respectivamente – ver Anexo A / Figura 2

Para os demais elementos monitorados há certa correspondência de valores, verificando-se na descarga, em geral, valor maior valor de recuperação de deslocamento que o abaixamento instantâneo ocorrido na aplicação do carregamento; este fato era esperado, já que o carregamento do 2º piso ficou aplicado mais tempo do que os referidos nas Fases 8 e 12, seguido portanto de progressão de deslocamentos.

FASE 15) Estrutura descarregada (etapas 102 a 107)

Situação:

- 1º piso: livre; idade do concreto (etapa 102: 29 dias; etapa 107: 30 dias)

- 2º piso: reescorado; idade do concreto (etapa 102: 22 dias; etapa 107: 23 dias)
- Carregamento no 2º piso: não há

Quadro 20 – Resultados obtidos no monitoramento (Fase 15)

Piso	1º					2º				
	Laje	A	B	C	D	Laje/ i	A/v	B/i	C/i	D/v
Elemento (*)	D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7	D8	D9	D10
Deslocamento (mm)	D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7	D8	D9	D10
Varição no período analisado (Etapas 102 a 107)	-0,26	0,09	-0,05	-0,10	0,05	-0,32	0,33	0,05	0,15	0,11
Acumulado (zero inicial até a Etapa 107)	-5,94	-1,81	-0,92	-2,10	-0,68	-3,43	-1,64	-1,06	-1,49	-1,25

(*) Nota: ...|v indica emprego de escoramento vertical.

.../v ou .../i, indica emprego de reescoramento vertical ou inclinado, respectivamente.

Ausência dos símbolos acima indica elemento estrutural livre, sem escoras ou reescoras.

A, C e B, D referem-se às vigas A, C (maior vão) e B, D (menor vão), respectivamente – ver Anexo A / Figura 2

Deslocamentos entre as etapas 102 e 107:

- 1º piso
 - Vigas de menor vão/livre { B: -0,05mm e D: 0,05mm.
 - Vigas de maior vão/livre { A: 0,09mm e C: -0,10mm.
 - Laje/livre { -0,26mm.
- 2º piso
 - Vigas de menor vão { B/reescora inclinada: 0,05mm; D/reescora vertical: 0,11mm.
 - Vigas de maior vão { A/reescora vertical: 0,33mm; C/reescora inclinada: 0,15mm.
 - Laje/reescora inclinada { -0,32mm.

Comentários:

- 1º piso

- Vigas de menor vão B e D: Incrementos desprezíveis – Gráfico 6.5.
 - Vigas de maior vão A e C: Incrementos desprezíveis – Gráfico 6.4.
 - Laje: Incremento de -0,26mm, com flutuação devida à variação de temperatura – Gráfico 6.6.
- 2º piso
 - Vigas de menor vão B e D: Incrementos desprezíveis – Gráfico 6.5.
 - Vigas de maior vão A e C: Incrementos de 0,33mm para o reescoramento vertical e de 0,15mm para o reescoramento inclinado, com flutuação devida à variação de temperatura – Gráfico 6.4.
 - Laje: Incremento de -0,32mm, com flutuação nítida devida à variação de temperatura – Gráfico 6.6.

FASE 16) Retirada do reescoramento do 2º piso (etapas 107 a 108)

Situação:

- 1º piso: livre; idade do concreto (etapas 107 e 108: 30 dias)
- 2º piso: livre; idade do concreto (etapas 107 e 108: 23 dias)
- Carregamento no 2º piso: não há

Quadro 21 – Resultados obtidos no monitoramento (Fase 16)

Piso	1º					2º				
	Laje	A	B	C	D	Laje	A	B	C	D
Elemento (*)	D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7	D8	D9	D10
Deslocamento (mm)										
Varição no período analisado (Etapas 107 a 108)	-0,04	0,06	0,00	-0,03	0,03	-0,10	-0,14	-0,03	-0,24	-0,03
Acumulado (zero inicial até a Etapa 108)	-5,98	-1,75	-0,92	-2,13	-0,65	-3,53	-1,78	-1,09	-1,73	-1,28

(*) Nota: ...|v indica emprego de escoramento vertical.
 .../v ou .../i, indica emprego de reescoramento vertical ou inclinado, respectivamente.
 Ausência dos símbolos acima indica elemento estrutural livre, sem escoras ou reescoras.
 A, C e B, D referem-se às vigas A, C (maior vão) e B, D (menor vão), respectivamente – ver Anexo A / Figura 2

Deslocamentos entre as etapas 107 e 108:

- 1º piso
 - Vigas de menor vão/livre { B: 0,00mm e D: 0,03mm.
 - Vigas de maior vão/livre { A: 0,06mm e C: -0,03mm.
 - Laje/livre { -0,04mm.
- 2º piso
 - Vigas de menor vão/livre { B: -0,03mm; D: -0,03mm.
 - Vigas de maior vão/livre { A: -0,14mm; C: -0,24mm.
 - Laje/livre { -0,10mm.

Comentários:

- 1º piso
 - Vigas de menor vão B e D: Incrementos desprezíveis – Gráfico 6.5.
 - Vigas de maior vão A e C: Incrementos desprezíveis – Gráfico 6.4.
 - Laje: Incrementos desprezíveis – Gráfico 6.6.
- 2º piso
 - Vigas de menor vão B e D: Incrementos desprezíveis – Gráfico 6.5.
 - Vigas de maior vão A e C: Incrementos pequenos – Gráfico 6.4.
 - Laje: Incremento desprezível – Gráfico 6.6.

Os elementos estruturais do 2º piso praticamente não apresentaram respostas (deslocamento) na retirada do reescoramento desse piso, ao contrário do verificado na retirada do reescoramento do 1º piso (Fase 10). Isto se deveu provavelmente ao fato de que os carregamentos aplicados ao 2º piso provocaram consideráveis deformações nos sistemas de escoramento residual, principalmente nos inclinados (incluindo os dispositivos de madeira e apoios). Parte dessas deformações, podem ter se recuperado por ocasião do descarregamento do 2º piso,

mas não houve recuperação, conforme constatado, na retirada do escoramento residual.

FASE 17) Estrutura descarregada (etapas 108 a 113)

Situação (final do monitoramento):

- 1º piso: livre; idade do concreto (etapa 108: 30 dias; etapa 113: 32 dias)
- 2º piso: livre; idade do concreto (etapa 108: 23 dias; etapa 113: 25 dias)
- Carregamento no 2º piso: não há

Quadro 22 – Resultados obtidos no monitoramento (Fase 17)

Piso	1º					2º				
	Laje	A	B	C	D	Laje	A	B	C	D
Elemento (*)	D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7	D8	D9	D10
Deslocamento (mm)	D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7	D8	D9	D10
Varição no período analisado (Etapas 108 a 113)	-0,15	-0,21	-0,13	-0,15	-0,15	-0,58	-0,54	-0,31	-0,69	-0,35
Acumulado (zero inicial até a Etapa 113)	-6,13	-1,96	-1,05	-2,28	-0,80	-4,11	-2,32	-1,40	-2,42	-1,63

(*) Nota: ...|v indica emprego de escoramento vertical.

.../v ou .../i, indica emprego de reescoramento vertical ou inclinado, respectivamente.

Ausência dos símbolos acima indica elemento estrutural livre, sem escoras ou reescoras.

A, C e B, D referem-se às vigas A, C (maior vão) e B, D (menor vão), respectivamente – ver Anexo A / Figura 2

Deslocamentos entre as etapas 108 e 113:

- 1º piso
 - Vigas de menor vão/livre { B: -0,13mm e D: -0,15mm.
 - Vigas de maior vão/livre { A: -0,21mm e C: -0,15mm.
 - Laje/livre { -0,15mm.
- 2º piso
 - Vigas de menor vão/livre { B: -0,31mm; D: -0,35mm.
 - Vigas de maior vão/livre { A: -0,54mm; C: -0,69mm.
 - Laje/livre { -0,58mm.

Comentários:

- 1º piso
 - Vigas de menor vão B e D: Incrementos desprezíveis, com flutuação devida à variação de temperatura – Gráfico 6.5.
 - Vigas de maior vão A e C: Incrementos desprezíveis, com flutuação devida à variação de temperatura – Gráfico 6.4.
 - Laje: Incremento desprezível, com flutuação devida à variação de temperatura – Gráfico 6.6.
- 2º piso
 - Vigas de menor vão B e D: Variação de deslocamento devido à variação de temperatura – Gráfico 6.5.
 - Vigas de maior vão A e C: Variação de deslocamento devido à variação de temperatura – Gráfico 6.4.
 - Laje: Variação de deslocamento devido à variação de temperatura – Gráfico 6.6.

Nota: Para a análise dos deslocamentos acumulados no final do monitoramento, tomou-se como referência à etapa 113, com o 1º e o 2º pisos com idades de 32 e 25 dias, respectivamente; os valores nessa etapa (Gráficos 6.1 a 6.6) aparentam estar menos afetados pela variação térmica da estrutura.

5.2.3 Deslocamentos ao longo do monitoramento

Neste item analisa-se o desenvolvimento dos deslocamentos da estrutura ao longo do tempo, tomando como base os valores absolutos acumulados (Anexo B / Tabela 6 e Gráficos 6.1 a 6.6) e os valores incrementais referentes às várias fases determinados no item 5.2.2 (resumidos no Anexo B / Tabela 7 e Gráficos 7.1 a 7.3) e os incrementos (em %) relativos aos deslocamentos da etapa 113, no final do monitoramento (Anexo B / Tabela 7 e Gráficos 7.4 a 7.6).

c1) Vigas de menor vão

Os valores de deslocamento apresentados neste item, acerca das vigas de menor vão (D3-B/i e D5-D/v, no 1º piso; D8-B/i e D10-D/v, no 2º piso), que empregaram

reescoramento vertical ou inclinado, foram calculados a partir dos valores apresentados na Tabela 6 do Anexo B, ilustrados no Gráfico 6.5.

- i) Os valores extremos dos deslocamentos absolutos (D3 e D5, no 1º piso; D8 e D10, no 2º piso), verificados ao longo de todo o monitoramento, estão apresentados no Quadro 23.

Quadro 23 – Deslocamentos extremos observados no monitoramento (vigas de menor vão)

Piso	1º		2º	
	B (mm)	D (mm)	B (mm)	D (mm)
Viga (*)				
Deslocamento	D3	D5	D8	D10
Deslocamento máximo	0,16	0,57	0,10	0,14
Deslocamento mínimo	-1,16	-0,99	-1,41	-1,73

(*) - B (reescoramento inclinado); D (reescoramento vertical)

Esses valores são considerados pequenos, notando-se que o maior abaixamento no monitoramento foi de -1,73mm (para o D10, viga D/2º piso, etapa 99) ou L/1763.

- ii) As diferenças entre os deslocamentos (D3 e D5, no 1º piso; D8 e D10, no 2º piso), no final de cada fase, estão apresentadas no quadro seguinte.

Quadro 24– Diferença entre deslocamentos no final de cada fase (vigas de menor vão)

Fases	Diferença entre deslocamentos no final de cada fase (Vigas de menor vão)	
	1º Piso (Viga B/D3, Viga D/D5) $\Delta_{35} = D3 - D5$ (em mm)	2º Piso (Viga B/D8, Viga D/D10) $\Delta_{810} = D8 - D10$ (em mm)
(1) Etapas 3 a 14: -1º piso escorado	- 0,21	-
(2) Etapas 14 a 17: escoramento residual do 1º piso	-0,49	-
(3) Etapas 17 a 35: 1º piso reescorado	-0,47	-

(cont.)

(cont.)

(4) Etapas 35 a 36: concretagem do 2º piso	-0,49	-
(5) Etapas 36 a 44: 1º piso re-esc. e 2º piso escorado	-0,57	-0,05
(6) Etapas 44 a 47: escoramento residual do 2º piso	-0,40	-0,05
(7) Etapas 47 a 56: 1º e 2º pisos reescorados	-0,35	-0,03
(8) Etapas 56 a 59: carga do "3º piso"	-0,44	-0,05
(9) Etapas 59 a 68: sob carga do "3º piso"	-0,43	0,33
(10) Etapas 68 a 69: retirada do re-esc. 1º piso	-0,39	0,42
(11) Etapas 69 a 77: sob carga do "3º piso"	-0,30	0,53
(12) Etapas 77 a 80: carga do "4º piso"	-0,16	0,42
(13) Etapas 80 a 99: sob carga do "3º e 4º piso"	-0,17	0,32
(14) Etapas 99 a 102: descarregamento 2º piso	-0,14	0,25
(15) Etapas 102 a 107: estrutura descarregada	-0,24	0,19
(16) Etapas 107 a 108: retirada do re-esc. 2º piso	-0,27	0,19
(17) Etapas 108 a 113: estrutura descarregada	-0,25	0,23

Nota:

- Não considerados os deslocamentos do piso (1º ou 2º) devido à concretagem do próprio piso.
- B (reescoramento inclinado); D (reescoramento vertical)
- $\Delta 35 < 0$ indica que D3 sofreu abaixamento maior que D5 e o contrário para $\Delta 35 > 0$
- $\Delta 810 < 0$ indica que D8 sofreu abaixamento maior que D10 e o contrário para $\Delta 810 > 0$

Estes resultados indicam que, ao longo do monitoramento, as diferenças entre os deslocamentos das vigas B e D do 1º e do 2º piso foram muito pequenas. Note-se que no 1º piso a viga B (reescoramento inclinado) teve abaixamento pouco maior que a viga D (reescoramento vertical) e no 2º piso, pouco maior até a fase 8 e depois, pouco menor.

iii) As diferenças máximas e mínimas entre os deslocamentos (D3 e D5, no 1º piso; D8 e D10, no 2º piso), ocorridas ao longo do monitoramento (não

necessariamente coincidente com os extremos da tabela do item iii, pois são referentes às fases), estão descritas no quadro a seguir.

Quadro 25 – Diferenças máximas e mínimas, ao longo do monitoramento, entre deslocamentos das vigas de menor vão

Condição	Diferença entre deslocamentos (Vigas de menor vão)	
	1º Piso (Viga B/D3, Viga D/D5) $\Delta_{35} = D3 - D5$ (em mm)	2º Piso (Viga B/D8, Viga D/D10) $\Delta_{810} = D8 - D10$ (em mm)
Diferença máxima (mm)	0,00	0,65
Diferença mínima (mm)	-0,94	-0,11

- B (reescoramento inclinado); D (reescoramento vertical)
- $\Delta_{35} < 0$ indica que D3 sofreu abaixamento maior que D5 e o contrário para $\Delta_{35} > 0$
- $\Delta_{810} < 0$ indica que D8 sofreu abaixamento maior que D10 e o contrário para $\Delta_{810} > 0$

As diferenças máximas e mínimas entre deslocamentos correspondentes, para os reescoramentos vertical e inclinado, verificadas durante todo o monitoramento, foram pequenas.

iv) Em resumo, com base nos dados dos itens anteriores, verifica-se que as vigas de menor vão, em cada um dos pisos, com reescoramento vertical ou inclinado, tiveram: abaixamentos reduzidos (itens c1-i e ii), comportamentos semelhantes entre si (itens c1-iii e iv) e comportamentos considerados satisfatórios ao longo de todo o monitoramento, já que os deslocamentos absolutos máximos foram em torno de $L/1800$ (itens c1-i e ii).

c2) Vigas de maior vão

Os valores de deslocamento apresentados neste item, acerca das vigas de maior vão (D2 e D4, no 1º piso; D7 e D9, no 2º piso), que empregaram reescoramento vertical ou inclinado, foram calculados a partir dos valores apresentados na Tabela 6 do Anexo B, ilustrados no Gráfico 6.4.

i) Os valores extremos dos deslocamentos absolutos (D2 e D4, no 1º piso; D7 e D9, no 2º piso), verificados durante todo o monitoramento, estão apresentados no Quadro 26.

Quadro 26 – Deslocamentos extremos observados no monitoramento (vigas de maior vão)

Piso	1º		2º	
	A	C	A	C
Viga (*)				
Deslocamento	D2	D4	D7	D9
Deslocamento máximo (mm)	1,02	0,57	0,28	0,23
Deslocamento mínimo (mm)	-2,38	-2,28	-2,72	-2,56

(*) - A (reescoramento vertical); C (reescoramento inclinado)

Esses valores são considerados pequenos, notando-se que o maior abaixamento no monitoramento foi de -2,72mm (para o D7, viga A/2º piso, etapa 99) ou L/1746, muito próximo da relação correspondente verificada para a viga de menor vão (L/1763, conforme descrito no item 5.2.3-c1-i).

- ii) As diferenças entre os deslocamentos (D2 e D4, no 1º piso; D7 e D9, no 2º piso), no final de cada fase, estão apresentadas no quadro seguinte.

Quadro 27 – Diferenças entre deslocamentos no final de cada fase (vigas de maior vão)

Fases	Diferença entre deslocamentos no final de cada fase (Vigas de maior vão)	
	1º Piso (Viga A/D2, Viga C/D4) $\Delta_{24} = D2 - D4$ (em mm)	2º Piso (Viga A/D7, Viga C/D9) $\Delta_{79} = D7 - D9$ (em mm)
(1) Etapas 3 a 14: - 1º piso escorado	0,12	-
(2) Etapas 14 a 17: escoramento residual do 1º piso	0,45	-
(3) Etapas 17 a 35: 1º piso reescorado	0,97	-
(4) Etapas 35 a 36: concretagem do 2º piso	1,10	-
(5) Etapas 36 a 44: 1º piso re-esc. e 2º piso escorado	1,25	0,11
(6) Etapas 44 a 47: escoramento residual do 2º piso	0,90	-0,01
(7) Etapas 47 a 56: 1º e 2º pisos reescorados	0,75	0,56

(cont.)

(cont.)

(8) Etapas 56 a 59: carga do "3º piso"	0,76	0,61
(9) Etapas 59 a 68: sob carga do "3º piso"	0,74	0,67
(10) Etapas 68 a 69: retirada do re-esc. 1º piso	0,33	0,36
(11) Etapas 69 a 77: sob carga do "3º piso"	0,06	0,17
(12) Etapas 77 a 80: carga do "4º piso"	-0,12	0,06
(13) Etapas 80 a 99: sob carga do "3º e 4º piso"	-0,12	-0,16
(14) Etapas 99 a 102: descarregamento 2º piso	0,10	-0,33
(15) Etapas 102 a 107: estrutura descarregada	0,29	-0,15
(16) Etapas 107 a 108: retirada do re-esc. 2º piso	0,38	-0,05
(17) Etapas 108 a 113: estrutura descarregada	0,32	0,10

Nota: Não considerados os deslocamentos do piso (1º ou 2º) devido a concretagem do próprio piso
A (reescoramento vertical); C (reescoramento inclinado)
 $\Delta 24 < 0$ indica que D2 sofreu abaixamento maior que D4 e o contrário para $\Delta 24 > 0$
 $\Delta 79 < 0$ indica que D7 sofreu abaixamento maior que D9 e o contrário para $\Delta 79 > 0$

Estes resultados indicam que, ao longo do monitoramento, as diferenças entre os deslocamentos das vigas A e C do 1º e do 2º piso foram pequenas. Note-se que, no 1º piso a viga C (reescoramento inclinado) teve abaixamento maior que a viga A (reescoramento vertical) ao longo do monitoramento, exceto nas fases 12 e 13 (com diferença insignificante, de -0,12mm). No 2º piso a viga C teve abaixamento maior que a viga A, exceto nas fases finais, a partir da fase 13.

iii) As diferenças máximas e mínimas entre os deslocamentos (D2 e D4, no 1º piso; D7 e D9, no 2º piso), ocorridas durante todo o monitoramento, estão descritas no Quadro 28.

Quadro 28 – Diferenças máximas e mínimas, ao longo do monitoramento, entre deslocamentos das vigas de maior vão

Condição	Diferença entre deslocamentos (Vigas de maior vão)	
	1 ^o Piso (Viga A/D2, Viga C/D4) $\Delta 24 = D2 - D4$ (em mm)	2 ^o Piso (Viga B/D7, Viga D/D9) $\Delta 79 = D7 - D9$ (em mm)
Diferença máxima (mm)	1,25	0,74
Diferença mínima (mm)	-0,27	-0,40

- A (reescoramento vertical); C (reescoramento inclinado)
- $\Delta 24 < 0$ indica que D2 sofreu abaixamento maior que D4 e o contrário para $\Delta 24 > 0$
- $\Delta 79 < 0$ indica que D7 sofreu abaixamento maior que D9 e o contrário para $\Delta 79 > 0$

As diferenças máximas e mínimas entre deslocamentos correspondentes, para os reescoramentos vertical e inclinado, verificadas durante todo o monitoramento, foram pequenas.

iv) No Gráfico 6.4 pode-se observar o comportamento das vigas de maior vão:

- Para o 1^o piso

Entre as fases 3 a 9 (etapas 17 a 68), a viga C (reescoramento inclinado) teve abaixamento maior que a viga A (reescoramento vertical) —com diferença variável até um máximo de 1,25mm. Fora dessa região, os deslocamentos foram muito próximos, com diferença menor que cerca de 0,40mm. Na etapa 17 (instalação da reescora do 1^o piso), a viga A sofreu elevação maior que a viga C, em torno de 0,5mm; essa diferença aumentou ao longo do tempo para cerca de 1,25mm. Contudo, na etapa 69 (retirada da reescora do 1^o piso) a viga A abaixou bem mais que a viga C, aproximando os valores dos deslocamentos acumulados das vigas. As vigas A e C do 1^o piso sofreram abaixamentos semelhantes no final do processo, notando-se contudo que o abaixamento da viga A ocorreu de forma retardada em relação ao da viga C, entre as etapas 17 e 68.

- Para o 2^o piso

Comentários análogos aos feitos para o 1^o piso são válidos para o 2^o piso: na região entre as etapas 52 a 68, a diferença de deslocamento das vigas A e C do 2^o piso atingiram um máximo de 0,74mm. Fora dessa região, a diferença foi inferior a 0,40mm.

v) Em resumo, com base nos dados dos itens anteriores verifica-se que as vigas de maior vão, em cada um dos pisos, com reescoramento vertical ou inclinado, tiveram abaixamentos pequenos (itens C2-i e ii), comportamentos razoavelmente próximos entre si (itens C2-iii e iv) e comportamentos considerados satisfatórios ao longo de todo o monitoramento, já que os deslocamentos máximos foram em torno de $L/1800$ (itens C2-i e ii), valor semelhante ao encontrado para as vigas de menor vão (item c1-iv).

c3) Lajes

Como apenas o reescoramento inclinado foi implantado para as lajes do 1º e do 2º piso, diferentemente do caso das vigas de maior e de menor vão, neste item serão apenas analisadas as variações de deslocamento ao longo do monitoramento.

Os valores de deslocamento, absolutos e incrementais, referidos abaixo, foram retirados do Anexo B, da Tabela 6 (Gráficos 6.1 e 6.6) e da Tabela 7 (Gráficos 7.1 a 7.3).

i) Fases 1 a 5, entre a etapa 3 (início do monitoramento, logo após a concretagem do 1º piso) e a etapa 44 (imediatamente antes da operação de reescoramento do 2º piso do Anexo B)

- Laje do 1º piso

A laje sofreu abaixamento considerável entre as etapas 3 (início do monitoramento do 1º piso) a 44, de forma continuada, atingindo na etapa 44 um total de -2,94mm (Tabela 6 / Anexo B), composto dos incrementos relativos às seguintes fases:

- Fase 1) - Etapas 3 a 14: 1º piso escorado (abaixamento de -0,91mm).
- Fase 2) - Etapas 14 a 17: Implantação do reescoramento do 1º piso (elevação de 0,11mm).
- Fase 3) - Etapas 17 a 35: 1º piso reescorado (abaixamento de -0,99mm).
- Fase 4) - Etapas 35 a 36: Concretagem do 2º piso (abaixamento de -0,69mm)

- Fase 5) - Etapas 36 a 44: 1º piso reescorado e 2º piso escorado (abaixamento de -0,46mm).

- Laje do 2º piso

A laje sofreu abaixamento sensível na fase 5, entre as etapas 36 (início do monitoramento do 2º piso) e 44, de forma continuada, atingindo na etapa 44 um total de -0,71mm.

ii) Fase 6 (etapas 44 a 47), referente à implantação do reescoramento do 2º piso

- Laje do 1º piso

A laje do 1º piso sofreu elevação de 0,62mm, correspondente a alívio de esforços decorrente da retirada do escoramento do 2º piso, atingido no final da etapa 47 deslocamento acumulado de -2,32mm.

- Laje do 2º piso

A laje do 2º piso sofreu abaixamento reduzido de -0,15mm, atingindo no final da etapa 47 deslocamento acumulado de -0,86mm.

iii) Fases 7 a 9, entre a etapa 47 (logo após a implantação do reescoramento do 2º piso, com o 1º piso também reescorado) e a etapa 68 (sob carregamento simulado do 3º piso, com o 1º e o 2º piso reescorados)

- Laje do 1º piso

Ocorreu pouca movimentação da laje, entre -2,32mm (etapa 47) e -2,63mm (etapa 68), representando incremento de apenas -0,31mm. Este reduzido incremento se deveu ao fato de que, com a retirada das escoras e a implantação do reescoramento inclinado da laje do 2º piso, a laje do 1º piso foi descarregada. A implantação do reescoramento inclinado no 2º piso interrompeu a progressão do deslocamento, em desenvolvimento desde o início do monitoramento – Gráfico 6.6.

- Laje do 2º piso

O comportamento da laje do 2º piso foi distinto nas três fases envolvidas:

- Fase 7) Etapas 47 a 56: 1º e 2º pisos reescorados {abaixamento de -0,48mm em média de forma progressiva.

- Fase 8) Etapas 56 a 59: aplicação da carga simulada do 3º piso, com o 1º e o 2º piso reescorados {abaixamento de -1,17mm, com resposta linear considerando as três etapas de carga aplicada, conforme mostra o Gráfico 6.6
- Fase 9) Etapas 59 a 68: sob carregamento do 3º piso, com o 1º e o 2º piso reescorados {abaixamento de -0,36mm.

iv) Fase 10 (etapas 68 e 69), referente à retirada do reescoramento do 1º piso

- Laje do 1º piso

Abaixamento instantâneo de -0,96mm.

- Laje do 2º piso

Abaixamento de -0,20mm, indicando que praticamente não houve transferência do abaixamento da laje do 1º piso (-0,96mm) para a laje do 2º piso, devido ao fato do escoramento do 2º piso ser inclinado, sem apoios na laje do 1º piso.

v) Fases 11 a 13, entre a etapa 69 (após a retirada do reescoramento do 1º piso) e a etapa 99 (imediatamente antes do descarregamento total da estrutura)

- Laje do 1º piso

A laje do 1º piso sofreu abaixamento de forma continuada, a exemplo do que ocorreu nas fases 1 a 5 (item i acima), com incremento de -2,49mm.

Entre as etapas 77 a 80 (fase 12), na aplicação do carregamento simulado da construção do 4º piso sobre o 2º piso, não houve resposta instantânea da laje do 1º piso – Gráfico 6.6

- Laje do 2º piso

A laje do 2º piso também sofreu abaixamento de forma continuada, a exemplo do que ocorreu nas fases 5 (item i acima), com incremento de -1,81mm.

Entre as etapas 77 a 80 (fase 12), na aplicação do carregamento simulado da concretagem do 4º piso, houve abaixamento sensível de -0,61mm, com resposta linear considerando as três etapas de carga aplicada, conforme mostra o Gráfico 6.6.

vi) Fase 14 (etapas 99 a 102), descarregamento da estrutura

- Laje do 1º piso

Alívio de 0,40mm, bem menor que o alívio verificado no 2º piso (1,77mm, item seguinte, referente à “Laje do 2º piso”), pelo fato de que não havia carregamento aplicado diretamente sobre a laje do 1º piso (reescoramento inclinado da laje do 2º piso).

- Laje do 2º piso

Alívio de 1,77mm, correspondente ao abaixamento imprimido à laje pelos carregamentos aplicados, conforme descrito na Fase 14 do item 5.4.2.

5.2.4 Deslocamentos no final do monitoramento

O período final do monitoramento, com o 1º e o 2º piso livres de escoras e reescoras e descarregados, pode ser considerado após a etapa 108, quando foi realizada a última operação no processo da construção da obra, a retirada do reescoramento do 2º piso.

Para a análise dos deslocamentos acumulados no final do monitoramento, no entanto, toma-se como referência a etapa 113, com o 1º piso e o 2º piso com idades de 32 e 25 dias, respectivamente, pois os valores nessa etapa aparentam nos Gráficos 6.1 a 6.6 estar menos afetados pela variação térmica da estrutura, principalmente no que se refere às vigas de maior vão e laje do 2º piso, que sofreram incidência solar direta nesse período, quando a estrutura já estava descarregada, ou seja, quando os sacos de areia do carregamento, que protegiam a superfície superior da laje, já haviam sido retirados.

Não se consideram neste item os deslocamentos instantâneos no piso (1º ou 2º piso), causados pela concretagem do próprio piso.

- **Deslocamentos acumulados**

Os deslocamentos acumulados até a etapa 113, reproduzidos do Quadro 22 do item 5.2.2 e as respectivas relações “vão L / |flecha|” estão resumidos no Quadro 29.

Quadro 29 - Deslocamentos acumulados no final do monitoramento (etapa 113)

Piso	1º					2º				
	Laje	A	B	C	D	Laje	A	B	C	D
Elemento (*)	D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7	D8	D9	D10
Defletômetro	D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7	D8	D9	D10
Reescoramento empregado	inclin.	vert.	inclin.	inclin.	vert.	inclin.	vert.	inclin.	inclin.	vert.
Deslocam. acumulado (mm) (zero inicial até a Etapa 113)	-6,13	-1,96	-1,05	-2,28	-0,80	-4,11	-2,32	-1,40	-2,42	-1,63
L / l flecha l	L/498	L/2423	L/2905	L/2083	L/3813	L/742	L/2047	L/2179	L/1963	L/1871

Nota: Não considerados os deslocamentos do piso (1º ou 2º) devido à concretagem do próprio piso.

(*) A, C: vigas de maior vão; vão livre = 4,75m (Figura 2); .

(*) B, D: vigas de menor vão; vão livre = 3,05m (Figura 2).

A, C e B, D referem-se às vigas A, C (maior vão) e B, D (menor vão), respectivamente – ver Anexo A / Figura 2

- Observa-se na tabela acima que no 1º piso o deslocamento da laje foi cerca de 2,7 vezes maior que o maior deslocamento das vigas desse piso e no 2º piso, de 1,7 vezes.
- Os deslocamentos acumulados das vigas, ao longo de todo o processo, foram pequenos, com valor máximo de -1,63mm (L/1871) para as vigas de menor vão e de -2,42mm (L/1963) para as vigas de maior vão.
- As lajes sofreram deslocamentos bem maiores, -6,13mm no 1º piso (L/498) e -4,11mm no 2º piso (L/742).

- **Comparação entre deslocamentos de vigas sob reescoramento vertical e inclinado**

O quadro a seguir apresenta diferenças absolutas e diferenças relativas (em %) entre os deslocamentos acumulados no final do monitoramento das vigas de menor vão dos dois pisos e também entre os deslocamentos das vigas de maior vão, empregando reescoramento do tipo vertical ou inclinado.

Quadro 30 - Diferenças absolutas e relativas (%) entre deslocamentos de vigas, com reescoras verticais ou inclinadas (etapa 113)

Piso	1 ^o	2 ^o
Vigas de menor vão	Diferença entre D3(B,incl.) e D5(D,vert.) -0,25mm (23,8%)	Diferença entre D8(B,incl.) e D10(D,vert.) 0,23mm (-14,1%)
Vigas de maior vão	Diferença entre D4(C,incl.) e D2(A,vert.) -0,32mm (14,0%)	Diferença entre D9(C,incl.) e D7(A,vert.) -0,10mm (4,1%)

- Com relação às vigas, o escoramento residual inclinado acarretou deslocamentos maiores que o escoramento residual vertical em todos os casos, exceto para as vigas de menor vão do 2^o piso

Contudo, as diferenças entre os deslocamentos das vigas de menor ou de maior vão, que empregaram reescoras vertical e inclinadas, foram pequenas: diferença relativa máxima de 23,8% (entre D3 e D5 / 1^o piso) e diferença absoluta máxima de -0,32mm (entre D4 e D2 / 1^o piso), da mesma ordem de grandeza da amplitude da oscilação destes elementos devido à variação térmica, conforme pode ser observado no período final do monitoramento, nos Gráficos 6.1 a 6.5.

• Comentários

Com base nos deslocamentos verificados no final do processo de construção da estrutura (etapa 113), pode-se afirmar:

- Os deslocamentos das vigas de menor ou de maior vão foram semelhantes entre si, para os casos do emprego de reescoras verticais ou inclinadas.
- Os deslocamentos das vigas de menor e de maior vão, empregando reescoras verticais ou inclinadas, foram reduzidos.
- Os deslocamentos das lajes, empregando reescoras inclinadas, foram significativos. O escoramento residual da laje nos dois pisos foi feito com barras inclinadas, de forma que não se aplicam neste caso as comparações feitas acima para as vigas.
- A diferença significativa entre os deslocamentos das lajes no final do monitoramento (1^o piso: -6,13mm e 2^o piso: -4,11mm) pode ser justificada pelo fato do escoramento residual do 1^o piso ter sido retirado na idade de 16

dias e do 2º piso na idade de 23 dias. Na maior parte desse período, o 1º piso esteve livre e o 2º piso reescorado. Assim, a carga aplicada sobre o 2º piso foi suportada pelo seu escoramento residual (reduzindo o abaixamento do 2º piso), e uma parcela de carga foi transferida para o 1º piso (aumentando o abaixamento do 1º piso).

5.3 Esforços nas escoras e reescoras

A análise deste item é feita com base nos resultados apresentados na Tabela 3 e nos Gráficos 1.1 a 1.6 do Anexo B.

a) Escoramento do 1º piso (etapas 1 a 15)

- Os esforços de compressão transmitidos às escoras, medidos logo após o lançamento do concreto na fôrma do 1º piso (Tabela 3 / Etapas 2 e 3), são resumidos no quadro a seguir.

Quadro 31 - Esforços nas escoras do 1º piso

Viga menor	E7	E8	E9	E10	–	–	Média	Total
(daN)	93,0	71,8	278,6	76,2	–	–	129,9	519,6
Viga maior	E1	E2	E3	E4	E5	E6	Média	Total
(daN)	103,0	128,0	163,4	159,6	321,4	47,6	153,8	923,0
Laje	E15	E16	E17	E18	–	–	Média	Total
(daN)	459,6	495,0	576,0	568,3	–	–	524,7	2098,9

- Os esforços médios nas escoras foram: 129,9daN (viga menor); 153,8daN (viga maior); 524,7daN (laje), sendo portanto o esforço médio nas escoras da laje cerca de 3 a 4 vezes maior que os das vigas.
- Considerando esforços semelhantes para as escoras não instrumentadas, instaladas em vigas correspondentes, a resultante total suportada pelas escoras foi estimada em 4984,1daN, conforme mostrado no Quadro 32; este valor é cerca de 95% do peso próprio dos elementos escorados (5254,0daN). A parcela restante do peso do concreto foi provavelmente suportada pelas fôrmas dos pilares.

Quadro 32 - Peso próprio dos elementos da estrutura

Elemento	Esforços nas escoras daN (a)	Peso próprio daN (b)	(a) / (b)
2 x Viga menor	1039,2	930,0	1,12
2 x Viga maior	1846,0	1410,0	1,31
Laje	2098,9	2914,0	0,72
Total	4984,1	5254,0	0,95

Nota: Cálculo com base na geometria indicada nos desenhos do Anexo A.

- É possível verificar a partir dos dados do quadro acima que o escoramento das vigas de maior vão suportou cerca de 20% do peso da laje, além do peso próprio da viga; o escoramento da viga de menor vão suportou cerca 5% do peso da laje.
 - Conforme se verifica no Quadro 32, os esforços nas escoras instaladas em cada um dos elementos estruturais foram diferentes entre si. Esses esforços não guardam relação direta com nível dos “pré-esforços” aplicados nas fôrmas, antes do lançamento do concreto (Anexo B / Gráficos 1.1 a 1.6).
- b) Escoramento do 2º piso (etapas 34 a 45)
- Foram utilizadas apenas 9 barras instrumentadas no escoramento do 2º piso, não havendo portanto, dados para efetuar análise semelhante à realizada para o 1º piso.
- c) Reescoramento do 1º piso (etapas 16 a 69) – Tabela 3 e Gráfico 2.2 do Anexo B
- Na concretagem do 2º piso (etapas 35 a 36), para as vigas de maior vão do 1º piso, as reescoras a prumo absorveram esforço total de 622,2daN e as inclinadas, de 541,6daN (sendo a componente vertical de 444,1daN, considerando o ângulo médio das escoras inclinadas com a vertical igual a 35°, $\cos 35^\circ = 0,82$). Portanto, as reescoras inclinadas das vigas de maior vão absorveram menos carga que as verticais (aproximadamente 71%).

Observe, contudo que este comportamento não foi observado para as demais vigas analisadas (itens d e e seguintes).

- No reescoramento do 2º piso (Etapas 46 a 47), para as vigas de maior vão do 1º piso, as reescoras inclinadas sofreram alívio bem maior de carga (623,1daN, com componente vertical de 498,0daN), que as reescoras verticais (151,5daN), devido ao fato de que as reescoras inclinadas do 2º piso transferem as cargas para regiões junto aos pilares e não para a região central das vigas, como ocorre com o escoramento residual vertical.
 - Na retirada do reescoramento do 1º piso (Etapa 69), os esforços em todas as reescoras monitoradas regrediram praticamente ao zero inicial, sem resíduos significativos.
- d) Reescoramento do 2º piso (etapas 46 a 108) - Tabela 3 e Gráfico 4.2 do Anexo B.
- No primeiro carregamento do 2º piso (etapas 57 a 59), para as vigas de maior vão do 2º piso, as reescoras a prumo absorveram esforço total de 230,5daN e as inclinadas, de 476,1daN (componente vertical de 390,4daN). Portanto, as reescoras verticais absorveram menos carga que as inclinadas (aproximadamente 60%).
 - Na retirada do reescoramento do 1º piso (etapas 68 a 69), para as vigas de maior vão do 2º piso, o alívio de cargas verticais nas reescoras a prumo (717,2daN) foi cerca de 23 vezes o alívio nas reescoras inclinadas 38,2daN (componente vertical de 31,3daN).
 - No segundo carregamento do 2º piso (etapas 78 a 80), para as vigas de maior vão, as reescoras a prumo absorveram esforço total de 511,5daN e as inclinadas, de 595,0daN (componente vertical de 487,9daN). Portanto, as reescoras a prumo e as inclinadas absorveram cargas verticais praticamente idênticas.
 - Na retirada do reescoramento do 2º piso (etapa 108), os esforços regrediram praticamente ao zero inicial, sem resíduos significativos.
- e) Através dos gráficos dos esforços absorvidos pelos escoramentos residuais do 1º e 2º pisos (Anexo B / Gráficos 2.2 e 2.4) observa-se o seguinte:
- De modo geral, as duas reescoras inclinadas de um mesmo par, para vigas ou laje, tendem a desenvolver esforços axiais muito próximos entre si,

indicando homogeneidade na distribuição dos esforços, o que nem sempre ocorreu com as reescoras verticais instaladas nas vigas de maior vão (ver, por exemplo, os Gráficos 2.2, para vigas de maior vão, e 2.4, para laje).

- As reescoras inclinadas absorveram, no total, componentes verticais maiores que as reescoras verticais em vigas correspondentes (Gráficos 2.3, 4.2 e 4.3), com exceção da viga de maior vão do 1º piso (Gráfico 2.2). Note-se que na estimativa das componentes verticais transmitidas às escoras inclinadas deve-se considerar que nas vigas de maior vão há 2 reescoras inclinadas ou 2 reescoras verticais e nas vigas de menor vão há 2 escoras inclinadas ou uma reescora vertical. Nos cálculos referidos foi tomado o ângulo que a reescora inclinada faz com a horizontal igual a 35° ($\cos 35^\circ = 0,82$).

5.4 Flechas finais instaladas na estrutura

Analisa-se neste item as flechas finais instaladas na estrutura tendo em vista a verificação em serviço do estado limite de deformações excessivas, conforme a NBR 6118 (1980 e 2003).

5.4.1 Configurações inicial e final da estrutura

Empregando-se os dados disponíveis relativos às flechas finais instaladas (item 4.5) e ao monitoramento realizado, é possível fazer um esboço da configuração geométrica inicial da estrutura (fôrma) dos dois pisos.

As flechas relativas à configuração inicial da estrutura, antes da concretagem, podem ser determinadas subtraindo-se algebricamente das flechas finais instaladas os deslocamentos medidos no final do monitoramento (etapa 113), em cada ponto de medição, ou seja, através da seguinte equação:

$$\text{flecha inicial} = \text{flecha final instalada} - \text{flecha no final do monitoramento.}$$

Interessa determinar apenas a configuração inicial do 1º piso, pois nele se verificaram as maiores flechas, as quais serão analisadas no item 5.4.2. Desta forma, na Tabela 33 apresentam-se os cálculos feitos para a determinação das flechas iniciais do 1º piso, notando-se que, como para este piso não foram medidos os deslocamentos devido à sua concretagem, foram acrescentados, como referência, os deslocamentos dos elementos correspondentes do 2º piso devido à concretagem desse piso.

Quadro 33 – Flechas iniciais na estrutura (fôrma), antes da concretagem

Elemento estrutural	Viga de maior vão		Viga de menor vão		Laje
	A	C	B	D	
(1) Flechas instaladas finais	15,0	10,0	5,0	4,5	-20,6 *
(2) Flechas na etapa final 113 (monitoramento)	-1,96	-2,28	-1,05	-0,80	-6,13
(3) Flechas no 2º piso na etapa 36 (concret. do 2º piso)	-1,37	-0,78	-0,44	-0,40	-3,58
Flechas iniciais {(1) – (2) – (3)}	18,33	13,06	6,49	5,70	-10,89

Flechas em mm

Deslocamento positivo indica elevação e negativo, abaixamento.

* valor médio entre -18,4mm e -22,8mm, correspondentes ao lado maior e menor da laje, respectivamente.

(1): flechas finais instaladas extraídas do Quadro 1.

(2) e (3): dados extraídos da Tabela 5 do Anexo B.

Com os valores determinados (“flechas iniciais”) é possível fazer um croqui da configuração inicial da estrutura (fôrmas) do 1º piso, antes da concretagem, conforme mostra a Figura 6.

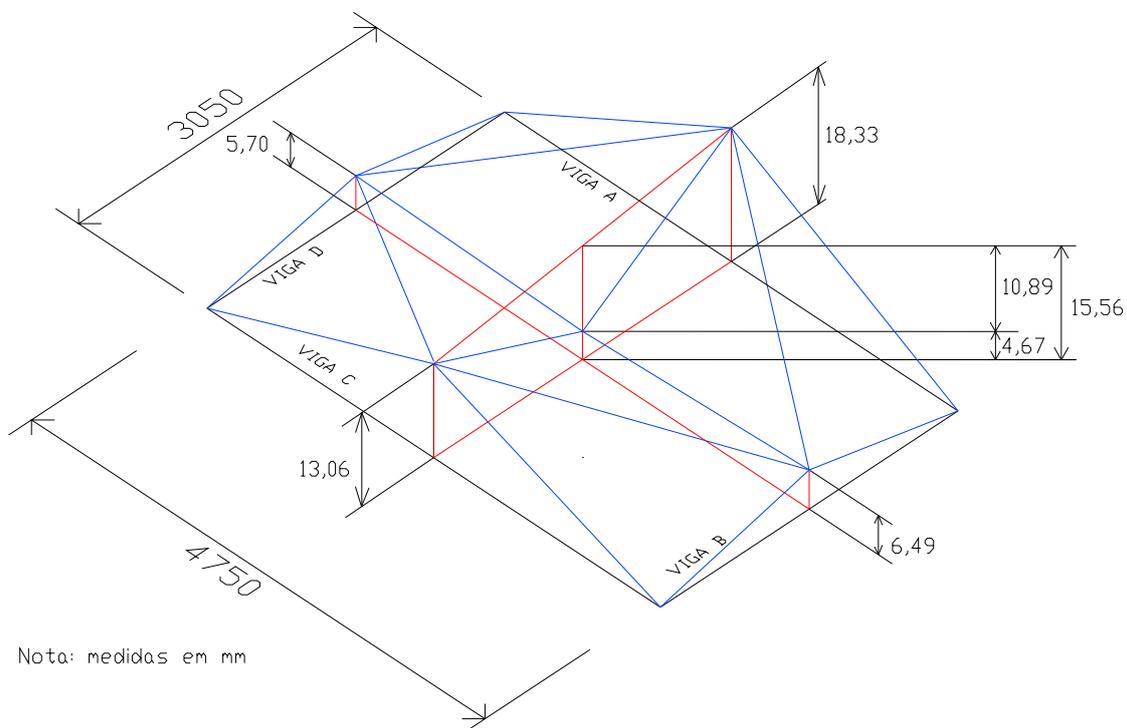


Figura 6 - Flechas iniciais instaladas no 1º piso

A configuração final da estrutura deformada, relativa às flechas finais instaladas, apresentada na Figura 7, é determinada diretamente com base nos dados do Quadro 1.

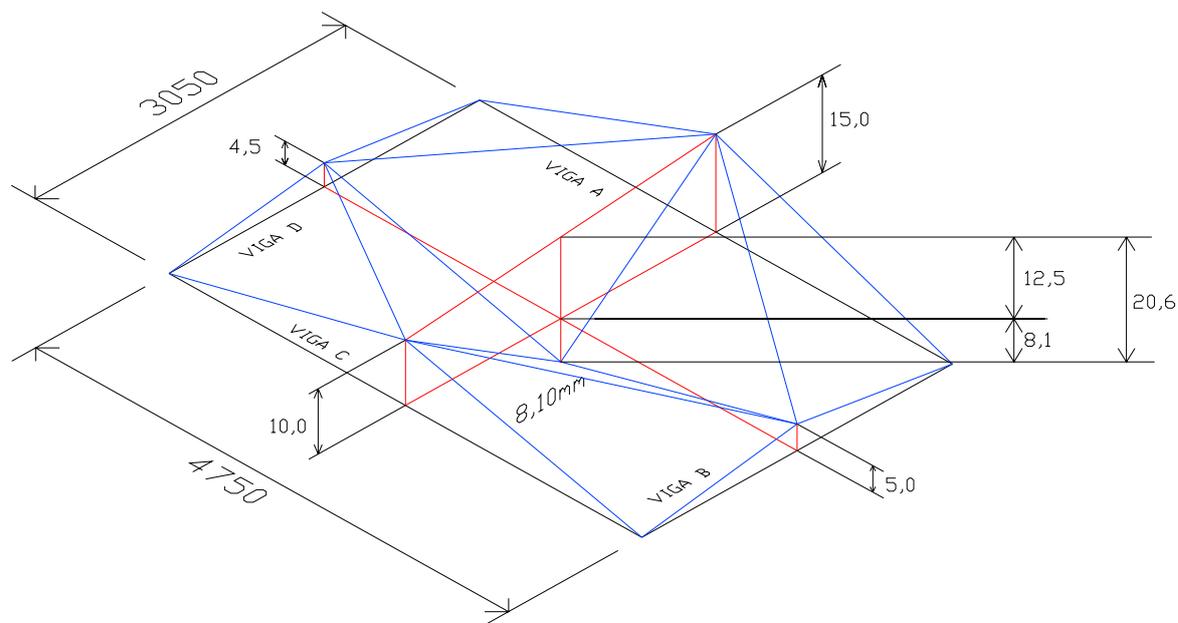


Figura 7 - Flechas finais instaladas no 1º piso

5.4.2 Análise das flechas finais instaladas na estrutura

Não foram encontradas informações na literatura acerca de limites admissíveis de flechas de estruturas de concreto armado, referentes especificamente à fase de construção.

Para o caso de Estados Limites de Serviço, referente a estruturas com o concreto já curado, a NBR 6118 (“Projeto e execução de obras de concreto armado”) traz as seguintes recomendações:

- Versão NBR 6118 de 1980:

- (i) Especifica como deslocamento limite admissível de utilização o valor $L/300$ para o total de cargas permanente e acidental e $L/500$ para carga acidental apenas, notando-se que as flechas deverão ser medidas a partir do plano que contém os apoios.

Nota: L = vão teórico do elemento estrutural.

- Versão NBR 6118 de 2003

- (ii) Indica para “aceitabilidade sensorial / visual” os deslocamentos limites de L/250 para carga total e L/350 para a carga acidental.

Também, especifica que para lajes deve-se considerar o menor vão, exceto para avaliação dos elementos não estruturais (veja item seguinte).

- (iii) Para avaliação de efeitos em elementos não estruturais, como paredes, o limite é de L/500, ou 10mm, após a construção desses elementos, devendo o vão ser tomado na direção na qual o elemento não estrutural se desenvolve.
- (iv) A norma menciona também que os deslocamentos podem ser parcialmente compensados por especificação de contra-flechas, entretanto, a atuação isolada da contra-flecha não pode ocasionar um desvio do plano maior que L/350.
- (v) Observe que adotando as recomendações (i) e (ii) acima e considerando válido o princípio da superposição de efeitos, tem-se respectivamente como admissível apenas para a carga permanente total o valor de L/750 [NBR (1980)] e L/875 [NBR (2003)] (diferença entre os limites referentes às cargas total e acidental).

Note-se, por outro lado, que para edificações de concreto armado, usualmente a carga permanente representa cerca de 70% e a carga acidental 30% do carregamento total. Desta forma, repartindo a relação referente à carga total (L/300 e L/250 para as versões da NBR 6118 de 1980 e de 2003, respectivamente) de forma proporcional às porcentagens acima referidas, chega-se, para as cargas permanentes e acidentais, aos valores de L/430 e L/1000 (para a versão de 1980) e de L/360 e L/840 (para a versão de 2003). Os valores referentes à carga permanente (L/430 e L/360) são bem maiores do que os referidos acima (L/750 e L/875).

Os valores já mencionados, relativos à carga permanente total, fundamentados em dados da norma (L/750 e L/875) e em dados da prática (L/430 e L/360), possuem média em torno de L/600. No presente caso,

particularmente para a análise que se pretende fazer, é suficiente adotar como referência limite de flecha este valor médio, não para a carga permanente total como especifica a norma, mas considerando análise conservativa para apenas uma parcela da carga permanente total, ou seja, para o peso próprio da estrutura. Ressalte-se que ainda deverá haver aumento significativo de flecha por ação de outras parcelas da carga permanente, como as relativas a alvenarias, contra-pisos, revestimentos, etc., além do aumento devido à deformação lenta.

Considerando as flechas finais instaladas na estrutura, apresentadas no item 4.5 (Quadro 1), é possível verificar que:

- Todas as vigas dos dois pisos apresentaram deslocamentos positivos (para cima).
- Como durante todo o processo de construção foi observada ocorrência de deslocamentos negativos (para baixo), conclui-se que a posição final observada da estrutura foi devida à contra-flecha aplicada às fôrmas, antes do lançamento do concreto fresco.
- Observe-se também que pelo menos para as vigas A do 1^o piso (L/317) e B (L/246) e D (L/318) do 2^o piso foram aplicadas contra-flechas maiores que L/350, o que contraria a condição (iv) acima.
- Os deslocamentos verificados nas lajes dos dois pisos {(1^o piso: L/258 e L/134, para as direções dos lados maior e menor, respectivamente) e (2^o piso: L/436, para a direção do lado maior)} são maiores que o limite acima referido (L/600), exceto para a laje do 2^o piso (L/782) na direção do lado menor. Observe ainda que as flechas relativas às lajes do 1^o piso são também maiores que o maior limite descrito acima (L/360). Portanto, não há atendimento às condições (i) ou (ii).
- A condição (iii) também não será atendida no caso de se construir uma parede de alvenaria no meio da laje, na direção longitudinal ou transversal, pois o deslocamento antes mesmo da construção da alvenaria já é superior a L/500.

Em resumo, considerando os comentários acima e os resultados do monitoramento realizado, pode-se concluir que:

- Para as lajes:

- Do 1º piso:

O deslocamento final observado na Etapa 113 / Tabela 5 do Anexo B (-6,13mm) mais uma estimativa da parcela devido ao lançamento do concreto fresco (adotado -3,58mm, igual ao valor observado para o 2º piso, Etapa 36 / Tabela 5 do Anexo B) resulta em -9,71mm (abaixamento). Este valor é aproximadamente metade da média das flechas medidas nas duas direções da laje (-20,6mm), em relação aos respectivos apoios (item 4.5: média entre 18,4mm e 22,8mm). A diferença entre esses valores (-10,89mm) deve corresponder à “flecha” inicial imposta às fôrmas da laje, em relação ao meio das vigas, antes da concretagem (Quadro 33 e Figura 6).

Deve-se notar ainda que, como se observa na Figura 6, ao ponto central da laje foi aplicada, antes da concretagem, contra-flecha (em relação ao pilar) de 4,67mm. Contudo, como as contra-flechas dadas às vigas de maior vão foram bem maiores (viga A: 18,33mm; viga B: 13,06mm) a flecha inicial da laje em relação às vigas, resultou no valor acima referido, de 10,89mm (Figura 6).

- Do 2º piso:

O deslocamento final observado na Etapa 113 / Tabela 5 do Anexo B (-7,69mm), que já contém a parcela devido ao lançamento do concreto fresco, é da ordem de grandeza da média das flechas medidas nas duas direções da laje (-7,4mm, valor igual à média entre -10,9mm e -3,9mm – item 4.5, Quadro 1). Portanto, as medidas no final do monitoramento e das flechas finais instaladas são compatíveis, indicando que as fôrmas da laje foram mantidas razoavelmente niveladas antes do lançamento do concreto.

- De acordo com as especificações da norma, deve-se reavaliar o projeto de escoramento e escoramento residual empregado para as lajes, levando-se em conta os dados do projeto estrutural, como as cargas permanentes e acidentais ainda a serem instaladas, a necessidade de compensação parcial de deslocamentos através de adoção de contra-flechas e os efeitos em serviço descritos pela NBR 6118 (2003), como: aceitabilidade sensorial (visibilidade);

efeitos específicos que possam impedir a utilização adequada da construção (drenagem, planicidade, suporte de equipamentos sensíveis); efeitos que possam ocasionar mau funcionamento de elementos não estruturais (alvenaria, caixilhos, revestimentos); efeitos em elementos estruturais (relevância estrutural dos deslocamentos e sua eventual incorporação na análise; acréscimo de carga devido à necessidade de regularização da estrutura com aplicação de argamassa adicional), etc.

- Note-se que para aplainar as duas superfícies de uma laje com espessura de 8,0cm e com uma flecha de cerca de 20,0mm em seu centro (como a verificada na laje do 1º piso) será necessário o consumo de cerca de 20% do volume original da laje.

- Para as vigas:

Como foi verificada elevação em todas as vigas, deve-se fazer melhor controle das contra-flechas inicialmente aplicadas, evitando introduzir valores excessivos, como nos casos referidos, devendo-se seguir as recomendações já citadas da NBR 6118 (1980 e 2003).

Note-se, contudo, que como provavelmente a maioria das vigas na prática deverá ter suas faces inferiores e superiores envolvidas por paredes ou divisórias, não ficará aparente, não havendo, portanto, para esses casos, problemas de “aceitabilidade sensorial”.

Para a avaliação dos deslocamentos desenvolvidos durante a construção em termos da relação flecha/vão, considerando os sistemas de escoramento e de escoramento residual, vertical e inclinado, deve-se ressaltar que a carga total aplicada sobre o 2º piso (item 3.5) é de valor relativamente elevado. O fato de que os deslocamentos das lajes (e das vigas de maior vão em menor intensidade) foram crescentes até o descarregamento da estrutura não significa, em princípio, que a estrutura, ou o sistema de escoramento, ou de escoramento residual estejam mal dimensionados.

5.5 Inspeções visuais

O fato de não terem sido observadas fissuras, nem outros danos no concreto, nas diversas fases da construção da estrutura, indica neste particular adequação do projeto de fôrmas e do escoramento / escoramento residual e do procedimento de cura do concreto (por constante umedecimento) nos seus primeiros dias de idade.

6 CONCLUSÕES

Foi apresentada nesta dissertação a análise experimental de uma estrutura de concreto armado de dois pisos superiores, simulando o sistema (1+2) de forma simplificada, com observações feitas através de instrumentação durante o período da construção, desde o lançamento do concreto até a sua cura.

Na construção da estrutura foram seguidos todos os procedimentos e usados os equipamentos e mão-de-obra normalmente empregados na prática. Apesar de o fenômeno analisado depender de muitas variáveis, algumas das quais de difícil quantificação, com base nas observações experimentais realizadas, é possível afirmar:

a) Deslocamentos desenvolvidos durante a fase de construção:

- Para as vigas, onde foram empregados escoramentos residuais vertical e inclinado:
 - Os deslocamentos das vigas ao longo do monitoramento, para os escoramentos residuais vertical e inclinado, foram muito próximos entre si, porém de modo geral pouco maiores no caso do escoramento residual inclinado. Também, esses deslocamentos foram bastante reduzidos, inclusive considerando a situação de máxima solicitação (carregamento total no 2º piso), com valores da ordem de $L/1800$ (itens 5.2.3 -c1e c2).
 - As duas reescoras inclinadas de um mesmo par, para vigas (ou laje), tendem a desenvolver esforços axiais muito próximos entre si, indicando homogeneidade na distribuição dos esforços (considerando fator positivo), o que nem sempre ocorreu com as reescoras verticais posicionadas em uma mesma viga. Além disso, na maioria dos casos, as reescoras inclinadas absorveram componentes verticais pouco maiores que as reescoras verticais em elementos estruturais correspondentes.
 - A indicação é, portanto, de que, comparativamente às escoras verticais, as escoras inclinadas são também eficientes quanto à absorção de cargas, mas o sistema empregado, como um todo (incluindo barras, apoios, dispositivos de ligação, etc.), possui flexibilidade pouco maior.

- A implantação de escoramento residual inclinado em dado nível (que pressupõe a retirada do escoramento desse nível) provoca alívio maior das reescoras inclinadas do nível inferior do que em caso similar para escoramento residual vertical. Isto é devido ao fato de que as reescoras inclinadas transferem as cargas para regiões junto aos pilares e não para a região central das vigas, como ocorre com o escoramento residual vertical. Também, de forma correspondente, a retirada das reescoras inclinadas de um nível inferior provoca menor alívio de carga nas reescoras do nível superior seguinte, do que no caso de reescoras verticais.
- Apesar de os deslocamentos das vigas de maior vão, para os dois tipos de escoramento residual, resultarem praticamente iguais no final do monitoramento, ocorreu que os deslocamentos no escoramento residual inclinado formaram-se bem antes dos deslocamentos no escoramento residual vertical. Assim, o escoramento residual vertical teve mais capacidade de contenção de deslocamento, apresentando a vantagem de retardar seu aparecimento em relação ao escoramento residual inclinado. Note-se que foi na ocasião da retirada do escoramento residual vertical que os deslocamentos “contidos” se manifestaram (Anexo B / Gráfico 6.4).
- As considerações acima indicam que os desempenhos dos dois sistemas de reescoras, apesar das diferenças localizadas, apresentaram comportamentos que no final do processo podem ser considerados semelhantes. Contudo, para a adoção do escoramento residual inclinado na prática, recomendam-se outras investigações, como as descritas no item e.
- Para as lajes, onde foram implantados apenas escoramentos residuais inclinados:
 - Os deslocamentos das lajes foram significativos, mesmo não considerando o segundo carregamento do 2º piso (somente sob o peso próprio da estrutura e o peso correspondente à simulação do 3º piso), com relações $L/|flecha|$ de $L/638$ e $L/900$ para o 1º e o 2º piso, respectivamente (cálculo com dados contidos no Anexo B / Etapa 77 – Tabela 6). Com o carregamento total do 2º piso (correspondente à simulação da construção do 3º e 4º pisos), essas relações se elevaram para $L/502$ e $L/625$ (Anexo B / Etapa 99 – Tabela 6).

Note-se que esses valores são próximos da relação $L/|flecha|$ admissível (cerca de $L/600$ – item 5.4.2) para o estado limite de serviço, referente à carga permanente total, e que os valores descritos acima, para a laje, referem-se apenas à parte da carga permanente total (peso próprio da estrutura de concreto).

- Os deslocamentos das lajes, durante praticamente todo o período do monitoramento, de forma geral desenvolveram-se continuamente, com taxas de incremento semelhantes para as duas lajes, e indistintamente para os períodos escorados e reescorados (Anexo B / Gráfico 6.6). No caso da laje do 1º piso, a progressão dos deslocamentos foi somente interrompida no período entre a implantação do escoramento residual do 2º piso (inclinado na laje) e a retirada do escoramento residual do 1º piso.

A implantação do escoramento residual inclinado no 2º piso descarregou a região central da laje do 1º piso, levando à interrupção dos deslocamentos dessa laje, o que, nesse particular, é aspecto favorável. Contudo, observe que a retomada dos deslocamentos nessa laje (1º piso), ocorreu na retirada do escoramento residual desse piso, portanto devido exclusivamente aos deslocamentos das vigas de seu perímetro, incluindo as parcelas devidas às cargas advindas da laje do 2º piso; observe que este sobrecarregamento direto das vigas perimetrais é característica particular do escoramento inclinado.

- b) Flechas finais instaladas na estrutura descarregada (verificação em serviço)
 - Todas as vigas dos dois pisos apresentaram-se com elevação, devida à contra-flecha aplicada às fôrmas, antes do lançamento do concreto. Observou-se, através das medições feitas, que em algumas vigas foram aplicadas contra-flechas maiores que $L/350$, limite recomendado pela NBR 6118 (2003).

Recomenda-se, por isso, melhor controle na aplicação das contra-flechas, evitando introduzir valores excessivos. Note-se, contudo, que provavelmente a maioria das vigas, na prática, não ficarão aparentes, pois estarão envolvidas por paredes ou divisórias.

- As flechas finais instaladas nas lajes foram consideráveis (Quadro 1), próximos ou mesmo maiores que os limites estabelecidos pela NBR 6118 (1980 e 2003) para a carga permanente total, notando-se que as medições foram feitas com a atuação de apenas parte da carga permanente (peso próprio da estrutura).

De acordo com a norma, deve-se reavaliar o projeto de escoramento e escoramento residual empregado para as lajes, levando-se em conta os dados do projeto estrutural, como as cargas permanentes e acidentais ainda a serem instaladas, a necessidade de compensação parcial de deslocamentos através de adoção de contra-flechas e os efeitos em serviço descritos pela NBR 6118 (2003), como: aceitabilidade sensorial (visibilidade); efeitos que possam ocasionar mau funcionamento de elementos não estruturais (alvenaria, caixilhos, revestimentos); acréscimo de carga devido à necessidade de regularização da estrutura com aplicação de argamassa adicional, etc.

Além disso, deve-se levar em conta a relação custo – benefício quanto às medidas adotadas para evitar deslocamentos excessivos, notando-se que para nivelar as duas superfícies de uma laje com espessura de 8,0cm, com uma flecha de cerca de 20,0mm em seu centro, será necessário o consumo de concreto de cerca de 20% do volume original da laje.

- c) Apesar de serem constatados acréscimos significativos de resistência e de módulo de elasticidade do concreto já nas idades iniciais, deve-se notar que solicitações aplicadas ao concreto jovem poderão provocar um aumento considerável das deformações imediata e lenta, já que estas dependem do histórico do carregamento aplicado, sendo, portanto, essencial a adoção de procedimentos adequados quanto à implantação do escoramento residual.
- d) A não observação de fissuras nem de outros danos no concreto, nas diversas fases da construção da estrutura, indica neste particular adequação do projeto de fôrmas e do escoramento e escoramento residual, bem como do procedimento de cura do concreto, por constante umedecimento nos seus primeiros dias de idade.

- e) Os objetivos básicos estabelecidos foram atingidos —elaboração e implantação de metodologia de ensaios, identificação das dificuldades envolvidas e com a obtenção de evidências experimentais características dos dois tipos de escoramento residual; inclusive, no decorrer dos trabalhos, foram obtidas evidências de que o escoramento residual inclinado é viável tecnicamente para o emprego em construção de edifícios. Contudo, como os resultados finais obtidos foram próximos entre si e, principalmente, devido às limitações do modelo (apenas dois pisos), não foi possível verificar de forma ampla vantagens de desempenho do tipo inclinado sobre o tipo tradicional. Nesse sentido, no item seguinte são feitas sugestões de continuidade dos estudos experimentais realizados.
- f) Sugestões para a continuidade futura do presente trabalho:
- Aprimoramento dos dispositivos de apoio, travamento e ligações das escoras inclinadas, de maneira que as movimentações indesejáveis sejam minimizadas. Verificar, inclusive, a necessidade de substituir os elementos de madeira, mais deformáveis, por elementos metálicos.
 - Investigar as melhores alternativas de se fazer a mudança do escoramento de um piso, com barras verticais, para o sistema de escoramento residual com barras inclinadas, já que esta transferência apresenta maiores dificuldades operacionais de implantação do que no sistema com escoramento residual vertical.
 - Analisar comparativamente o desempenho dos escoramentos residuais verticais e inclinados aplicado a painéis de laje; esta análise não foi executada, pois no presente trabalho foi empregado para as lajes apenas escoramento residual inclinado.
 - Embora o sistema de escoramento e escoramento residual empregado, (1+2) de forma simplificada, tenha possibilitado análises básicas de interesse, são recomendáveis maiores investigações em construção de edifício, já que o estudo no modelo físico analisado não foi suficiente para a verificação do desempenho dos escoramentos residuais verticais e inclinados, em situações com mais níveis de escoramento residual, como é usual na prática. Nesse caso, ocorrerão mecanismos de transferências de cargas envolvendo uma

grande quantidade de elementos estruturais, com idades reduzidas e diversas, o que torna o fenômeno bastante complexo. Também, deve-se considerar que variações na idade e/ou nas propriedades do concreto jovem, em algumas das etapas envolvidas, poderão ter influência significativa nos resultados finais.

Assim, em sistema tradicional no mercado, como por exemplo no sistema (1+3), em prédios de vários andares, deverá ainda ser verificada a eficácia, inclusive quanto à deformação lenta, do escoramento residual inclinado em comparação com o escoramento residual vertical.

- Além da análise de viabilidade e eficácia técnica, deve-se também examinar globalmente o aspecto custo – benefício referente à implantação dos dois sistemas de escoramento residual na construção de edificações.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 6118**. Projeto e execução de obras de concreto armado. Rio de Janeiro, 1980.
- _____ **NBR 6118**: Projeto de estruturas de concreto armado: Procedimento. Rio de Janeiro, 2003.
- _____ **NBR 8681**: Ações e segurança nas estruturas. Rio de Janeiro, 1984.
- _____ **NBR 5738**: Concreto: Procedimento para moldagem e cura de corpos-de-prova. Rio de Janeiro, 1994.
- _____ **NBR 5739**: Concreto: Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos: Método de ensaio. Rio de Janeiro, 1994.
- _____ **NBR 8522**: Concreto: Determinação dos módulos estáticos de elasticidade e de deformação e da curva tensão-deformação. Rio de Janeiro, 2003.
- BATISTA, A.M.; MASCIA, N.T. Escoras metálicas empregadas em cimbramentos para edificações em concreto armado. JORNADAS SUL AMERICANAS DE ENGENHARIA ESTRUTURAL, 31., 2006, Campinas. **Anais**. 2006. p. 1589 – 1599.
- GARDNER, N. Shoring, reshoring and safety. **Concrete International**, V.7, n. 4, 1985. p. 28 – 34.
- GRUNDY, P.; KABAILA, A. Construction loads on slabs with shored formwork in multistory building. **Journal of the American Concrete Institute**. V. 60, 1963. p. 1729 – 1738.
- ISAÍÁ, G.C. (editor). **Concreto, Ensino, Pesquisa e Realizações**. São Paulo: Ipsis Gráfica e Editora, 2 v., 2005.
- LEVY, S.; HELENE, P. Cura: como, quando e por quê. **Revista Técnica**, São Paulo: Pini. n. 20, 1996. p. 18 a 21 .

- LIU, X.; CHEN, W. F.; BOWMAN, M. D. Construction load analysis for concrete structures, **Journal of Structural Engineering**, V.111, n. 5 ASCE, 1985. p. 1019 a 1037.
- MOSALLAM, K.H., CHEN.W.F. Determining shoring loads for reinforced concrete construction, **ACI Structural Journal**. Local:ACI, 1991. V.88, n. 3, p. 340 a 350.
- MOSALLAM, K.H.; CHEN, W. F. Construction load distributions for laterally braced formwork, **ACI Structural Journal**, Local:ACI 1992. V.89, n. 4, p. 415 a 424.
- RUIZ, J.C.; DUTARI, L.G. **Calculo de flechas em estruturas de hormigon armado**. Madrid: Instituto Técnico de Materiales y Construcciones, 1992.
- PRADO, J.F.M.A. **Estrutura de edifícios em concreto armado submetidas a ações de construção**. 1999, 183p. Tese (Doutorado em Engenharia de Estruturas) – Escola de Engenharia de São Carlos/Universidade de São Paulo. São Carlos:USP, 1999.
- ZORZI, A. C. **Fôrma com molde em madeira para estruturas de concreto armado: recomendações para melhoria da qualidade e da produtividade com redução de custos**. 2002, 210p. (Dissertação de Mestrado em Habitação, Tecnologia e Planejamento). Instituto de Pesquisas Tecnológicas-IPT, São Paulo, 2002.

ANEXO A
CONSTRUÇÃO DA OBRA (MODELO FÍSICO)

CONSTRUÇÃO DA OBRA (MODELO FÍSICO)

1 DESCRIÇÃO DA OBRA

O modelo físico é constituído por uma estrutura de concreto armado com duas lajes de 510x340x9cm e uma fundação em radier com 04 estacas manuais nas extremidades.

As lajes possuem vigas de 15x40cm nas bordas e são sustentadas por 4 pilares de 20x20cm.

O radier tem dimensões de 615x445x15cm.

A execução da obra foi feita em etapas, conforme já descrito anteriormente. Vale ressaltar que foram feitas 3 concretagens – a 1^a para o radier de brocas, a 2^a para pilares, vigas e laje do 1^o pavimento e a 3^a para pilares, vigas e laje do 2^o pavimento.

Nos itens que seguem os processos construtivos da obra estão descritos em detalhes.

2 PROCESSO CONSTRUTIVO DA OBRA

2.1. Diretrizes utilizadas na execução da estrutura do modelo físico

2.1.1 Montagem de fôrma para concreto armado

- **Condição para início do serviço**
 - A área de trabalho deve estar totalmente desimpedida, limpa e sem nenhuma interferência.
- **Método executivo**
 - Tempo mínimo para desforma (60h para pilares, 36h para vigas e 44h para lajes)
 - Desformar na seqüência: pilar, viga e laje.
 - Posicionar as escoras de acordo com o projeto.

- Fazer limpeza dos painéis com espátula e, se necessário, palha de aço, no andar da desforma, antes de transportá-los para o andar superior.
- Aplicar desmoldante no traço especificado pelo fabricante, utilizando rolo de espuma.
- Limpar a superfície das fôrmas após a desforma.
- **Transferência de eixos**
 - Transportar os eixos principais para os ganchos de ferros, usando prumo de centro ou nível laser baseando-se nos pontos do andar inferior.
 - Verificar o esquadro entre os eixos com uma trena de aço.
- **Locação de gualho**
 - Locar os gualhos conforme o projeto de locação com pregos de aço.
 - Para os pilares, os gualhos devem estar travados verticalmente e horizontalmente e garantir a vedação do pé do pilar para que não haja fuga do concreto quando adensado.
- **Montagem de pilares**
 - Pregar os gualhos “malucos” de travamento de pilares na laje.
 - Fixar a grade no gualho, aprumando-a e travando-a com três cantoneiras metálicas.
 - Transferir o nível de todas as grades de pilares para 1,24m do ponto de referência que se situa no térreo.
 - Colocar o painel lateral externo dos pilares de borda antes da armação.
 - Colocar os painéis laterais e depois os dos fundos.
 - Posicionar as barras de ancoragem.
 - Colocar o painel de fechamento e complemento das grades guia.
- **Montagem das lajes e vigas**
 - A montagem dos painéis de laje deverá iniciar quando as vigas estiverem posicionadas.

- Montar as torres ou escoras de acordo com o projeto de escoramento, que devem estar alinhadas, utilizando tripés-base para auxílio.
- Lançar as longarinas nos forçados.
- Marcar os barrotes alinhados conforme projeto de escoramento.
- Distribuir os painéis de laje locando as paredes divisórias e furações.
- Transportar os eixos de referência para a laje a ser assoalhada usando testemunho do eixo estruturado independente da laje em montagem com pregos, prumo e linha de nylon.
- Alinhar os painéis de laje e os das vigas e pregá-las.
- Limpar a fôrma e aplicar desmoldante no assoalho.
- Locar as aberturas que devem ser deixadas na laje.
- Fazer o nivelamento final da laje.
- Conferir o alinhamento das vigas posicionando linhas afastadas 15cm do painel lateral e o nivelamento das vigas posicionando linhas entre os garfos.
- Para nivelamento final da laje, viga e pilar deixar as linhas esticadas para o acompanhamento de alguma deformação.

2.1.2 Montagem de armação para concreto armado

a) Armação dos pilares

- **Condição para início dos serviços**

- A montagem da fôrma do pilar já deve ter sido iniciada e os ganchos liberados.
- O concreto na região do arranque dos pilares deve estar firme e limpo.

- **Método executivo**

- Pré-armar os pilares.
- Posicionar e complementar a armadura, conferindo-a de acordo com o projeto.

- Fixar os distanciadores nos estribos por todas as faces e extensão da armadura, com o espaçamento necessário para garantir o recobrimento da armadura conforme o projeto.

b) Armação das vigas

- **Condição para o início dos serviços**

- Os pilares preferencialmente já devem ter sido concretados (no presente modelo, os pilares foram concretados juntamente com a laje e vigas do pavimento).

- **Método executivo**

- Pré-armar as vigas.
- Posicionar e complementar a armadura, conferindo-a de acordo com o projeto.
- Fixar os distanciadores nos estribos por todas as faces e extensão da armadura, com o espaçamento necessário para garantir o recobrimento da armadura conforme projeto.

c) Armação das lajes

- **Condição para o início dos serviços**

- As vigas já devem ter sido montadas.

- **Método executivo**

- Distribuir a armação positiva das lajes conforme projeto.
- Armar a malha, garantindo o posicionamento e alinhamento correto das barras.
- Posicionar a armadura de reforço indicada em projeto.
- Executar o embutimento das instalações.
- Distribuir a armação negativa obedecendo o posicionamento e espaçamento de acordo com o projeto.

- Posicionar a armadura de suporte sobre a armação positiva de modo a dar apoio aos negativos, garantindo o posicionamento da armação, mesmo durante a concretagem.
- Distribuir os distanciadores na laje, em quantidade suficiente para garantir o recobrimento da armadura conforme projeto.
- Fazer a limpeza das fôrmas, antes da concretagem.

2.1.3 Concretagem de estrutura em concreto armado

- **Condição para o início dos serviços**

- A armação, fôrma e cimbramento devem estar conferidos e liberados.
- Limpeza e organização da laje do pavimento inferior executadas.

- **Método executivo**

- a) Concretagem dos pilares**

- Lançar o concreto em queda livre (observar altura máxima para que não ocorra segregação) em camadas (de altura não superior ao comprimento da agulha do vibrador), vibrando adequadamente até atingir a cota prevista de parada (aproximadamente a 1 cm acima do fundo da viga mais baixa que chegar ao pilar).

- b) Concretagem das vigas e lajes**

- Posicionar as mestras metálicas.
- Umedecer a fôrma.
- Antes de lançar o concreto, limpar a cabeça do pilar e molhar a mesma até sua saturação, sem deixar água livre (empoçada) na superfície.
- Iniciar o lançamento do concreto.
- Durante a concretagem, fazer o acompanhamento por baixo da laje que está sendo concretada, das deformações que podem estar ocorrendo nas fôrmas e cimbramento. Utilizar as linhas, previamente posicionadas, para o controle das deformações.

- Sarrafejar com régua de alumínio, ou similar, o concreto lançado, adensando com vibrador na vertical.
- Retirar, nessa ocasião, o excesso de concreto nos arranques dos pilares.
- Lavar a parte inferior da fôrma e o piso de apoio das escoras, a fim de remover resíduos da concretagem.
- Retirar as mestras.
- Promover a cura.

c) Diretrizes para o correto uso do vibrador

- Adensar com a agulha na posição vertical, exceto em lajes, onde é permitido inclinar o vibrador.
- Distância entre pontos de imersão não superior ao raio de ação do equipamento.
- Altura da camada de vibração um pouco inferior ao comprimento da agulha do vibrador.
- Inserir a agulha na camada sendo vibrada sempre com o motor ligado, deixando-a afundar por si própria.
- Vibrar até o momento em que a superfície do concreto fique com aspecto “espelhado” e praticamente cesse a subida de bolhas de ar.
- Retirar a agulha da camada lentamente e com o motor ligado.

3 PROJETOS EXECUTIVOS

Os desenhos, apresentados a seguir, são referentes aos projetos executivos relativos às fôrmas, armações e escoramentos da estrutura de concreto em estudo.

ANEXO B

**FIGURAS, TABELAS E GRÁFICOS REFERENTES AO
MONITORAMENTO DA ESTRUTURA**

ANEXO C

FOTOS

