



Universidade do Estado do Rio de Janeiro
Centro de Tecnologia e Ciências
Faculdade de Engenharia

Anna Rosenblum

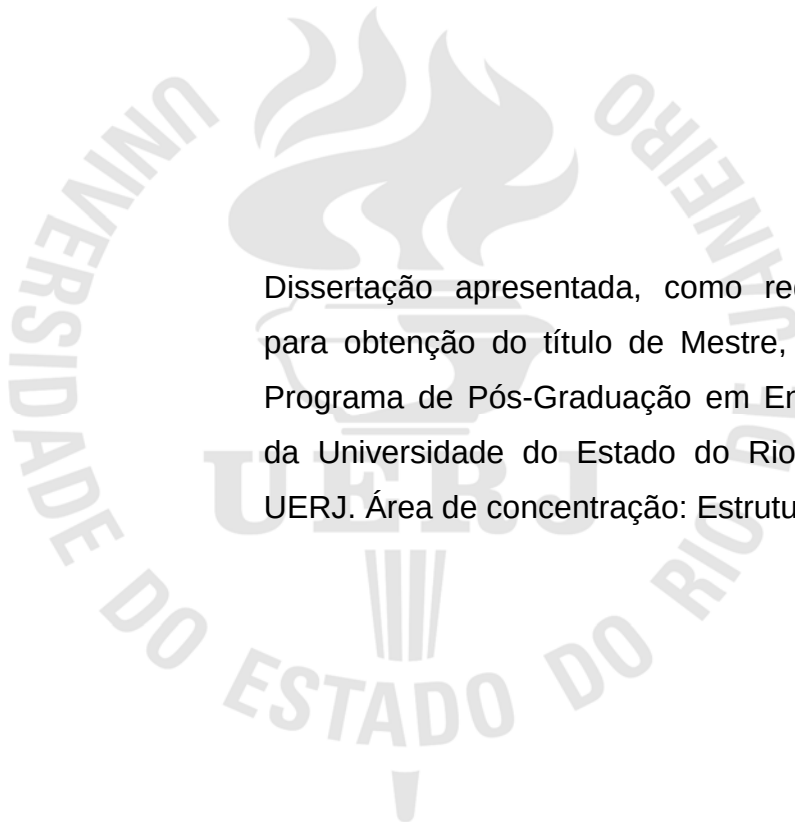
**Pontes em estruturas segmentadas pré-moldadas protendidas:
análise e contribuições ao gerenciamento do processo construtivo**

Rio de Janeiro

2009

Anna Rosenblum

**Pontes em estruturas segmentadas pré-moldadas protendidas:
análise e contribuições ao gerenciamento do processo construtivo**



Dissertação apresentada, como requisito parcial
para obtenção do título de Mestre, ao PGECIV -
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil
da Universidade do Estado do Rio de Janeiro -
UERJ. Área de concentração: Estruturas.

Orientador: Prof. Dr. Cyro Alves Borges Junior

Co-orientador: Prof.^a Dr.^a Maria Elizabeth da Nóbrega Tavares

Rio de Janeiro

2009

CATALOGAÇÃO NA FONTE
UERJ / REDE SIRIUS / BIBLIOTECA CTC/B

R813 Rosenblum, Anna.

Pontes em estruturas segmentadas pré-moldadas protendidas: análise e contribuições ao gerenciamento do processo construtivo / Anna Rosenblum. - 2009.
197 f.

Orientador: Cyro Alves Borges Junior.
Co-orientador: Maria Elizabeth da Nóbrega Tavares
Dissertação (Mestrado) – Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Faculdade de Engenharia.
Bibliografia: f.182-187

1. Estruturas de concreto pré-moldado e protendido – Teses. 2. Construção de pontes – Teses. 3. Gestão – cadeia de suprimentos – Teses. 4. Engenharia Civil. I. Borges Jr., Cyro Alves. II. Universidade do Estado do Rio de Janeiro. III. Título.

CDU 624.012.36

Autorizo, apenas para fins acadêmicos e científicos, a reprodução total ou parcial desta tese, desde que citada a fonte.

Assinatura

Data

Anna Rosenblum

Pontes em Estruturas Segmentadas Pré-moldadas Protendidas: Análise e Contribuições ao Gerenciamento do Processo Construtivo

Dissertação apresentada ao PGECIV - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade do Estado do Rio de Janeiro - UERJ, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil. Ênfase: Estruturas.

Aprovada em: 14 de agosto de 2009.

Banca Examinadora:



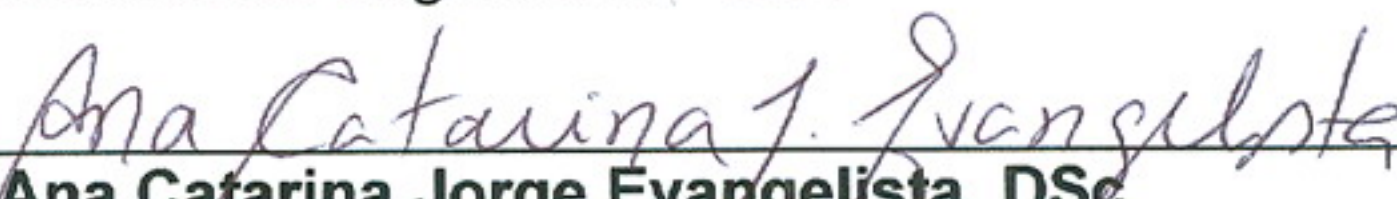
Prof. Cyro Alves Borges Junior, DSc - Presidente/Orientador
Departamento de Engenharia Mecânica - UERJ



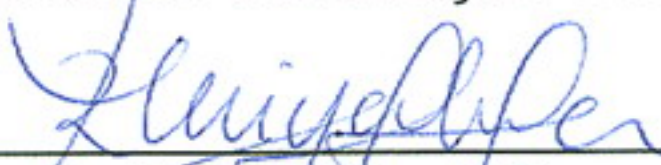
Prof.ª Maria Elizabeth da Nóbrega Tavares, DSc
Departamento de Estruturas e Fundações - UERJ



Prof. Luiz Antonio Vieira Carneiro, DSc
Instituto Militar de Engenharia - IME



Prof.ª Ana Catarina Jorge Evangelista, DSc
Departamento de Construção Civil - Poli - UFRJ



Prof. Ricardo Miyashita, DSc
Departamento de Engenharia Industrial - UERJ

DEDICATÓRIA

Aos meus pais e ao meu filho, meus maiores incentivadores, pelas palavras de carinho, força e solidariedade ao longo desta jornada.

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais, cujo apoio e incentivo foram responsáveis por minha chegada até aqui e por tudo que ainda virá.

Ao meu filho Yuri, que abriu mão de muito de nosso tempo juntos, no caminho até a conclusão deste trabalho.

Ao meu amigo Rodolfo Capeto, diretor da Escola Superior de Desenho Industrial, onde trabalho, pelo apoio de sempre, por me fazer acreditar em meu potencial, pela compreensão quando precisei me ausentar algumas vezes, por não me deixar desistir nos momentos mais difíceis, pelas inúmeras e incontáveis contribuições que enriqueceram esta pesquisa e por ser o principal incentivador pela continuidade e realização deste trabalho.

A amiga Adriana Ribeiro, designer, que muito me auxiliou e colaborou na elaboração da apresentação, nos momentos conclusivos deste trabalho.

Aos professores Cyro Borges e Maria Elizabeth pela inestimável paciência, pela ajuda e confiança que depositaram em mim, desde o início da minha orientação, mostrando-se dedicados e persistentes nos momentos mais difíceis, me incentivando e conduzindo sempre com muita determinação.

A todos os professores e a equipe do Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, PGE CIV, que sempre me receberam com muito carinho e dedicação, em especial ao professor Pedro Velasco pela compreensão do tempo que requisitei e à professora Bernadete pela imensa gentileza e colaboração com suas preciosas informações sempre que consultada.

A empresa EGT Engenharia Ltda. em especial ao engenheiro Marcelo Waimberg por me receber na empresa e me suprir de valiosas informações, além de estar sempre pronto a atender minhas solicitações pelos telefonemas recebidos, responder emails, pelas fotografias enviadas e pelas palavras de incentivo que nunca faltaram.

A empresa PREMAG - Sistema de Construções Ltda. em especial ao engenheiro José Ricardo Guimarães, por me proporcionar duas visitas guiadas à fábrica bem como pela paciência com que me forneceu todas as informações solicitadas sobre a tecnologia utilizada pela empresa, além de permitir fotografias do parque industrial de produção dos pré-fabricados, da execução completa das superestruturas das pontes, seus estoques e equipamentos.

Aos engenheiros Holly Williamson e Peter Rotolone da empresa australiana Queensland Motorways Ltd., responsável pela construção da segunda ponte em Brisbane (Gateway Upgrade Project), pela gentileza com que sempre me atenderam por meio de emails, pelas informações tão detalhadamente explicadas, pelas fotografias da época da construção da ponte, pelos folders e trabalhos impressos enviados, assim como toda sorte de apoio, incentivo e contribuição, que mesmo a distância, foi fundamental para a realização deste trabalho.

Aos engenheiros Marcos Vianna Pecly, Kelton Silvério, Rafael Alexandre e Nádia Moura, do Consórcio Queiroz Galvão - CR Almeida, da obra Rodoanel Sul – Lote 3, pela gentileza com que me receberam diversas vezes na obra e pelas importantes informações concedidas sobre o planejamento, metodologia utilizada na construção, assim como pela permissão para o acompanhamento de diversas etapas da obra, e realização das fotografias, sem as quais esta pesquisa não teria se concretizado.

Ao colega do curso de mestrado Diego Mendes Galvão Costa, pela colaboração na etapa final de programação da planilha de simulação.

Aos meus amigos da ESDI - Escola Superior de Desenho Industrial, especialmente aos professores Amador, Arísio, Frank, Freddy, Elianne, Gabriel, Léo, Lucy, Noni, Pedro, Roberto, Saboya, Sílvia e aos amigos Antônio, Gil e Vinícius, meus grandes incentivadores, pelo apoio e estímulo de sempre.

Finalmente, agradeço a todos aqueles que direta ou indiretamente colaboraram para a concretização deste trabalho.

RESUMO

Rosenblum, Anna. *Pontes em Estruturas Segmentadas Pré-moldadas Protendidas: Análise e Contribuições ao Gerenciamento do Processo Construtivo*. Rio de Janeiro, 2009. 197 f. Dissertação de Mestrado - Faculdade de Engenharia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade do Estado do Rio de Janeiro

Este trabalho tem por objetivo contribuir para a melhoria do gerenciamento do processo construtivo de execução de pontes e viadutos em estruturas segmentadas pré-moldadas protendidas, construídas em balanços sucessivos, com base em uma análise das metodologias adotadas e verificando a viabilidade de implantação de um modelo nos processos de gestão que utilizam métodos industriais para execução de obras de arte especiais. A partir da revisão da literatura técnica disponível e tomando como referência os métodos construtivos utilizados em dois canteiros de obras distintos, analisa-se a metodologia de gerenciamento construtivo adotada visando ao aperfeiçoamento do processo de fabricação e montagem, e consequente redução dos custos, desperdícios e prazos. Dentre os vários aspectos observados, ressalta-se a importância de se utilizar uma ferramenta de gerenciamento de projeto nas obras de pontes pré-moldadas, por se mostrarem um processo industrializado, repetitivo e com funcionamento similar a uma unidade fabril. Neste contexto, esta pesquisa visa fornecer subsídios para que se possam estabelecer diretrizes para uma melhor integração do projeto com a construção e consequente melhoria da execução nos canteiros de obras.

Palavras-chave: Pontes. Construção em segmentos pré-moldados protendidos. Gestão da produção. Planejamento. Cadeia de suprimentos.

ABSTRACT

This work aims to contribute to the improvement of the construction process of bridges and viaducts in precast prestressed segmented structures built in balanced cantilevers, based on an analysis of the methodologies adopted and assessing the viability of the establishment of a model for management processes that use industrial methods for the execution of special bridges. Following a review of the available technical literature, and taking as reference the constructive methods used in two different construction sites, the constructive methodology is assessed, aiming the improvement of the manufacturing, launching and erection process, and the resulting reduction in costs, waste and time. Among the several aspects examined, we emphasize the importance of the use of a project management tool in precast bridges job sites, as they show themselves to be an industrialized, repetitive process, working almost like a manufacturing unit. This research, thus, proposes to supply subsidies for the establishment of guidelines for a better integration of project and job site, and the consequent improvement of execution in construction sites.

Keywords: Bridges. Construction in precast prestressed segments. Production management. Planning. Supply chain.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 2.1 - Uma viga primitiva a leste de Qala Panji, Afeganistão.....	25
Figura 2.2 - Ponte Fabrício.....	26
Figura 2.3 - Ponte de Santo Ângelo.....	27
Figura 2.4 - Ponte de Céstio.....	27
Figura 2.5 - Ponte de Grubenmann.....	27
Figura 2.6 - Ponte sobre o rio Severn.....	28
Figura 2.7 - Ponte sobre o rio Paraíba do Sul.....	28
Figura 2.8 - Ponte de Sant'Ana.....	29
Figura 2.9 - Ponte Benjamin Constant.....	29
Figura 2.10 - Ponte Firth of Forth.....	30
Figura 2.11 - Ponte Barra do Piraí.....	30
Figura 2.12 - Viaduto Santa Efigênia.....	31
Figura 2.13 - Viaduto "Goethals".....	31
Figura 2.14 - Ponte "The New River Gorge".....	32
Figura 2.15 - Ponte "Natchez Trace Parkway".....	32
Figura 2.16 - Ponte "De La Barqueta".....	33
Figura 2.17 - Ponte sobre o Estreito de Menai.....	33
Figura 2.18 - Ponte do Brooklyn.....	34
Figura 2.19 - Ponte de São Vicente.....	34

Figura 2.20 - Ponte Akashi Kaikyo.....	35
Figura 2.21 - Ponte Severin.....	35
Figura 2.22 - Pontes em vigas mistas.....	36
Figura 2.23 - Elevado da Perimetral.....	36
Figura 2.24 - Elevado da Linha Vermelha - 2ª etapa.....	37
Figura 2.25 - Ponte Gateway, Brisbane.....	38
Figura 2.26 - Ponte da Normandia.....	38
Figura 2.27 - Esquemas de ponte em laje.....	40
Figura 2.28 - Pontes com vigas de alma cheia.....	41
Figura 2.29 - Esquemas de pontes em treliças. (a) Treliça Warren. (b) Treliça Pratt. (c) Treliça Howe.....	42
Figura 2.30 - Ponte de Quebec.....	42
Figura 2.31 - Esquemas de pontes em quadro rígido.....	43
Figura 2.32 - Ponte St. Goustan.....	43
Figura 2.33 - Esquemas de ponte em arco. (a) Ponte em arco com tabuleiro superior. (b) Ponte em arco com tabuleiro intermediário. (c) Ponte em arco com tabuleiro inferior.....	44
Figura 2.34 - Ponte Bloukrans.....	45
Figura 2.35 - Ponte de Marambaia.....	45
Figura 2.36 - Ponte tipo <i>Bow-string</i>	46
Figura 2.37 - Esquema de ponte pênsil.....	46

Figura 2.38 - Esquemas de pontes estaiadas. (a) Disposição em Harpa. (b) Disposição em Leque.....	47
Figura 2.39 - Ponte Sunshine Skyway.....	48
Figura 2.40 - Ponte localizada próximo à Savannah, Geórgia.....	48
Figura 3.1 - Sistema construtivo em balanços sucessivos.....	58
Figura 3.2 - Balanços sucessivos moldados <i>in loco</i>	58
Figura 3.3 - Lçamento de aduela pré-moldada.....	59
Figura 3.4 - Três formas distintas de execução do sistema construtivo em aduelas pré-moldadas.....	60
Figura 3.5 - Processo construtivo por deslocamentos progressivos.....	61
Figura 3.6 - Método dos deslocamentos progressivos. (a) Detalhe da treliça metálica. (b) Utilização no Viaduto de Meyssiez.....	62
Figura 3.7 - Montagem de viga pré-moldada por meio de guindaste pelo solo.....	65
Figura 3.8 - Montagem por balsa.....	66
Figura 3.9 - Representação esquemática da montagem por lançamentos progressivos.....	67
Figura 3.10 - Bico de lançamento utilizado como prolongamento e elemento de apoio na montagem de ponte por deslocamentos progressivos.....	68
Figura 3.11 - Montagem por balanços sucessivos.....	70
Figura 3.12 - <i>Guy derrick ou Derrick</i> estaiado.....	72
Figura 3.13 - <i>Derrick</i> de hastes.....	73
Figura 3.14 - <i>Traveller</i>	74

Figura 3.15 - Treliza lançadeira - Construção da Ponte sobre o rio Marombas, Santa Catarina, 2006.....	74
Figura 3.16 - Guincho utilizado no içamento de viga - Ponte sobre o rio Paraíba do Sul, São Fidélis, Rio de Janeiro, 2008.....	75
Figura 3.17 - Macaco hidráulico utilizado na montagem da Ponte Stonecutters Bridge, em Hong Kong, China.....	76
Figura 3.18 - Montagem de passarela para pedestres fabricada em usina de fabricação.....	77
Figura 4.1 - Sistema de procedimentos SLP.....	82
Figura 4.2 - Canteiro coberto para lançamento simultâneo de dois tabuleiros no anel viário de Tai Po, Hong Kong.....	89
Figura 4.3 - Canteiro com áreas cobertas para montagem de gaiolas de armação e concretagem na ponte sobre o rio Serio, Itália.....	90
Figura 5.1 - Principais obras realizadas e suas respectivas montagens. (a) Ponte sobre o rio Paraíba do Sul em São Fidélis, RJ, montagem com treliças de lançamento. (b) Viaduto de acesso à Linha Vermelha, Rio de Janeiro, RJ, montagem com guindaste. (c) Ponte sobre o canal São Fernando, Santa Cruz, Rio de Janeiro, RJ, montagem com guindaste sobre flutuante. (d) Passarela sobre a RJ-106, São Pedro D'aldeia, RJ, montagem com guindaste.....	95
Figura 5.2 - Parque industrial da Premag®. (a) Foto aérea da fábrica. (b) Layout da fábrica.....	97
Figura 5.3 - Seções transversais padrões das vigas pré-fabricadas pela Premag®..	98
Figura 5.4 - Cronograma do alargamento da ponte sobre o canal Taquara localizado na BR 116 - RJ.....	99
Figura 5.5 - Central de armação. (a) Estoque da ferragem e bancadas para corte e dobra da armação. (b) Máquina de corte e dobra da ferragem localizada no extremo da bancada. (c) O armador dobra a ferragem utilizada como estribos e espaçadores.....	100

Figura 5.6 - Detalhes das fôrmas. (a) Fôrmas em concreto com superfícies tratadas com epóxi. (b) Mecanismo que permite a rotação das fôrmas. (c) Guincho e ponte rolante que suspende a fôrma pelas alças nas laterais.....	101
Figura 5.7 - Detalhes das armaduras de protensão. (a) Distribuição da armadura de protensão ao longo da pista de fabricação. (b) Colocação das cunhas de ancoragem no extremo da pista.....	102
Figura 5.8 - Conferência das fôrmas e das armaduras na pista de fabricação.....	102
Figura 5.9 - Central de concreto.....	103
Figura 5.10 - Concretagem de uma viga com caminhão betoneira.....	104
Figura 5.11 - Retirada de material para realização do controle tecnológico e ensaios de resistência com corpos de prova.....	104
Figura 5.12 - Detalhes da protensão. (a) Encaixe do macaco hidráulico na extremidade. (b) Macaco hidráulico tracionando a armadura com verificação concomitante da carga de projeto. (c) A carga é atingida e o armador retira o macaco hidráulico cortando a extremidade da armadura com maçarico.....	105
Figura 5.13 - Estoque das peças concretadas.....	105
Figura 5.14 - Colocação da viga sobre o caminhão que a transporta para obra.....	106
Figura 5.15 - Transporte da viga com dois tratores mecânicos.....	106
Figura 5.16 - Tráfego em rodovias com segurança e planejamento da viagem.....	107
Figura 5.17 - Sistema de lançamento com guindaste de média capacidade. (a) Içamento de laje. (b) Içamento de viga. (c) Montagem de passarela de pedestres.....	108
Figura 5.18 - Treliza de lançamento.....	109
Figura 5.19 - Seqüência de montagem de uma viga transportada pelo cavalo mecânico com utilização de treliza lançadeira de fabricação própria. (a) Chegada da viga no local da obra. (b) e (c) Retirada e içamento	

da viga. (d) Movimentação da viga até o vão da montagem. (e) Montagem da viga. (f) e (g) Içamento do reboque e movimentação para retorno no cavalo mecânico.....	110
Figura 5.20 - Solidarização estrutural executada no local da obra.....	110
Figura 5.21 - Barreiras e guarda-corpos.....	111
Figura 5.22 - Diagrama da área de liberação.....	113
Figura 5.23 - Escavação para o Encontro A.....	114
Figura 5.24 - Pier 6.....	115
Figura 5.25 - Fundações do pier 6. (a) Broca <i>Calweld</i> operando na treliça e o martelo <i>Kobe</i> 45 cravando as estacas. (b) Interior da ensecadeira: 48 camisas de aço para estacas de concreto com 1,5 metros de diâmetro.....	116
Figura 5.26 - Fundações do pier 6. (a) Base de concreto executada utilizando quatro bombas de lançamento. (b) Armadura de aço colocada na base das estacas.....	117
Figura 5.27 - Estrutura para cravação das estacas no acesso do lado Norte.....	118
Figura 5.28 - (a) Pier 16: Cravação das estacas completada e a base das estacas escavada. (b) Pier 8: Armação de aço da base das estacas.....	118
Figura 5.29 - Pier 7: Armadura de aço colocada na base das estacas no interior da ensecadeira.....	119
Figura 5.30 - Fundações do pier 7 com estrutura de proteção contra impactos de navios.....	121
Figura 5.31 - Pátio de pré-moldagem dos segmentos pré-moldados dos vãos de acesso do lado sul.....	123
Figura 5.32 - Segmento pré-moldado da superestrutura do vão de acesso sobre o carregador.....	124

Figura 5.33 - Pátio de pré-moldagem dos segmentos pré-moldados dos vãos de acesso do lado norte.....	124
Figura 5.34 - Segmento pré-moldado da superestrutura do vão de acesso sendo levantado pela treliça de montagem.....	125
Figura 5.35 - Treliça de montagem antes do lançamento sobre os 88 metros de vão.....	128
Figura 5.36 - Treliça de montagem sendo transportada para baixo dos vãos de acesso do lado sul.....	129
Figura 5.37 - Treliça de montagem sendo carregada pelo guindaste flutuante.....	129
Figura 5.38 - Caixão do pier 6.....	130
Figura 5.39 - Detalhes das pontes rolantes no vão do balanço no pier 6. (a) Preparação da estrutura. (b) Montagem das pontes rolantes.....	131
Figura 5.40 - Cronograma de barras do planejamento construtivo do projeto.....	133
Figura 5.41 - Anel Viário Rodoanel Mario Covas.....	134
Figura 5.42 - Rodoanel Trecho Sul – Lote 3.....	135
Figura 5.43 - Vista e perfil longitudinal da ponte sobre a Represa Billings.....	136
Figura 5.44 - <i>Layout</i> do pátio de fabricação das vigas pré-moldadas.....	137
Figura 5.45 - Pátio de fabricação das vigas. Lançamento do concreto nas fôrmas por meio do caminhão betoneira, com utilização do pórtico manual sobre trilhos.....	138
Figura 5.46 - <i>Fischettis</i> (guincho sobre trilhos).....	138
Figura 5.47 - Viga retirada do berço para transporte ao local da montagem.....	139
Figura 5.48 - Carreta com <i>dolly</i>	139

Figura 5.49 - Içamento e montagem de viga pré-moldada no pátio de fabricação das vigas. (a) Içamento. (b) Montagem.....	140
Figura 5.50 - <i>Layout</i> do pátio de fabricação das aduelas pré-moldadas.....	141
Figura 5.51 - Processo de fabricação com concretagem em duas etapas.....	143
Figura 5.52 - Berço de estocagem das aduelas.....	144
Figura 5.53 - Aduela sendo carregada, pelo pórtico Munck, do berço de estocagem até a balsa que a transporta ao local da montagem.....	145
Figura 5.54 - Cronograma de lançamento das aduelas.....	145
Figura 5.55 - Ciclo de lançamento das aduelas.....	146
Figura 5.56 - Aduela sendo embarcada para montagem.....	147
Figura 5.57 - Equipamentos de içamento. (a) Montagem do balancim metálico, fixador angular superior e inferior. (b) Montagem do regulador de içamento.....	148
Figura 5.58 - A primeira aduela chegando pela balsa ao local do içamento.....	148
Figura 5.59 - Início do içamento da primeira aduela lançada na represa.....	149
Figura 5.60 - Detalhes da treliça de lançamento. (a) Içamento. (b) Posicionamento final.....	150
Figura 5.61 - Equipamentos de içamento no posicionamento final. (a) Ajuste transversal. (b) Detalhe do angulador superior. (c) Detalhe do angulador inferior.....	150
Figura 5.62 - Detalhes da aduela de ligação já concretada.....	151
Figura 5.63 - Avanço das treliças e novo içamento.....	152
Figura 5.64 - Treliças de travamento M150 da Mills. (a) Solução para o vão de 2 metros. (b) Solução para o vão de 5 metros.....	153

Figura 5.65 - Fechamento do vão central. (a) Fôrmas metálicas para concretagem. (b) Armação vista no interior do caixão.....	154
Figura 5.66 - Pátio de fabricação e estocagem das aduelas no trecho do aterro....	155
Figura 5.67 - Movimento inicial de descolamento do berço.....	157
Figura 5.68 - Nivelamento e posicionamento final.....	158
Figura 5.69 - Concretagem do anel de ligação.....	158
Figura 5.70 - Fechamento do vão central.....	160
Figura 5.71 - Vão completo da ponte executado.....	160
Figura 5.72 - Estrutura da ponte interna sobre a Represa Billings em fase de conclusão.....	161
Figura 6.1 - Formulário “FormIndex”.....	167
Figura 6.2 - (a) Planilha “Tendencia_fab”. (b) Dados da simulação do tempo de fabricação. (c) Dados da simulação do tempo de montagem.....	168
Figura 6.3 - Intervalos referentes à distribuição normal de fabricação e de montagem.....	169
Figura 6.4 - Células do intervalo “Prob_fabricação”.....	170
Figura 6.5 - Células do intervalo “Prob_montagem”.....	171
Figura 6.6 - Ferramenta “Colar especial”.....	174
Figura 6.7 - Números aleatórios gerados no processo de fabricação.....	175
Figura 6.8 - Números aleatórios gerados no processo de montagem.....	176
Figura 6.9 - Entrada de aduelas no estoque.....	177
Figura 6.10 - Consolidação de entradas e saídas de aduelas.....	178
Figura 6.11 - Estoque final de aduelas.....	179

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABCIC	Associação Brasileira da Construção Industrializada em Concreto
a.C.	Antes de Cristo
CAD	Concreto de alto desempenho
d.C.	Depois de Cristo
FIB	<i>Federation Internationale du Beton</i>
h	Hora
ISO	<i>International Organization for Standardization.</i>
Km	Kilômetro
m	Metro
m ²	Metro quadrado
m ³	Metro cúbico
min	Minuto
MPa	MegaPascal
NBR	Norma Brasileira
NR	Norma Regulamentadora
PCMAT	Programa de Condições e Meio Ambiente de Trabalho
Seg	Segundo
SLP	<i>Systematic Layout Planning</i>
t	Tonelada

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	22
1.1	Considerações gerais	22
1.2	Objetivo	23
1.3	Estrutura da dissertação.....	23
2	HISTÓRICO E CONSIDERAÇÕES GERAIS	25
2.1	Evolução histórica das pontes.....	25
2.2	Tipos de superestruturas e tecnologias construtivas.....	39
2.2.1	Pontes em laje.....	40
2.2.2	Pontes em viga de alma cheia.....	40
2.2.3	Pontes em viga de alma vazada (Trelças).....	41
2.2.4	Pontes em quadro rígido	43
2.2.5	Pontes em arco	44
2.2.6	Pontes pênses	46
2.2.7	Pontes estaiadas	47
3	MÉTODOS CONSTRUTIVOS DE PONTES E VIADUTOS.....	49
3.1	Considerações gerais	49
3.2	Evolução da pré-moldagem e da pré-fabricação	49
3.2.1	Principais diferenças entre o concreto pré-moldado e o pré-fabricado.....	50
3.2.2	Vantagens do concreto pré-moldado ou pré-fabricado em relação aos sistemas construtivos	51
3.2.2.1	<i>Redução do custo.....</i>	51
3.2.2.2	<i>Controle de qualidade</i>	52
3.2.2.3	<i>Rapidez na execução</i>	52
3.2.2.4	<i>Maior independência das condições climáticas.....</i>	52
3.2.2.5	<i>Qualidade estética e durabilidade</i>	52
3.2.3	Construções mistas de concreto pré-fabricado ou pré- moldado	53
3.3	Métodos construtivos	55
3.3.1	Superestruturas com vigas pré-moldadas e pré-fabricadas	55
3.3.2	Sistema em balanços sucessivos.....	57
3.3.3	Sistema por deslocamentos progressivos	60

3.4	Montagem de pontes, viadutos e passarelas.....	63
3.4.1	Introdução.....	63
3.4.2	Montagem de pontes	63
3.4.3	Sistemas de montagem de pontes	64
3.4.3.1	<i>Montagem pelo solo</i>	64
3.4.3.2	<i>Montagem por balsa.....</i>	65
3.4.3.3	<i>Montagem por lançamento.....</i>	66
3.4.3.4	<i>Montagem por balanços sucessivos.....</i>	69
3.4.4	Equipamentos utilizados na montagem de pontes	71
3.4.4.1	<i>Derricks</i>	72
3.4.4.2	<i>Travellers.....</i>	73
3.4.4.3	<i>Treliça lançadeira</i>	74
3.4.4.4	<i>Guinchos</i>	75
3.4.4.5	<i>Macacos hidráulicos</i>	76
3.4.5	Montagem de passarelas	76
3.5	Considerações finais	77
4	O CANTEIRO DE OBRAS	79
4.1	Considerações gerais	79
4.2	Planejamento do <i>layout</i> de canteiros de obras	80
4.3	Sistematização de projetos de arranjo físico - Sistema SLP (<i>Systematic Layout Planning</i>)	81
4.4	Projeto de <i>layout</i> de canteiros de obras.....	84
4.5	Canteiros de pré-moldagem	88
4.6	Considerações finais	90
5	DESCRIÇÃO DOS PROCESSOS CONSTRUTIVOS	92
5.1	Sistema construtivo da Premag®	94
5.1.1	Processo de fabricação	98
5.1.2	Transporte	106
5.1.3	Montagem.....	107
5.1.4	Considerações finais	111
5.2	A Construção da Ponte Gateway - Brisbane – Queensland	112
5.2.1	Introdução.....	112
5.2.2	Características técnicas e restrições do projeto	112
5.2.3	Planejamento da construção	114

5.2.4	Fundações.....	114
5.2.4.1	<i>Lado sul - encontro A e piers 1 a 5.....</i>	114
5.2.4.2	<i>Lado norte - construção das estacas.....</i>	117
5.2.4.3	<i>Construção dos piers - lado norte e lado sul</i>	120
5.2.5	Superestrutura.....	122
5.2.5.1	<i>Vãos de acesso – sul e norte</i>	122
5.2.5.2	<i>Caixões pré-moldados.....</i>	122
5.2.5.3	<i>Treliça de montagem e içamento</i>	125
5.2.5.4	<i>Lançamento e montagem.....</i>	126
5.2.5.5	<i>Montagem do vão de 88 metros</i>	128
5.2.5.6	<i>Transferência da treliça</i>	129
5.2.5.7	<i>Vãos no rio</i>	129
5.2.6	Considerações finais	133
5.3	Ponte sobre a Represa Billings no trecho sul do Rodoanel Mário	
	Covas.....	134
5.3.1	Introdução.....	134
5.3.2	Pátio de fabricação das vigas pré-moldadas.....	137
5.3.2.1	<i>Retirada do estoque e transporte das vigas pré-moldadas</i>	138
5.3.2.2	<i>Lançamento e montagem das vigas pré-moldadas</i>	140
5.3.3	Pátio de fabricação das aduelas pré-moldadas - trecho da represa.....	141
5.3.3.1	<i>Ciclo de fabricação</i>	142
5.3.3.2	<i>Ciclo de lançamento e montagem</i>	145
5.3.3.3	<i>Retirada do estoque e embarque da aduela.....</i>	146
5.3.3.4	<i>Içamento e posicionamento final</i>	148
5.3.3.5	<i>Concretagem do anel de ligação</i>	151
5.3.3.6	<i>Protensão</i>	151
5.3.3.7	<i>Corte dos cabos de içamento e avanço das treliças</i>	152
5.3.3.8	<i>Fechamento das aduelas no vão central.....</i>	152
5.3.4	Pátio das aduelas pré-moldadas – trecho do aterro	155
5.3.4.1	<i>Ciclo de fabricação</i>	156
5.3.4.2	<i>Içamento e posicionamento final</i>	156
5.3.4.3	<i>Concretagem do anel de ligação</i>	158
5.3.4.4	<i>Protensão</i>	159
5.3.4.5	<i>Fechamento das aduelas no vão central.....</i>	159

5.3.5	Considerações finais	161
6	CONTRIBUIÇÕES AO GERENCIAMENTO DO PROCESSO	
	CONSTRUTIVO	162
6.1	Generalidades	162
6.2	Conceituação	162
6.3	Premissas de implantação.....	163
6.4	Descrição do processo	164
6.5	Proposição do modelo	164
6.6	Desenvolvimento da planilha	166
6.6.1	Critérios estabelecidos	166
6.6.2	Identificação das células de <i>in put</i>	167
6.6.2.1	<i>Células do intervalo Prob_fabricacao</i>	<i>169</i>
6.6.2.2	<i>Células do intervalo Prob_montagem.....</i>	<i>170</i>
6.6.3	Identificação das células de <i>out put</i>	172
6.6.3.1	<i>Geração dos números aleatórios para definição da duração do período de fabricação e montagem das aduelas</i>	<i>172</i>
6.6.3.2	<i>Exportação do número aleatório gerado para o devido local</i>	<i>174</i>
6.6.3.3	<i>Visualização do período de fabricação e montagem das aduelas.....</i>	<i>174</i>
6.6.3.4	<i>Tabelas de entrada e saída no estoque de aduelas</i>	<i>176</i>
6.6.3.5	<i>Consolidação de entradas e saídas de aduelas no estoque</i>	<i>177</i>
6.6.3.6	<i>Formação do estoque final de aduelas.....</i>	<i>178</i>
6.6.4	Planilha de simulação.....	179
7	CONCLUSÕES	181
	REFERÊNCIAS	182
	ANEXO A - Exemplo de planilha de simulação executada a partir das probabilidades de duração de fabricação e montagem da obra em estudo.....	188

1 INTRODUÇÃO

1.1 Considerações gerais

O crescente desenvolvimento das técnicas de construção aliado à necessidade de aumentar a competitividade e a produtividade das obras vem estimulando a industrialização da construção civil. A necessidade de se garantir prazos, consumos, custos compatíveis, segurança, qualidade e redução dos desperdícios, visando à durabilidade da construção, ampliando sua vida útil e reduzindo futuros custos com manutenção e reparos, obrigam o empreendedor e o construtor a buscar metodologias e processos construtivos amplamente utilizados em vários países e também no Brasil, com resultados positivos já comprovados. Isso tem sido feito de duas maneiras:

- Pelo uso de componentes pré-fabricados, produzidos externamente e transportados para a obra prontos para montagem, que pode ser executada pelo próprio fabricante ou pela construtora;
- Pelo emprego de pré-moldados, produzidos no próprio canteiro da obra e cuja montagem é executada pela equipe de trabalhadores da construtora.

Cada um destes sistemas tem suas vantagens, dependendo dos ganhos econômicos, de custos e de tempo pretendidos em cada obra. O pré-moldado permite a confecção “in loco” de peças de todas as dimensões, pois, existindo espaço no canteiro não há limitação e dispensa quase que totalmente o transporte das peças. Tecnicamente, não há impedimento para utilização de pré-moldados em toda e qualquer obra. A experiência do projetista aliada às condicionantes técnico-econômicas são determinantes para se decidir sobre a utilização total ou parcial de elementos pré-moldados.

Quando há falta de espaço no canteiro e de disponibilidade de material os pré-fabricados se mostram mais vantajosos em diversas situações. Uma delas é a possibilidade de se usar elementos já protendidos de fábrica eliminando a execução desta tarefa na obra. A protensão proporciona grande economia, peças mais esbeltas e com maior capacidade de carga, além de evitar deformações, patologias e fissuras das peças transportadas.

A grande vantagem do uso de estruturas pré-moldadas ou pré-fabricadas é a inexistência de padrões que devam ser seguidos permitindo assim maior liberdade e criatividade aos projetistas.

As pontes se constituem, dentre as obras civis, em estruturas altamente favoráveis à industrialização, quer pela possibilidade de modulação dos seus componentes, quer pelas características dos seus processos construtivos. Há grande facilidade administrativa de pessoal pela repetitividade das operações e concentração das atividades em um único local, pequena mobilização de equipamentos além do transporte de material ao longo da obra ser praticamente nulo, comparado às construções convencionais com cimbramento, fôrmas e concretagem “in loco”.

1.2 Objetivo

O objetivo deste trabalho é estudar os métodos de construção das pontes com elementos pré-moldados e pré-fabricados, em função dos processos de execução mais utilizados, quais sejam, em balanços sucessivos, em lançamentos progressivos ou “pontes empurradas” e com vigas pré-fabricadas lançadas sobre tabuleiro em lajes, amplamente utilizado pelas empresas de pré-fabricados, chamando atenção para as vantagens da utilização de cada um desses métodos. A partir das informações obtidas, esta pesquisa se propõe analisar o gerenciamento da obra com base na metodologia de gestão da produção, planejamento e cadeia de suprimento, com vistas a contribuir para a melhoria do processo construtivo em termos de prazo, custo e qualidade de execução da obra.

1.3 Estrutura da dissertação

Com a finalidade de reunir o conhecimento básico necessário ao bom entendimento sobre o assunto e obter subsídios para a análise a que se propõe, esta dissertação foi estruturada em sete capítulos organizados conforme a seqüência abaixo relacionada.

O capítulo 1 tem caráter introdutório contendo informações relevantes para compreensão inicial do estudo. Para isso são apresentadas as considerações iniciais, o objetivo e a estrutura da dissertação.

O capítulo 2 consiste de uma revisão bibliográfica sobre a evolução histórica das pontes, desde a antiguidade, quando a necessidade de se encontrar meios para travessia de rios e riachos associada à criatividade, fez surgir os primeiros conceitos estruturais dos tipos de pontes. Aborda também os principais tipos de superestruturas e tecnologias construtivas, ilustrando cada caso com exemplos de grandes obras construídas.

O capítulo 3 descreve detalhadamente os métodos construtivos das pontes e viadutos com base na utilização de estruturas pré-moldadas. Para isso se fez necessário apresentar uma evolução da pré-moldagem e da pré-fabricação, suas características e principais diferenças. Complementando o assunto, apresentam-se os principais sistemas de montagem e equipamentos utilizados.

O capítulo 4 aborda o tema sobre canteiro de obras. Apresenta suas principais características, alguns procedimentos para a construção da planta de layout e considerações para a organização de canteiros de pré-moldagem.

O capítulo 5 trata do desenvolvimento da presente pesquisa, dividida em três partes distintas:

- A primeira parte descreve a metodologia utilizada em uma usina de fabricação de estruturas pré-fabricadas visitada, a Premag®;
- A segunda parte descreve a construção da Ponte Gateway em Brisbane, Austrália, projetada e construída entre 1980 e 1986 pela empresa Transfield (Qld.) Pty. Ltd.;
- A terceira parte descreve a construção da Ponte sobre a Represa Billings no trecho sul do Rodoanel Mário Covas, em São Bernardo do Campo, São Paulo, coordenada pela Dersa S.A., iniciada em junho de 2007 e conclusão prevista para abril de 2010.

Em cada uma delas foi realizada uma descrição detalhada da metodologia construtiva adotada na construção de pontes com uso de pré-moldados e pré-fabricados em contraste uma com as outras. Foi dada ênfase à obra da Ponte sobre a Represa Billings, ainda em fase de construção, de onde foi possível obter dados em tempo real que foram considerados para análise do planejamento.

O capítulo 6 descreve uma metodologia de gerenciamento construtivo com base nas informações obtidas da obra principal apresentada no capítulo 5.

O capítulo 7 é dedicado às conclusões e considerações finais, assim como recomendações para trabalhos futuros.

2 HISTÓRICO E CONSIDERAÇÕES GERAIS

2.1 Evolução histórica das pontes

Pontes podem ser definidas simplesmente como construções que ligam dois pontos separados por algum elemento que impeça a continuidade de uma via, com ideal sujeição às cargas e pleno equilíbrio estrutural, reduzindo distâncias e superando obstáculos.

Desde a remota antigüidade, quando as populações começaram a se agrupar em comunidades (aldeias e cidades) e apareceram as primeiras preocupações em se encontrar meios para a travessia de rios, riachos e vales, surgiram as pontes e mais tarde os viadutos, assim classificados quando o obstáculo a ser vencido não é constituído por água (PINHO, 2007).

As pontes foram possivelmente inspiradas no próprio meio ambiente em que vivia o homem primitivo. Uma árvore caída sobre um fosso, palmeiras heliotrópicas buscando outra margem, passarelas de pedra atravessando espaços e outras estruturas vegetais ou geológicas da Natureza (Figura 2.1), eram utilizadas pelo homem para esta função e teriam servido como modelo para as primeiras pontes e viadutos.



Figura 2.1 – Uma viga primitiva a leste de Qala Panji, Afeganistão (BROWN, 2001).

As pontes e os viadutos têm sido através dos tempos, um dos principais objetos da atenção e interesse dos construtores, tornando-se, em muitos casos, as estruturas arquitetônicas mais significativas das localidades em que se situam, além de serem referência e demonstração do desenvolvimento de uma comunidade.

O arquiteto renascentista italiano Andrea Palladio (1508-1580) apontava três princípios básicos a serem adotados na construção de pontes: elas deveriam ser adequadas, bonitas e duráveis.

O que principalmente se espera é que possibilitem a travessia e garantam passagem segura. São elas que – aliando engenharia primorosa e gênio artístico – têm facilitado a vida dos homens em suas idas e vindas, levando cargas e passageiros, esperança e progresso.

Os primeiros materiais a serem usados em construção de pontes foram a pedra e posteriormente a madeira.

As mais antigas pontes de pedra foram construídas em Roma empregando a técnica dos arcos aprendida com os etruscos. Existem inúmeras pontes em toda a Europa, mas as mais antigas estão situadas em Roma, Itália, e dentre estas se pode citar três pontes ainda hoje servindo a população local, que são: a Ponte Fabrício (62 a.C), a Ponte de Santo Ângelo (134 d.C) e a Ponte de Céstio (365 d.C), exemplares clássicos dessa técnica, ilustrados nas Figuras 2.2, 2.3 e 2.4, respectivamente.



Figura 2.2 - Ponte Fabrício. Disponível em:
<http://en.wikipedia.org/wiki/Pons_Fabrizius>



Figura 2.3 - Ponte de Santo Ângelo. Disponível em:
<http://pt.wikipedia.org/wiki/Ponte_Sant'Angelo>



Figura 2.4 - Ponte de Céstio. Disponível em:
<http://en.wikipedia.org/wiki/Pons_Cestius>

Com relação às pontes de madeira há notícias de que os romanos as usaram para vencer a travessia de rios largos, como o Reno e o Danúbio. Como exemplo, se pode citar uma das pontes de Grubenmann em Schaffhausen, na Suíça construída em 1757, sobre o rio Reno, com dois vãos de 52,0 e 59,0m (Figura 2.5).

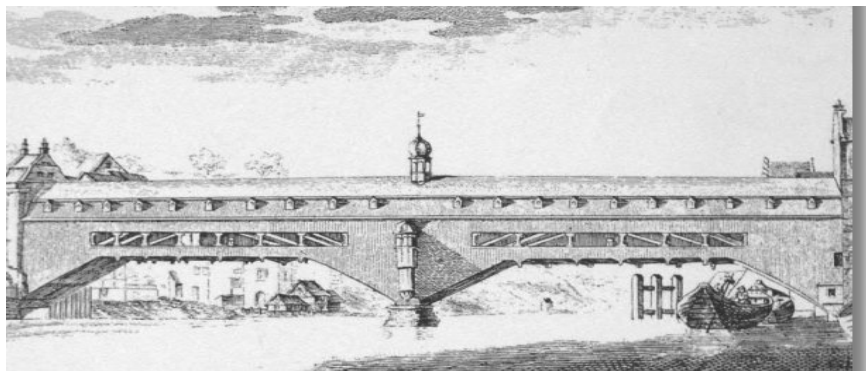


Figura 2.5 - Ponte de Grubenmann.
Disponível em: <<http://www.bernd-nebel.de/bruecken>>

Neste período, os materiais predominantemente utilizados na construção destas obras foram as pedras e a madeira, até o surgimento do aço que permitiu a construção de estruturas mais leves com vãos maiores.

A primeira ponte toda construída em ferro fundido foi a Ponte sobre o rio Severn ou Ponte de Coalbrookdale (Figura 2.6), construída em 1779, na Inglaterra, para um vão de 31m, com 15m de largura e comprimento total de 59m. Essa ponte ficou conhecida como a Ponte de Aço.



Figura 2.6 – Ponte sobre o rio Severn. Disponível em: <<http://www.lmc.ep.usp.br>>

No Brasil as primeiras pontes rodoviárias em treliça totalmente em aço foram construídas entre 1850 e 1880. Em 1857 foi construída a ponte mais antiga do Brasil feita em ferro fundido, que é a ponte sobre o rio Paraíba do Sul (Figura 2.7) na cidade do mesmo nome, com 5 vãos de 30m, em treliça arqueada, com largura de 6m. Esta obra de arte foi construída pelo Barão de Mauá, sendo fundida em seus estaleiros na Ponta da Areia em Niterói, sob a supervisão do engenheiro inglês Dadgson. Esta ponte, depois de uma reforma em 1981, encontra-se em serviço até hoje, servindo apenas para carro de passeio e ônibus.



Figura 2.7 – Ponte sobre o rio Paraíba do Sul. Disponível em: <<http://www.inepac.rj.gov.br/modules/guia/images>>

Outras pontes em treliça que valem a pena ressaltar são a Ponte de Sant'Ana (Figura 2.8) sobre o rio Piabanha com um vão de 46m na Estrada União Indústria construída em 1860, considerada uma das mais bonitas na época, e a Ponte Benjamin Constant (Figura 2.9), em Manaus, com vão central de 60m e dois vãos de 30m em treliça Gerber tipo Pratt, com largura de pista de 10,5m e total de 14,5m, cuja construção data de 1880.

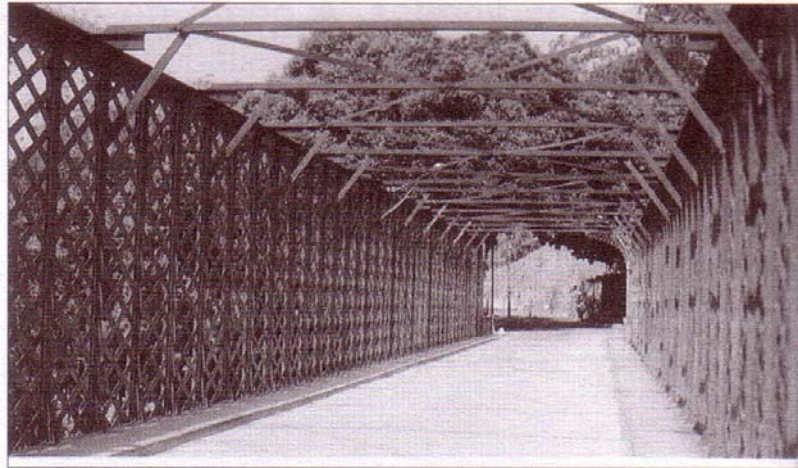


Figura 2.8 – Ponte de Sant'Ana. Disponível em: <<http://www.wikipedia.org>>



Figura 2.9 - Ponte Benjamin Constant. Disponível em: <<http://www.wikipedia.org>>

Por esta mesma época surgiram as pontes com treliça em balanço, sendo a mais importante a Firth of Forth, em Edimburgo, na Escócia (Figura 2.10), construída em 1890, com vão livre de 521m e altura de 105m com 50.000t de aço, estando em uso até os dias de hoje. Cabe ressaltar que esta ponte já foi fabricada usando o aço

Siemens Martin, cuja qualidade era superior ao do aço pudlado usado anteriormente.



Figura 2.10 - Ponte Firth of Forth.

Disponível em: <http://en.wikipedia.org/wiki/Forth_Railway_Bridge>

No Brasil registra-se a construção, em 1900, da ponte rodo-ferroviária de Barra do Piraí em treliças arqueadas com 5 vãos de 47m e largura de pista de 7,0m (Figura 2.11) e em 1913, no centro de São Paulo, a construção do Viaduto Santa Efigênia, com 225 metros de extensão composto de três arcos. Sua estrutura metálica, em ferro fundido, foi executada na Bélgica e as grades do guarda-corpo são de ferro forjado, em estilo *art nouveau*, representando um dos mais importantes viadutos de ferro remanescentes da arquitetura em São Paulo (Figura 2.12).



Figura 2.11 - Ponte Barra do Piraí. Disponível em: <<http://www.wikipedia.org>>



Figura 2.12 - Viaduto Santa Efigênia. Disponível em: <<http://www.wikipedia.org>>

A Figura 2.13 mostra o Viaduto “Goethals”, que exemplifica uma estrutura em treliça metálica. Com 2130m de comprimento e vão central de 200m, ligando os Estados de New Jersey e New York, Estados Unidos, foi aberto ao tráfego em 1928.

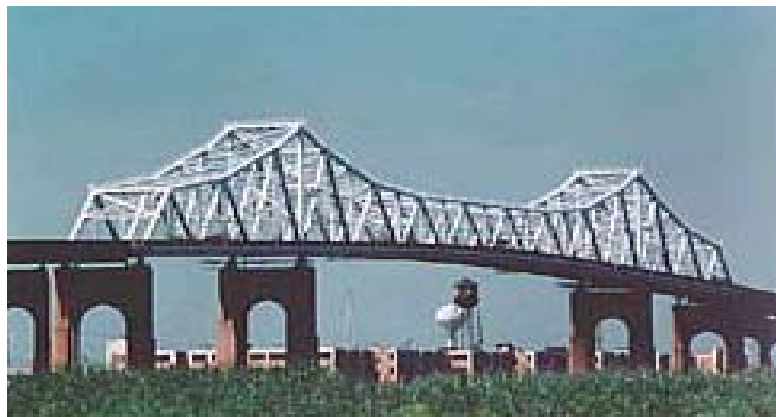


Figura 2.13 – Viaduto “Goethals”.

Disponível em: <[http:// www.argonet.co.uk/users/deano/bridges](http://www.argonet.co.uk/users/deano/bridges)>

Com a evolução do aço como material de construção e o surgimento do concreto armado e protendido, as pontes em arco puderam ter vãos cada vez maiores. Como exemplos mais recentes destas pontes podem ser citados a ponte “The New River Gorge” completada em 1977, com 924m de extensão, e 267m de altura, considerada a ponte em arco, de aço, de maior comprimento e maior altura das Américas (Figura 2.14), e a ponte “Natchez Trace Parkway” (Figura 2.15), em arco duplo de concreto, oficialmente inaugurada em 1994, com 479m de comprimento total, vão livre principal de 177m e 44m de altura, que foi a primeira ponte em arco construída com segmentos pré-moldados nos Estados Unidos. Seu

tabuleiro é formado por 196 segmentos trapezoidais pré-moldados protendidos (pós-tensionados), cada um com 2,6m de comprimento.



Figura 2.14 – Ponte “The New River Gorge”.
Disponível em: <<http://www.commonswikipedia.org>>



Figura 2.15 – Ponte “Natchez Trace Parkway”.
Disponível em: <<http://www.commonswikipedia.org>>

Outro exemplo da evolução do aço como material de construção é a ponte “De La Barqueta” sobre o Rio Guadalquivir em Sevilha, Espanha (Figura 2.16). Uma estrutura de aço tipo *bowstring*, em arco com 214m de comprimento, cujos extremos formam um pórtico triangular de cada lado, atirantado pelo próprio tabuleiro, que tem comprimento de 168m e cujos únicos apoios são quatro suportes verticais a uma distância de 30m. Uma obra que faz a perfeita associação da estrutura com uma obra de arte.



Figura 2.16 – Ponte “De La Barqueta”. Disponível em:
<<http://www.commonswikipedia.org>>

O aço e o concreto aliados ao desenvolvimento e a tecnologia propiciaram o surgimento de novos tipos de estruturas de pontes, mais arrojadas e com comprimentos e vãos ainda maiores. Isto pode ser observado nas pontes suspensas, estaiadas e mistas, que pela sua própria esbelteza, demonstram perfeitamente a capacidade destes materiais.

As pontes pênséis, que por si só já são uma história, na realidade apareceram por volta de 1801, sendo a mais importante a ponte sobre o Estreito de Menai, Inglaterra, projetada por Thomas Telford entre 1818-1826 com 177m de vão central e comprimento total de 521m (Figura 2.17). A era das pontes pênséis iniciou em 1869 com a ponte do Brooklyn, em Nova Iorque, Estados Unidos, com vão central medindo 486m e comprimento total de 1825m. Quando concluída, em 1883, era considerada a maior ponte suspensa do mundo (Figura 2.18).



Figura 2.17 – Ponte sobre o Estreito de Menai.
Disponível em: <<http://www.lmc.ep.usp.br/people/hlinde/estruturas/menai.htm>>



Figura 2.18 – Ponte do Brooklyn.

Disponível em: <http://pt.wikipedia.org/wiki/Ponte_do_Brooklyn>

No Brasil, registramos a construção da ponte pênsil de São Vicente em 1914 com 180m de vão livre (Figura 2.19).



Figura 2.19 – Ponte de São Vicente. Disponível em: <[http:// www.wikipedia.org](http://www.wikipedia.org)>

As pontes pênséis, até hoje, são construídas cada vez mais esbeltas e superando seus próprios recordes. Para ilustrar a evolução das pontes pênséis, a Ponte Akashi-Kaikyo, também conhecida como Ponte Pearl, é atualmente a maior ponte suspensa do mundo, com 3911m de comprimento. Constituída por três vãos, sendo os dois extremos com 960m, é recorde mundial de vão central com 1991m (Figura 2.20). Com início de construção em 1988 e inaugurada em 1998, esta ponte liga as cidades de Kobe e Awaji Island no Japão. Foi concebida para resistir a ventos de 286 km/h, sismos de 8,5 na escala Richter e a fortes correntes marítimas. O topo das duas torres de suporte encontra-se a 298m acima do nível do mar.



Figura 2.20 – Ponte Akashi Kaikyo.
Disponível em: <<http://www.engenhariacivil.wordpress.com>>

Após a fase das pontes em arco e treliça, surgiram as pontes em vigas caixão, estaiadas e mistas. O grande desenvolvimento deste tipo de ponte veio a partir de 1945, após a segunda Guerra Mundial.

As pontes em caixão com piso de concreto são mais usadas para médios vãos e o caixão com piso ortotrópico para grandes vãos. Este tipo é adotado em médios vãos mais por questões estéticas do que econômicas.

As pontes estaiadas surgiram na Alemanha como uma derivação das pontes suspensas. Em geral, são eficientes e econômicas com piso em caixão ortotrópico para vãos acima de 300m. Uma das pontes estaiadas mais famosas do mundo é a Ponte Severin, em Colônia na Alemanha, com vão livre de 350m, cuja construção data de 1960 (Figura 2.21).



Figura 2.21 – Ponte Severin. Disponível em: <<http://www.wikipedia.org>>

Também após a 2ª. Guerra Mundial desenvolveram-se as pontes mistas aço-concreto, onde o tabuleiro é de concreto e a viga é de aço, podendo ser em perfil laminado, soldado ou caixão.

Neste tipo de ponte o aço trabalha junto com o concreto, cada qual na sua melhor função. Para isto é necessário que sejam soldados à mesa superior das vigas, conectores do tipo U, L, espirais ou pinos (*Studs*) por meio de máquinas automáticas que conferem grande rendimento, barateando a construção (Figura 2.22).

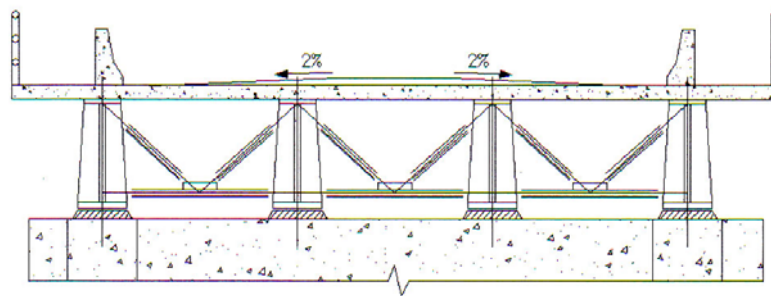


Figura 2.22 – Pontes em vigas mistas. Disponível em: <[http://www.cbca-ivs.org.br](http://www.cbca-ibs.org.br)>

Como exemplos de construção rodoviária tipo mista têm-se os elevados da Perimetral e Linha vermelha na cidade do Rio de Janeiro.

O elevado da Perimetral (Figura 2.23) construído entre 1973 e 1978, tem 7326m de comprimento, com vãos variando de 31 a 60m, e largura de pista de 19m para quatro faixas de tráfego, todo em vigas bi-apoiadas, composto por longarinas e transversinas, formando grelhas. Neste elevado, o consumo de aço (de alta resistência à corrosão atmosférica) foi da ordem de 25000 toneladas e o de concreto de 57000m³.



Figura 2.23 – Elevado da Perimetral. Disponível em: <<http://www.cbca-ivs.org.br>>

O elevado da Linha Vermelha foi construído em duas etapas, sendo a primeira de 1973 a 1979 e a segunda de 1991 a 1992.

A primeira etapa com 4660 m, vãos variando de 20 a 65 m, largura de pista variável, sendo em alguns trechos de duas pistas de tráfego e em outros de cinco pistas, sendo parte em viga caixão contínua e parte em grelhas, consumindo 22000 toneladas de aço e 27000 m³ de concreto.

A segunda etapa com 2500 m, vãos variando de 30 a 75m, e largura de pista de 10m, consumindo 8800 toneladas de aço e 54000 m³ de concreto (Figura 2.24).

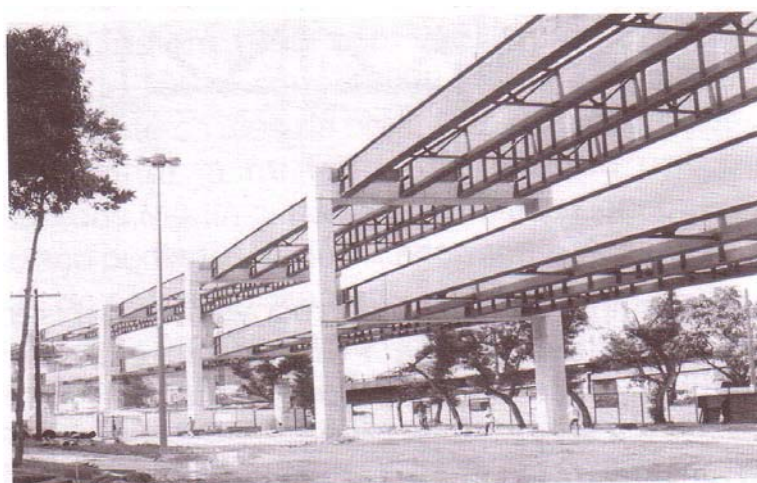


Figura 2.24 - Elevado da Linha Vermelha - 2ª etapa.
Disponível em: <<http://www.cbca-ibs.org.br>>

Embora alguns arquitetos e engenheiros de cada época acreditassem ter alcançado o limite para projeto e construção de pontes e viadutos e assim ter chegado ao fim da estrada dos novos desenvolvimentos, a História tem indicado outra realidade.

Um exemplo da arquitetura e do desenvolvimento da tecnologia de construção de pontes é a Ponte Gateway em Brisbane, Austrália (Figura 2.25), projetada e construída entre 1980 e 1986. É uma ponte com estrutura em segmentos sucessivos em concreto protendido pré-moldado, com 1627m de comprimento total, tendo o vão principal 260m de comprimento, considerado na época o maior vão livre em estruturas celulares em concreto protendido. O seu método construtivo é parte do objeto de estudo neste trabalho, e a sua construção está detalhada no capítulo 5, item 5.2.



Figura 2.25 – Ponte Gateway, Brisbane. Disponível em:
<<http://www.en.structurae.de/structures>>

Outra ponte que merece ser destacada é a Ponte da Normandia (Figura 2.26), construída na França em 1995. É uma ponte estaiada com vão central de 856m considerado o segundo maior vão livre em pontes estaiadas.



Figura 2.26 – Ponte da Normandia. Disponível em:
<<http://www.matsuo-bridge.co.jp/english/bridges>>

Atualmente, o engenheiro estrutural tem a sua disposição um grande poder de análise, com o uso de programas computacionais nunca antes imaginados. Esta ferramenta pode desenvolver em minutos o que antes levaria meses ou anos. Com este ganho de tempo, muitos tipos de pontes têm sido investigados e outros estão atingindo o seu dimensionamento ótimo.

Novos materiais sem dúvida aparecerão, tornando possíveis pontes e viadutos mais esbeltos, leves e bonitos.

2.2 Tipos de superestruturas e tecnologias construtivas

A escolha da superestrutura de uma ponte ou viaduto depende de vários fatores que devem ser levados em consideração, tais como:

- a) Função e finalidade;
- b) Localização, topografia local e natureza do solo;
- c) Extensão, vão livre e restrições a serem obedecidas;
- d) Acessos e saídas;
- e) Tempo de execução previsto;
- f) Custos disponíveis para obra;
- g) Estética, que hoje em dia, faz com que as estruturas sejam vistas como verdadeiras obras de arte.

O processo construtivo como um todo costuma ser dividido em quatro etapas fundamentais: concepção, projeto, execução e montagem, para as quais o conhecimento dos fatores acima é de suma importância.

Alguns ainda consideram a manutenção como etapa do processo construtivo, porém, nem sempre a empresa que executa fica com esta responsabilidade. A etapa de manutenção tem importância fundamental na segurança e na vida útil das estruturas, visto que se estende ao longo de todo o seu tempo de vida e por esta razão a construção deverá ser regularmente supervisionada por profissionais especializados.

Quanto ao sistema estrutural, são várias as concepções estruturais que podem ser adotadas como superestruturas no projeto de uma ponte ou viaduto, dentre elas pode-se citar:

- a) Ponte em laje;
- b) Ponte em vigas de alma cheia;
- c) Pontes em vigas de alma vazada (treliças);
- d) Pontes em vigas caixão;
- e) Pontes em quadro rígido (pórticos);
- f) Pontes em arcos;
- g) Pontes suspensas por cabos (estaiadas e pênséis).

2.2.1 Pontes em laje

As pontes em laje possuem a seção transversal desprovida de qualquer vigamento, podendo ter um sistema estrutural simplesmente apoiado ou contínuo.

A Figura 2.27(a) mostra um exemplo de seção transversal típica desta estrutura em um sistema simplesmente apoiado em encontros. Este sistema estrutural apresenta algumas vantagens, como pequena altura de construção, boa resistência à torção e rapidez de execução, possuindo também boa relação estética. Podem ser moldadas no local ou constituídas de elementos pré-moldados, e os detalhes de fôrmas e das armaduras e a concretagem são bastante simples.

As soluções de pontes em laje podem ser de concreto armado ou protendido com a relação entre a espessura da laje e o vão variando de $1/15$ a $1/20$ para concreto armado e até $1/30$ para concreto protendido. Quando os vãos são muito grandes, o peso próprio é muito alto e costuma-se adotar a solução da seção transversal em laje alveolada (Figura 2.27(b)), onde os vazios podem ser conseguidos com fôrmas perdidas, através de tubos ou perfilados retangulares de compensado ou de plástico (MASON, 1977).

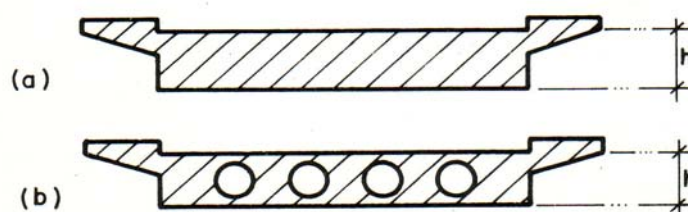


Figura 2.27 – Esquemas de ponte em laje (MASON, 1977).

2.2.2 Pontes em vigas de alma cheia

Este sistema estrutural possui vigamentos suportando o tabuleiro. As vigas principais são denominadas de longarinas e normalmente são introduzidas transversinas para aumentar a rigidez do conjunto. Quando a seção transversal é feita com vigas sem laje inferior, pode-se adotar transversinas intermediárias além das transversinas de apoio, e quando a seção transversal é feita em caixão celular, não é necessário ter-se transversinas intermediárias em função da grande rigidez à torção do conjunto. Segundo Mason (1977), quando a obra não termina em encontros, a transversina extrema assume características particulares, substituindo o

encontro na função de absorver os empuxos dos aterros de acesso, sendo normalmente denominada de cortina. A Figura 2.28 ilustra estas características e a seção transversal deste tipo de obra.

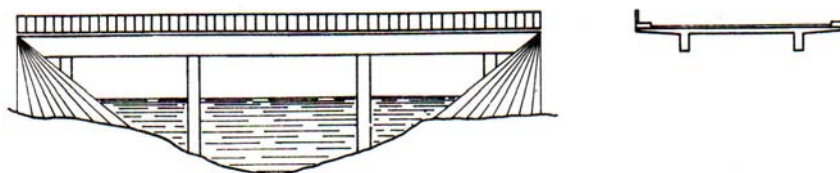


Figura 2.28 – Pontes com vigas de alma cheia (PFEIL, 1979).

2.2.3 Pontes em vigas de alma vazada (Trelças)

Nestas pontes, o tabuleiro com a pista de rolamento pode estar na parte superior ou inferior da trelça. São comumente feitas de aço e de madeira, possuindo a característica de serem estruturas leves e de rápida execução, podendo se tornar complexas e de grande porte, apesar de leves.

As trelças são classificadas pela disposição de suas hastes, sendo as formas mais representativas a trelça Warren, a trelça Pratt e a trelça Howe (Figura 2.29).

A trelça Warren é talvez a mais comum, sendo normalmente utilizada quando se necessita de uma estrutura simples e contínua, sem elementos verticais, para vencer pequenos vãos, entre 50 e 100 metros de comprimento.

A trelça Pratt é identificada pelos seus elementos diagonais que, com exceção dos extremos, todos eles descem e apontam para o centro do vão. Exceto os dois elementos diagonais, próximos ao meio do vão, todos os demais elementos diagonais estão sujeitos somente a forças de tração, enquanto os elementos verticais suportam as forças de compressão. Isto contribui para que os elementos diagonais possam ser delgados, diminuindo, portanto, o custo do projeto.

A trelça Howe, patenteada por William Howe em 1840, é o oposto da trelça Pratt. Apresentou a inovação de associar hastes de aço verticais com elementos diagonais de madeira. Os elementos diagonais estão dispostos na direção contrária do centro do vão e suportam as forças de compressão. Isso faz com que os perfis metálicos necessitem ser um pouco maiores, tornando a ponte mais cara quando construída em aço. Geralmente são utilizadas para vencer vãos até 500 metros de comprimento.

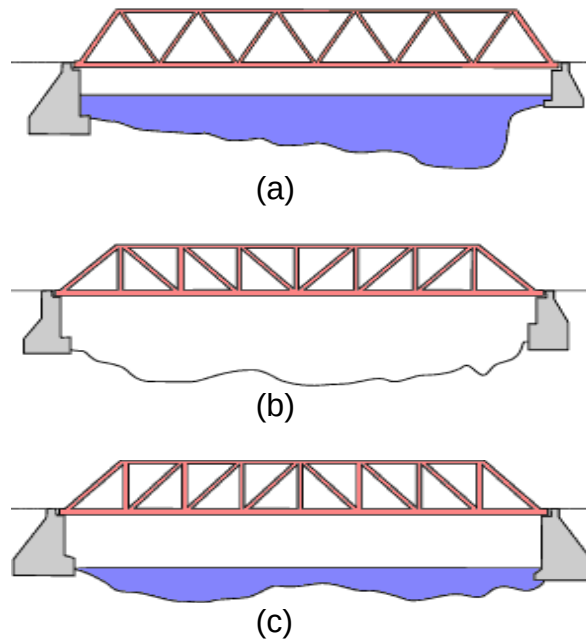


Figura 2.29 - Esquemas de pontes em treliças. (a) Treliça Warren. (b) Treliça Pratt. (c) Treliça Howe. Disponível em: <<http://www.arq.ufsc.br/arq5661>>.

A Ponte de Quebec (Figura 2.30), no Canadá, é um exemplo típico de estrutura em treliça Howe. Construída em 1919, em aço rebitado, com um comprimento total de 987 metros e um vão central de 549 metros, constituída de três pistas rodoviárias, uma linha ferroviária e uma passarela para pedestres, foi considerada a ponte *cantilever* em aço mais longa do mundo. Em 1987, foi declarada como monumento histórico pela Sociedade Americana e Canadense de Engenheiros civis.

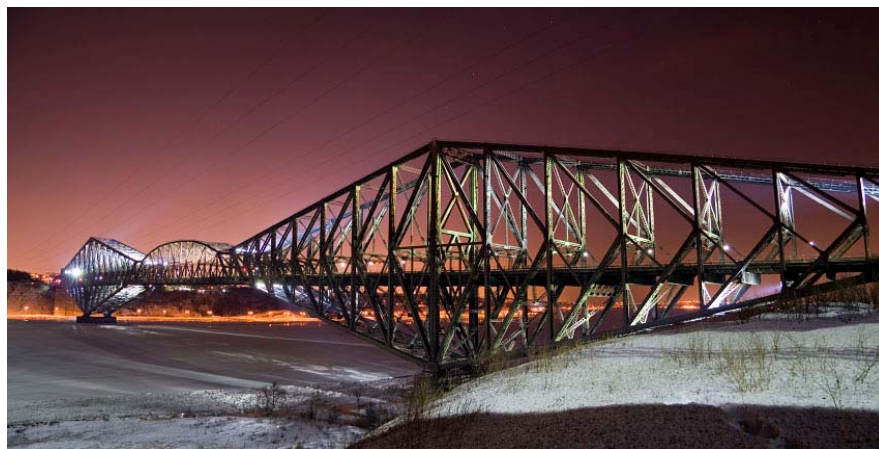


Figura 2.30 – Ponte de Quebec.

Disponível em: <<http://canada.archiseek.com/quebec/quebec/pont.html>>

2.2.4 Pontes em quadro rígido

Nestas pontes a superestrutura e a mesoestrutura estão monoliticamente ligadas, eliminando-se o uso de aparelhos de apoio. Isto é conveniente quando há pilares esbeltos e existe a necessidade da redução do comprimento de flambagem (característica do pilar bi-engastado), ou quando se deseja ter manutenção mínima, uma vez que inexistem articulações e aparelhos de apoio (MASON, 1977).

Existem várias formas de pontes em quadro rígido. A Figura 2.31(a) ilustra uma forma muito usada para pontes sobre rios e vales profundos, por dispensar apoios intermediários e pilares extremos e, a Figura 2.31(b) apresenta outra forma em que uma única fundação é utilizada para dois elementos de apoio do tabuleiro.

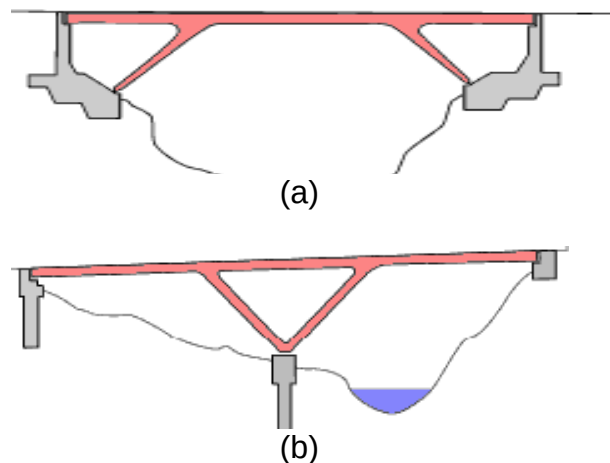


Figura 2.31 – Esquemas de pontes em quadro rígido.
Disponível em: < [http:// www.arq.ufsc.br/arq 5661](http://www.arq.ufsc.br/arq5661)>

A Ponte St. Goustan (Figura 2.32), na França, é um exemplo típico de estrutura em quadro rígido sem apoios intermediários.

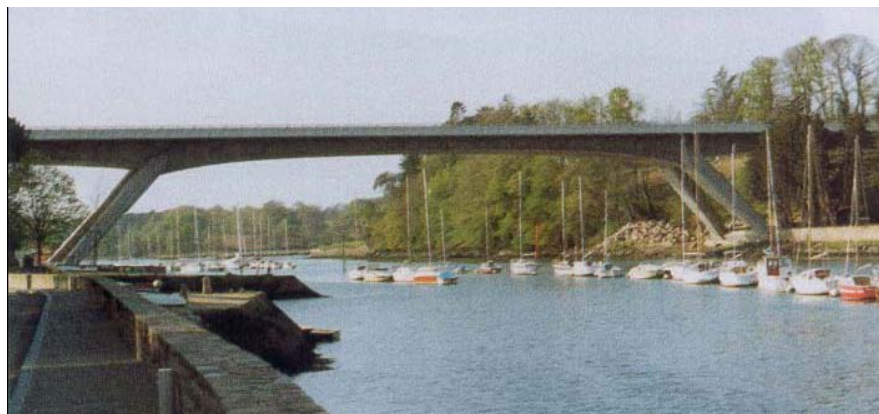


Figura 2.32 – Ponte St. Goustan (FIB, 2000 apud MATTOS, 2001).

2.2.5 Pontes em arco

As estruturas em arco permitem o uso do concreto armado convencional em pontes com grandes vãos com pequeno consumo de material. O eixo do arco é preferencialmente projetado coincidindo com a linha de pressões devidas à carga permanente, para tirar proveito da boa resistência à compressão que o concreto possui.

As estruturas em arco podem ser projetadas com tabuleiro superior, sustentado por montantes, ou com tabuleiro inferior, sustentado por tirantes ou pendurais. Existe ainda o sistema misto com o arco intermediário, sustentado lateralmente por montantes e, no centro, por pendurais (Figura 2.33).

Nas estruturas com arco inferior e intermediário, ocorrem grandes esforços horizontais na base do arco, tornando necessária a existência de um excelente terreno de fundação. Quando a obra for de concreto armado, deve-se prever um plano de concretagem bem definido para reduzir os efeitos de retração e deformação lenta do material.

O arco para ser eficiente e estético deve ter uma relação flecha sobre o vão da ordem de $1/5$ a $1/8$ (MASON, 1977).

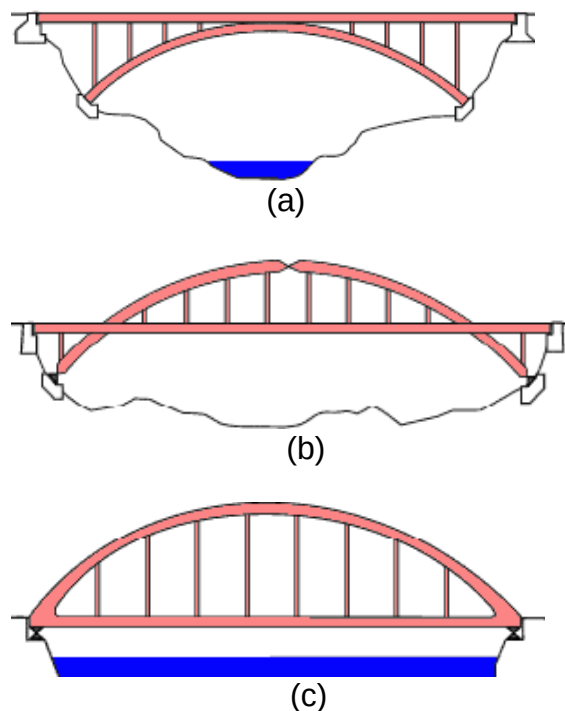


Figura 2.33 - Esquemas de ponte em arco. (a) Ponte em arco com tabuleiro superior. (b) Ponte em arco com tabuleiro intermediário. (c) Ponte em arco com tabuleiro inferior. Disponível em: <<http://www.matsuo-bridge.co.jp>>

As pontes em arco com tabuleiro inferior são mais indicadas para pequenos vãos enquanto que para grandes vãos utiliza-se a ponte em arco com tabuleiro superior. As pontes em arco com tabuleiro intermediário são menos utilizadas porque a interseção do arco com o tabuleiro costuma trazer problemas construtivos (MASON, 1977).

A Ponte Bloukrans (Figura 2.34), localizada na África do Sul, com 216m de altura, uma das mais altas do tipo, ilustra a estrutura em arco com tabuleiro superior.



Figura 2.34 – Ponte Bloukrans. Disponível em: <[http:// www.hottnez.com](http://www.hottnez.com)>

A Ponte de Marambaia (Figura 2.35), situada na Restinga de Marambaia, no Rio de Janeiro, projetada em arco duplo, ilustra o caso de estrutura em arco com tabuleiro intermediário.



Figura 2.35 – Ponte de Marambaia. Disponível em: <[http:// www.panoramio.com](http://www.panoramio.com)>

A ponte tipo *Bow-string* (Figura 2.36), localizada na Bélgica, é um exemplo típico de uma ponte em arco com tabuleiro inferior.

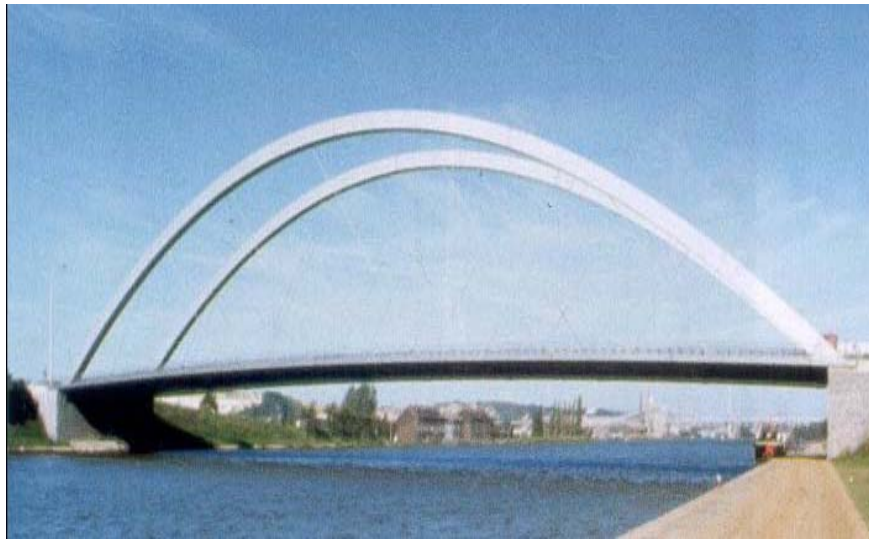


Figura 2.36 – Ponte tipo *Bow-string* (FIB, 2000 apud MATTOS, 2001).

2.2.6 Pontes pênséis

De todos os tipos estruturais, as pontes pênséis ou suspensas, junto com as estaiadas, são aquelas que possibilitam os maiores vãos. Nelas o tabuleiro contínuo é sustentado por vários cabos metálicos atirantados ligados a dois cabos maiores que, por sua vez, ligam-se às torres de sustentação. A transferência das principais cargas às torres e às ancoragens em forma de pendurais é feita simplesmente por esforços de tração. Os cabos comprimem as torres de sustentação, que transferem os esforços de compressão para as fundações.

A ponte pênsil, segundo Mason (1977), quando sujeita a grandes cargas de vento, apresenta movimentos do tabuleiro que podem tornar o tráfego desconfortável e até perigoso e, por esta razão, exige-se que o tabuleiro seja projetado com grande rigidez à torção para minimizar este efeito. A Figura 2.37 exemplifica esta estrutura.

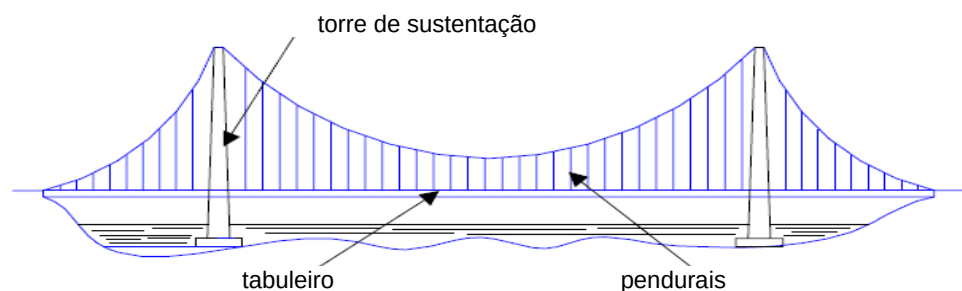


Figura 2.37 – Esquema de ponte pênsil (MASON, 1977).

2.2.7 Pontes estaiadas

As pontes estaiadas diferem das pontes pênséis principalmente na maneira como os cabos são conectados às torres. Nas pontes pênséis os cabos passam livremente através das torres e, nas pontes estaiadas os cabos são ancorados nas torres (Morrissey, www.howstuffworks.com). O sistema estrutural consiste de um vigamento de grande rigidez à torção que se apóia nos encontros e nas torres de ancoragem e de um sistema de cabos retos esticados, denominados estais, partindo dos acessos do vigamento, passando sobre uma ou duas torres de ancoragem e dirigindo-se ao vão central para ancorá-lo e sustentá-lo.

As torres ou pilones podem ser projetadas com grande esbeltez, porque os estais transmitem apenas pequenas forças provenientes do vento e contribuem em muito para a segurança contra a flambagem. Segundo Mason (1977), em comparação com as pontes pênséis, as pontes estaiadas possuem pendurais mais rígidos, menor rigidez à flexão das vigas, maior eficiência com relação à carga móvel, não apresentam instabilidade aerodinâmica, seu tabuleiro pode ser de concreto armado ou protendido e apresentam menores flechas.

A torre em uma ponte estaiada, em comparação com a ponte pênsil, é responsável por absorver as forças de compressão. Em ambas as pontes, pênséis ou estaiadas, os cabos estão sempre sob tensão (tração). A Figura 2.38 ilustra as principais disposições dos estais.

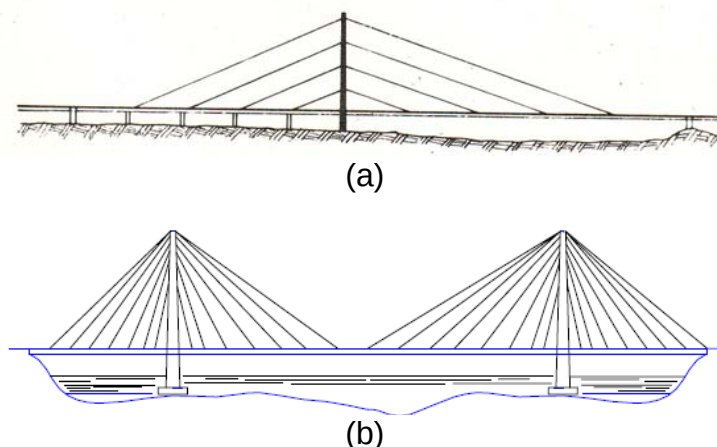


Figura 2.38 – Esquemas de pontes estaiadas. (a) Disposição em Harpa. (b) Disposição em Leque (MASON, 1977).

A Figura 2.39 ilustra a Ponte Sunshine Skyway localizada em Tampa, na Flórida, Estados Unidos. Esta ponte, prêmio *Design Award* de Talento, foi uma das primeiras pontes estaiadas em que os cabos são ancorados no centro do tabuleiro, ao contrário aos da ponte localizada perto de Savannah, Geórgia, Estados Unidos (Figura 2.40), em que o tabuleiro é sustentado por um grupo de cabos em cada extremidade.



Figura 2.39 – Ponte Sunshine Skyway.
Disponível em: <[http:// www.pbs.org/wgbh/nova/bridge](http://www.pbs.org/wgbh/nova/bridge)>



Figura 2.40 – Ponte localizada próximo à Savannah, Geórgia.
Disponível em: <[http:// www.science.howstuffworks.com/bridge](http://www.science.howstuffworks.com/bridge)>

3 MÉTODOS CONSTRUTIVOS DE PONTES E VIADUTOS

3.1 Considerações gerais

Muitas vezes a solução do projeto de uma ponte ou viaduto está condicionada ao método construtivo utilizado para a execução da obra. O método construtivo adotado será influenciado por diversos fatores técnicos e econômicos tais como:

- Comprimento da obra;
- Altura do escoramento;
- Regime, profundidade e velocidade do rio, no caso das pontes;
- Capacidade portante do terreno de fundação, que influencia o custo da infra-estrutura;
- Disponibilidade de equipamentos da construtora;
- Cronograma de execução da obra, que define o prazo;
- Custo, sem perder o foco principal de execução da obra com qualidade.

Em função das premissas abordadas e em conjunto com o cliente, cujo gerenciamento tem por base o trinômio fundamental Prazo, Custo e Qualidade, é definido o projeto e escolhido o método construtivo mais adequado.

Inicialmente será apresentado um breve histórico sobre a pré-moldagem e a pré-fabricação apresentando como foi o seu desenvolvimento ao longo dos anos, a sutil diferença entre as metodologias, algumas vantagens e desvantagens de sua utilização, assim como elementos de caráter comparativo aos sistemas construtivos de concretagem “in loco” convencionais. Em seguida, serão apresentados os principais métodos construtivos de pontes e viadutos assim como as diversas formas de montagens e equipamentos utilizados.

3.2 Evolução da pré-moldagem e da pré-fabricação

Segundo Vasconcelos (2002), não se pode precisar a data em que começou a pré-moldagem. Costuma-se dizer que o concreto pré-moldado surgiu simultaneamente ao concreto armado, com a pré-moldagem de elementos fora do local de seu uso definitivo. A tecnologia de armar o concreto com fios de aço foi usada para moldar vasos de flores e barcos de transportes fluviais, em meados do

século XIX. Depois, estas tecnologias caminharam para as edificações e, no caso do pré-moldado, para a construção de galpões, fábricas, pontes e viadutos.

Houve uma disseminação maior dessa tecnologia no pós-guerra, na Europa, principalmente com a reconstrução das cidades na Alemanha e na França, para dar maior rapidez à construção de habitações para a população. A realização de estruturas com concretagem local surgiu tempos depois.

Conforme Diniz (2006), pela definição clássica, o concreto pré-moldado é o elemento concretado fora do seu lugar de uso na estrutura final. A construção em pré-moldado é tradicionalmente feita através de elementos ligados por articulações fixas ou móveis. As peças pré-moldadas são montadas a seco, sobre argamassa, sobre almofadas de elastômeros, livres para se movimentar, ou fixas através de pinos ou outro dispositivo.

Outra alternativa é a solidarização, ou seja, as peças pré-moldadas são montadas na condição de articulação e posteriormente são ligadas entre si com o elemento de suporte através de concretagem no local, proporcionando continuidade da estrutura através de armadura passiva ou ativa de várias maneiras, dependendo da situação local. O elemento chave do pré-moldado, de onde advêm suas vantagens, é a repetitividade do processo de construção das peças, que permite a racionalização da construção e, conseqüentemente, a redução de tempo e custos.

3.2.1 Principais diferenças entre o concreto pré-moldado e o pré-fabricado

A diferença entre o concreto pré-moldado e o pré-fabricado é bastante sutil e foi estabelecida pela norma NBR 9062 - Projeto e Execução de Estruturas de Concreto Pré-Moldado: Procedimentos, publicada na década de 80 e revisada em 2006. Esta revisão deixa mais clara a distinção, prescrevendo para o pré-moldado o controle de qualidade usual para as estruturas convencionais e acrescentando o conceito de garantia de qualidade através de exigências adicionais, tais como: controle de materiais, desvio padrão, controle individual ou por lotes das peças, resistência mínima do concreto, qualificação da mão de obra, entre outras. A pré-moldagem é feita, em geral, em local próximo da construção, em uma área previamente estabelecida para tal (DINIZ, 2006).

O concreto pré-fabricado é fabricado em usinas, ou instalações semelhantes, onde é atestada a qualidade de cada processo da etapa de fabricação do concreto:

a peça ou o lote de peças possui uma ficha, onde são anotados todos os acontecimentos em torno de sua elaboração, chegando inclusive a verificar a localização da peça pré-fabricada na estrutura, possibilitando a garantia de sua rastreabilidade (DINIZ, 2006).

3.2.2 Vantagens do concreto pré-moldado ou pré-fabricado em relação aos sistemas construtivos

Segundo Diniz (2006), são várias as vantagens tecnológicas de métodos construtivos com concretos pré-moldados ou pré-fabricados, quando comparados aos sistemas construtivos convencionais. As vantagens mais marcantes para os clientes e usuários destes produtos são:

3.2.2.1 *Redução do custo*

Uma das principais vantagens do uso do pré-moldado é a redução do custo, a médio e longo prazo, acarretado pela redução do tempo de execução da obra. É um tipo de tecnologia que possibilita a execução em tempo muito curto de obras de grande porte com grande economia resultante de ganho devido à antecipação de seu uso ou de sua produção. Outra redução do custo aparece devido à economia de fôrmas e escoramentos, pela sua reutilização num ciclo de 24h, minimizando custos da obra, permitindo rapidez de execução das estruturas, um concreto de maior resistência à compressão, mais compacto e de maior durabilidade e, principalmente, reduzindo o impacto da construção sobre o ambiente.

Uma limitação dessa tecnologia até a década de 90 referia-se à altura da construção, pois raramente via-se uma grua trabalhando numa obra. Hoje, esta limitação relaciona-se à capacidade das gruas, que pode chegar a levantar peças de até duas toneladas a distâncias adequadas. No caso de pontes e viadutos, a grande vantagem de se utilizar o pré-moldado é o difícil acesso e as dificuldades para se fazer grandes concretagens “in loco”, sem falar na economia com as fôrmas, escoramentos e equipamentos de suporte necessários para se executar a concretagem (DINIZ, 2006).

3.2.2.2 Controle de qualidade

Segundo Eiger (2006), uma vez que os elementos pré-moldados ou pré-fabricados em concreto são produzidos em condições ambientais de maior controle industrial, eles exibem um maior padrão de uniformidade e qualidade. Variáveis típicas que são encontradas em canteiros de obras tradicionais, tais como temperatura, umidade, diferença dos materiais constituintes e de mão de obra são quase eliminadas em um ambiente industrial. Além disso, as peças que não se enquadram nos padrões de qualidade especificados são desqualificadas na origem e não chegam ao canteiro de obras.

3.2.2.3 Rapidez na execução

As peças pré-fabricadas chegam ao canteiro de obras prontas para montagem. Não há necessidade de comprar diversos tipos de materiais, dispensa o tempo gasto em montagem e desmontagem de fôrmas, montagem das armaduras, concretagem e cura do concreto. Além disso, há uma redução significativa da geração de entulho, resultando em um canteiro de obras mais organizado e limpo (EIGER, 2006).

3.2.2.4 Maior independência das condições climáticas

Segundo Eiger (2006), a utilização de concreto pré-fabricado aumenta a eficiência da obra, uma vez que os atrasos devido às condições climáticas são minorados. Em países frios, como a Dinamarca, quase 40% do consumo de cimento é absorvido pela indústria de pré-moldados.

3.2.2.5 Qualidade estética e durabilidade

As peças de concreto pré-fabricado são funcionais e decorativas. Podem ser produzidas em uma ampla variedade de tamanhos e com diferentes configurações de acabamento - diversos tipos de perfis, cores e texturas - com o intuito de se alcançar a estética desejada. O alto padrão de qualidade e o rápido desenvolvimento tecnológico deste segmento industrial estão diretamente

correlacionados, e só se tornam possíveis com a utilização de aditivos químicos que são imprescindíveis nos processos definidos em projeto e execução destes produtos, sejam eles blocos, lajes alveolares, pilares, vigas e os mais diversos perfis (EIGER, 2006). O aprimorado controle tecnológico amplia cada vez mais a durabilidade das obras.

3.2.3 Construções mistas de concreto pré-fabricado ou pré-moldado

Segundo Franco (2006), pesquisas mostram que praticamente 50% das construções atualmente são mistas. Geralmente, são a combinação de componentes pré-fabricados de concreto armado ou protendido com aço ou com concreto moldado “in loco”.

Hoje em dia, usam-se sistemas que combinam o pré-moldado com o concreto moldado no local. As fundações são geralmente constituídas por estacas pré-moldadas ou pré-fabricadas. Os blocos e os pilares são concretados no local, e a superestrutura é montada com elementos pré-moldados ou pré-fabricados. Em alguns casos, o sistema se completa com o uso de lajes ou pré-lajes pré-moldadas que recebem o acabamento com concreto no local (DINIZ, 2006).

Segundo Franco (2006), a escolha de uma ou outra forma de combinação decorre de uma série de fatores:

- a) O próprio desenvolvimento, observado pela indústria de pré-fabricados nos últimos anos, quer em qualidade e homogeneidade, quer em recursos técnicos e estéticos oferecidos;
- b) As vantagens globais da fabricação fora do canteiro, como melhor controle tecnológico, redução das limitações decorrentes de mau-tempo, redução de mão de obra, redução de prazos, tornaram-se de grande apelo para um mercado cada vez mais competitivo e restrito, como se observa a partir dos anos 90;
- c) A aplicação da pré-fabricação, como qualquer material, tem também suas limitações. Desta forma, o mercado passou a exigir dos projetos uma combinação racional do pré-fabricado de concreto com outros materiais, de sorte a se obter sinergias, otimização de funções e flexibilidade dos diversos componentes.

Assim, o concreto estrutural pré-fabricado passou a ser utilizado em número cada vez mais crescente de obras de prestígio, porém com uma demanda técnica, sobretudo no nível do projeto, cada vez mais complexa. A concepção das construções também mudou. Muito da evolução conceitual que ocorreu veio da maior exigência de robustez e durabilidade das estruturas. Daí, por exemplo, o uso da combinação com o concreto moldado “in loco” para emular ligações contínuas ou próximas disso.

Segundo Franco (2006), é preciso ter justificativas técnicas que levam a adoção da aplicação do concreto pré-fabricado combinado ao moldado “in loco”, assim como se tornam indispensáveis os detalhes construtivos utilizados nas interfaces ou ligações. O sucesso das soluções adotadas decorre de uma boa interação entre os diversos projetos envolvidos, portanto de um bom trabalho de equipe e de um bom conhecimento dos materiais utilizados.

Neste contexto, vale ressaltar que o emprego de elementos pré-fabricados protendidos de concreto utilizando ainda o concreto de alto desempenho (CAD) constitui-se de uma atrativa alternativa, para construção com grandes vãos em que se deseja rapidez no processo construtivo, controle de qualidade, redução de perdas de materiais e de serviços no canteiro. Além disso, a utilização destes elementos garante grande capacidade de carga, pequenas deformações, boa resistência nas primeiras idades e ainda proporciona grande durabilidade às estruturas.

Segundo Doniak (2006), a solução das construções com sistemas mistos, entre outros benefícios, tem demonstrado uma significativa redução do custo final da obra, assim como um maior atendimento aos prazos planejados no cronograma de execução. Além disso, observa-se uma maior durabilidade e melhor acabamento da estrutura decorrente da utilização de pré-fabricados, assim como a redução de resíduos gerados no canteiro, a redução de fôrmas e escoramentos, a otimização de utilização dos equipamentos, além de oferecer significativas oportunidades no mercado da construção civil.

Especialmente no aspecto redução do cronograma, o sistema possibilita a execução de várias frentes de trabalho concomitantes, não estando o cumprimento do cronograma sujeito às condições climáticas.

Tendo em vista que os elementos pré-fabricados apresentam flexibilidade e integração com a estrutura moldada no local, dependendo do tipo de obra, é

possível escolher o sistema construtivo mais adequado, assegurando a qualidade e reduzindo significativamente os custos diretos e indiretos.

O Selo de Excelência da Associação Brasileira da Construção Industrializada em Concreto (ABCIC) atesta a qualidade não só do processo de produção das fábricas, como também da montagem das obras no canteiro, facilitando a interação com os sistemas de gestão da qualidade das construtoras, já certificadas nas normas ISO (*International Organization for Standardization*).

3.3 Métodos construtivos

3.3.1 Superestruturas com vigas pré-moldadas e pré-fabricadas

Nestes sistemas, as vigas são executadas em baias e posicionadas com o auxílio de treliças de lançamento ou guindastes. Normalmente as vigas são de concreto protendido, sendo bastante usual a adoção de duas etapas de protensão: a primeira pouco após a concretagem, ainda na baia, apenas para que a viga suporte o peso próprio e os esforços decorrentes do lançamento da viga, e a outra após o término da construção da laje. Este sistema permite a industrialização do processo construtivo, criando-se um canteiro onde se podem executar as vigas de uma forma muito rápida com o uso de fôrmas metálicas. Após o lançamento das vigas, faz-se a concretagem da laje, sendo seu escoramento modernamente efetuado com o auxílio das pré-lajes que, além de servirem de escoramento, também podem conter as armaduras positivas da laje, atuando como elemento estrutural.

Quando as vigas são executadas com concreto protendido, faz-se necessária a análise da protensão de acordo com cada fase de carregamento, observando a mudança de característica da seção transversal ao longo da construção.

Este sistema apresenta a desvantagem de precisar de juntas de dilatação, que representam uma descontinuidade no tabuleiro da obra e criam um local de futuros problemas e patologias, além do desconforto para o usuário. Modernamente utilizam-se as lajes de continuidade ou lajes elásticas que dispensam o uso de juntas de dilatação em obras de até 150m de comprimento. Este comprimento é limitado para que os efeitos de temperatura no tabuleiro da ponte não sejam excessivos (ALMEIDA, 1994).

Segundo Almeida (2000), este sistema construtivo é adequado para vãos entre 25 e 45m, sendo sua aplicação muito vantajosa quando ocorrem os seguintes fatores (isolados ou simultâneos): elevada altura de escoramento; grande comprimento, o que resulta em grande quantidade de vigas, justificando a instalação de um canteiro de fabricação; caixa de rio muito profunda e rios sem regimes definidos; cronograma apertado, exigindo a execução simultânea de superestrutura e mesoestrutura.

As vigas pré-fabricadas diferem das vigas pré-moldadas principalmente quanto ao canteiro de fabricação. Enquanto as vigas pré-moldadas são executadas em canteiros temporários e específicos para uma obra, as vigas pré-fabricadas são produzidas em uma fábrica, onde o canteiro de fabricação possui instalações fixas e permanentes.

As principais vantagens do uso das vigas pré-fabricadas são:

- Rígido controle de qualidade das peças;
- Redução da área do canteiro de obras;
- Rapidez de execução;
- Perfeito acabamento obtido pelo uso de fôrmas metálicas ou de concreto;
- Uso de mão-de-obra especializada;
- Uso de protensão aderente, o que dispensa as operações de protensão no canteiro e injeção das bainhas.

Este sistema permite ainda que toda a superestrutura seja pré-fabricada, uma vez que a fábrica pode produzir as vigas, as lajes, as pré-lajes e o guarda-rodas. No capítulo 5, seção 5.1, será apresentado com mais detalhes o sistema construtivo e o funcionamento de uma usina de fabricação, a Premag®.

Normalmente as vigas são executadas em concreto protendido pré-tracionado (cordoalhas tracionadas antes da concretagem da viga). O traçado do cabo é retilíneo, e, para que não ocorra o excesso de compressão nas regiões próximas aos apoios, costuma-se eliminar a aderência do concreto com o cabo nestas áreas, que é feita com o revestimento do cabo com tubos de plástico, permitindo a livre deformação do cabo quando liberado. Uma das desvantagens deste processo é a necessidade de ajustar o projeto aos perfis de vigas padronizados pelas fábricas, o que eventualmente pode até inviabilizar o seu uso.

3.3.2 Sistema em balanços sucessivos

A primeira ponte construída neste sistema construtivo foi projetada pelo engenheiro brasileiro Emílio Baumgart, para a construção do vão central da Ponte de Herval sobre o rio Peixe em Santa Catarina, em 1930 (LEONHARDT, 1979).

O processo consiste na construção da obra em segmentos, denominados aduelas, que podem ser pré-moldadas ou moldadas no local, constituindo balanços que avançam sobre o obstáculo a ser vencido.

Segundo Almeida (1986) as aduelas pré-moldadas são fabricadas no canteiro e transportadas verticalmente por meio de treliças metálicas até a extremidade do balanço, onde são protendidas longitudinalmente. Entre as aduelas pode-se usar ou não cola à base de resina epóxi, que serve para lubrificar a superfície, diminuir os efeitos das imperfeições das juntas entre as aduelas, impermeabilizar a junta e contribuir para a transmissão das tensões cisalhantes.

Quando as aduelas são moldadas no local, a concretagem é executada com o auxílio de fôrmas deslizantes escoradas nos trechos já construídos e, na idade apropriada, as aduelas são protendidas. Mesmo no sistema de aduelas pré-moldadas, o primeiro trecho do balanço, denominado arranque ou aduela de partida, é moldado no local e o escoramento de sua fôrma é feito sobre o apoio.

O vão é construído em balanços sucessivos, partindo-se de cada apoio do vão até a metade do vão, onde é feito o fechamento central evitando articulações que seriam locais de possíveis patologias futuras. A execução deve ser muito bem controlada, principalmente com relação às deformações, para que os trechos cheguem ao centro do vão simultaneamente e coincidentemente. Normalmente, a concretagem do trecho central é realizada nos períodos com menor variação de temperatura, para que os efeitos térmicos não provoquem esforços no trecho até o endurecimento do concreto.

Após a concretagem do fechamento central surge um esforço denominado momento de restituição ou hiperestático da deformação lenta. Este esforço ocorre em função da alteração do sistema estrutural que impede a deformação diferida do concreto que prosseguiria até sua estabilização final. Com a continuidade do trecho central, o aumento da rotação diferida na seção fica impedido surgindo assim o esforço hiperestático. Este esforço é nulo no instante da ligação, crescendo

progressivamente até um limite em função do fenômeno da relaxação (MASON, 1977).

Sempre que possível, projeta-se a obra para que os balanços sejam feitos simetricamente em relação ao apoio, evitando grandes desequilíbrios entre as cargas. Quando os balanços são desiguais ou há balanço em apenas em um vão, pode-se utilizar lastro no vão anterior ao balanço ou até mesmo estais ajustáveis ao desenvolvimento do vão, suportados por torres provisórias e ancorados no apoio anterior. A Figura 3.1 ilustra uma ponte em arco sendo construída em balanços sucessivos que são sustentados por cabos ancorados em uma torre provisória.



Figura 3.1 - Sistema construtivo em balanços sucessivos. Disponível em: <http://www.civilengineer.about.com>

A Figura 3.2 mostra a execução de um trecho de uma ponte em balanços sucessivos que avançam simultaneamente para ambos os lados de um único apoio.

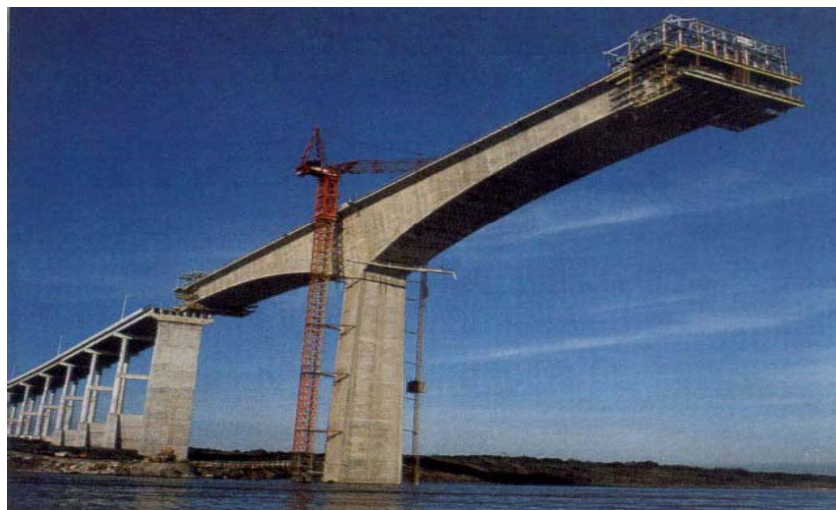


Figura 3.2 - Balanços sucessivos moldados *in loco* (FIB, 2000 apud MATTOS, 2001).

O sistema construtivo em aduelas pré-moldadas é recomendado quando ocorrem os seguintes fatores: dificuldades de escoramento direto (rios profundos, greides elevados); necessidade de grandes vãos, por imposição de gabaritos ou para evitar fundações muito dispendiosas (vãos entre 60 e 240m); execução de viadutos sem a interdição do trânsito em zona urbana. O comprimento das aduelas deve ser constante para facilitar a fôrma, sendo determinado em função da capacidade portante da treliça de escoramento. A Figura 3.3 ilustra o içamento de uma aduela pré-moldada, executado por meio de caminhão com guindaste.



Figura 3.3 - Içamento de aduela pré-moldada (FIB, 2000 apud MATTOS, 2001).

A execução em aduelas pré-moldadas pode ser feita por dois processos distintos: o sistema *SHORT-LINE* e o sistema *LONG-LINE*.

No sistema *SHORT-LINE* as aduelas são fabricadas com o uso de apenas uma fôrma metálica, sendo esta fôrma muito sofisticada e cara, para atender a todas as diferenças e mudanças entre as seções transversais das aduelas, assim como as conformações em planta e perfil do projeto geométrico da estrutura.

No sistema *LONG-LINE* é fabricada a fôrma para todo o vão, podendo ela ser reaproveitada para outros vãos que sejam iguais. A fôrma e a armação são montadas sobre um escoramento metálico ou sobre uma pista de concreto que poderá servir de fôrma de fundo. As aduelas são concretadas de maneira a garantir

a perfeita acoplagem entre si, onde cada aduela concretada na etapa anterior serve de forma para a próxima (ALMEIDA, 2000).

A Figura 3.4 ilustra três formas distintas de execução do sistema construtivo em aduelas pré-moldadas. A primeira por meio de caminhão com guindaste, a segunda por meio de balsa e a terceira por meio de treliça lançadeira

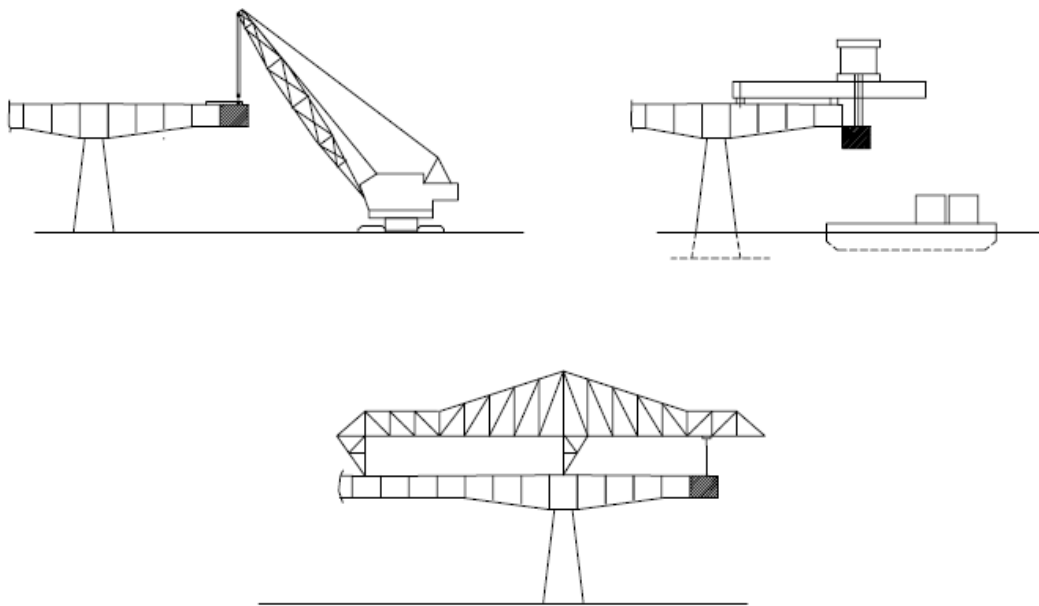


Figura 3.4 - Três formas distintas de execução do sistema construtivo em aduelas pré-moldadas (FIB, 2000 apud MATTOS, 2001).

3.3.3 Sistema por deslocamentos progressivos

Este método foi desenvolvido em 1961 pelos engenheiros Leonhardt e Andrae, sendo utilizado pela primeira vez na construção da ponte sobre o rio Caroni, na Venezuela, executada entre 1962 e 1964 (SOUZA, 1983).

Neste método, a superestrutura é fabricada nas margens e empurrada para sua posição ao longo dos vãos, sucessivamente, funcionando em balanço à medida que vai avançando, até encontrar o próximo apoio.

Segundo Leonhardt (1979) cada segmento é executado sobre fôrmas metálicas fixas, sendo concretado contra o anterior já concluído, o que permite a continuidade da armadura na região das juntas. A estrutura é empurrada por macacos hidráulicos e sobre aparelhos de apoio deslizantes de *teflon*[®] sobre os pilares, que podem ser permanentes ou provisórios, dependendo do tamanho do

vão. Uma vez que o trecho dianteiro da estrutura fica em balanço até alcançar os apoios, utiliza-se uma treliça metálica fixada no trecho dianteiro que alcança o apoio antes da estrutura, diminuindo o balanço e reduzindo o momento negativo durante a fase construtiva.

A Figura 3.5 ilustra o processo de construção do sistema por segmentos empurrados sucessivamente (deslocamentos progressivos).

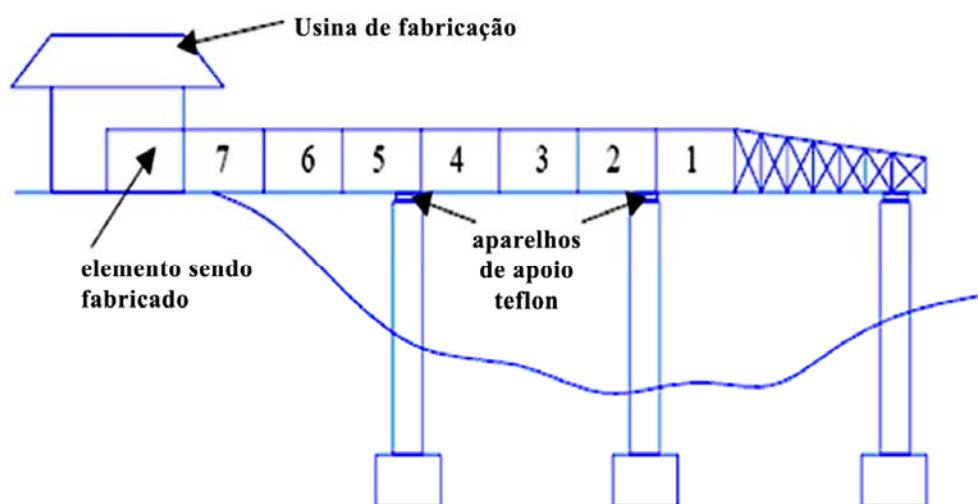


Figura 3.5 - Processo construtivo por deslocamentos progressivos (MATTOS, 2001).

Este processo apresenta as seguintes vantagens: eliminação do escoramento; redução da quantidade de fôrmas; redução de mão de obra; rápida execução da superestrutura; industrialização da construção.

Recomenda-se o uso do método quando existirem os seguintes fatores: obra com greide elevado; travessia em rios ou vales profundos; obras com grande extensão; vãos de até 50 metros para evitar a execução de pilares provisórios (SOUZA, 1983).

Para aplicação do método, recomenda-se modular os vãos intermediários com comprimentos iguais, e os vãos extremos com comprimentos iguais a 75% dos comprimentos dos vãos intermediários. Este procedimento e a adoção de segmentos com comprimentos iguais à metade do comprimento dos vãos intermediários asseguram que as emendas dos diversos segmentos coincidam com os quartos do vão, região em que os esforços internos são menores.

A protensão é aplicada em duas etapas. A primeira na fase construtiva, devendo ser centrada, em função da alternância das solicitações devidas ao peso próprio durante a execução da obra, e a segunda é realizada após a execução do tabuleiro, para a complementação da primeira etapa, tendo em vista as solicitações de sobrecarga permanente e carga móvel (ALMEIDA, 2000).

Na Figura 3.6a se pode observar o detalhe da treliça metálica utilizada como ponteira e elemento de apoio, no método dos deslocamentos progressivos. A Figura 3.6b ilustra toda extensão da construção do Viaduto de Meyssiez, na França, concluída em 1993, na etapa em que a treliça metálica, fixada na parte dianteira da aduela, avança em direção ao próximo apoio possibilitando o deslocamento.



(a)



(b)

Figura 3.6 - Método dos deslocamentos progressivos. (a) Detalhe da treliça metálica. (b) Utilização no Viaduto de Meyssiez (FIB, 2000 apud MATTOS, 2001).

3.4 Montagem de pontes, viadutos e passarelas

3.4.1 Introdução

As montagens de pontes e viadutos estão entre as mais complexas e exigentes em termos operacionais e de engenharia. As peças envolvidas são de peso elevado, o acesso de equipamentos é dificultado (principalmente nas pontes) e os riscos são grandes.

O processo de montagem, mesmo que de maneira geral, deve ser escolhido quando da elaboração do projeto, antes da apresentação da proposta. Portanto, o projetista deve ter conhecimentos suficientes do local, das estruturas, bem como das condições de prazo, para que não cometa erros de avaliação fatais para o sucesso do empreendimento e realizar o plano de montagem que será adotado na obra.

3.4.2 Montagem de pontes

A montagem de pontes apresenta um problema fundamental: preservar a integridade da estrutura durante a montagem, visto que normalmente ocorrem nesta fase esforços bem diferentes daqueles previstos no projeto da estrutura em serviço.

Um problema típico da montagem de pontes é a necessidade de estruturas auxiliares de custo relativamente elevado, e que devem ser padronizadas de modo a poderem ser utilizadas em outras obras. Em alguns casos são necessárias verdadeiras estruturas secundárias para viabilizar a montagem da estrutura principal. Certas pontes podem exigir, inclusive, fundações provisórias entre dois pilares da mesoestrutura.

A capacidade da estrutura de suportar as sobrecargas durante a montagem depende antes de tudo da diferença entre os esquemas estáticos de montagem e o da estrutura em serviço, bem como a proporção do peso próprio em relação às cargas acidentais e permanentes (ex: veículos, tabuleiro, etc), inexistentes durante a montagem.

Ao se iniciar o planejamento de montagem de uma ponte, o primeiro aspecto que é analisado é a característica da obra. O segundo aspecto é o acesso e tipo dos equipamentos necessários para a execução da montagem. Nesta primeira análise,

devem-se enumerar alguns tópicos relativos ao tipo da estrutura e o local, a fim de tentar convergir para uma ou duas soluções de montagem tais como:

- Tipo de ponte: número de vãos; vigas bi-apoiadas ou contínuas; estrutura formada por segmentos de aduelas (seção em caixão); por perfis de alma cheia ou treliçada; de inércia variável ou constante; longarinas retas ou curvas; estrutura contraventada no plano horizontal;
- Acesso de equipamentos: condições de operação e acesso de equipamentos e estruturas auxiliares; se pelo solo, pela própria estrutura, via aérea ou sobre a água;
- Verificar o peso próprio das peças e determinar os equipamentos compatíveis;
- Observar se o greide da ponte está em plano horizontal, possui alguma rampa ou contra-flecha;
- Verificar se o curso d'água possui calado suficiente para uma balsa;
- Observar se existe espaço disponível nas margens para eventuais pré-montagens.

Dependendo das características enumeradas nos tópicos acima, o planejamento de montagem terá início, analisando-se as várias alternativas de processos de montagem. É importante não adotar logo a primeira idéia sem antes analisar todas as possibilidades. A montagem de estruturas é sempre um processo de eliminação de problemas. A diferença entre uma boa solução e uma ruim não é somente o desabamento ou não da estrutura. Uma boa solução certamente será bem planejada, de simples concepção, segura tanto para a estabilidade da estrutura quanto para os trabalhadores e sem interrupções.

3.4.3 Sistemas de montagem de pontes

3.4.3.1 *Montagem pelo solo*

Esta técnica de montagem se aplica aos viadutos, passarelas e aos trechos secos das cabeceiras das pontes. É o processo mais simples, pois normalmente não exige estruturas auxiliares e os operários e equipamentos trabalham em terra firme. Esta montagem é feita por meio de guindastes localizados no solo, na posição mais

favorável possível, ou seja, próxima da posição a ser ocupada pelas vigas da estrutura, em sua projeção (Figura 3.7).



Figura 3.7 - Montagem de viga pré-moldada por meio de guindaste pelo solo (Obra Rodoanel Mario Covas, São Paulo, 2009).

Dependendo das cargas envolvidas, as longarinas serão montadas uma a uma ou em duplas, sobre os apoios definitivos, em seu comprimento final ou em partes sobre apoios provisórios. Nesta técnica é desejável que a pré-montagem se faça sob o vão, o mais próximo possível da posição final, para facilitar o içamento em uma só operação. Caso isto seja impossível, se faz necessária a pré-montagem em um canteiro centralizado, de onde as longarinas serão transportadas por cavalos mecânicos acoplados em *dollys* ou carretas.

3.4.3.2 Montagem por balsa

Sempre que a estrutura estiver sobre um curso d'água, este tipo de montagem deve ser analisado. A montagem se faz transportando-se as peças e um equipamento de içamento sobre uma balsa chata (Figura 3.8). Em determinados casos o equipamento ocupa uma balsa e as peças outra balsa. Existem equipamentos marítimos flutuantes fabricados exclusivamente para as operações de içamento no mar: as cábreas. Uma atenção suplementar deve ser dada ao equilíbrio da balsa quando o guindaste estiver com a carga içada. Algumas balsas especiais

possuem compartimentos estanques no casco que são lastreados com água para manterem o equilíbrio em qualquer situação de distribuição de cargas. A água será bombeada para dentro, ou para fora ou de um compartimento para outro em função da necessidade. Em balsas mais sofisticadas este processo é feito automaticamente.



Figura 3.8 - Montagem por balsa (Obra Rodoanel Mario Covas, São Paulo, 2009).

A montagem por balsa quase sempre se faz em locais onde há ondas ou correnteza. Nesta situação as balsas devem ser ancoradas às margens ou à base da ponte para manterem a posição e a estabilidade, principalmente quando a peça da ponte estiver para ser depositada sobre os pilares. Qualquer movimento imprevisto neste momento pode representar grave risco para os montadores. Estes mesmos cabos de contenção e ancoragem muitas vezes são também utilizados para rebocar as balsas mais simples que não possuem propulsão própria, desde a margem de um rio, por exemplo, até a posição de montagem. Os cabos serão puxados por guinchos localizados nas margens. Quando o trajeto a ser percorrido pela balsa for longitudinal ao curso d'água, um rebocador será necessário.

3.4.3.3 Montagem por lançamento

A montagem por lançamento (Figura 3.9) consiste em pré-montar as longarinas da ponte sobre o terreno em uma das margens, e fazer as vigas inteiras que irão constituir a ponte se deslocarem sobre apoios deslizantes até sua posição

final sobre o rio. Normalmente é necessário um bico de lançamento (Figura 3.10) que é usado como prolongamento provisório da ponte, em conjunto com um contrapeso para evitar o tombamento da ponte sobre a água.

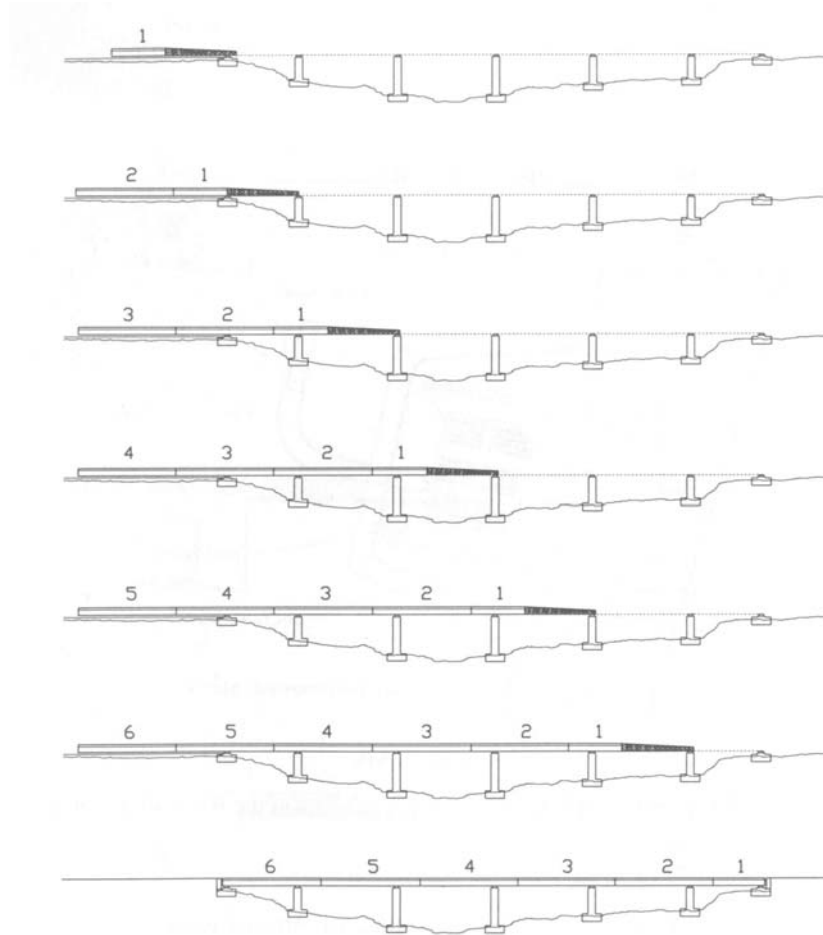


Figura 3.9 - Representação esquemática da montagem por lançamentos progressivos (ROSIGNOLI, 2002). Disponível em: < <http://books.google.com.br> >

O tabuleiro, normalmente de concreto, será instalado após o lançamento da ponte. Existem diversos processos de lançamento:

- A ponte desliza sobre roletes estacionários - para a utilização deste processo de lançamento, as longarinas deverão possuir a superfície da mesa ou da corda inferior isentas de quaisquer saliências;
- A ponte é dotada de rodas e se desloca sobre trilhos - pontes com vigas de inércia variável ou com parafusos salientes na corda inferior serão lançadas por este método. Nestes casos irão necessitar de peças agregadas às longarinas para promover o nivelamento dos troles

com as rodas. Os trilhos chegam somente até a primeira margem, sendo este um processo utilizado para vencer apenas um vão por vez;

- A ponte é dotada de roletes e estes deslizam sobre canaletas de forma semelhante ao processo anterior.



Figura 3.10 - Bico de lançamento utilizado como prolongamento e elemento de apoio na montagem de ponte por deslocamentos progressivos (ROSIGNOLI, 1998).

O processo de montagem por lançamento apresenta diversas vantagens, sendo a principal o fato de exigir equipamentos de pequeno porte para o içamento das peças, pois a pré-montagem se faz junto a uma das margens do curso d'água. A descarga das peças da estrutura será feita nesta mesma margem, eliminando a necessidade de transportar as peças sobre a água.

Isto significa uma grande economia, devido à concentração na área de pré-montagem de todas as operações que envolvem a execução das soldas de emendas e do lançamento, com a instalação de guindastes, máquinas de solda, compressores, guinchos e geradores, num mesmo local. Além disso, o fator segurança é excepcional, pois os operários trabalham sobre terra firme, ao contrário de outros processos.

Apesar destas facilidades, se fazem necessárias diversas verificações da estrutura frente aos esforços que agirão sobre a mesma durante o lançamento. Quando a ponte é autoportante durante o lançamento, é indiferente a altura dos pilares e conseqüentemente das longarinas ao solo. Entretanto, se as estruturas não resistirem ao lançamento, serão necessários reforços estruturais, apoios intermediários ou ambos ao mesmo tempo. Estes apoios serão localizados entre os

pilares da ponte de forma a promover a redução do vão livre e dos esforços sobre as longarinas. Dependendo da altura da estrutura ao solo (ou à superfície da água), estes apoios intermediários encarecerão muito este processo. O ideal é que a ponte seja projetada pensando-se no processo de montagem, evitando-se que se descubra tardiamente a necessidade de apoios ou outras estruturas provisórias.

Segundo Wainberg (2002), o princípio fundamental do lançamento é o equilíbrio da viga sobre dois ou mais pontos de apoio. Para haver estabilidade durante o lançamento, o peso sobre a margem deve ser superior ao peso sobre o vazio, mais um coeficiente de segurança que garanta a não ocorrência do tombamento sobre o vazio. Isto se calcula pela determinação dos momentos de tombamento em torno da última lagarta ou rolete localizado na margem. Para que o momento de tombamento sobre o vazio seja bem menor que o momento de tombamento sobre o terreno da área de pré-montagem, o peso do bico de lançamento deve ser menor que o peso da estrutura, e, um contrapeso deverá ser instalado à ré da ponte.

Qualquer ponte contínua com mais de um vão pode ser lançada sem contrapeso e com um pequeno bico de lançamento. Basta que o peso das longarinas sobre a margem seja bem superior ao peso das estruturas projetadas sobre o vazio. Tudo vai depender dos estudos do tombamento feitos para cada caso específico.

Aparentemente, a ponte e o bico poderão ser montados sobre a margem e deslocados de uma só vez para a outra margem. No entanto, a operação de lançamento exige uma série de providências preparatórias para que a mesma tenha sucesso (WAINBERG, 2002).

3.4.3.4 *Montagem por balanços sucessivos*

A montagem por balanços sucessivos consiste na técnica de progredir a montagem das longarinas por seções parciais que se ligam às anteriormente montadas. Parte-se de uma das margens, de um apoio intermediário ou de um vão secundário (Figura 3.11).

Aplica-se, em geral, nos casos de pontes estaiadas, pontes em arco ou de inércia variável, pontes pênséis ou pontes treliçadas que não apresentem condições de serem montadas por lançamentos progressivos, visto anteriormente. A escolha

também pode ser determinada pelas grandes cargas envolvidas e por vãos de grandes proporções.

As principais diferenças entre as várias aplicações da montagem por balanços sucessivos se devem, antes de tudo pelo tipo de estrutura, mas também pela parte inicial da ponte da qual partirá o avanço, pelo tipo de equipamento que fará o içamento e o posicionamento das peças na extremidade do balanço.



Figura 3.11 - Montagem por balanços sucessivos (Ponte sobre a Represa Billings, São Paulo, 2009).

Os problemas comuns a todas as modalidades de montagem por balanços sucessivos são os seguintes:

- O posicionamento dos elementos, a execução da ligação entre eles e o controle desta operação se desenvolvem na extremidade do balanço. Isto representa uma grande parte dos trabalhos de campo, executados freqüentemente em condições difíceis (sobretudo para se resguardar da ação dos ventos), colocando como prioritário o problema da segurança do pessoal envolvido;
- A área de trabalho é limitada ao perímetro das seções a serem ligadas. A montagem se desenvolve em ciclos, com grande interdependência entre as fases: uma só inicia quando a anterior for executada por completo. Por isso, procura-se multiplicar as frentes de avanço para minimizar o prazo da obra, onerando os custos finais de montagem.

Algumas modalidades de montagem por balanços sucessivos podem ser enumeradas, sem pretender esgotar o assunto, quais sejam:

- Balanços sucessivos montados por meio de guindastes ou de *derricks* sobre o próprio tabuleiro da ponte. A alimentação das peças pode ser feita sobre o tabuleiro já montado, sendo transportadas a partir das margens através de cavalos mecânicos; ou transportadas por balsa sobre a água na projeção do vão. Neste caso as longarinas são suspensas pelo equipamento de içamento;
- Balanços sucessivos montados por meio de guindaste situado sobre uma balsa. As peças estarão sobre a mesma balsa e serão içadas até a extremidade do balanço. Algumas limitações desta modalidade são a capacidade portante das balsas disponíveis, a lança do guindaste em função da altura de içamento, a profundidade do curso d'água e a presença de correntezas fortes.
- Balanços sucessivos montados por meio de *trolleys* suspensos em cabos de aço que atravessam todo o rio. É normalmente aplicada nos casos de pontes pênséis. Os próprios cabos que sustentarão a ponte servem de cabos mensageiros para os *trolleys*, que são dotados de mecanismos de içamento e se movimentam sobre os cabos. Assim as peças são alimentadas por balsas e içadas pelo *trolley*, que as ligam às peças já montadas.

3.4.4 Equipamentos utilizados na montagem de pontes

Para a execução da montagem de pontes e viadutos, são necessários equipamentos especiais para o içamento das peças que compõem as estruturas. Sem estes equipamentos, se torna impossível qualquer operação de montagem devido às elevadas cargas envolvidas.

Entre os principais equipamentos de montagem destacam-se os guindastes, os *derricks*, as gruas e os guinchos, estes utilizados quase sempre como tracionadores em montagens por lançamento. Nos últimos 40 anos houve uma extraordinária evolução dos equipamentos de montagem. Ao tradicional *derrick* foram se somando outras máquinas, com maior mobilidade, capacidade portante e sistemas computadorizados de comando.

A partir de um estudo aprofundado quanto aos custos e prazos envolvidos, ao desempenho de cada equipamento, ao peso próprio e reações máximas e às situações específicas durante a obra, chega-se à conclusão que os equipamentos atendem satisfatoriamente ao problema.

Além dos equipamentos mais comuns como guias e guindastes são também utilizados outros equipamentos de içamento, mais específicos, na montagem de pontes e viadutos, de cada situação apresentada (PINHO, 2005).

3.4.4.1 *Derricks*

Os *derricks* ou guindastes são equipamentos de grande capacidade portante que são formados por um mastro – que permanece na vertical e sustenta a lança – e por uma lança que possui o movimento de levantar e abaixar e de onde pende a carga içada. Existem dois tipos principais de *derricks*: O *guy derrick*, cujo mastro é sustentado na vertical por cabos de aço ligados ao solo, e o *stiffleg derrick*, que sustenta o mastro por meio de dois membros rígidos ligados ao solo.

O *guy derrick* ou *derrick* estaiado (Figura 3.12) é essencialmente estacionário, mas possui grande capacidade de carga. Existem *derricks* com alturas superiores a 100m e capacidades de 100 t. Os *derricks* se compõem de duas partes principais: o mastro, colocado em posição vertical atirantado na estrutura onde se apóia, e a lança que possui movimentos que lhe dão grande capacidade de manusear cargas. Seu uso mais recomendado é na pré-montagem de pontes em pátios de operações onde não se necessita de mobilidade do equipamento.

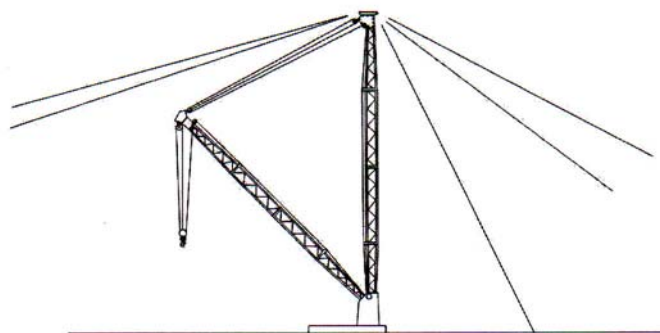


Figura 3.12 - *Guy derrick* ou *Derrick* estaiado.
Disponível em: <<http://www.cbca-ibs.org.br>>

O *stiffleg derrick* ou *derrick* de hastes (Figura 3.13) tem o mastro mantido na posição vertical por um par de hastes que formam em planta um ângulo de 90° . Este mastro e a lança são em tudo similares aos de um *derrick* estaiado, mas não existem mais os problemas de interferências da lança com os estais, e tampouco as limitações quanto à mobilidade, visto que os *stiffleg derricks* são estruturas independentes e estáveis não necessitando dos estais ligados ao solo, podendo ser dotados de mecanismos deslizantes. O mastro é mais curto que a lança, o que fornece a este equipamento maior versatilidade. Não necessita de ancoragem a grandes distâncias como os estaiados, mas se observa por outro lado que a lança trabalha em planta sobre um ângulo não superior a 260° , não podendo operar na região entre as hastes.

Este equipamento é utilizado em montagens progressivas, como por exemplo, sobre pontes montadas por balanços sucessivos.

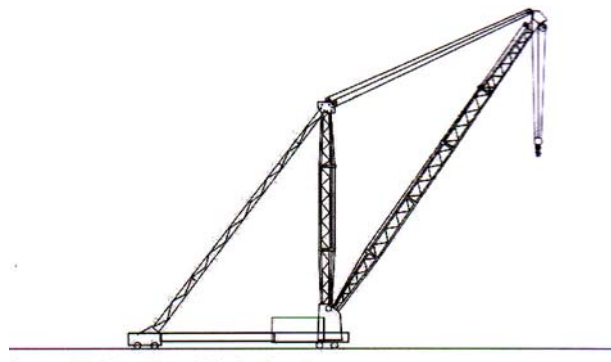


Figura 3.13 - *Derrick* de hastes. Disponível em: <<http://www.cbca-ibs.org.br>>

3.4.4.2 Travellers

São estruturas metálicas provisórias deslizantes utilizadas em montagens de pontes por balanços sucessivos. São normalmente utilizadas para o içamento e sustentação das novas peças, além de proporcionarem uma plataforma de trabalho para os montadores. O *traveller* (Figura 3.14) fica apoiado sobre a extremidade já montada da ponte e se projeta em parte sobre o vazio para o início do próximo ciclo. Uma das vantagens do seu uso sobre os *derricks* é sua simplicidade, além de servir de sustentação às fôrmas do tabuleiro quando este for executado em concreto moldado no local.

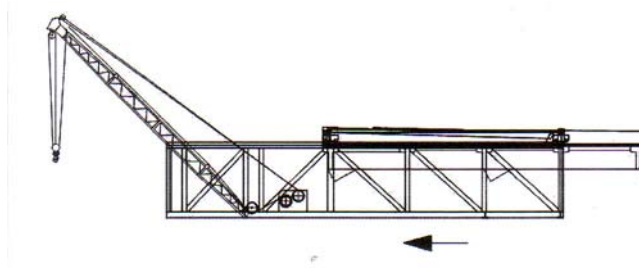


Figura 3.14 - *Traveller*. Disponível em: <<http://www.cbca-ibs.org.br>>

3.4.4.3 *Treliça lançadeira*

As treliças lançadeiras (Figura 3.15) são equipamentos na forma de grandes treliças, que operam sobre apoios deslizantes, ocupando o vão no qual a estrutura será montada. Essas treliças são mais utilizadas na montagem de estruturas de concreto protendido devido ao grande peso próprio das vigas. Caso não se disponha de treliça lançadeira, a montagem de vigas de concreto protendido exigirá guindastes de altas capacidades, mesmo assim limitado à hipótese de montagem sobre o solo, no caso de viadutos.

No entanto, a montagem por lançamento convencional de vigas de concreto não é conveniente pela inversão de momentos durante o processo, incompatível com este tipo de estruturas. Por este motivo, a treliça lançadeira é praticamente a única solução de montagem de estruturas de concreto protendido, sendo uma alternativa para as estruturas em aço em certos casos.



Figura 3.15 - Treliça lançadeira - Construção da Ponte sobre o rio Marombas, Santa Catarina, 2006. Disponível em: <<http://www.serradaprata.com.br/construcao-civil>>.

Na parte superior da treliça e transversalmente a ela, existem duas pontes rolantes munidas de guinchos, dimensionadas para suspenderem e transladarem as vigas. O conjunto destas duas pontes rolantes e mais a cabine onde estão o gerador, o quadro de comando e o motor, deslocam-se longitudinalmente, em cima da treliça transportando a viga.

Cada conjunto de apoio da treliça é constituído de dois carrinhos com balancins, sobre os quais deslizam os trilhos dos banzos inferiores da treliça. Estes carrinhos, por sua vez, deslizam transversalmente à treliça, em cima de trilhos, permitindo o deslocamento transversal das vigas.

3.4.4.4 Guinchos

Os guinchos (Figura 3.16) são equipamentos de tração, utilizados para puxar cargas na horizontal. Com o auxílio de roldanas, também podem ser utilizados para içamentos na vertical. Os guinchos podem ser acionados por motores elétricos, a diesel ou por ar comprimido. Geralmente os guinchos movidos a diesel são os que possuem as maiores capacidades, sendo por isso os preferidos na montagem de pontes por lançamento, devido às grandes cargas envolvidas. Para se tirar maior proveito do equipamento, é usual a utilização de jogos de roldanas para se reduzir a força de tração no cabo de acionamento, e conseqüentemente, a capacidade necessária do guincho.



Figura 3.16 - Guincho utilizado no içamento de viga - Ponte sobre o rio Paraíba do Sul, São Fidélis, Rio de Janeiro, 2008 (cortesia Premag®).

3.4.4.5 Macacos hidráulicos

Estes equipamentos são utilizados como auxiliares da montagem de grandes cargas, exclusivamente na vertical assim como para realizarem o içamento de vãos inteiros de pontes, a partir das extremidades.

A Figura 3.17 ilustra a Ponte Stonecutters construída na entrada do Canal Rambler, em Hong Kong, na China, projetada e calculada para enfrentar condições adversas. Com 1.018 m de vão livre - o segundo maior do mundo, perdendo apenas para a de Sutong, também na China, com 1.088 m - esta ponte estaiada é também a maior com configuração em tabuleiro duplo. Até a lâmina d'água são 73,5 m de altura, o suficiente para a passagem de grandes navios porta-contêineres. Para a ereção dos tabuleiros, com 4000 t cada, foram utilizados macacos hidráulicos.



Figura 3.17 - Macaco hidráulico utilizado na montagem da Ponte Stonecutters Bridge, em Hong Kong, China. Disponível em: <<http://www.revistatechne.com.br>>.

3.4.5 Montagem de passarelas

A montagem de passarelas (Figura 3.18) é bastante semelhante à montagem das pontes, mas com a ocorrência de peças muito mais leves e equipamentos conseqüentemente menores. Todas as técnicas descritas acima para as pontes e viadutos se aplicam às passarelas. A possibilidade de realizar a montagem de grandes vãos da estrutura de uma só vez é real e como as peças possuem peso reduzido, será possível transportar a passarela quase pronta de fábrica para o local da montagem. Com uma rápida pré-montagem, iça-se uma grande parte da estrutura com equipamento de custo relativamente baixo num curto espaço de tempo. Esta característica permite a utilização de passarelas de estruturas de

concreto armado ou protendido, sobre movimentadas avenidas quase sem interrupção do trânsito. Mais detalhes sobre a montagem de passarelas poderá ser visto no capítulo 5, onde é abordado o sistema de pré-fabricação e montagem da usina de fabricação da Premag[®].



Figura 3.18 - Montagem de passarela para pedestres fabricada em usina de fabricação (cortesia Premag[®]).

As características mais vantajosas das obras de passarelas pré-moldadas são:

- Montagem sobre via com trânsito pesado devendo-se minimizar ao máximo as interrupções e a permanência no local;
- Período curto de obra, não compensando a aquisição de transformadores ou solicitação de ligações provisórias de energia por parte da concessionária;
- Possibilidade de utilização de ferramentas pneumáticas alimentadas por compressores de ar movidos a óleo diesel.

3.5 Considerações finais

Uma obra com estruturas pré-moldadas seja em aço, em concreto ou mista, é o resultado de uma série de etapas cuidadosamente planejadas desde a concepção da estrutura até a montagem da última peça.

Antes da montagem, no caso das peças transportadas de usina de pré-fabricação, deverão ser executadas a descarga, conferência e armazenagem das peças no canteiro de obras.

As fundações e outras interfaces serão verificadas topograficamente quanto à exatidão dos níveis, distâncias e alinhamentos. Após estas providências e a correção de eventuais desvios, será iniciada a montagem das peças da estrutura, que é a materialização no canteiro de todo o trabalho das etapas precedentes.

Durante a montagem da estrutura, se houver repetições de peças em situações virtualmente idênticas ou mesmo semelhantes, o tempo de montagem de cada uma será reduzido progressivamente, até estabilizar. Por outro lado, se a ligação entre as peças se faz com razoável rapidez, se ganha tempo em comparação com ligações difíceis e trabalhosas.

Erros cometidos nas fases de projeto e fabricação ocasionam grandes perdas de produtividade e atrasos no andamento da montagem, pois não raro exigem correções de dimensões ou furação no próprio canteiro, ou eventualmente a inutilidade da peça. Erros durante a própria montagem, como por exemplo, uma peça que tenha sido montada no lugar de outra, demanda no mínimo o triplo do tempo para ser montada: o tempo de montagem pela primeira vez, o tempo para sua desmontagem e o tempo para montar a peça certa em seu lugar.

A obra será bem sucedida na medida em que possuir características de durabilidade, segurança e de utilização percebidas pelos usuários de forma a atender os objetivos para os quais foi concebida. Para os profissionais que a conceberam, o sucesso da obra não se limitará à percepção da boa receptividade por parte dos usuários, mas também dos resultados técnicos relacionados com os desafios vencidos, do desempenho das equipes envolvidas dentro dos prazos previstos, do resultado econômico obtido no empreendimento e da satisfação da obra reconhecida como uma obra de arte.

4 O CANTEIRO DE OBRAS

4.1 Considerações gerais

Um *layout* bem planejado é fundamental para agilizar as atividades, evitar desperdício e garantir segurança aos funcionários. Uma padronização é fundamental. No entanto, canteiros diferem entre si, já que os implantados nos centros urbanos possuem outras características quando comparados a canteiros situados em áreas de baixa densidade demográfica. Por isso, cada caso merece uma análise. Porém, em todos devem ser identificadas as interferências e barreiras que possam impedir uma correta armazenagem e bom fluxo de materiais, pessoas e equipamentos (TÚLIO; LINO, 2004).

O planejamento faz parte de um contexto maior: a logística aplicada na construção. A logística deve abranger as ações voltadas para otimização e racionalização no recebimento, armazenagem e movimentação, assim como para disponibilização de insumos, materiais, ferramentas, equipamentos, mão-de-obra e informações. O conceito da logística pode ser abordado sob dois aspectos básicos: o interno e o externo. O aspecto interno diz respeito ao arranjo físico do canteiro: trata da área de transporte, armazenagem e manuseio do material dentro da obra. Segundo Túlio e Lino (2004), o responsável pela obra deve verificar se estão desobstruídas as áreas de descarga, vias de acesso horizontal e vertical, além de conferir se estão preparados os equipamentos de movimentação e içamento, além da sinalização e os locais de estocagem. O aspecto externo faz a interface com os fornecedores, cuida do planejamento e da programação da entrega, transporte e descarga do material na obra.

Túlio e Lino (2004) ao analisarem as fases das construções verificaram que as construtoras começaram a buscar nos conceitos logísticos da indústria seriada instrumentos para melhoria do ciclo de produção das obras como forma de não interromper as suas atividades.

Os processos na obra são modificados principalmente após três fases distintas: as fundações, a mesoestrutura e a execução da superestrutura e acabamentos finais. A transição entre estas etapas exige atenção para um melhor aproveitamento de espaços para estocagem de materiais e para os equipamentos de movimentação. Da mesma forma deve ser tratada a transição das equipes de

trabalhadores, que nem sempre permanecem as mesmas. Determinadas atividades específicas são executadas por equipes especializadas que, tão logo as tarefas se dão por terminadas, são transferidas do local. O mesmo ocorre com equipamentos que são alugados e utilizados apenas por um período de tempo determinado, especificamente para execução de uma tarefa. Cada situação demanda áreas de estocagem e equipamentos de transporte diferentes. Neste contexto, o *layout* deve ser um documento que organize efetivamente o canteiro em função da fase de execução da obra e contribua para que os profissionais envolvidos, cientes dessa responsabilidade, possam coordenar as modificações necessárias do canteiro desde o início até o final da obra (TÚLIO, 2004).

4.2 Planejamento do *layout* de canteiros de obras

Visando aumentar sua produtividade, em função do crescente aumento da competitividade no setor da construção civil, as empresas procuram eliminar todas as deficiências na gestão dos processos construtivos e na gerência dos recursos humanos. Segundo Schalk (1982) apud Elias et al.(1998), os fatores que influem no trabalho, e conseqüentemente na produtividade, são os seguintes:

- a) O ambiente não-físico;
- b) O desenho do produto;
- c) A matéria prima;
- d) O processo de seqüência do trabalho;
- e) As instalações e os equipamentos;
- f) Os instrumentos e as ferramentas;
- g) A disposição da área de trabalho;
- h) As ações dos trabalhadores;
- i) O ambiente físico geral.

No caso do planejamento das instalações dos canteiros de obras, observa-se uma ausência de critérios e bases teóricas para a sua realização, o que acarreta diversos problemas que interferem no processo produtivo. Embora muitas das deficiências identificadas nos canteiros de obras terem origem em etapas anteriores do empreendimento, tais como falta de compatibilização de projetos e de procedimentos de execução dos serviços, existe um grande potencial de ganho na implantação de melhorias nos canteiros (ELIAS et al., 1998).

Segundo Elias et al. (1998), o objetivo do planejamento do *layout* de um canteiro de obras é obter a melhor utilização do espaço disponível, locando operários, materiais e equipamentos, de forma que sejam criadas condições propícias para realização dos processos com eficiência, através de mudanças na seqüência das atividades, redução de distâncias e tempos de deslocamento. Segundo Moore (1962) apud Elias et al. (1998), um projeto de *layout* ótimo é aquele que fornece a máxima satisfação para todas as partes envolvidas resultando nos seguintes objetivos:

- a) Simplificar totalmente;
- b) Minimizar custos de movimentação de materiais;
- c) Implementar alta rotatividade de trabalho em processo;
- d) Prover a efetiva utilização do espaço;
- e) Prover a satisfação e segurança do trabalhador;
- f) Evitar investimentos desnecessários de capital;
- g) Estimular a efetiva utilização da mão de obra.

Segundo Muther (1978), uma das formas existentes de sistematizar um projeto de Arranjo Físico é a aplicação do SLP (*Systematic Layout Planning*) ao projeto de *layout* de canteiros de obras, que utilizado corretamente, representa um real auxílio evitando erros, economizando tempo e produzindo melhores soluções.

A seguir será brevemente explicado o sistema SLP e de que forma a sua utilização pode melhorar o projeto do *layout* de canteiros de obras.

4.3 Sistematização de projetos de arranjo físico - Sistema SLP (*Systematic Layout Planning*)

O Sistema SLP (*Systematic Layout Planning*) consiste de uma estruturação de fases, através das quais passa qualquer projeto de *layout*, de um modelo de procedimentos para a realização do projeto, passo a passo, e de uma série de convenções para identificação, avaliação e visualização dos elementos e das áreas envolvidas no planejamento. A figura 4.1 demonstra a seqüência das fases do modelo de procedimentos (MUTHER, 1978).

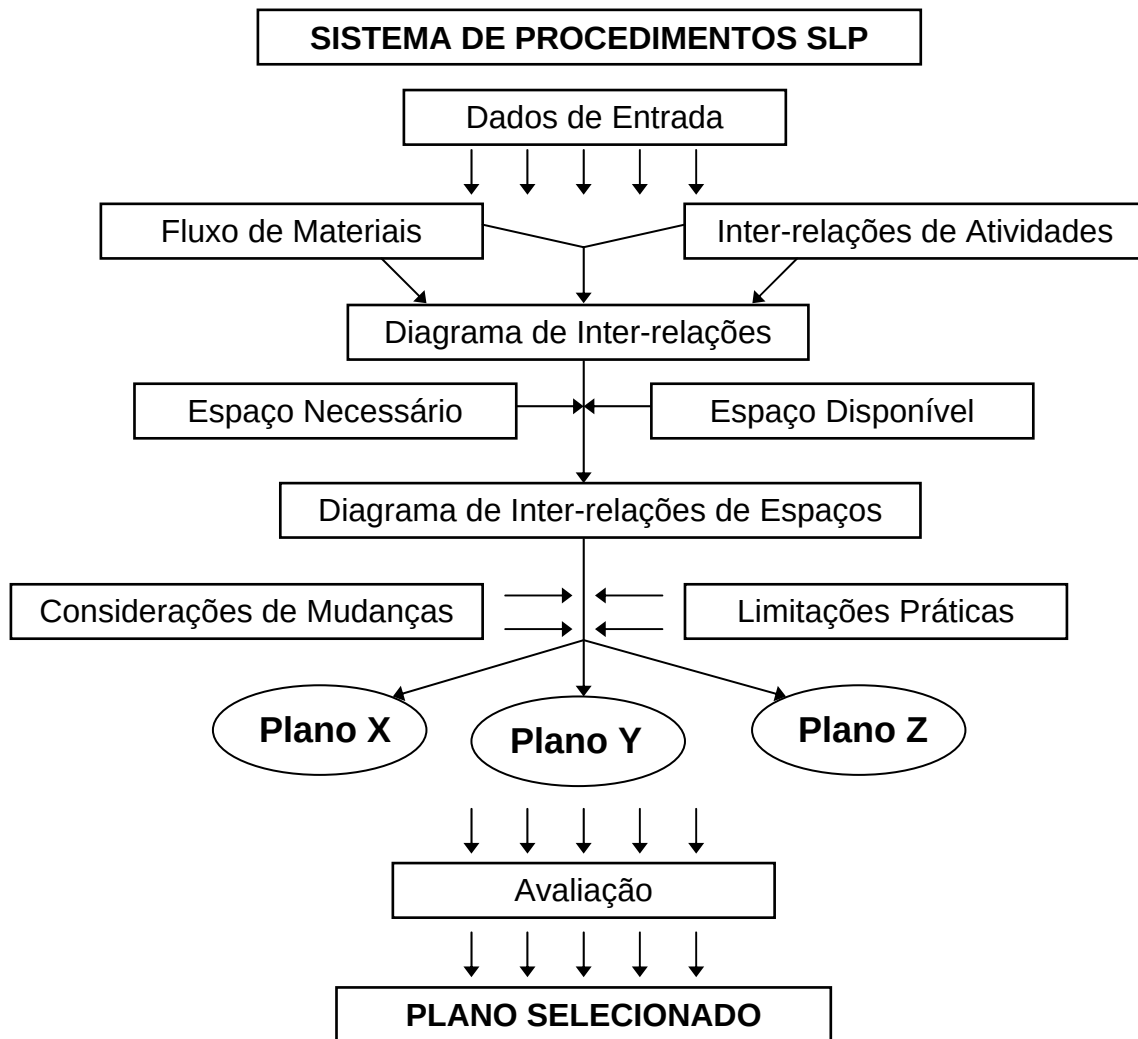


Figura 4.1 - Sistema de procedimentos SLP (MUTHER, 1978).

Todo arranjo físico se baseia em três conceitos fundamentais:

- Inter-relações: grau relativo de dependência ou proximidade entre as atividades;
- Espaço: quantidade, tipo e forma ou configuração dos itens a serem posicionados;
- Ajuste: arranjo das áreas ou equipamentos da melhor maneira possível.

Esses três princípios são a essência de qualquer planejamento de arranjo físico, independente do produto, processo ou extensão do projeto.

Segundo Muther (1978), os dados básicos preliminares de entrada para o desenvolvimento de um projeto de arranjo físico são constituídos pela análise das informações sobre o produto, quantidade, roteiro (processos e equipamentos),

serviços de suporte e tempo. Outro dado preliminar é a identificação das várias atividades incluídas no arranjo. O fluxo de materiais muitas vezes é o fator predominante para o arranjo físico. Para o planejamento do arranjo, determina-se a melhor seqüência de movimentação dos materiais através das etapas exigidas pelo processo e da determinação da intensidade ou magnitude desses movimentos.

Além das áreas de produção, também as áreas de serviços de suporte devem ser consideradas no planejamento. Para isso é necessária uma forma sistemática para inter-relacionar as atividades de serviço umas às outras e para integrar os serviços de suporte ao fluxo de materiais. Para atingir esses objetivos, o melhor método é a elaboração de uma carta de interligações preferenciais. Esses dois fatores são combinados em um diagrama de inter-relações onde estão geograficamente relacionadas entre si as diversas atividades, departamentos ou áreas, sem considerar o espaço que cada um deles requer. Em seguida, têm-se as necessidades de espaço, obtidas por meio da análise de máquinas e equipamentos utilizados na produção e dos serviços envolvidos. Essas necessidades devem ser balanceadas de acordo com a disponibilidade de espaço.

Integrando os resultados desse balanceamento ao diagrama de inter-relações obtém-se o diagrama de inter-relações de espaços. Esse diagrama ainda não é o arranjo físico definitivo, pois necessita ser ajustado e modificado ao se analisar todas as considerações de mudança: recursos de estocagem, topografia do terreno, suprimentos, controles e procedimentos. Estas novas considerações devem estar de acordo com as limitações práticas: custo, segurança, normas de construção, energia disponível, entre outras.

Muther (1978) ressalta que durante o ajuste e a integração do diagrama de inter-relações de espaços, conforme as considerações de mudança e as limitações práticas, surgem diversos planos que serão testados e examinados. O sistema SLP denomina essas alternativas de planos X, Y e Z. No entanto, cada uma delas tem uma série de vantagens e desvantagens. O problema agora é determinar qual das opções será escolhida.

Segundo Elias et al. (1998), há basicamente três maneiras de se realizar essa seleção:

- a) Balanceamento das vantagens e desvantagens. Consiste na listagem de todas as vantagens e desvantagens de cada alternativa. É

provavelmente o método mais fácil dos três mencionados, mas também o menos preciso;

b) Avaliação da análise dos fatores. Basicamente o processo segue as seguintes etapas: listar todos os fatores que são considerados importantes na seleção do melhor plano, ponderar a importância relativa de cada um desses fatores em relação a cada um dos outros, avaliar os planos alternativos seguindo um fator de cada vez e reunir esses fatores avaliados e ponderados para comparar o valor total dos diversos planos;

c) Comparação e justificativa de custos. Consiste essencialmente na comparação dos custos dos investimentos necessários e dos custos operacionais estimados dos planos alternativos.

Na maioria dos casos a análise dos custos não é a base principal de decisão, sendo usada apenas para suplementar os outros métodos de avaliação.

O sistema de procedimentos SLP se completa quando o arranjo físico geral recebe aprovação. Quando este ponto é alcançado, pode-se iniciar a fase de planejamento detalhado do projeto. Devem ser feitas cópias do plano aprovado e distribuídas aos grupos de trabalho da empresa, o que auxiliará a integração dos planos posteriores ao que foi aprovado.

4.4 Projeto de *layout* de canteiros de obras

Segundo Elias et al. (1998), os princípios básicos que embasam a elaboração de um projeto de *layout* ótimo são focados, principalmente, na disposição do canteiro e no fluxo de materiais durante o processo produtivo, conforme os seguintes itens apresentados:

- a) Economia do movimento: Diminuir os deslocamentos dos operários no transporte de materiais, máquinas e equipamentos;
- b) Fluxo progressivo: Direcionar o fluxo de produção sempre no sentido do produto acabado;
- c) Flexibilidade: Propiciar ao conjunto produtivo opções e facilidades de mudanças posteriores a implantação do projeto de *layout*;

- d) Integração: Integrar as células produtivas no sentido do inter-relacionamento, tornando-as parte do mesmo organismo;
- e) Uso do espaço cúbico: Conhecer as necessidades de espaço nos vários planos e usar, caso necessário, superposições de planos de trabalho;
- f) Satisfação e segurança: Motivar os operários e melhorar as condições de higiene e segurança do trabalho.

Segundo Elias et al. (1998), para se iniciar a elaboração do projeto de *layout* é necessário dispor de uma série de informações referentes ao empreendimento, sintetizadas a seguir:

- Projetos executivos revisados e compatibilizados;
- Cronograma físico;
- Cronograma de compras;
- Especificações técnicas da obra;
- Definição sobre compra de argamassas e/ou concretos prontos;
- Norma Regulamentadora 18 (NR18) - Condições e meio ambiente do trabalho na indústria da construção civil;
- Produtividade dos operários para os diversos serviços da obra;
- Estudos de inter-relacionamento entre homens/máquinas e equipamentos;
- Definição da equipe técnica;
- Definição do número máximo de funcionários na obra;
- Definição dos processos construtivos a serem utilizados;
- Endereço da obra;
- Fornecimento de água potável;
- Fornecimento de energia elétrica, entre outras.

Para a melhor visualização do fluxo de materiais em projetos de *layout* de canteiros de obras, utiliza-se o diagrama de fluxo. Para auxiliar na elaboração do fluxograma é recomendável a preparação de um esboço do processo e da seqüência de fabricação dos produtos. Quando os materiais utilizados são similares, pode-se adotar, por exemplo, para medir a intensidade ou magnitude do fluxo, o número de viagens dos operários entre os pontos de contato. Este cálculo pode ser

feito através da quantidade de peças de transporte de materiais necessária para a confecção de um determinado produto e a velocidade com que são transportadas. As ligações que apresentarem maior número de contatos dos operários indicarão maior proximidade entre depósitos, células produtivas, meios de transporte horizontal ou vertical, entre outros.

Entretanto, a consideração do fluxograma isoladamente não é a melhor base para o planejamento das instalações de canteiros de obras. A melhor maneira de integrar os serviços de apoio aos setores de produção é feita através de uma representação esquemática de todos os setores envolvidos nos serviços, onde é representado o grau de proximidade e o tipo de inter-relação entre uma atividade e cada uma das outras.

Segundo Lopes (1996) apud Elias et al. (1998), os seguintes procedimentos devem ser seguidos para a construção de uma planta de *layout*:

1. Identificar todas as atividades:
 - a) elaborar uma lista de departamentos, áreas, operações ou características e verificar a sua abrangência;
 - b) agrupar as atividades semelhantes num diagrama de organização;
 - c) reunir essas atividades em grupos, segundo algum critério.
2. Listar as atividades numa seqüência de operações preferenciais:
 - a) estabelecer primeiro as operações produtivas e depois os serviços de apoio;
 - b) incluir as características do terreno.
3. Determinar as interligações entre cada par de atividades e as suas razões:
 - a) pelo conhecimento do projetista, das práticas de operação;
 - b) levando em conta todas as considerações, ou razões, da mesma forma que no caso do fluxo de materiais;
 - c) discutindo com os responsáveis dos diversos departamentos ou setores.
4. Incluir todos os dados em uma planilha, pois ela será a base principal para o planejamento das instalações:
 - a) a planilha funcionará como uma lista de verificação, assegurando que todas as atividades foram listadas, bem como suas inter-relações com as demais;
 - b) conseguir aprovação.

A partir das relações de fluxo de materiais combinadas com a listagem da planilha, inicia-se a construção do diagrama de inter-relações. Cada área departamental do canteiro de obras é representada por um retângulo e a intensidade do fluxo pelas linhas que ligam cada par de departamentos. Desenhando-se, primeiramente, as inter-relações classe “A”, como por exemplo, as ligações entre as betoneiras e os depósitos de brita e areia. Depois das inter-relações classe “A” estarem diagramadas e rearranjadas, as relações da classe “E” são acrescentadas. O mesmo deve ser feito para as inter-relações classe “I”, “O” e “U”, onde são dadas as seguintes classificações:

- Classe A: absolutamente necessária
- Classe E: muito importante
- Classe I: importante
- Classe O: pouco importante
- Classe U: desprezível

O diagrama acabado representa a interligação teórica ideal das atividades, independente da área necessária para cada um dos departamentos (ELIAS et al., 1998).

Para a determinação dos espaços necessários para os diversos setores das instalações de um canteiro de obras, utiliza-se o método numérico. Em essência, o método faz a determinação da área de cada elemento de espaço, multiplica-a pelo número de elementos necessários para a realização do trabalho e adiciona um espaço extra. Para projetos de layout de canteiros de obras, cada equipamento é listado, anotando-se a área ocupada pela máquina, a área de trabalho do operador e a área para a colocação dos materiais.

Para Elias et al. (1998), a determinação do número de máquinas deve incluir outras considerações além da capacidade de operação das próprias máquinas. Fatores como horas de trabalho disponíveis para operação, preparação e frequência das operações, tempos perdidos por motivos imprevistos, refugos de produção e picos de produção, afetam a determinação da quantidade de máquinas necessárias.

Após o cálculo dos espaços necessários para cada departamento e célula de produção, ajustam-se as áreas encontradas de acordo com os espaços disponíveis no canteiro de obras. O diagrama de inter-relações de espaços deve ser baseado no diagrama de inter-relações, agora com os departamentos desenhados em escala de acordo com o espaço determinado. Cada canteiro de obras terá uma lista diferente

de considerações para levar em consideração na elaboração do seu projeto. O sistema de manuseio e os recursos de armazenamento são as considerações mais importantes e, de acordo com o sistema escolhido, o diagrama de inter-relações poderá ser modificado. Quando os requerimentos de espaços para a armazenagem são estabelecidos, tem-se alguma idéia sobre a forma de estocagem dos materiais.

Todavia, o projeto de *layout* deve ser reexaminado à luz do diagrama de inter-relações de espaços e de outras considerações de mudança com os quais os recursos de armazenagem se integram. As considerações que ditam restrições ao planejamento são as limitações práticas. A política da empresa, as normas trabalhistas, as características físicas da localização da obra, entre outras, exercem limitações no arranjo físico.

Em qualquer caso, através da integração das considerações de mudança ao diagrama de inter-relações de espaços e através da retirada das alternativas impraticáveis, pode-se alcançar de dois a três planos. O próximo passo será determinar qual deles será selecionado, utilizando um dos processos de escolha já mencionados anteriormente (LOPES, 1996 apud ELIAS et al.,1998).

4.5 Canteiros de pré-moldagem

Os canteiros de pré-moldagem devem ser minuciosamente planejados como uma unidade de produção, para não alongar demasiadamente o tempo de construção. Devem ser previstas as instalações necessárias de energia elétrica, adequada às necessidades dos equipamentos utilizados, assim como instalações hidráulicas, etc. Para o canteiro de pré-moldagem é preciso definir como será o processo e como será armazenado o produto final até o momento em que será levado ao local de sua utilização. Deve-se criar um modelo eficiente em função da logística de abastecimento e principalmente em função do tipo de obra para o qual será elaborado.

As características do canteiro de pré-moldagem de uma ponte dependem de uma série de fatores como área disponível, equipamentos utilizados para içamento e lançamento e nível de industrialização da obra, entre outros, mas, principalmente, do sistema construtivo adotado, que interferem diretamente no sistema de fôrmas e seqüência de concretagem.

Um canteiro típico é composto por uma área para montagem das armações, uma área de estocagem e uma pista onde são instaladas as fôrmas e concretados os segmentos de tabuleiro, separada do encontro por uma região de transição.

A existência de uma área específica para eventual montagem de gaiolas de armação em separado possibilita o trabalho de uma equipe praticamente independente das demais atividades de montagem de fôrmas, cura e lançamento dos segmentos concretados. Isto pode ser especialmente conveniente quando estas outras atividades estão concentradas num só local, como veremos no capítulo 5, na descrição dos sistemas construtivos das obras estudadas.

Com a construção executada pelo processo de lançamentos progressivos ou balanços sucessivos, fica praticamente eliminada a movimentação de materiais, equipamentos e mão-de-obra ao longo da obra, ficando quase todas as atividades concentradas no canteiro. De maneira geral, se o número de segmentos lançados for suficientemente grande e se houver espaço disponível na área do canteiro, a maior industrialização do mesmo, com pré-fabricação ou montagem dos materiais utilizados (gaiolas de armação, ancoragens e bainhas metálicas), é muito conveniente. Isto permite uma série de atividades em paralelo e redução nos tempos e no número de pessoas envolvidas na área de concretagem. Além disso, pela concentração das atividades envolvidas, a área do canteiro pode ser abrigada contra intempéries (Figuras 4.2 e 4.3), o que permite uma produção continuada segundo seus ciclos de fabricação, sendo as únicas atividades realizadas em área descoberta aquelas relativas ao lançamento propriamente dito.



Figura 4.2 - Canteiro coberto para lançamento simultâneo de dois tabuleiros no anel viário de Tai Po, Hong Kong (ENGINEERING NEWS RECORD, 1984 apud WAINBERG, 2002).



Figura 4.3 - Canteiro com áreas cobertas para montagem de gaiolas de armação e concretagem na ponte sobre o rio Serio, Itália (ROSIGNOLI, 1997 apud WAINBERG, 2002).

4.6 Considerações finais

Já é possível encontrar, na realidade dos canteiros de obras de algumas empresas construtoras brasileiras, uma série de modificações nos processos construtivos utilizados, que conduzem a uma maior fluidez do trabalho e, em consequência, a aumentos de produtividade e a melhorias na qualidade do produto final. Tais modificações poderiam ser ainda mais otimizadas caso o planejamento das instalações dos canteiros de obras não fosse realizado, na grande maioria dos casos, com uma quase total ausência de critérios e bases teóricas, acarretando diversos problemas que interferem no processo produtivo.

A necessidade de se pensar a obra a cada momento, e criar soluções para os problemas após os mesmos aparecerem, implicando em soluções menos eficientes do que as soluções previstas confirmam a necessidade da utilização de uma metodologia adequada para o desenvolvimento do projeto do canteiro.

A metodologia apresentada, além dos princípios já citados, procura atender a dois outros princípios estabelecidos para o seu desenvolvimento: ser uma metodologia aberta e de simples aplicação, de forma a possibilitar a sua utilização por qualquer empresa e por qualquer profissional de engenharia civil ou arquitetura, que esteja envolvido com o projeto de produção do empreendimento.

A aplicação desta metodologia é de fundamental importância para a elaboração do Programa de Condições e Meio Ambiente de Trabalho (PCMAT) na

indústria da construção, de forma a não se desenvolver apenas o arranjo físico inicial do canteiro de obras, mas sim, um projeto integrado para todas as fases da obra.

A importância deste capítulo, do ponto de vista tecnológico, está principalmente relacionada ao preenchimento de uma lacuna na organização da produção no canteiro de obras. A metodologia possibilita a incorporação de princípios, que, poderão aumentar a eficiência dos canteiros de obras, aumentar os níveis de qualidade e produtividade, contribuir para a melhoria do resultado final do empreendimento e aumentar a competitividade das empresas, tornando-as mais capazes, para a participação em um mercado cada vez mais competitivo.

5 DESCRIÇÃO DOS PROCESSOS CONSTRUTIVOS

Neste capítulo procura-se descrever os sistemas construtivos já apresentados anteriormente, começando pelo processo realizado em uma usina de pré-fabricação, a PREMAG Sistemas Construtivos Ltda., e em seguida referenciando-o a duas obras de pontes de grande porte bastante significativas. Uma delas, já concluída, Ponte Gateway em Brisbane, de relevância internacional, utiliza o processo construtivo de balanços sucessivos com segmentos pré-moldados protendidos, com uma metodologia construtiva inovadora, para a época, diferenciando-se em alguns aspectos da metodologia convencional. A outra, ainda em construção, Ponte sobre a Represa Billings no trecho Sul do Rodoanel Mario Covas, de significativa importância nacional por ser parte de um complexo viário de grandes proporções, utiliza o processo construtivo de balanços sucessivos com aduelas pré-moldadas protendidas com metodologia convencional e dois tipos distintos de montagem em função da situação local: por terra e por balsa.

Na usina de pré-fabricação, foi possível verificar a sistemática de produção, bem como a logística de fabricação, transporte e montagem das peças pré-fabricadas utilizadas em pontes e viadutos, em contraste com aquelas executadas nas obras, com as peças pré-moldadas em canteiro de pré-moldagem no local.

Para descrever os três sistemas construtivos foram utilizados dados reais, fotografias – tanto feitas no local como fornecidas pelas empresas – e informações obtidas dos próprios engenheiros responsáveis pelas obras estudadas.

O estudo mais detalhado dessas obras visa descrever as características mais relevantes da construção de duas pontes com metodologias de execução em balanços sucessivos de formas distintas, mostrando a complexidade do processo em ambas as obras e as alternativas de construção das aduelas pré-moldadas, de cada uma delas. Visa principalmente ressaltar o que se manteve igual e o que evoluiu ao longo dos anos no método de montagem das estruturas segmentadas pré-moldadas de concreto armado e protendido, com a análise de uma obra em construção tomando como referência uma obra já construída.

A partir das metodologias utilizadas nas obras apresentadas, este estudo se propõe também a contribuir para pesquisas futuras e análises mais aprofundadas do processo construtivo das obras de pontes e viadutos que utilizam a técnica de balanços sucessivos com segmentos pré-moldados, de forma a desenvolver um

modelo de gerenciamento que possa promover ganhos em termos de prazo, custo e qualidade.

A escolha da PREMAG se deu inicial, e primordialmente, por sua relevância no cenário brasileiro da construção civil nas últimas décadas. Esta importância se comprova não somente pelas inúmeras obras de médio e grande porte executadas, tais como pontes, viadutos e passarelas, ao longo de mais de 30 anos, mas também pela experiência acumulada nesse período. Sua capacidade técnica construtiva, aprimorada por meio de contínua pesquisa tecnológica em pré-moldados de concreto protendido, e o lançamento de novos produtos adaptados à realidade nacional são práticas constantes no decorrer de suas atividades e fazem com que a PREMAG possa se equiparar às grandes construtoras na execução de pontes e viadutos, além de apresentar metodologia construtiva semelhante àquelas executadas nas obras com canteiro de pré-moldagem no local.

Para acrescentar, além de a PREMAG atender perfeitamente às normas do concreto pré-fabricado que são exigidas nas obras de grande porte, especificamente nas pontes, a facilidade de comunicação com o gerente da fábrica e a proximidade de sua localização, que facilitaram as visitas necessárias, foram igualmente fatores importantes na escolha desta usina de fabricação para o estudo desta metodologia construtiva.

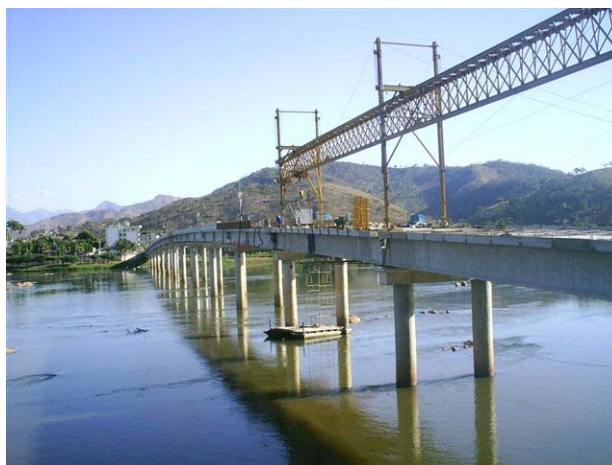
5.1 Sistema construtivo da Premag®

A Premag® é uma indústria de pré-fabricados de Concreto Armado e Protendido voltada para aplicação em obras urbanas, rodoviárias, ferroviárias e de construção civil. Fundada em 1975 e instalada nas margens da Rodovia BR-116, no km 111, em Citrolândia, Magé, Rio de Janeiro, sua localização está próxima aos centros produtores e distribuidores dos insumos básicos constituintes do concreto permitindo total integração com a malha rodoviária do Estado do Rio de Janeiro.

A empresa pré-fabrica, transporta e monta as usuais superestruturas de pontes, viadutos, pontilhões e passarelas de pedestres.

Com o objetivo de minimizar prazos e custos inerentes à construção de pontes e viadutos das classes 12, 30 e 45, desenvolveu um tipo de superestrutura de concreto protendido, totalmente pré-fabricada, economicamente viável e capaz de cobrir vãos livres de até 40 metros. A opção do uso de Concreto de Alto Desempenho (CAD) aumenta ainda mais a durabilidade das obras sujeitas a trabalho em meio ambiente agressivo, devido à utilização de sílica ativa e cimento portland resistente a sulfatos.

Os tipos mais usuais de peças pré-fabricadas padronizadas para as pontes executadas pela empresa são: vigas, lajes e pilares. Devido às dimensões variarem bastante de obra para obra e pela maior dificuldade para realizar o transporte, a empresa não pré-fabrica, usualmente, aduelas ou segmentos com seções em caixão celular para balanços sucessivos. A Figura 5.1 ilustra algumas das principais obras de grande porte realizadas e os principais tipos de montagem utilizados.



(a) Ponte sobre o rio Paraíba do Sul em São Fidélis, RJ, montagem com treliças de lançamento (cortesia da Premag®).



(b) Viaduto de acesso à Linha Vermelha, Rio de Janeiro, RJ, montagem com guindaste (cortesia da Premag®).



(c) Ponte sobre o canal São Fernando, Santa Cruz, Rio de Janeiro, RJ, montagem com guindaste sobre flutuante (cortesia da Premag®).



(d) Passarela sobre a RJ-106, São Pedro D'aldeia, RJ, montagem com guindaste (cortesia da Premag®).

Figura 5.1 - Principais obras realizadas e suas respectivas montagens

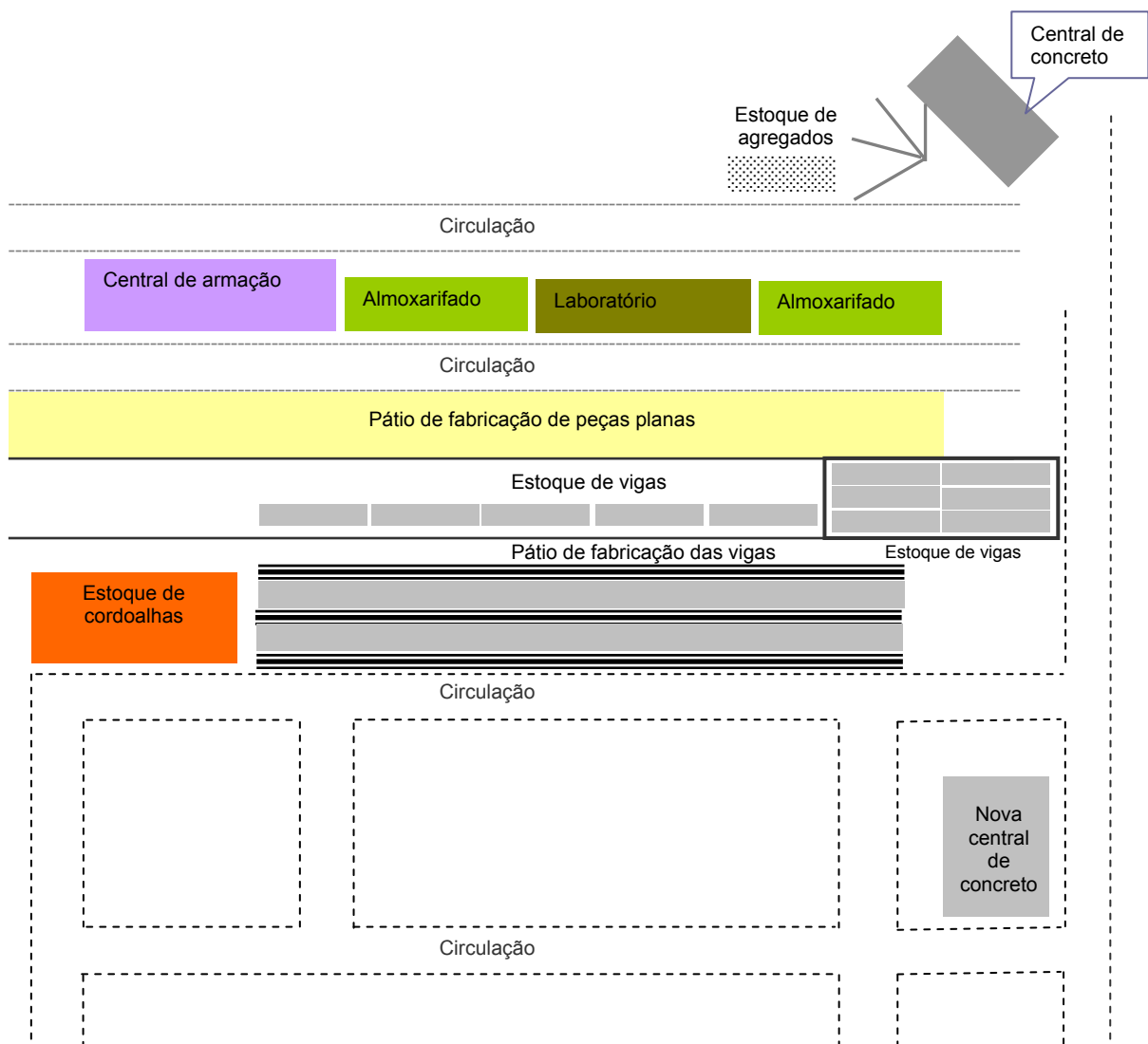
Seu sistema executivo se constitui da integração dos processos de fabricação, transporte e de montagem, onde são utilizados equipamentos próprios e especiais, reduzindo os prazos e custos do seu produto final. A utilização dessa tecnologia possibilita a execução completa, em fábrica, das superestruturas das pontes ou viadutos onde somente a montagem é feita no canteiro de obras.

O seu parque industrial de produção de pré-fabricados de concreto armado e protendido, conforme *layout* apresentado na Figura 5.2, compreende basicamente a seguinte configuração:

- Central de concreto, com 2 misturadores de ação intensiva (recém construída);
- Central dosadora de concreto e estoque de agregados;
- Central de armação;
- Pistas para fabricação e protensão de vigas com até 1,90m de altura, em fôrmas de concreto;
- Pistas para produção de peças planas;
- Laboratório para controle tecnológico do concreto;
- Estoque de cordoalhas;
- Estoque de vigas;
- Estoque de peças planas
- Almoxarifado e Oficinas.



(a) Foto aérea da fábrica (cortesia da Premag®).



(b) *Layout da fábrica.*

Figura 5.2 - Parque industrial da Premag®.

A empresa possui caminhões/carretas próprios para o transporte das peças ao local da montagem, além de caminhões betoneira e pontes rolantes utilizados para a concretagem e movimentação das peças dentro do pátio para os estoques.

As vigas principais de uma superestrutura de ponte ou de viaduto executados pela empresa, na usina de fabricação, são de concreto protendido com aderência inicial. Sua utilização permite vãos padronizados de até 40 metros. Na Figura 5.3 podem ser vistas algumas das seções transversais padrões das vigas pré-fabricadas mais comumente utilizadas.

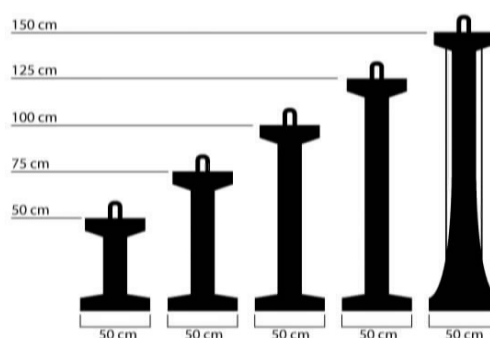


Figura 5.3 - Seções transversais padrões das vigas pré-fabricadas pela Premag®. Disponível em: < <http://www.premag.com.br> >

5.1.1 Processo de fabricação

A sequência do processo de fabricação das peças pré-fabricadas segue o seguinte planejamento:

- Recebimento e análise dos projetos;
- Previsão de insumos (aço, cimento, areia, pedra, aditivos);
- Programação de fabricação;
- Corte e dobra de armação;
- Montagem das formas;
- Conferência das formas e armaduras;
- Dosagem do concreto;
- Concretagem;
- Desfôrma;
- Liberação do controle tecnológico;
- Protensão;
- Estoque;
- Carga para transporte;
- Lançamento e Montagem na obra.

De um modo geral a pré-fabricação das peças começa depois que os blocos das fundações começaram a ser concretados, mas há situações em que a pré-fabricação é executada simultaneamente. Cada caso deve ser analisado de acordo com vários fatores, tais como o cronograma financeiro da obra, área da fábrica disponível para estoque, disponibilidade dos funcionários, dos equipamentos, dos fornecedores de materiais e serviços de terceiros eventualmente envolvidos.

O processo se inicia baseado no recebimento e análise dos projetos a partir do qual se pode planejar a previsão dos insumos e a programação da pré-fabricação das lajes, vigas e demais peças.

A Figura 5.4 apresenta um exemplo típico de cronograma de execução, que mostra o seqüenciamento das principais atividades de uma obra e que serve de base para dar início ao processo de fabricação. O cronograma apresenta o equivalente percentual de cada atividade em relação a todas as atividades desenvolvidas na construção assim como o percentual das atividades executado a cada mês.

Item	Discriminação	Meses												% Totais da Obra
		1º				2º				3º				
1	MOBILIZAÇÃO													5%
		5%												5%
2	FUNDAÇÕES													5%
					5%									5%
3	BLOCOS													10%
					2,5%			7,5%						10%
4	PRE-FABRICAÇÃO													
4.1	VIGAS													45,0%
								45,0%						45,0%
4.2	LAJES													25,0%
								25,0%						25,0%
5	TRANSPORTE													4,0%
										4,0%				4,0%
6	MONTAGEM													4,0%
										4,0%				4,0%
7	SOLIDARIZAÇÃO													2,0%
												2,0%		2,0%
% Totais da Obra		12,5%				77,5%				10,0%				100,0%

Figura 5.4 - Cronograma do alargamento da ponte sobre o canal Taquara localizado na BR 116-RJ (cortesia da Premag®).

De posse da programação e de acordo com as plantas de fôrma e armação recebidas, pode ser iniciada a fabricação das peças.

A primeira atividade a ser realizada é a preparação da armação, que se constitui do corte e dobra de toda a ferragem utilizada no projeto. A Figura 5.5 ilustra a central de armação, o local para estoque da ferragem, as bancadas de corte e dobra da ferragem e a seqüência de atividades realizada pela equipe de armadores.



(a)



(b)



(c)

Figura 5.5 - Central de armação. (a) Estoque da ferragem e bancadas para corte e dobra da armação. (b) Máquina de corte e dobra da ferragem localizada no extremo da bancada. (c) O armador dobra a ferragem utilizada como estribos e espaçadores.

As fôrmas das vigas principais são em concreto com superfícies tratadas com epóxi. Este sistema permite perfeito alinhamento das fôrmas, total estanqueidade e

um acabamento externo das peças de excelente qualidade. São também utilizados desmoldantes industrializados (Desmold) entre a fôrma de concreto e o concreto para evitar que as superfícies se colem e facilitar a desfôrma. Um mecanismo permite a rotação das formas de modo a posicioná-las corretamente para realização da concretagem. Para facilitar esse movimento utiliza-se um guincho fixado à ponte rolante que as suspende pelas alças existentes nas laterais (Figura 5.6).



(a)



(b)



(c)

Figura 5.6 - Detalhes das fôrmas. (a) Fôrmas em concreto com superfícies tratadas com epóxi. (b) Mecanismo que permite a rotação das fôrmas. (c) Guincho e ponte rolante que suspende a fôrma pelas alças nas laterais.

Antes da concretagem, as armaduras de protensão (cordoalhas de aço especial) são distribuídas ao longo dos 136m de comprimento da pista de fabricação e fixadas por cunhas em ancoragens situadas nos extremos da pista (Figura 5.7). Nesta fase, é realizado um minucioso trabalho de conferência das fôrmas e das armaduras ao longo da pista de fabricação, simultaneamente ao tratamento das fôrmas com os desmoldantes mencionados anteriormente (Figura 5.8).



(a)



(b)

Figura 5.7 - Detalhes das armaduras de protensão. (a) Distribuição da armadura de protensão ao longo da pista de fabricação. (b) Colocação da cunhas de ancoragem no extremo da pista.



Figura 5.8 - Conferência das fôrmas e das armaduras na pista de fabricação.

A central de concreto recentemente construída, ilustrada na Figura 5.9, utiliza misturadores de ação intensiva com sistema contracorrente forçada. Totalmente automatizada e com alto grau de controle, emprega até sete agregados diferentes e dois tipos de cimento, possibilitando a produção industrial dos mais variados tipos de concreto tais como de alto desempenho e especiais; secos ou plásticos; leves; coloridos; resistentes à agressividade da água e de altas resistências.



Figura 5.9 - Central de concreto

A produção industrial permite o uso de concreto dosado racionalmente e de alto desempenho acarretando um ciclo de produção de curta duração que finaliza no momento em que o concreto adquire a resistência desejada, que varia entre 25 e 50 MPa, conforme a especificação do projeto. Para facilitar a concretagem de peças com grande densidade de armaduras, fazem uso de plastificantes (como por exemplo, o Plastek) na mistura do concreto.

O ciclo de fabricação é baseado em programações de produção em série que resultam em um rendimento de 270m de vigas por semana e aproximadamente 500m³/mês de lajes, pilares, galerias e outras peças, com 45 trabalhadores. A montagem de uma viga com guindastes leva em torno de 0,5h com 8 trabalhadores e com treliça de lançamento leva 6h com 12 trabalhadores (dados da Premag[®]).

A concretagem é realizada com o caminhão betoneira movimentando-se ao longo da pista conforme Figura 5.10, e simultaneamente, é liberada a realização do controle tecnológico em laboratório próprio dentro da empresa, o que permite apurar um resultado com maior rapidez e menor custo. Ensaios com corpos de prova são feitos periodicamente para constatar a resistência das peças, permitindo acurado controle de qualidade no decorrer do processo de fabricação (Figura 5.11).



Figura 5.10 - Concretagem de uma viga com caminhão betoneira.



Figura 5.11 - Retirada de material para realização do controle tecnológico e ensaios de resistência com corpos de prova.

As armaduras de protensão, fixadas por cunhas em ancoragens situadas nos extremos da pista, são tracionadas com auxílio de macacos hidráulicos até que seja atingida a força de tração estipulada no projeto. Em seguida, as cunhas nos extremos da pista são retiradas transmitindo-se por aderência os esforços de protensão para a peça estrutural (Figura 5.12).



(a)



(b)



(c)

Figura 5.12 - Detalhes da protensão. (a) Encaixe do macaco hidráulico na extremidade. (b) Macaco hidráulico tracionando a armadura com a verificação concomitante da carga de projeto. (c) A carga é atingida e o armador retira o macaco hidráulico cortando a extremidade da armadura com maçarico.

As peças concretadas liberadas para utilização são movimentadas para o estoque (Figura 5.13), onde ficarão até serem retiradas e transportadas para a obra.



Figura 5.13 – Estoque das peças concretadas.

5.1.2 Transporte

A movimentação das peças para o estoque, bem como a colocação das mesmas sobre o caminhão que as transportará para o local da obra, é feita com a utilização das pontes rolantes, conforme Figura 5.14.



Figura 5.14 - Colocação da viga sobre o caminhão que a transporta para obra.

Para o transporte das vigas protendidas utilizam-se tratores mecânicos (cavalos mecânicos) e reboques. O retorno é feito com o reboque sendo carregado pelo próprio cavalo mecânico, reduzindo-se com isso os custos inerentes ao processo. Em casos especiais, as vigas são transportadas apoiadas em dois tratores, conforme visto na Figura 5.15, possibilitando, conseqüentemente, total liberdade de movimentação para o transporte de vigas de grande comprimento.



Figura 5.15 - Transporte da viga com dois tratores mecânicos

As lajes de passarelas, pré-lajes, placas de continuidade, transversinas, barreiras e guarda-corpos, que complementam os tabuleiros das obras-de-arte especiais, são transportados por carretas do tipo convencional.

A indústria de fabricação em usina apóia-se em uma engenharia de transporte, profundamente estudada e analisada para obtenção de um sistema racional de baixo custo e que não só se ajuste às determinações nacionais de leis, de códigos e normas que regem o assunto, mas que também possibilite o tráfego a grandes distâncias, em qualquer classe de rodovia, quer seja pavimentada ou em leito natural, com planejamento e segurança conforme pode ser visto na Figura 5.16.



Figura 5.16 - Tráfego em rodovias com segurança e planejamento da viagem.

5.1.3 Montagem

O uso da pré-fabricação nas superestruturas das obras de pontes e viadutos, com os elementos estruturais fabricados em usina, exige um minucioso trabalho de planejamento de todas as etapas de montagem, antes de iniciarem as atividades no local da obra, conferindo assim agilidade e redução dos prazos de serviços. É importante ressaltar que um dos principais fatores para uma montagem bem sucedida é a perfeição da peça executada. As peças são montadas sobre encaixes cujas dimensões devem ser rigorosamente exatas e verificadas na fabricação, caso contrário a peça não encaixa e a montagem não é possível.

Na montagem de pontes de um único vão, de viadutos e de passarelas, o guindaste é comumente utilizado para o lançamento. Como o peso máximo das peças a serem movimentadas é de aproximadamente 15 toneladas, geralmente são utilizados guindastes de média capacidade. O sistema de lançamento foi projetado para se adequar às mais adversas condições, sendo funcional e dimensionado especificamente para as peças produzidas pela empresa. Em centros urbanos essa

solução é sempre procurada, pois são minimizados os transtornos causados à população e, muitas vezes, é feita sem interrupção do tráfego (Figura 5.17).



(a)



(b)



(c)

Figura 5.17 - Sistema de lançamento com guindaste de média capacidade. (a) Içamento de laje. (b) Içamento de viga. (c) Montagem de passarela de pedestres.

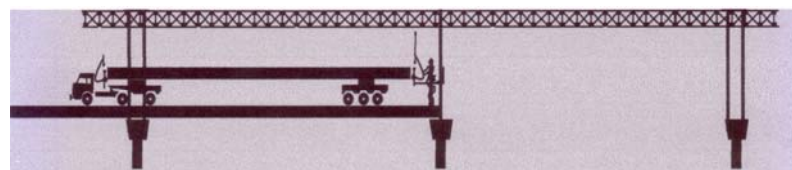
A treliça de lançamento é o equipamento mais adequado na montagem sobre rios e de pontes com vários vãos. Para tanto, foi desenvolvida uma treliça de

estrutura leve, transportada com as peças, com capacidade de 400 toneladas apoiada em pórticos estaiados de altura regulável servindo para o lançamento longitudinal de vãos com até 40 metros, e de painéis de lajes com até 15 metros de largura (Figura 5.18).

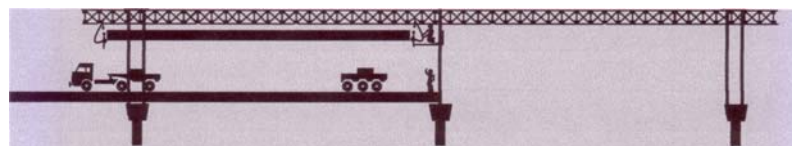


Figura 5.18 - Treliça de lançamento

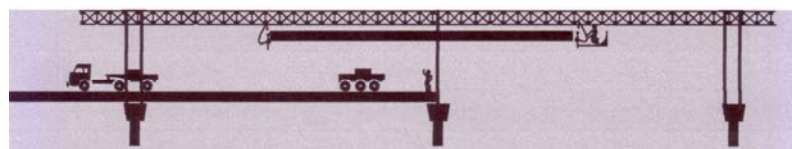
As treliças lançadeiras foram projetadas para obter-se o máximo rendimento estrutural, adaptadas às condições de trabalho costumeiramente enfrentadas. Foram concebidas para resultar em um lançamento rápido, eficaz, e seguro. Estando executada a estrutura de apoio, a seqüência de montagem das vigas principais de uma ponte, transportadas pelo cavalo mecânico com reboque, fazendo uso da treliça de lançamento, é bastante simples e segue o esquema ilustrado na Figura 5.19. Após a montagem o reboque retorna sendo carregado pelo próprio cavalo mecânico.



(a)



(b)



(c)

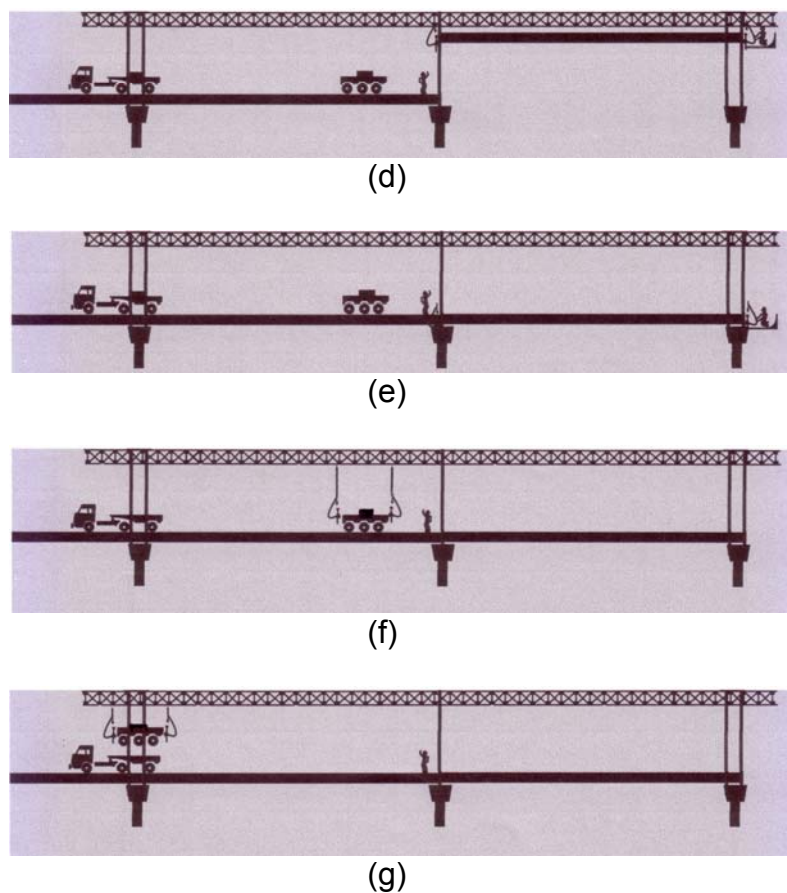


Figura 5.19 - Sequência de montagem de uma viga transportada pelo cavalo mecânico com utilização de treliça lançadeira de fabricação própria. (a) Chegada da viga no local da obra. (b) e (c) Retirada e içamento da viga. (d) Movimentação da viga até o vão da montagem. (e) Montagem da viga. (f) e (g) Içamento do reboque e movimentação para retorno no cavalo mecânico.

A solidarização estrutural é executada no local da obra (Figura 5.20) constituindo da armação e da concretagem de ligação entre as diversas peças pré-fabricadas, atendendo aos critérios de cálculo previstos em projeto para o tabuleiro.



Figura 5.20 - Solidarização estrutural executada no local da obra.

As barreiras e os guarda-corpos, utilizados para limitar as vias de tráfego de pedestres, também são pré-fabricados e montados pela Premag®, complementando a construção do tabuleiro (Figura 5.21).



Figura 5.21 - Barreiras e guarda-corpos.

5.1.4 Considerações Finais

A tecnologia da pré-fabricação de estruturas de concreto armado e protendido é um processo evolutivo, voltado para as necessidades do mercado nacional na área de obras rodoviárias, ferroviárias e da construção civil. O sistema de pré-fabricação é vantajoso principalmente pela economia, apresentando para as obras custos totais inferiores aos das soluções convencionais de concreto armado ou protendido, estrutura metálica ou estrutura mista. A simplificação do canteiro de obras, eliminando os trabalhos de escoramento das formas e de concretagem de lajes ou vigas nos locais das obras, acarreta uma comprovada redução de desperdícios de materiais e uma significativa redução nos prazos de execução. Atualmente, pode-se observar que as obras executadas por esse processo apresentam excelente estado de conservação, demonstrando o aprimorado cuidado na concepção e o acurado controle de qualidade imposto no decorrer do processo produtivo, ampliando cada vez mais a qualidade e a durabilidade das obras.

5.2 A Construção da Ponte Gateway - Brisbane - Queensland

5.2.1 Introdução

Com início de projeto e construção em junho de 1980, a Ponte Gateway em Brisbane, Austrália, construída pela empresa Transfield (Qld.) e fiscalizada pelo principal departamento de rodovias do País, foi inaugurada no dia 11 de janeiro de 1986, cinco meses antes do final previsto planejado, com um custo completo de US\$82.000.000. O gerenciamento da construção foi realizado utilizando um sistema de “projeto simultâneo” (*fast-track*), de modo a permitir, nos estágios iniciais do contrato, o projeto e a construção concomitantes, ao invés do método usual de completar o projeto da ponte antes do início da construção.

Sua construção em balanços progressivos foi executada de forma inovadora e desconhecida para a época, o que fez com que se tornasse uma obra de grande relevância internacional.

Os vãos de acesso, cinco no lado sul e dez no lado norte, foram construídos de segmentos pré-moldados em canteiros e os caixões em balanço nos vãos sobre o rio foram construídos moldados no local. O vão principal em balanço com 260 metros de comprimento foi, na época, o maior já construído nesse gênero.

A descrição que se segue como referência teórica, foi baseada em vídeos disponíveis na internet que documentam as etapas e os aspectos construtivos da obra, além de documentos de trabalho não publicados fornecidos pelos engenheiros responsáveis pela construção da ponte. Muitas informações também foram obtidas no site da empresa que no momento é a responsável pela construção atual da duplicação desta ponte (www.gatewayupgradeproject.com.au).

5.2.2 Características técnicas e restrições do projeto

O cruzamento completo do rio consiste em uma ponte de concreto protendido com um comprimento total de 1627 metros entre os encontros. A estrutura é dividida em um acesso ao sul com 376 metros, um acesso ao norte com 731 metros e a estrutura do vão principal acima do rio com 520 metros de comprimento. É uma via com seis pistas, possibilitando o tráfego na direção norte-sul, dando acesso às áreas industriais de lados opostos do Rio Brisbane e ao novo Aeroporto de Brisbane.

Segundo Higgins e Matt (1983), o perfil da ponte foi determinado principalmente em função dos requisitos geométricos decorrentes igualmente das autorizações e das restrições da área de navegação em função do tráfego aéreo do Aeroporto de Brisbane, bem próximo.

Longos viadutos de acesso com piers altos foram necessários para obter tanto a altura exigida de 55 metros sobre uma largura de 240m pelo gabarito para a navegação no rio, quanto o declive especificado do acesso no local de 5,3%. Uma limitação adicional foi imposta pela proximidade do aeroporto que restringiu a altura da superestrutura para 80 metros, altura padrão australiana de referência, sobre a linha mais próxima ao nível do rio, conforme esquema da Figura 5.22.

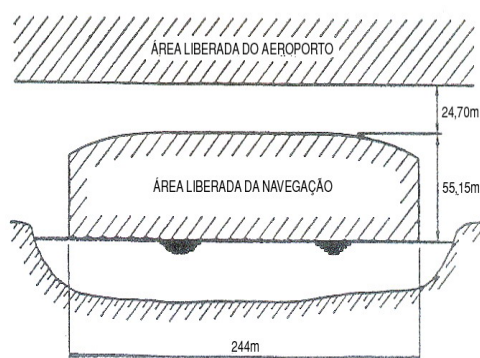


Figura 5.22 – Diagrama da área de liberação (HIGGINS; MATT, 1983).

A seguir são apresentadas algumas das principais características técnicas e geométricas da construção desta ponte:

- Comprimento total: 1630 m
- Altura Máxima: 65 m
- Canal de navegação: 55 m
- Largura: 22 m (6 pistas)
- Vão principal sobre o rio: 260 m (caixão em balanço)
- Concreto: moldado “in loco” - 48000 m³; pré-moldado - 15000 m³
- Armadura: 9900 t
- Cabos tensionados: 2200 t ou 2800 km
- Barras tensionadas: 350 t
- Carregamento em cada pier no rio: 30.000 t
- Aparelhos de apoio da ponte: carga testada máxima de 4300 toneladas
- Trelença de montagem: pesando 650 toneladas
- Macacos de areia: capacidade de 1.500 toneladas

5.2.3 Planejamento da construção

Quando a concepção estrutural ficou enfim definida, as cargas nas fundações foram obtidas do projeto preliminar e as estacas, as bases e os piers foram detalhados em primeiro, para permitir que a construção começasse imediatamente.

Paralelamente ao detalhamento das fundações, o planejamento da montagem da treliça era também realizado. Depois de selecionado o projeto da treliça elevada, pelo empreiteiro, o projeto da superestrutura precisou ser modificado para se adequar ao sistema de caixões suspensos, permitindo que se começasse a pré-moldagem dos caixões no início de 1982 (HIGGINS; MATT, 1983).

O programa de construção do empreiteiro foi apresentado por um gráfico de barras, que incluiu tanto as atividades de projeto quanto as atividades de construção além de indicar o caminho crítico. Este programa de construção foi atualizado para acomodar as diversas modificações necessárias durante a construção, já esperadas para um sistema de “projeto simultâneo” (*fast-track*), de tal magnitude.

5.2.4 Fundações

5.2.4.1 Lado sul - encontro A e piers 1 a 5

O trabalho de fundação começou nos acessos do lado sul. As sapatas de base para os cinco piers e para o encontro foram assentadas diretamente sobre o terreno de arenito. A maior delas tinha 15,2 metros de comprimento por 9,9 metros de largura e 2 metros de profundidade. O encontro A foi projetado sobre uma parede contraforte (Figura 5.23).



Figura 5.23 - Escavação para o Encontro A (HIGGINS; MATT, 1983).

O trabalho no pier 6 ilustrado na Figura 5.24 começou em janeiro de 1981. O pier 6 estava localizado a 30 metros da margem sul dentro do rio e 15 metros fora da extremidade do canal de navegação. Uma ensecadeira retangular de 31 metros de largura por 27 metros de comprimento foi construída utilizando estacas prancha, cravadas com um bate-estaca a diesel *Kobe* 25 por condutores suspensos.

O acesso à ensecadeira era feito por meio de quebra-mares em ambos os lados do rio (a jusante e a montante), capazes de agüentar um guindaste móvel de 90 toneladas (HIGGINS; MATT, 1983).



Figura 5.24 - Pier 6 (ROTOLONE, 1986).

A fundação dos piers no rio foi feita com um grupo de 48 estacas com um metro e meio de diâmetro construídas dentro da ensecadeira em oito filas de seis estacas. Os revestimentos de aço foram colocados com um martelo a diesel *Kobe* 45 por condutores suspensos e eram localizados e apoiados em gaiolas superiores e inferiores incorporadas em uma treliça móvel de aço com 3 metros de profundidade e 5 metros de largura que atravessava a largura da ensecadeira (Figura 5.25). A treliça era movida de fila em fila sobre roletes no topo da parede da ensecadeira (HIGGINS; MARWICK, 1983).

As estacas do pier 6 foram projetadas para uma fundação do tipo sino cujo tamanho variava de dois a três metros de diâmetro e de um e meio a dois e meio metros de profundidade.

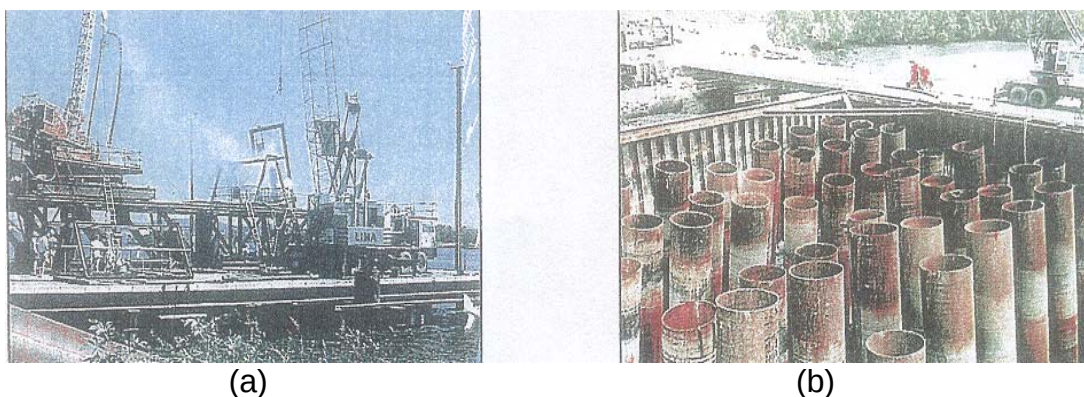


Figura 5.25 - Fundações do pier 6. (a) Broca *Calweld* operando na treliça e o martelo *Kobe 45* cravando as estacas. (b) Interior da ensecadeira: 48 camisas de aço para estacas de concreto com 1,5 metros de diâmetro (ROTOLONE, 1986).

Segundo Higgins e Matt (1983), o trabalho nas 48 estacas começou em abril de 1981 e terminou em setembro de 1981. Todas as estacas foram concretadas com um equipamento ligado a uma mangueira (*tremmies*), usado para lançar materiais no local por gravidade.

Depois de todas as estacas serem concretadas, foi executada uma base de concreto com um volume total de 1.540 m^3 em duas camadas sob a água, primeiramente uma camada com 400 milímetros de espessura seguida por uma segunda etapa de 1.600 milímetros de espessura (HIGGINS; MATT, 1983).

A base foi executada usando bombas para lançamento de concreto com guindaste ao invés dos *tremmies*. Depois da execução da base, foi retirada a água da ensecadeira e em seguida foi colocada uma camada niveladora de concreto com 400 milímetros de espessura. Depois disso os revestimentos das estacas foram cortados, o concreto foi aparado ficando exposta a armadura de aço.

A base sobre as estacas medindo 24,7 metros por 20,3 metros e 3,6 metros de profundidade foi executada em quatro semanas. Foram utilizadas 444 toneladas de armadura de aço e o lançamento do concreto foi realizado por quatro bombas de lançamento (Figura 5.26). O trabalho começou às 04h00min e estava terminado às 17h00min. Foram necessários 24 caminhões para carregarem o concreto de duas fábricas da empresa *Readymix*. Foi lançado, no total, o volume de 1.700 m^3 de concreto em uma única operação (HIGGINS; MATT, 1983).

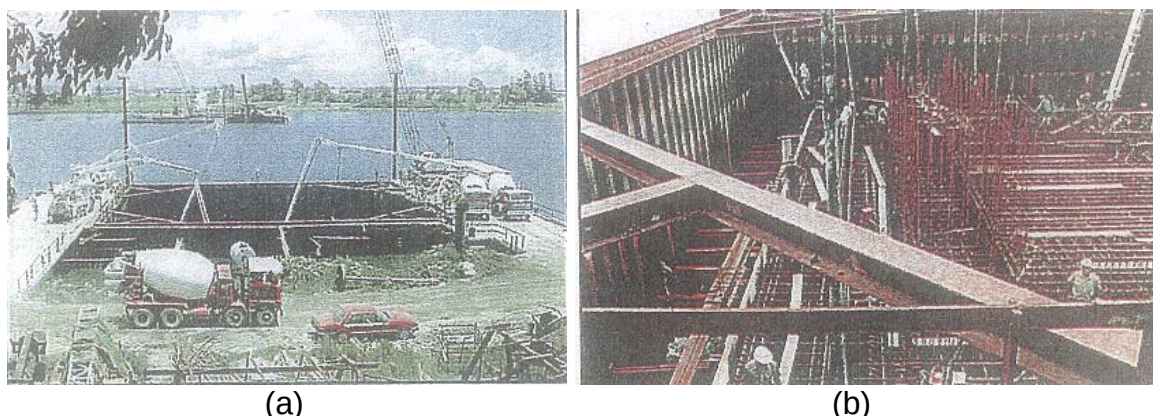


Figura 5.26 - Fundações do pier 6. (a) Base de concreto executada utilizando quatro bombas de lançamento. (b) Armadura de aço colocada na base das estacas (ROTOLONE, 1986).

5.2.4.2 Lado norte - construção das estacas

Segundo Higgins e Marwick (1983), nos acessos ao norte, as fundações consistiram em estacas octogonais pré-moldadas de concreto protendido, com 560 milímetros de diâmetro. Elas foram pré-moldadas no local usando uma pista de protensão com 46 metros de comprimento. Duas ou três seções eram moldadas de cada vez, dependendo das necessidades.

Na pista de moldagem foi utilizado um guindaste com pórtico de capacidade 20 toneladas. As estacas eram moldadas em ciclos de um dia.

A especificação do concreto foi de 45 MPa e a resistência necessária para retirada das fôrmas de 30 MPa foi obtida por cura a vapor durante a noite.

A cravação foi realizada usando três tamanhos de martelos *Kobe* a diesel. O mais leve, *Kobe* 25, foi usado para cravar a seção de ponta, 22 metros de comprimento através das camadas superiores mais macias para evitar tensão na estaca. As seções de ponta eram lançadas em uma estrutura atirantada com cabos de 12 metros de altura, com até seis estacas de cada vez. A cravação das seções de ponta parava a um metro e meio acima do nível do solo para permitir que a emenda das seções superiores fosse realizada (Figura 5.27).

Depois das emendas das barras com epóxi e luvas externas, e depois de uma noite para a cura do epóxi, a cravação continuava com o martelo *Kobe* 45 até a estaca penetrar nas camadas de cascalho mais profundas não mais precisando ser suportada pelas gaiolas (HIGGINS; MARWICK, 1983).

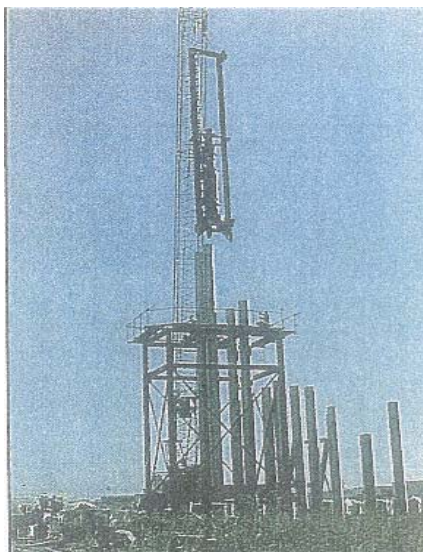
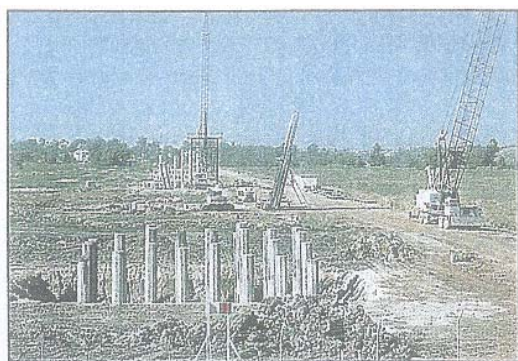


Figura 5.27 - Estrutura para cravação das estacas no acesso do lado Norte (ROTOLONE, 1986).

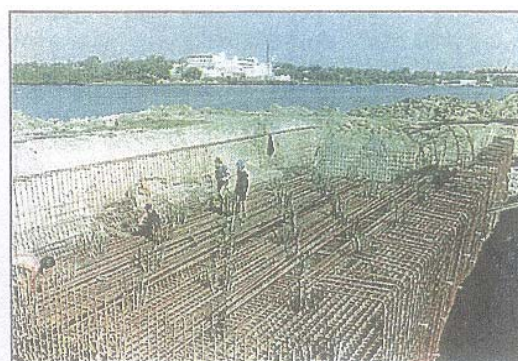
A armação era então removida, a escavação abaixo da cabeça da estaca era completada e a cravação continuava com o martelo *Kobe 80* para cravar a estaca na rocha. O martelo *Kobe 80*, com peso de 20,5 toneladas mais as guias, impede-o de ser utilizado comumente em cravação de estacas. As deformações nas estacas que estavam sendo cravadas com o *Kobe 80* eram da ordem de dois a três milímetros, com uma energia de cravação de 22 toneladas por metro.

Depois dessa etapa as estacas eram cortadas, e a armadura de aço ficava exposta antes da moldagem das cabeças das estacas (Figura 5.28).

Foram cravadas ao todo 424 estacas. O comprimento máximo das seções de ponta até a cabeça foi de 23 metros, pesando 15 toneladas. O comprimento total das estacas maiores era de 46 metros (HIGGINS; MARWICK, 1983).



(a)



(b)

Figura 5.28 – (a) Pier 16: Cravação das estacas completada e a base das estacas escavada. (b) Pier 8: Armação de aço da base das estacas (ROTOLONE, 1986).

O trabalho no pier 7 começou em setembro de 1981. O pier 7 está localizado dentro do rio a 120 metros da margem do rio ao norte e também está fora do limite do canal de navegação.

Uma ensecadeira maior e mais profunda (Figura 5.29) foi construída usando estacas prancha, cravadas com o martelo *Kobe 25*. Uma das extremidades da ensecadeira ficava aberta para permitir o acesso do guindaste flutuante para cravar os revestimentos com um martelo *Kobe 45* por condutores suspensos.

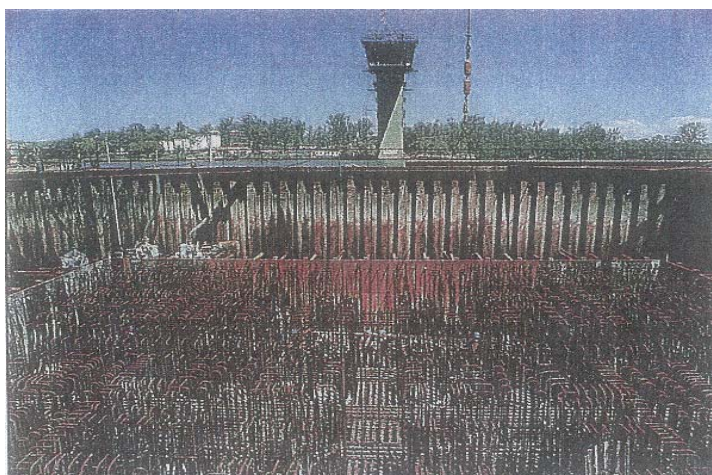


Figura 5.29 - Pier 7: Armadura de aço colocada na base das estacas no interior da ensecadeira (ROTOLONE, 1986).

Segundo Higgins e Marwick (1983) o projeto para este pier precisou de 48 estacas com um metro e meio de diâmetro, pesando em média 18 toneladas. Devido à qualidade da rocha, ao invés de fundações em forma de sinos, foram necessários encaixes tipo soquetes. Foi previsto que estes encaixes teriam profundidade de seis ou sete metros.

Todas as estacas em fila eram colocadas em gaiolas de estacas, na treliça, por um guindaste móvel de 90 toneladas localizado em uma barcaça. As estacas foram cravadas com um martelo *Kobe 45* por condutores suspensos com o mesmo guindaste. O trabalho de escavação, recravamento e perfuração de cada estaca levava cerca de 13 dias.

A concretagem das estacas, feita em dois estágios, levava cerca de cinco dias. O primeiro estágio consistia na retirada da água, limpeza, inspeção, colocação da armação de reforço e concretagem do soquete e levava três dias. Enquanto o segundo consistia na retirada da crosta, colocação da armação de reforço e concretagem da estaca e levava mais dois dias.

A cravação e a escavação dessas 48 estacas foi a atividade mais demorada de todo o projeto. Por causa da imprevisibilidade deste trabalho e das grandes mudanças nos comprimentos das estacas e dos soquetes (o soquete mais profundo alcançou 14,5 metros e as estacas mais longas tinham 52 metros de profundidade), esta parte das fundações transformou-se em trabalho extra. Transformou-se, também, em atividade crítica. A primeira estaca foi concretada no dia 2 de dezembro de 1981 e a última foi concretada no dia 12 de outubro de 1983.

A base de cobertura da estaca foi construída da mesma maneira que no Pier 6, exceto que era maior, contendo 2020 m³ de concreto e 457 toneladas de armadura de aço (HIGGINS; MARWICK, 1983).

5.2.4.3 Construção dos piers - lado norte e lado sul

Os piers dos vãos de acesso variam em altura de 10 até 45 metros. São seções em caixões vazados com 9.200 milímetros por 2.000 milímetros de largura, todos, exceto os quatro mais altos, que têm 2.300 milímetros de largura. A base de cada pier está apoiada em três aparelhos de apoio *potstay*.

Segundo Higgins e Matt (1983), até começar a construção da superestrutura, os piers precisavam ser fixados temporariamente. Isto foi obtido por revestimentos de aço e armações tensionadas embutidas. Quando as escoras de estabilidade do pier foram anexadas ao topo de cada pier, esses revestimentos de aço foram removidos e a carga do pier era transferida para os aparelhos de apoio.

Concreto de 30 MPa foi lançado por betoneiras de concreto e guindastes móveis em todos os piers, exceto nos piers 4, 8, 9 e 11, onde foi necessário concreto de 40 MPa por especificação do projeto. Os piers foram colocados a 3,75 metros de altura.

As colunas duplas do pier 6 foram construídas simultaneamente em levantamentos de 3.160 milímetros de altura. O sistema de elevação consistia em uma estrutura básica apoiada no topo da concretagem antecedente, de onde as fôrmas eram levantadas usando-se blocos corridos. Os piers são seções vazadas de caixões com 12.000 milímetros por 2.500 milímetros de largura com dois diafragmas. Estes piers foram fixados rigidamente na base de cobertura das estacas e elevados em 15 levantamentos. Modificações na armação de aço e outros detalhes menores que foram feitos no projeto depois da finalização do pier 6 permitiram que o tempo

de montagem do pier 7 alcançasse um ciclo de três dias de construção para cada levantamento. Foi usado concreto de 40 MPa usando uma bomba de lançamento do concreto colocada entre os piers, de modo a facilitar a passagem por cima das fôrmas.

Depois de atingir o topo dos piers, o sistema de elevação foi modificado para se adequar à seção transversal da unidade inicial e usado para construir o caixão do pier em cinco estágios.

Segundo Higgins e Matt (1983), em consequência do número de acidentes sérios causados por impacto de navios, proprietários e projetistas atualmente mais conscientes deste problema, constroem ilhas protetoras de areia em torno dos piers que em alguns casos são consideradas soluções muito efetivas. No caso da Ponte Gateway, devido aos requisitos de altura dos vãos, tais ilhas não foram possíveis. A proteção de ambos os piers foi obtida primeiramente por uma estrutura para impacto de pier consistindo em paredes de concreto construídas de maneira convencional dentro da ensecadeira e depois enchidas com pedra e cobertas com uma base de concreto.

Além disso, o pier do sul é protegido, tanto rio acima quanto rio abaixo, por uma estrutura para impacto de navios além da estrutura de proteção do pier (Figura 5.30). Esta estrutura para impactos consiste em uma parede de estacas prancha vazada enchida com pedras, cujo topo fica cerca de dois metros abaixo da água.

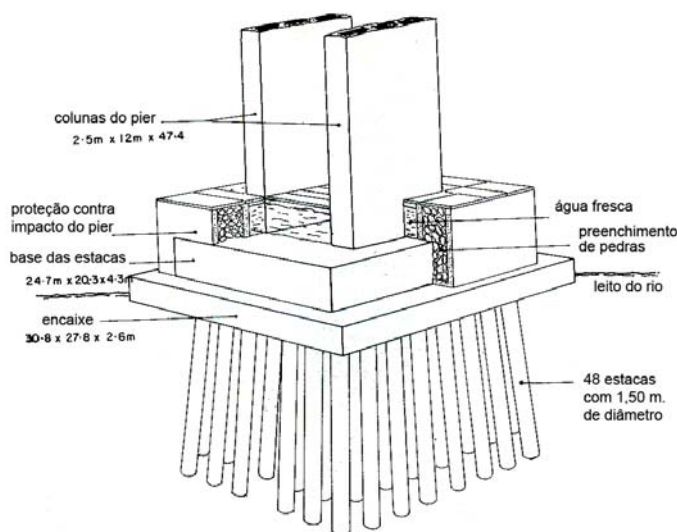


Figura 5.30 - Fundações do pier 7 com estrutura de proteção contra impactos de navios (ROTOLONE, 1986).

5.2.5 Superestrutura

5.2.5.1 Vãos de acesso - sul e norte

Segundo Rotolone (1985), a estrutura do acesso sul consiste em cinco vãos com comprimento total, do encontro até a junção com o vão principal, de 376 metros. A estrutura do acesso norte consiste em dez vãos com um comprimento total, do encontro até a junção com o vão principal, de 731 metros.

As superestruturas de acesso são em caixão celular de vigas duplas construídas em segmentos com vão padrão de 71 metros e caixões pré-fabricados típicos, com 2,6 metros de comprimento e 22 metros de largura. A profundidade do caixão típico é de 3 metros, entretanto, os dois vãos adjacentes aos vãos do rio têm profundidade variável, variando gradativamente de 3,0 até 5,2 metros nas junções com o vão principal. As juntas entre os caixões são de concreto armado, moldadas no local. No tabuleiro foi utilizada protensão transversal.

A montagem das superestruturas foi executada em etapas, usando a metodologia de segmentos empurrados, do encontro em direção ao rio, cada vão sendo levado do ponto correspondente a um quarto de um vão até o ponto correspondente a um quarto do próximo vão, na direção do rio.

A superestrutura em cada lado do rio está ancorada no encontro e os movimentos de contração e expansão são acomodados somente na junta articulada com o vão principal (ROTOLONE, 1985).

5.2.5.2 Caixões pré-moldados

Um pátio para moldagem de 359 caixões pré-moldados foi feito inicialmente sobre a terraplanagem do acesso sul (Figura 5.31). Dois conjuntos de fôrmas de aço foram utilizados sobre uma placa de concreto e se movimentavam por meio de um guindaste de 160 toneladas sobre os trilhos com inclinação de 2%. Isto minimizou a escavação na terraplanagem do acesso sul, que estava a uma inclinação de 5,3%.

Segundo Rotolone (1986), os caixões foram moldados deitados, e não em pé como de costume. Um dos principais fatores que influenciou esta decisão foi a facilidade de variar a altura do caixão, além de facilitar a colocação da armadura requerida no projeto para as juntas e vibrar em volta dos cabos longitudinais.

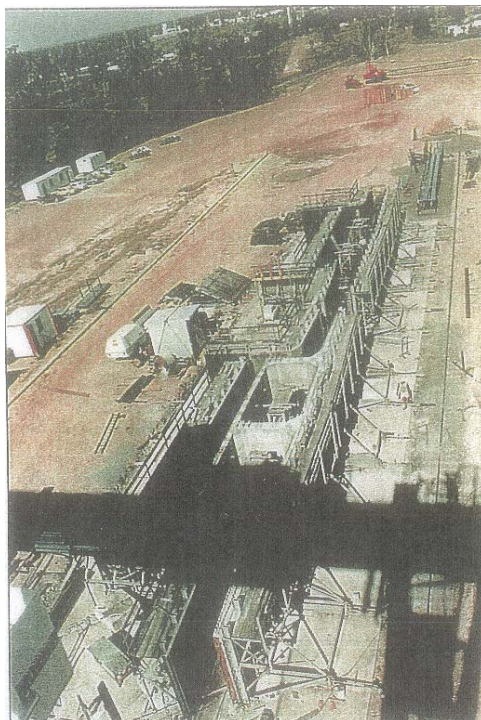


Figura 5.31 - Pátio de pré-moldagem dos segmentos pré-moldados dos vãos de acesso do lado sul (ROTOLONE, 1986).

Todas as fôrmas externas se movimentavam para fora sobre trilhos e as fôrmas internas eram sustentadas por uma estrutura de torre fixa, retiradas por ganchos e levantadas para fora por um guindaste móvel. O concreto era lançado por um guindaste móvel com caçamba.

Segundo Rotolone (1986), a taxa de moldagem para os caixões no lado sul chegou a alcançar três caixões por semana e, no lado norte, cinco caixões por semana. Os caixões foram curados a vapor durante a noite e três dos cinco cabos de protensão transversais foram tensionados antes de o caixão ser levantado, ainda na posição horizontal. Após esse procedimento, era carregado pelo guindaste-pórtico e armazenado até ser requerido na montagem. Os caixões variavam em peso de 94 até 140 toneladas.

Quando se aproximava o momento da montagem, cada caixão era levado pelo guindaste-pórtico da área de armazenagem até um carregador com oito rodas em cada um de seus quatro eixos, puxado por um único motor principal em terrenos planos e dois motores em terrenos inclinados (Figura 5.32).

Os caixões de cada vão eram transportados até uma das duas posições de descarregamento para cada vão, permitindo que os caixões fossem montados na sequência correta.



Figura 5.32 - Segmento pré-moldado da superestrutura do vão de acesso sobre o carregador (ROTOLONE, 1986).

Depois de moldar todos os caixões necessários para a montagem dos vãos do acesso sul, o pátio de pré-moldagem dos segmentos foi transferido para o lado norte do rio (Figura 5.33).

O mesmo procedimento de pré-moldagem foi aplicado nos dez vãos do acesso norte, exceto que neste caso a Transfield (Qld.) produziu o concreto no local, ao invés de usar o fornecimento da usina de concreto BMG (*BORAL Industries*). Para a produção, a fábrica incluía uma betoneira misturadora e uma esteira transportadora, o que permitia a colocação do concreto diretamente nas fôrmas por meio de um guindaste.

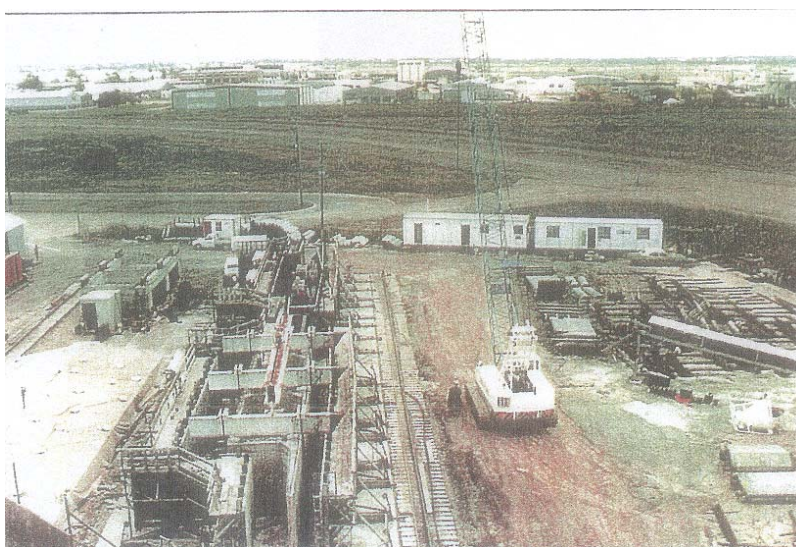


Figura 5.33 - Pátio de pré-moldagem dos segmentos pré-moldados dos vãos de acesso do lado norte (ROTOLONE, 1986).

5.2.5.3 *Treliça de montagem e içamento*

Segundo Rotolone (1986) o ponto chave no projeto de uma viga em caixão de ponte é o método de montagem. A treliça de montagem foi projetada pela Transfield (Qld.) e representou uma inovação na técnica de construção desta etapa. Era uma treliça elevada apoiada na parte superior sobre diafragmas, suportando os caixões suspensos pela parte inferior (Figura 5.34). Embora este princípio tenha sido usado anteriormente na construção dos balanços para um caixão de cada vez, este procedimento nunca havia sido usado para um vão completo de caixões suspensos não tensionados. O vão de 88 metros de caixões suspensos pela treliça pesava aproximadamente 3.800 toneladas.

A treliça se apoiava sobre a viga caixão e os caixões pré-moldados vinham sendo suspensos pela treliça por meio de cabos, que eram ajustados durante a montagem, para obter o alinhamento necessário de cada caixão pré-moldado. O guindaste-pórtico para o içamento dos caixões movimentava-se sobre um par de trilhos duplos na parte superior da treliça. Esse guindaste, projetado e construído com esse propósito, era hidráulico a diesel e podia levantar um caixão a 60 metros acima do solo e se locomover com 140 toneladas para cima ou para baixo na inclinação de 5,3% da treliça.



Figura 5.34 - Segmento pré-moldado da superestrutura do vão de acesso sendo levantado pela treliça de montagem (ROTOLONE, 1986).

A configuração da treliça elevada também era adequada para a montagem

das vigas em caixão com profundidade não uniforme, o que era relevante para o projeto da ponte Gateway, onde a profundidade era aumentada nos dois vãos mais próximos do rio (ROTOLONE, 1986).

A treliça de montagem pesando 650 toneladas, com largura de 10,55 metros e profundidade de oito metros foi fabricada inteiramente soldada e sua montagem foi feita no local pela Transfield (Qld.) soldando as partes pré-fabricadas na formação do acesso atrás do Encontro A. O espaçamento entre os painéis era de seis metros, em geral, e os nós foram localizados de modo a evitar os pontos de suspensão do caixão e ajustar os pontos de reação dos vãos de 60, 71 e 88 metros.

O projeto do banzo superior também incluiu as cargas do movimento das rodas do pórtico-guindaste fazendo o içamento (ROTOLONE, 1986).

5.2.5.4 Lançamento e montagem

Segundo Rotolone (1986), antes que a treliça fosse lançada, a caixa diafragma no topo do pier adiante foi fixada por duas escoras triangulares de estabilidade, ao pier do vão montado anteriormente, para em seguida o fixador da parte de baixo do pier ser solto. No topo de cada pier, o bloco diafragma era moldado no local, mas sem os tabuleiros em balanço. Ele era fixado no topo do pier com suportes de aço temporários. No topo deste bloco foram colocados dois balancins de lançamento, com placas de teflon que deslizavam em tiras contínuas de aço inoxidável soldadas na parte de baixo da corda inferior da treliça. Estes balancins de lançamento foram colocados no pier da frente antes do lançamento. A treliça também estava apoiada em balancins de lançamento semelhantes no pier anterior, que fazia parte da superestrutura completada, e a parte de trás da treliça estava apoiada em carrinhos de duas rodas (*bogies*) movimentando-se em trilhos no tabuleiro completado.

O grau de inclinação dos vãos de acesso é de 5,3% e a treliça foi lançada para cima nesta inclinação. A treliça era impedida de escorregar para trás, devido a um cabo que percorria o comprimento total de cada banzo inferior e passava por um dispositivo de bloqueio de um só sentido no topo de cada balancim de lançamento nos piers.

Uma força de tração de cerca de 80 toneladas foi necessária para lançar a treliça e a velocidade de lançamento era em torno de um metro por minuto.

Para fornecer um suporte de três pontos para a treliça enquanto o centro de gravidade passava sobre o pier de trás, 60 toneladas adicionais de cada lado foram necessárias. O lançamento então continuou até o centro de gravidade passar adiante do pier traseiro, quando os carrinhos não eram mais necessários e foram removidos. Ao final do lançamento, a treliça estava ancorada nos diafragmas dianteiros e traseiros e as escoras para a estabilidade dos piers eram removidas.

Nos locais onde eram apanhados, os caixões eram livremente levantados do carregador de caixões pelo guindaste-pórtico, que os levava tanto para cima ou para baixo ao longo da treliça até sua posição definida na superestrutura da ponte e em seguida, eram montados na posição final. Os últimos poucos centímetros do posicionamento puderam ser feitos facilmente pelos controles hidráulicos do guindaste que poderia deslocar a carga ou movê-la apenas milímetros de maneira inteiramente controlada. O caixão foi levantado por condutores que passavam dentro de tubos pelos flanges do caixão perto do interior de cada alma de viga externa, acoplados a ganchos curtos sustentados por pequenas vigas em cruz no topo da corda inferior. Uma ancoragem rosqueada foi usada pelos tendões do gancho, para que fosse obtida a capacidade de ajuste fino para o alinhamento vertical do caixão.

Depois de levantados os caixões remanescentes e executadas todas as juntas, os caixões foram alinhados e os tubos e cabos tensionados foram colocados. Foram usados “empurradores” hidráulicos especiais para colocar as cordoalhas. Pares de caixões foram então concretados juntos deixando-se a junta de encaixe por último. Finalmente, a junta de encaixe foi moldada e os cabos longitudinais tensionados para completar a montagem do vão. Foram colocados 18 cabos principais, sendo seis em cada alma de viga, compreendendo até 48 cordoalhas de 12,5 milímetros. Para tracionar os cabos, foram usados macacos hidráulicos com capacidade de 1.000 toneladas e pesando cerca de duas toneladas.

Durante esta fase da montagem, a treliça estava apoiada em dois macacos de areia, com capacidade de 1.500 toneladas, no pier dianteiro e outros dois, com capacidade de 1.100 toneladas, no pier traseiro, que foram projetados e fabricados pela Transfield (Qld.). À medida que os cabos longitudinais eram tracionados, a carga era progressivamente solta da treliça baixando-se os macacos de areia. O melhor tempo alcançado para esta fase foi conseguido com um ciclo de cinco semanas (ROTOLONE, 1986).

5.2.5.5 Montagem do vão de 88 metros

O último vão de cada estrutura de acesso tinha 88 metros de comprimento e tornou-se um caso especial, porque a treliça para a montagem foi projetada especificamente para um vão de 71 metros. Para este vão, a treliça foi lançada mais longe do que anteriormente até que a estrutura traseira em cruz ultrapassasse o pier traseiro e alcançasse um apoio especial nove metros adiante da superestrutura recentemente completada (Figura 5.35). Este apoio era composto por duas torres tubulares de aço, com 1.500 milímetros de diâmetro e 28 milímetros de espessura de parede, amarradas à estrutura completada. As torres tubulares paravam logo abaixo do lado inferior dos caixões, de onde finos pilares fabricados continuavam a subir para dentro da superestrutura até o nível do tabuleiro para sustentar a treliça. Uma junta especial foi feita “in loco” em torno das colunas fabricadas.

Todas as outras seqüências foram semelhantes as dos vãos padrões, exceto o último caixão que era um sólido caixão diafragma com visitas para inspeção e lá havia cabos adicionais tracionados.

As fundações para essas torres especiais no lado sul consistiam em sapatas de concreto, com quatro metros quadrados para cada torre, escavadas na rocha, enquanto que no lado norte uma única camisa de aço, com diâmetro de 1.500 milímetros, cravada 40 metros na rocha e preenchida com concreto armado era usada para cada torre.



Figura 5.35 - Treliça de montagem antes do lançamento sobre os 88 metros de vão (ROTOLONE, 1986).

5.2.5.6 Transferência da treliça

Depois de completarem o tensionamento do vão número 5 do lado sul, a treliça de montagem foi levantada com macaco, mais um metro, até 2,1 metros acima do tabuleiro, e guinchada de volta para baixo do tabuleiro por cerca de 20 metros. Dois carrinhos especialmente projetados com suportes movimentavam-se sobre a treliça e seções com aproximadamente 18 metros de comprimento, pesando cerca de 100 toneladas, eram cortadas e levadas para baixo em cima dos carrinhos.

Cada seção foi trazida para baixo do tabuleiro da ponte por dois rebocadores e transportada até o quebra-mar do pier 6 no lado sul. De lá, foi levada ao outro lado do rio pelo guindaste flutuante com capacidade de 120 toneladas (Figuras 5.36 e 5.37), colocada em outros carrinhos no quebra-mar do pier 7 no lado norte e transportada até o trecho de terraplenagem do acesso no encontro B para ser armazenada. Seis seções e o guindaste-pórtico foram transportados desta forma. A seção do bico da treliça, a última a descer, foi a primeira a ser colocada na posição sobre o encontro B. Os seis segmentos foram então soldados juntos e a treliça foi montada de maneira semelhante no lado sul.

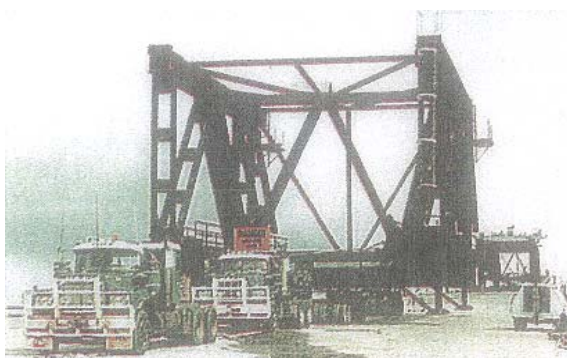


Figura 5.36 - Treliça de montagem sendo transportada para baixo dos vãos de acesso do lado sul (ROTOLOONE, 1986).



Figura 5.37 - Treliça de montagem sendo carregada pelo guindaste flutuante (ROTOLOONE, 1986).

5.2.5.7 Vãos no rio

Segundo Rotolone (1986) a superestrutura do balanço moldada no local consiste em uma única viga contínua em caixão com 520 metros de comprimento e profundidade variando de 15,7 metros até 5,2 metros. As razões vão/profundidade variaram de 16,5 metros nos piers até 50 metros no meio do vão. O grau de inclinação de cada lado dos piers principais é de 5,3% conectado com uma curva

vertical com raio de 2.457 metros. O vão principal de navegação tem 260 metros com vãos em balanço adjacentes de 130 metros cada.

O caixão do pier (Figura 5.38) é o elemento central da superestrutura e é integrado aos pilares gêmeos do pier. A laje inferior tem dois metros de espessura, 12 metros de largura e 16,5 metros de comprimento.



Figura 5.38 - Caixão do pier 6 (ROTOLONE, 1986).

A fôrma estava apoiada em um andaime contendo 760 vigas assentadas em cavidades moldadas na última concretagem dos pilares gêmeos do pier. A fôrma foi uma modificação das fôrmas dos piers e o concreto foi bombeado para cima a partir do quebra-mar e colocado com uma lança de concreto controlada remotamente. A fôrma e o aço eram levantados para o local por um guindaste. No pier do lado sul foi usado um guindaste móvel de 90 toneladas e no pier do lado norte, foi usado um guindaste de torre.

As paredes do caixão do pier foram concretadas em quatro levantamentos de 3,16 metros de altura, antes de moldar a laje do tabuleiro. A superestrutura foi protendida ao longo de seu comprimento com cordoalhas de 12,7 milímetros e em cada pier, tanto do lado sul quanto do lado norte, havia um total de 154 cabos longitudinais, cada um composto de 31 cordoalhas.

Depois de completar o caixão do pier do lado sul, algumas mudanças no projeto foram feitas para o caixão do pier do lado norte, que simplificaram e reduziram o tempo de construção, significativamente. Estas mudanças incluíram a revisão do espaçamento do recobrimento entre as armaduras de aço verticais nas juntas de construção, superpondo com as armaduras de aço horizontal, ancoragens e a ligação das barras horizontais tensionadas (ROTOLONE, 1986).

Para dar continuidade, cabos na borda inferior foram protendidos depois que a superestrutura foi completada.

Depois que o tabuleiro de concreto do caixão do pier foi executado e tensionado, um guindaste móvel com capacidade para 40 toneladas foi colocado no topo para montar as pontes rolantes e servir na construção dos caixões em balanço. A área do tabuleiro do caixão do pier estava lotada quando as duas pontes rolantes foram montadas costas com costas. Cada ponte rolante junto com a fôrma pesava cerca de 140 toneladas e o caixão maior continha 150 m^3 de concreto (Figura 5.39).

Os caixões também continham aproximadamente 12 toneladas de armadura de aço, constituídas de barras tensionadas verticais nas almas e barras tensionadas transversais no tabuleiro.

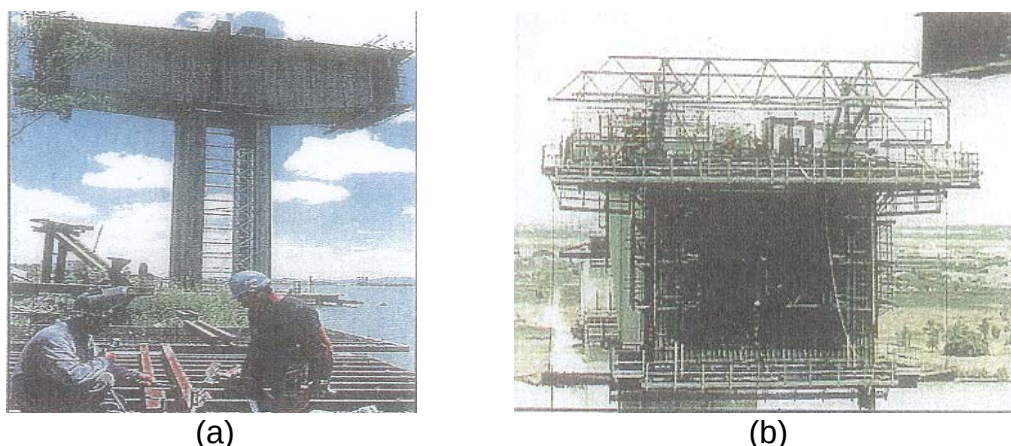


Figura 5.39 - Detalhes das pontes rolantes no vão do balanço no pier 6. (a) Preparação da estrutura. (b) Montagem das pontes rolantes (ROTOLONE, 1986).

Segundo Rotolone (1986) a resistência especificada do concreto para os caixões em balanço foi 40 MPa e para alcançar um ciclo mais rápido de tempo sem usar cura a vapor, foi adotada uma mistura de alta resistência inicial na bomba, que produzia resistência 25 MPa em 36 horas e resistência aos 28 dias maiores que 60 MPa.

Depois de moldar os primeiros dez caixões com três metros de comprimento em cada lado do Pier 6, a Transfield modificou a fôrma e a operação da ponte rolante para permitir mais atividades acontecerem ao mesmo tempo e reduzir, assim, o ciclo de tempo por caixão. Foi alcançado então um ciclo de tempo de oito dias de trabalho por caixão. Isso foi eventualmente reduzido a um ciclo médio de sete dias. Nos vãos do lado norte, um ciclo de tempo de cinco dias foi alcançado em diversas ocasiões.

Cordoalhas tensionadas foram empurradas 260 metros por um equipamento hidráulico de grande capacidade fornecido pela VSL (*Vorspan System Losinger*), empresa responsável pelo sistema de protensão. Os cabos foram tensionados com força de 500 toneladas, com macaco hidráulico, em ambos os lados.

Segundo Rotolone (1986), na construção de pontes em balanço, uma das tarefas mais importantes é a verificação e o controle de deformações. Em particular, a determinação da superelevação (arqueamento) para concretar cada seção da superestrutura é de importância fundamental para garantir que duas vigas em balanço em um único vão se alinhem antes de fechar.

Na construção e nos estados de serviço da estrutura, mudanças contínuas no nível da superestrutura aconteceram em forma de deformações. Tolerâncias então foram dadas durante a construção para que os níveis especificados pelo projeto ficassem garantidos por um tempo infinito.

Devido ao excelente controle de qualidade ao longo da construção, um resultado bastante satisfatório foi alcançado quando as duas vigas em balanço se encontraram no meio do vão. O desalinhamento foi menor do que dez milímetros, o que estava dentro da tolerância da moldagem, considerando o tamanho das vigas em balanço e como resultado nenhuma compensação de elevação foi necessária.

A concretagem ligando as vigas em balanço no meio do vão foi feita à noite e o tensionamento dos cabos do flange inferior pelo meio do vão foi completado.

Em cada junta articulada, o vão em balanço foi fixado ao vão de acesso com vigas em caixão de aço galvanizado pesando 22 toneladas cada. Elas foram armazenadas dentro dos caixões do vão de acesso e empurradas em *trolleys* de dentro do vão para fora depois dele ser completado.

As cargas eram transmitidas por aparelhos de apoio *potstay* e *potglide*, tipo de discos de borracha confinados entre chapas de aço, que permitiam transmitir cargas muito elevadas, além de permitir também a rotação. Estes aparelhos de apoio são constituídos de material de baixa fricção PTFE (Politetrafluoretileno) e chapas de aço inoxidável de forma que o movimento longitudinal da ponte transmite baixas forças de fricção aos piers. São aparelhos com guia que permitem movimento unidirecional e conseqüente restrição a 90 graus. Os aparelhos de apoio *potstay* só permitem a rotação e nenhum movimento longitudinal ou lateral enquanto que os aparelhos *potglide* permitem a rotação e movimento em todas as direções (deslizamento livre). Todos os aparelhos de apoio foram fixados ao concreto na

parte superior e inferior por parafusos e discos. As vigas principais mantinham as superestruturas adjacentes alinhadas, permitindo movimento longitudinal.

5.2.6 Considerações finais

De acordo com a programação prevista para as principais atividades do projeto, foi possível concluir que a mudança no projeto das fundações no pier 7 de uma fundação tipo sino para um tipo de fundação de encaixe mais profundo aumentou de 15 meses o período previsto, estendendo a data da finalização de 5 de março de 1985 para 5 de junho de 1986. No entanto, melhorando ciclos de tempo nas três atividades críticas: levantamento dos pilares do pier 7, construção dos caixões em balanço do pier 7 e montagem do caixão da superestrutura no acesso norte, um ganho de 5 meses foi alcançado e a data final pode ser antecipada para 11 de janeiro de 1986. O cronograma de barras na Figura 5.40 ilustra as principais atividades e o planejamento construtivo do projeto.

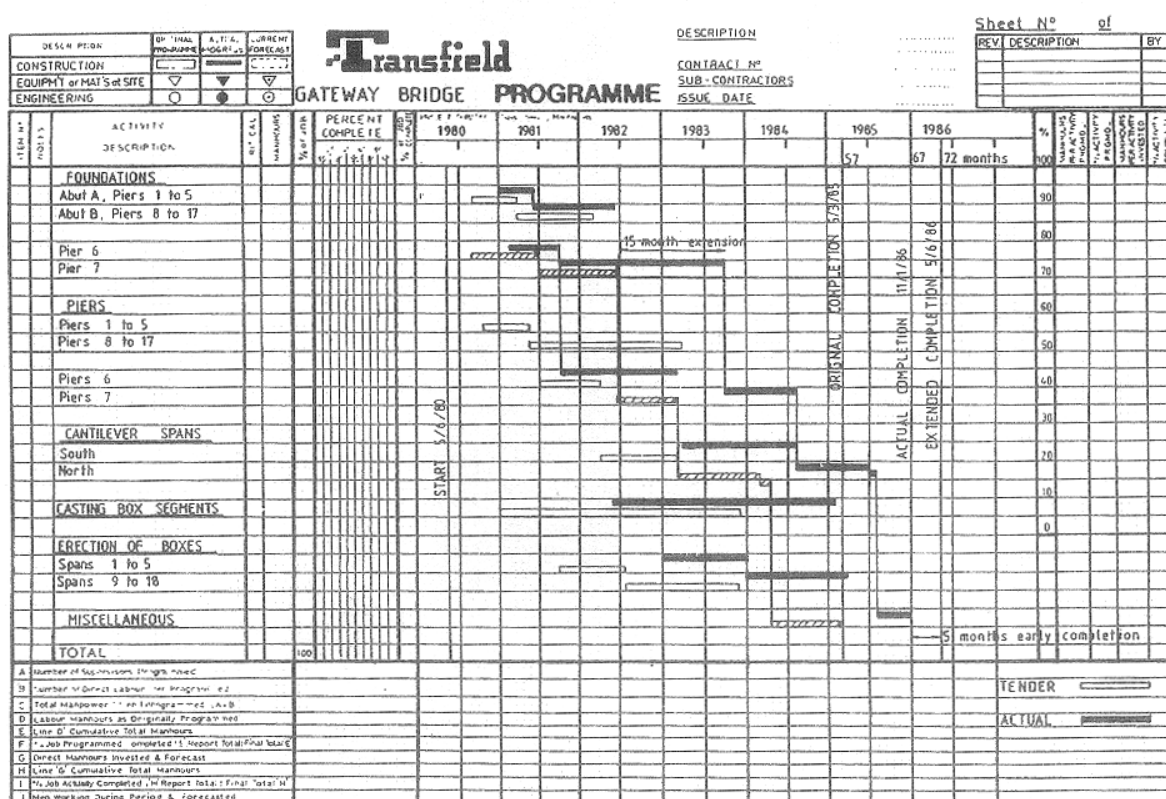


Figura 5.40 – Cronograma de barras do planejamento construtivo do projeto. (ROTOLONE, 1986).

5.3 Ponte sobre a Represa Billings no trecho sul do Rodoanel Mário Covas

5.3.1 Introdução

A obra escolhida para visita e estudo é a construção da ponte sobre a Represa Billings no Trecho Sul do Rodoanel Mário Covas, em São Bernardo do Campo. O projeto do Trecho Sul foi concebido tendo por objetivo interligar o Trecho Oeste, já em operação, com o sistema Anchieta - Imigrantes, provendo o acesso ao porto de Santos, ao município de Mauá, à região do ABC e à zona leste da cidade de São Paulo, bem como ordenar o tráfego de transposição da RMSP (Região Metropolitana de São Paulo), separando-os dos fluxos internos e aliviando o sobrecarregado sistema viário metropolitano. O principal objetivo desse grande anel viário (Figura 5.41) é livrar a cidade do tráfego de passagem, deixando as vias livres para o transporte coletivo e individual.

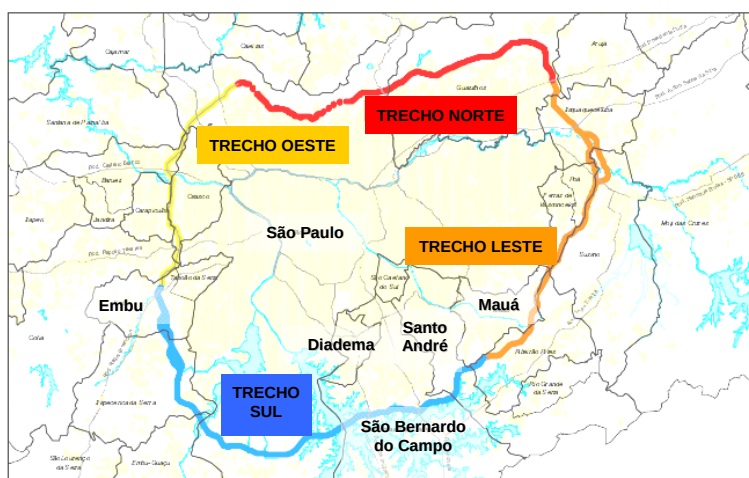


Figura 5.41 - Anel Viário Rodoanel Mario Covas (cortesia Consórcio Queiroz Galvão CR Almeida).

O Trecho Sul do Rodoanel se estende por 61,4km, tendo início na Av. Papa João XXIII, no município de Mauá, e término na interseção com a rodovia Régis Bittencourt, no município de Embu, ponto onde se interliga com o Trecho Oeste (Figura 5.42). Atravessa sete municípios, cruza duas represas e tem previsão para conclusão das obras em março de 2010.

Além de se constituir num grande desafio técnico, é nos aspectos logísticos e de gerenciamento que a obra do Rodoanel revela suas complexidades, exigindo,

portanto, um planejamento constante, com gerenciamento de projetos permanente e equipe de execução bem estruturada.

A obra do Rodoanel, coordenada pela Dersa (Desenvolvimento Rodoviário S.A.), será ponto vital do sistema interligado de transporte não apenas do município de São Paulo ou daquele estado, mas de todo o país, por facilitar a ligação do Centro-Oeste com o litoral.

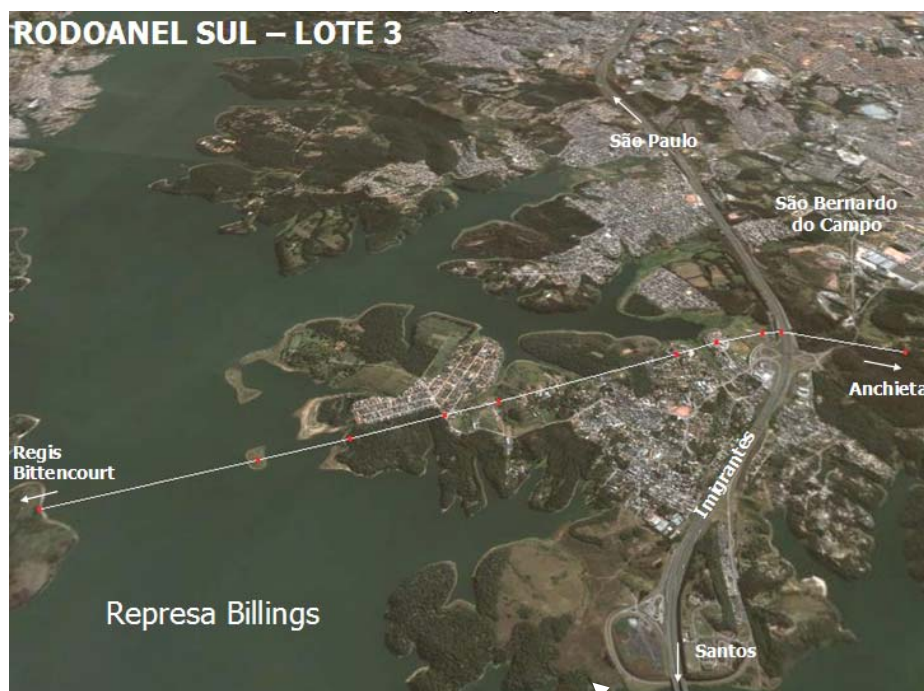


Figura 5.42 - Rodoanel Trecho Sul – Lote 3 (cortesia Consórcio Queiroz Galvão CR Almeida).

O trecho Sul foi projetado com rampa máxima de 4% e raio mínimo de 375m para as pistas, que duplas, contarão com três e quatro faixas de rolamento por sentido, a depender do trecho. As faixas terão 3,6m de largura, faixa de segurança de 1m, acostamento de 3m e canteiro central gramado com 11m de largura. Está prevista a construção de 131 obras de arte, entre pontes, viadutos, passagens superiores e inferiores.

Os viadutos de menores dimensões são construídos pelo sistema de vigas pré-moldadas lançadas sobre tabuleiro em laje, para as quais foi construído um pátio de fabricação próximo às obras. As vigas principais assim como as transversinas e lajes são pré-fabricadas e transportadas ao local da obra para montagem, de forma similar à que foi vista quando se estudou a usina de pré-fabricação no item 5.1 deste capítulo.

A ponte sobre a Represa Billings, objeto principal deste estudo, ilustrada na Figura 5.43 compreende um total de 1755m de extensão, com dois encontros e dezesseis pilares intermediários. Sua estrutura é constituída por dois vãos de 75m próximos aos encontros e quinze vãos de 107m, executados utilizando a metodologia construtiva de aduelas pré-moldadas protendidas em balanços sucessivos. Os vãos de 107m são constituídos por 26 aduelas pré-moldadas mais um fechamento central que será concretado “in loco” pelo método convencional com cimbramento metálico, utilizando-se uma treliça especialmente projetada para sustentação da fôrma. Esse processo será visto mais adiante no item que trata do fechamento do vão central.

Para todos os pilares as fundações são profundas compostas por estacas pré-moldadas de seção vazada, em concreto armado e protendido, com diâmetro externo de 80 cm e diâmetro interno de 50 cm. As estacas são pré-moldadas em um pátio de pré-moldagem especialmente construído para essa finalidade localizado próximo à represa.

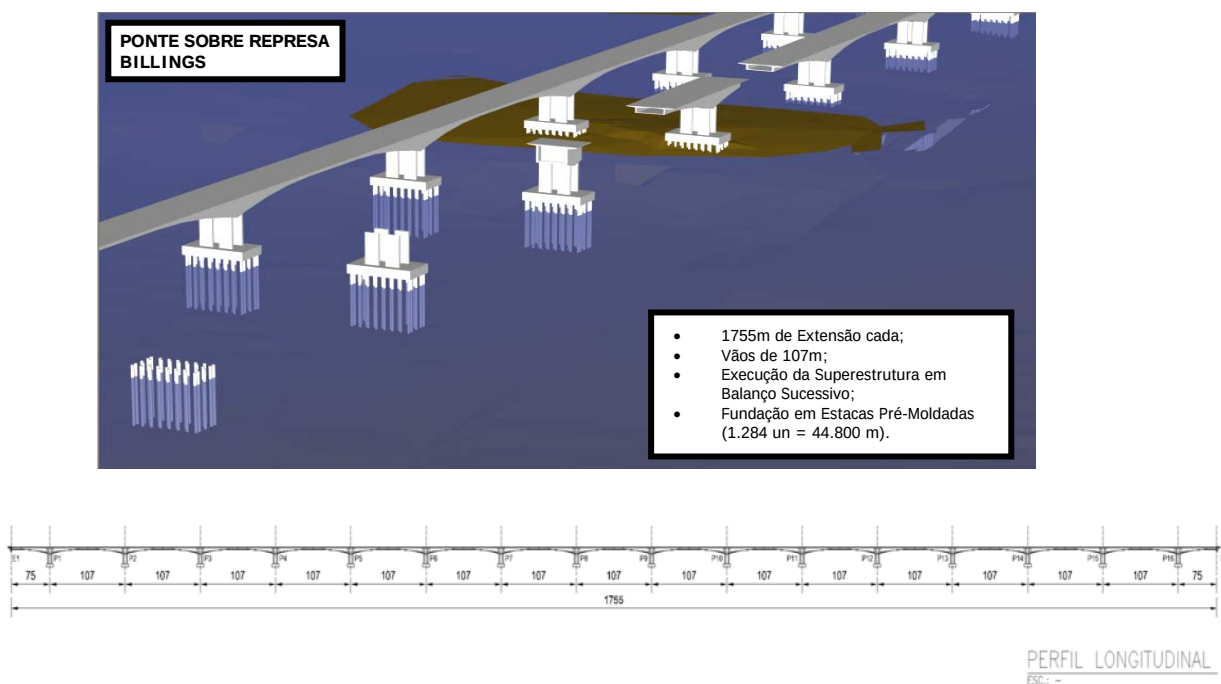


Figura 5.43 - Vista e perfil longitudinal da ponte sobre a Represa Billings (cortesia Consórcio Queiroz Galvão CR Almeida)

Neste estudo procura-se descrever o processo de fabricação, movimentação, transporte e montagem das vigas e das aduelas pré-moldadas utilizadas na construção dos viadutos e da ponte sobre a Represa Billings, detalhando seus respectivos pátios de fabricação e estocagem, equipamentos utilizados para

içamento e montagem, ressaltando particularidades da execução da obra, tanto na área aterrada quanto na área da represa, em contraste com a metodologia utilizada na construção da Ponte de Brisbane, vista no item 5.2, e com o processo de fabricação e montagem da usina de pré-fabricação vista no item 5.1.

5.3.2 Pátio de fabricação das vigas pré-moldadas

O pátio de fabricação das vigas pré-moldadas, representado na Figura 5.44, é constituído por três berços de fabricação, uma pista elevada para lançamento de concreto, três berços de estocagem e uma pista para o carregamento das vigas para as frentes de lançamento.

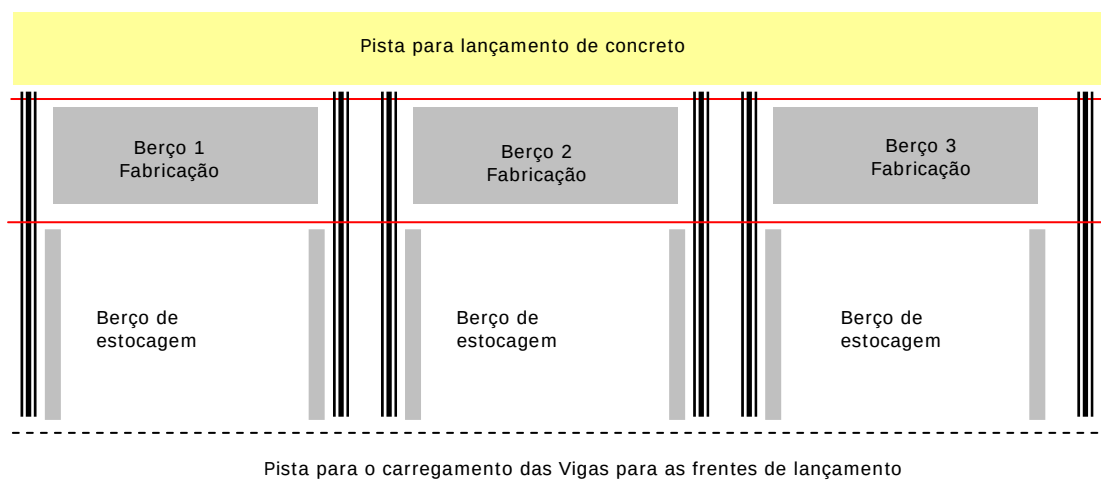


Figura 5.44 – *Layout* do pátio de fabricação das vigas pré-moldadas.

A concretagem é feita por meio de um caminhão betoneira, pela pista para lançamento de concreto, que possibilita o lançamento do concreto direto nas fôrmas, evitando assim o custo com bomba de lançamento de concreto.

O pórtico sobre os trilhos ao longo dos berços de fabricação é utilizado para auxiliar na movimentação de cargas e materiais para a execução da fôrma, desfôrma e concretagem das vigas, deslocando-se manualmente junto ao caminhão betoneira. Costuma-se utilizar uma cobertura a ele acoplada para proteção contra o mal tempo e chuvas fortes durante a concretagem, conforme pode ser visto na Figura 5.45.



Figura 5.45 - Pátio de fabricação das vigas. Lançamento do concreto nas fôrmas por meio do caminhão betoneira, com utilização do pórtico manual sobre trilhos.

Um par de *Fischettis* (Figura 5.46) é utilizado para retirar as vigas do berço de fabricação e transportá-las horizontalmente para o berço de estocagem. As vigas são estocadas na mesma direção apoiadas sobre duas cabeças de concreto armado existentes nas laterais de cada berço de estocagem. Nos casos em que o berço de estocagem se encontra ao lado da cabeceira da obra, a retirada das vigas também pode ser feita apenas por uma movimentação lateral com um par de *Fischettis* até o eixo da obra, de onde serão içadas para montagem.



Figura 5.46 - *Fischettis* (guincho sobre trilhos).

5.3.2.1 Retirada do estoque e transporte das vigas pré-moldadas

Estando as vigas concluídas e estocadas, devidamente identificadas conforme o projeto, a retirada do estoque para transporte é realizada em função da localização do pátio de pré-fabricação, das dimensões e peso das vigas, bem como das condições locais da obra.

As vigas são retiradas do berço de estocagem por guindastes sobre pneus, especificados para este tipo de carregamento, com utilização de pórtico e guincho com capacidade de até 80 t, e colocadas sobre o caminhão que as transportará para o local da obra onde serão montadas (Figura 5.47).



Figura 5.47 – Viga retirada do berço para transporte ao local da montagem.

O transporte pode ser realizado das seguintes formas:

- Com carreta extensiva - Para esse tipo de transporte, normalmente as peças são pequenas e leves, e o pátio de fabricação se localiza distante do local da montagem, eventualmente em áreas urbanas. Nesse caso, são carregadas e descarregadas com auxílio de guindastes, cuja capacidade, posição e raio de giro, são previamente especificados para este tipo de carregamento;
- Com carreta com *dolly* - Utilizada quando as dimensões e pesos das peças são maiores, e quando a distância do pátio ao local da montagem é grande e os acessos são precários. Serão carregados e descarregados com auxílio de guindastes de grande capacidade (Figura 5.48).



Figura 5.48 – Carreta com *dolly*

5.3.2.2 Lançamento e montagem das vigas pré-moldadas

Chegando ao local da montagem, as vigas pré-moldadas serão montadas e fixadas no seu lugar definitivo de trabalho, na ponte ou viaduto, seguindo os procedimentos especificados no projeto, de forma similar àquela utilizada pela usina de fabricação estudada no item 5.1. De acordo com as condições do local da obra, para essa montagem são usualmente utilizados guindastes, de lança telescópica, pórticos para realizarem o deslocamento e a movimentação das vigas, guinchos para o içamento (Figura 5.49). Em caso de pequenas pontes ou quando há dificuldade de acesso com guindaste, utilizam treliças lançadeiras para a montagem.



(a)



(b)

Figura 5.49 - Içamento e montagem de viga pré-moldada no pátio de fabricação das vigas. (a) Içamento. (b) Montagem.

5.3.3 Pátio de fabricação das aduelas pré-moldadas - trecho da represa

As aduelas fabricadas para o trecho da represa têm berço de fabricação e de estocagem próprios.

O pátio de fabricação das aduelas, representado na Figura 5.50, é constituído por 11 berços, uma área para armazenamento do aço utilizado para armação das aduelas, uma área para as bainhas de protensão e um berço de estocagem com aproximadamente 167m de comprimento.

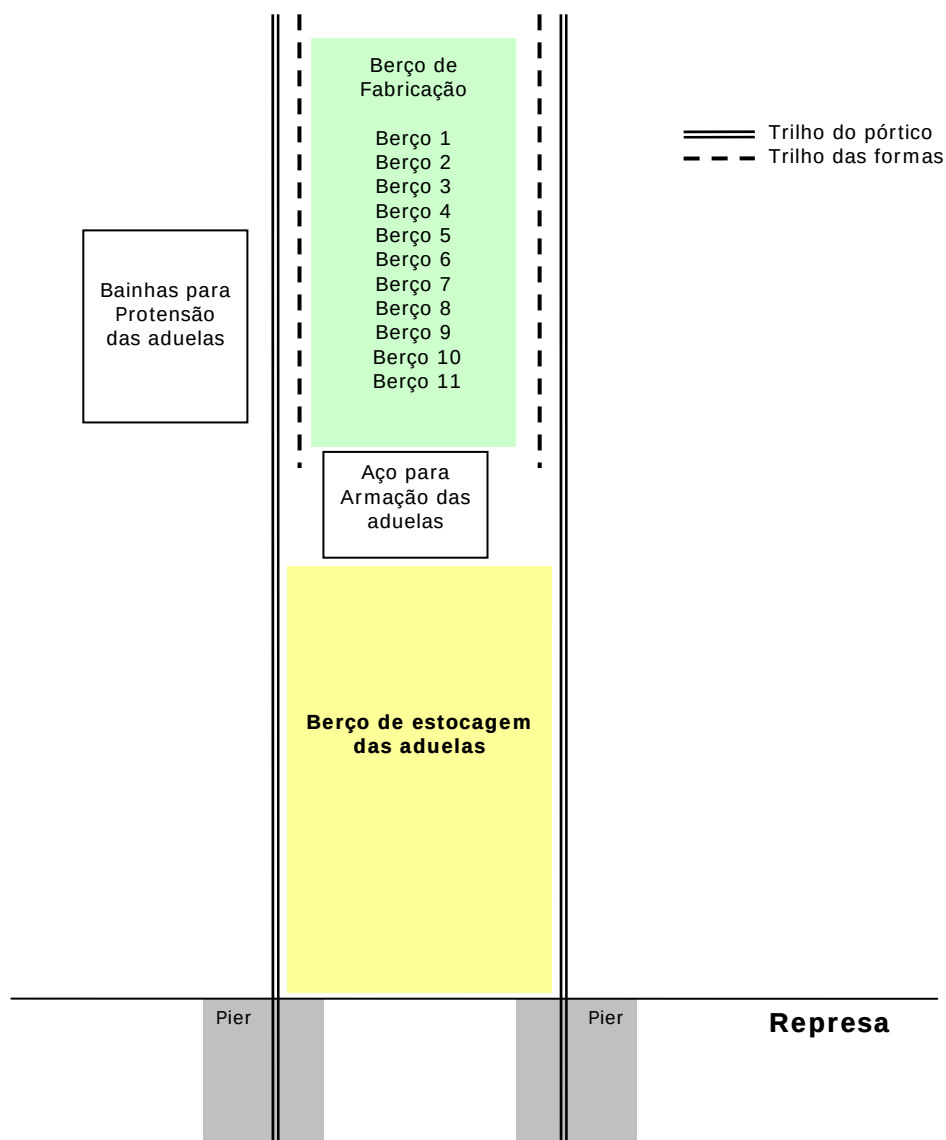


Figura 5.50 – Layout do pátio de fabricação das aduelas pré-moldadas.

São utilizados 2 tipos de pórticos que se deslocam sobre trilhos: um pórtico utilizado para movimentação das fôrmas e execução da concretagem e outro pórtico Munck, utilizado para transportar as aduelas do berço de fabricação para o berço de estocagem e de lá para o embarque, no pier.

5.3.3.1 *Ciclo de fabricação*

A produção das aduelas no trecho da represa se assemelha a uma linha de produção fabril. As aduelas são produzidas em berços de fabricação de acordo com um cronograma de execução e armazenadas no berço de estocagem situado em uma área em frente, conforme visto no layout do pátio de fabricação, devidamente identificadas e agrupadas pelos seus tipos.

No pátio de fabricação das aduelas são realizadas as seguintes etapas construtivas: montagem das formas externas e internas, montagem das armações, concretagem, cura, desfôrma, retirada e limpeza das formas externa e interna, içamento, saída das aduelas do pátio de fabricação e transporte para o berço de estocagem.

São ao todo 14 tipos de aduelas numeradas de aduela 1 até aduela 14 e, de acordo com as dimensões comuns entre elas, as formas utilizadas para concretagem são separadas por famílias. Assim, são criadas as famílias de formas 1, para as aduelas 1 e 2, a família de formas 2 e 3, para as aduelas 3, 4, 5, 6, 7 e 8, a família de formas 4, para as aduelas 9, 10 ou 11 e a família de formas 5 para as aduelas 12, 13 ou 14.

Basicamente, podem-se dividir os sistemas de concretagem das aduelas em dois tipos: uma etapa única ou duas etapas.

A concretagem em uma única etapa só se aplica praticamente a tabuleiros de seção aberta, em grelha ou em laje. Em uma seção fechada, do tipo caixão, as operações de montagem de fôrma e armação e, especialmente de concretagem tornam-se muito mais complexas e lentas. A concretagem em etapa única ainda que seja possível, não é a alternativa mais conveniente.

Pelo motivo exposto, e por orientação do projetista, a concretagem de todas as aduelas é realizada em duas etapas.

Cabe aqui observar que o berço 10, de fabricação, é utilizado para fabricação das aduelas 10, 11, 12 e 13 que são iguais em dimensões diferenciando-se apenas

na quantidade de armação. O berço 11 é utilizado para fabricação da aduela 14 que é diferente tanto nas dimensões quanto na quantidade de armação.

O ciclo de fabricação das aduelas tipos 1 e 2 e das aduelas tipos 3, 4, 5, 6, 7 e 8 é produzir em média uma aduela em 4 dias sendo que a cada dois dias se inicia a fabricação de uma nova aduela. Como resultado, tem-se a produção de 4 aduelas em 10 dias (2 do tipo 1 e 2 do tipo 2) e 6 aduelas em 14 dias (sendo 1 de cada, dos tipos 3, 4, 5, 6, 7 e 8). O processo de fabricação segue o fluxo conforme Figura 5.51

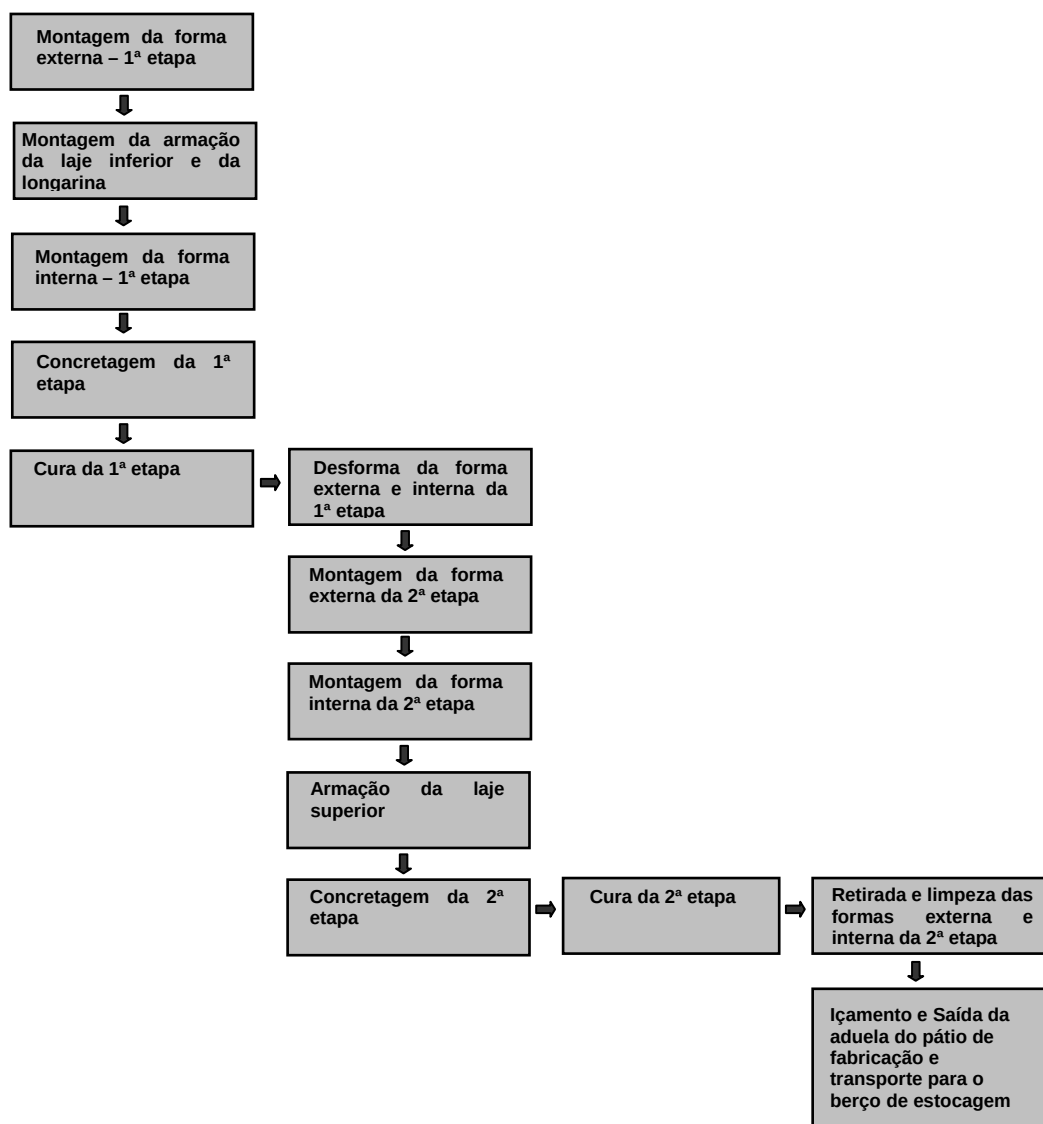


Figura 5.51 - Processo de fabricação com concretagem em duas etapas.

O ciclo de fabricação das aduelas 9, 10 e 11 e das aduelas 12, 13 e 14 é produzir em média uma aduela em 3 dias, sendo que no caso das aduelas 9, 10 e

11, a cada dois dias se inicia a fabricação de uma aduela. Como resultado, tem-se a produção de 4 aduelas em 9 dias (2 aduelas do tipo 9, 1 aduela do tipo 10 e 1 aduela do tipo 11). No caso das aduelas 12, 13 e 14, a fabricação de cada aduela só inicia quando termina a fabricação da anterior. Como resultado, tem-se a produção de 3 aduelas em 9 dias (sendo 1 aduela de cada tipo). A concretagem se realiza em duas etapas e o processo de fabricação segue o mesmo fluxo já exposto.

No berço de estocagem, as aduelas cujas dimensões variam de 2,40 a 5,70m de comprimento, dependendo do seu peso, podem ser estocadas uma em cima da outra até no máximo de três, no caso das aduelas de menor altura, devido ao limite de altura do pórtico que as transportará (Figura 5.52).



Figura 5.52 – Berço de estocagem das aduelas

À medida que sejam solicitadas, as aduelas são transportadas para o local de içamento. Cabe ressaltar que a retirada das aduelas do pátio independe da ordem de fabricação, saindo em primeiro lugar a que estiver mais disponível. A partir do momento que vão para o pátio de estocagem, consideram-se as aduelas prontas para utilização.

O pórtico Munck que se movimenta sobre trilhos transporta as aduelas conforme as necessidades das equipes nas diferentes frentes de trabalho. É necessário que se mantenha o estoque sempre provido das aduelas dos diversos tipos, acompanhando o cronograma de içamento de forma a não ocasionar atrasos na montagem (Figura 5.53).



Figura 5.53 - Aduela sendo carregada, pelo pórtico Munck, do berço de estocagem até a balsa que a transporta ao local da montagem.

5.3.3.2 Ciclo de lançamento e montagem

O processo de execução de um balanço completo constituído por 26 aduelas pré-moldadas é previsto ser realizado em 90 dias, considerando 10 dias para montagem das treliças de lançamento e plataforma de trabalho, 65 dias para executar os lançamentos das aduelas, 10 dias para o fechamento do vão concretado “in loco” e 5 dias para a desmontagem das treliças, que serão utilizadas na execução do próximo balanço da programação (Figura 5.54).

BALANÇO – 90 DIAS

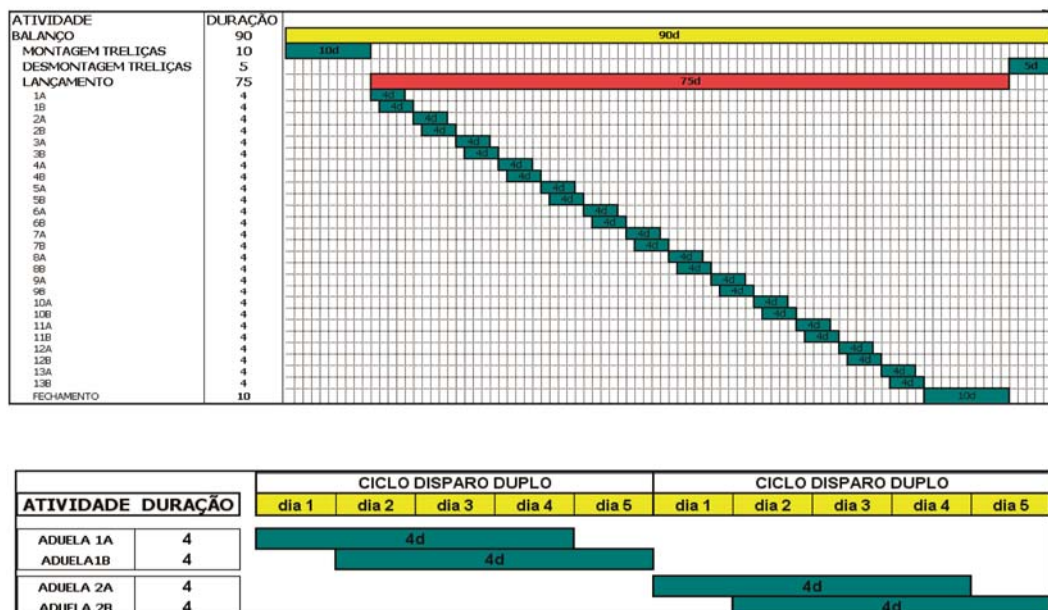


Figura 5.54 – Cronograma de lançamento das aduelas (cortesia Consórcio Queiroz Galvão CR Almeida).

O ciclo de lançamento de um par de aduelas está programado para ser realizado em 5 dias, considerando um ciclo de disparo duplo com início de içamento de uma aduela defasado de 1 dia em relação à aduela do outro lado (Figura 5.55.)

CICLO DE LANÇAMENTO – 5 DIAS

ATIVIDADE	DIA 0	DIA 1	DIA 2	DIA 3	DIA 4	DIA 5	DIA 6
TRANSPORTE DA ADUELA PM NO ESTOQUE Montagem do balancim metálico Montagem do fixador angular superior Montagem do fixador angular inferior Transporte vertical e deslocamento do prático até o flutuante							
EMBARQUE DA ADUELA PM NO FLUTUANTE Retirada do balancim metálico Montagem do fixador regulador de içamento Amarração da aduela no convés do flutuante	18:00	04:00 (18h)					
TRANSPORTE DA ADUELA PM DO PIER ATÉ LOCAL DE IÇAMENTO Amarração do flutuante Locação topográfica							
IÇAMENTO E POSICIONAMENTO FINAL Montagem dos cabos de içamento (8 6+5/8") Içamento da Aduela Ajuste transversal e posicionamento final		7:30 - 12:00 (4h30)					
MONTAGEM DA PLATAFORMA DE TRABALHO Movimentação do carro plataforma Amarração na posição de trabalho		13:00 - 14:00 (1h)					
PREPARAÇÃO PARA CONCRETAGEM DO ANEL DE LIGAÇÃO Montagem da forma de fundo e lateral externa Montagem da armação da laje inferior, longitudinal e bainhas Montagem da forma interna da longitudinal e fundo da laje superior Montagem da armação da laje superior e bainhas Colocação dos blockouts para drenagem		14:00 14:00 - 16:00 (2h) 16:00 - 21:00 (5h) 21:00 01:00 01:00	04:00 (14h) 07:00 (4h) 04:00 (3h) 04:00 (3h)				
CONCRETAGEM EM ETAPA ÚNICA (6*3 m3)			7:30 - 11:30 (4h)				
CURA			11:30	21:30 (10h)			
DESFORMA DA ADUELA DE LIGAÇÃO				7:30 - 10:00 (2h30)			
PROTENSÃO Corte das cordoalhas 5/8" Montagem dos cabos Colocação dos cabos nas bainhas Posicionamento dos blocos de ancoragem Montagem do equipamento de protensão Colocação das cunhas tri partidas Protensão dos cabos Retirada dos equipamentos de protensão			11:30 03:30 - 05:00 (1h30) 05:30 - 06:00 (30m) 06:30 - 09:00 (2h30) 09:30 - 10:00 (30m) 10:30 - 10:00 (30m)	06:30 (15h) 07:30 - 08:30 (1h) 08:30 - 09:30 (1h)		05:00 - 05:30 (30m)	
CORTE DOS CABOS DE IÇAMENTO						18:00	04:00 (18h)
AVANÇO DAS TRELIÇAS						18:00	04:00 (18h)

Figura 5.55 - Ciclo de lançamento das aduelas (cortesia Consórcio Queiroz Galvão CR Almeida).

Nos itens seguintes serão detalhadas as atividades que compõe um ciclo completo do lançamento das aduelas.

5.3.3.3 Retirada do estoque e embarque da aduela

As aduelas são retiradas do berço de estocagem por meio do pórtico Munck deslocando-se sobre trilhos, e colocadas sobre a balsa que fará o transporte para o local de içamento e montagem.

A aduela é embarcada na extremidade da balsa, na posição em que será preparada para o içamento quando a balsa atracar no local da montagem. Do lado oposto ao da aduela, ainda na balsa, são colocados contrapesos e areia o suficiente para evitar risco de tombamento (Figura 5.56). O tempo de transporte da aduela do pier ao local de içamento é cerca de 30 minutos.

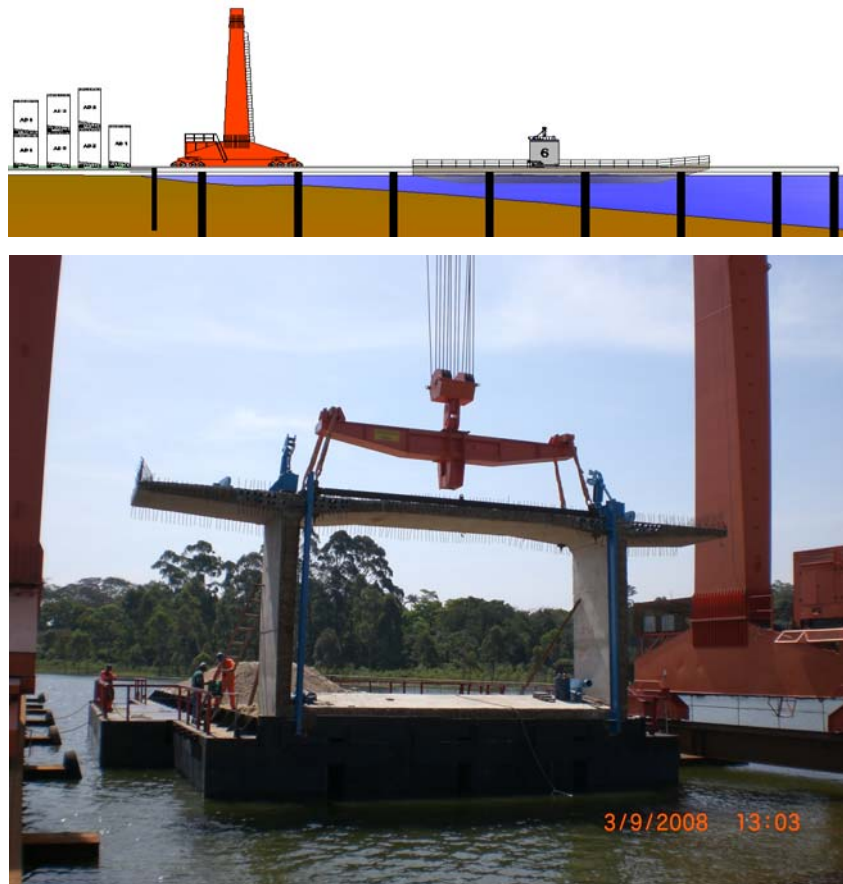
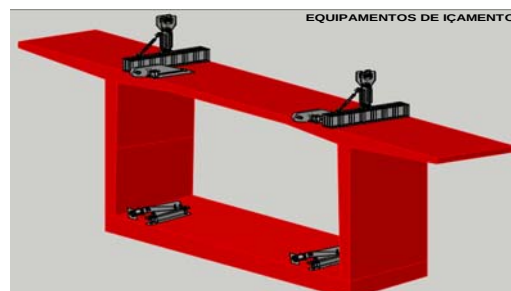


Figura 5.56 – Aduela sendo embarcada para montagem.

A retirada das aduelas do estoque para o embarque na balsa deve seguir alguns procedimentos básicos para montagem com segurança. Ainda no estoque, são colocados os equipamentos necessários ao içamento e posicionamento da aduela (Figura 5.57), sendo executadas as seguintes etapas:

- Montagem do balancim metálico;
- Montagem do fixador angular superior;
- Montagem do fixador angular inferior;
- Transporte vertical e deslocamento do pórtico até a balsa.



(a)

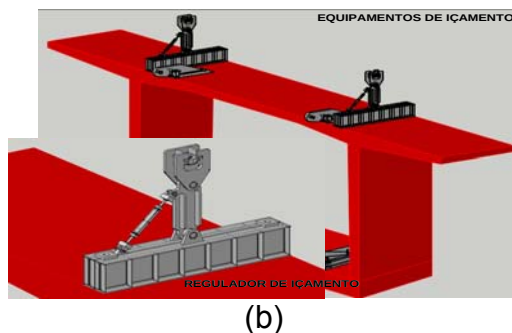


Figura 5.57 - Equipamentos de içamento. (a) Montagem do balancim metálico, fixador angular superior e inferior. (b) Montagem do regulador de içamento.

Para o embarque da aduela pré-moldada no flutuante é retirado o balancim metálico e montado o fixador regulador de içamento. A aduela é então amarrada no convés do flutuante para ser transportada. No transporte da aduela, do pier até o local de içamento, a balsa é amarrada nas poitas e a locação topográfica da aduela é verificada. A retirada da aduela do estoque, a preparação para o embarque e o transporte da aduela desde o pier até o local de içamento duram em média 10 horas.

5.3.3.4 Içamento e posicionamento final

O procedimento de içamento das aduelas na represa é feito por meio de balancins pendentes da treliça de lançamento, de forma análoga a que se faz quando se realiza em terra. A principal diferença é a chegada da aduela ao local do içamento, que é feita por balsa (Figura 5.58).



Figura 5.58 – A primeira aduela chegando pela balsa ao local do içamento.

O içamento é realizado a partir da balsa, que fica atracada junto ao bloco, posicionada e mantida como uma extensão do mesmo, lá permanecendo encostada até o início do levantamento (Figura 5.59). Ao final da montagem quando a aduela é posicionada e fixada no local, são preparadas as fôrmas para a concretagem do anel de ligação.



Figura 5.59 – Início do içamento da primeira aduela lançada na represa.

O içamento, conforme esquema da Figura 5.60, é realizado utilizando-se em conjunto o macaco hidráulico e a treliça de içamento, que se movimenta sobre trilhos na plataforma de trabalho. Para o içamento são utilizados 8 cabos de diâmetro 5/8", que são ajustados e alinhados de forma que a aduela possa ser suspensa o mais nivelada possível. Inicia-se o processo de transporte vertical, em etapas de 50cm. A aduela é içada até a sua posição final, quando é ajustada transversalmente no local e fixada na aduela já posicionada no içamento anterior. No caso da primeira aduela a ser içada, ela é fixada na aduela de partida, já concretada "in loco" em fase anterior. Após a fixação da aduela, o carro plataforma pode ser movimentado e amarrado na posição de trabalho. O tempo médio do procedimento de içamento é de 5 horas e 30 minutos.

Terminada essa etapa, inicia-se a preparação para a concretagem do anel de ligação com a montagem das fôrmas e colocação das armações utilizando-se da passarela de trabalho como apoio para movimentação.

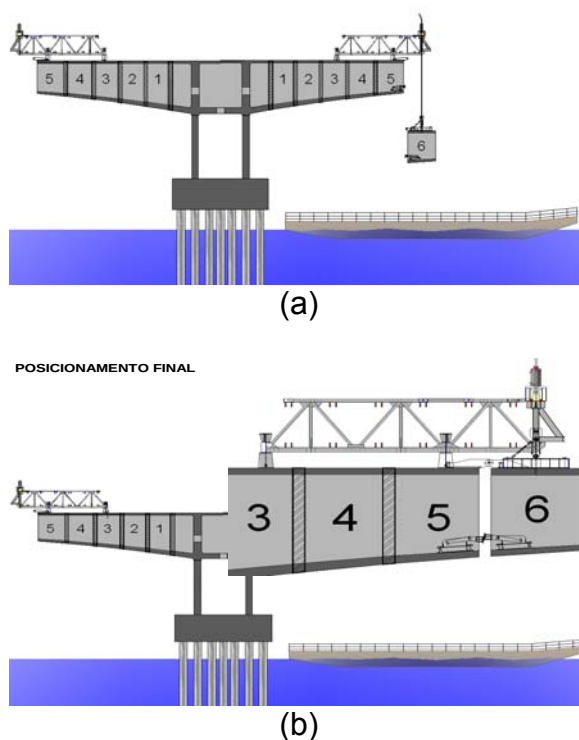


Figura 5.60 - Detalhes da treliça de lançamento. (a) Içamento. (b) Posicionamento final.

Os equipamentos utilizados no posicionamento final e ajuste transversal das aduelas são ilustrados na Figura 5.61.

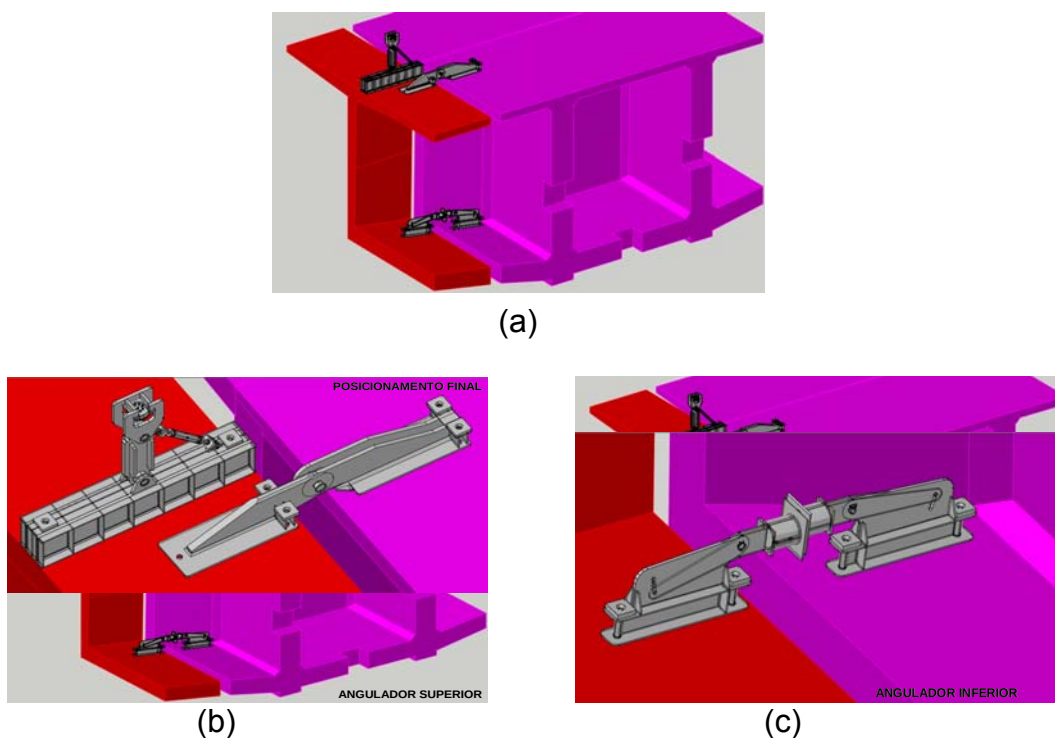


Figura 5.61 – Equipamentos de içamento no posicionamento final. (a) Ajuste transversal. (b) Detalhe do angulador superior. (c) Detalhe do angulador inferior.

5.3.3.5 Concretagem do anel de ligação

Após o içamento e nivelamento da aduela, ela é travada no local definitivo, e os cabos de protensão são passados pelas bainhas já posicionadas. O anel de ligação, conforme esquema da Figura 5.62, é concretado “in loco” e para realização da concretagem, são executadas em seqüência as seguintes atividades:

- Montagem da forma de fundo e lateral externa;
- Montagem da armação da laje inferior, longarinas e bainhas de protensão;
- Montagem da forma interna das longarinas e fundo da laje superior;
- Montagem da armação da laje superior e bainhas de protensão.

Após a montagem das formas e armações, e colocação dos *blockouts* para drenagem, num tempo médio variando de 12 a 14 horas, é feita a concretagem do anel de ligação, num período de cerca de 4 horas. Terminada a concretagem inicia-se o processo de cura por um período de 36 horas.

A fôrma da aduela de ligação pode ser retirada 8 horas depois de iniciada a cura do concreto, e ao final da cura o processo de protensão dos cabos pode ser iniciado.

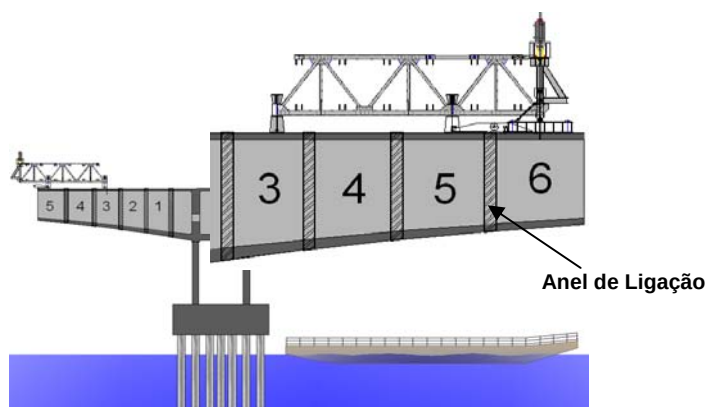


Figura 5.62 – Detalhes da aduela de ligação já concretada.

5.3.3.6 Protensão

A protensão é feita de forma convencional. A cada par de aduelas içadas, são passados os cabos de ponta a ponta e protendidos após a concretagem do anel de ligação atingir a resistência prevista em projeto, necessária para suportar os esforços. Verificada a resistência, o procedimento se inicia executando-se a seqüência das seguintes atividades:

- Corte das cordoalhas de $\Phi 5/8"$;
- Montagem e colocação dos cabos nas bainhas;
- Posicionamento dos blocos de ancoragem;
- Montagem do equipamento de protensão;
- Colocação das cunhas tri partidas;
- Protensão dos cabos.

Terminado o processo, executado em cerca de 1h e 30min, são retirados os equipamentos de protensão para o avanço da treliça.

5.3.3.7 Corte dos cabos de içamento e avanço das treliças

Após a retirada dos equipamentos de protensão, os cabos de içamento podem ser cortados e se dar prosseguimento com o avanço das treliças (Figura 5.63) para o ciclo de lançamento da aduela seguinte.

A treliça de montagem é apoiada sobre calços e atirantada com barras Dywidag contra o tabuleiro. A movimentação da treliça na plataforma de trabalho é feita de forma que a cada avanço os tirantes são desativados e os calços retirados para deslocamento sobre perfis e roletes metálicos, até a posição onde será fixada para se iniciar o próximo içamento. A cada lançamento todos os procedimentos se repetem até se alcançar o vão central, onde ocorre o fechamento das aduelas.

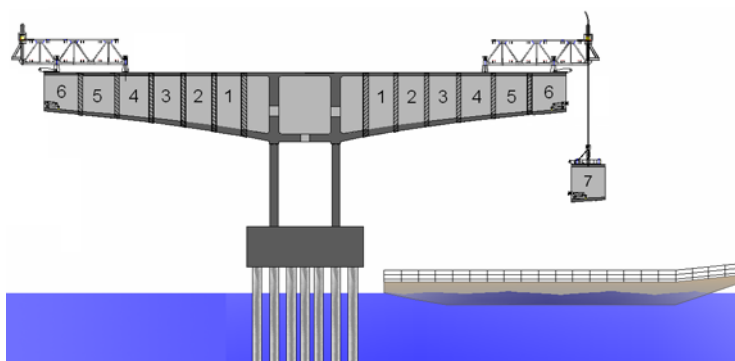


Figura 5.63 – Avanço das treliças e novo içamento.

5.3.3.8 Fechamento das aduelas no vão central

Conforme pôde ser observado na vista longitudinal da ponte, na Figura 5.43, os 15 vãos intermediários são iguais medindo 107 metros de comprimento. Porém, existem dois tipos distintos de fechamento central, por imposição de projeto. Alguns vãos são fechados com a aduela 13 e ligação entre elas de 2 metros e outros com a

aduela 14 e ligação entre elas de 5 metros. A treliça de içamento não é considerada conveniente para o travamento das aduelas no vão central e é utilizada somente para suspender as treliças especificadas pelo projeto para essas etapas, sendo em seguida retirada.

A ligação entre os balanços nos trechos de 2 e de 5 metros deve apresentar rigidez suficiente para garantir que não ocorram deformações no concreto fresco acarretando fissuração. Foi especificada no projeto a utilização de treliças M150 da empresa Mills, que atenderiam plenamente aos requisitos de rigidez necessários.

A Mills elaborou duas soluções distintas considerando os vãos de 2 metros e de 5 metros, deixando aos cuidados da obra a quantidade de barras Dywidag para ligar as treliças nas aduelas pré-moldadas (ver detalhe preliminar na Figura 5.64).

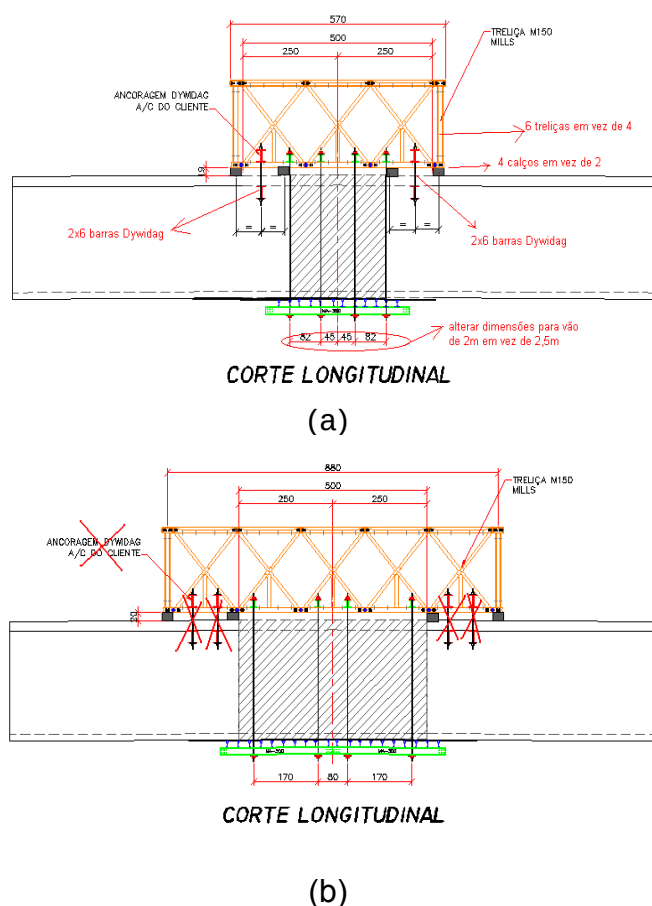


Figura 5.64 – Treliças de travamento M150 da empresa Mills. (a) Solução para o vão de 2 metros. (b) Solução para o vão de 5 metros.

Para a concretagem do fechamento, as formas do caixão são "penduradas" em perfis metálicos apoiados sobre a laje superior, em ambas as extremidades do balanço já executado (Figura 5.65). Estes perfis são calculados para funcionar como

travamento dos balanços enquanto o concreto recém lançado ainda não adquiriu resistência suficiente para a protensão inicial. A concretagem de todo o segmento é feita no início da noite, sendo concluída em poucas horas. É necessário que seja assim, porque no dia seguinte, no início da manhã, o concreto já deve ter resistência suficiente, especificada de 15 MPa, para protensão de um par de cabos positivos, responsáveis pela continuidade da obra. Após o período de cerca de um a dois dias, os demais cabos positivos são protendidos, por dentro do caixão, e a atividade se dá por encerrada.



(a)



(b)

Figura 5.65 – Fechamento do vão central. (a) Fôrmas metálicas para concretagem. (b) Armação vista no interior do caixão.

5.3.4 Pátio das aduelas pré-moldadas – trecho do aterro

As aduelas que compõem os vários vãos no trecho do aterro têm exatamente as mesmas dimensões que as aduelas da represa, e são numeradas e identificadas da mesma forma. Por essa razão, não se faz necessário detalhar neste item suas características geométricas nem detalhes sobre as aduelas que antecedem os vãos de fechamento, visto que é feito da mesma forma e já foi informado no item 5.3.3.1.

No processo construtivo, o vão completo, composto no total por 26 aduelas, é progressiva e simultaneamente executado a partir dos apoios, em direção ao ponto central, da mesma forma que foram executadas no trecho da represa. A principal diferença é que no trecho do aterro cada aduela tem seu berço próprio de fabricação e não há movimentação para estoque. O içamento da aduela é feito do próprio berço de fabricação.

O pátio de fabricação das aduelas, no trecho do aterro, é constituído por 147 berços, entre sete vãos, cada um deles com 26 berços, à exceção do primeiro vão, que tem 13 berços, e do último vão do aterro, que se liga ao apoio da represa, que tem apenas 4. O afastamento de um berço em relação ao outro é de 40 cm, dimensão da largura especialmente deixada para posterior concretagem do anel de ligação (Figura 5.66).



Figura 5.66 – Pátio de fabricação e estocagem das aduelas no trecho do aterro

O berço de fabricação de cada aduela no trecho do aterro funciona também como berço de estocagem, sendo elas fabricadas na ordem de sua utilização e na posição em que serão posteriormente içadas até o ponto de seu posicionamento definitivo na estrutura, mantendo o necessário espaçamento entre as aduelas para posterior complementação com a concretagem do anel de ligação, como já

mencionado. O anel de ligação será concretado “in loco” quando a aduela estiver em sua posição definitiva, nivelada geométrica e topograficamente, e fixada de forma a evitar o seu deslocamento, procedimento análogo ao que é executado no trecho da represa.

5.3.4.1 *Ciclo de fabricação*

Ao contrário das aduelas produzidas no trecho da represa, sendo as aduelas fabricadas na seqüência de sua utilização, a equipe de fabricação precisa trabalhar com pelo menos duas aduelas à frente do içamento, seguindo rigorosamente o cronograma de execução da obra. Isto significa que, quando uma aduela é içada, duas outras na seqüência já devem estar prontas nos berços para que não acarretarem atrasos na seqüência de içamentos.

Da mesma forma que na represa, uma vez concretada “in loco” a aduela de partida, a sua superfície superior é utilizada como base para montagem das treliças de lançamento e da plataforma de trabalho. As duas treliças se movimentam sobre trilhos em direções opostas, para cada uma das extremidades da plataforma, até a posição adequada para o içamento das aduelas, uma de cada lado, e são fixadas nessas posições. A cada segmento acrescentado, as treliças se deslocam para frente, para dar seqüência ao içamento da aduela seguinte.

5.3.4.2 *Içamento e posicionamento final*

O içamento é realizado da mesma forma que na represa, se diferenciando apenas pelo local de onde ele é iniciado e executado. As aduelas são sustentadas por balancins pendentes das treliças, fixados a elas quando ainda estão no berço de fabricação, e ajustados por cabos de modo a estarem tensionados por igual em ambos os lados. São utilizados para fixação e içamento os mesmos equipamentos detalhados no item 5.3.3.4.

Durante o içamento é necessário e indispensável que seja verificado se a aduela está alinhada e nivelada, havendo uma equipe de topografia nas imediações a fim de fazer as necessárias medições e instruir por meio de rádio a equipe de içamento.

É importante ressaltar que uma vez iniciado o processo de içamento, ele não deve ser interrompido até que a aduela esteja montada e fixada em sua posição definitiva. Se o trabalho começar a ser realizado pelo turno do dia deve ser continuado pelo turno da noite, e isto deve estar na programação. Caso contrário, o içamento não começa. A aduela não deve ficar pendente de um dia para o outro devido ao risco de acidentes ou danos físicos a ela própria.

No movimento inicial, quando a aduela é descolada do berço, é feita uma rigorosa verificação de suas condições físicas e da qualidade do concreto na face inferior. Havendo irregularidades, partes quebradas ou vazias na concretagem, é feita a recuperação antes que o içamento prossiga (Figura 5.67).



Figura 5.67 – Movimento inicial de descolamento do berço.

O levantamento da aduela é feito por meio de dois macacos hidráulicos localizados na plataforma de trabalho, em conjunto com a treliça. O processo se dá por etapas, 50 cm de cada vez e a cada etapa é verificada a topografia, além do alinhamento e nivelamento, de forma a garantir que a aduela chegue ao alto na posição correta (Figura 5.68).

Completado o içamento, com a confirmação de que a aduela está nivelada e alinhada, ela é fixada ao segmento anterior por meio de ferros cruzados e soldados. O tempo médio do procedimento completo de içamento é cerca de 5 horas (uma tarde de trabalho).

Terminada essa etapa, inicia-se a preparação para a concretagem do anel de ligação com a montagem das fôrmas e colocação das armações utilizando-se da passarela de trabalho como apoio para movimentação.



Figura 5.68 – Nivelamento e posicionamento final.

5.3.4.3 Concretagem do anel de ligação

Da mesma forma que foi realizada na represa, é montada uma plataforma de trabalho, suspensa pela treliça de lançamento, que será utilizada para movimentação dos operários, apoio de material e outros equipamentos, além de servir para preparação da concretagem de ligação. Depois que a aduela está alinhada e travada em sua posição, essa plataforma de trabalho, também chamada de carro plataforma, é movida até o ponto onde será concretado o anel de ligação.

Em seguida, é preparada a montagem das fôrmas e armação em duas etapas. Na 1ª faz-se a montagem da fôrma de fundo e lateral externa, montagem da armação da laje inferior, das longarinas e das bainhas. Na 2ª etapa são montadas as fôrmas internas das longarinas e do fundo da laje superior além da montagem da armação da laje superior e bainhas. A concretagem do anel de ligação é feita por meio de caminhão betoneira e pela bomba de lançamento de concreto (Figura 5.69).



Figura 5.69 – Concretagem do anel de ligação.

Após a concretagem do anel de ligação, inicia-se o processo de cura que dura em média 36 horas, como no caso da represa. Após um período de 24 horas, são rompidos os corpos de prova, retirados para análise, a fim de se aferir a resistência do concreto, e dar prosseguimento com a desfôrma e preparação para a protensão.

5.3.4.4 *Protensão*

A protensão dos cabos é realizada após o período de cura do concreto tão logo seja verificado se já foi atingida a resistência do concreto exigida no projeto para o início do procedimento. Da mesma forma que foi realizada no trecho da represa, as seguintes atividades são executadas:

- Corte das cordoalhas de Φ 5/8"
- Montagem e colocação dos cabos nas bainhas
- Posicionamento dos blocos de ancoragem
- Montagem do equipamento de protensão
- Colocação das cunhas tri partidas
- Protensão dos cabos

Terminada a protensão, os equipamentos são retirados, os cabos de içamento são cortados, retiram-se os balancins da aduela, e a treliça é movimentada para frente. Completado esse ciclo, começa a preparação para o próximo içamento e todo o processo se repete até o vão de fechamento das aduelas, de forma análoga a que é feita no trecho da represa.

Cabe aqui ressaltar que o ciclo completo de lançamento de um par de aduelas no trecho do aterro tem sido alcançado com oito dias, embora esteja previsto, pelo cronograma de execução da obra, a duração de cinco dias. Esta defasagem de tempo pode ser justificada por problemas que ocorreram devido a falhas de equipamentos, demandando troca ou substituição, provocando atraso no início do lançamento, dificuldade no processo de estiramento dos cabos e falhas de concretagem, que demandaram correção antes do içamento.

5.3.4.5 *Fechamento das aduelas no vão central*

Para o fechamento das aduelas no vão central, tanto o de dois metros quanto o de cinco metros de extensão, conforme foi visto no trecho da represa, item 5.3.3.8,

a treliça de içamento é utilizada para suspender a fôrma metálica e as treliças M150 da empresa Mills especificadas pelo projeto para fazer a ligação e o travamento das aduelas na concretagem “in loco”, a fim de atender aos requisitos de rigidez necessários para que não ocorram deformações no concreto fresco acarretando fissuração (Figura 5.70).



Figura 5.70 – Fechamento do vão central.

A concretagem é executada da mesma forma, preferencialmente no início da noite, sendo concluída em algumas horas para que no dia seguinte, no início da manhã, ao se verificar a resistência necessária, possa ser executada a protensão final dos demais cabos positivos da aduela. Após esse procedimento, a etapa se dá por encerrada e são retirados todos os equipamentos para utilização em outra frente de trabalho. A Figura 5.71 ilustra o vão completo da ponte já executado, onde se pode observar a obra limpa e com excelente qualidade de acabamento.



Figura 5.71 – Vão completo da ponte executado.

5.3.5 Considerações finais

A obra do trecho sul sobre a Represa Billings se constitui, na realidade, de um projeto de duas pontes iguais com 1755 metros de comprimento, dois encontros e dezesseis pilares intermediários, cada uma.

Finalizando esta parte do estudo ilustra-se na Figura 5.72 a situação atual da obra na represa onde se pode observar uma das pontes quase totalmente concluída.

A obra iniciou pela ponte interna, especificamente pelo pilar 7, onde foram mais facilmente cravadas as estacas da fundação.

O seqüenciamento não obedeceu a uma ordem contínua do primeiro ao último pilar, devido aos imprevistos ocorridos na etapa inicial das fundações gerando, inclusive, alterações no projeto. Em função das modificações necessárias nos estaqueamentos, acarretando com isso atrasos significativos no início da obra, e para prosseguir abrindo frentes de trabalho para as equipes de trabalhadores, a obra começou pelo pilar que não apresentou dificuldades e a partir daí para os seguintes de acordo com as etapas de montagem especificadas no projeto, com o objetivo permanente de se obter o fluxo contínuo da construção.



Figura 5.72 – Estrutura da ponte interna sobre a Represa Billings em fase de conclusão.

6 CONTRIBUIÇÕES AO GERENCIAMENTO DO PROCESSO CONSTRUTIVO

6.1 Generalidades

A aplicação de métodos de gerenciamento na construção civil é uma tendência que busca minimizar riscos aos empreendimentos e promover uma forma de competição diferenciada.

Neto (2006) observa que neste novo cenário, as empresas construtoras passam a conviver com o problema da produtividade, e para oferecer propostas competitivas buscam a consolidação de suas práticas e melhores resultados, aplicando o conhecimento adquirido com a própria experiência, para atingir as metas desejadas.

O gerenciamento de projetos é a aplicação de conhecimentos, habilidades, ferramentas e técnicas, reunidas no sistema de gestão do projeto, a fim de se satisfazer seus requisitos (PMBOK, 2000). Neste contexto, supõe-se que o desenvolvimento de um modelo de gestão focado em obras de implantação de pontes e viadutos, que utilizam estruturas pré-moldadas, seja de grande aplicabilidade e venha a promover ganhos significativos sob o aspecto de cumprimento de prazos e qualidade da obra como um todo.

Este capítulo se propõe a contribuir para o estudo do desenvolvimento de um modelo de gerenciamento para fabricação, transporte e montagem de estruturas pré-moldadas de concreto armado, protendidas ou não, objetivando possíveis ganhos em termos de custo, prazo e qualidade.

6.2 Conceituação

O gerenciamento na construção civil tem sido cada vez mais importante na medida em que se torna responsável pelo andamento da obra dentro das diretrizes traçadas pelo planejamento. De maneira geral, é feito pelo controle, avaliação e retroalimentação do sistema, com informações obtidas pelas equipes responsáveis por essas funções. Desta forma, planejamento e controle se integram no gerenciamento da obra com o objetivo de reduzir os prazos e atingir um produto final dentro dos padrões de qualidade necessários.

De acordo com Dinsmore (1992), gerenciamento é o exame de estratégias, de planos e de sistemas, com o objetivo de se eliminar as fontes de possíveis fracassos. É a administração de conflitos e a negociação dos interesses por meio do planejamento com a implantação de técnicas gerenciais que permitam o acompanhamento dos trabalhos e a tomada de medidas corretivas no decorrer dos mesmos. O gerenciamento engloba as tarefas de planejamento, controle e correção das atividades que compõem o empreendimento.

Segundo Souza (1996), se aplicarmos o conceito de gerenciamento na construção civil, gerenciar a obra é coordenar todos os processos que interferem no empreendimento, sem esquecer nem privilegiar nenhum deles, visando atingir todos os objetivos.

Limmer (1997) conceitua o gerenciamento de um projeto como uma forma de assegurar que o mesmo seja planejado em todas as suas fases, permitindo através de mecanismos de controle, uma vigilância contínua onde os impactos de prazo sejam analisados, possibilitando antecipar decisões gerenciais que garantam a execução do projeto da maneira desejada.

6.3 Premissas de implantação

Segundo Schwegler et al. (2001), a indústria da construção civil tem como característica um histórico de baixos níveis de desenvolvimento e de pouca evolução em sua produtividade e eficiência, quando comparada a outras indústrias como, por exemplo, a manufatura. O que se pode constatar é que a indústria da construção civil brasileira sofre das mesmas deficiências. Segundo Costa (1999), sempre se caracterizou por uma cultura de desperdícios, sendo mais freqüentemente observada em desperdícios de materiais e de mão de obra, evidenciados na desqualificação da equipe de trabalho, ineficiência do gerenciamento e aplicação indevida de modelos de gestão eficientes em outros setores da indústria.

Alguns modelos de gestão implantados, que utilizam ferramentas e técnicas de gerenciamento na construção civil, podem auxiliar o gerente a coordenar e compatibilizar os diversos estágios do empreendimento de forma a torná-lo bem sucedido. Isto pode ser alcançado a partir do gerenciamento sobre todos os itens que envolvem as diversas fases de implantação do empreendimento, com a finalidade não só de programar, planejar, executar e controlar o desenrolar das

atividades, como também de resolver problemas que geralmente ocorrem devido às diferentes frentes envolvidas no processo.

Segundo Souza e Melhado (1998), um modelo de gestão deve ser caracterizado pela abrangência de todos os envolvidos no processo e na cadeia de valor, direta e indiretamente, já que é inegável a participação de cada um dos envolvidos em etapas importantes do processo, tais como o estoque dos produtos acabados e o fluxo de atividades, dentre outras.

Sendo o gerenciamento um portador de orientações e informações básicas indispensáveis para o desenvolvimento do planejamento do empreendimento, justifica-se a implantação de um modelo de gerenciamento que considere as particularidades de cada obra.

6.4 Descrição do processo

A obra da Ponte sobre a Represa Billings, escolhida para este estudo (item 5.3), teve início com a implantação da infra-estrutura, assim como a maioria das obras de pontes de grande porte, composta por fundação no sistema de estacas e/ou tubulões. Em seguida deu-se início à meso-estrutura com a implantação dos blocos de fundação e pilares de apoio. Essas atividades foram executadas de forma convencional com a concretagem executada *in loco*.

Na etapa seguinte à meso-estrutura, iniciou-se a implantação da superestrutura composta por segmentos pré-moldados em balanços sucessivos com seção em caixão celular, compondo o tabuleiro.

Esta última etapa pôde ser vista como uma oportunidade de promover ganhos qualitativos e quantitativos em termos de prazo de execução. Visando aproveitar esta oportunidade, essa pesquisa foi estruturada de forma a propiciar subsídios para contribuir na elaboração de um modelo de gerenciamento específico para aplicar na fabricação seqüenciada dos elementos pré-moldados da obra estudada.

6.5 Proposição do modelo

A partir da evolução do processo construtivo de pontes chegando até a construção de pontes com aduelas pré-moldadas protendidas, apresentando dois estudos de caso mais detalhados, a construção da ponte de Brisbane na Austrália e

a construção da ponte sobre a Represa Billings em São Paulo, foi possível retratar um panorama bastante significativo da execução do processo construtivo.

Com o acompanhamento das atividades e das etapas construtivas nesse tipo de construção de pontes, foi possível identificar um problema sistemático na logística da cadeia de suprimentos que liga a fase de fabricação das aduelas com a fase da montagem. Sobre esse aspecto, verificaram-se alguns itens que são considerados chaves na gestão dessa cadeia: o compartilhamento de informação e a integração entre os processos.

Analisando a produtividade da fabricação e a execução da montagem percebe-se que podem ocorrer desbalanceamentos se não houver um controle contínuo do fluxo e do nível de estoque.

As peças são fabricadas e, em seguida, são transportadas para o estoque. A montagem só se realiza se houver peças no estoque e a fabricação só pode ocorrer se houver espaço para as peças no estoque. Esse é o tipo de produção, cuja concepção ou modelo é de produção puxada.

A partir da observação desse processo, e verificando a existência de um problema recorrente entre a fabricação e a montagem (a acumulação de peças no estoque e/ou a falta de controle do estoque de peças), chegou-se à conclusão de que, para um melhor controle da fabricação em função do estoque e da montagem, seria necessário dispor de uma ferramenta de planejamento constante e contínuo, que alertasse para tal situação.

Com esse objetivo, se propôs a elaboração de um programa para simular a fabricação e a montagem ocorrendo de forma contínua, a fim de reduzir os problemas de abastecimento e analisar os gargalos entre a fabricação e a montagem em toda a cadeia de suprimentos.

O modelo proposto, executado em uma planilha de simulação desenvolvida no Microsoft® Office Excel 2003 com recursos de programação do *Visual Basic*, é apresentado impresso ao final deste trabalho e, também em anexo, em mídia digital. Toda a metodologia de planejamento e montagem adotada está representada nessa planilha, elaborada de acordo com uma distribuição de probabilidades que considera um prazo de fabricação em função da realização da montagem, a fim de que o seqüenciamento das atividades possa ser acompanhado e replanejado.

6.6 Desenvolvimento da Planilha

6.6.1 Critérios estabelecidos

A fim de simplificar o processo de produção ao longo da cadeia de suprimentos, são estabelecidos parâmetros para a criação de um modelo padrão de fabricação e montagem de aduelas.

Neste modelo estabeleceram-se três tipos de fôrmas destinadas à fabricação dos 14 tipos diferentes de aduelas, onde:

- F1 é a fôrma para as aduelas A1, A2, A3, A4 e A5;
- F2 é a fôrma para as aduelas A6, A7, A8, A9 e A10;
- F3 é a fôrma para as aduelas A11, A12, A13 e A14.

A seqüência de fabricação das aduelas segue um ciclo de acordo com o tipo de fôrma utilizada, ou seja, fabrica-se a aduela A1, em seguida a aduela A2, e assim por diante, até a aduela A5, última da série fabricada com a fôrma F1, e então se retorna à fabricação da aduela A1 recomeçando-se o ciclo.

O mesmo critério é utilizado para as fôrmas F2 e F3, sendo esta última diferenciada das duas primeiras por ser utilizada para fabricação de apenas quatro tipos de aduelas.

Apesar de se tratar de uma produção puxada, ou seja, só se fabrica quando há demanda, o sistema não para por completo quando existe estoque de um tipo de aduela acima do permitido. O código instrui a simulação a “pular” a fabricação da aduela com excesso de estoque e começar a fabricação da próxima aduela com estoque abaixo do máximo permitido.

Considerando que o processo de montagem das aduelas é feito por balanços sucessivos simultâneos, sempre são retiradas do estoque duas aduelas do mesmo tipo, e em seqüência.

O estoque máximo de cada tipo de aduela deve ser definido no início da programação de acordo com a realidade de cada obra, assim como os valores de entrada nas tabelas de distribuição de probabilidades de duração da fabricação e da montagem das aduelas. Estes valores são inseridos em uma tabela de dados da simulação, representada pelo formulário “FormIndex”, conforme pode ser visto na Figura 6.1.

Dados da simulação

Intervalo de duração da fabricação das aduelas			Intervalo de duração da montagem das aduelas		
Probabilidade	Acumulada	Nº de dias	Probabilidade	Acumulada	Nº de dias
0	0	3	0,05	0,05	3
0,05	0,05	4	0,05	0,1	4
0,15	0,2	5	0,3	0,4	4
0,25	0,45	6	0,35	0,75	4
0,25	0,7	7	0,1	0,85	5
0,25	0,95	8	0,1	0,95	6
0,05	1	0	0,05	1	0

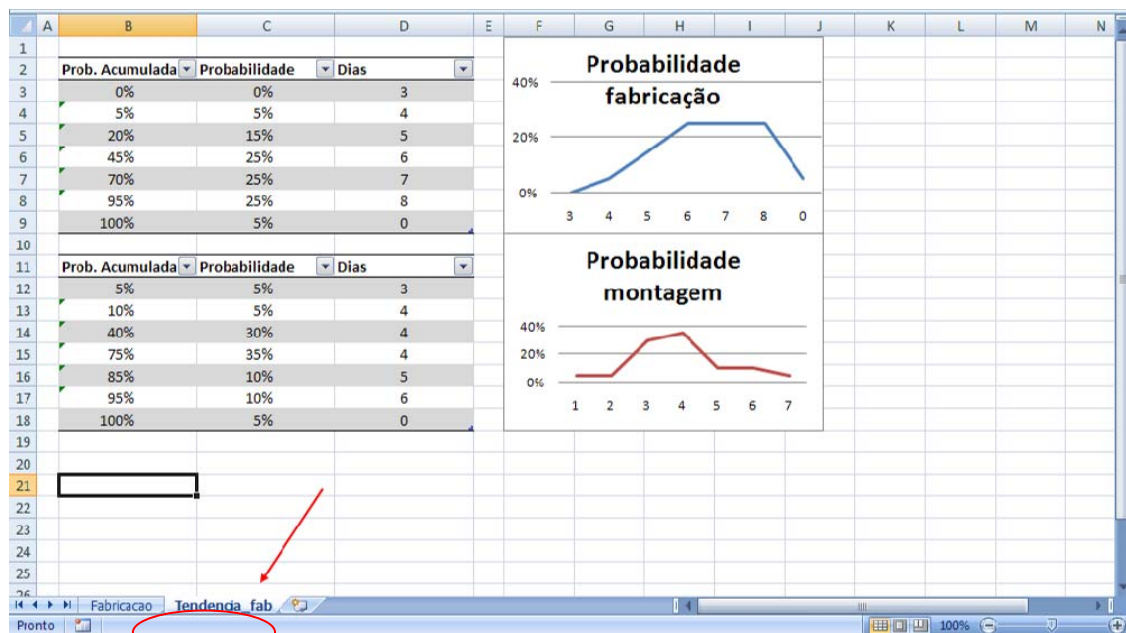
Capacidade do estoque
Insira a quantidade máxima de cada item que pode ser armazenada em estoque:

OK

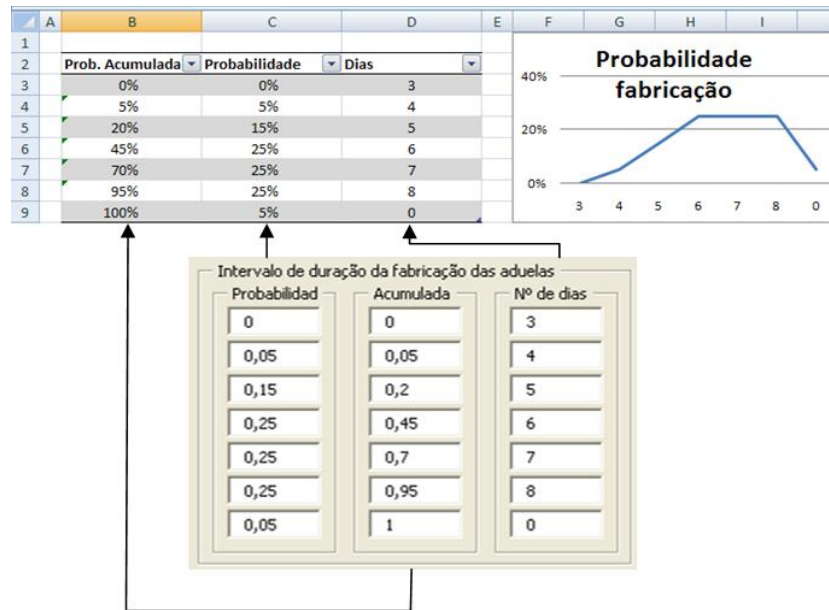
Figura 6.1 - Formulário “FormIndex”

6.6.2 Identificação das células de *in put*

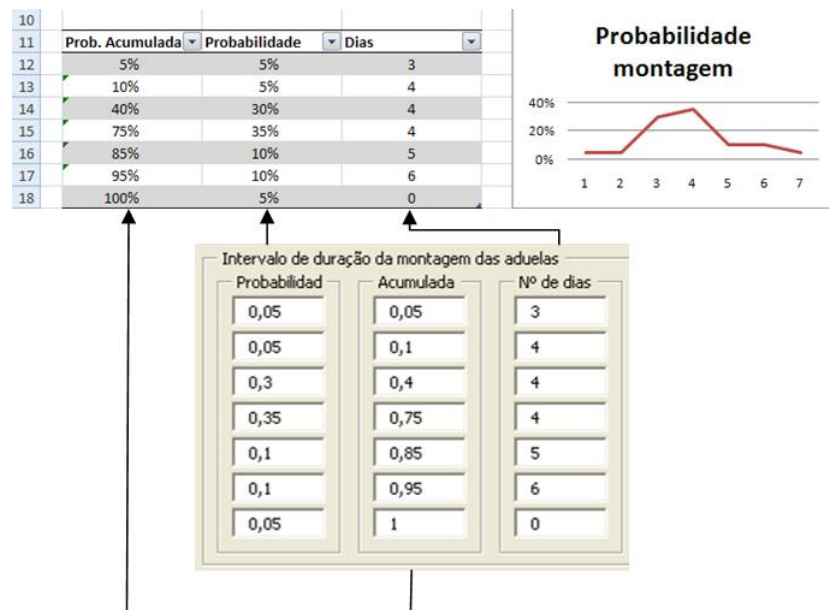
A planilha “Tendencia_fab” (Figura 6.2a) ilustra os dados de entrada nas células da planilha, com base na distribuição normal de probabilidades em função do tempo, a partir dos critérios iniciais estabelecidos. Esses dados são transportados do formulário “FormIndex”, em função do número máximo de cada tipo de aduela em estoque, e dos dados da simulação da duração e probabilidade de fabricação (Figura 6.2b) e da duração e probabilidade da montagem das aduelas (Figura 6.2c).



(a)



(b)



(c)

Figura 6.2 - (a) Planilha “Tendencia_fab”. (b) Dados da simulação do tempo de fabricação. (c) Dados da simulação do tempo de montagem.

Para facilitar a referência aos valores contidos nas tabelas de fabricação e de montagem de aduelas, para o código em *Visual Basic*, tais tabelas foram convertidas em intervalos. A tabela referente à distribuição normal de fabricação de aduelas foi nomeada “Prob_fabricacao” e a tabela referente à distribuição normal de montagem de aduelas foi nomeada “Prob_montagem” (Figura 6.3).

Prob_fabricacao				fx =SOMA(\$C\$3:C3)			
	A	B	C	D			
1							
2		Prob. Acumulada	Probabilidade	Dias			
3		0%	0%	3			
4		5%	5%	4			
5		20%	15%	5			
6		45%	25%	6			
7		70%	25%	7			
8		95%	25%	8			
9		100%	5%	0			

Prob_montagem				fx =SOMA(\$C\$12:C12)			
	A	B	C	D			
10							
11		Prob. Acumulada	Probabilidade	Dias			
12		5%	5%	3			
13		10%	5%	4			
14		40%	30%	4			
15		75%	35%	4			
16		85%	10%	5			
17		95%	10%	6			
18		100%	5%	0			

Figura 6.3 - Intervalos referentes à distribuição normal de fabricação e de montagem

6.6.2.1 Células do intervalo "Prob_fabricacao"

O intervalo "Prob_fabricacao" é o conjunto de dados constituído pelas células B3:D9. Estes dados são a base para uma distribuição aleatória normal para a determinação do período de duração da fabricação de cada aduela.

- Coluna B - Probabilidade Acumulada: linha 3 à linha 9 - Esta coluna, apesar de conter os mesmos valores visualizados no campo [Acumulada] do intervalo de duração da fabricação das aduelas do formulário "FormIndex", não é importada desse formulário. Seu cálculo é feito somando-se os valores da coluna C da tabela "Prob_fabricacao" dos intervalos anteriores, conforme pode ser visto na Figura 6.4. Por conseguinte, o valor de cada célula desta coluna fica expresso da seguinte maneira:

- Célula B3 =SOMA(\$C\$3:C3)
- Célula B4 =SOMA(\$C\$3:C4)
- Célula B5 =SOMA(\$C\$3:C5)
- Célula B6 =SOMA(\$C\$3:C6)
- Célula B7 =SOMA(\$C\$3:C7)
- Célula B8 =SOMA(\$C\$3:C8)
- Célula B9 =SOMA(\$C\$3:C9)

	A	B	C	D
1				
2		Prob. Acumulada	Probabilidade	Dias
3		0%	0%	3
4		5%	5%	4
5		20%	15%	5
6		45%	25%	6
7		70%	25%	7
8		95%	25%	8
9		100%	5%	0

Figura 6.4 – Células do intervalo “Prob_fabricacao”

- Coluna C - Probabilidade: linha 3 à linha 9 - Esta coluna se refere à probabilidade de se obter o respectivo valor, em dias, na distribuição normal. Seus valores são importados do campo [Probabilidade] do intervalo de duração da fabricação das aduelas do formulário “FormIndex”.
- Coluna D - Dias: linha 3 à linha 9 - Coluna que apresenta o número provável de dias despendidos para fabricação das aduelas referentes às respectivas probabilidades.

6.6.2.2 Células do intervalo “Prob_montagem”

O intervalo “Prob_montagem” é o conjunto de dados constituído pelas células B12:D18. Estes dados são a base para uma distribuição aleatória normal para a determinação do período de duração da montagem de cada aduela.

- Coluna B - Probabilidade Acumulada: linha 12 à linha 18 - Esta coluna, apesar de conter os mesmos valores visualizados no campo [Acumulada], do intervalo de duração da montagem das aduelas do formulário “FormIndex”, não é importada desse formulário. Seu cálculo é feito somando-se os valores da coluna C da tabela “Prob_montagem” dos intervalos anteriores, conforme pode ser visto na figura 6.5. Por conseguinte, o valor de cada célula desta coluna fica expresso da seguinte maneira:
 - Célula B12 =SOMA(\$C\$12:C12)
 - Célula B13 =SOMA(\$C\$12:C13)
 - Célula B14 =SOMA(\$C\$12:C14)
 - Célula B15 =SOMA(\$C\$12:C15)
 - Célula B16 =SOMA(\$C\$12:C16)
 - Célula B17 =SOMA(\$C\$12:C17)
 - Célula B18 =SOMA(\$C\$12:C18)

	A	B	C	D
10				
11		Prob. Acumulada	Probabilidade	Dias
12		5%	5%	3
13		10%	5%	4
14		40%	30%	4
15		75%	35%	4
16		85%	10%	5
17		95%	10%	6
18		100%	5%	0

Figura 6.5 - Células do intervalo “Prob_montagem”

- Coluna C - Probabilidade: linha 12 à linha 18 – Esta coluna é referente à probabilidade de se obter o respectivo valor, em dias, na distribuição normal. Seus valores são importados do campo [Probabilidade] do intervalo de duração da montagem das aduelas do formulário “FormIndex”.
- Coluna D - Dias: linha 12 à linha 18 – Coluna que apresenta o número provável de dias despendidos para montagem das aduelas referentes às respectivas probabilidades.

6.6.3 Identificação das células de *out put*

A partir dos dados inseridos por meio do formulário “FormIndex” nas células de *in put*, é necessário ainda que sejam criadas as condições para que os mesmos realizem a simulação programada.

Para este fim os dados serão transportados por meio de fórmulas para a tabela de simulação na planilha de fabricação, o que permitirá ao usuário a visualização e o entendimento do funcionamento da cadeia de produção com os dados inseridos.

Para um melhor entendimento das células de *out put*, que compõem todas as etapas do processo de simulação, as mesmas serão detalhadas separadamente, e classificadas da seguinte maneira:

- Geração dos números aleatórios para definição da duração do período de fabricação e montagem das aduelas;
- Exportação do número aleatório gerado para o devido local;
- Visualização do período de fabricação e montagem das aduelas;
- Tabelas de entrada e saída no estoque de aduelas;
- Consolidação de entradas e saídas no estoque de aduelas;
- Formação do estoque final de aduelas.

6.6.3.1 *Geração dos números aleatórios para definição da duração do período de fabricação e montagem das aduelas*

Os números aleatórios utilizados para definição da duração dos processos de fabricação e montagem das aduelas são determinados por meio da função PROCV (Microsoft® Office Excel 2003), cuja sintaxe é a seguinte:

PROCV(valor_procurado;matriz_tabela;núm_índice_coluna;procurar_intervalo)

- Valor_procurado → é o valor a ser localizado na primeira coluna de uma tabela, podendo ser um valor numérico, uma referência ou uma seqüência de caracteres de texto.

- `Matriz_tabela` → são duas ou mais colunas de dados. Pode se usar uma referência a um intervalo ou nome de intervalo. Esses dados podem ser texto, números ou valores lógicos que são recuperados.
- `Núm_índice_coluna` → é o número da coluna em `matriz_tabela` a partir do qual o valor correspondente deve ser retornado. A primeira coluna de valores na tabela é a coluna 1.
- `Procurar_intervalo` → é um valor lógico que especifica se queremos que `PROCV` encontre a correspondência exata ou aproximada. Se `VERDADEIRO` ou omitido, `PROCV` retorna a correspondência mais próxima. Para isso, os valores na primeira coluna de `matriz_tabela` devem ser colocados em ordem de classificação crescente; caso contrário, `PROCV` poderá não fornecer o valor correto. Se `FALSO`, `PROCV` somente localizará uma correspondência exata.

O argumento `valor_procurado`, neste estudo, é gerado pela função `ALEATÓRIO( )`, que não possui argumentos. Retorna um número aleatório maior ou igual a 0 e menor que 1 distribuído igualmente. Toda vez que a planilha for calculada um novo número aleatório será retornado.

Com a apresentação das fórmulas que são utilizadas, pode-se entender que o valor retornado é encontrado na sua respectiva `matriz_tabela` de acordo com o valor aleatório gerado. Considerando que os valores na tabela são acompanhados de suas respectivas probabilidades, pode-se concluir que aqueles valores que possuem um menor intervalo de probabilidade são retornados mais vezes.

Para geração dos números aleatórios utilizados na duração do período de fabricação das aduelas, utilizando a função `PROCV` aplicada à duração do período de fabricação das aduelas, teremos a seguinte função:

`PROCV(ALEATÓRIO( );Tendencia_fab!$B$3:$D$9;3)`

Para a geração dos números aleatórios utilizados para duração do período de montagem das aduelas, utilizando a função `PROCV` aplicada à duração do período de montagem das aduelas, teremos a seguinte função:

`PROCV(ALEATÓRIO( );Tendencia_fab!$B$12:$D$18;3)`

6.6.3.2 Exportação do número aleatório gerado para o devido local

A etapa de exportação dos números aleatórios gerados anteriormente refere-se à fixação dos valores gerados pela função. Isto se faz necessário, pois a função ALEATÓRIO, quando aplicada a uma célula, atualiza-se a cada operação realizada. Esta propriedade da função acarreta uma mudança constante do número gerado, impossibilitando que se saiba o número aleatório gerado no instante da simulação.

A ferramenta utilizada para a desvinculação do número gerado de sua respectiva função é “Colar Especial”, conforme pode ser visto na Figura 6.6. Esta ferramenta é programada em linguagem *Visual Basic*, cuja operação se resume em fazer inicialmente a cópia do valor gerado na célula com o comando “Ctrl + C” para que posteriormente o “Colar Especial” copie este valor na mesma célula, colando apenas valores.

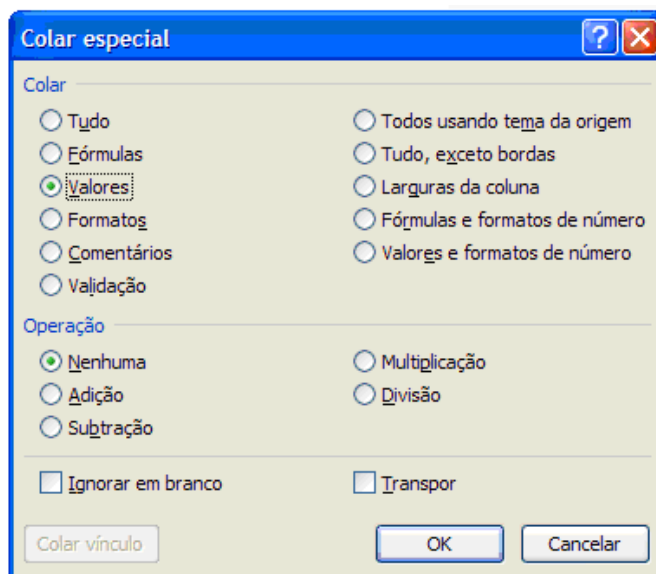


Figura 6.6 – Ferramenta “Colar especial”

6.6.3.3 Visualização do período de fabricação e montagem das aduelas

A visualização do período de fabricação e montagem das aduelas refere-se à explicitação, por parte da simulação, dos períodos em que é realizada a fabricação ou montagem de determinada aduela, de maneira que facilite a identificação de sua situação em cada período de tempo.

A Figura 6.7 reproduz um exemplo em que os números aleatórios gerados para os primeiros períodos de fabricação das aduelas A1, A6 e A11 nas fôrmas F1, F2 e F3 são, respectivamente, 6, 6 e 5.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S
1																			
2			Processo de fabricação de aduelas(para estoque)																
3		Dia	Forma 1					Forma 2					Forma 3				Duração Forma 1	Duração Forma 2	Duração Forma 3
4			A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9	A10	A11	A12	A13	A14			
5		1	6					6					5				6	6	5
6		2	5					5					4						
7		3	4					4					3						
8		4	3					3					2						
9		5	2					2					1						
10		6	1					1						3					3
11		7		6					4				2				6	4	
12		8		5					3				1						
13		9		4					2						4				4
14		10		3					1						3				
15		11		2						5					2			5	
16		12		1						4					1				
17		13			5					3						7	5		7
18		14			4					2						6			
19		15			3					1						5			
20		16			2						7					4		7	
21		17			1						6					3			
22		18				4					5					2	4		
23		19				3					4					1			
24		20				2					3		5						5
25		21				1					2		4						
26		22					7				1		3				7		
27		23					6					6	2					6	
28		24					5					5	1						
29		25					4					4		5					5
30		26					3					3		4					
31		27					2					2		3					
32		28					1					1		2					

Figura 6.7 - Números aleatórios gerados no processo de fabricação

Para interpretação das atividades realizadas em cada período de tempo na simulação, pode-se visualizar no exemplo da Figura 6.7, que, no dia 1 faltam 6 dias para o término da fabricação da aduela A1, no dia 2 faltam 5 dias e assim por diante, até que se termine a fabricação da respectiva aduela (no dia 7) e seja possível utilizar a fôrma para fabricação da aduela A2. Observa-se que o mesmo critério é utilizado para as demais aduelas.

De forma análoga é realizada a simulação para a montagem das aduelas e a Figura 6.8 apresenta um exemplo onde os números aleatórios são gerados para identificar o período e a duração da montagem de cada aduela.

	A	B	AH	AI	AJ	AK	AL	AM	AN	AO	AP	AQ	AR	AS	AT	AU	AV
1																	
2			Processo de montagem de aduelas(retirada de estoque)														Duração Montagem
3		Dia															
4			A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9	A10	A11	A12	A13	A14	
40	36	4															4
41	37	3															
42	38	2															
43	39	1															
44	40		4														4
45	41		3														
46	42		2														
47	43		1														
48	44		4														4
49	45		3														
50	46		2														
51	47		1														
52	48			4													4
53	49			3													
54	50			2													
55	51			1													
56	52			3													3
57	53			2													
58	54			1													
59	55				4												4
60	56				3												
61	57				2												
62	58				1												
63	59				4												4
64	60				3												
65	61				2												
66	62				1												
67	63					4											4

Figura 6.8 - Números aleatórios gerados no processo de montagem

6.6.3.4 Tabelas de entrada e saída no estoque de aduelas

Quando o ciclo de trabalho em uma determinada aduela se dá por encerrado, o estoque deve ser alterado no sistema, para que se mantenha sempre atualizado. Quando se finaliza um período de fabricação, temos a entrada de uma aduela no estoque, e quando se inicia um período de montagem, temos a saída de uma aduela do estoque.

Para que seja possível contabilizar no estoque final as tabelas intermediárias de entrada e saída de aduelas em estoque, a cada entrada temos mais uma unidade de determinada aduela (+1) e a cada saída temos menos uma unidade (-1). Desta forma, é possível consolidar as duas tabelas e chegar a um estoque final em cada período de tempo determinado.

Na Figura 6.9 pode-se visualizar que ao final da fabricação de cada tipo de aduela, é contabilizado (+1) na entrada de aduelas no estoque.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z	AA	AB	AC	AD	AE	AF	AG		
1																																			
2			Processo de fabricação de aduelas(para estoque)																																
3		Dia	Forma 1				Forma 2				Forma 3					Duração	Duração	Duração	Entrada de aduelas no estoque																
4			A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9	A10	A11	A12	A13	A14	Forma 1	Forma 2	Forma 3	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9	A10	A11	A12	A13	A14		
5	1	6					6						5				6	6	5																
6	2	5					5						4																						
7	3	4					4						3																						
8	4	3					3						2																						
9	5	2					2						1																						
10	6	1					1						3						3												1				
11	7		6					4					2				6	4		1				1											
12	8		5					3					1																						
13	9		4					2						4					4													1			
14	10		3					1						3																					
15	11		2						5					2				5								1									
16	12		1						4					1																					
17	13			5					3							7	5		7		1												1		
18	14			4					2							6																			
19	15			3					1							5																			
20	16			2						7						4		7										1							
21	17			1						6						3																			
22	18				4					5						2	4																		
23	19				3					4						1																			
24	20				2					3		5							5														1		
25	21				1					2		4																							
26	22					7				1		3					7							1											
27	23					6					6	2						6									1				1				
28	24					5					5	1																							
29	25					4					4		5						5													1			
30	26					3					3		4																						
31	27					2					2	3																							
32	28					1					1		2																						
33	29	7					6							1			7	6						1						1					
34	30	6					5								5				5														1		
35	31	5					4								4																				
36	32	4					3								3																				
37	33	3					2								2																				
38	34	2					1								1																				
		Fabricacao	Tendencia fab																																

Figura 6.9 - Entrada de aduelas no estoque

6.6.3.5 Consolidação de entradas e saídas de aduelas no estoque

Para se chegar à quantidade final de aduelas em estoque é necessária uma etapa intermediária entre esta e os lançamentos de entrada e saída de aduelas em estoque. Esta etapa de consolidação representa a soma, a cada dia, das entradas e saídas de cada tipo de aduela do estoque.

É possível observar no exemplo da Figura 6.10, que no período entre os dias 31 e 55 da simulação existem diversos lançamentos de entrada e saída de aduelas no estoque. Estas entradas e saídas são contabilizadas pela soma das respectivas células, referentes a cada tipo de aduela, e devidamente transportadas para a tabela 'Consolidação de entradas e saídas de aduelas'.

Para ilustrar essa movimentação, pode-se observar como exemplo, a célula BL44 da tabela, que corresponde à soma da célula U44 com a célula AX44, onde estão alocadas as respectivas entradas e saídas da aduela A2 no dia 41.

Para ilustrar o funcionamento da tabela, a Figura 6.11 apresenta o período entre os dias 50 e 66, considerando, por exemplo, como ponto inicial os valores da linha 54 da tabela “estoque final de aduelas”, onde não há nenhuma movimentação de estoque. Na linha 55, no dia 51, existe um lançamento de entrada de aduela A4 no estoque, o que fará com que o mesmo passe de uma unidade (célula CB54) para duas unidades (célula CB55).

No período seguinte, na linha 56, existe um lançamento de saída no estoque de aduela A3, o que, por consequência, faz com que o mesmo, que era igual a uma unidade nos dois períodos anteriores (células CA54 e CA55), diminua de uma unidade tornando-se nulo (célula CA56).

	A	B	BK	BL	BM	BN	BO	BP	BQ	BR	BS	BT	BU	BV	BW	BX	BY	BZ	CA	CB	CC	CD	CE	CF	CG	CH	CI	CJ	CK	CL
1																														
2																														
3		Dia	Consolidação de entradas e saídas de aduelas														Estoque final de aduelas													
4			A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9	A10	A11	A12	A13	A14	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9	A10	A11	A12	A13	A14
54	50		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	2	2	2	1	1	3	2	2	2
55	51		0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	2	1	2	2	2	1	1	3	2	2	2
56	52		0	0	-1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	1	2	2	2	1	1	3	2	2	2
57	53		0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	2	1	2	2	2	2	1	3	2	2	2	2
58	54		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	2	1	2	2	2	2	1	3	3	2	2	2
59	55		0	0	0	-1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	2	2	2	2	1	3	3	2	2	2
60	56		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	2	2	2	2	1	3	3	2	2	2
61	57		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	2	2	2	2	1	3	3	2	2	2
62	58		0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	2	2	2	2	2	1	3	3	2	2	2
63	59		0	0	0	-1	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	2	2	2	2	2	2	3	3	3	2	2
64	60		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	2	2	2	2	2	2	3	3	3	3	2
65	61		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	2	2	2	2	2	2	3	3	3	3	2
66	62		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	2	2	2	2	2	2	3	3	3	3	2
67	63		0	0	0	0	-1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	2	2	2	2	2	3	3	3	3	3
68	64		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	2	2	2	2	2	2	3	3	3	3	3
69	65		1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	3	2	2	2	2	2	3	3	3	3	3
70	66		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	3	2	2	2	2	2	3	3	3	3	3
71	67		0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	2	2	2	2	2	2	3	3	3	3	3

Figura 6.11 - Estoque final de aduelas

A tabela de estoque final de aduelas consolida todas as movimentações, utilizando a função SOMA (Microsoft® Office Excel 2003), cujos argumentos são todas as células que sofrem as alterações que se deseja implementar.

Desta forma, os valores acumulados em estoque apresentados, a cada dia, se mantém sempre corrigidos em função da movimentação de entradas e saídas (fabricação e montagem) das aduelas.

6.6.4 Planilha de simulação

Com o intuito de possibilitar o entendimento e a análise do processo construtivo quando submetido às premissas adotadas na programação da obra em

estudo, é apresentada, no anexo A, como exemplo, a planilha de simulação executada a partir de um formulário de entrada de dados, contendo a duração da fabricação e a duração da montagem, em número de dias, estipulada em função das probabilidades baseadas nas informações obtidas na obra, e a capacidade máxima de cada aduela, armazenada em estoque.

A planilha automatiza todo o processo de fabricação e montagem das aduelas fornecendo um resultado, positivo ou negativo, permitindo com isso que se refaça a programação sempre que necessário.

É importante ressaltar que, com esta proposta não se pretende fazer uma análise dos resultados, mas, sim, contribuir com uma ferramenta elaborada no sentido de permitir o planejamento e o acompanhamento contínuo da execução, de acordo com a realidade de cada obra.

7 CONCLUSÕES

A partir da apresentação da evolução histórica das pontes e dos principais métodos de construção, foi possível observar que a industrialização da construção civil é uma tendência, e que a repetitividade das operações envolvidas e a concentração dessas operações numa mesma área, abrem um leque bastante amplo de possibilidades de racionalização do processo de fabricação e montagem, com conseqüente redução de prazo, custo e ganhos na qualidade da obra.

Com base na descrição de aspectos relativos ao projeto e ao processo de execução da obra, dando especial atenção àquelas com elementos pré-moldados e pré-fabricados, verificou-se o quanto é importante o planejamento e o gerenciamento da obra para a melhoria do processo construtivo.

Utilizando as informações obtidas *in loco*, foram analisados os principais aspectos relacionados com a execução da montagem e foi possível constatar que um dos problemas mais críticos que ocasionam atrasos e desperdícios de mão de obra, é o desbalanceamento da cadeia de suprimentos em função da programação do nível de estoque. Verificou-se que a maior parte dos problemas pode ser evitada ou atenuada com a adoção de uma metodologia de gerenciamento, planejamento e controle, que possibilitam visualizar e prevenir as causas destes problemas, além de proporcionar o andamento da obra com menos interrupções.

Com o objetivo de contribuir com o gerenciamento do sistema produtivo de fabricação e montagem nas construções do tipo “produção puxada”, foi desenvolvida uma metodologia que possibilita uma visão sistêmica de implantação das obras de pontes segmentadas, para a qual se implementou a ferramenta de planejamento apresentada, que permite, por meio da simulação, o controle e o acompanhamento para essas obras.

Com isso, embora não se possa afirmar, por se tratar de um estudo de caso, pode-se concluir que a aplicação do modelo apresentado pode contribuir significativamente para a melhoria do gerenciamento do processo construtivo das obras de pontes em estruturas segmentadas pré-moldadas em concreto armado e protendido. Além disso, espera-se que esta pesquisa possa estimular estudos mais aprofundados da metodologia desenvolvida, para implementação desse conceito em trabalhos futuros.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, Sérgio Marques Ferreira de; SOARES, Paulo Sérgio. *Superestruturas de Pontes Rodoviárias*. 1. ed. Niterói, EDUFF: 1986.

ALMEIDA, Sérgio Marques Ferreira de; SOUZA, Vicente Custódio Moreira de; CORDEIRO, Thomas José Ripper. *Ligações de vigas pré-fabricadas por lajes de continuidade*. 1 Congresso de Engenharia Civil da Universidade de Juiz de Fora, Juiz de Fora, 1994.

ALMEIDA, Sérgio Marques Ferreira de; SOUZA, Vicente Custódio Moreira de; CORDEIRO, Thomas José Ripper. *Processos construtivos de pontes e viadutos pré-moldados no Brasil*. 1 Congresso Nacional da Indústria de Pré-fabricação em Betão, Porto, Portugal, v. 1, p. 139-154, 2000.

BORGES, Luciano Afonso. *Processo de Execução de Pontes e Viadutos em Lançamento por Incrementos*. São Paulo: Maubertec Engenharia e Projetos. (publicação interna)

BROWN, David J. *BRIDGES: Three Thousand Years of Defying Nature*. 1st ed. St.Paul, USA, MBI Publishing Company, 2001.

DINIZ, José Zamarion Ferreira. Pré-fabricados de Concreto: Rapidez, Economia e Sustentabilidade na Construção. *Concreto & Construções*, São Paulo, Ano 34, n. 43, p. 10-12, jun./ago. 2006.

DINSMORE, Paul C. *Gerência de Programas e Projetos*. 2. ed. São Paulo: Editora Pini, 1992. 406 p.

DONIAK, Iria Lícia Oliva. Estruturas pré-fabricadas para edifícios altos. *Concreto & Construções*, São Paulo, Ano 34, n. 43, p. 39-40, jun./ago. 2006.

EIGER, Luiz Roberto. A química a serviço da indústria de concretos pré-fabricados. *Concreto & Construções*, São Paulo, Ano 34, n. 43, p. 55, jun./ago. 2006.

ELIAS, Sérgio José Barbosa et al. *Planejamento do Layout de Canteiros de Obras: Aplicação do SLP (Systematic Layout Planning)*. 18 ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, Fortaleza, Ceará, 1998.

FIB BULLETIN 9, *Guidance for Good Bridge Design*, 2000 apud MATTOS, Tales Simões. *Programa para Análise de Superestruturas de Pontes de Concreto Armado e Protendido*. Tese de Mestrado em Engenharia Civil. Programas de Pós-Graduação de Engenharia. Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, 2001, 167p. Disponível em: <www.coppe.ufrj.br>. Acesso em: 23 ago. 2007.

FRANCO, Carlos. Concreto pré-fabricado ou moldado “in loco”? Às vezes, convém combinar os dois. *Concreto & Construções*, São Paulo, Ano 34, n. 43, p. 22-25, jun./ago. 2006.

FRANCISCO, B. C. *Fatores relevantes para a gestão de empreendimentos de construção civil*. 1999. 83 f. Dissertação (mestrado em engenharia civil) Universidade Federal Fluminense, Niterói, 1999.

HIGGINS, Peter; MARWICK, J. *The Approach Structure for the Gateway Bridge: A Case Study in the Integration of Construction Technique in Bridge Design*. CIA Conference, june, 1983.

HIGGINS, Peter; MATT, Peter. *Gateway Bridge Brisbane: Design aspects of the main river span structure*. Concrete Institute of Australia. Eleventh Biennial Conference Sydney, 1983.

LEONHARDT, Fritz. *Construções de Concreto: Princípios Básicos da Construção de Pontes de Concreto*, v. 6, Rio de Janeiro: Interciência, 1979. 241 p.

LIMMER, Carl Vicente. *Planejamento, Orçamentação e Controle de Projetos e Obras*. 1. ed. Rio de Janeiro: Editora LTC, 1997. 228 p.

LOPES, L.C.A. *Proposta de layout para canteiros de obras verticais*. Monografia (Especialização em Engenharia de Produção) Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 1996 apud ELIAS, Sérgio José Barbosa et al. *Planejamento do Layout de Canteiros de Obras: Aplicação do SLP* (Systematic Layout Planning). 18 ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, Fortaleza, Ceará, 1998.

MASON, Jayme. *Pontes em Concreto Armado e Protendido*. 1.ed. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos, 1977. 320 p.

MATTOS, Tales Simões. *Programa para Análise de Superestruturas de Pontes de Concreto Armado e Protendido*. Tese de Mestrado em Engenharia Civil. Programas de Pós-Graduação de Engenharia. Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, 2001, 167 p. Disponível em: <www.coppe.ufrj.br>. Acesso em: 23 ago. 2007.

MOORE, James M. *Plant layout and design*. Macmillan Publishing Company, New York, 1962 apud ELIAS, Sérgio José Barbosa et al. *Planejamento do Layout de Canteiros de Obras: Aplicação do SLP* (Systematic Layout Planning). 18 ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, Fortaleza, Ceará, 1998.

MUTHER, Richard. *Planejamento do Layout: Sistema SLP*. 1. ed. Rio de Janeiro: Edgard Blücher, 1978. 220 p.

NETO, Antonio Pregeli. *Modelo de Gestão para Obras de Arte Especiais: Pontes e Viadutos*. 2006. 148 f. Dissertação (Mestrado em Construção Civil) - Universidade Estadual de Campinas – Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo - UNICAMP. Departamento de Construção Civil. Campinas, 2006.

PFEIL, Walter. *Pontes: Curso Básico. Projeto, Construção e Manutenção*. 1.ed. Rio de Janeiro: Campus, 1983. 280 p.

PFEIL, Walter. *Pontes em Concreto Armado: Elementos de Projeto, Solicitações e Dimensionamento*. 1. ed. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos, 1979. 433 p.

PFEIL, Walter. *Concreto Protendido: Uma Introdução*. 2. ed. rev. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos, 1988. 433 p.

PFEIL, Walter. *Concreto Protendido: Processos Construtivos Perdas de Protensão*. 3. ed. Rio de Janeiro: Didática e Científica, 1991. 423 p.

PINHO, Fernando Ottoboni. *Pontes e Viadutos em Vigas Mistas*. Rio de Janeiro: IBS/CBCA, 2007. 138 p.

PINHO, Mauro Ottoboni. *Transporte e Montagem*. Rio de Janeiro: IBS/CBCA, 2005. 144 p.

PONTES E VIADUTOS: *BRASIL* - Bridges and viaducts. Mercedes Benz do Brasil S.A., São Bernardo do Campo, São Paulo, 1992.

PROJECT MANAGEMENT INSTITUTE. *PMBOK - Project Management Body of Knowledge*., 2000.

ROSIGNOLI, Marco. *Launched Bridges: prestressed concrete bridges built on the ground and launched into their final position*. Reston: ASCE Press, 1998.

ROSIGNOLI, Marco. *Bridges Launching: Incremental Launching of Bridges*. 2002, 342 p. Disponível em: <[http:// books.google.com.br](http://books.google.com.br)>. Acesso em: 18 Jul. 2009.

ROTOLOONE, Peter. *Design and Construction Aspects of the Gateway Bridge Main Span Structure*. Executive Engineer Main Roads Department, Queensland, 1985.

ROTOLOONE, Peter. *Construction of the Gateway Bridge*. Transfield (Qld.), 1986.

SCHALK, Edson Gotts. *Produtividade do trabalhador brasileiro*. São Paulo: Fundação Emílio Odebrecht, 1982 apud ELIAS, Sérgio José Barbosa et al. *Planejamento do Layout de Canteiros de Obras: Aplicação do SLP (Systematic Layout Planning)*. 18 ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, Fortaleza, Ceará, 1998.

SCHWEGLER, Benedict R. et al. *Near-, Medium-, & Long-Term Benefits of Information Technology in Construction*. CIFE Working Paper #65. July, 2001. Disponível em: <<http://www.stanford.edu/group/CIFE/online.publications/WP065.pdf>>. Acesso em: 30 out. 2007.

SILVA, Pedro. Ligação rodoviária. *Téchne*, São Paulo, Ano 17, n. 126, p. 38-43, set. 2007.

SOUZA, Ana Lúcia Rocha de; MELHADO, Silvio Burratino. *O projeto para produção como ferramenta de gestão da qualidade: aplicação às lajes de concreto armado de edifícios*. Revista *Téchne*, São Paulo, Ano 7, n. 36, p. 53-56, set./out.1998.

SOUZA, Denilson Pereira de. *A operacionalização de um sistema de indicadores de qualidade e produtividade na construção civil: um estudo de caso na cidade do Rio de Janeiro*. 1996. 137 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal Fluminense. Niterói - RJ. 1996.

SOUZA, Paulo Vieira de. Desenvolvimento Viário. Revista *Téchne*, São Paulo, Ano 17, n. 126, p. 22-26, set. 2007.

SOUZA, Sérgio Marques de. *Pontes de Concreto Protendido Executadas por Empurramentos Sucessivos*. Anais do Seminário sobre Concreto Protendido, Associação Brasileira de Pontes e Estruturas, v. 1, p. 5-15, Rio de Janeiro, 1983.

STUCCHI, Fernando Rebouças. *Sobre o comportamento estrutural das pontes celulares*. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil. Departamento de Engenharia de Estruturas e Fundações. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. EPUSP, São Paulo: 1982. 165 p.

STUCCHI, Fernando Rebouças; MARTINS, Antônio Roberto. *Ações nas Estruturas de Concreto*. III Simpósio EPUSP sobre Estruturas de Concreto, p. 91-125, São Paulo, 1993.

STUCCHI, Fernando Rebouças; SKAF, José Kalil; BORGES, Luciano Afonso. *Processo executivo de lançamentos por incrementos e sua aplicação nas obras: passarela em Presidente Altino e viadutos V.05-03B e V.02-15 da Ferrovia do Aço*. In: Jornadas Sul-Americanas de Engenharia Estrutural, 21.,1981. Anais... 1981.

TÉCHNE. À prova de tufões. São Paulo, Ano 17, n. 146, p. 45, maio 2009.

TÚLIO, Luiz Eduardo; LINO, Flavio Rios Vieira. *Layout correto torna obra mais produtiva e segura*. Téchné, São Paulo, Ano 17, n.82, p.30-34, jan. 2004.

VASCONCELOS, Augusto Carlos de. *O Concreto no Brasil: Pré-fabricação - Monumentos – Fundações*, v. 3, São Paulo: Studio Nobel, 2002. 350 p.

WAINBERG, Marcelo. *O Método de Lançamentos Progressivos para a Execução de Pontes em Concreto Protendido*. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Departamento de Engenharia de Estruturas e Fundações. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. EPUSP, São Paulo: 2002. 92 p.

ANEXO A - Exemplo de planilha de simulação executada a partir das probabilidades de duração de fabricação e montagem da obra em estudo.

[illegible]

[illegible]

[illegible]

[illegible]

[illegible]

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	Entrada de aduelas no estoque										Processo de montagem de aduelas (entrada de estoque)										Estoque final de aduelas										BY	BZ	CA	CB	CC	CD	CE	CF	CG	CH	CI	CJ	CK	CL																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																										
																			A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9	A10	A11	A12	A13	A14	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9	A10	A11	A12	A13	A14																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																										
2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100	101	102	103	104	105	106	107	108	109	110	111	112	113	114	115	116	117	118	119	120	121	122	123	124	125	126	127	128	129	130	131	132	133	134	135	136	137	138	139	140	141	142	143	144	145	146	147	148	149	150	151	152	153	154	155	156	157	158	159	160	161	162	163	164	165	166	167	168	169	170	171	172	173	174	175	176	177	178	179	180	181	182	183	184	185	186	187	188	189	190	191	192	193	194	195	196	197	198	199	200	201	202	203	204	205	206	207	208	209	210	211	212	213	214	215	216	217	218	219	220	221	222	223	224	225	226	227	228	229	230	231	232	233	234	235	236	237	238	239	240	241	242	243	244	245	246	247	248	249	250	251	252	253	254	255	256	257	258	259	260	261	262	263	264	265	266	267	268	269	270	271	272	273	274	275	276	277	278	279	280	281	282	283	284	285	286	287	288	289	290	291	292	293	294	295	296	297	298	299	300	301	302	303	304	305	306	307	308	309	310	311	312	313	314	315	316	317	318	319	320	321	322	323	324	325	326	327	328	329	330	331	332	333	334	335	336	337	338	339	340	341	342	343	344	345	346	347	348	349	350	351	352	353	354	355	356	357	358	359	360	361	362	363	364	365	366	367	368	369	370	371	372	373	374	375	376	377	378	379	380	381	382	383	384	385	386	387	388	389	390	391	392	393	394	395	396	397	398	399	400	401	402	403	404	405	406	407	408	409	410	411	412	413	414	415	416	417	418	419	420	421	422	423	424	425	426	427	428	429	430	431	432	433	434	435	436	437	438	439	440	441	442	443	444	445	446	447	448	449	450	451	452	453	454	455	456	457	458	459	460	461	462	463	464	465	466	467	468	469	470	471	472	473	474	475	476	477	478	479	480	481	482	483	484	485	486	487	488	489	490	491	492	493	494	495	496	497	498	499	500	501	502	503	504	505	506

Probabilidades de fabricação e montagem (Planilha Tendencia_fab)

Prob. Acumulada	Probabilidade	Dias
0%	0%	3
5%	5%	4
20%	15%	5
45%	25%	6
70%	25%	7
95%	25%	8
100%	5%	0

Prob. Acumulada	Probabilidade	Dias
5%	5%	3
10%	5%	4
40%	30%	4
75%	35%	4
85%	10%	5
95%	10%	6
100%	5%	0

