

UNIVERSIDADE DE TRÁS-OS-MONTES E ALTO DOURO

**CIMBRES EM OBRAS DE ARTE DE GRANDES
DIMENSÕES**

**DISSERTAÇÃO DE MESTRADO EM ENGENHARIA
CIVIL**

FILIPE CLARO GONÇALVES



Vila Real, 2012

UNIVERSIDADE DE TRÁS-OS-MONTES E ALTO DOURO

**ESCOLA DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA (ECT), DEPARTAMENTO DE
ENGENHARIAS**

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO EM ENGENHARIA CIVIL

**CIMBRES EM OBRAS DE ARTE DE GRANDES
DIMENSÕES**

FILIPE CLARO GONÇALVES

Orientador

Professor Doutor Jorge Tiago Queirós da Silva Pinto

(Professor Auxiliar da UTAD)

Coorientador

Engenheiro Ilídio Manuel Miranda Faria

(Assistente Convidado da UTAD)

Vila Real, 2012

Dissertação apresentada na Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro para cumprimento dos requisitos à obtenção do grau de Mestre em Engenharia Civil, realizada sob a orientação científica do Professor Jorge Tiago Queirós da Silva Pinto e do Professor Ilídio Manuel Miranda Faria, da Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro.

AGRADECIMENTOS

À UTAD por permitir a elaboração deste trabalho.

Ao Professor Jorge Tiago Pinto, o meu muito obrigado pela forma como me apoiou e orientou na realização deste trabalho, pelas suas recomendações e cordialidade com que sempre me recebeu.

Ao Professor Ilídio Faria, pela sua colaboração pela forma como me apoiou e orientou na realização deste trabalho.

À Empresa Infratúnel por permitir o acesso aos locais de obra e pelas imagens cedidas para este trabalho de investigação. Em especial ao Engenheiro Carlos Matos, ao Engenheiro Filipe Paiva, ao Sr. Paulo Silva e ao Sr. Abel por todo o acompanhamento, disponibilidade e pelos esclarecimentos fornecidos.

A todos os meus amigos, pela força e acompanhamento nesta fase tão importante da minha vida.

À minha querida família por todo o apoio, compreensão e por tanto acreditar em mim.

À minha namorada pelo apoio demonstrado e por estar sempre presente nas fases importantes da minha vida.

RESUMO

As pontes têm desde sempre um papel preponderante no desenvolvimento das sociedades e das economias, tendo em conta as necessidades crescentes de mobilidade por parte de pessoas e de bens. Neste sentido, o presente trabalho de investigação contribui para um maior aprofundamento sobre os métodos utilizados na construção de pontes de betão armado e/ou pré-esforçado betonados “in situ”, segundo uma perspectiva mais prática da utilização dos mesmos.

Na fase inicial deste trabalho identificam-se e descrevem-se de forma teórica os diferentes métodos construtivos mais correntes de tabuleiros de pontes e as respectivas estruturas provisórias do tipo cimbres, nomeadamente o cimbra ao solo, o cimbra autolançável, o cimbra de avanços sucessivos e o cimbra relativo ao processo construtivo de deslocamentos sucessivos.

De seguida, aprofunda-se o estudo sobre os cimbres autolançáveis e sobre os cimbres de avanços sucessivos (carros de avanço), para a construção de pontes tramo-a-tramo e para a construção de pontes segundo o método de avanços sucessivos, respectivamente. Este estudo visa alcançar uma melhor compreensão sobre os cimbres e sobre os métodos utilizados na construção de tabuleiros de pontes, para posterior acompanhamento das diferentes fases construtivas em obra.

Por fim é efectuada uma descrição detalhada das diferentes fases construtivas dos tabuleiros de duas pontes correspondentes aos casos de estudo desta dissertação de mestrado. Uma das pontes é construída tramo-a-tramo com recurso a um cimbra autolançável superior, e a outra ponte é construída segundo o método dos avanços sucessivos e com recurso a carros de avanço. Este acompanhamento em obra da construção das pontes permitiu uma melhor compreensão do funcionamento dos cimbres, da sua interacção com a obra de arte e ao mesmo tempo das diferentes fases construtivas dos tabuleiros das pontes.

PALAVRAS-CHAVE: construção tramo-a-tramo, avanços sucessivos, cimbra autolançável, carros de avanço.

ABSTRACT

Falsework in Bridges of Big Dimensions

Bridges have had always a predominant role in the development of societies and economies, and taking into account the growing needs for mobility of people and goods. In this sense, this research work intends to contribute to a deeper understanding of the methods used in the construction of reinforced concrete bridges and/or prestressed concreted "in situ", according to a more practical usage point of view.

In the initial phase of this work, an identification and a description, in a theoretical manner, of the different construction methods of bridge decks and their falsework-type temporary structures, including full staging method, movable scaffolding method, free cantilever method and incremental launching method.

Afterwards, study of movable scaffolding system and free cantilever method (form traveller), for the construction of bridges span-by-span and to the building of bridges by the free cantilever method, is done. This study aims at better understanding both of the falsework or the methods used in the construction of bridge decks for subsequent monitoring of the different phases in constructive work.

Finally, a detailed description of the different phases of construction of two bridges decks used as study cases is also provided. One of the bridges is constructed span-by-span using an overhead movable scaffolding system and the other bridge is built according to the free cantilever method using successive form travellers. This follow-up work on the construction of the bridges provided a better understanding of the functioning of the falsework, its interaction with the bridge while the different phases of construction of bridges decks.

KEYWORDS: construction span-by-span, free cantilever method, movable scaffolding system, form traveler.

ÍNDICE GERAL

Agradecimentos	i
Resumo	iii
Abstract	v
Índice geral.....	vii
Índice de figuras	xiii
 CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO	 1
1 Introdução	3
1.1 Introdução e objectivos.....	3
1.2 Organização da dissertação	4
 CAPÍTULO 2 - PROCESSOS CONSTRUTIVOS ADOPTADOS NA CONSTRUÇÃO DE TABULEIROS DE PONTES.....	 7
2 Processos construtivos adoptados na construção de tabuleiros de pontes.....	9
2.1 Objectivos.....	9
2.2 Introdução	9
2.3 Cimbra ao Solo	10
2.3.1 Descrição geral	10
2.3.2 Estruturas do cimbra ao Solo.....	12
2.3.2.1 Tipo Contínuo.....	12
2.3.2.2 Tipo misto.....	13
2.3.2.2.1 Sistema “K-Lock”	13
2.3.2.2.2 Cimbres MK.....	14
2.3.2.3 Tipo Descontínuo	15
2.3.2.3.1 Prumo de alta resistência.....	15

2.4 Cimbres aéreos	17
2.4.1 Cimbre autolançável	17
2.4.1.1 Descrição geral	17
2.4.1.2 Cimbre autolançável superior	19
2.4.1.3 Cimbre autolançável inferior	19
2.4.2 Cimbre de avanços sucessivos.....	20
2.4.3 Cimbre relativo ao processo construtivo de deslocamentos sucessivos	22
2.5 Considerações Finais	26
CAPÍTULO 3 - CIMBRE AUTOLANÇÁVEL	29
3 Cimbre autolançável	31
3.1 Objectivos	31
3.2 Introdução	31
3.3 Aspectos construtivos	31
3.3.1 Montagem	31
3.3.2 Sistemas de apoio	32
3.3.3 Sistema OPS	34
3.3.4 O mercado dos cimbres autolançáveis.....	36
3.3.5 Considerações finais	39
CAPÍTULO 4 - CIMBRES RELATIVO AO MÉTODO DOS AVANÇOS SUCESSIVOS	41
4 Cimbres relativo ao método dos avanços sucessivos	43
4.1 Objectivos	43
4.2 Introdução	43
4.3 Acções instabilizadoras do tabuleiro	43
4.3.1 Construção da aduela zero e montagem dos carros de avanços	44
4.3.2 Acção do vento	47
4.3.3 Outros factores instabilizadores.....	48

4.4 Condições de apoio de um tabuleiro	49
4.4.1 Tabuleiro encastrado de forma permanente.....	49
4.4.2 Tabuleiro simplesmente apoiado – Aplicação de pré-esforço.....	49
4.4.3 Tabuleiro simplesmente apoiado - apoios provisórios	50
4.4.4 Pré-esforço.....	51
4.5 Considerações Finais	52
CAPÍTULO 5 - CASO DE ESTUDO 1- CIMBRE AUTOLANÇÁVEL.....	55
5 Caso de Estudo 1- cimbra autolanzável.....	57
5.1 Objectivos.....	57
5.2 Introdução.....	57
5.3 Breve descrição da ponte relativa ao Caso de Estudo 1	57
5.4 Descrição da solução construtiva adoptada	59
5.5 Descrição dos componentes do cimbra autolanzável superior	60
5.5.1 Viga principal	60
5.5.2 Apoio traseiro	63
5.5.3 Cofragens.....	64
5.5.4 Pórticos	65
5.5.5 Sistema de avanços.....	68
5.6 Montagem do cimbra autolanzável.....	70
5.6.1 Montagem da estrutura principal sobre os pórticos.....	71
5.6.2 Recuo do cimbra e continuação da montagem	72
5.6.3 Montagem das cofragens e betonagem do 1º vão.....	73
5.7 Ciclo de betonagem do cimbra autolanzável.....	74
5.7.1 Betonagem dos maciços provisórios	74
5.7.2 Transferência do pórtico para o pilar seguinte	75
5.7.3 Aplicação de pré-esforço	76

5.7.4 Transferência do sistema de avanço	78
5.7.5 Arriamento do cimbra autolanzável	79
5.7.6 Abertura das cofragens	79
5.7.7 Início da fase de avanço do cimbra	81
5.7.8 Outros trabalhos.....	86
5.7.9 Fecho das cofragens	87
5.7.10 Montagem das Armaduras do Tabuleiro	89
5.7.10.1 Traçado das bainhas de pré-esforço.....	91
5.7.11 Betonagem do Tabuleiro	94
5.8 Transferência do Cimbra de Tabuleiro	95
5.8.1 Último avanço no tabuleiro do extradorso	96
5.8.2 Desmontagem e montagem de elementos do cimbra	97
5.8.3 Ripagem do cimbra.....	98
5.8.4 Apoio do cimbra nos pórticos móveis	102
5.8.5 Preparação do cimbra para as fases de avanço	102
5.9 Fases críticas e inspecções.....	102
5.9.1 Pré-esforço.....	103
5.9.2 Fase de avanço.....	104
5.9.3 Fase de betonagem.....	105
5.9.4 Condições de Vento.....	106
5.9.5 Inspecções ao cimbra.....	107
5.10 Considerações finais	108
CAPÍTULO 6 - CASO DE ESTUDO 2 - CARRO DE AVANÇO	111
6 Caso de Estudo 2 - Carro de avanço.....	113
6.1 Objectivos.....	113
6.2 Introdução.....	113

6.3 Breve descrição da ponte do Caso de Estudo 2	113
6.4 Descrição do processo construtivo	115
6.5 Descrição dos componentes dos carros de avanço	115
6.5.1 Estrutura principal	115
6.5.1.1 Treliça principal.....	116
6.5.1.2 Viga dianteira	117
6.5.1.3 Vigas transversais	117
6.5.1.4 Treliça traseira	117
6.5.1.5 Contraventamento.....	118
6.5.1.6 “Cross-member”	119
6.5.2 Dispositivo de movimentação	120
6.5.2.1 Carril principal.....	121
6.5.2.2 “Bogie” dianteiro.....	121
6.5.2.3 “Bogie” traseiro	121
6.5.2.4 Garra puxa-empurra.....	121
6.5.2.5 Sistema de avanço	122
6.5.3 Cofragens.....	122
6.5.3.1 Plataforma de laje de fundo	122
6.5.3.2 Cofragem interna	124
6.5.3.3 Cofragem exterior.....	125
6.5.4 Plataformas de trabalho	125
6.5.4.1 Plataforma de trabalho superior.....	125
6.5.4.2 Plataforma de trabalho inferior.....	126
6.5.4.3 Plataforma de trabalho exterior	126
6.5.4.4 Plataforma de trabalho traseira.....	126
6.6 Montagem do carro de avanço	127

6.6.1 Estrutura principal e “cross-member”	128
6.6.2 Montagem das plataformas de cofragem.....	130
6.6.3 Betonagem da aduela 1	131
6.6.4 Separação dos carros de avanços.....	131
6.6.5 Apoio dos carros de avanços em carris principais independentes.....	133
6.7 Ciclo de betonagem	134
6.7.1 Período de cura de betão.....	134
6.7.2 Aplicação do pré-esforço.....	134
6.7.3 Avanço dos carris principais.....	137
6.7.4 Descofragem.....	138
6.7.5 Avanço dos carros de avanços.....	141
6.7.6 Bloqueio dos carros de avanços.....	143
6.7.7 Posicionamento da cofragem.....	144
6.7.8 Montagem das armaduras.....	146
6.7.9 Betonagem	148
6.8 Fases críticas e inspecções.....	149
6.8.1 Pré-esforço.....	149
6.8.2 Betonagem.....	150
6.8.3 Avanço da viga carril e dos carros de avanços.....	151
6.8.4 Desequilíbrio permitidos no tabuleiro	152
6.8.5 Acção do vento	152
6.8.6 Inspecções ao cimbra.....	153
6.9 Considerações finais.....	154
CAPÍTULO 7 - CONCLUSÕES.....	155
7 Conclusões.....	157
Bibliografia.....	159

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 – Apoio do cembre ao solo [3].....	10
Figura 2 – cembre ao solo contínuo [3]	11
Figura 3 – Diferentes zonas de junta de betonagem [4]	11
Figura 4 - cembre ao solo constituído por torres e vigas [3].....	12
Figura 5 - Sistema Pal e Superpal [5].....	13
Figura 6 – Sistema “K-Lock” [5]	14
Figura 7 – cimbres MK [5].....	15
Figura 8 - Prumos de alta capacidade e respectiva secção transversal [7]	16
Figura 9 – Exemplo de aplicação de cembre autolanzável e diagramas de momentos flectores ocorridos no tabuleiro durante o processo de betonagem do mesmo [4].....	18
Figura 10 - cembre autolanzável superior [9]	19
Figura 11 - Cembre autolanzável inferior [9].....	20
Figura 12 - Construção do tabuleiro de uma ponte com recurso a carros de avanço [adaptado de 4]	21
Figura 13 - Par de carros de avanço [9].....	21
Figura 14 - Exemplo da variação de altura da secção de um tabuleiro [10].....	22
Figura 15 – Evolução do diagrama de momentos flectores ao longo do processo de betonagem do tabuleiro de uma ponte e segundo o processo construtivo de avanços sucessivos [4].....	22
Figura 16 - Exemplo de um viaduto construído com recurso ao processo construtivo de deslocamentos sucessivos [11]	23
Figura 17 – Esquema de construção do tabuleiro de uma ponte com recurso ao processo construtivo de lançamento incremental ou deslocamentos sucessivos [4].....	24
Figura 18 – Evolução do diagrama de momentos flectores do diagrama de uma ponte ocorrido na técnica dos deslocamentos sucessivos [4].....	25
Figura 19 – “Nariz metálico” posicionado na zona frontal do tabuleiro de uma ponte [12]	26
Figura 20- Exemplo de um montante e respectivos “bogies”	33
Figura 21 - Exemplo de um cembre autolanzável inferior (adaptado de [9])	34

Figura 22 - Aplicação de pré-esforço à medida que a estrutura vai sendo solicitada [14]	35
Figura 23 - Descrição da localização dos principais componentes do sistema OPS (adaptado de [14]).....	36
Figura 24 - Primeira utilização de um cembre autolançável com sistema OPS [14].....	36
Figura 25 - Exemplos de cimbres autolançáveis da BERD (adaptado de [16])	37
Figura 26 - Exemplos de cimbres autolançáveis da STRUKTURAS (adaptado de [9])	38
Figura 27 - Exemplos de cimbres autolançáveis da ALPI SOUTH (adaptado de [17]).	39
Figura 28 – Exemplo de construção da aduela zero [6]	44
Figura 29 - Carros de avanço unidos e apoiadas na aduela zero [1]	45
Figura 30 – Prolongamento da aduela zero de auxílio à montagem dos carros de avanço [1]	46
Figura 31 - Carros de avanço separados e montados em simultâneo [1]	46
Figura 32 - Carros de avanço separados e montados individualmente [1].....	47
Figura 33- Acção do vento em pontes [adaptado de 1]	48
Figura 34 - Encastramento provisório [9]	49
Figura 35 – Encastramento provisório e pré-esforço descentrado [9].....	50
Figura 36 – Apoio provisório [9].....	51
Figura 37 – Recurso a dois apoios provisórios [9]	51
Figura 38 - Localização dos cabos de pré-esforço [9].....	52
Figura 39- Vista aérea do traçado da ponte do Caso de Estudo 1 (adaptado de [19])....	58
Figura 40 – Planta da ponte do Caso de Estudo 1	58
Figura 41 – Perfil longitudinal da ponte do Caso de Estudo 1	58
Figura 42 - Perfil transversal de um pilar e respectivos tabuleiros [20].....	59
Figura 43- Vista geral do cembre autolançável.....	60
Figura 44 - Vista transversal do cembre autolançável	62
Figura 45 - Nariz do cembre autolançável	62
Figura 46 - Apoio traseiro do cembre autolançável	63
Figura 47 - Esquema lateral do apoio traseiro fechado (esquerda) e aberto (direita)....	63
Figura 48 - Vista dos blocos de cofragens e respectivos pendurais mecânicos	65
Figura 49 - Vista inferior dos blocos de cofragens e respectivos blocos de betão	65
Figura 50 - Pórticos do cembre autolançável e seus constituintes	67
Figura 51 - Pórtico móvel.....	67
Figura 52 - Pórtico de pilar.....	68

Figura 53 - Esquema do sistema de avanço.....	68
Figura 54- Vista em planta do sistema de movimentação e a sua posição relativamente ao pórtico	69
Figura 55 - Plataforma do sistema de avanço para acesso a trabalhadores	70
Figura 56 - Montagem do cembre autolanzável sobre um dos encontros.....	71
Figura 57 - Esquema da fase inicial de montagem da viga principal do cembre autolanzável.....	72
Figura 58 - Sequência de montagem da viga principal do cembre autolanzável	73
Figura 59 - Construção do 1º tramo com recurso a cembre ao solo.....	74
Figura 60 - Construção dos maciços de betão no tabuleiro	75
Figura 61 - Exemplo de maciços de betão ao longo do tabuleiro.....	75
Figura 62 - Nariz aberto e montagem do pórtico de pilar	76
Figura 63 - Ancoragens de pré-esforço localizadas na junta de betonagem [21].....	77
Figura 64 - Tensionamento dos cabos de pré-esforço	77
Figura 65 – Posicionamento do sistema de movimentação para o início do próximo avanço	78
Figura 66 - Sequência de abertura das cofragens	80
Figura 67 - Cofragem aberta e totalmente recolhida na proximidade do capitel	81
Figura 68 – Transferência do pórtico móvel; maciços para pórtico móvel (vermelho) e apoio traseiro (branco).....	82
Figura 69 - Vista lateral da sequência de posicionamento do pórtico móvel (vermelho) e do apoio traseiro (branco).....	82
Figura 70 - Sequência de início da fase de avanço do cembre autolanzável	84
Figura 71 - Esquema dos apoios para o pórtico móvel, pórtico de pilar e apoio traseiro ao longo de um tramo	85
Figura 72 - Sequência final da fase de avanço do cembre autolanzável	86
Figura 73 - Sequência de fecho das cofragens (adaptado de [20]).....	87
Figura 74 - Fecho dos blocos de cofragem de forma sequencial.....	87
Figura 75 - Fecho das cofragens; união das cofragens consecutivas (zona central); instalação dos “dywidags” e dos respectivos negativos	88
Figura 76 - Tensores acoplados nos respectivos pendurais (direita)	89
Figura 77 - Montagem das bainhas de pré-esforço dentro das vigas longarinas	90
Figura 78 - Montagem dos cabos de pré-esforço das ancoragens de continuidade (ancoragens passivas)	90

Figura 79 - Vista geral do tabuleiro na fase final da montagem das armaduras.....	91
Figura 80 - Corte longitudinal (em cima) e planta (em baixo) do traçado dos cabos de pré-esforço no pilar N.....	92
Figura 81 - Corte longitudinal (em cima) e planta (em baixo) do traçado dos cabos de pré-esforço entre a junta de betonagem e o pilar N+1.....	93
Figura 82 - Corte longitudinal e planta do traçado dos cabos de pré-esforço na zona do pilar N+1.....	93
Figura 83 - Cortes transversais relativos às ancoragens e aos cabos de pré-esforço.....	94
Figura 84 - Betonagem e vibração do betão.....	94
Figura 85 - Fase de betonagem; uso de régua vibratória para sarrafar o betão; aplicação de membrana protectora do betão.....	95
Figura 86 - Desmontagem sequencial das cofragens [21].....	96
Figura 87 - Troca de posição do nariz e do apoio traseiro.....	97
Figura 88 - Esquema relativo aos apoios utilizados para a ripagem do cembre autolanzável.....	98
Figura 89 - Corte transversal da viga de ripagem, pilares e “bogies”.....	99
Figura 90 - Corte longitudinal da fase final de avanço e da fase inicial ripagem.....	99
Figura 91 - Sequência do processo de transferência do cembre autolanzável (vista em planta).....	100
Figura 92 - Rodas do apoio traseiro a deslizar na viga transversal (esquerda); deslizamento dos “bogies” na viga de ripagem (direita).....	101
Figura 93 - Cilindros hidráulicos e ripagem do cembre autolanzável.....	101
Figura 94 - Vista geral do cembre autolanzável durante a fase de ripagem.....	101
Figura 95- Bloqueio do cembre em cima de chapas metálicas.....	105
Figura 96 - 1 - Sensor anemómetro; 2 - Dispositivo calculador com visor; 3 - Kit sinalizador exterior (adaptado de [21]).....	107
Figura 97 - Chave dinamométrica [20].....	108
Figura 98 - Planta do viaduto.....	114
Figura 99 - Perfil transversal do tabuleiro; Variação da geometria do tabuleiro.....	114
Figura 100 - Perfil longitudinal do viaduto [20].....	114
Figura 101 – Esquema geral do método construtivo utilizado [20].....	115
Figura 102 - Descrição dos elementos da estrutura principal de um carro de avanço .	116
Figura 103 - Vista geral da estrutura principal de um carro de avanço (Caso de Estudo 2).....	116

Figura 104 - Vista de dois tipos de viga dianteira e das vigas transversais.....	117
Figura 105 - Vista da treliça traseira de um carro de avanço (Caso de Estudo 2).....	118
Figura 106 - Esquema dos contraventamentos	118
Figura 107 - Esquema do “cross-member” (cor de rosa)	119
Figura 108 - Vista do “cross-member” de ligação de carros de avanço (Caso de Estudo 2).....	119
Figura 109 - Esquema do dispositivo de movimentação e seus elementos	120
Figura 110 - Vista do dispositivo de movimentação e seus elementos de um carro de avanço (Caso de Estudo 2)	120
Figura 111 - Vista do sistema de avanço	122
Figura 112 - Esquema da posição das cofragens	123
Figura 113 - Vista geral das cofragens	124
Figura 114 - Vista da cofragem interna e seus apoios (vista do interior do abuleiro)..	124
Figura 115 - Vista geral das plataformas de acesso (Caso de Estudo 2)	125
Figura 116 - Esquema das plataformas de acesso; vista lateral (em cima) e vista frontal (em baixo).....	127
Figura 117 - Sequência de montagem da estrutura principal dos carros de avanço com “cross-member”	129
Figura 118 - Montagem das plataformas de cofragem (adaptado de [20])	131
Figura 119 - Montagem dos “bogies” dianteiros auxiliares e contraventamentos; Vista lateral (em cima) e vista frontal (em baixo)	132
Figura 120 - Esquema dos carros separados (adaptado de [20]).....	133
Figura 121 - Esquema dos carros separados e apoiados em carris independentes	134
Figura 122 - Esquema do traçado dos cabos de pré-esforço e respectivas juntas de betonagem da primeira aduela (em cima) e da segunda aduela (em baixo)	135
Figura 123 - Vista da junta de betonagem da primeira aduela e respectivas ancoragens e bainhas de pré-esforço	136
Figura 124 - Vista da junta de betonagem da aduela anterior à de fecho e respectivas ancoragens e bainhas de pré-esforço	136
Figura 125 - Esquema do traçado longitudinal dos cabos de pré-esforço	136
Figura 126 - Vista das extremidades das bainhas de pré-esforço na laje inferior do tabuleiro	137
Figura 127 - Carril principal amarrado após o avanço do mesmo (Caso de Estudo 2)	138

Figura 128 - Fecho do macaco principal e consequente apoio das rodas do “bogie” dianteiro no carril principal	139
Figura 129 - Abertura do cilindro da garra puxa-empurra e apoio das rodas do “bogie” traseiro nos banzos do carril principal	140
Figura 130 - Vista da suspensão das cofragens através de varões roscados à estrutura principal.....	141
Figura 131 - Fase de avanço do conjunto (Caso de Estudo 2)	142
Figura 132 - Vista dos roletes para apoio da cofragem interna (Caso de Estudo 2)	143
Figura 133 - Abertura do cilindro hidráulico principal e afastamento das rodas do “bogie” dianteiro dos carris principais	144
Figura 134 - Vista da viga de amarração do bogie traseiro e respectivos varões roscados	144
Figura 135 - Exemplo do tensionamento de varões roscados através do accionamento de cilindros de haste oca.....	146
Figura 136 - Montagem das armaduras ordinárias na laje inferior do tabuleiro (Caso de Estudo 2).....	146
Figura 137 - Vista da cofragem interna das almas do tabuleiro (Caso de Estudo 2)....	147
Figura 138 - Vista da armadura da laje superior, e das bainhas de pré-esforço e dos negativos.....	147
Figura 139 - Laje inferior betonada (Caso de Estudo 2)	148
Figura 140 - Betonagem da laje superior e uso de vibradores (Caso de Estudo 2).....	149

CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO

1 Introdução

1.1 Introdução e objectivos

Desde os primórdios que o Homem tem a necessidade de ultrapassar obstáculos no seu meio ambiente por questões de sobrevivência. Neste sentido, as primeiras pontes terão surgido com o uso de troncos de árvores que serviam para transpor obstáculos de natureza geomorfológica, como por exemplo, os rios.

Baseando-se na necessidade de constante evolução, o Homem, foi utilizando a madeira e a pedra para ir evoluindo a construção de pontes. Salientam-se as pontes em arco de pedra construídas desde o tempo dos romanos até ao século XIX, que pela sua durabilidade foram resistindo ao decorrer dos tempos e algumas delas ainda existem. No século XIX, durante a revolução industrial o ferro (e mais tarde o aço) tornou-se um material preeminente na construção de pontes. Factores como a economia, o tempo de construção e a capacidade de resistência foram preponderantes para a evolução das mesmas, salientando-se as pontes ferroviárias. As desvantagens das pontes metálicas, tais como, os elevados custos de manutenção, levaram ao desenvolvimento de pontes de betão armado, a partir do final do século XIX [1].

A utilização de betão armado na construção de pontes originou problemas estruturais significativos relacionados com a fissuração e a grande deformabilidade. Após a compreensão e resolução desses fenómenos, a partir do início do século XX, foi possível a construção de impressionantes pontes de betão armado. Desde então, a mais acentuada evolução na construção de pontes foi a adopção de aço pré-esforçado de forma a melhorar o comportamento estrutural. A adopção de pré-esforço permitiu o aumento do comprimento dos vãos e a utilização de peças mais esbeltas [1].

Na década de 50, a utilização do método de construção sucessiva de aduelas em equilíbrio com os pilares e a utilização de pré-esforço permitiu a construção de pontes com vãos cada vez maiores. Na década de 60, registaram-se imensas evoluções na construção de pontes que tornaram as pontes economicamente mais viáveis. Os principais progressos foram a adopção de inovações tecnológicas relativas aos escoramentos e as cofragens utilizados e de peças pré-fabricadas para os tabuleiros. Desta forma, começou-se a construir pontes mais extensas com recurso a cimbra autolanzável (betonagem “in situ”) e vigas de lançamento (aduelas pré-fabricadas) e

pontes com vãos maiores com recurso a mastros e a tirantes. A evolução de pontes com aduelas pré-fabricadas só foi possível com a optimização das juntas entre as peças pré-fabricadas, também utilizadas no método de construção de aduelas sucessivas. Nas últimas décadas estes métodos construtivos de pontes foram mantidos, embora se tenham registado aperfeiçoamentos estruturais relativos às superestruturas e aos mecanismos de escoramentos e cofragens. Salienta-se apenas a conclusão da primeira ponte construída com recurso ao método do lançamento incremental no ano de 1994, método este que não é frequentemente utilizado nos dias que correm [1].

Neste sentido, pretende-se com a elaboração deste trabalho de investigação, estudar os diferentes métodos de construção de tabuleiros de pontes betonadas "in situ". Para isso, pretende-se fazer um acompanhamento em obra e o desenvolvimento de dois casos de estudo de construção de pontes com recurso a cimbra autolanzável e cimbra relativo ao método dos avanços sucessivos.

Neste contexto os objectivos definidos neste trabalho de investigação são os seguintes:

- Efectuar uma revisão sobre os diferentes processos construtivos utilizados na construção de viadutos e de pontes com betonagem "in situ";
- Estudar algumas especificidades técnicas relativas aos diferentes tipos de cimbra autolanzável e de cimbra relativo ao método dos avanços sucessivos;
- Descrever de forma detalhada o funcionamento de um cimbra autolanzável superior e de um cimbra aéreo do tipo carro de avanços;

1.2 Organização da dissertação

Este trabalho encontra-se estruturado em sete capítulos. No presente capítulo é feita a introdução do trabalho, indicando-se os objectivos do mesmo e apresentando-se a organização da dissertação.

No Capítulo 2 foi efectuada uma revisão bibliográfica sobre os diferentes processos construtivos de tabuleiros de pontes betonados "in situ".

No Capítulo 3 aprofundou-se o estudo dos cimbres autolançáveis e da respectiva construção tramo-a-tramo, no qual se estudaram algumas especificidades técnicas e tecnológicas utilizadas.

No Capítulo 4 aprofundou-se o estudo sobre o processo construtivo de avanços sucessivos e sobre aspectos estruturais a ter em conta durante a fase construtiva.

No Capítulo 5 é apresentado o Caso de Estudo 1, que consiste no acompanhamento em obra das diferentes fases construtivas de uma ponte com recurso a um cembre autolançável superior.

No Capítulo 6 é apresentado o Caso de Estudo 2, que consiste no acompanhamento em obra das diferentes fases construtivas de uma ponte por avanços sucessivos com recurso a pares de carros de avanço.

Por fim, no último capítulo, Capítulo 7, são apresentadas as principais conclusões resultantes deste trabalho.

CAPÍTULO 2 - PROCESSOS CONSTRUTIVOS ADOPTADOS NA CONSTRUÇÃO DE TABULEIROS DE PONTES

2 Processos construtivos adoptados na construção de tabuleiros de pontes

2.1 Objectivos

Os objectivos principais deste capítulo são:

- Efectuar uma revisão sobre os diferentes processos construtivos utilizados na construção de viadutos e de pontes com betonagem “in situ”;
- Apresentar e descrever, resumidamente algumas das soluções de estruturas provisórias aplicadas na construção deste tipo de obras de arte.

2.2 Introdução

Os cimbres são estruturas provisórias que têm como principal objectivo suportar essencialmente o peso próprio de uma estrutura enquanto esta não adquirir a capacidade resistente para se autosuportar. Geralmente aplicam-se cimbres quando decorre betonagem em obra e quando se tratam de obras de grande porte e com vãos livres de grandes dimensões.

No contexto das pontes e especificamente no processo de construção de tabuleiros de betão armada e pré-esforçado, betonado “in situ” é possível adoptar uma grande multiplicidade de soluções variantes de cimbres. Essas soluções podem ser mais artesanais ou altamente industrializadas. Na generalidade, essas soluções de cimbras são caracterizadas pela presença de dois elementos base e que são a cofragem, que serve de molde para o betão e pelo cimbra, que suporta a cofragem e o peso próprio da estrutura do tabuleiro.

Os cimbres podem ser subdivididos em dois tipos principais. Existe o tipo de cimbra que permite a transmissão da sua carga actuante ao solo (cimbra ao solo) e por isso, está condicionada pelo mesmo e existe o tipo de cimbra que se apoia em elementos estruturais da ponte (cimbra aéreo) (os pilares, por exemplo) deixando a respetiva área de solo livre de obstáculos. Este tipo de cimbra também é mais adoptado quando a cota do tabuleiro é muito elevada. Três métodos construtivos frequentemente utilizados na construção dos cimbres aéreos (dos tabuleiros) são o método dos avanços sucessivos, o método do cimbra autolançável e o método dos deslocamentos sucessivos [2] e [3].

2.3 Cimbre ao Solo

2.3.1 Descrição geral

O cimbre ao solo é geralmente uma estrutura metálica provisória sobre a qual se apoia a estrutura de cofragem. A estrutura metálica pode ser constituída por torres pal, colunas ou tubos metálicos. Os elementos metálicos devem estar contraventados (ligados entre si, em altura, por exemplo) para impedirem a ocorrência de encurvadura por flexão. Esta estrutura apoia-se no solo através de lintéis de betão, peças de madeira ou de aço e de forma a ser possível distribuir as cargas actuantes correspondentes para o solo e evitar deste modo a ocorrência de assentamentos (Figura 1).



Figura 1 – Apoio do cimbre ao solo [3]

Este tipo de cimbre utiliza-se principalmente em viadutos de pequena dimensão quer em altura quer em comprimento longitudinal, apesar de também poder ser utilizado de forma vantajosa em viadutos mais extensos. Este tipo de estruturas são normalmente usadas até alturas de cerca de 15 m apesar de ser possível tirar partido destas até cerca de 40 m. Em viadutos com uma extensão longitudinal reduzida é possível optar por utilizar uma estrutura contínua, permitindo deste modo que o tabuleiro possa ser betonado de uma só vez, (Figura 2) [2] e [4].



Figura 2 – cimbra ao solo contínuo [3]

Em viadutos muito extensos é necessário proceder-se a uma betonagem tramo a tramo. A betonagem tramo a tramo consiste em se betonar o tabuleiro de um viaduto em várias fases e até cerca de $1/5$ do vão seguinte. Uma boa prática construtiva consiste em tratar que a junta de betonagem ocorra numa zona de momentos flectores nulos (Figura 3).

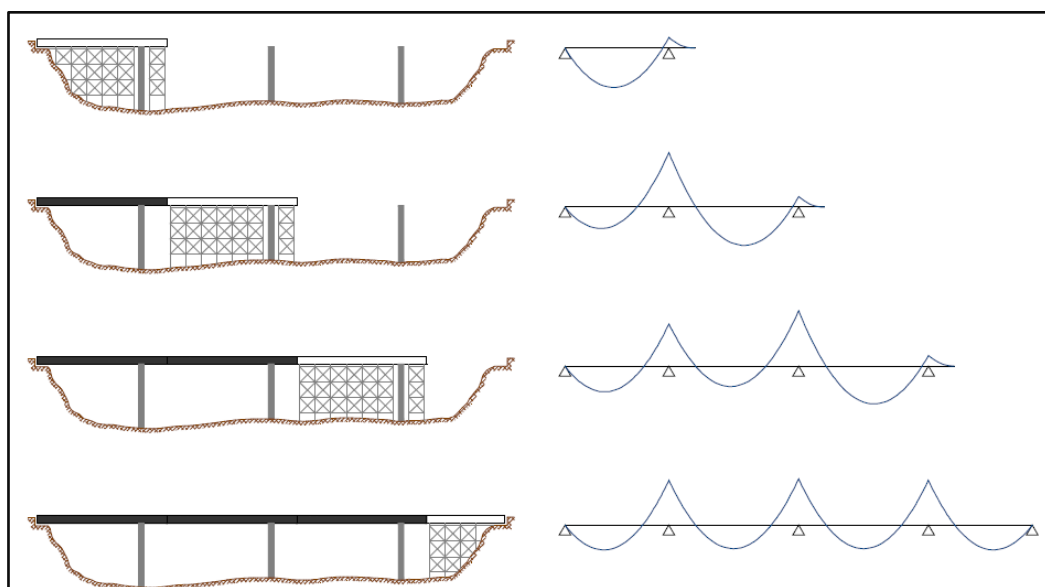


Figura 3 – Diferentes zonas de junta de betonagem [4]

Nos viadutos em que não seja possível a ocupação do solo na zona inferior do tabuleiro para a betonagem do mesmo pode ser adoptada outra solução com recurso ao cimbra ao solo. As estrutura passa a ser constituída por torres e vigas. O uso das vigas permite descarregar as cargas da cofragem e do betão para as torres, ficando assim o solo livre na zona das vigas para permitir por exemplo o tráfego rodoviário (Figura 4) [4].

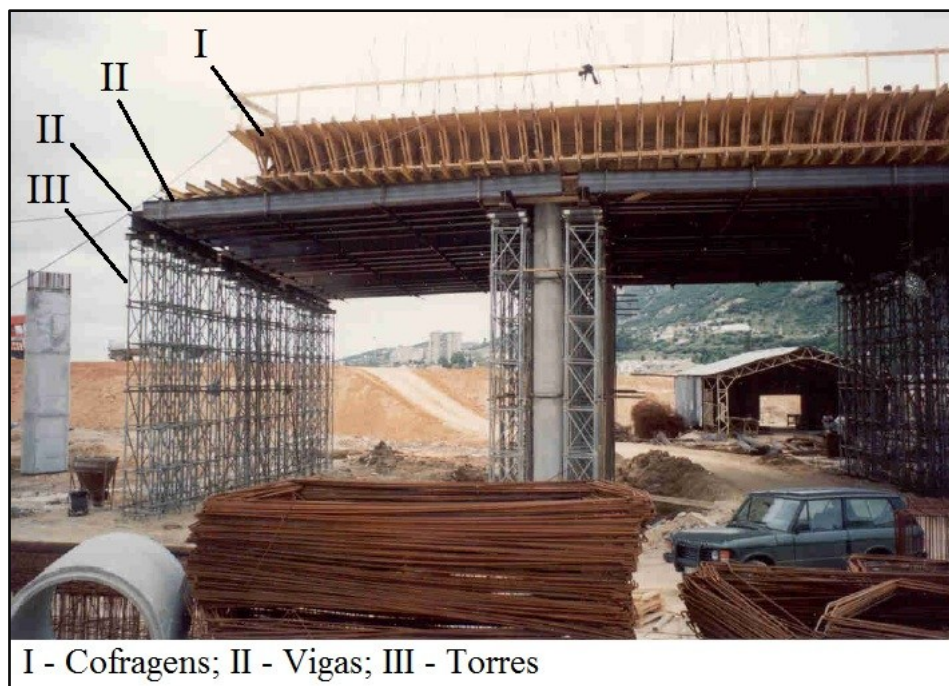


Figura 4 - cimbra ao solo constituído por torres e vigas [3]

2.3.2 Estruturas do cimbra ao Solo

Em relação ao tipo de estruturas correntemente utilizadas na construção de um cimbra ao solo pode-se destacar as estruturas que funcionam de forma contínua apoiados no solo, de forma descontínua e mista. As estruturas que funcionam de forma descontínua permitem mais liberdade de utilização e são adequadas quando há necessidade de deixar o solo livre na zona inferior do tabuleiro. Além deste factor de distinção, este tipo de escoras são escolhidas em função das características do terreno, das cargas que vão ser sujeitas e da geometria do tabuleiro e cofragens

2.3.2.1 Tipo Contínuo

Estes tipos de estruturas são conhecidos por sistemas “Pal e Superpal”. São utilizadas de forma contínua, são de montagem fácil e rápida porque são compostas de elementos modulares (quadros) e por apresentarem um reduzido número de peças, [5] e [6]. Também podem ser adicionadas plataformas e escadas de acesso. São de fácil transporte. A Figura 5 ilustra de forma esquemática este tipo de elementos construtivos.

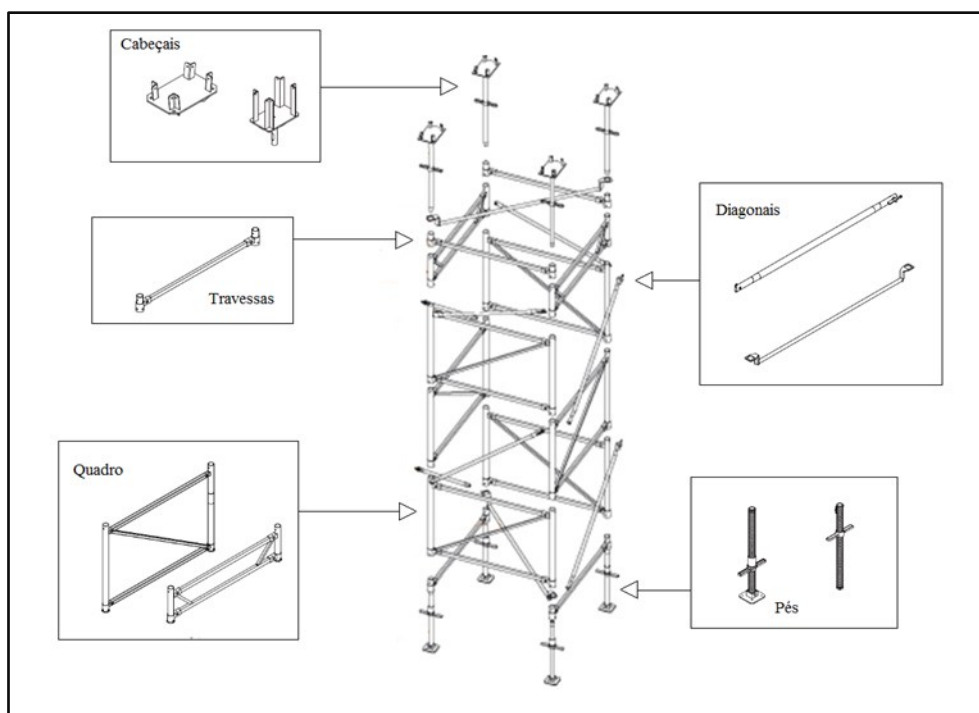


Figura 5 - Sistema Pal e Superpal [5]

2.3.2.2 Tipo misto

Em relação às estruturas do tipo misto que podem ser montadas de forma contínua ou de forma descontínua em termos de apoio ao solo, existem essencialmente dois tipos de estruturas e que são as estruturas que usam o sistema “k-lock” e as estruturas que recorrem a torres.

2.3.2.2.1 Sistema “K-Lock”

O sistema “L-Lock” permite uma montagem rápida e simples pelo facto de possuir um número reduzido de elementos. Pode ser montado tanto de forma conjugada ou em torres individuais. A grande particularidade deste tipo de estrutura é o elemento de união usado para fixar as diferentes peças nos nós, (Figura 6), [5] e [6].

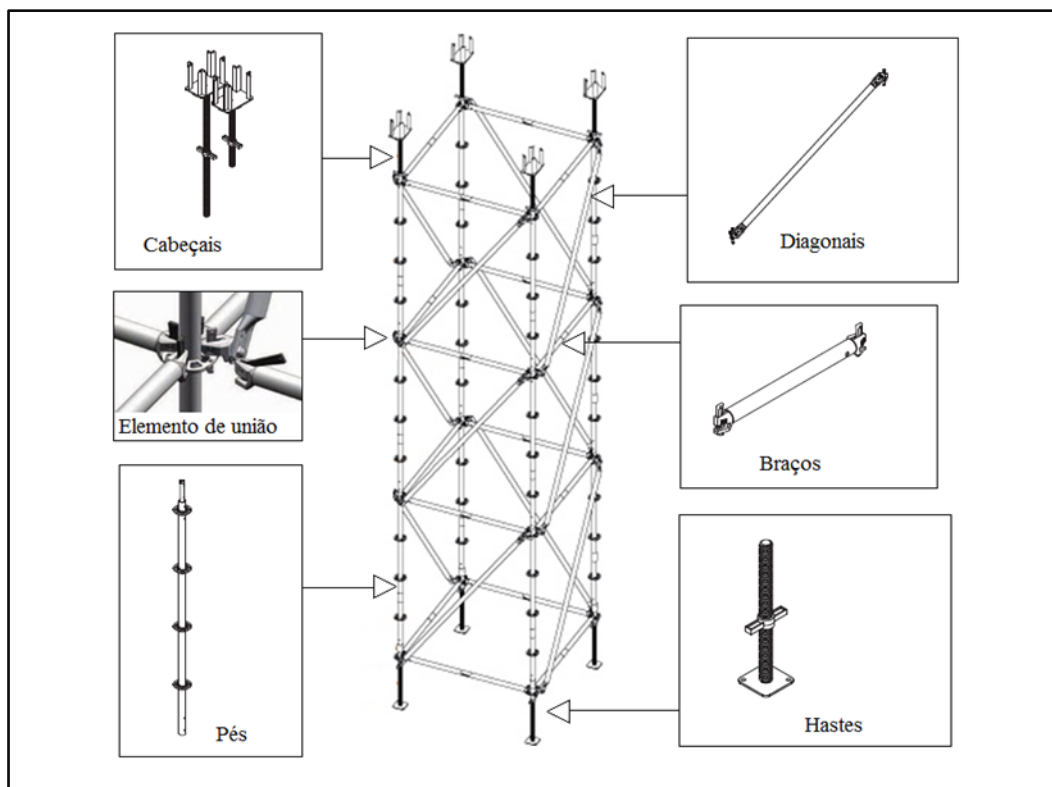


Figura 6 – Sistema “K-Lock” [5]

2.3.2.2.2 Cimbres MK

O cembre do tipo “MK” é ligeiramente diferente dos anteriores no sentido que permite uma grande diversidade de montagens. Apesar de possuir também um reduzido número de elementos, tem a possibilidade de permitir diferentes configurações de escoramentos, com torres contínuas ou individuais. Paralelamente, também permite vencer desníveis do solo de fundação devido às suas hastes independentes. Permite também a aplicação de sistemas atirantados para otimizar as soluções estruturais, para além de também permitir a montagem de plataformas de trabalho e de escadas de acesso ao longo de toda a estrutura de torres. Este tipo de escoramento destaca-se pelo seu grau de sofisticação e pelo leque alargado de reforços estruturais para diferentes situações de obra, (Figura 7), [5] e [6].

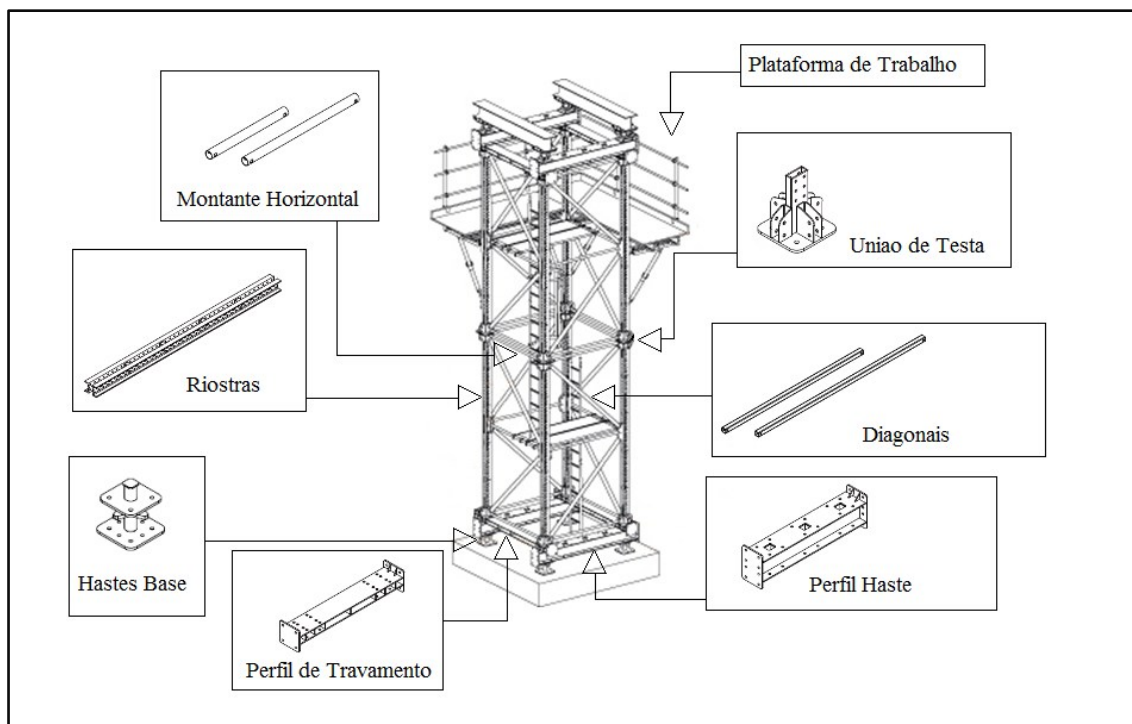


Figura 7 – cimbres MK [5]

2.3.2.3 Tipo Descontínuo

2.3.2.3.1 Prumo de alta resistência

Este tipo de elemento construtivo de cimbra tem a particularidade de possuir uma grande capacidade de carga. Os prumos de alta capacidade apresentam um perfil triangular de estrutura tubular, (Figura 8). Também neste caso, os prumos de alta capacidade são contraventados e de forma a garantir a estabilidade do conjunto. Atendendo a que este tipo de estrutura está sujeita normalmente a grandes cargas torna-se necessário haver um cuidado adicional construtivo no sentido de haver uma redução da tensão de compressão a transmitir no solo de fundação. Para efeito, a construção de lintéis de betão é uma solução corrente e importante para permitir distribuir a carga ao solo. Esta solução permite a obtenção de um cimbra composto por menos elementos e capaz de permitir um grande espaço livre subjacente ao elemento estrutural a betonar [7].

A Figura 8 mostra a secção transversal a secção transversal de um prumo de alta resistência e onde é possível observar que esta é uma estrutura composta. Por sua vez, também na Figura 8 é possível observar um caso de construção de um cimbra constituído por este tipo de prumos. Neste caso, os prumos estão apoiados sobre uma

viga metálica assim como servem de apoio a uma viga similar. Estas vigas são reforçadas ao nível da alma. Também é visível os acessórios de base e de topo específicos deste tipo de prumos. Neste exemplo de obra é possível observar que os prumos foram contraventados a meio vão através da aplicação de tirantes em perfis tubulares que foram posicionados horizontalmente. Simultaneamente, nos extremos, também existe um sistema de contraventamento disposto de forma inclinada. Neste caso particular, não se optou por construir um lintel de fundação de apoio ao cimbra mas sim pela construção de pequenas “sapatas” posicionadas no alinhamento de cada prumo. Este exemplo de obra permite também constatar que o cimbra foi construído à base de prumos de alta resistência pode ser mais esparso em termos de elementos construtivos. Contudo, cada obra tem as suas especificidades e, por isso não é prudente propor soluções tipo a adoptar. Todos os cimbres devem ser projectados de acordo com as especificidades de cada obra. Essas especificidades podem ser condicionantes de obra (vão livre ou não, tempos de presa), condicionantes do Empreiteiro (equipamento disponível), tipo de solo de fundação, entre muitas outras.

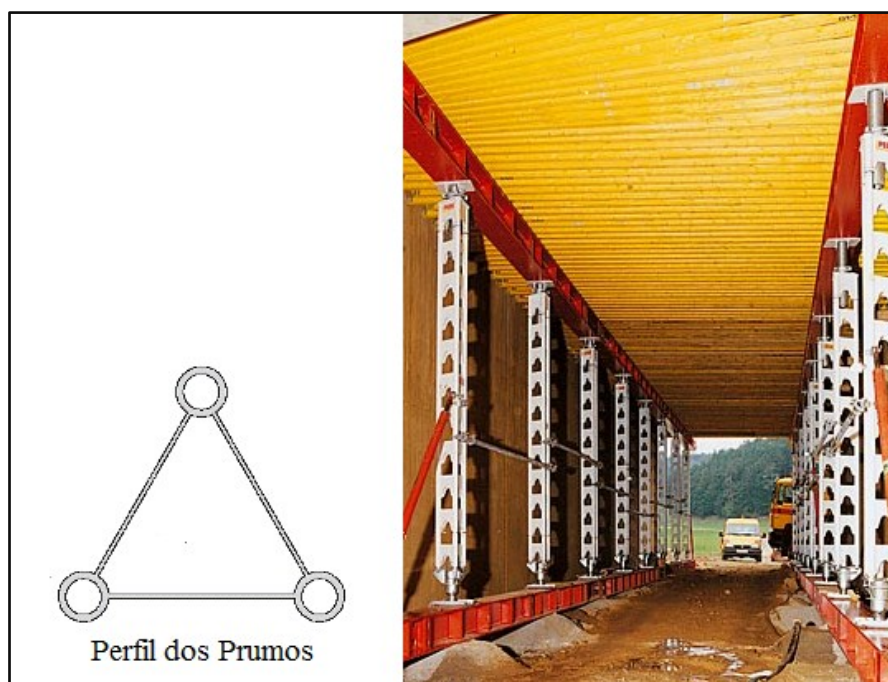


Figura 8 - Prumos de alta capacidade e respectiva secção transversal [7]

2.4 Cimbres aéreos

A construção de obras de arte do tipo pontes e, em particular, a construção dos seus tabuleiros requerem o recurso a estruturas provisórias específicas e face às condicionantes de obra específicas. O facto da cota do tabuleiro das pontes ser geralmente muito superior em relação à cota do solo implica o recurso a cimbres aéreos em detrimento de cimbres ao solo. Os cimbres aéreos apoiam-se na própria estrutura da ponte e o seu funcionamento estrutural diferencia-se do funcionamento estrutural dos cimbres ao solo. Os cimbres aéreos funcionam como estruturas provisórias horizontais enquanto os cimbres ao solo funcionam como estruturas provisórias verticais [2].

Dos cimbres aéreos há a destacar os seguintes tipos, cembre autolançável, cembre de avanços sucessivos e cembre de deslocamentos sucessivo.

2.4.1 Cembre autolançável

2.4.1.1 Descrição geral

O cembre autolançável é um tipo de cembre que foi desenvolvido para a construção de pontes extensas, com múltiplos vãos equidistantes e sem restrições em termos de tipo de solo ou da cota de implantação do tabuleiro. Este tipo de cembre aéreo pode ser diferenciado em cembre autolançável superior e cembre autolançável inferior.

O processo construtivo relativo à aplicação do cembre autolançável consiste em betonar o tabuleiro tramo-a-tramo, de forma cíclica, com recurso a uma estrutura metálica (o cembre). Tal como no caso dos cimbres ao solo também o cembre tem como função estrutural principal resistir a acções relativas ao peso próprio do tabuleiro, ao peso próprio do sistema de cofragem, ao seu peso próprio e a sobrecargas relativas a equipamentos e pessoas.

De forma simplificada, o cembre autolançável é constituído pela estrutura principal, pelo sistema de avanço e pelo sistema de cofragem.

O cembre autolançável apoia-se e movimenta-se ao longo da parte do tabuleiro já betonado ou dos pilares, e está equipado com um sistema de avanço. O sistema de avanço corresponde ao mecanismo que permite que a estrutura principal do cembre aéreo se movimente e que permita a betonagem sucessiva e progressiva do tabuleiro de uma ponte. Por sua vez, o sistema de cofragem apoia-se na estrutura metálica principal

do cembre autolançável e, geralmente é metálica e dotada de dispositivos de abertura e fecho. Deste modo, a cofragem também pode ser reutilizada sucessivamente e ao longo de todo o processo de betonagem do tabuleiro de uma ponte. A betonagem do tabuleiro decorre sucessivamente e tramo-a-tramo. A betonagem de um tramo de tabuleiro tem a particularidade de ser processada até $1/5$ do vão seguinte e ficando, por isso, a junta de betonagem do tabuleiro numa zona menos solicitada. À semelhança da Figura 3, também se apresenta na Figura 9 um esquema do processo de betonagem do tabuleiro de uma ponte com recurso a cimbres aéreos do tipo autolançável. Tal como é possível observar na Figura 9, as juntas de betonagem ocorrem sucessivamente nos pontos do diagrama de momentos flectores em que os momentos flectores são nulos. O tabuleiro da ponte pode ser visto como sendo uma viga contínua de diversos tramos. Enquanto que a betonagem do tabuleiro da ponte decorre, o momento flector máximo positivo resultante da acção relativa do peso próprio da estrutura, ocorre no último tramo betonado. À medida que a betonagem decorre, os valores dos momentos flectores tendem a uniformizar-se ao longo do tabuleiro e tal como é expectável suceder numa viga contínua sujeita a uma carga uniformemente distribuída. A Figura 9 também permite perceber esquematicamente e simplificadaamente, como a estrutura principal do cembre autolançável se apoia em dois pilares da ponte consecutivos. É também possível verificar que esta estrutura principal pode ser uma viga metálica treliçada e com dois tramos em consola.

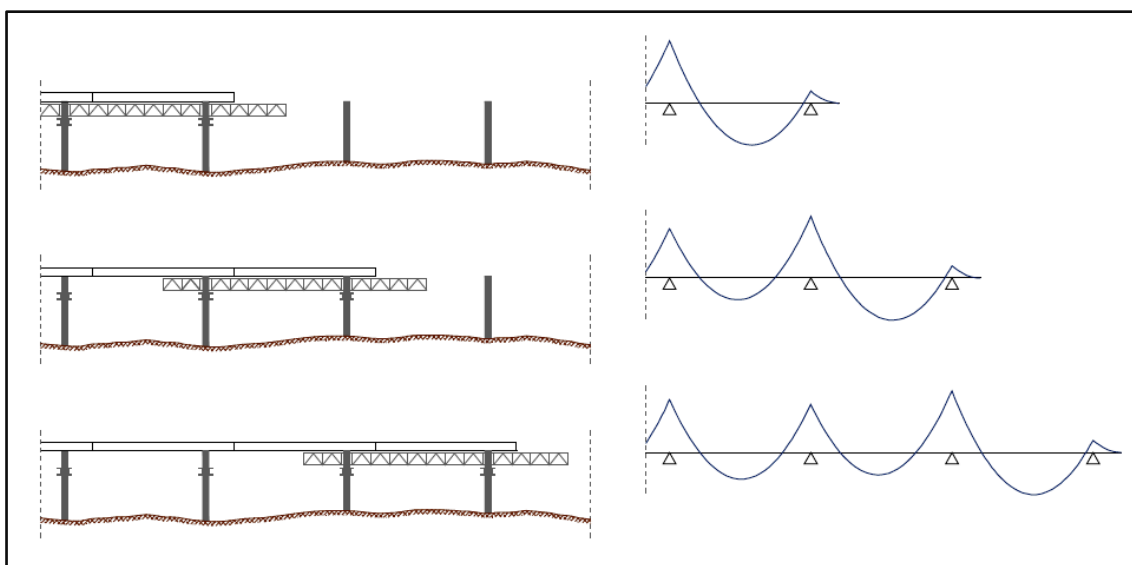


Figura 9 – Exemplo de aplicação de cembre autolançável e diagramas de momentos flectores ocorridos no tabuleiro durante o processo de betonagem do mesmo [4]

2.4.1.2 Cembre autolançável superior

Os cimbres autolançáveis superiores são caracterizados pelo facto da sua estrutura principal se encontrar posicionada superiormente à estrutura do tabuleiro da ponte a betonar. Neste caso, o sistema de cofragem encontra-se suspenso na estrutura principal. Por sua vez, o cembre autolançável superior apoia-se no último tramo que já foi betonado e no pilar seguinte [8]. A Figura 10 pretende ilustrar este tipo de cembre aéreo a ser aplicada num processo de betonagem do tabuleiro de uma ponte.



Figura 10 - cembre autolançável superior [9]

2.4.1.3 Cembre autolançável inferior

Contrariamente ao cembre autolançável superior, o cembre autolançável inferior é caracterizado pelo facto da sua estrutura principal se encontrar posicionado inferiormente ao tabuleiro de uma ponte. O sistema de cofragem apoia-se por isso nessa estrutura principal. Neste caso, a estrutura principal do cembre apoia-se nos pilares anterior e posterior de cada tramo do tabuleiro a betonar [7]. A Figura 11 pretende complementar esta informação.



Figura 11 - Cembre autolançável inferior [9]

2.4.2 Cembre de avanços sucessivos

A construção de pontes de grandes dimensões, correspondendo a vãos livres superiores a 100 metros, condiciona bastante a praticabilidade do recurso aos tipos de cembre indicados anteriormente, em particular, a utilização integral de cembre ao solo ou cembre autolançáveis.

Neste tipo de obras, o processo construtivo frequentemente adoptado para a construção do tabuleiro de uma ponte consiste na construção de troços (denominados aduelas), de forma simétrica em relação a cada pilar e sucessivamente até à última aduela (denominada aduela de fecho). Para a construção de cada aduela é utilizado um carro de avanço correspondente ao cembre de avanços sucessivos. O carro de avanço apoia-se na última aduela que foi betonada, cujo respectivo betão já adquiriu a capacidade resistente necessário e também já foi devidamente pré-esforçada. Por sua vez o sistema de cofragem apoia-se no carro de avanço.

As Figura 12 e Figura 13 pretendem exemplificar a aplicação deste tipo de cembre. Em ambas as figuras está bem claro que a betonagem do tabuleiro progride geometricamente em relação ao pilar da ponte e de modo a ser garantido o equilíbrio da estrutura e evitar o aparecimento de esforços adicionais.

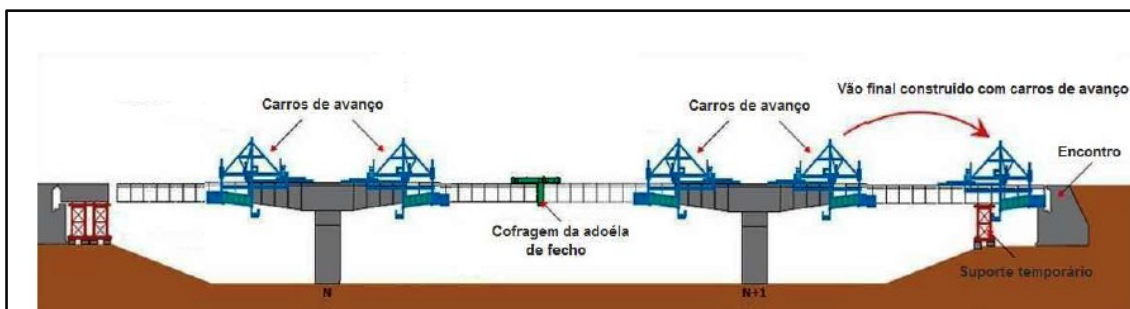


Figura 12 - Construção do tabuleiro de uma ponte com recurso a carros de avanço
[adaptado de 4]



Figura 13 - Par de carros de avanço [9]

A primeira aduela (aduela zero) é construída com recurso a cofragens ordinárias apoiadas no pilar. Na área livre desta aduela são montados o par de carros de avanço, em equilíbrio em relação ao pilar, que irão permitir a construção das restantes aduelas até à aduela de fecho. De forma simplificada os carros de avanço são constituídos pela estrutura principal, pelo sistema de avanço e pelo sistema de cofragens.

Nas obras de arte construídas com recurso ao método dos avanços sucessivos, a secção transversal do tabuleiro da ponte é normalmente do tipo caixão, Figura 14. Este tipo de secção transversal oferece inúmeras vantagens tanto na fase construtiva como na fase de utilização. Neste tipo de obras também é frequente a secção transversal ser variável ao longo do desenvolvimento longitudinal do tabuleiro e de forma a otimizar a estrutura. Geralmente a secção transversal é maior e mais resistente junto aos pilares, e mais pequena e mais leve a meio vão. Trata-se de estruturas de betão armado e pré-esforçado, [2] e [4].

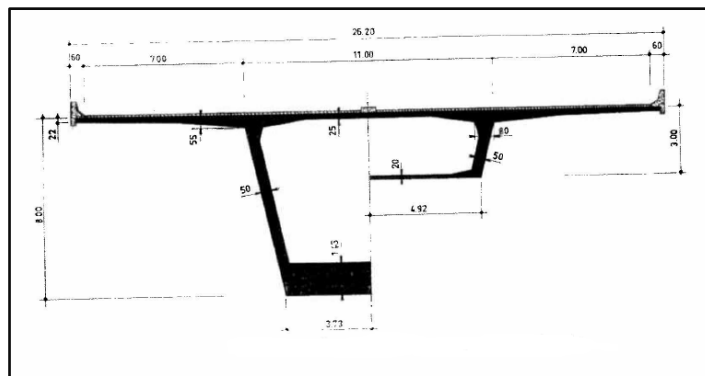


Figura 14 - Exemplo da variação de altura da secção de um tabuleiro [10]

De forma a complementar a informação apresentada relativamente ao processo construtivo de avanços sucessivos, também na Figura 15, e a título exemplificativo, a evolução do diagrama de momentos flectores, resultantes essencialmente do peso próprio da estrutura do tabuleiro, ocorridos no tabuleiro de uma ponte e à medida que a construção do mesmo progride. Verificam-se que a zona de momentos flectores máximos ocorre na zona de ligação do tabuleiro aos pilares e que estes são negativos. Também se constata que os momentos flectores são nulos a meio vão de cada tramo do tabuleiro.

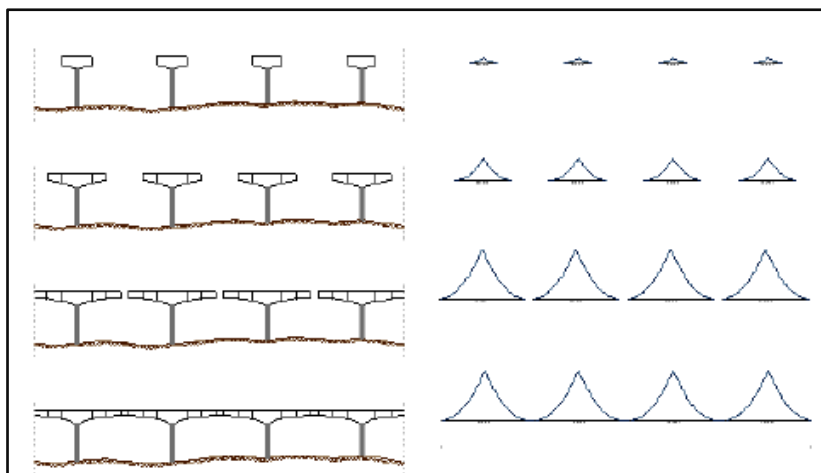


Figura 15 – Evolução do diagrama de momentos flectores ao longo do processo de betonagem do tabuleiro de uma ponte e segundo o processo construtivo de avanços sucessivos [4]

2.4.3 Cimbra relativo ao processo construtivo de deslocamentos sucessivos

O cimbra relativo ao processo construtivo dos deslocamentos sucessivos utilizado na construção do tabuleiro de pontes também é um cimbra aéreo. Ao contrário do cimbra

relativo ao processo construtivo dos avanços sucessivos e que foi apresentado anteriormente, este tipo de cembre tem a particularidade de permitir a construção de troços de tabuleiro, em que o sistema de cofragem é mantido no mesmo local e os troços de tabuleiro já construídos é que sofrem avanço. Esta solução construtiva é normalmente utilizada para vãos entre 45m a 50 m, e é eficiente para tabuleiros com directriz rectilínea ou curvatura circular (Figura 16).



Figura 16 - Exemplo de um viaduto construído com recurso ao processo construtivo de deslocamentos sucessivos [11]

Este processo construtivo de tabuleiro de pontes consiste basicamente em construir troços de tabuleiro de cerca de $1/3$ ou $1/2$ do vão e ir empurrando esses troços através de macacos hidráulicos fazendo com que esses troços de tabuleiro deslizem em apoios localizados nos encontros e nos pilares. Os pilares devem ser dimensionados de forma a apresentarem uma capacidade resistente a eventuais esforços horizontais relativos às forças de atrito que se podem gerar aquando do lançamento do tabuleiro.

Num dos encontros (ou nos dois se se optar por duas frentes de trabalho) é instalada uma unidade de pré-fabricação que permite de forma automatizada e aperfeiçoada a construção dos diversos troços do tabuleiro da ponte. Também os encontros da ponte devem ter uma adequada capacidade resistente aos esforços horizontais resultantes da fase de lançamento (Figura 17).

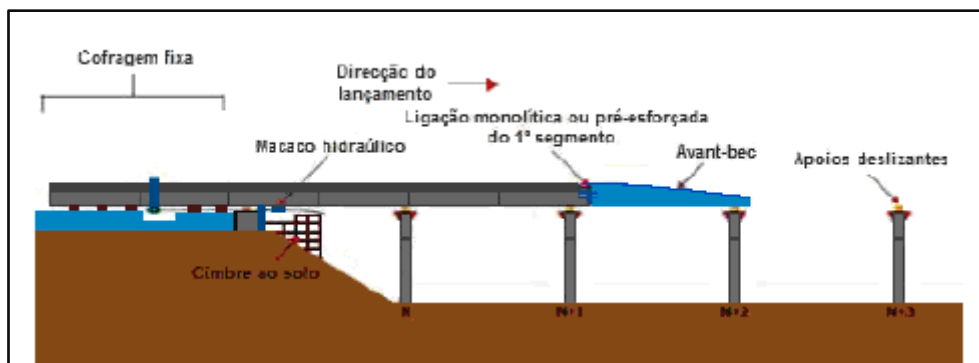


Figura 17 – Esquema de construção do tabuleiro de uma ponte com recurso ao processo construtivo de lançamento incremental ou deslocamentos sucessivos [4]

Também neste caso, é frequente a secção transversal do tabuleiro da ponte ser do tipo caixão. À medida que o tabuleiro da ponte vai sendo construído por troços, este vai sofrendo deslocamentos sucessivos e avançando ao longo do eixo longitudinal da ponte. Para o efeito, existem apoios deslizantes posicionados no topo dos pilares da ponte e é através dos macacos hidráulicos que é possível provocar a translação desejada do tabuleiro. Ao longo deste processo construtivo o diagrama de momentos flectores ocorrido no tabuleiro vai sofrendo uma alternância sucessiva, Figura 18. Face a esta particularidade técnica, a secção transversal do tabuleiro tem que ser projectada e construída de forma a apresentar capacidade de resistência para todos os cenários de carga.

Os troços betonados são solidarizados entre si através da aplicação de pré-esforço sem grande excentricidade. Durante a fase de lançamento, apenas é aplicado um pré-esforço nos banzos da secção transversal em caixão. Posteriormente, quando o tabuleiro estiver na posição final, (posição de serviço) o pré-esforço definitivo é aplicado.

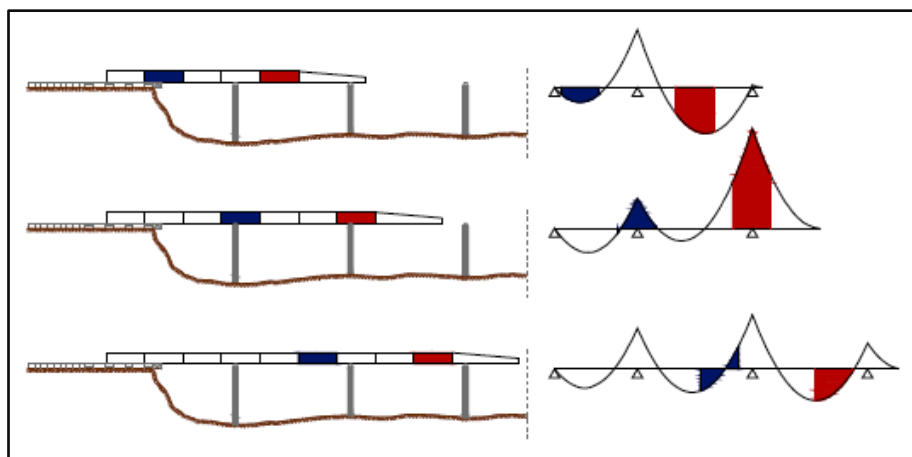


Figura 18 – Evolução do diagrama de momentos flectores do diagrama de uma ponte ocorrido na técnica dos deslocamentos sucessivos [4]

No sentido de reforçar temporariamente o tabuleiro o tabuleiro, quando este se encontra a trabalhar em consola, é possível socorrer-se de um “nariz metálico” ou “Avant-bec” na parte frontal do tabuleiro (Figura 19). Para favorecer o tabuleiro em relação aos esforços actuantes na zona dianteira quando este está a funcionar em consola pode-se aplicar um nariz metálico na frente do tabuleiro (Figura 19). Esta estrutura metálica provisória pode ser vista como sendo o cembre aéreo aplicado no processo construtivo de deslocamento sucessivo de tabuleiros de pontes. Esta estrutura metálica é construída especificamente para este efeito. Trata-se de uma estrutura composta por elementos de vigas principais, de secção composta em I e cuja alma deve estar devidamente reforçada para evitar encurvadura local, (Figura 19). O “nariz metálico” permite assim reduzir os cenários de obra de tabuleiro da ponte em consola, assim como, reduzir os vãos de consola do tabuleiro. Para vãos de tramos de tabuleiro de cerca de 15 vezes superior em relação à secção transversal desse tabuleiro, pode ser necessário utilizar pilares temporários de apoio e de forma a reduzir os esforços gerados no tabuleiro da ponte aquando do seu processo de construção [4].



Figura 19 – “Nariz metálico” posicionado na zona frontal do tabuleiro de uma ponte
[12]

2.5 Considerações Finais

Uma tentativa de identificar, de descrever e de exemplificar os processos construtivos de tabuleiros de pontes de betão armado e/ou pré-esforçado mais frequentemente utilizados foi desenvolvida.

Em cada processo construtivo foi dada uma ênfase ao sistema estrutural provisório de cimbra adoptado.

Os cimbres podem ser subdivididos em duas categorias e que são os cimbres ao solo e os cimbres aéreos. Dentro da categoria dos cimbres ao solo pode ser utilizado diferentes soluções construtivas tais como Pal e Superpal, “K-Lock”, MK e prumos de alta resistência. Por sua vez, em relação à categoria dos cimbres aéreos também existe uma tipologia diferenciada, destacando-se o cimbra autolanzável, o cimbra de avanços sucessivos e o cimbra relativo ao processo construtivo de deslocamentos sucessivos.

A opção do tipo de cimbra a adoptar não parece ser uma tarefa linear. Cada obra tem as suas especificidades requerendo por isso um tipo de cimbra específico. O processo construtivo do tabuleiro da ponte será certamente um dos critérios decisivos na opção do tipo de cimbra a adoptar. Paralelamente, condicionantes de obras (tais como: morfologia do terreno, tipo de solo de fundação, necessidade de garantir vão livre, entre muitas outras), prazos de construção e custos de obra, senão outros critérios importantes que certamente devem ser tidos em consideração aquando da escolha do tipo de cimbra a utilizar.

Foi possível também verificar que o sistema estrutural provisório de um cimbra é essencialmente concebido em elementos construtivos metálicos, que são facilmente acoplados entre si, de fácil montagem e desmontagem, de fácil transporte, e muito importante, que permitem ser reutilizados em diversas obras.

Também foi possível constatar que os cimbres podem ser sistemas estruturais bastante complexos e que requerem ser projectados, construídos e aplicados em obra com muito cuidado. Apesar de serem estruturas temporárias ou provisórias, podem estar sujeitos a casos de cargas diferenciadas, a fenómenos de instabilidade importantes e a acções dinâmicas. O facto de tenderem a ser utilizados diversas vezes (na mesma obra ou em obras distintas) também reforça esta ideia.

CAPÍTULO 3 - CIMBRE AUTOLANÇÁVEL

3 Cimbres autolançáveis

3.1 Objectivos

Os objectivos principais deste capítulo são:

- Estudar algumas especificidades técnicas relativas aos diferentes tipos de cimbres autolançáveis, tais como, especificidades tecnológicas e a sua especificidade técnica da interacção destas estruturas provisórias e os componentes estruturais de uma ponte;
- Aprofundar o estudo deste processo construtivo de cimbres autolançáveis e, tendo em conta, que o Capítulo 5 será focado no trabalho de campo de acompanhamento de uma obra de construção de um viaduto (Caso de Estudo 1) com recurso a este método construtivo.

3.2 Introdução

A construção de pontes ou de viadutos com recurso a cimbres autolançáveis pode ser divergente consoante se utilize cimbres autolançáveis superiores ou cimbres autolançáveis inferior. Essas divergências podem desde logo estar relacionadas com o próprio projecto de estruturas da obra de arte incluindo a concepção e as características estruturais. Face ao exposto, pretende-se nesta fase deste trabalho de investigação estudar os diferentes aspectos técnicos associados a estes dois tipos de cimbres autolançáveis.

Paralelamente, já existem no mercado cimbres autolançáveis com diferentes características técnicas que convém conhecer e analisar. Também parece importante abordar os cimbres autolançáveis de sistema de pré-esforço orgânico (OPS).

3.3 Aspectos construtivos

3.3.1 Montagem

A montagem dos cimbres autolançáveis é uma operação morosa e que pode normalmente requerer cerca de dois meses. A complexidade e o tamanho de um cimbres são os principais factores que condicionam a duração desta operação a realizar em obra. Os sistemas estruturais dos cimbres autolançáveis são geralmente constituídos por estruturas modulares e com recurso a ligações aparafusadas, soldas ou por cavilhas. Por

sua vez, a ligação entre módulos pode ser concretizada através de feita por ligações aparafusadas pré-esforçadas.

Nos cimbres autolançáveis superiores, a estrutura principal dos mesmos localiza-se na zona superior do tabuleiro. Por isto, na fase precedente à construção de um tabuleiro há a necessidade de uma grande ocupação de solo na zona de um dos encontros da obra de arte para a montagem de toda a estrutura principal do cembre autolançável superior. Este cembre é normalmente montado em cima de pórticos de apoios. Estes pórticos são utilizados na zona de um dos encontros na fase de montagem e no tabuleiro e pilares durante a fase de construção do viaduto. Estes pórticos do cembre permitem o apoio e a movimentação do cembre.

Por sua vez, e tal como já foi referido anteriormente, a estrutura principal dos cimbres autolançáveis inferiores são posicionados de forma subjacente em relação ao tabuleiro. Este facto implica que este tipo de cembre seja montado lateralmente aos pilares da ponte. Neste caso, é necessário recorrer a gruas ou outros tipos de sistemas elevatórios posicionados ao nível do solo. Para tal, é requerido que o solo apresente características morfológicas adequadas. Por outro lado a parte inicial do tabuleiro (primeiro tramo) tem necessariamente que ser construído com recurso a cembre ao solo. O cembre autolançável inferior só é geralmente praticável a partir do segundo tramo do tabuleiro e porque é necessário haver um espaço livre na zona inferior do tabuleiro compatível com a altura da estrutura principal deste tipo de cembre [13].

3.3.2 Sistemas de apoio

Nos cimbres autolançáveis superiores o apoio é concretizado através de pórticos de apoio. Os pórticos de apoio são constituídos por montantes e por vigas. Estes permitem o movimento do cembre através da instalação de “bogies”, e em que o contacto e o movimento é possibilitado devido à existência de rodas. Os “bogies” são munidos de rodas e também podem possuir sistemas hidráulicos de forma a ser possível garantir a estabilidade, (Figura 20).



Figura 20- Exemplo de um montante e respectivos “bogies”

Por sua vez, os cimbres autolanzáveis inferiores apoiam-se em pilares consecutivos da ponte e através de estruturas provisórias, (Figura 21).

O apoio deste tipo de cembre nos pilares da ponte pode ser concretizado de diferentes formas, tais como:

- Através da criação de uma força de atrito entre o pilar e o cembre. Essa força de atrito pode ser resultante da aplicação anéis de atrito, em varões de aço pré-esforçado, capazes de criar um estado de compressão transversal nos pilares;
- Através do recurso a negativos instalados nos pilares que permitem o encaixe de escoras de suporte das vigas de consola do cembre;
- Através da aplicação de um sistema misto composto pelos dois processos construtivos indicados anteriormente.

A estrutura principal dos cimbres autolanzáveis inferiores avança com recurso a “bogies” instalados nos respectivos apoios montados nos pilares da ponte.

Em relação à cofragem deste tipo de cimbres, apenas é permitido a descofragem através de um movimento de translação segundo um plano transversal ao tabuleiro. O movimento de translação das cofragens é operado com recurso a “bogies” instalados nos

apoios dos pilares da ponte. Nestas circunstâncias os pilares da ponte podem ser um obstáculo. É importante referir que as cofragens necessitam de ser totalmente abertas para o cimbra possa avançar. [13]



Figura 21 - Exemplo de um cimbra autolanzável inferior (adaptado de [9])

3.3.3 Sistema OPS

O sistema OPS (Sistema de Pré-Esforço Orgânico) é utilizado em cimbres autolanzáveis para aumentar a sua eficácia, [14].

O sistema OPS é um conceito inspirado no comportamento orgânico encontrado na natureza, o músculo. A sua génese está relacionada com a constituição de um sistema muscular que provoca esforços nas peças ósseas através da acção dos músculos que estão, por sua vez, directa ou indirectamente ligados aos ossos através das suas inserções nos tendões. Esta potencialidade, apesar de ter características diferentes em Engenharia Civil, pode ser considerada uma forma de pré-esforço. Fazendo uma analogia com a Engenharia Civil esta relação entre o osso e músculo pode ser considerado uma forma de pré-esforço orgânico externo e não aderente. Externo porque o seu traçado se desenvolve fora dos limites da secção da peça onde é gerado (o músculo contrai e o osso fica tensionado) e não aderente porque o músculo só se liga aos ossos nas suas extremidades através de tendões lubrificados e estes têm também a capacidade de poderem deslizar, [15].

O sistema OPS é um sistema de pré-esforço controlado activamente em que a tensão é aplicada e automaticamente ajustada durante a variação de cargas, por um sistema de controlo e com o objectivo de reduzir as deformações estruturais e minimizar as tensões instaladas. Os estudos numéricos de diferentes aplicações para o sistema OPS revelaram ser muito eficazes para estruturas de elevado peso próprio e sujeitas a cargas de serviço elevadas, [14].

As principais vantagens estruturais associadas a este sistema podem ser identificadas na Figura 22. As forças de pré-esforço são aplicadas à medida que o peso próprio do tabuleiro vai sendo solicitando a estrutura do cimbre.

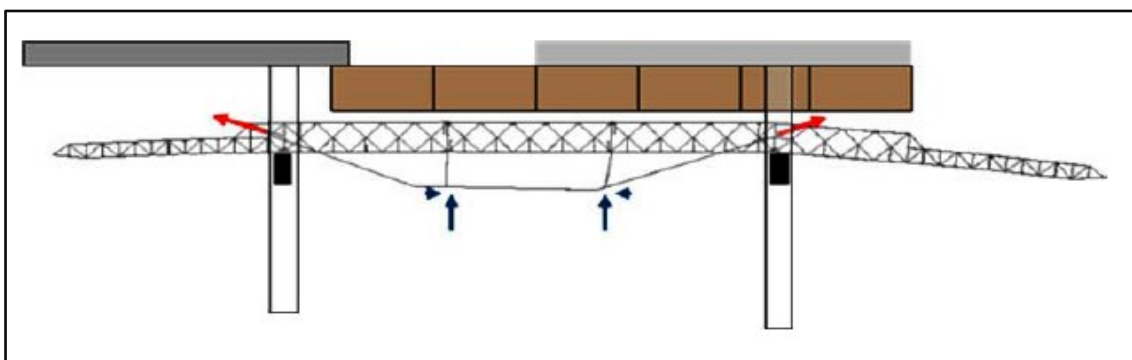


Figura 22 - Aplicação de pré-esforço à medida que a estrutura vai sendo solicitada [14]

Os principais elementos constituintes do sistema OPS são o actuador de ancoragem orgânica, os cabos de pré-esforço não aderentes, os sensores e o controlador electrónico de controlo unitário da viga (Figura 23), [14].

A flexão a meio vai é medida por sensores estrategicamente distribuídos ao longo da estrutura. Os sensores transmitem informação para um autónomo que processa de acordo com um algoritmo de controlo que decide em manter ou alterar a força de pré-esforço. Como acontece por exemplo durante a fase de betonagem, à medida que vai aumentando a carga e as tensões na estrutura devido ao peso próprio do betão os macacos hidráulicos aumentam automaticamente a força do pré-esforço. Além disso o sistema OPS realiza uma monitorização contínua da estrutura principal, avaliando os principais parâmetros estruturais e através dos seus sensores tem a capacidade de accionar alarmes em caso que ocorram situações anómalas, [14].

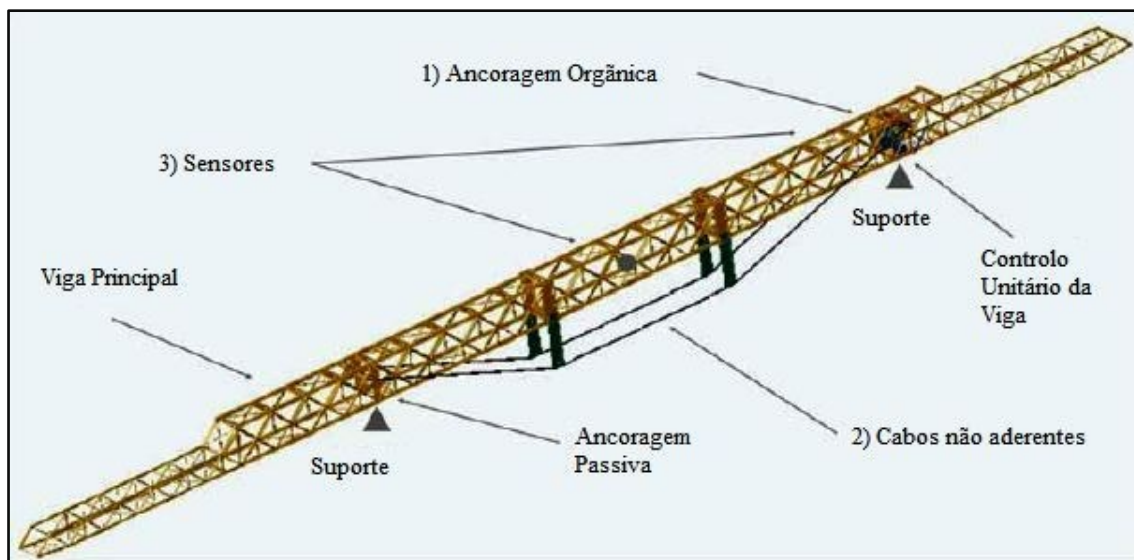


Figura 23 - Descrição da localização dos principais componentes do sistema OPS
(adaptado de [14])

Este método foi utilizado pela primeira vez num cembre autolanzável em 2005 numa ponte de Auto-Estrada no norte do país sobre o Rio Sousa (Figura 24). A ponte era constituída por 15 vãos de 30 metros. O cembre autolanzável com sistema OPS foi desenvolvida e composta por 4 vigas independentes de aço e consequentemente reforçado com o sistema OPS, [14].



Figura 24 - Primeira utilização de um cembre autolanzável com sistema OPS [14]

3.3.4 O mercado dos cimbres autolanzáveis

Existem diversas empresas internacionais especializadas em cimbres autolanzáveis. Estas para além de possuírem soluções padronizadas também estão aptas para

oferecerem soluções de cimbres autolançáveis mais específicos para obras de arte com características mais particulares. Algumas dessas empresas são: a BERD, a STRUKTURAS e a ALPI SOUTH.

A empresa BERD foi fundada em 2006 com o objectivo de explorar as potencialidades do sistema OPS, é uma empresa que opera mundialmente e oferece uma série de cimbres autolançáveis aptos para diferentes capacidades de carga e para diferentes especificidades técnicas.

Algumas dessas especificidades técnicas são [16]:

- Vão: entre 30 m e 90 m;
- Carga máxima: entre 13 toneladas e 45 toneladas por metro linear;
- Inclinação longitudinal: até 5%;
- Inclinação transversal: até 8 %;
- Raio mínimo de curvatura: 650 m.

Na Figura 25 é possível observar alguns exemplares de obras onde os sistemas de cimbres autolançáveis de empresa BERD foram aplicados.



Figura 25 - Exemplos de cimbres autolançáveis da BERD (adaptado de [16])

A empresa STRUKTURAS foi fundada em 1991 e durante estes cerca de 20 anos já forneceu equipamentos como cimbres autolançáveis para mais de 200 projectos em todo o mundo. Projectam diferentes tipos de cimbres autolançáveis, tanto superiores como inferiores.

Algumas dessas especificidades técnicas são [9]:

- Vão: entre 20 m e 70 m;
- Raio mínimo de curvatura: 250 m.

Na Figura 26 é possível observar alguns exemplares de obras onde os sistemas de cimbres autolançáveis de empresa STRUKTURAS foram aplicados.



Figura 26 - Exemplos de cimbres autolançáveis da STRUKTURAS (adaptado de [9])

A empresa tailandesa ALPI SOUTH foi fundada em 1992 e durante estes anos projectam e produz cimbres autolançáveis. Os cimbres criados por esta empresa utilizam diferentes tipos de estruturas e cofragens para diferentes secções. Para isso, recorrem a cimbres padrão mas também podem ser personalizados para vãos entre os 20m e 75m [17].

Na Figura 27 é possível observar alguns exemplares de obras onde os sistemas de cimbres autolançáveis de empresa ALPI SOUTH foram aplicados.



Figura 27 - Exemplos de cimbres autolançáveis da ALPI SOUTH (adaptado de [17])

3.3.5 Considerações finais

Neste capítulo complementou-se o estudo relativo a especificidades técnicas de cimbres autolançáveis e que se revelam importantes porque podem influenciar o projecto da obra de arte assim como o planeamento da execução da obra.

Deu-se uma especial atenção ao sistema OPS por ser um método tecnológico que quando integrado nos cimbres autolançáveis permitiu alargar o leque de vãos máximos admissíveis para a construção de pontes com recurso a este tipo de cibre.

Identificaram-se também algumas empresas internacionais especialistas em cimbres autolançáveis.

O conhecimento mais aprofundado sobre este tipo de cimbres é importante e fundamental permitir um adequado acompanhamento em obra de utilização de um cibre autolançável (Caso de Estudo 1).

CAPÍTULO 4 - CIMBRES RELATIVO AO MÉTODO DOS AVANÇOS SUCESSIVOS

4 Cimbres relativo ao método dos avanços sucessivos

4.1 Objectivos

Os objectivos principais deste capítulo são os seguintes:

- Aprofundar o conhecimento sobre o método dos avanços sucessivos para aduelas betonadas “in situ” com a utilização de carros de avanço e tendo em consideração o trabalho de acompanhamento em obra realizado no contexto deste trabalho de investigação, e que será abordado no capítulo 5 e que será relativo ao Caso de Estudo 2.
- Estudar aspectos construtivos estruturais importantes e a ter em conta durante na fase construtiva, e que são relativos a este processo construtivo.

4.2 Introdução

Na sequência do estudo realizado sobre o método dos avanços sucessivos verificou-se que existem aspectos técnicos específicos e que devem ser abordados, para uma melhor compreensão do referido método. Desde a fase inicial de projecto de uma ponte em que se pressupõe a utilização do método de avanços sucessivos com recurso a carros de avanço, é necessário prever e considerar algumas soluções estruturais que estejam em consonância com as características e o funcionamento do cembre aéreo a utilizar, e de modo a ser possível alcançar uma aplicabilidade sustentável do ponto de vista económico e dentro dos padrões de segurança que as obras de arte exigem. Deste modo, é pertinente estudar alguns aspectos construtivos que precedem a construção das aduelas betonadas “in situ” e pré-esforçadas, de forma cíclica.

4.3 Acções instabilizadoras do tabuleiro

A construção do tabuleiro de uma ponte com recurso a pares de carros de avanço assenta na teoria de equilíbrio em relação ao pilar. Durante a fase de construção de um tabuleiro existem forças de desequilíbrio que têm de ser tidas em conta e que estão presentes desde a fase inicial.

4.3.1 Construção da aduela zero e montagem dos carros de avanços

A construção do tabuleiro começa com a construção de uma aduela de tabuleiro que fica apoiada directamente no pilar e em equilíbrio com o mesmo. Esta aduela é designada de aduela zero. Esta é geralmente betonada com recurso a cofragens tradicionais apoiadas em cimbra ao solo ou no próprio pilar da ponte quando a altura deste é considerável (Figura 28). A construção da aduela zero vai permitir a montagem do par de carros de avanço para a construção subsequente das aduelas seguintes e de forma cíclica. [4]



Figura 28 – Exemplo de construção da aduela zero [6]

A montagem e a colocação em funcionamento dos carros de avanço na aduela zero podem ser processadas de várias formas e dependendo das características geométricas da aduela zero e dos respectivos carros de avanço. Por vezes torna-se necessário a construção de um prolongamento da aduela zero, aumentando deste modo a dimensão longitudinal do tabuleiro, de forma simétrica, e para a montagem dos carros de avanço. Por sua vez, também pode ser necessário a montagem dos carros de uma forma não simultânea. A construção do prolongamento da aduela zero e a montagem dos carros de avanço de forma não simultânea pode constituir um factor de desequilíbrio do tabuleiro em relação ao pilar. Este desequilíbrio resulta do facto do prolongamento da aduela zero ter de ser betonado de forma faseada e alternada. Nestas condições e devido ao peso próprio do tabuleiro e à posição assimétrica dos carros de avanço pode gerar o aparecimento de uma excentricidade e, implicitamente, num efeito de segunda ordem

devido ao momento flector adicional que surge. Este tipo de situações têm de ser consideradas no dimensionamento da obra de arte.

Em relação à montagem dos carros de avanço é possível ocorrer os seguintes cenários de obra:

- Carros de avanço unidos e apoiadas na aduela zero;
- Carros de avanço unidos e apoiados na aduela zero prolongada;
- Carros de avanço separados e montados em simultâneo;
- Carros de avanço separados e montados em instantes diferentes.

Existem carros de avanço que permitem ser montados de forma acoplada, ficando estes montados numa situação de equilíbrio. Assim, o primeiro par de aduelas (subsequente à aduela zero) pode ser construído com os carros de avanço acoplados. Na construção das aduelas seguintes já é necessário dispor dos carros de avanço separados, de forma independente mas, sempre em equilíbrio em relação ao pilar (Figura 29).

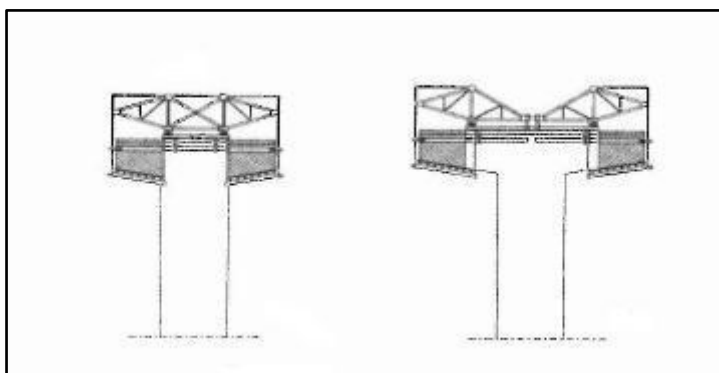


Figura 29 - Carros de avanço unidos e apoiadas na aduela zero [1]

A utilização de carros de avanço de maiores dimensões (acoplados ou separados) pode requerer condições específicas de montagem dos mesmos. Neste caso, é necessário prolongar longitudinalmente a aduela zero (Figura 30) e de modo a ser possível acomodar o par de carros de avanço acoplados. Este prolongamento da aduela zero pode ser construído com recurso a cofragens tradicionais e que podem ser apoiadas no pilar através de escoras (Figura 30).

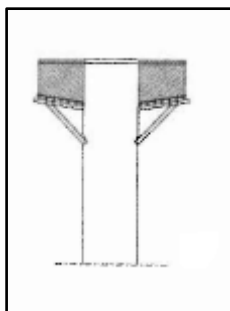


Figura 30 – Prolongamento da aduela zero de auxílio à montagem dos carros de avanço [1]

Existem carros de avanço que permitem ser montados de forma separada e, principalmente, quando estes têm dimensões relativamente mais pequenas. Nestes casos, também é necessário a construção prévia do prolongamento da aduela zero e segundo o processo construtivo descrito anteriormente, (Figura 31).

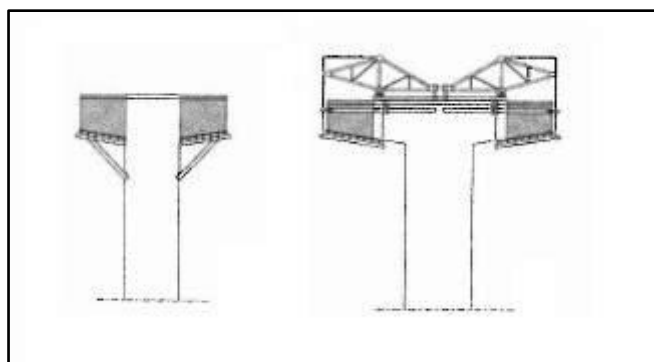


Figura 31 - Carros de avanço separados e montados em simultâneo [1]

A montagem de carros de avanço individuais na zona da aduela zero pode acontecer quando estes têm dimensões longitudinais, em relação à aduela zero relativamente grandes, (Figura 32). Nestes casos, também se torna necessário a construção do prolongamento da aduela zero e para que a estrutura do carro de avanço possa ter um apoio traseiro suficiente e que permita a construção da aduela de uma das extremidades na extremidades do tabuleiro. Após esta fase construtiva, desta aduela o carro pode avançar e possibilitar a montagem do outro carro de modo a ser possível construir a primeira aduela da outra extremidade do tabuleiro, ficando a funcionar o equilíbrio garantido em relação ao pilar. Neste tipo de situações, é necessário estar previsto a ocorrência de esforços significativos de desequilíbrio do tabuleiro em relação ao pilar, [1].

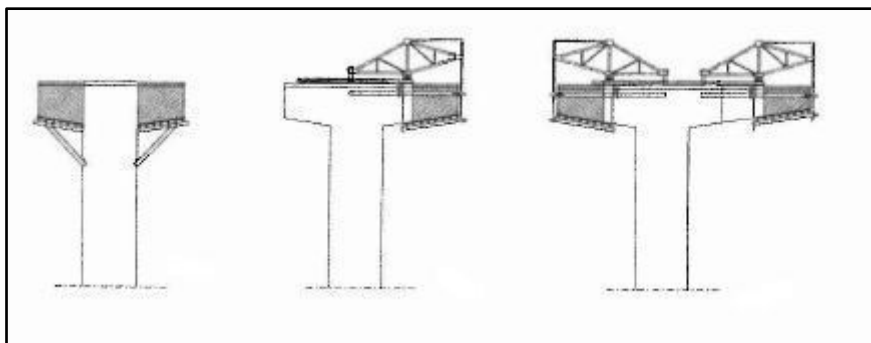


Figura 32 - Carros de avanço separados e montados individualmente [1]

Para além dos fenómenos instabilizadores identificados anteriormente e relativos à possível betonagem do prolongamento da aduela zero e à de se montar carros de avanço individualmente, também existe outro tipo causador de desequilíbrio. Da mesma forma que os prolongamentos da aduela zero se betonam de forma alternada, também a betonagem das sucessivas aduelas se faz de forma faseada e alternada. Este cenário de obra também contribui para os fenómenos instabilizadores e tendem a agravar-se à medida que o processo de betonagem do tabuleiro se afastada do pilar. Esta situação ocorre na betonagem de todos os pares de aduelas e por não ser praticável betonar em simultâneo as duas extremidades do tabuleiro de uma ponte.

4.3.2 Acção do vento

A acção do vento também pode ser um factor importante instabilizador durante o processo de construção do tabuleiro de uma ponte. Apesar do dimensionamento deste tipo de obras requerer o efeito da acção do vento, vai-se descrever de seguida e de forma sucinta a influência desta acção na estrutura da obra de arte.

Três situações devem ser consideradas e de acordo com a Figura 33, [1]. Estas situações são as seguintes:

- Vento longitudinal, que resulta numa acção actuante longitudinal no pilar e no efeito de levantamento na zona do tabuleiro e consequente deste, (Figura 33.a);
- Vento transversal, que resulta em efeitos laterais do pilar e do tabuleiro, (Figura 33.b);

- Rajadas de vento, que apesar de serem menos frequentes podem provocar efeitos diferenciais na estrutura de uma ponte desiguais dos dois lados do tabuleiro (Figura 33.c).

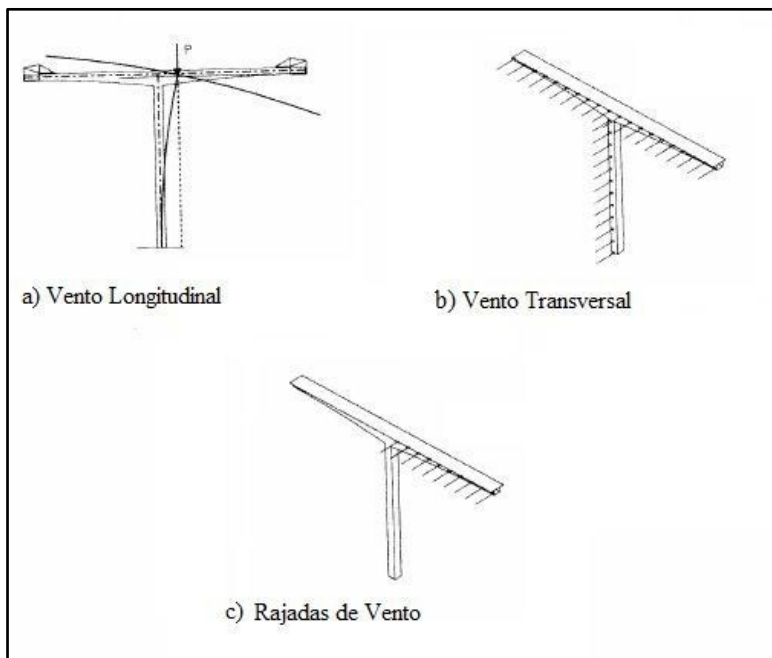


Figura 33- Acção do vento em pontes [adaptado de 1]

4.3.3 Outros factores instabilizadores

Existem outros factores instabilizadores que devem ser analisados e tidos em conta na fase de projecto de uma obra de arte e durante a fase de construção do tabuleiro e, de forma a tentar minimiza-los ao máximo. Estes factores podem ser os seguintes, [1]:

- Variação do peso específico do betão e que pode ser resultante de erros de execução. É correspondente à diferença entre o peso específico teórico do betão e o seu peso específico real. Este erro é estimado em $\pm 2\%$, e apesar de parecer um valor reduzido, pode influenciar bastante a flecha de uma ponte que é construída de forma simétrica;
- Acções acidentais, tais como o armazenamento de materiais, o movimento de máquinas, variações climatéricas, entre outras;
- Queda de um carro de avanço, devido a uma falsa manobra e que pode constituir um grande factor de instabilidade devido ao elevado peso próprio dos mesmos.

4.4 Condições de apoio de um tabuleiro

4.4.1 Tabuleiro encastrado de forma permanente

Em certas obras de arte com poucos vãos e pouco extensos existe a possibilidade de encastrar o tabuleiro de forma permanente aos pilares. Este tipo de solução é geralmente suficiente para resistir os momentos flectores gerados no tabuleiro durante a fase de construção e neste tipo de obras são inferiores em relação aos momentos flectores resultantes das acções de serviço. Contudo, poderá ser necessário contemplar esta situação no dimensionamento do pilar de modo a evitar o descentramento da resultante das forças actuantes no mesmo, [9].

4.4.2 Tabuleiro simplesmente apoiado – Aplicação de pré-esforço

No caso de pontes cujo tabuleiro seja simplesmente apoiado, pode ser necessário recorrer a um encastramento provisório da ligação do tabuleiro ao pilar (Figura 34). O encastramento provisório pode ser realizado bloqueando a junta do pilar com o tabuleiro através da aplicação de calços provisórios. Os calços provisórios poderão ser efectuados com recurso a betão cintado ou elementos metálicos. O encastramento provisório pode ser complementado com a aplicação de um reforço de barras ou cabos de aço pré-esforçado a aplicar entre a cabeça do pilar e a aduela zero do tabuleiro.

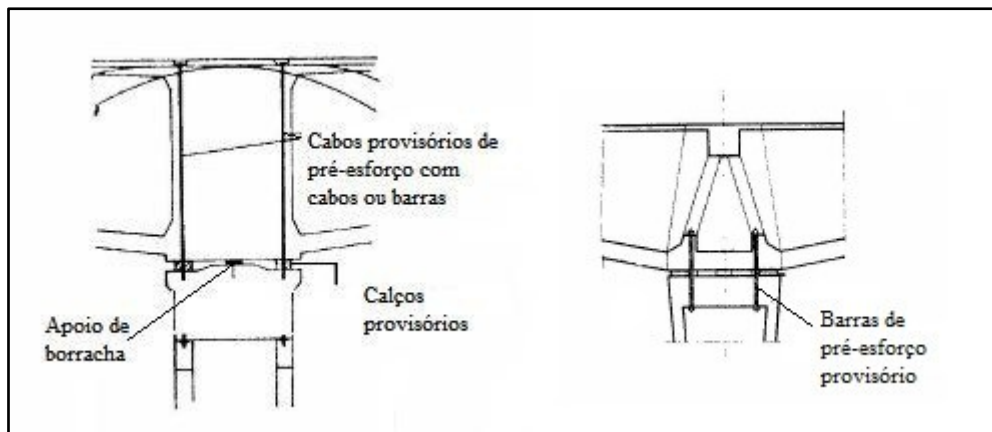


Figura 34 - Encastramento provisório [9]

Podem existir outros casos em que durante a fase de construção do tabuleiro haja uma alternância muito significativa de cargas actuantes de cada lado do tabuleiro em relação à posição do pilar. Estas situações provocam esforços adicionais e devido essencialmente à betonagem das aduelas de forma não simultânea ou devido a outras

eventuais situações de limitações construtivas. Neste tipo de caso é frequente recorrer-se a um reforço adicional através da aplicação de um pré-esforço descentrado (Figura 35). Esta solução permite equilibrar os momentos não simétricos e melhorar a capacidade resistente à flexão do pilar. Apesar da pequena inércia do reforço de pré-esforço é possível melhorar a estabilidade do tabuleiro, [9].

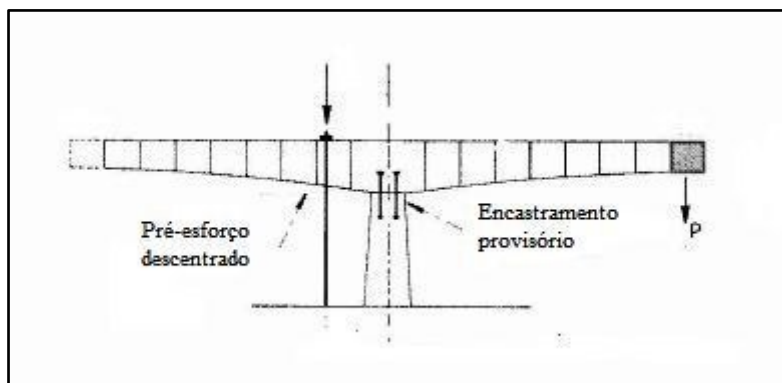


Figura 35 – Encastramento provisório e pré-esforço descentrado [9]

Após a união dos tabuleiros em consola, os encastramentos provisórios são suprimidos através da desativação do pré-esforço e da substituição dos apoios para apoios definitivos. Nesta tarefa de substituição de apoios é frequente utilizar dispositivos hidráulicos de auxílio, [9].

4.4.3 Tabuleiro simplesmente apoiado - apoios provisórios

Em numerosas obras de arte em que o respectivo tabuleiro se encontra simplesmente apoiado no pilar na fase construtiva, pode haver geralmente uma capacidade resistente à flexão insuficiente. Nestes casos o tabuleiro é independente do pilar e este último pode ser demasiado esbelto. Por isso, o pilar pode apresentar uma capacidade resistente à flexão insuficiente para suportar os esforços resultantes dos momentos flectores adicionais relacionados com a betonagem do tabuleiro. Nestes casos, uma solução técnica capaz de contornar este problema pode consistir no recurso a apoios provisórios de tabuleiro. A estabilidade do tabuleiro e do pilar é assim assegurada pela montagem de apoios provisórios posicionados na proximidade do pilar.

Há casos em que se utiliza apenas um apoio provisório (Figura 36). Neste tipo de casos, o apoio provisório é pensado de modo a trabalhar exclusivamente a esforços de compressão. Nas situações em que são utilizados dois apoios provisórios (Figura 37), um

dos apoios pode ser projectado para trabalhar à compressão (escora) enquanto que outro pode ser estudado para funcionar à tracção (tirante).

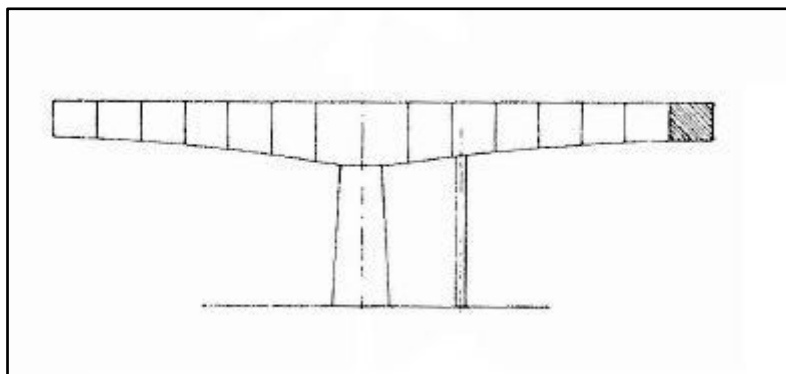


Figura 36 – Apoio provisório [9]

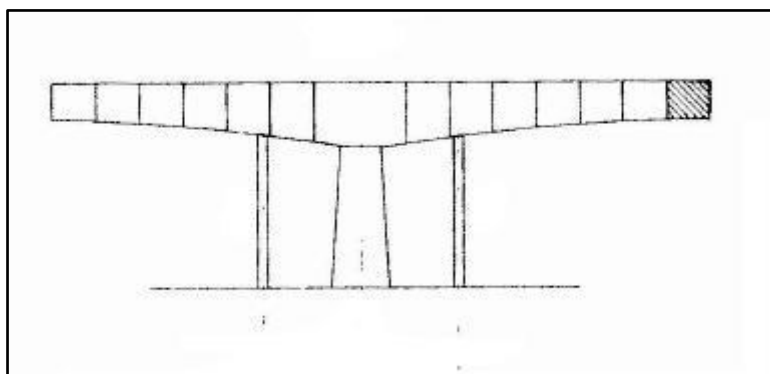


Figura 37 – Recurso a dois apoios provisórios [9]

A solução de um apoio provisório é preferível, salvo casos particulares. A utilização de dois apoios provisórios conduz à necessidade de utilização do dobro do material e a um incremento de mão-de-obra, mas oferece como compensação a possibilidade de se poder optar pela construção das aduelas, para qualquer um dos dois lados do tabuleiro, [9].

4.4.4 Pré-esforço

O pré-esforço longitudinal aplicado em pontes construídas através do processo construtivo dos avanços sucessivos pode ser dividido em duas tipologias diferenciadas de cabos, (Figura 38), e que são cabos de consola e cabos de continuidade ou solidarização.

Os cabos de consola são dispostos na laje superior e são colocados à medida que se avança na construção das sucessivas aduelas. A utilização deste tipo de cabos de pré-

esforço tem o objectivo principal de resistir aos momentos flectores negativos provocados pela construção dos tramos em consola das aduelas e, por outro lado, de solidarizar as aduelas entre si. Os momentos flectores negativos que são maiores na zona do pilar, e são provocados pelo peso próprio do betão armado de cada aduela e pelo peso próprio dos carros de avanço utilizados na fase de construção. A solidarização das aduelas permite que a aduela a ser betonada possa ficar devidamente apoiada às aduelas anteriormente betonadas de modo a ser possível realizar a betonagem e aplicar o pré-esforço.

Por sua vez, os cabos de continuidade ou de solidarização são aplicados nas zonas de fecho dos tabuleiros, ou seja, na zona de meio vão do tabuleiro e para ser possível absorver os momentos flectores positivos aí gerados. Além disso, nas secções transversais de meio vão que suportam momentos permanentes relativamente pequenos, estão sujeitas a importantes variações de momentos devido ao efeito da sobrecarga, do gradiente térmico e dos esforços de redistribuição por fluência. Por esta razão, e pelo facto de as secções a meio vão serem secções críticas, o pré-esforço de continuidade ou de solidarização não deve ter pouca excentricidade. Para isso, e nas secções a meio vão os cabos de pré-esforço devem ser divididos pela laje superior e inferior (no caso de secções tipo caixão) (Figura 38), [9].

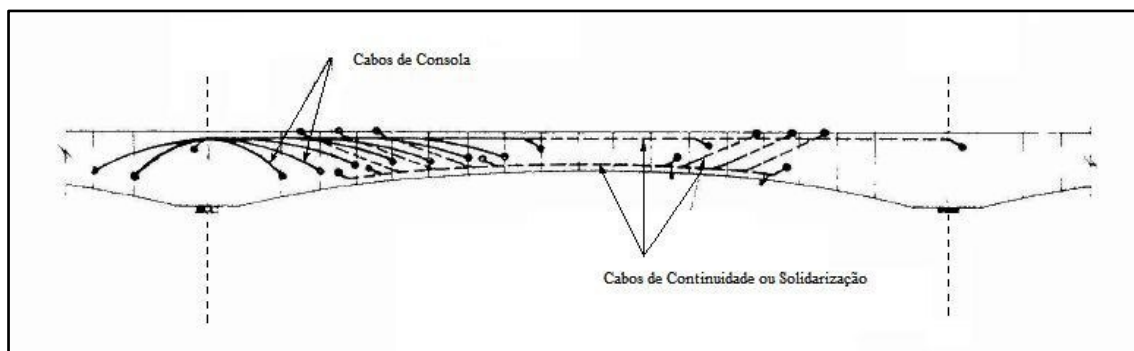


Figura 38 - Localização dos cabos de pré-esforço [9]

4.5 Considerações Finais

Neste capítulo aprofundou-se o estudo sobre os processos construtivos de tabuleiros de obras de arte do tipo dos avanços sucessivos e tendo em conta alguns aspectos técnicos relevantes deste processo construtivo que devem ser tidos em conta tanto na fase de projecto como na fase de construção. Deste modo, deu-se um enfoque a questões técnicas relacionadas com o equilíbrio do tabuleiro em relação ao pilar na fase de

construção. Neste sentido, identificaram-se e descreveram-se algumas possíveis situações de desequilíbrio passíveis de ocorrer durante a fase construtiva, apresentaram-se alguns métodos de equilíbrio e destacou-se a importância da aplicação de pré-esforço como uma solução de reforço provisório.

A abordagem dos tópicos anteriormente referidos torna-se importante para uma melhor compreensão e consciencialização de algumas variantes construtivas que podem influenciar os processos construtivos de obras de arte.

O conhecimento mais aprofundado sobre este tipo de cimbres é importante e fundamental para permitir um adequado acompanhamento em obra de utilização de um cimbra aéreo do tipo carro de avanço (Caso de Estudo 2).

CAPÍTULO 5 - CASO DE ESTUDO 1- CIMBRE AUTOLANÇÁVEL

5 Caso de Estudo 1- cembre autolançável

5.1 Objectivos

Os objectivos principais deste capítulo são:

- Descrever detalhadamente o cembre Autolançável Superior e o seu funcionamento com recurso a um caso de estudo de obra;
- Identificar alguns dos factores influenciadores do tempo de construção do tabuleiro de uma ponte;
- Referenciar algumas das fases críticas relativas à aplicação de cembre autolançável.

5.2 Introdução

Os cimbres autolançáveis na construção tramo-a-tramo são estruturas mecânicas bastante complexas. Esta complexidade é resultante do sistema estrutural constituinte, das suas dimensões e do sistema mecânico implícito.

No sentido de obter uma compreensão mais solidificada da utilização deste tipo de cembre na construção de tabuleiros de pontes, optou-se por se efectuar no âmbito deste trabalho de investigação um acompanhamento em obra da utilização deste tipo de cembre. Este acompanhamento em obra visou a construção do tabuleiro do extradorso do viaduto e até ao início do tabuleiro do intradorso.

5.3 Breve descrição da ponte relativa ao Caso de Estudo 1

A ponte relativa ao caso de estudo 1 está localizada sobre o vale do Rio Ovelha na zona de Amarante. Esta ponte é uma estrutura integrante da Autoestrada A4. Tem cerca de 800 m de comprimento (Figura 39). Esta ponte é composta por dois tabuleiros (intradorso e extradorso), (Figura 40) de betão armado e pré-esforçado, de laje vigada, apoiados em capitéis ao longo de 18 pilares (Figura 41). O tabuleiro é constituído por vãos de 44 m, apresentando uma inclinação longitudinal máxima de 5% e uma inclinação transversal máxima de 7% (Figura 42). O raio de curvatura máximo é de aproximadamente de 600 m (Figura 40).



Figura 39- Vista aérea do traçado da ponte do Caso de Estudo 1 (adaptado de [19])



Figura 40 – Planta da ponte do Caso de Estudo 1

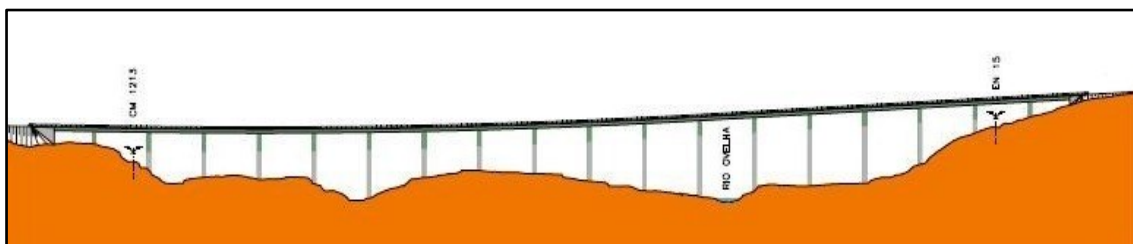


Figura 41 – Perfil longitudinal da ponte do Caso de Estudo 1

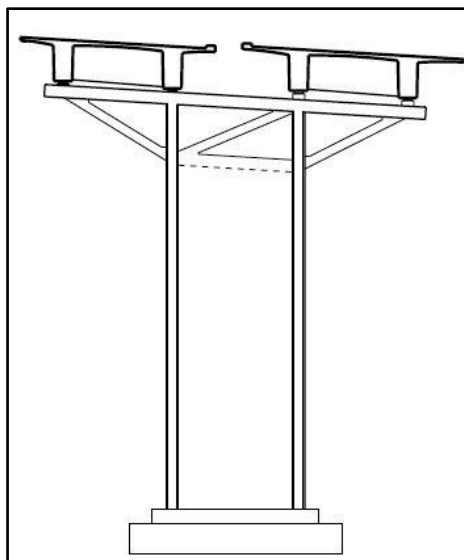


Figura 42 - Perfil transversal de um pilar e respectivos tabuleiros [20]

5.4 Descrição da solução construtiva adoptada

Na construção dos tabuleiros desta ponte foi adoptado o sistema construtivo tramo a tramo e com recurso a um cembre autolancável superior. O cembre tem como principais características um comprimento de cerca de 99 m, e um peso bruto de cerca de 600 toneladas.

O cembre autolancável é uma estrutura provisória de grande porte para a construção de tabuleiros, tramo a tramo, de betão armado. O recurso a esta técnica construtiva é considerado não tradicional porque a estabilização do sistema é conseguida através de apoios assentes nos pilares. Permite que o tabuleiro seja construído de forma livre e independente dos condicionalismos impostos pela zona de atravessamento. Por esta razão, o acesso à frente de obra dos materiais, dos equipamentos e da mão-de-obra faz-se através do tabuleiro, apesar de também poder existir ao longo do tabuleiro escadas-torre para facilitar o acesso ou a circulação de pessoas na obra.

Este cembre autolancável foi concebido para a execução do viaduto do Rio Real, no IP6, no ano de 2004. O viaduto em questão tinha como características um vão de 39 m e um raio de curvatura de 600 m. O cembre foi também utilizado no ano de 2008 na construção da ponte da Gafanha, de 30 m de vão.

Esta informação mostra que os cimbres autolancáveis podem ser reutilizados. Na presente utilização deste cembre foi necessário proceder a alguns procedimentos de

reforço estrutural da estrutura principal do cembre, através da aplicação de reforços estruturais. Também foram realizados alguns ensaios exaustivos às peças de aço que constituem o cembre autolançável, como por exemplo, ensaios ultrassónicos.

5.5 Descrição dos componentes do cembre autolançável superior

A viga de lançamento é constituída por viga principal, apoio traseiro, cofragens, sistema de avanços e pórticos de apoio (Figura 43).



Figura 43- Vista geral do cembre autolançável

5.5.1 Viga principal

A viga principal é uma viga treliçada triangulada, dupla, em caixão aberto, com cerca 99 m de comprimento e constitui a estrutura principal do cembre autolançável. A viga principal é constituída por módulos aparafusados entre si facilitando assim o transporte. A secção transversal da viga em caixão tem 6 m de altura, é formada por pares de treliças com 3 m de altura e divididas em troços de 6 m, 9 m e 12 m. Sob as cordas inferiores das treliças existem dois pares de carris invertidos, de cada lado, que se apoiam nas rodas das vigas balanceiras que pertencem aos pórticos e que permitem o deslocamento e a sustentação da viga principal.

Na zona subjacente à viga principal, entre os dois pares de carris invertidos, existem dois diferenciais manuais. Estes ficam suspensos em duas vigas longitudinais (“monorails”) e permitem a sustentação de grandes cargas, como por exemplo, dos pórticos de apoios do cembre autolanzável.

Na zona inferior do caixão existem prolongamentos transversais e horizontais duplamente atirantados às cordas superiores do caixão. Sob estes prolongamentos (braços) são montados longitudinalmente dois perfis HEB, de cada lado, para suspender a cofragem através de pendurais mecânicos. Na zona inferior do caixão e nos prolongamentos transversais, existem quatro “monorails” que permitem o movimento de cargas sob a viga principal, a montagem, a abertura e fecho da cofragem.

Na zona superior do caixão existe um “monorail” a todo o comprimento da viga onde se desloca um diferencial que permite o deslocamento das peças constituintes dos pórticos de pilar da traseira da viga (tabuleiro) para serem montadas no pilar livre seguinte. Estes elementos estruturais descritos anteriormente estão esquematizados na Figura 44.

A viga principal tem um “nariz mecânico” em cada extremidade. Aquele que se encontra na traseira da viga é denominado de apoio traseiro e permite apoiar a viga para a tarefa de mudança de pórticos de apoio. O “nariz” frontal abre para passarem as peças do pórtico para o pilar, e fecha para servir de guia e para fazer a acostagem do cembre ao pórtico montado no pilar da frente (Figura 45).

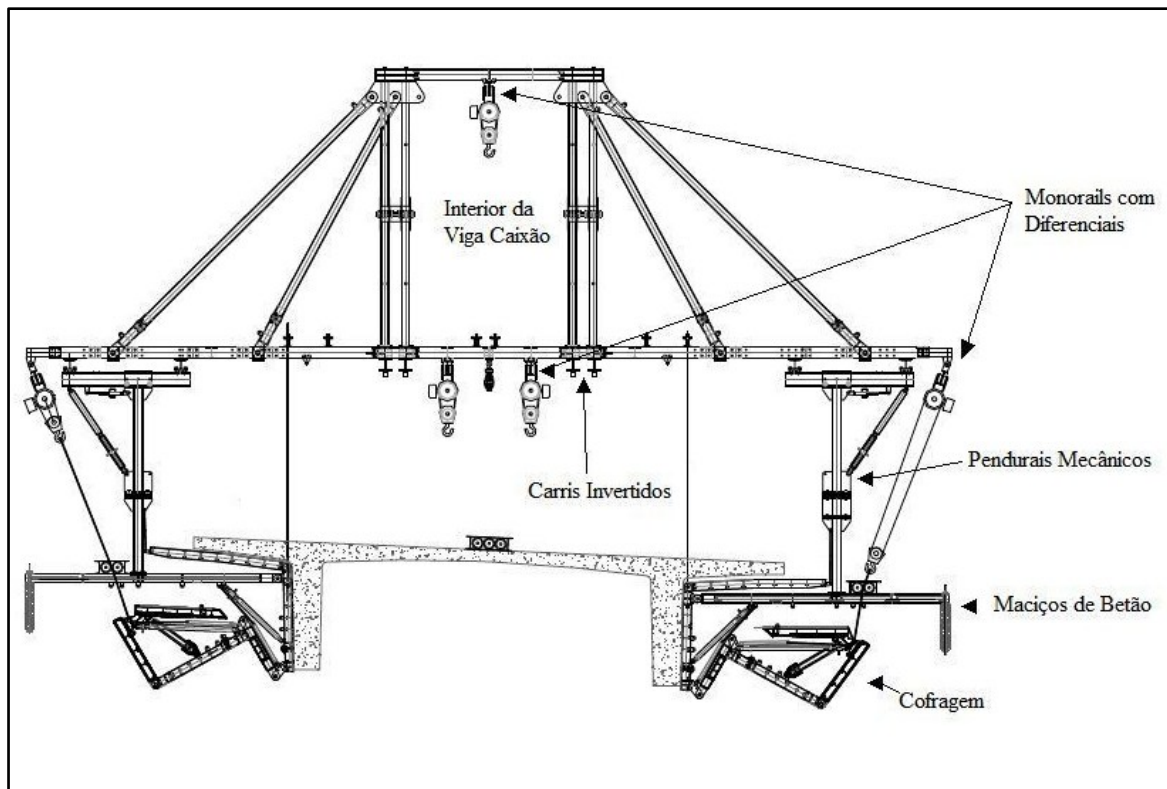


Figura 44 - Vista transversal do cembre autolançável



Figura 45 - Nariz do cembre autolançável

5.5.2 Apoio traseiro

O apoio traseiro tem como principal função servir de apoio traseiro à viga para que os pórticos possam ser transferidos. O apoio traseiro é constituído por uma viga transversal triangulada e aparafusada a dois apoios que rodam em torno de um eixo na zona inferior do caixão. Esses dois apoios estão soldados a duas vigas perpendiculares duplamente atirantadas à viga transversal (Figura 46). Quando o apoio traseiro se encontra aberto e antes de ficar apoiado nos maciços provisórios é necessário acoplar-se uma estrutura de dois tirantes que roda em torno de um eixo na zona superior da viga principal. O apoio traseiro para ser aberto e fechado recorre a dois macacos hidráulicos que estão acoplados ao apoio traseiro e à zona superior da viga principal (Figura 47).



Figura 46 - Apoio traseiro do cembre autolancável

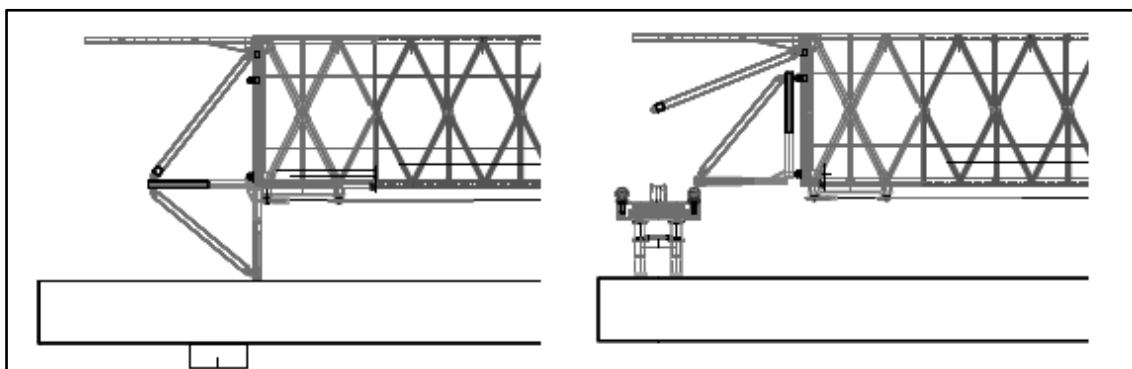


Figura 47 - Esquema lateral do apoio traseiro fechado (esquerda) e aberto (direita)

5.5.3 Cofragens

A cofragem deste cembre aéreo é constituída por um total de 20 módulos (10 de cada lado), cada módulo é constituído por 5 a 6 peças que se encontram unidas através de eixos. Estes permitem que estas peças rodem entre si, para que cada módulo possa ficar rebatido durante a fase de avanço (Figura 44) e que possa ser aberto para a betonagem do tabuleiro. A cofragem é constituída por uma estrutura metálica revestida por uma chapa metálica e possui plataformas de trabalho de acesso a trabalhadores. Quando a cofragem se encontra aberta, estas plataformas ficam situadas na zona subjacente da cofragem. O acesso a estas plataformas é feito através de escadas situadas no módulo da frente. Cada módulo trabalha de forma independente porque é um tabuleiro em curva e porque são abertos por gravidade.

A cofragem encontra-se estruturalmente ligada à viga através de dois pendurais mecânicos, por cada módulo. Durante a fase de betonagem, a ligação à estrutura é acrescida de 6 barras de alta resistência (“dywidags”) por módulo que ficam suspensas na viga principal. Estes mesmos pendurais mecânicos também sustentam uma estrutura com guarda-corpos paralela aos módulos de cofragem que serve de acesso ao longo dos dois lados dos módulos de cofragem (Figura 48), assim como, dois maciços de betão, por cada módulo, que estão situados por baixo daquele acesso e do lado exterior, e que servem de contrapeso para essa estrutura. As respectivas dimensões são 120 cm de comprimento, 100 cm de altura e 20 cm de largura (Figura 49). Os pendurais mecânicos tem a particularidade de permitir ajustar a posição das cofragens antes da betonagem. Para poder ser feita a betonagem há a necessidade de soldar previamente chapas metálicas de modo a ser possível fechar as juntas entre os diferentes módulos.



Figura 48 - Vista dos blocos de cofragens e respectivos pendurais mecânicos



Figura 49 - Vista inferior dos blocos de cofragens e respectivos blocos de betão

5.5.4 Pórticos

Os pórticos do cembre autolanzável denominam-se de pórticos de pilar ou de pórticos móveis e conforme são montados no capitel dos pilares ou no tabuleiro, respectivamente. É sobre os diferentes pórticos que o conjunto de viga principal e cofragens se apoia no tabuleiro e no capitel dos pilares, tanto na fase de betonagem como na fase de avanço (Figura 50).

Os pórticos de pilar e os pórticos móveis são geralmente idênticos, apesar de existirem algumas diferenças tal como o lugar onde são montados. Os pórticos de pilar utilizam dois montantes aparafusados por baixo da viga transversal (viga de ripagem) com

prolongamentos para vencer uma maior altura e necessitam da montagem do contraventamento vertical, denominada “Cruz de Santo André”. Por sua vez, os pórticos móveis utilizam dois montantes aparafusados na extremidade das vigas de ripagem. Ambos os pórticos são apoiados no tabuleiro ou nos capitéis de cada pilar, sobre maciços de betão e de forma a ficarem nivelados. De forma a ficarem rigidamente ligados, são usadas ligações aparafusadas para unir os pórticos aos maciços de betão.

De uma forma geral, os pórticos são constituídos pelos montantes que sustentam transversalmente a viga de ripagem e são unidos através de ligações aparafusadas. Sobre a viga de ripagem são montadas as vigas balanceiras que são colocadas no sentido longitudinal. As vigas de ripagem possuem um suporte para colocação de cilíndricos hidráulicos transversais que permitem que as vigas balanceiras se desloquem ao longo da viga de ripagem de forma lateral. As vigas balanceiras encontram-se ligadas, uma à outra, através de dois tensores de comprimento e dispõem de duas rodas em cada viga balanceira, formando um conjunto de rodados tipo “bogie”, onde a estrutura do cimbra se apoia através dos carris invertidos durante a fase de avanço. As vigas balanceiras possuem também calços de apoio. Estes calços de apoio localizam-se entre as rodas do boggie e permitem que a estrutura se apoie, por exemplo, durante a fase de betonagem, e desta forma, fique travada, bloqueando o movimento.

As vigas balanceiras são de extrema importância para o cimbra porque têm incorporados um cilindro hidráulico no sentido de cada roda constituindo assim um sistema hidráulico que permite controlar o nivelamento do cimbra e as reacções sobre os apoios, permitindo detectar a distribuição de cargas e algum desnivelamento. Num dos pórticos sobre o tabuleiro é montado o sistema de avanço da viga de lançamento. Na Figura 50 é possível visualizar os diferentes pórticos e os seus elementos de forma esquemática. Paralelamente na Figura 51 um exemplo de pórtico móvel apoiado no tabuleiro e na Figura 52 é mostrado um pórtico de pilar.

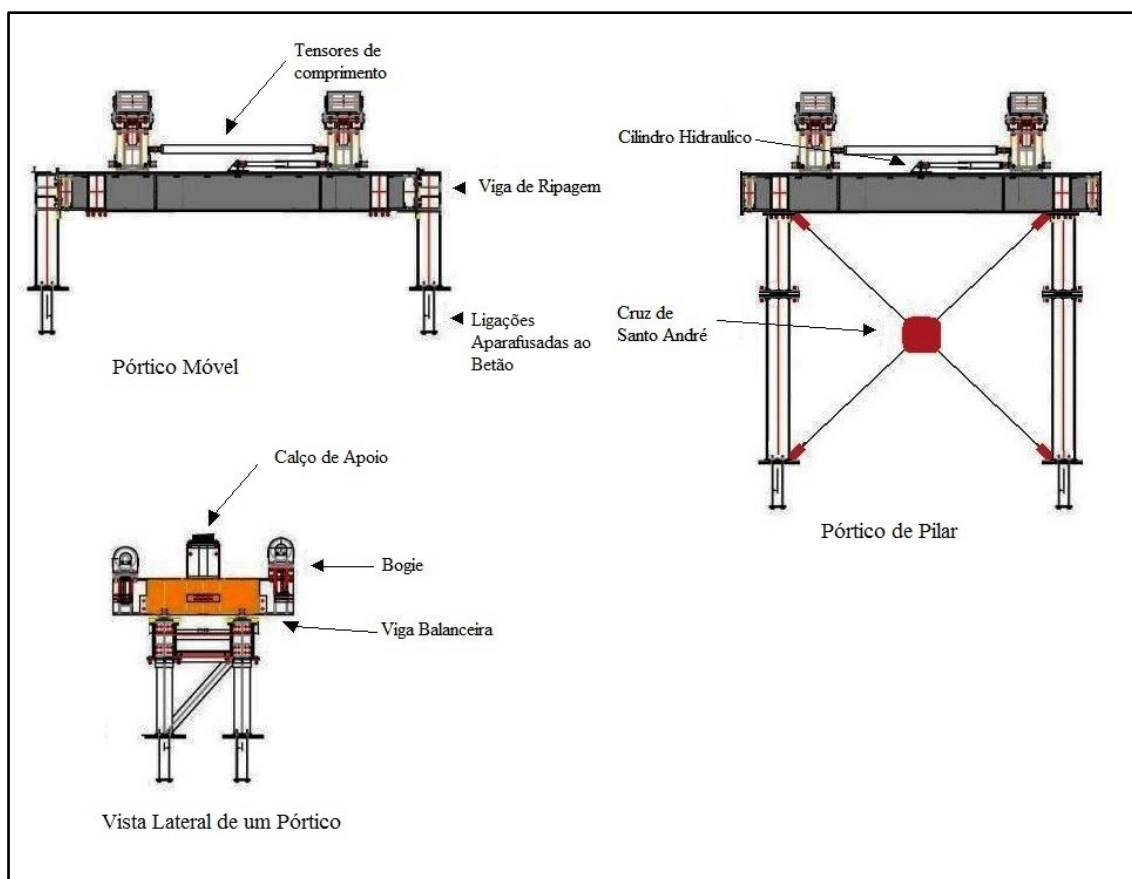


Figura 50 - Pórticos do cembre autolanzável e seus constituintes



Figura 51 - Pórtico móvel



Figura 52 - Pórtico de pilar

5.5.5 Sistema de avanços

O sistema de avanço é composto por um sistema de movimentação semiautomático hidráulico e por um sistema de segurança manual.

O sistema de movimentação é constituído por dois cilindros hidráulicos montados em linha e colocados em cima de um pórtico móvel localizado por cima das vigas de ripagem e entre as vigas balanceiras. Os dois macacos em linha traccionam alternadamente uma barra “macalloy” que se encontra montada longitudinalmente por baixo da viga principal e que é fixa nas suas extremidades, permitindo que a estrutura do cimbra avance. Para o avanço ocorrer, o cilindro tracciona a barra “macalloy”, movimentando a viga, e quando o êmbolo chega ao fim do seu curso, o cilindro de transferência segura apenas a viga enquanto que o êmbolo do cilindro de tracção recupera a sua posição. Nas Figura 53 e Figura 54 podemos visualizar esquematicamente os componentes deste sistema de movimentação.

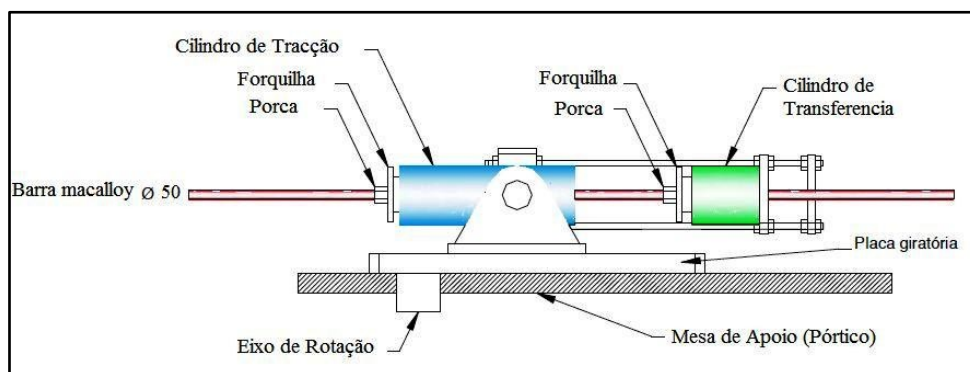


Figura 53 - Esquema do sistema de avanço

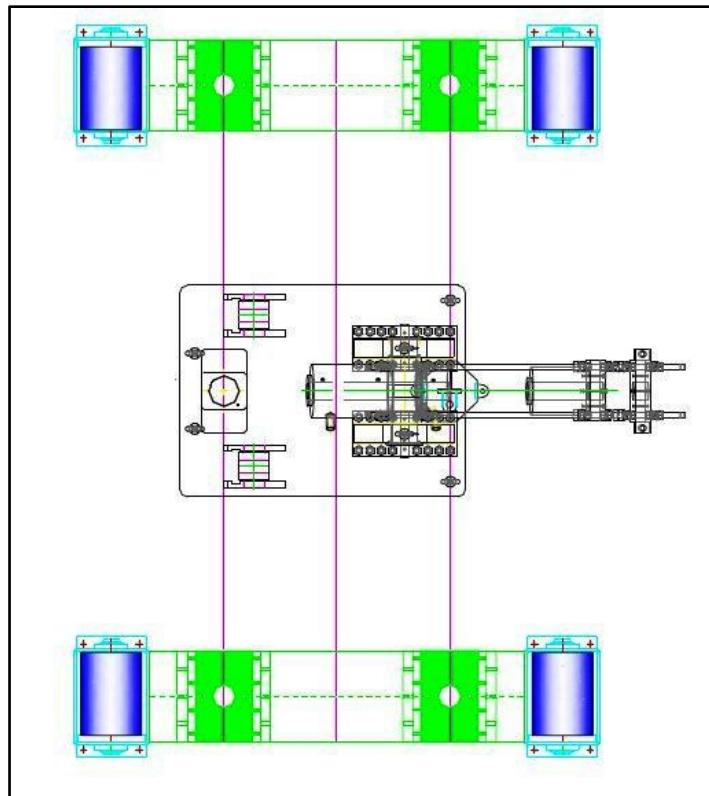


Figura 54- Vista em planta do sistema de movimentação e a sua posição relativamente ao pórtico

O sistema de segurança manual é montado paralelamente ao sistema de movimentação e é constituído por duas barras de “dywidags” montadas longitudinalmente, que passam por duas guilhotinas de bloqueio localizadas, uma de cada lado, dos macacos do sistema de movimentação. Cada guilhotina tem uma porca de segurança que serve para segurar a viga em caso de emergência e são accionadas manualmente. Enquanto a viga se movimenta, as porcas accionadas manualmente encontram-se com uma folga de 2 a 3 centímetros para que os “dywidags” não interfiram com o sistema principal, servindo apenas para bloqueio numa situação de emergência. Quando a viga está parada, as porcas ficam encostadas à guilhotina para que se o sistema principal falhar, a viga se mantenha bloqueada. Esta operação é fundamental quando o êmbolo do cilindro de tracção recupera a sua posição e a viga se encontra parada, mas apenas estabilizada pelo cilindro de transferência.

Nas imediações, entre as vigas de ripagem, as vigas balanceiras e a viga principal, existe uma plataforma de acesso dos trabalhadores ao sistema de movimentação, com as

convenientes guardas de segurança, e que lhes permite manobrar o sistema de avanço nas condições de acesso e de segurança necessárias (Figura 55).



Figura 55 - Plataforma do sistema de avanço para acesso a trabalhadores

5.6 Montagem do cembre autolanzável

A montagem dos componentes do cembre autolanzável é levada a cabo como um trabalho de estruturas metálicas, com recurso a trabalhadores qualificados para o efeito e com os meios técnicos necessários. Devem ser criadas portanto condições que permitam que se faça um plano, a pré-montagem, a montagem e a inspeção da estrutura após a montagem. Entre os meios técnicos mais relevantes salienta-se a necessidade de recurso a duas gruas móveis localizadas de cada lado da zona onde vai ser montada a viga de lançamento, que irão permitir a movimentação de peças de aço de grandes dimensões para a zona de montagem. A estrutura principal do cembre vai ser montada sobre um dos encontros (Figura 56) e as cofragens sobre o primeiro tramo do tabuleiro, tramo esse que é executado com recurso a um cembre ao solo. Só após a betonagem do primeiro tramo é possível ter todos os componentes da viga de lançamento devidamente montados.



Figura 56 - Montagem do cembre autolanzável sobre um dos encontros

5.6.1 Montagem da estrutura principal sobre os pórticos

Para se proceder à montagem da estrutura principal do cembre começa-se por montar os pórticos e as torres provisórias na zona de montagem no tradoz do encontro pelo qual se vai começar a execução do tabuleiro (Figura 57). Os pórticos e as torres vão servir de plataforma de apoio para a montagem da viga principal através da união de módulos recorrendo a ligações aparafusadas.

Os módulos são constituídos por peças de tamanho mais reduzido para permitir o seu transporte. Por esta razão, é necessário numa primeira fase proceder à sua pré-montagem. Nesta fase, o objectivo consiste na montagem de uma viga de 21 m de comprimento. Para isso, usam-se as torres provisórias colocadas a meia distância. É necessário estabilizar transversalmente as peças até que os contraventamentos das cordas superiores e inferiores da viga estejam montados.

De seguida, monta-se o módulo da parte traseira e antes da montagem do módulo da parte dianteira, pois estes são mais pesados.

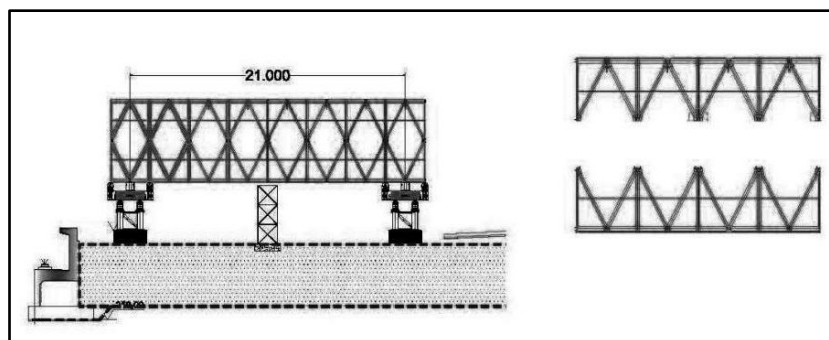


Figura 57 - Esquema da fase inicial de montagem da viga principal do cembre autolanzável

5.6.2 Recuo do cembre e continuação da montagem

Nesta fase, a viga do cembre encontra-se em fase de equilíbrio face aos apoios. É necessário recuar a viga 6 m para ser possível montar mais módulos na parte dianteira. Para que a viga possa recuar, é necessário instalar o sistema de movimentação longitudinal que irá movimentar o cembre. Os circuitos hidráulicos são ligados, o peso da viga é transferido dos calços de apoio para as rodas e a viga recua 6 m. De seguida e antes de se montar mais módulos, a viga volta a estar apoiada sobre os calços ficando assim numa posição de segurança. Monta-se o próximo módulo com cerca de 9 m da parte dianteira da viga e recua-se a viga mais 3 m. Repete-se este processo mais uma vez para montar mais um módulo de 9 m na parte posterior da viga do cembre tendo sempre atenção ao equilíbrio da viga em relação aos apoios. O esquema da sequência de montagem pode ser observado na Figura 58. Nesta fase, montam-se também os prolongamentos transversais e longitudinais da viga principal que vão servir para suspender as cofragens. De seguida, os restantes módulos da parte da frente e o nariz da viga também são montados. Monta-se também o pórtico do primeiro pilar, através de uma grua móvel com capacidade para içar o conjunto até ao topo do pilar, e tal como pode ser visualizado na Figura 59.

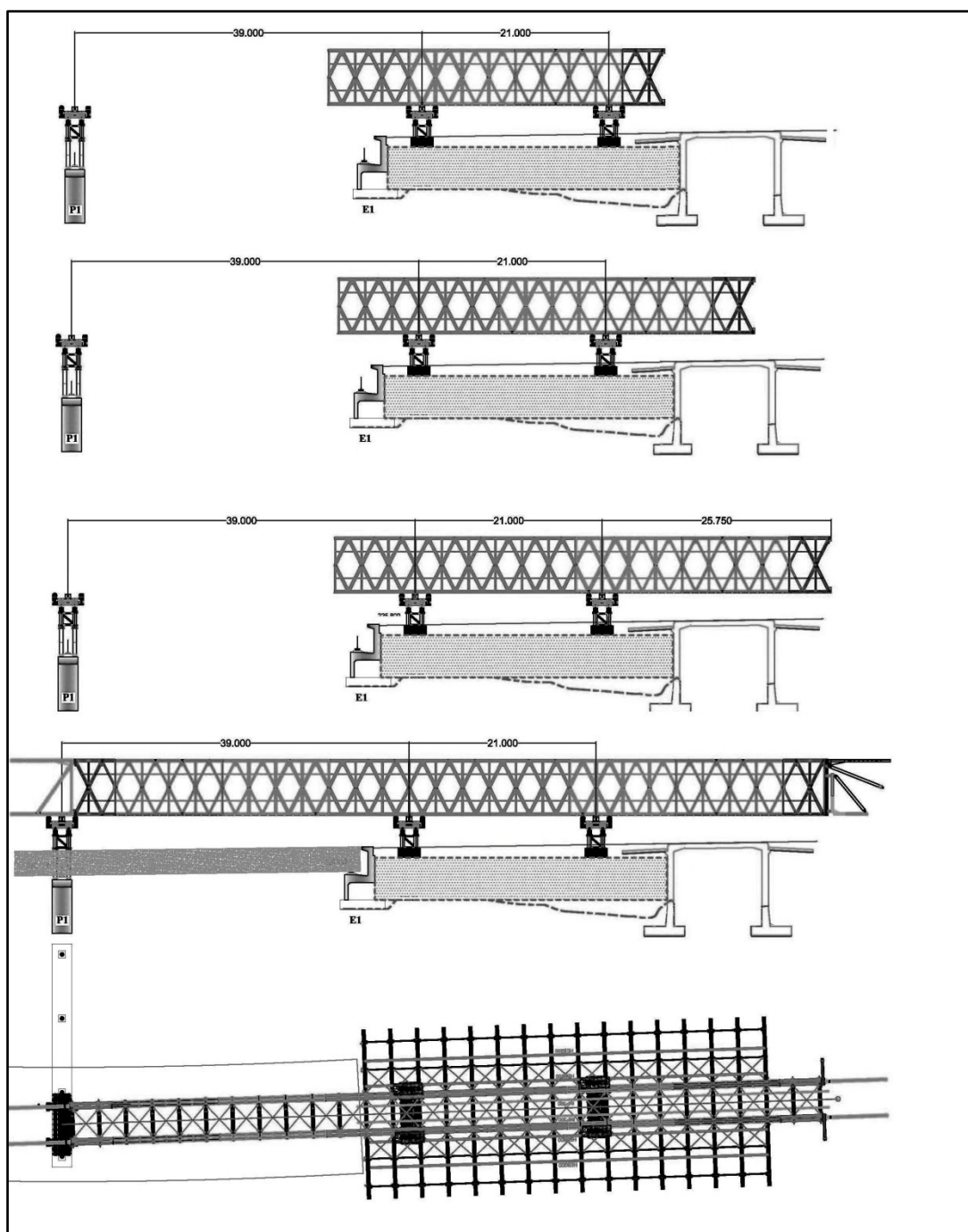


Figura 58 - Sequência de montagem da viga principal do cembre autolanzável

5.6.3 Montagem das cofragens e betonagem do 1º vão

As cofragens são apoiadas em cembre ao solo ao longo do primeiro vão. Nesta fase, ao todo montam-se 8 módulos de cofragem que permitem betonar o 1º tramo do tabuleiro (Figura 59). Após a betonagem, os módulos ficam presos ao tabuleiro através de barras “dywidags”, nos mesmos pontos onde seriam suspensas na viga principal. Avança-se a viga até à posição que seria de betonagem e procede-se à inclinação da viga para que

esta acompanhe a pendente do primeiro tabuleiro betonado, o que vai permitir passar a apoiar as cofragens na viga principal do cembre. Para isso as cofragens são unidas aos pendurais que estão apoiados nos braços da viga principal do cembre, passando assim todo o peso das cofragens para a viga principal, e de forma a poderem ser manobradas nos avanços seguintes. Como o primeiro tramo é mais curto, é necessário que nos avanços seguintes se faça uma paragem para que se possa acoplar os restantes módulos de cofragem (dois de cada lado) à viga principal. Neste momento, a viga de lançamento está pronta para a construção dos sucessivos tramos de forma cíclica.



Figura 59 - Construção do 1º tramo com recurso a cembre ao solo

5.7 Ciclo de betonagem do cembre autolanzável

5.7.1 Betonagem dos maciços provisórios

No dia seguinte à betonagem, é o 1º dia de mais um ciclo de betonagem. É necessário fazer os maciços provisórios que servirão para apoiar os pórticos móveis e o apoio traseiro da viga (Figura 60). Estes maciços de betão armado servem para permitir um apoio nivelado do cembre devido ao facto da existência de desnível transversal no tabuleiro. Este apoio nivelado do cembre consiste no uso dos pórticos e do apoio traseiro da estrutura principal. Para tal, é necessário que a equipa de topografia marque os pontos e as cotas para os maciços possam ser construídos e montam-se as armaduras do

maciço. Em cada tramo são construídos 18 maciços, sendo 9 de cada lado. Alguns destes maciços podem ser visualizados na Figura 61.



Figura 60 - Construção dos maciços de betão no tabuleiro



Figura 61 - Exemplo de maciços de betão ao longo do tabuleiro

5.7.2 Transferência do pórtico para o pilar seguinte

Ainda durante o 1º dia, começam-se a transferir as peças para se montar o pórtico de pilar no pilar livre seguinte. As peças a transferir são 4 montantes, contraventamentos dos montantes, 2 vigas de ripagem, 2 vigas balanceiras (com duas rodas cada) e a plataforma de trabalho interior. As peças do pórtico de pilar são transferidas desde o

tabuleiro (tramo anterior), através no “monorail” superior da viga principal que se encontra dentro do caixão onde rola um diferencial eléctrico, até à frente da viga que se encontra exactamente por cima do pilar livre. As primeiras peças a serem transferidas são os montantes que desde logo são apoiados no pilar e fixos através de uma ligação aparafusada a chumbadores que previamente foram embutidos no betão do capitel dos pilares para que as peças seguintes possam ser apoiadas nos montantes e assim sucessivamente. Para que as peças do pórtico possam ser transferidas para o capitel do pilar, é necessário que o nariz da frente da viga se encontre aberto para haver largura suficiente entre as duas peças do nariz, para as peças do pórtico poderem descer até ao pilar (Figura 62).



Figura 62 - Nariz aberto e montagem do pórtico de pilar

5.7.3 Aplicação de pré-esforço

No 2º dia, aplica-se o pré-esforço que convém ser aplicado cerca de 30 a 48 horas após a betonagem quando o betão já adquiriu a resistência necessária. As cargas de pré-esforço são aplicadas na junta de betonagem que se encontra livre na extremidade do tabuleiro. São aplicadas as cargas em 3 ancoragens (ancoragens activas) em cada viga longitudinal (Figura 63). Sendo que destas 3 ancoragens em cada viga longitudinal, duas são de continuidade. O pré-esforço consiste em aplicar um tensionamento aos cabos de pré-esforço através de um macaco de pré-esforço (Figura 64). Ao tencionar os cabos de pré-

esforço é medida a variação de comprimento dos mesmos. Essa variação pode diferir da variação teórica dos cabos no máximo 15%. Após a aplicação da tensão nos cabos, as ancoragens são seladas e procede-se à injeção de calda de cimento nas respectivas bainhas de pré-esforço.

A injeção de calda de cimento nas bainhas de pré-esforço vai permitir a protecção do aço contra a corrosão. Esta operação consiste em injectar a calda de cimento através de orifícios deixados nas respectivas bainhas, enquanto o ar das mesmas vai saindo por outros orifícios deixados nas zonas mais altas das bainhas, à medida que a calda vai entrando. Quando essas saídas de ar começarem a expelir calda de cimento são fechadas para permitir que a calda de cimento no interior das bainhas possa adquirir a pressão necessária e ocupe todos os espaços vazios.



Figura 63 - Ancoragens de pré-esforço localizadas na junta de betonagem [21]

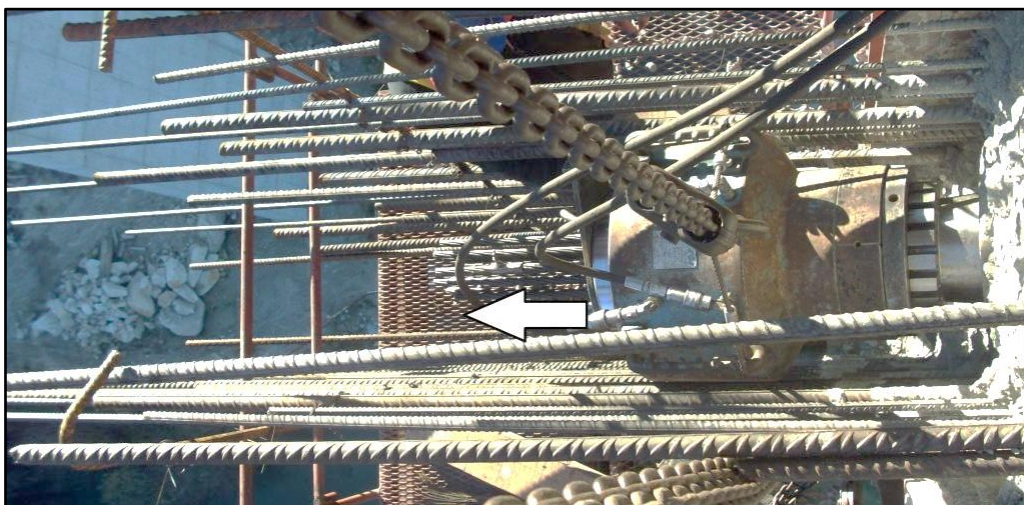


Figura 64 - Tensionamento dos cabos de pré-esforço

5.7.4 Transferência do sistema de avanço

Ainda ao longo do 2º dia, retiram-se os “dywidags” (barras de alta resistência) que suspendem a cofragem na zona central, ficando o conjunto ainda suspenso na viga principal do cimbra nos restantes “dywidags”. A retirada dos “dywidags” permite desobstruir a zona por onde vai passar o sistema de avanço. Após serem retirados os “dywidags”, a plataforma do sistema de puxe é transferida para o pórtico do pilar onde já foi feita a betonagem. Para isso, separa-se a plataforma da viga de ripagem do respectivo pórtico e esta fica suspensa através de 4 diferenciais que se deslocam nos 2 “monorails” centrais que se situam por baixo do caixão da viga. A plataforma é puxada para a frente através de um cabo de aço que é puxado por um guincho que está preso à viga principal, por baixo do caixão perto da frente da viga. A posição inicial e final do sistema de movimentação pode ser visualizada na Figura 65.

Paralelamente à transferência do sistema de movimentação, montam-se as armaduras dos guarda-corpos que vão ser aplicadas no próximo tramo. Essas armaduras são montadas em cima do tabuleiro nas zonas laterais, são elevadas através de diferenciais e ficam suspensas no cimbra durante o avanço da viga (Figura 65).



Figura 65 – Posicionamento do sistema de movimentação para o início do próximo avanço

5.7.5 Arriamento do cimbre autolançável

De seguida, retira-se a tensão aos “dywidags” que ainda se encontram tencionados dos 5 módulos da frente e ergue-se ligeiramente a viga no pórtico do pilar. Esta operação serve para retirar alguns calços de apoio (no apoio da frente) para que o cimbre possa baixar de cota (“arriar”) mas mantendo-se ainda apoiado nos respectivos pórticos e ainda em calços metálicos. Quando esta operação tiver terminado, repete-se o processo de arriamento mas para o pórtico de trás. A elevação e o arriamento do cimbre são efectuados através do recurso aos cilindros hidráulicos localizados na zona das rodas dos “bogies” dos pórticos. Todo este processo permite que o cimbre baixe de cota e também permite que as cofragens descolem do tabuleiro.

Paralelamente aos trabalhos descritos anteriormente durante este dia, termina-se a montagem do pórtico do pilar seguinte, de forma a estar pronto quando o cimbre puder avançar.

5.7.6 Abertura das cofragens

No terceiro dia, começa-se então a abrir os diferentes taipais da cofragem, começando pelos módulos da frente e sequencialmente para os de trás. À medida que se vão abrindo as cofragens, retiram-se os “dywidags” que sustentam a respectiva cofragem e que nunca estiveram em contacto com o betão devido a negativos deixados na laje do tabuleiro. Os diferentes módulos de cofragem são abertos por gravidade. Contudo, essa abertura é controlada por cabos de aço presos a cada extremidade da cofragem e que passam no tabuleiro pelos negativos deixados na zona central do tabuleiro. Na área destes negativos encontram-se também as ligações aparafusadas entre 4 blocos de cofragem (2 do lado direito e 2 do lado esquerdo consecutivas). Estas ligações aparafusadas têm de ser desaparafusadas para desunir os blocos de cofragem e para permitir que estes possam ser recolhidos de forma independente.

Os cabos de aço que permitem baixar as cofragens passam por um sistema de desmultiplicação com roldanas para que a força exercida nas cofragens seja dividida pelos dois pontos de elevação de cada bloco de cofragem. Através deste processo, a cofragem abre até ficar suspensa por gravidade. Para as abrir completamente, ou seja, para subir as cofragens do lado exterior do tabuleiro de forma a ficarem completamente recolhidas, utilizam-se cabos de aço presos a cada extremidade da cofragem (Figura 66).

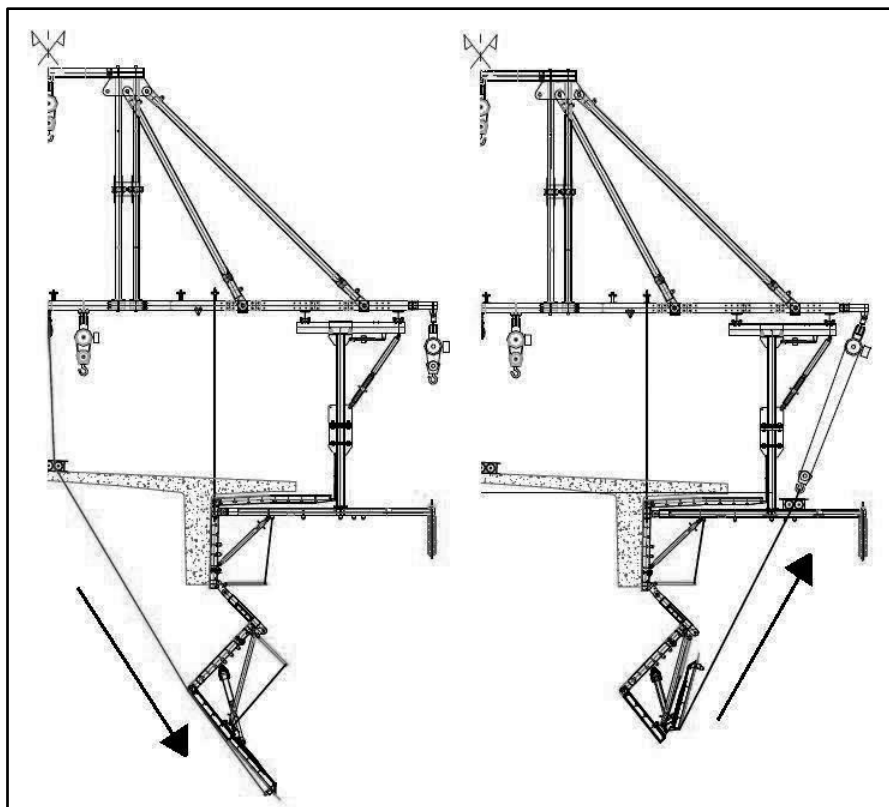


Figura 66 - Sequência de abertura das cofragens

Esses cabos estão unidos a uma barra que funciona tipo balança, para dividir a força pelas duas extremidades das cofragens, que por sua vez está ligada a um diferencial eléctrico, que se desloca nos “monorails” laterais da estrutura principal. Este processo é essencial para fazer com que as cofragens (que estão localizadas no lado do tabuleiro que se encontram entre os dois tabuleiros a construir, por cima do capitel) possam recolher totalmente. Só desta forma é que se conseguem passar por cima do capitel durante a fase de avanço (Figura 67). A cofragem do outro lado, da zona exterior ao capitel, apenas necessita de ser aberta parcialmente porque não atinge o capitel.

Esta operação termina após todos os blocos de cofragem estarem completamente abertos e ligeiramente afastados do eixo do tabuleiro através dos pendurais mecânicos, para que durante o avanço da viga, as mesmas não toquem no tabuleiro já betonado e para não provocar atritos prejudiciais à fase de avanço.



Figura 67 - Cofragem aberta e totalmente recolhida na proximidade do capitel

5.7.7 Início da fase de avanço do cimbra

No 4º dia, prepara-se o cimbra para avançar. O cimbra ainda se encontra apoiado nos pórticos usados durante a fase de betonagem e pretende-se avançar o pórtico traseiro para o cimbra poder avançar convenientemente. Para isso, é usado o apoio traseiro do cimbra autolançável. Este processo consiste em erguer a traseira do cimbra para ser possível rebater o apoio traseiro de forma a permitir que o peso do cimbra na retaguarda seja auto-equilibrado pelo referido apoio traseiro. Quando este estiver completamente rebatido, baixa-se a cota traseira do cimbra, que vai permitir a transferência das cargas traseiras da viga para o apoio traseiro do cimbra, que por sua vez fica apoiado em maciços de betão previamente construídos. Desta forma, o pórtico móvel, que estava a ser utilizado na extremidade do tramo anteriormente betonado, fica livre, e pode ser movimentado para uma zona mais à frente. O pórtico móvel é suspenso através dos “monorails” centrais e dos respectivos diferenciais, e é movimentado longitudinalmente através de um guincho que se encontra na zona inferior da viga principal do cimbra. Este pórtico avança apenas 9 m, local onde existem maciços de betão para apoiar o pórtico. Na Figura 68 e Figura 69 pode-se visualizar a transferência do pórtico móvel, a sua posição inicial e a sua posição final nesta fase, e o apoio traseiro a suportar as cargas.

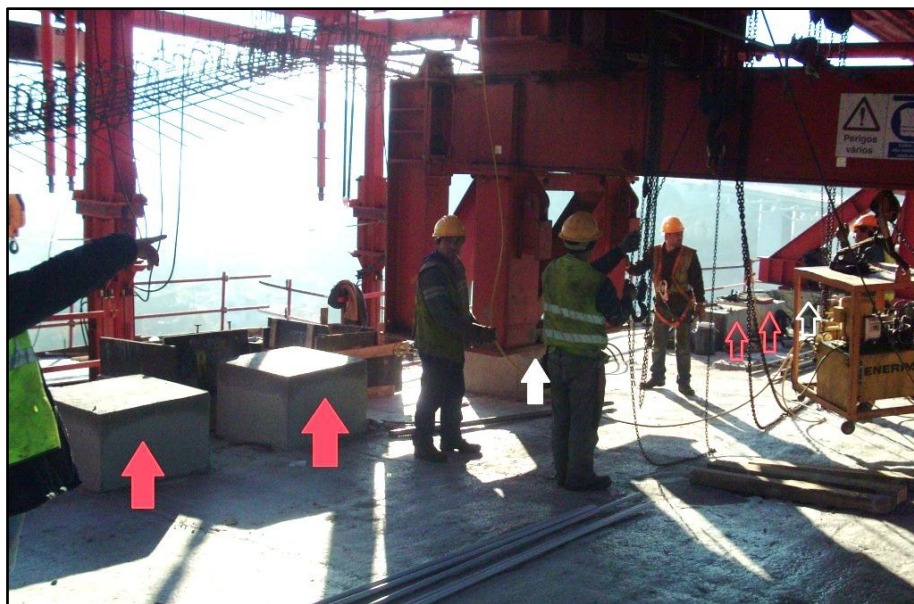


Figura 68 – Transferência do pórtico móvel; maciços para pórtico móvel (vermelho) e apoio traseiro (branco)



Figura 69 - Vista lateral da sequência de posicionamento do pórtico móvel (vermelho) e do apoio traseiro (branco)

Nesta altura, o pórtico móvel que acaba de ser apoiado nos maciços é ajustado de forma a atingir a estrutura do cimbra, provocando a sua elevação na zona traseira e passa a apoiar o cimbra através dos seus “bogies”. Desta forma, acontece uma transferência de cargas do apoio traseiro para o pórtico móvel. Efectua-se uma ripagem do cimbra que consiste em aplicar uma rotação na estrutura através dos cilindros hidráulicos dos pórticos. Esta rotação permite que o cimbra acompanhe o raio de curvatura do tabuleiro. Após a rotação, a viga avança 4,5 m por accionamento dos cilindros do sistema de

movimentação que se encontram no pórtico de pilar deste tramo, ou seja, numa zona dianteira do tabuleiro. Após este pequeno avanço, efectua-se novamente uma rotação e avança-se mais 4,5 m até o apoio traseiro atingir o pórtico móvel. Durante esta fase, o nariz metálico dianteiro começa a atingir o pórtico de pilar montado no pilar livre seguinte, mas ainda não se apoia nele.

Repete-se o processo anteriormente descrito, que consiste em transferir a carga traseira do cembre para o apoio traseiro, avanço do pórtico móvel mais 9 m, transferência da carga traseira para o pórtico móvel, avanço de 9 (4,5+4,5) m do cembre e respectivas rotações. Desta forma, o cembre avança mais 9 m e acompanha a directriz do tabuleiro através das rotações. Após o avanço de 18 m descrito, a estrutura do cembre deixa de estar apoiada no pórtico móvel traseiro e passa a estar apoiada na zona dianteira, no pórtico do pilar livre, e na retaguarda no pórtico de pilar. A partir do momento em que a estrutura do cembre está apoiada neste dois pórticos, esta avança consecutivamente mais 12 m enquanto vai sendo consecutivamente ripada. Esta rotação do cembre vai permitir que este fique centrado no pórtico do pilar livre. Desta forma e à medida que o cembre vai avançando, vai provocar um aumento de cargas no pórtico dianteiro, e ao ficar centrado com este, permite que as cargas sejam transmitidas para uma zona mais central do pilar livre que é uma situação mais favorável para este. A viga avança até o apoio traseiro chegar ao pórtico do pilar do tramo betonado. O início da sequência de avanço está esquematizado na Figura 70, onde é possível observar a utilização dos pórticos móveis e do apoio traseiro.

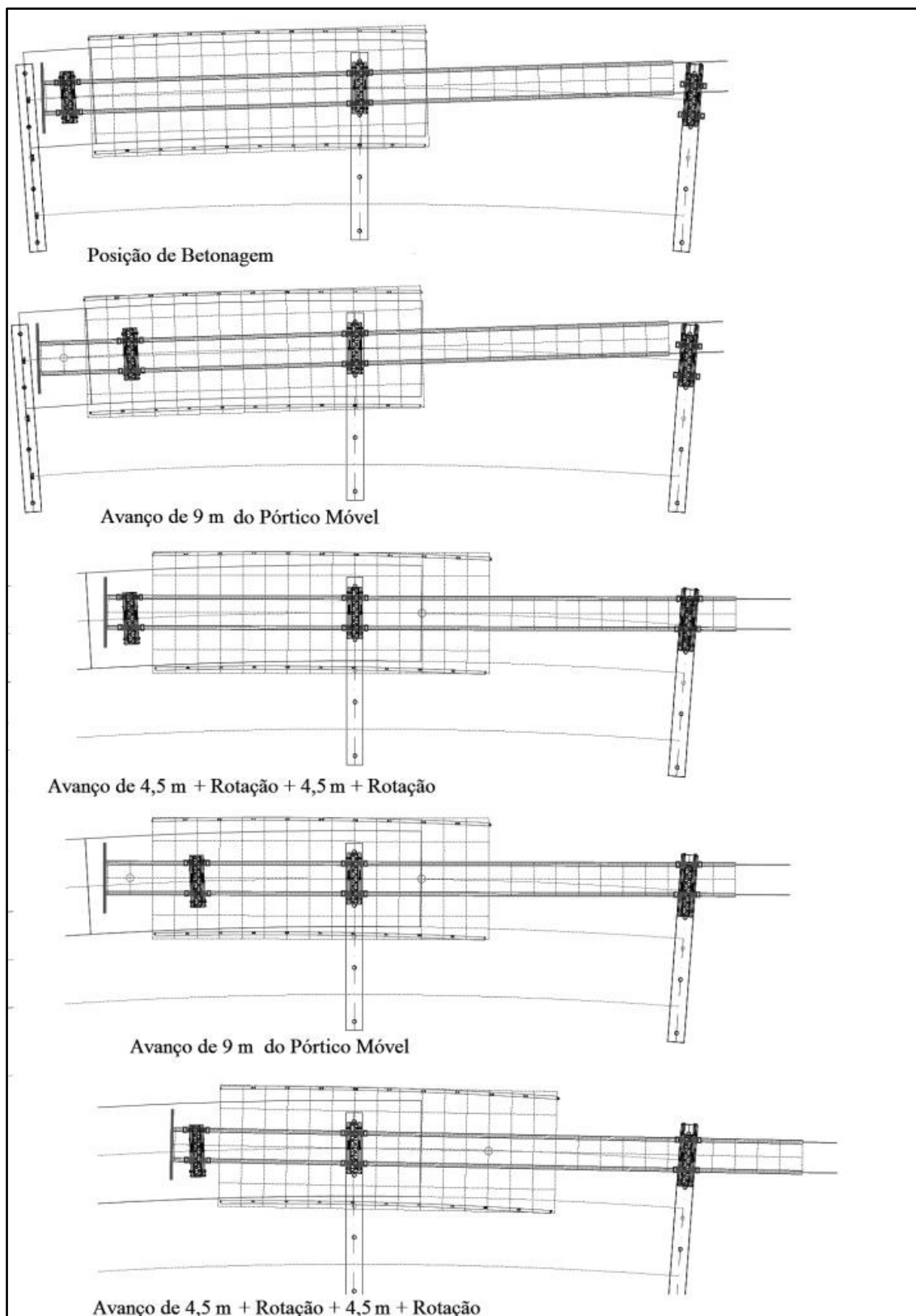


Figura 70 - Sequência de início da fase de avanço do cembre autolancável

Nesta fase, efectuam-se as sucessivas transferências de carga entre o pórtico de pilar e o apoio traseiro, através do accionamento do mesmo. Desta forma, parte do pórtico do pilar avança até aos últimos apoios provisórios que se encontram na extremidade do tabuleiro já betonado e em consola, constituindo o pórtico móvel que vai ser devidamente encastrado nos respectivos maciços de betão através de ligações aparafusadas. Assim, o pórtico móvel já se encontra na posição de betonagem e o cembre faz o seu último avanço deste ciclo até à posição de betonagem, quando todas as cofragens tiverem passado a parte de tabuleiro já betonado. Acerta-se o alinhamento lateral através da rotação do cembre nos respectivos pórticos de forma que este fique na posição correcta de betonagem. Sobe-se o cembre alguns centímetros para que as cofragens ao serem fechadas possam acompanhar o prolongamento do tabuleiro. Coloca-se a viga em segurança, que consiste em colocar a viga apoiada em calços em vez das rodas. Os taipais de cofragem ainda abertos são mecanicamente movidos alguns centímetros para o eixo do tramo através dos pendurais mecânicos e a fim de ficarem na posição certa para serem fechados. Na Figura 71 é possível observar todos apoios utilizados ao longo da fase de avanço do cembre. Na Figura 72, o esquema da fase final de avanço do cembre é apresentado.

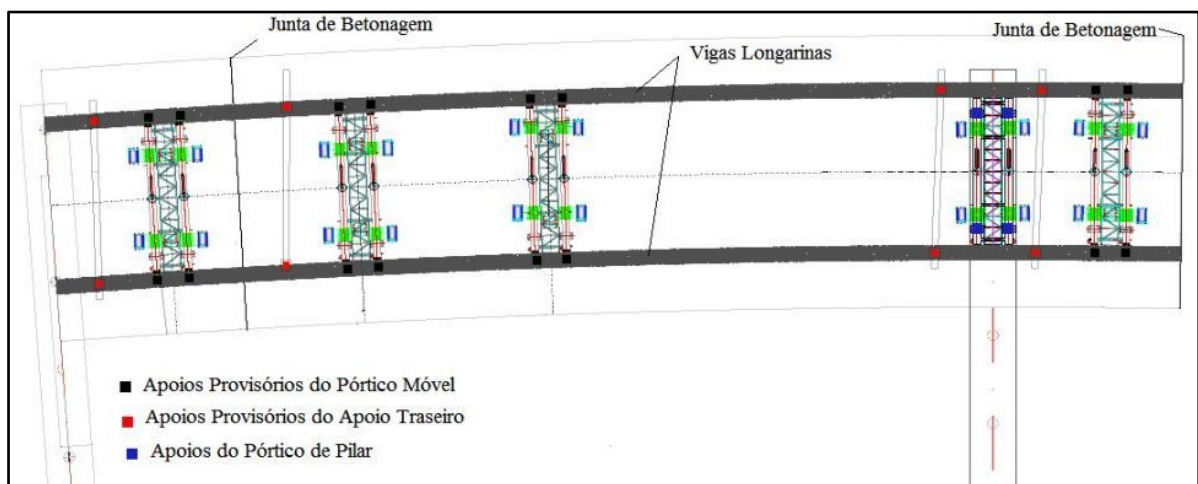


Figura 71 - Esquema dos apoios para o pórtico móvel, pórtico de pilar e apoio traseiro ao longo de um tramo

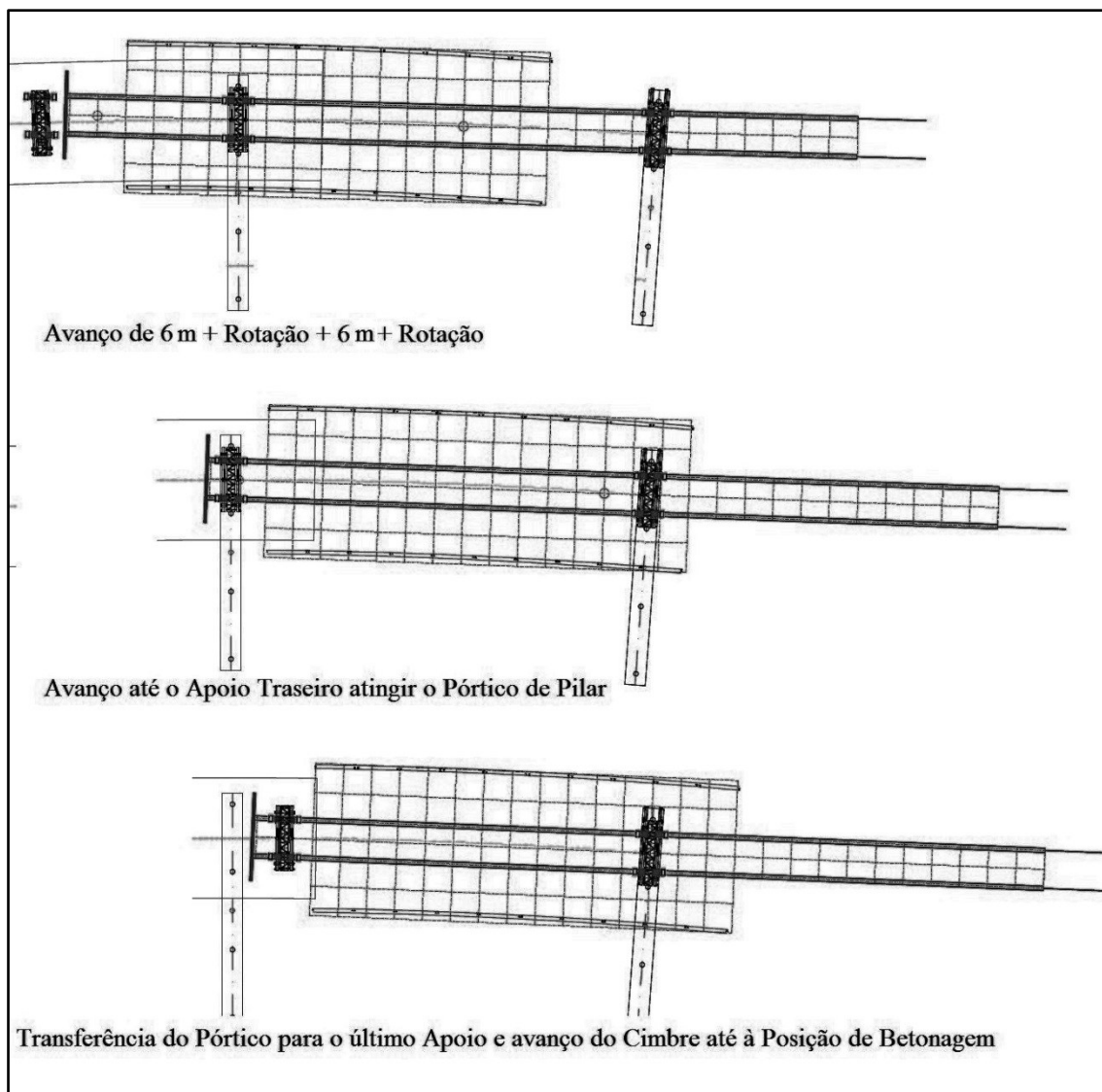


Figura 72 - Sequência final da fase de avanço do cembre autolanzável

5.7.8 Outros trabalhos

Durante o 4º e o 5º dia e paralelamente ao avanço do cembre, efectuam-se outros trabalhos no tabuleiro. Com o auxílio de uma grua, procede-se à desmontagem do pórtico móvel que ficou no tabuleiro com o objectivo de desobstruir o tabuleiro. Já com o tabuleiro desobstruído, betonam-se os negativos (do tramo betonado) deixados na zona central do tabuleiro pelas zonas de aparafusamento entre as cofragens esquerda e direita, e os negativos deixados pelos montantes do pórtico de pilar que atravessavam o tabuleiro para se apoiar no capitel do pilar.

5.7.9 Fecho das cofragens

No 6º dia do ciclo, começam-se a fechar as cofragens e que consiste em baixá-las da zona exterior do tabuleiro através do diferencial eléctrico, e de as subir na zona central através de um guincho eléctrico. Este processo é desencadeado de forma inversa à abertura das cofragens como explicado anteriormente. Logo, são fechadas por ordem e de forma sequencial (de trás para a frente), Figura 73. Os blocos de cofragem, ao todo 20 (10 de cada lado) são fechados (um de cada vez), Figura 74.

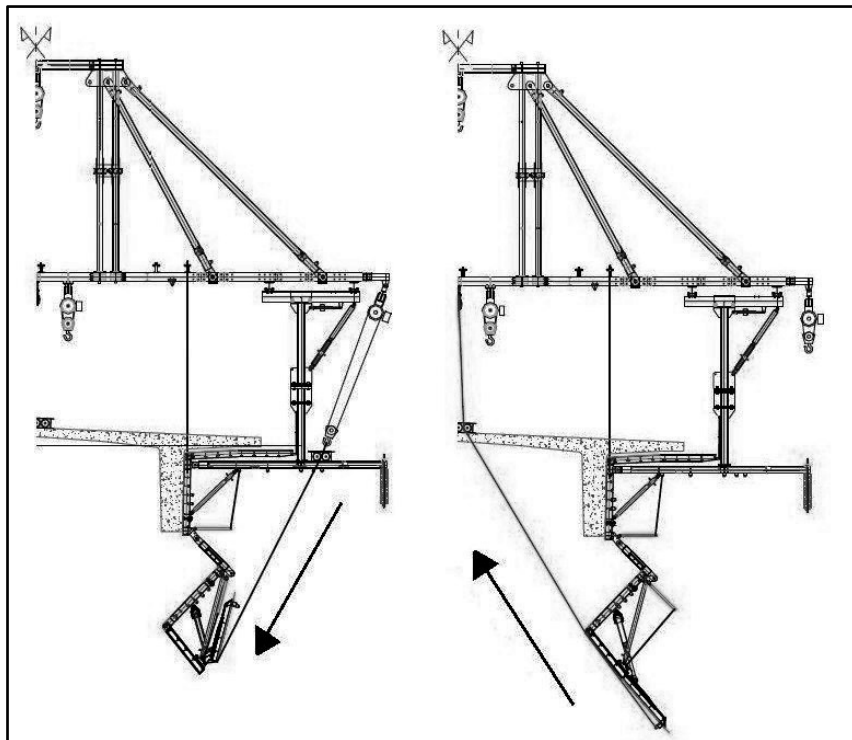


Figura 73 - Sequência de fecho das cofragens



Figura 74 - Fecho dos blocos de cofragem de forma sequencial

Quando já tiverem sido fechados entre 5 a 6 módulos de cofragem (6 taipais de cada lado) nivela-se e ajusta-se a posição de cada bloco de cofragem através dos pendurais mecânicos. A correcta posição das cofragens é ajustada com a ajuda de uma equipa de topografia. À medida que se vão ajustando as cofragens na sua posição correcta, vão-se instalando e tencionando os “dywidags”, que são suportar a cofragem verticalmente à viga principal do cimbre e as ligações aparafusadas que ligam 4 blocos de cofragem na zona central, que fazem que o conjunto das cofragens fiquem ligados como um único bloco (mono-bloco). Em cada “dywidags” é colocado um negativo de PVC para que essas barras não entrem em contacto com o betão e possam mais tarde ser livremente retiradas (Figura 75). De seguida, começa-se a soldar as uniões entre módulos de cofragem de forma que o tabuleiro, depois de betonado, fique regular e evite eventuais perdas de betão. Quando todos os blocos de cofragem estiverem fechados e na sua correcta posição de betonagem, aplica-se a cofragem de madeira na zona do pilar, enquanto se soldam todas as uniões dos restantes blocos de cofragem.



Figura 75 - Fecho das cofragens; união das cofragens consecutivas (zona central);
instalação dos “dywidags” e dos respectivos negativos

No final do processo de fecho das cofragens, acoplam-se os tensores dos respectivos pendurais que permitem bloquear e reforçar o conjunto (Figura 76). Já com os tensores dos pendurais acoplados, procede-se à introdução de contraflechas na estrutura. A introdução de contraflechas é feita fazendo variar o comprimento dos pendurais que sustentam a zona lateral das cofragens. A introdução de contraflechas tem como

objectivo assegurar a correcta curvatura vertical do tabuleiro, compensando as deformações elásticas provocadas pelo peso próprio do cimbra e pelo peso próprio do betão fresco.



Figura 76 - Tensores acoplados nos respectivos pendurais (direita)

5.7.10 Montagem das Armaduras do Tabuleiro

O processo de montagem das armaduras do tabuleiro começa quando já estão fechados cerca de metade dos blocos de cofragem. Desta forma é possível montar as armaduras no início do tramo enquanto se fecham os blocos de cofragem no fim do tramo.

Durante o processo de montagem das armaduras do tabuleiro, procede-se à montagem das armaduras dos guarda-corpos, que já tinham sido montadas anteriormente, e que se encontravam suspensas na viga principal do cimbra, na zona lateral, para dar continuidade às armaduras do tabuleiro já construído.

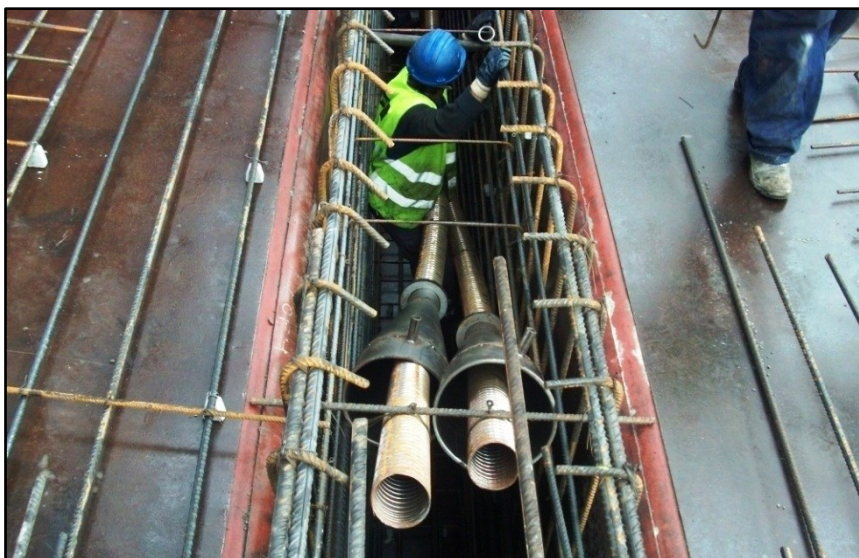


Figura 77 - Montagem das bainhas de pré-esforço dentro das vigas longarinas

Paralelamente com a colocação de armaduras, vão se instalando as bainhas do pré-esforço na sua posição correcta, na zona interior das vigas longarinas do tabuleiro, no tramo a betonar (Figura 77). Antes que as armaduras das vigas longarinas fiquem completas, introduzem-se os cordões de pré-esforço nas respectivas bainhas e acoplados às respectivas ancoragens, de forma que nos dias seguintes à betonagem se possa aplicar o pré-esforço (Figura 78).

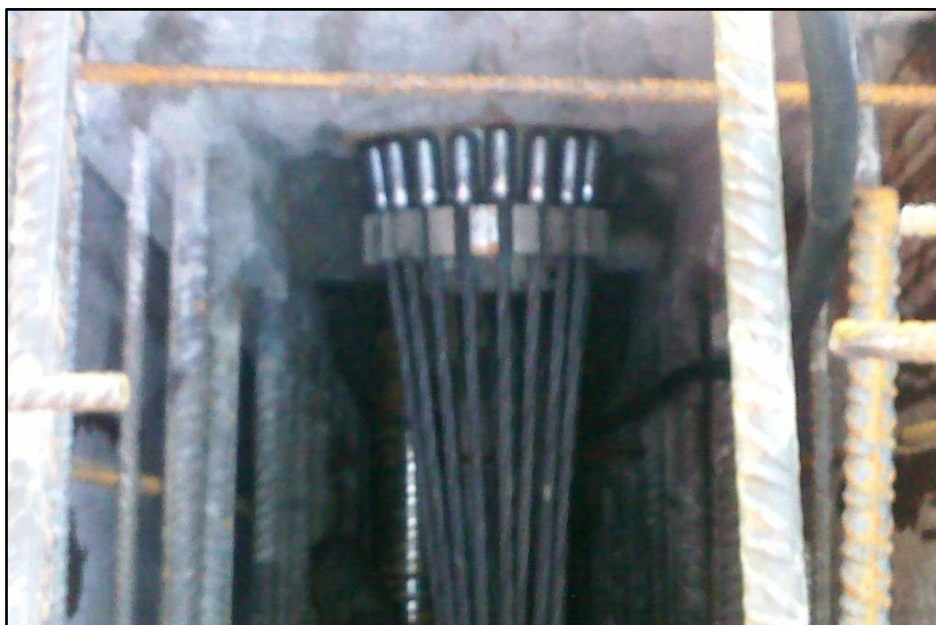


Figura 78 - Montagem dos cabos de pré-esforço das ancoragens de continuidade
(ancoragens passivas)

Ainda nesta fase, instalam-se as cofragens laterais que são uns topos de madeira que vão permitir a moldagem da espessura do tabuleiro. Até ao final do 9º dia, todos os trabalhos precedentes à betonagem têm de ficar concluídos para que no dia seguinte, dia da betonagem, a mesma possa decorrer sem atrasos (Figura 79).



Figura 79 - Vista geral do tabuleiro na fase final da montagem das armaduras

5.7.10.1 Traçado das bainhas de pré-esforço

O traçado das bainhas de pré-esforço, onde vão ser instalados os cabos de pré-esforço, para posterior aplicação das cargas de pré-esforço, respeita o diagrama de momentos flectores. As cargas de pré-esforço visam aumentar a resistência das secções aos esforços de tracção, evitando a fendilhação das mesmas. O pré-esforço aplicado é de pós-tensão com aderência, com cabos de 19 cordões.

Resumidamente, o traçado do pré-esforço consiste em percorrer a zona superior das vigas longarinas na zona dos pilares e a zona inferior na zona a meio vão. Existem ao longo do tabuleiro 2 cabos contínuos em cada viga longarina que percorrem todo o tabuleiro que são acoplados e tencionados em cada tramo. Também existe um cabo que é montado antes de cada pilar (ancoragem passiva) até à junta de betonagem do pilar seguinte (ancoragem activa). Desta forma, acompanham o diagrama de momentos flectores 4 cabos de pré-esforço na zona do pilar e 3 cabos de pré-esforço na zona do vão.

Ao longo de cada tramo, o pré-esforço de continuidade é feito através de cabos que vão ser acoplados aos cabos de pré-esforço provenientes do tramo anterior, na zona da junta de betonagem. A continuidade dos cabos de pré-esforço é feita através da instalação de cilindros nas pontas dos novos cabos para poderem ser acoplados às cabeças das ancoragens de continuidade do tramo anterior. Os cabos que não são contínuos, são montados através de bainhas passivas e são tencionados na junta de betonagem, na ancoragem activa no pilar seguinte ao pilar da respetiva ancoragem passiva.

Nas Figuras Figura 80 a Figura 82 é possível visualizar o esquema de traçado dos cabos de pré-esforço para um pilar N, para a zona do vão e para um pilar N+1. Por sua vez, na Figura 83 pode-se visualizar as ancoragens do pré-esforço em duas secções do tabuleiro.

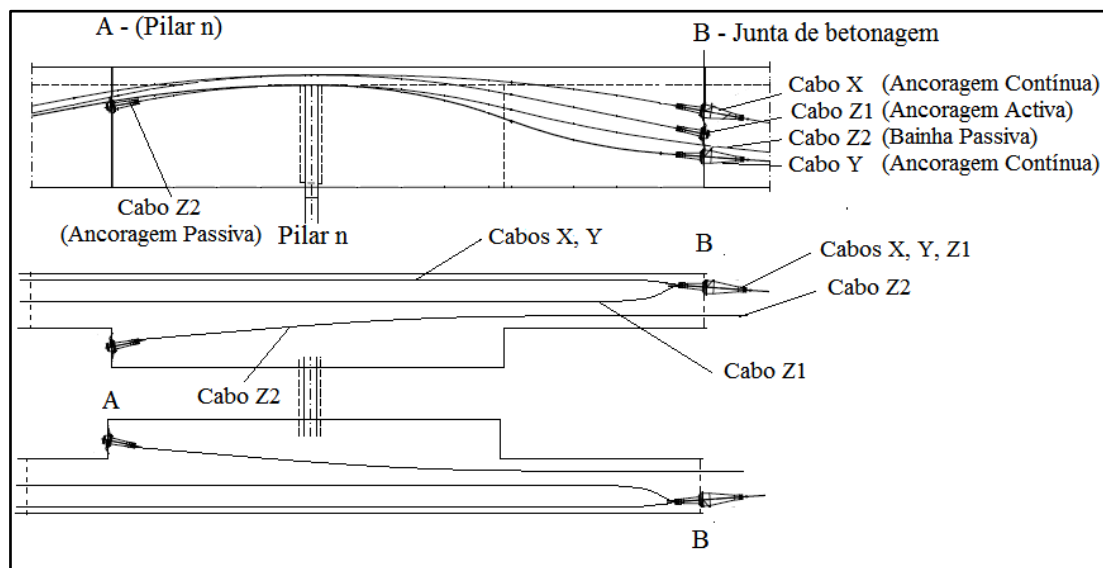


Figura 80 - Corte longitudinal (em cima) e planta (em baixo) do traçado dos cabos de pré-esforço no pilar N

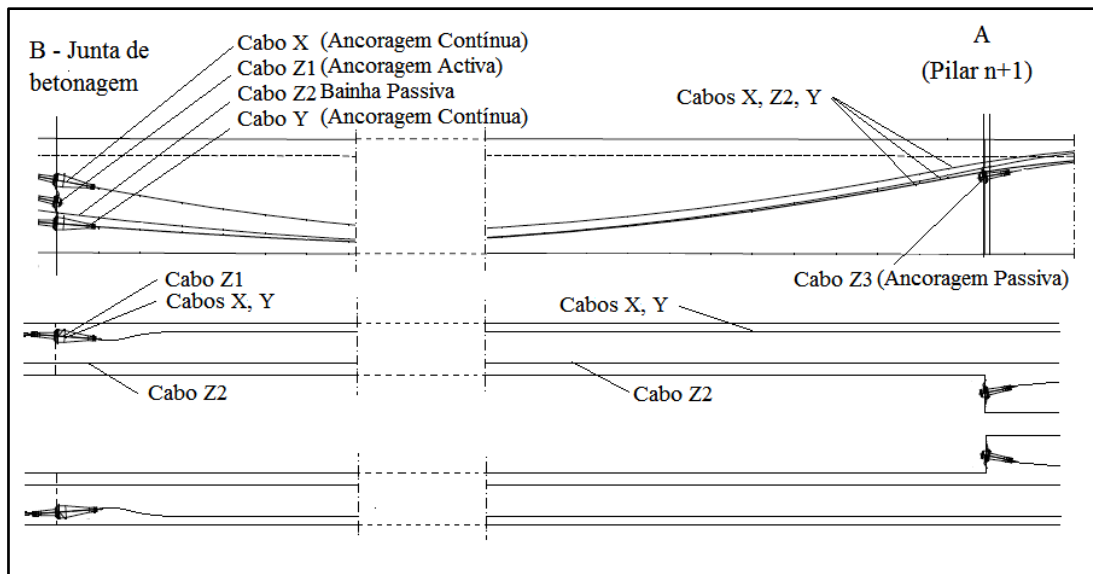


Figura 81 - Corte longitudinal (em cima) e planta (em baixo) do traçado dos cabos de pré-esforço entre a junta de betonagem e o pilar N+1

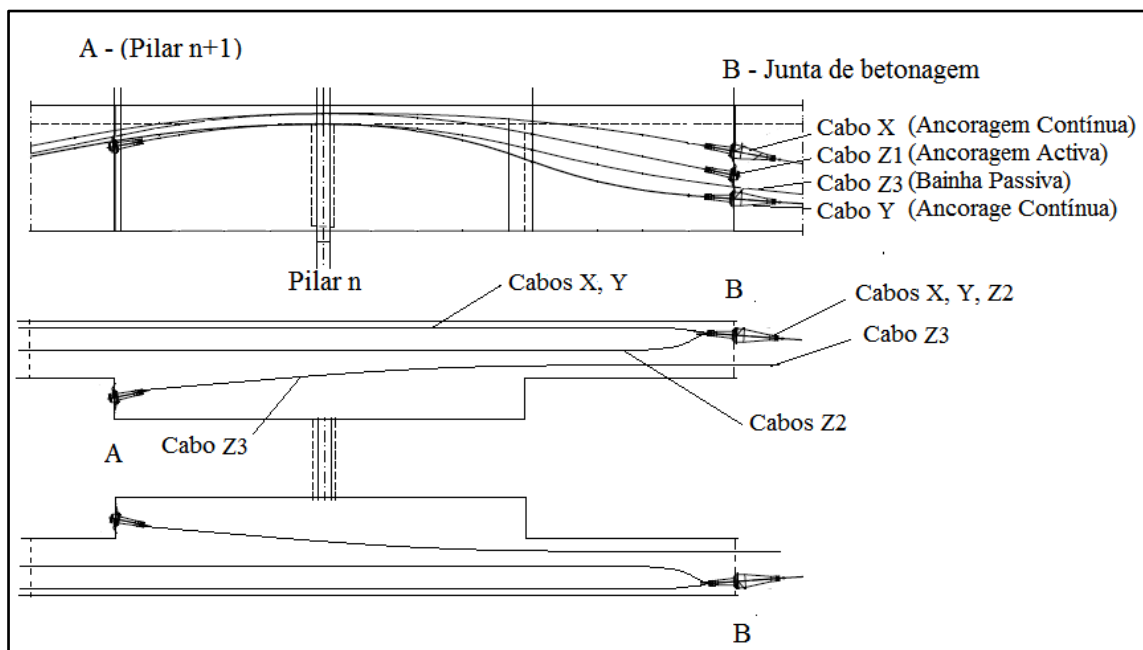


Figura 82 - Corte longitudinal e planta do traçado dos cabos de pré-esforço na zona do pilar N+1

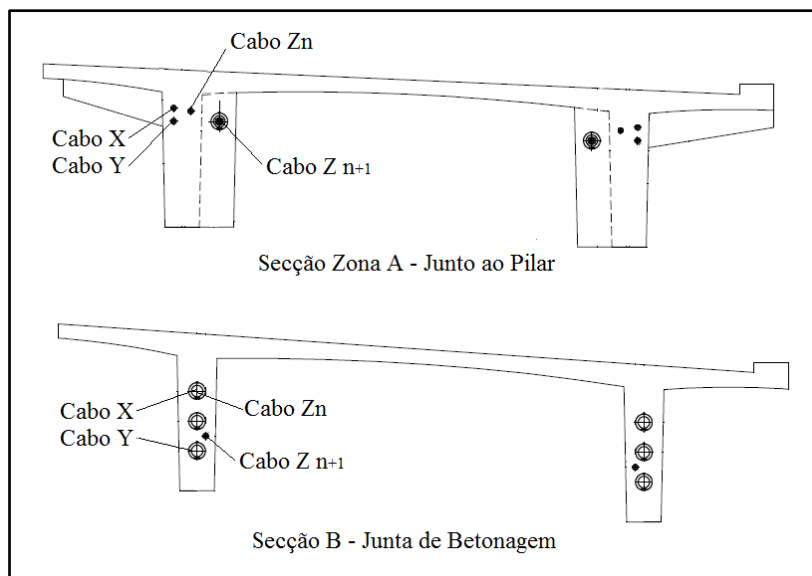


Figura 83 - Cortes transversais relativos às ancoragens e aos cabos de pré-esforço

5.7.11 Betonagem do Tabuleiro

O 10º dia do ciclo corresponde ao dia de betonagem. Se tiverem ocorrido atrasos nos trabalhos precedentes à betonagem estes têm de ser finalizados o mais rápido possível para se poder betonar e dado que esta operação demora o dia todo. Unem-se os tubos de betonagem para levar o betão para a frente do tramo a betonar. Estes tubos têm um diâmetro de 125 mm, e, na ponta, têm um redutor para 115 m com um tubo flexível para facilitar o processo aos operadores (Figura 84).



Figura 84 - Betonagem e vibração do betão

A betonagem é iniciada da frente do tramo para trás, ou seja, a betonagem começa na zona do pilar. Os carros de betão vão sendo descarregados alternadamente à esquerda e à direita do tabuleiro, dando preferência à zona lateral do tabuleiro localizada na zona mais central em relação ao capitel e ao respectivo pilar, para que a carga provocada pelo betão fresco se torne mais favorável para o pilar. Durante toda a betonagem, o betão tem de ser conveniente vibrado através de vários vibradores. Para sarrafar o betão, usa-se uma régua vibratória que permite cobrir uma maior área. Após passar a régua vibratória, é necessário aplicar uma membrana protectora para evitar que o betão perca a humidade e fendilhe (Figura 85). Durante a betonagem é necessário deixar negativos no tabuleiro para a drenagem e para a montagem de guarda-corpos no respectivo tramo.

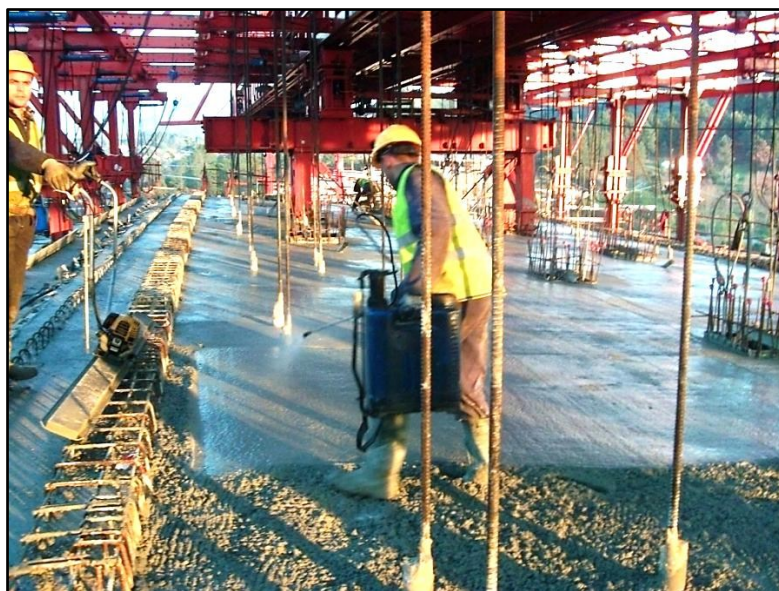


Figura 85 - Fase de betonagem; uso de régua vibratória para sarrafar o betão; aplicação de membrana protectora do betão

5.8 Transferência do Cimbra de Tabuleiro

No final da construção do tabuleiro do extradorso é necessário fazer a transferência do cimbra para o tabuleiro do intradorso. Resumidamente, esta operação consiste em executar algumas alterações no cimbra de modo a que este possa ser usado no tabuleiro do intradorso, numa posição invertida face ao extradorso. Para tal, é necessário inverter as posições do nariz, do apoio traseiro e dos braços da viga principal do cimbra que sustentam os pendurais mecânicos e que, por sua vez, sustentam as cofragens. A estrutura principal do cimbra mantém-se na mesma posição devido ao facto desta ser simétrica.

5.8.1 Último avanço no tabuleiro do extradorso

Após a betonagem do último tramo do tabuleiro do extradorso apenas se encontram montadas 7 blocos de cofragem de cada lado do cimbra. Os restantes blocos de cofragem já foram desmontados anteriormente pelo facto do último tramo ser mais curto. As cofragens que ainda se encontram no cimbra são desmontadas através da desunião com os pendurais mecânicos e ficam na zona inferior do tabuleiro perto do respectivo encontro (Figura 86). As cofragens permanecem desmontadas até que a estrutura do cimbra esteja posicionada no tabuleiro do intradorso e pronta para avançar. A desmontagem das cofragens é necessária porque os pendurais mecânicos (onde estas se encontram suspensas) e os próprios braços do cimbra têm de mudar de posição (para uma posição invertida). Esta operação permite inverter o cimbra de modo a avançar em sentido contrário. Em relação às cofragens, estas só podem voltar a ser montadas após a fase de transferência do cimbra, pois a posição das cofragens (inferior em relação ao tabuleiro) impossibilitaria o movimento transversal do cimbra.

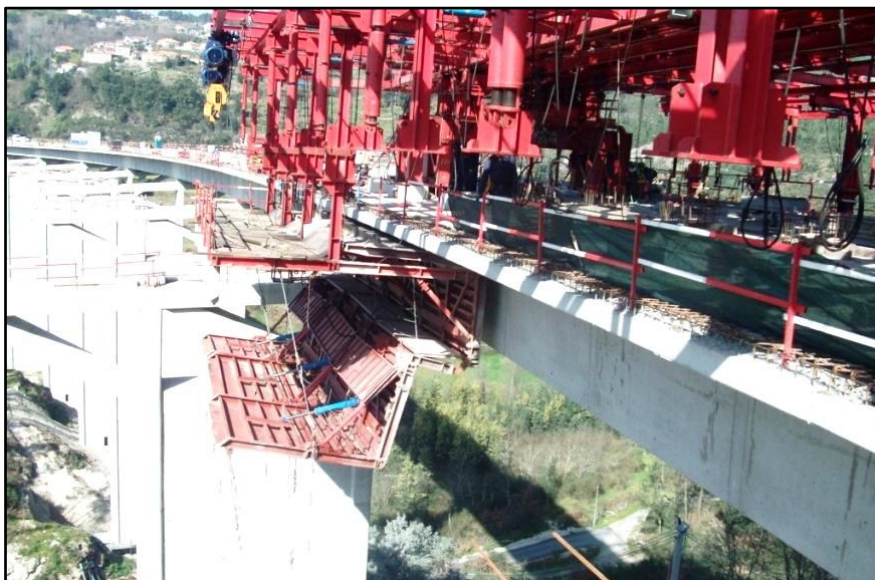


Figura 86 - Desmontagem sequencial das cofragens [21]

Depois de desmontadas as cofragens e devidamente acondicionadas, é necessário aproximar a estrutura do cimbra do eixo do tabuleiro. Nesta fase, o cimbra encontra-se apoiado nos pórticos móveis e é aproximado do eixo do tabuleiro através da acção dos cilindros hidráulicos dos respectivos pórticos. Esta ripagem do cimbra vai possibilitar que numa fase seguinte este possa atingir os pórticos que vão ser usados para a total

ripagem do cembre. Nesta posição, o cembre avança, deixando o tabuleiro e ficando na zona do encontro, apoiado em pórticos móveis.

5.8.2 Desmontagem e montagem de elementos do cembre

Antes de se dar início ao processo de ripagem do cembre é necessário efectuar mudanças de posição de vários elementos do cembre e que vai permitir que este funcione de forma inversa para a construção do tabuleiro do intradorso.

Começa-se por desmontar a estrutura do nariz da viga principal e o apoio traseiro. Após o apoio traseiro estar desmontado, pode-se montar o nariz na nova posição. De seguida monta-se a estrutura do apoio traseiro onde antes se encontrava o nariz (Figura 87). A montagem do apoio traseiro na sua nova posição é fundamental para o processo de ripagem, e tal como vai ser explicado mais à frente.



Figura 87 - Troca de posição do nariz e do apoio traseiro

Para a estrutura principal do cembre estar montada na posição invertida, é necessário desmontar os respectivos braços e pendurais mecânicos para se poderem montar nas novas posição. Estas estruturas estavam montadas na retaguarda do cembre para a construção do primeiro tabuleiro. Portanto, têm que ser montados do lado inverso. São desmontadas e montadas alternadamente, de cada lado do cembre, para permitir que a estrutura do cembre se mantenha em equilíbrio.

5.8.3 Ripagem do cembre

A ripagem do cembre para a construção do tabuleiro do intradorso é feita através da construção de vários lintéis de betão armado, na zona do encontro e que permitem o apoio dos pórticos móveis e das vigas que vão permitir a ripagem do cembre. São necessários dois lintéis, de cada lado, para apoiar os pórticos móveis no final do avanço e, posteriormente, os mesmos pórticos móveis para o início do avanço no alinhamento correcto para o próximo tabuleiro (Figura 88). Também são construídos mais dois lintéis que abrangem toda a largura de ripagem do cembre, que vão permitir a construção de pilares em betão armado, que vão apoiar as vigas de ripagem ligadas de forma contínua, onde vão deslizar uns “bogies” que vão permitir apoiar e ripar o cembre na totalidade da largura (Figura 89).

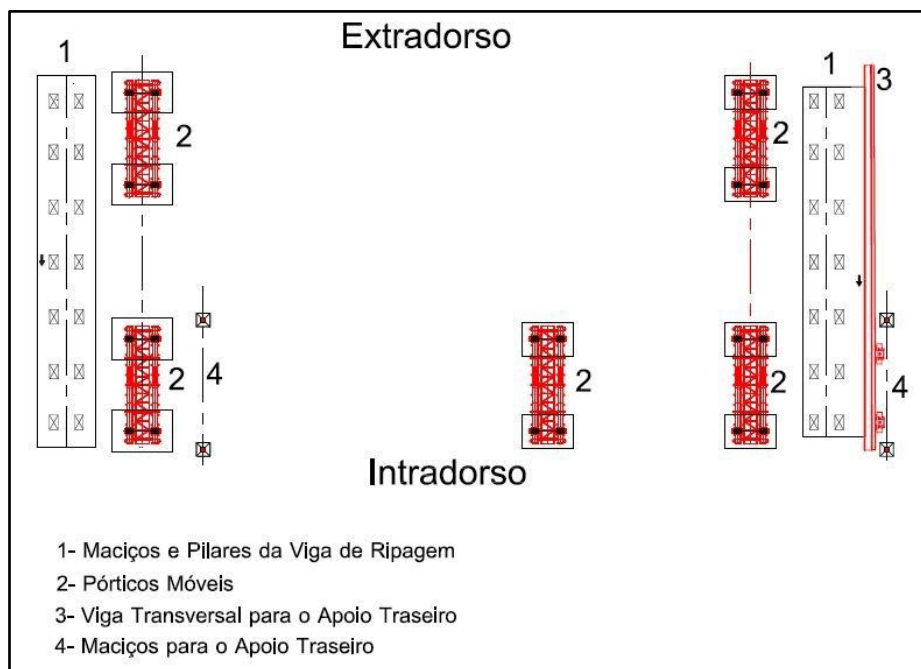


Figura 88 - Esquema relativo aos apoios utilizados para a ripagem do cembre autolancável

Até ao final do lançamento longitudinal do cembre, este avança e apoia-se nos pórticos móveis que estão apoiados nos lintéis construídos. Após esta fase, é necessário fazer a transferência dos pórticos móveis para a viga de ripagem. Para isso, baixa-se a cota nos pórticos móveis que vão permitir que o cembre se apoie nas vigas de ripagem (Figura 92). De seguida, os pórticos suspendem-se no cembre durante toda a fase de ripagem para poderem ser utilizados no final deste processo, durante o avanço para o tabuleiro do intradorso.

O cembre é ripado com uma ligeira inclinação longitudinal (Figura 90), e para o correcto travamento do mesmo, é instalada uma outra viga transversal nos lintéis mais afastados do encontro. Nessa viga transversal, apoia-se o apoio traseiro que vai travar o cembre longitudinalmente e vai deslizar transversalmente através da instalação de rodas entre o apoio traseiro e a viga transversal (Figura 92).

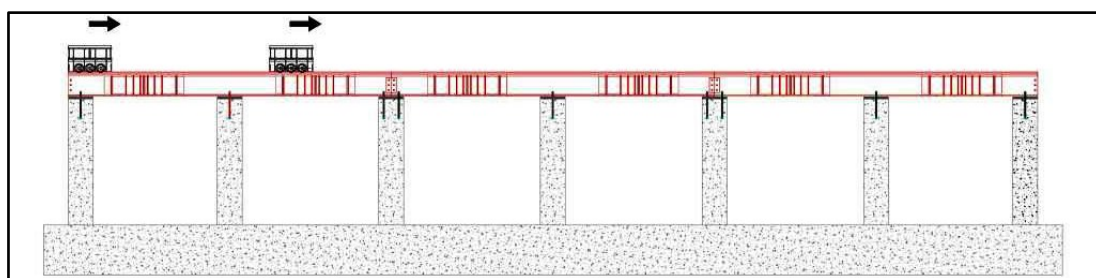


Figura 89 - Corte transversal da viga de ripagem, pilares e “bogies”

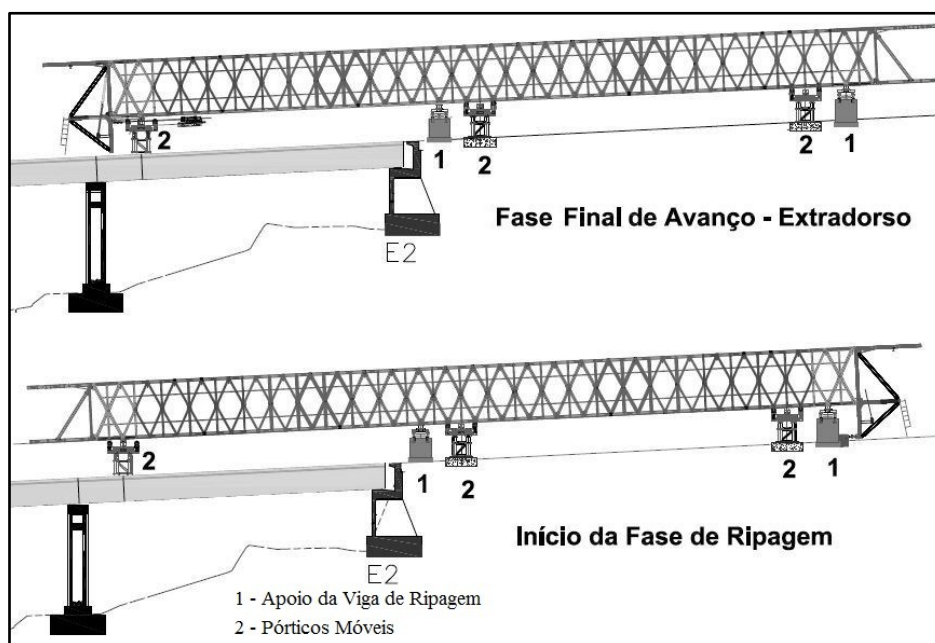


Figura 90 - Corte longitudinal da fase final de avanço e da fase inicial ripagem

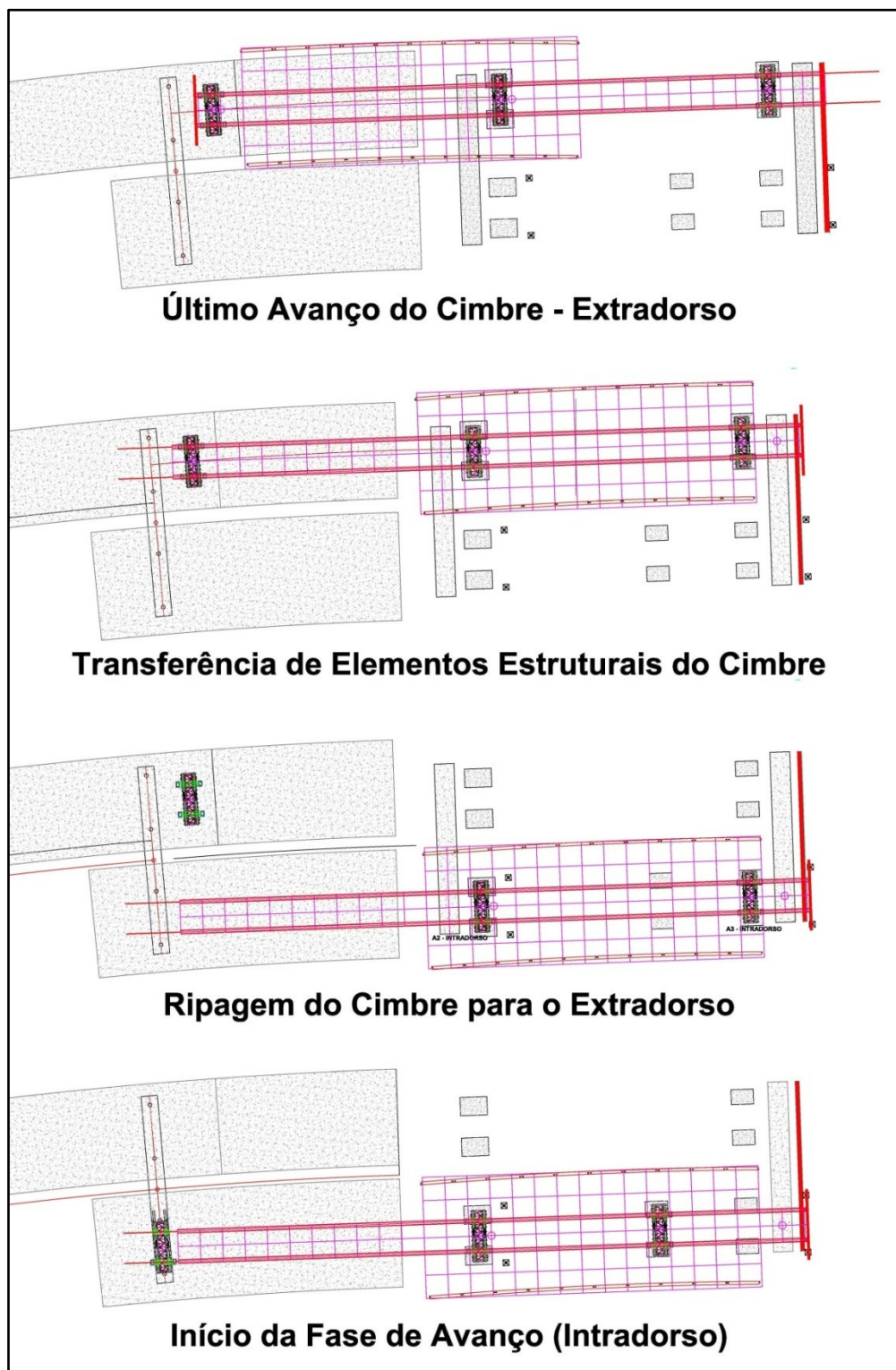


Figura 91 - Sequência do processo de transferência do cimbra autolanzável (vista em planta)



Figura 92 - Rodas do apoio traseiro a deslizar na viga transversal (esquerda);
deslizamento dos “bogies” na viga de ripagem (direita)



Figura 93 - Cilindros hidráulicos e ripagem do cimbre autolanzável



Figura 94 - Vista geral do cimbre autolanzável durante a fase de ripagem

O deslocamento transversal do cimbra é feito através do accionamento de pares de cilindros hidráulicos montados nas vigas de ripagem (Figura 93). Estes cilindros hidráulicos permitem o movimento transversal controlado do cimbra.

Na Figura 91 é possível observar esquematicamente toda a sequência resumida do processo de transferência do cimbra. A Figura 94 mostra o cimbra durante a fase de ripagem.

5.8.4 Apoio do cimbra nos pórticos móveis

No final da fase de ripagem do cimbra, este encontra-se correctamente posicionado transversalmente para avançar para a zona do encontro onde vai ser iniciado o tabuleiro do intradorso. Para o cimbra poder avançar, apoiam-se os pórticos móveis nos lintéis previamente construídos e efectua-se a transferência do cimbra das vigas de ripagem para os pórticos móveis.

5.8.5 Preparação do cimbra para as fases de avanço

Para o cimbra poder avançar, as vigas de ripagem são retiradas dos pilares para permitir posicionar o cimbra com a inclinação correcta para o avanço até ao encontro. É efectuada a instalação do dispositivo de lançamento num dos pórticos móveis. Desta forma, o cimbra avança, efectuando sucessivas transferências entre apoios móveis até a zona dianteira do cimbra atingir o pórtico do primeiro pilar. Após a frente do cimbra atingir o primeiro pilar, este continua a avançar até à correcta posição do primeiro tramo do tabuleiro do intradorso.

Nesta fase, efectua-se a montagem dos blocos de cofragem que se encontram nas imediações do respectivo encontro mas na zona inferior do tabuleiro. Estes são montados através de gruas de grande capacidade de carga a trabalhar de forma alternada, dos dois lados do tabuleiro.

Desta forma, o cimbra autolancável encontra-se pronto para dar início a sucessivos ciclos de betonagem do tabuleiro do intradorso

5.9 Fases críticas e inspecções

Durante a utilização do cimbra autolancável e consequente construção do tabuleiro, tramo a tramo, todos os processos devem ser levados a cabo com o máximo rigor de

forma a minimizar eventuais riscos. De seguida serão apresentados algumas informações importantes relativas à utilização do cembre e à construção do tabuleiro da ponte relativa ao Caso de Estudo 1.

5.9.1 Pré-esforço

Relativamente às armaduras de pré-esforço, o processo construtivo tem início com a montagem das respectivas bainhas, ainda durante a fase de montagem das armaduras. As bainhas dos cabos de pré-esforço são montadas com o comprimento do respectivo tramo, cerca de 44 m. Estas bainhas têm a secção circular e são constituídas através da união de peças mais pequenas. Estas não devem ter quaisquer imperfeições de secção que impossibilite a posterior entrada dos cabos assim como possa provocar excentricidades dos cabos. As uniões entre peças e nas ancoragens devem ser concretizadas o mais perfeitas possíveis e também devem ser estanques. Para evitar uma deficiente aderência da calda de cimento aos cabos e às bainhas, tanto as bainhas como os cabos devem encontrar-se limpos, não apresentando sinais de sujidade ou quaisquer condições que possa diminuir as condições de aderência. As bainhas de pré-esforço devem possuir tubos de purga nas suas extremidades, nos pontos mais elevados e nas zonas mais baixas.

Nas imediações da zona de construção, deve existir equipamento de ar comprimido e de injeção de água sob pressão. Este equipamento pode servir, caso haja uma avaria do equipamento de injeção e não seja possível reiniciar a injeção da calda de cimento, para expulsar a calda de cimento por intermédio de jactos de água e de ar. As bainhas encontram-se limpas quando sair água limpa das mesmas e, desta forma, a injeção de calda de cimento pode ser reiniciada mais tarde quando estiverem reunidas todas as condições que permitam a correcta execução deste processo.

A verificação do enchimento das bainhas com a argamassa será feita através dos tubos de purga, abertos antes de iniciada a injeção, devendo a argamassa sair ininterruptamente e sem bolsas de ar ou de água, antes de se proceder ao fecho sequencial dos furos de saída.

O tensionamento dos cabos não poderá ser realizado a uma temperatura inferior a 0° C. Após o tensionamento dos cabos de pré-esforço, serão medidos o alongamento respectivo com a precisão do milímetro. Serão devidamente registados os valores de

tensionamento e de alongamento dos cabos para aprovação das operações de pré-esforço. Após a aprovação, os cabos de pré-esforço poderão ser cortados. Os cabos de pré-esforço terão de ser cortados exclusivamente por meios mecânicos, estando portanto excluído o uso de maçarico.

5.9.2 Fase de avanço

Durante a fase de avanço têm que ser tidos em conta alguns cuidados construtivos de forma a utilizar o cimbra autolanzável de forma correcta, tendo em conta as condições de segurança e sem sobrecarregar o sistema hidráulico.

Ao iniciar o avanço do cimbra e ao longo de toda a fase de avanço é necessário assegurar que nada prejudique as correctas condições ideais de avanço. Para isso é necessário assegurar que nenhum elemento do cimbra esteja em contacto com o tabuleiro já betonado, pois desta forma, evitam-se atritos indesejáveis que podem por em causa o avanço do cimbra. Essencialmente, os elementos que podem causar atritos são as barras “dywidags” (que estão presas à estrutura) e as cofragens. As barras “dywidags” que se encontram suspensas na estrutura principal do cimbra, podem durante a fase de avanço, acidentalmente estar ou entrar em contacto com o tabuleiro, pórticos móveis, maciços de betão para os apoios ou qualquer outro objecto ou máquina presente no tabuleiro. As cofragens podem também estar ou entrar em contacto com a zona inferior do tabuleiro provocado pelo desenvolvimento do tabuleiro em curva, que faz com que o cimbra ao avançar e ao fazer a rotação possa aproximar diferentes zonas das cofragens ao tabuleiro.

Também na fase de avanço do cimbra deve ser dada especial atenção ao apoio da zona dianteira do cimbra autolanzável no pórtico de pilar. Durante a fase de avanço, e à medida que este atinge o pórtico de pilar e as suas rodas, vai transmitindo progressivamente mais carga para o pilar. Nesta fase, o capitel do pilar seguinte deve estar constantemente a ser observado por uma equipa topográfica, para que desta forma se possa aferir a ocorrência de eventuais deslocamentos excessivos do mesmo. Paralelamente a esta observação, quantificam-se também as cargas que progressivamente vão aumentando no pilar seguinte, à medida que o cimbra avança. A quantificação das cargas no pilar seguinte é feita através da observação das cargas presentes no pórtico anterior, através do dispositivo de comando e subtraídas ao peso

total da estrutura. Desta forma, consegue-se perceber as reais condições de apoio no pilar seguinte.

Também durante a fase de avanço devem ser observadas as condições da viga carril, através das quais o cembre se apoia nas rodas dos pórticos. A viga carril deve-se apresentar sem sinais de esmagamento do aço. A viga carril possui uniões devido ao facto de não ser possível construir uma viga carril através de uma única peça com cerca de 100 m de comprimento. As suas uniões devem-se apresentar à face umas das outras para não provocar esforços exagerados para o dispositivo de avanço longitudinal quando estas uniões passarem pelas rodas dos pórticos.

5.9.3 Fase de betonagem

Durante as fases em que o cembre não está avançar e, principalmente, durante a fase de betonagem, deve-se dar especial atenção ao bloqueio do movimento longitudinal do cembre. Este bloqueio é importante porque o tabuleiro tem uma inclinação longitudinal máxima de 5%. Por este facto, é obrigatório tomarem-se todas as precauções de modo a evitar um movimento descontrolado de toda a estrutura. A forma de bloquear todo o cembre em segurança, consiste em abrir os cilindros hidráulicos na zona das rodas das vigas balanceiras, para deixar de apoiar os carris do cembre nas rodas, introduzir chapas metálicas na viga balanceira e fechar os cilindros de forma que o cembre fique apoiado nas respectivas chapas, sem estar apoiado nas rodas, Figura 95. Este procedimento deve ser feito nos dois pórticos que estejam a suportar o cembre.

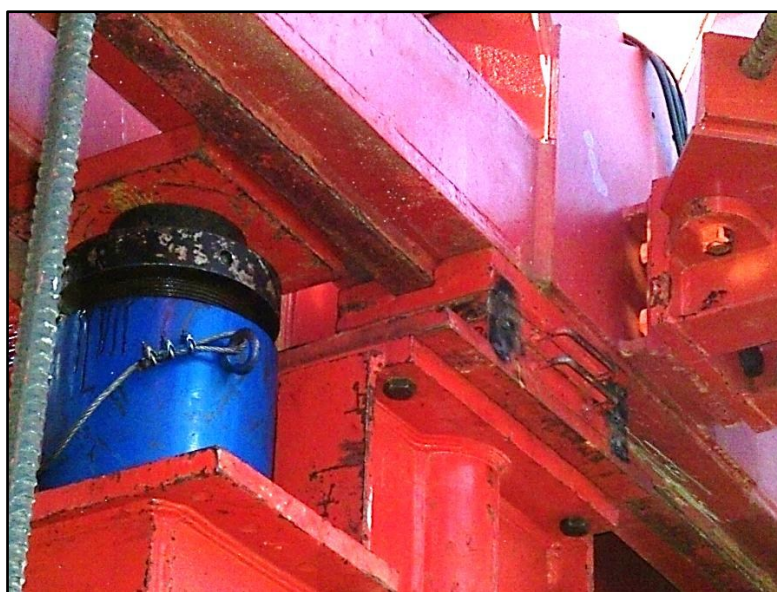


Figura 95- Bloqueio do cembre em cima de chapas metálicas

A operação de betonagem não é permitida quando se registar temperaturas inferiores a 0° C ou houver previsão que tal possa acontecer durante os 5 dias seguintes.

Ao longo de toda a operação de betonagem de um tramo e em paralelo deve ser feita uma observação das deformações do cimbra autolanzável. Esta observação é feita com recurso a uma equipa de topografia de forma a conseguir notar e registar possíveis deformações indesejáveis no cimbra.

5.9.4 Condições de Vento

A acção do vento é outra condição meteorológica a ter em conta durante as diferentes fases de montagem ou de utilização do cimbra autolanzável.

Durante a fase de montagem do cimbra, a velocidade máxima de vento recomendada para esta operação é de 10 m/s (36 Km/h). Para velocidades de vento superiores, não é aconselhável continuar as operações de montagem do cimbra. Nestas condições, a direcção de obra e o operador de grua decidem se estão reunidas as condições de segurança para ser possível continuar os trabalhos.

Nas fases de utilização do cimbra autolanzável, quando a velocidade do vento se situa entre 10 m/s (36 Km/h) e 20 m/s (72 Km/h), só não é possível fazer avanços com o cimbra autolanzável, e este deve estar correctamente travado em cima dos calços das vigas balanceiras dos seus pórticos. Para velocidades de vento superior a 20 m/s (72 Km/h) o ciclo tem de parar. Nestes casos, só é permitido efectuar as operações de aplicação do pré-esforço caso o tabuleiro esteja na fase final de cura do betão.

Face ao exposto, o cimbra autolanzável está equipado com um dispositivo de medição do vento (anemómetro). O anemómetro encontra-se localizado na zona superior da viga caixão da viga principal do cimbra. Este equipamento emite alertas sonoros quando as velocidades de vento forem superiores ao aconselhável ao fim de 10 minutos.



Figura 96 - 1 - Sensor anemómetro; 2 - Dispositivo calculador com visor; 3 - Kit sinalizador exterior

5.9.5 Inspeções ao cembre

A utilização do cembre autolanzável pressupõe rigorosas inspeções tendo em vista a sua utilização dentro de elevados padrões de segurança. Para tal, são obrigatórias a realização de inspeções em diferentes momentos da utilização do cembre.

Na fase de montagem do cembre e antes do lançamento para a posição de montagem das cofragens, são realizadas inspeções a todas ligações aparafusadas da estrutura principal. Os parafusos são apertados a 75% da sua capacidade total de pré-esforço e são apertados e inspeccionados com recurso a uma chave dinamométrica (Figura 97) devidamente calibrada e certificada. Esta inspeção deve ser repetida sempre que algum elemento do cembre autolanzável seja desmontado e montado. Também na fase de transferência do cembre de tabuleiro ou sempre que se suspeite de alguma anomalia em alguma ligação, todas as ligações da estrutura devem ser inspeccionadas.

Durante a utilização do cembre devem ser feitas verificações visuais a diferentes elementos tendo em vista o correcto funcionamento de todo o conjunto:

- As vigas de ripagem devem permanecer limpas e lubrificadas;
- As tubagens dos sistemas hidráulicos devem ser mantidas em perfeito estado e sem fugas;

- Os níveis de óleo dos sistemas hidráulicos devem permanecer correctos;
- As rodas dos “bogies” devem permanecer limpas e com perfeita capacidade de rolamento;
- As vigas carril devem estar geometricamente regulares e as suas uniões devem estar perfeitamente alinhadas;
- Os varões roscados só podem ser utilizados caso não tenham impomos ou imperfeições.

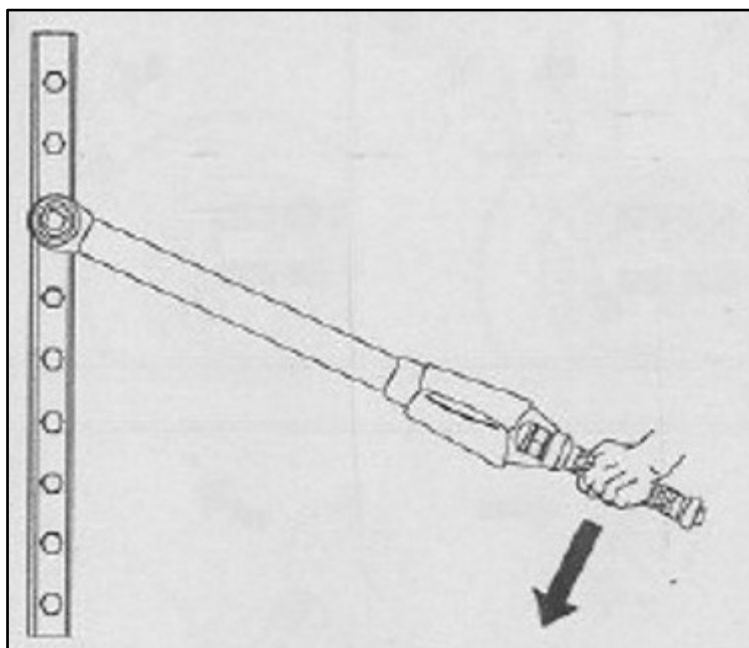


Figura 97 - Chave dinamométrica

5.10 Considerações finais

Através deste capítulo foi possível descrever detalhadamente o processo de utilização de um cembre autolancável na construção de uma ponte cujo tabuleiro foi construído tramo-a-tramo (Caso de Estudo 1). A identificação desta ponte foi processada assim como a descrição do sistema estrutural constituinte do cembre utilizado. Este sistema estrutural é constituído essencialmente pela viga principal, pelo apoio traseiro, pelas cofragens, pelos pórticos e pelo sistema de avanço.

Aspectos técnicos relativos ao processo de montagem deste cembre foram identificados e descritos.

As fases críticas e os trabalhos de inspecção inerentes à utilização deste tipo de sistema estrutural provisório e móvel também foram realçados.

Todos estes aspectos técnicos foram complementados com a apresentação de fotografias recolhidas em obra e durante o processo de construção do tabuleiro da ponte usada como Caso de Estudo 1.

CAPÍTULO 6 - CASO DE ESTUDO 2 - CARRO DE AVANÇO

6 Caso de Estudo 2 - Carro de avanço

6.1 Objectivos

Os principais objectivos deste capítulo são:

- Descrever de forma bastante detalhada o funcionamento de um cembre aéreo do tipo carro de avanço através do acompanhamento em obra das diferentes fases de construção do tabuleiro de uma ponte;
- Identificar alguns dos factores que podem influenciar o tempo de construção do tabuleiro de uma ponte;
- Identificar as possíveis fases críticas e as tarefas de inspecção tendo em vista a utilização dos carros de avanço de forma segura.

6.2 Introdução

A utilização de cimbres aéreos do tipo carro de avanço na construção do tabuleiro de uma ponte é um procedimento complexo e composto por sucessivas acções devidamente planeadas e levadas a cabo com um propósito. Neste capítulo vão ser expostas de forma detalhada todas as fases relevantes do processo construtivo do tabuleiro de uma ponte (Caso de Estudo 2) e com recurso a carros de avanço e resultante de um acompanhamento em obra. Ao longo deste capítulo serão usadas bastantes imagens para uma correcta percepção e explicação do respectivo conteúdo. As imagens têm como base fotografias tiradas em obra e modelos 3d de carros de avanços.

6.3 Breve descrição da ponte do Caso de Estudo 2

A ponte relativa ao Caso de Estudo 2 é um viaduto localizado na zona de Ansiães, na Serra do Marão, de 220 m de comprimento (Figura 98). O viaduto é composto por dois tabuleiros em caixão (Figura 99). Cada tabuleiro assenta em dois pilares constituindo 3 vãos (Figura 100). A altura dos pilares varia entre os 30 e os 40 m. Os vãos dos tabuleiros, entre os encontros e os pilares, têm cerca de 65 m, enquanto que os vãos centrais de cada tabuleiro têm cerca 85 m. Os tabuleiros do viaduto têm uma inclinação máxima de 5% e um relevê de 6,5% para compensar a ligeira curvatura do tabuleiro, Figura 99.



Figura 98 - Planta do viaduto

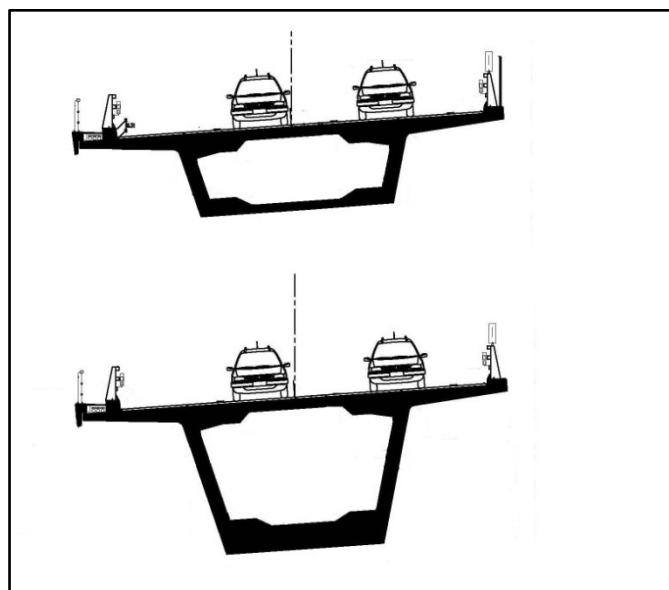


Figura 99 - Perfil transversal do tabuleiro; Variação da geometria do tabuleiro

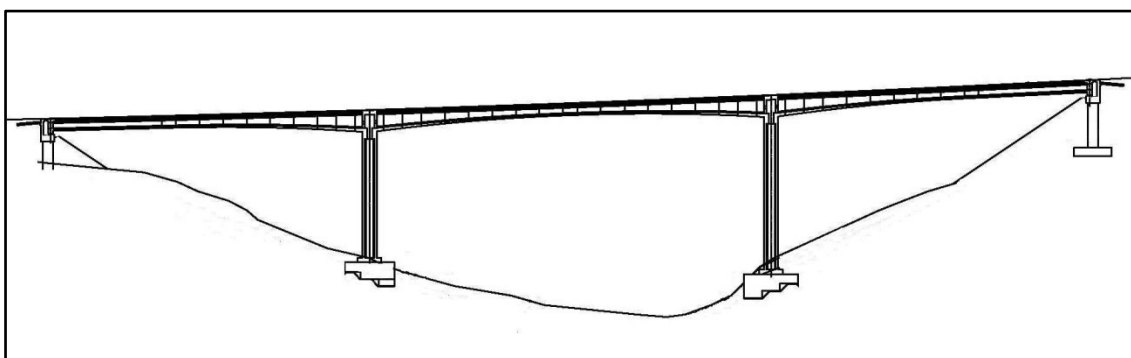


Figura 100 - Perfil longitudinal do viaduto [20]

6.4 Descrição do processo construtivo

A construção do tabuleiro do viaduto foi processada através da betonagem de aduelas com recurso a dois pares de carros de avanço, que são um cembre aéreo (Figura 101). Os carros de avanço vão permitir betonar aduelas de 4 e 5 m, com o peso máximo de 151,7 toneladas, correspondendo ao tabuleiro mais largo com cerca de 14,5 m de largura. Em relação aos carros de avanço, um tem a cor amarela e o outro tem a cor azul. O uso das duas cores permite distinguir os carros de avanço e os seus componentes.

Os carros de avanço foram inicialmente concebidos, dimensionados e fabricados em 1990, para Ponte Internacional, sobre o Rio Minho, em Valença. Posteriormente, estes foram reutilizados em 1993, na construção do Viaduto de Loures. Mais tarde, também foram reutilizados no Viaduto de Temilobos, em 2002, e em 2003, na Ponte sobre a Ribeira de Foupana. Em 2007, também foi utilizado na construção da Ponte sobre o Rio Mondego, na A17. Recentemente, também foram usados na construção de dois viadutos idênticos no Marão.

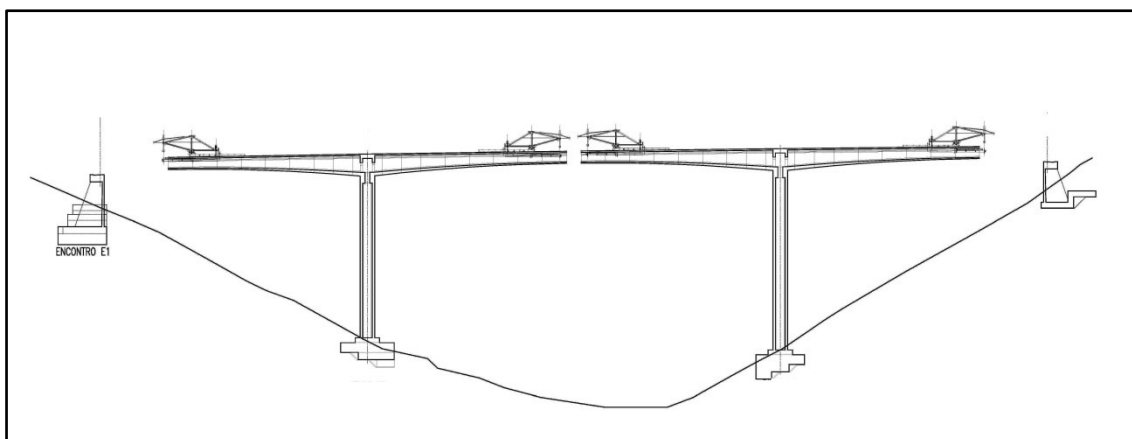


Figura 101 – Esquema geral do método construtivo utilizado [20]

6.5 Descrição dos componentes dos carros de avanço

Os principais componentes dos carros de avanço são a estrutura principal, o dispositivo de movimentação, as cofragens e as plataformas de acesso a trabalhadores.

6.5.1 Estrutura principal

A estrutura principal de um carro de avanço tem como seus principais constituintes (Figura 102 e Figura 103) a treliça principal, a viga dianteira, as vigas transversais, a treliça traseira, os contraventamentos, o nariz e o “cross-member”.

6.5.1.1 Treliça principal

A treliça principal é composta por barras que se encontram ligadas através de cavilhas e chapas metálicas, fazendo com que as barras funcionem à tracção e à compressão. As barras da treliça principal têm secção tubular. Para cada carro de avanço, são montadas duas treliças principais opostas no sentido longitudinal do tabuleiro. Na zona dianteira, é montado um prolongamento desta estrutura na treliça principal denominado de nariz (Figura 102 e Figura 103).

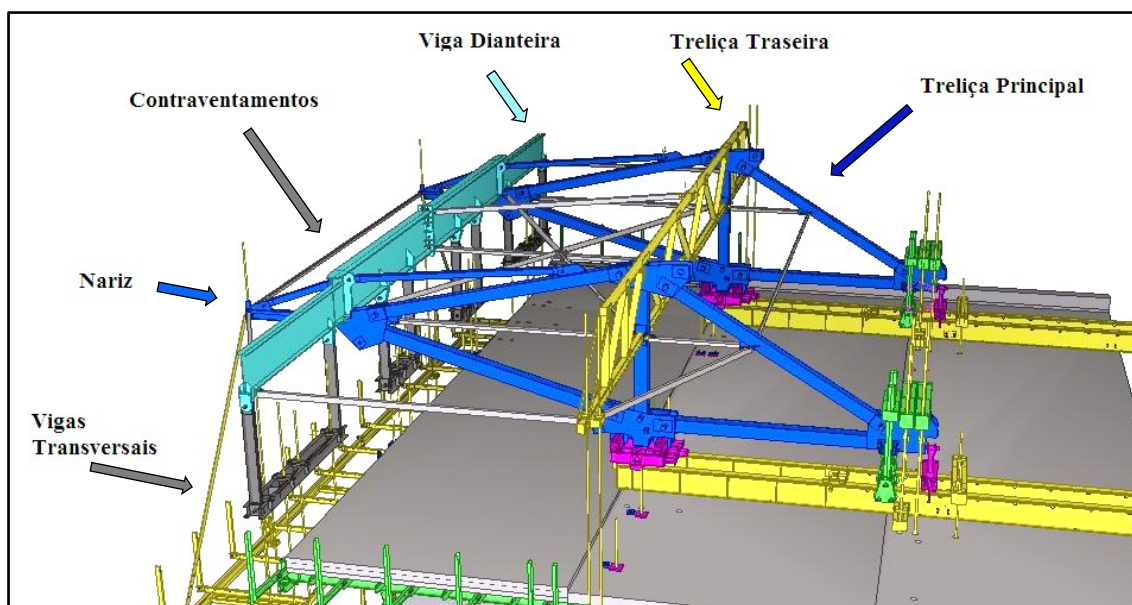


Figura 102 - Descrição dos elementos da estrutura principal de um carro de avanço



Figura 103 - Vista geral da estrutura principal de um carro de avanço (Caso de Estudo 2)

6.5.1.2 Viga dianteira

A viga dianteira é constituída por uma viga treliçada ou por uma viga em I (Figura 104). É constituída por mais do que um conjunto de peças, ficando unidas através de ligações encavilhadas. A viga dianteira é montada no sentido transversal do tabuleiro e fica apoiada na parte frontal das duas treliças principais. Ligada à viga dianteira e em consola, existe o nariz da treliça principal que suporta a parte frontal da plataforma de trabalho superior.



Figura 104 - Vista de dois tipos de viga dianteira e das vigas transversais

6.5.1.3 Vigas transversais

As vigas transversais ficam suspensas na viga dianteira e servem para suportar a parte dianteira da laje de fundo, a dianteira da cofragem externa e interna, e a traseira da plataforma de trabalho superior através de varões roscados.

6.5.1.4 Treliça traseira

A treliça traseira fica ligada ao carro de avanço através da treliça principal e é montada transversalmente conferindo estabilidade ao conjunto (Figura 105). A treliça traseira é construída por barras de secção tubular, unidas por ligações soldadas. Lateralmente e dos dois lados, a treliça traseira suporta a traseira da plataforma de fundo e a cofragem externa durante a fase de avanço do carro.



Figura 105 - Vista da treliça traseira de um carro de avanço (Caso de Estudo 2)

6.5.1.5 Contraventamento

O contraventamento do conjunto é formado por perfis em U e é montado na parte superior do carro de avanço. Este contraventamento une pela parte exterior do conjunto a treliça principal, a treliça traseira, a viga dianteira e o nariz da treliça principal. Esta união, através de 8 barras, forma uma espécie de octógono irregular (Figura 106). Pela parte interna do conjunto, 4 barras em forma de cruz unem as duas treliças principais, Figura 106.

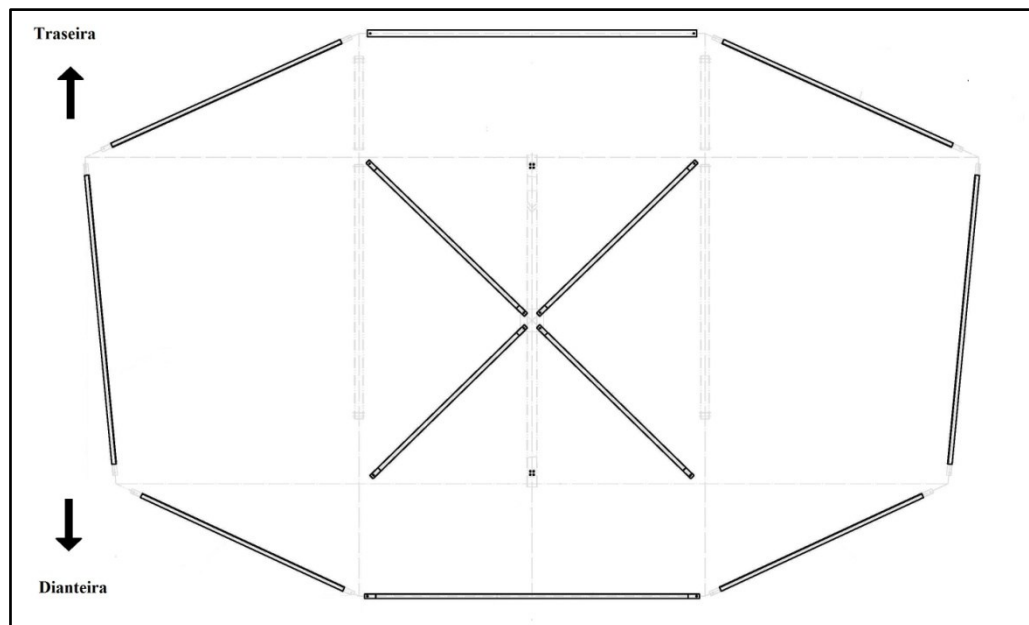


Figura 106 - Esquema dos contraventamentos

6.5.1.6 “Cross-member”

O “cross-member” é uma estrutura que permite unir um par de carros de avanço para a betonagem da 1ª aduela, quando ainda não é possível montar a parte traseira dos carros por não haver espaço suficiente no tabuleiro (aduela zero). O “cross-member” é formado por quatro barras em U. Uma barra que funciona à tracção (tirante) une a parte superior dos carros, outra barra que funciona à compressão (escora) une a parte inferior dos carros e, as outras barras, unem em cruz os dois carros, fazendo o contraventamentos daquela ligação (Figura 107 e Figura 108). Todas as ligações do “cross-member” são feitas através de cavilhas.

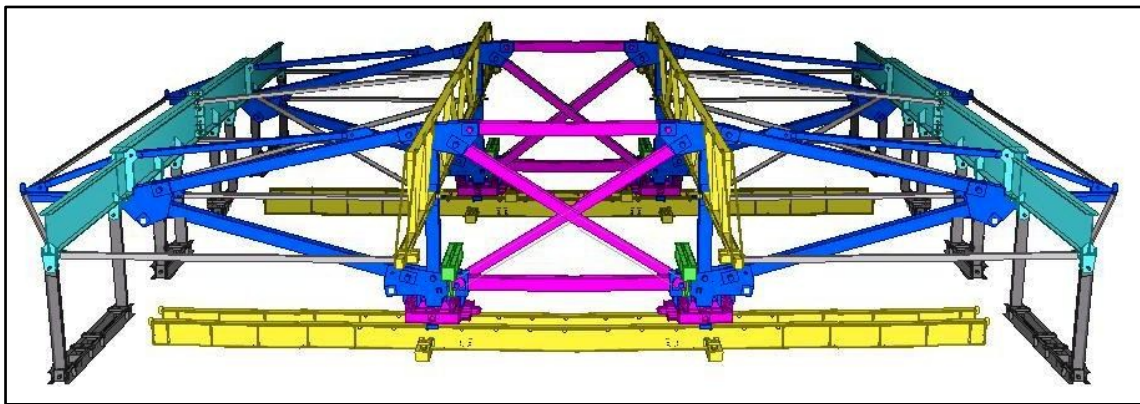


Figura 107 - Esquema do “cross-member” (cor de rosa)



Figura 108 - Vista do “cross-member” de ligação de carros de avanço (Caso de Estudo 2)

6.5.2 Dispositivo de movimentação

O dispositivo de movimentação é constituído por "bogie" dianteiro, "bogie" traseiro, garra puxa-empurra, carril principal e vigas de amarração.

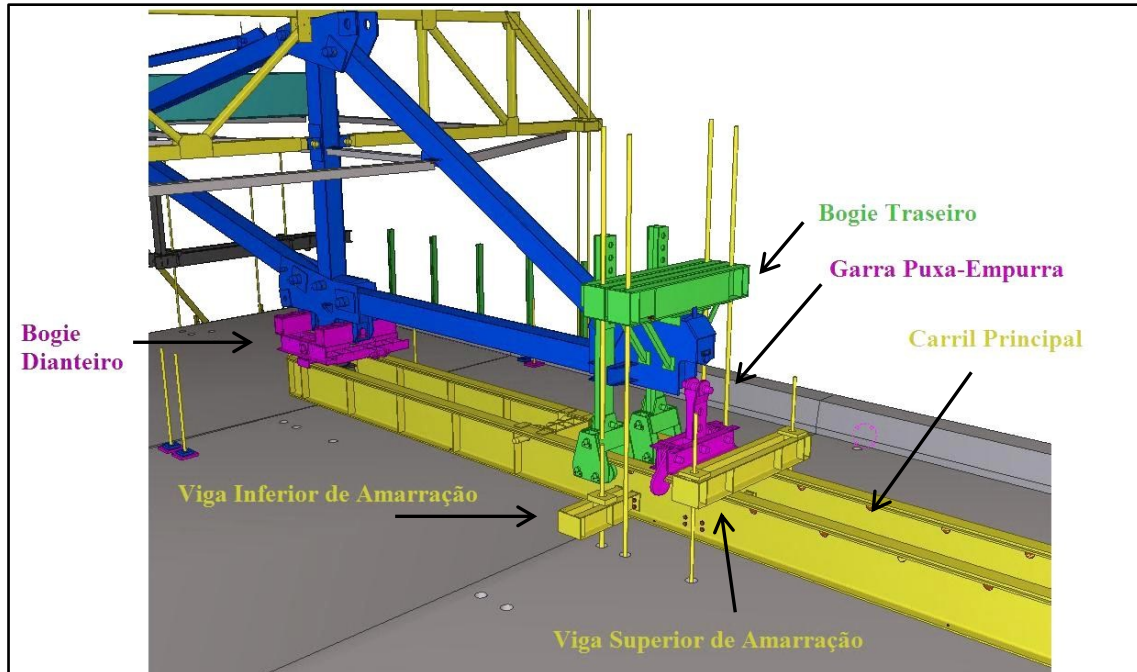


Figura 109 - Esquema do dispositivo de movimentação e seus elementos



Figura 110 - Vista do dispositivo de movimentação e seus elementos de um carro de avanço (Caso de Estudo 2)

6.5.2.1 Carril principal

Os carris principais do sistema de carros de avanço são compostos por dois pares de vigas em I unidas através de ligações aparafusadas (Figura 109 e Figura 110). É através destas vigas que o conjunto se apoia e se movimenta através dos “bogies”. Estas vigas são fixas ao tabuleiro com recurso às vigas de amarração, inferiores e superiores, através de varões roscados presos à laje superior do tabuleiro.

6.5.2.2 “Bogie” dianteiro

O “bogie” dianteiro é um dispositivo que transfere a carga da treliça principal para os carris principais durante a fase de avanço da estrutura (Figura 109 e Figura 110). O “bogie” dianteiro possui um duplo rolete para fazer o contacto com o carril principal. Na zona de contacto com o carril, os “bogies” possuem umas chapas para que os roletes não saiam do carril permitindo o constante alinhamento. Na zona inferior do “bogie” e entre as duas vigas do carril principal, existe um cilindro hidráulico que suporta o respectivo “bogie”. Através do accionamento deste cilindro hidráulico principal é possível arriar o “bogie”, transferindo assim as cargas provenientes do “bogie” para o carril principal através dos seus roletes (Figura 128).

6.5.2.3 “Bogie” traseiro

O “bogie” traseiro é uma estrutura constituída por uma viga transversal de amarração traseira, por rodas e por elementos verticais que ligam as rodas à viga, e está preso na traseira da treliça principal do carro de avanço com o objectivo de o estabilizar (Figura 109 e Figura 110). Durante a fase de betonagem, o “bogie” traseiro fixa a traseira do carro de avanço impedindo o seu movimento através de varões roscados que estão a unidos à laje superior do tabuleiro. Durante a fase de avanço, o “bogie” traseiro faz o contacto da traseira da treliça principal com a viga, através das rodas que rolam sob o banzo superior da viga em I que constitui o carril principal e fazendo com que o conjunto avance em segurança.

6.5.2.4 Garra puxa-empurra

A garra puxa-empurra é constituída por um cilindro e por um par de garras (tipo tesouras) (Figura 109 e Figura 110). A garra puxa-empurra localiza-se na traseira do carro de avanço e liga a treliça principal às vigas do carril principal, envolvendo os

banzos superiores das vigas através das garras. Serve também para ajustar as cotas da traseira do conjunto através da acção do cilindro. A garra puxa-empurra é também um sistema de segurança durante o avanço do carro.

6.5.2.5 Sistema de avanço

O sistema de avanço é constituído pelo cilindro hidráulico longitudinal e pelo patim de deslize (Figura 111). Este sistema permite que a estrutura principal do carro de avanço deslize sobre as vigas dos carris principais. A ponta do cilindro está unida ao “bogie” dianteiro e, na outra extremidade, tem um patim que fica fixo ao carril principal através de cavilhas. O accionamento deste cilindro em conjunto com o patim de deslize permite avançar a estrutura do carro de avanço permitindo também o avanço do carril principal.



Figura 111 - Vista do sistema de avanço

6.5.3 Cofragens

As cofragens são constituídas pela plataforma de laje de fundo, cofragem interna e externa.

6.5.3.1 Plataforma de laje de fundo

A plataforma da laje de fundo localiza-se imediatamente por baixo da laje inferior do tabuleiro e é uma estrutura metálica de vigas em I, composta por vigas transversais

principais, por vigas longitudinais secundárias e por contraventamentos montados na diagonal que suportam a cofragem de madeira de fundo do tabuleiro e as plataformas de trabalho (Figura 112 e Figura 113). As vigas transversais estão posicionadas na frente e na retaguarda. Nestas vigas apoiam as vigas longitudinais. As vigas montadas na diagonal garantem a rigidez da estrutura e a sua esquadria.

Durante o avanço, este conjunto de cofragem encontra-se suspenso à estrutura principal por 6 varões roscados. Na parte dianteira desta cofragem, suspensos na viga transversal, 4 varões roscados transferem a carga para as vigas transversais da estrutura principal do carro que, por sua vez, transferem a carga para a viga dianteira da estrutura principal. Na parte traseira desta cofragem, suspensos nas pontas na viga transversal, 2 varões roscados transferem a carga para a treliça traseira da estrutura principal. A posição externa dos 6 varões em relação à aduela já betonada, permite o avanço de toda a estrutura. Durante a betonagem, além dos 6 varões, são montados 2 varões que unem a viga transversal traseira da plataforma de fundo à laje inferior da aduela já betonada, conferindo assim toda a estabilidade necessária durante a betonagem.

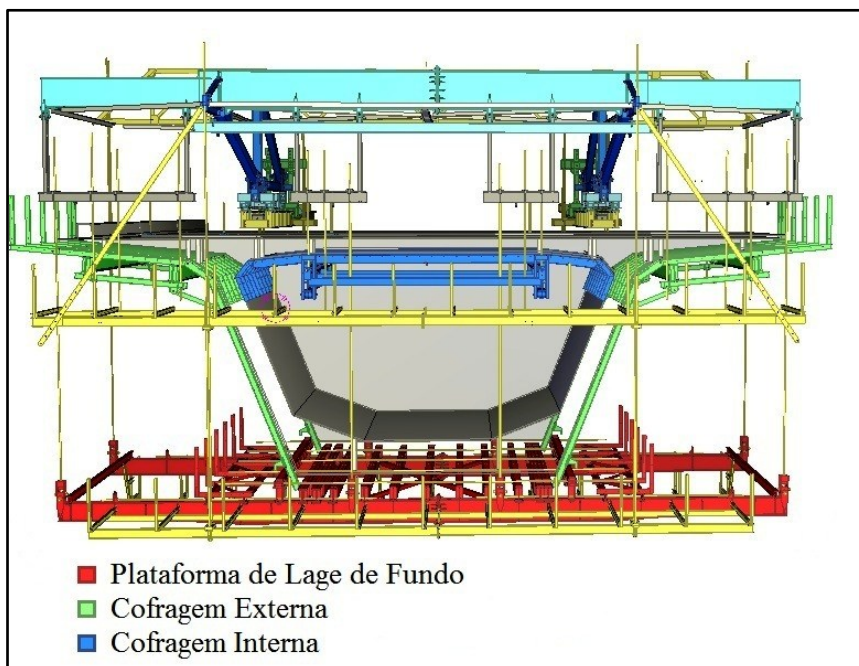


Figura 112 - Esquema da posição das cofragens



Figura 113 - Vista geral das cofragens

6.5.3.2 Cofragem interna

A cofragem interna é composta pelos painéis de cofragem das almas e pelo painel de cofragem da laje superior que são de madeira (Figura 112). Os painéis de cofragem da laje superior são sustentados por uma estrutura metálica constituída por vigas transversais e por vigas longitudinais principais. O conjunto da cofragem da laje superior da aduela fica suspenso à estrutura principal através de 2 varões roscados que unem as vigas longitudinais principais às vigas transversais da estrutura dos carros de avanço. Além dos 2 varões roscados, durante a fase de avanço, esta cofragem encontra-se suspensa na retaguarda através de 4 roletes que estão unidos à laje superior da aduela já betonada (Figura 114). Durante a fase de betonagem, a retaguarda desta estrutura de cofragem fica unida à aduela anterior através de 2 varões roscados.



Figura 114 - Vista da cofragem interna e seus apoios (vista do interior do abuleiro)

6.5.3.3 Cofragem exterior

A cofragem exterior é composta por uma estrutura metálica de vigas longitudinais principais e de vigas transversais em I que sustentam a cofragem dos banzos e das almas do tabuleiro (Figura 112 e Figura 113). Durante o avanço, esta estrutura encontra-se suspensa através de 2 varões roscados que na frente transmitem a carga às vigas transversais da estrutura principal, e através de um varão roscado localizado na retaguarda, que descarrega na treliça traseira da estrutura principal. Durante a fase de betonagem, são adicionados dois varões roscados na retaguarda que ficam suspensos à aba do tabuleiro, da aduela já betonada.



Figura 115 - Vista geral das plataformas de acesso (Caso de Estudo 2)

6.5.4 Plataformas de trabalho

6.5.4.1 Plataforma de trabalho superior

A plataforma de trabalho superior é constituída por uma estrutura metálica de perfis em I e em U, com um estrado de madeira e as respectivas guardas de segurança. Esta plataforma é montada na frente de cada carro de avanço, aproximadamente ao nível da laje superior do tabuleiro (Figura 115 e Figura 116). Esta estrutura é suspensa por varões roscados a partir das vigas transversais e da treliça principal, que permitem um

ajuste em termos de altura para facilitar o acesso às ancoragens de pré-esforço para a aplicação do mesmo.

6.5.4.2 Plataforma de trabalho inferior

A plataforma de trabalho inferior é constituída por uma estrutura metálica de perfis em I e em U, com um estrado de madeira e as respectivas guardas de segurança. Esta plataforma é montada imediatamente por baixo da plataforma de trabalho superior mas, ao nível da laje inferior do tabuleiro (Figura 115 e Figura 116). Encontra-se aparafusada à plataforma da laje de fundo das cofragens e, na zona dianteira, suspensa através de varões roscados na plataforma de trabalho superior.

6.5.4.3 Plataforma de trabalho exterior

A plataforma de trabalho exterior é constituída por uma estrutura metálica de perfis em I e em U, com um estrado de madeira e com as respectivas guardas de segurança. Esta plataforma encontra-se apoiada na plataforma da laje de fundo das cofragens mas, na zona lateral do tabuleiro, por baixo das respectivas abas (Figura 115 e Figura 116). A plataforma de trabalho exterior também permite o acesso de trabalhadores à plataforma de trabalho traseira e permite a montagem da cofragem exterior do tabuleiro.

6.5.4.4 Plataforma de trabalho traseira

A plataforma de trabalho traseira é constituída por uma estrutura metálica de perfis em I e em U, com um estrado de madeira e as respectivas guardas de segurança. Esta plataforma localiza-se na traseira da plataforma da laje de fundo das cofragens e encontra-se suspensa nesta funcionando em consola (Figura 116). Após a fase de avanço, a plataforma de trabalho traseira permite o acesso de trabalhadores à retaguarda da plataforma da laje de fundo para aparafusar os varões roscados entre a treliça principal e a laje de fundo da aduela anteriormente betonada.

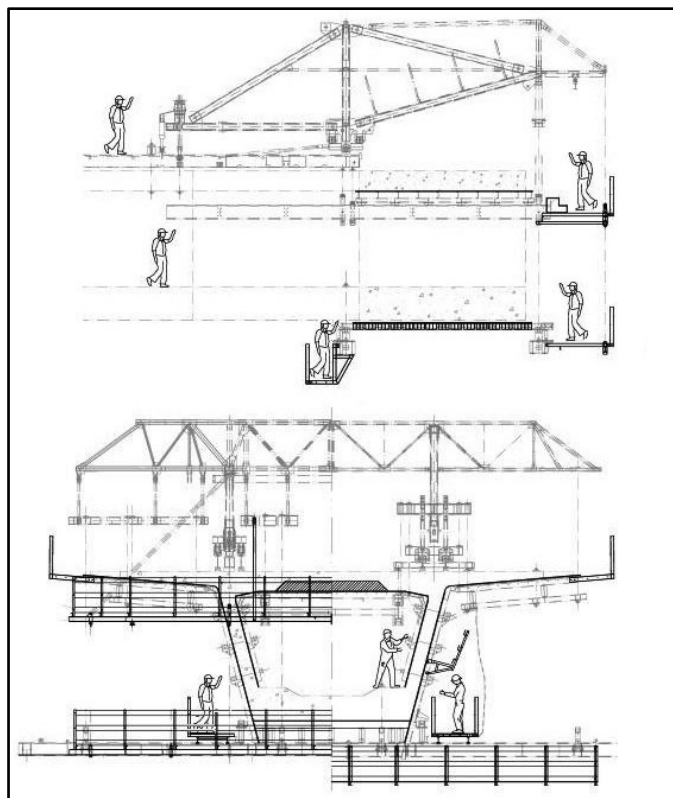


Figura 116 - Esquema das plataformas de acesso; vista lateral (em cima) e vista frontal (em baixo)

6.6 Montagem do carro de avanço

O processo de montagem do carro de avanço é desencadeado após a construção da aduela zero, que é o primeiro trecho de tabuleiro a ser construído, centrado no eixo do respectivo pilar. A estrutura principal do par de carros de avanço vai ser montada na superfície livre da aduela zero, que tem 6 m de comprimento e a largura do tabuleiro que varia entre 12,75 m e 14,50 m, consoante o tabuleiro for do extradorso ou do intradorso, respectivamente. O comprimento de 6 m da aduela zero, é a dimensão que vai ser limitativa para a montagem do par de carros que, neste caso, vai ser montado com recurso ao sistema “cross-member”. Este sistema resume-se a unir a traseira dos dois carros, evitando a montagem da traseira dos mesmos, e permitindo ao conjunto a betonagem das aduelas 1. Durante a construção de todo o viaduto relativo ao Caso de Estudo 2, o acesso de pessoas ao tabuleiro foi feito através de escadas torre localizadas junto aos pilares. Para permitir a movimentação e montagem de todas as peças do par de carros é necessário uma grua que é montada junto a cada pilar. É de salientar que a montagem de estruturas deste tipo deve ser correctamente e detalhadamente planeada e

deve ser levada a cabo com trabalhadores qualificados para o efeito e cumprindo todas as normas de segurança exigíveis.

6.6.1 Estrutura principal e “cross-member”

Para a montagem deste par de carros de avanço começa-se pela estrutura principal e pelo “cross-member” pois são estas estruturas que vão suportar as restantes. As primeiras peças a serem içadas para o tabuleiro são as vigas em I que constituem o carril principal. As vigas são pousadas na posição longitudinal, em cima de calços de madeira suficientemente grandes para posteriormente aguentarem o peso do conjunto, e de forma a nivelar os carris opostos, compensando deste modo a inclinação transversal do tabuleiro. Longitudinalmente, as vigas dos carris principais têm de ser centradas, pois neste caso têm mais 5,5 m de comprimento do que a aduela, ficando as extremidades em consola. São também montados sobre o tabuleiro e nos seus calços os quatro cilindros hidráulicos principais, que têm a função de apoiar, elevar ou arriar a estrutura dos carros.

De seguida, são montados os “bogies” dianteiros e sobre estes os conectores das barras da treliça principal. Sobre estes são montados a treliça principal mais as respectivas colunas verticais que podem ser pré-montadas no chão e elevadas como um todo. Nesta fase, são também montados na zona central do carril principal os cilindros longitudinais, que mais tarde irão permitir a avanço ou o recuo do conjunto.

Posteriormente, são montadas as diagonais do “cross-member”, que ligam as colunas verticais da treliça principal e, de seguida, a viga de topo do “cross-member”. Para facilitar a montagem destas vigas de enormes dimensões e pesos é necessário activar os cilindros principais localizados debaixo do “bogie” dianteiro para facilitar o encaixe das vigas do “cross-member”. Estes cilindros principais são accionados em contacto com calços e plintos do tabuleiro devidamente nivelados. Após o encaixe das respectivas cavilhas do “cross-member”, voltam-se a aliviar os macacos. A estrutura fica apoiada nos roletes dos “bogies” dianteiros, e com recurso ao cilindro hidráulico longitudinal, ajusta-se toda a estrutura de forma a ficar centrada e na posição correcta para a correcta montagem dos restantes elementos da estrutura. Neste momento, a estrutura fica apoiada nos anéis de travamento dos cilindros hidráulicos principais e com os roletes dos “bogies” dianteiros afastados dos carris para não permitir deslocamentos longitudinais.

No solo efectua-se a pré-montagem das duas barras das treliças principais que faltam na treliça principal. Estas içam-se e montam-se com um todo. Na Figura 117 ilustra-se esquematicamente esta sequência de montagem.

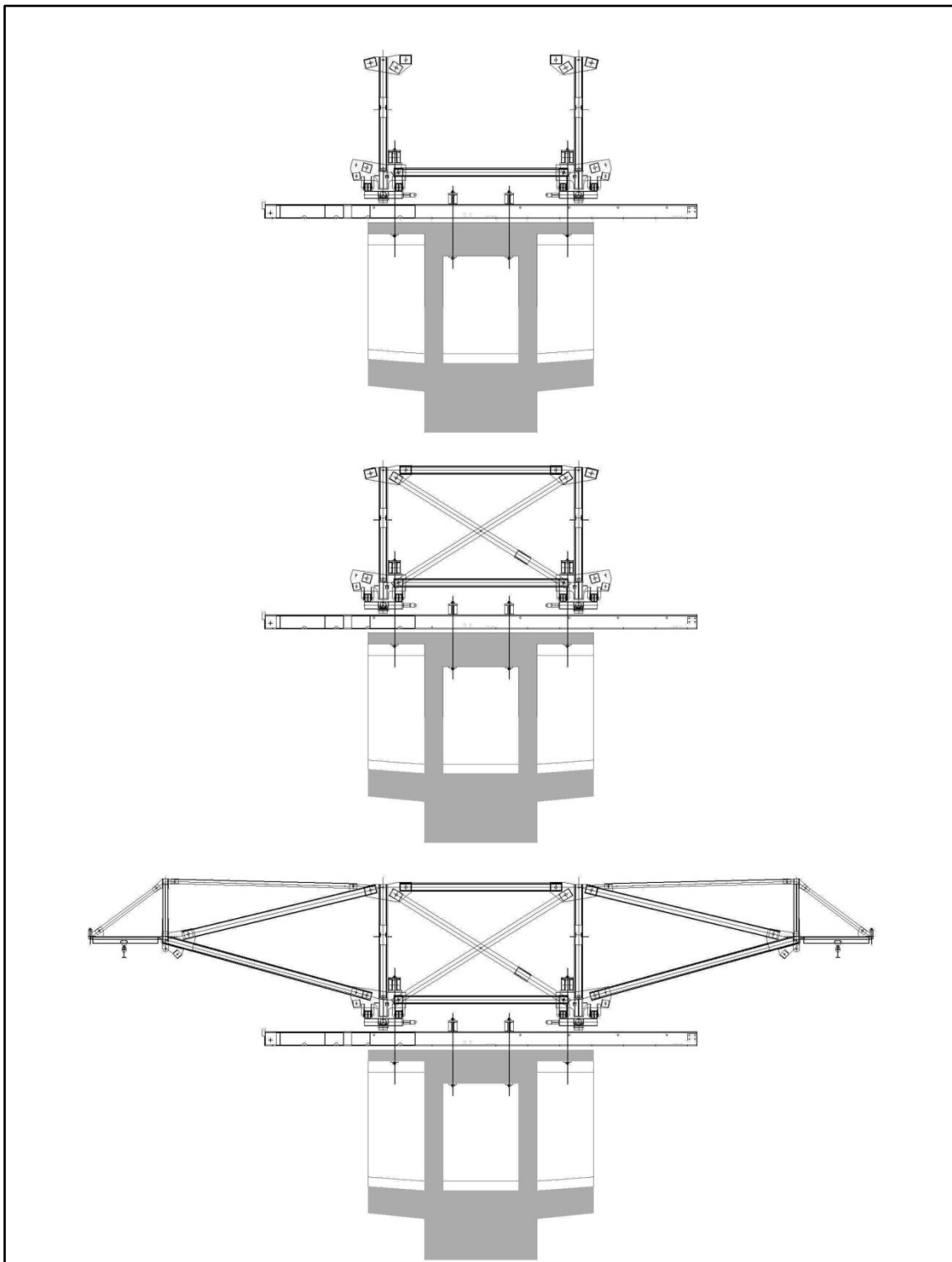


Figura 117 - Sequência de montagem da estrutura principal dos carros de avanço com “cross-member”

As vigas dianteiras, as vigas transversais e o nariz da treliça principal são os próximos componentes estruturais a serem montados. Nesta fase, o acesso à zona de montagem é muito difícil. Em função da capacidade da grua, é preferível que estes componentes sejam pré-montados no solo e içados em conjunto, dando preferência à montagem de um maior número de peças de uma só vez. Quando este conjunto estiver devidamente fixo à restante estrutura do conjunto, montam-se as barras em U correspondentes ao contraventamentos.

Nesta fase, os componentes da estrutura principal estão todos montados. Como as restantes estruturas vão ficar suspensas na estrutura principal é necessário fazer todo o tipo de verificações para o processo de montagem poder continuar em segurança.

Tal como foi referido, na Figura 117 está esquematizada o início da sequência da montagem da estrutura principal dos carros de avanço com “cross-member” na aduela zero.

6.6.2 Montagem das plataformas de cofragem

A cofragem interna é içada e é montada. Esta fica fixa pelas suas vigas longitudinais principal através de varões roscados. Esta cofragem é composta por duas vigas longitudinais principais bastante longas, ficando as mesmas bastantes salientes em relação aos restantes componentes do carro e por ainda haver pouco espaço no interior do tabuleiro. Numa das extremidades, a cofragem interna fica fixa à extremidade da aduela zero e, do outro lado, esta fica suspensa nas vigas transversais.

Seguidamente, são içadas as cofragens externas, que são suspensas através de varões roscados à treliça traseira e às vigas transversais. A plataforma de trabalho superior é içada, e é suspensa nas vigas transversais e no nariz da treliça principal através de varões roscados.

A última fase de montagem consiste em içar e em montar o conjunto da plataforma de laje de fundo, que inclui a cofragem da laje de fundo do tabuleiro, as plataformas de trabalho inferior, exterior e traseira, que é um conjunto extremamente pesado. Este conjunto é içado com recurso a quatro dispositivos hidráulicos que são devidamente monitorizados de forma a distribuir uniformemente a carga por todos. Esta estrutura fica suspensa à treliça traseira e às vigas transversais através de varões roscados (Figura 118).

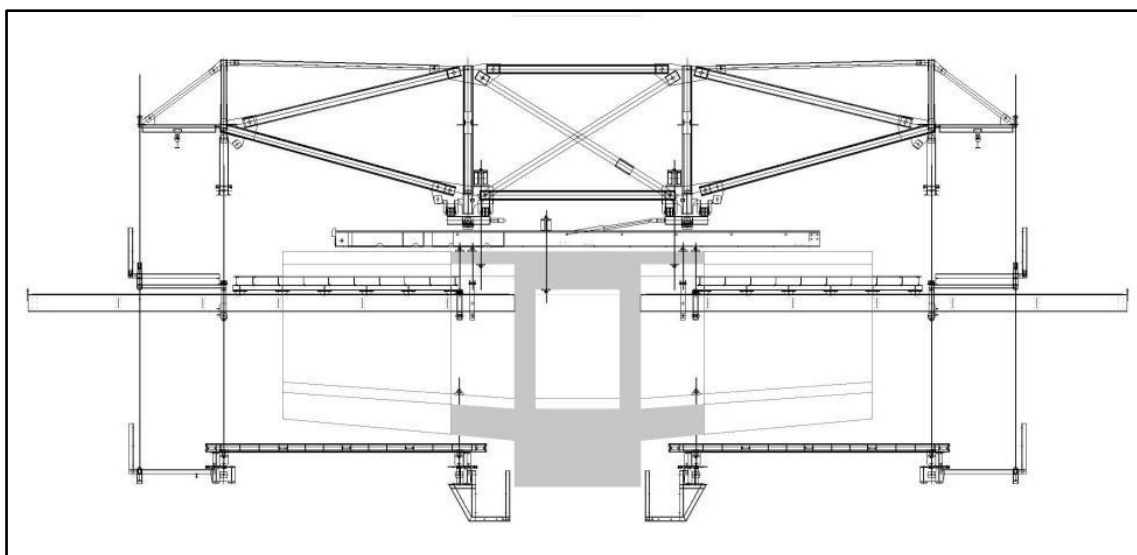


Figura 118 - Montagem das plataformas de cofragem

6.6.3 Betonagem da aduela 1

Concluídas todas as etapas anteriores e feitas as respectivas verificações de segurança à estrutura, através da realização de uma inspeção a todos os elementos estruturais e respectivas ligações, está-se em condições de betonar as aduelas 1. Após a betonagem das aduelas 1, é necessário continuar a montagem dos carros de avanço, de forma a estes ficarem independentes um do outro e de forma a permitir a betonagem das restantes aduelas preconizadas para este par de carros.

Após a betonagem das aduelas 1, o tabuleiro tem longitudinalmente cerca de 14 m de comprimento e vai permitir a desmontagem do “cross-member” e a montagem da traseira dos carros de avanço, embora estes continuem a partilhar as vigas do carril principal por ainda não haver espaço para a montagem das duas vigas opostas para cada carro.

6.6.4 Separação dos carros de avanços

Para ser possível separar os carros de avanço é necessário ajustar a posição dos carris principais para ser acoplado a estes um carril secundário. Para isso, accionam-se os cilindros longitudinais para movimentar os carris principais para uma das extremidades do tabuleiro e assim ter espaço longitudinalmente para montar também o carril secundário. Este carril secundário é em tudo idêntico aos carris principais mas são mais curtos e de forma a funcionarem como um prolongamento do carril principal. Com os

carris na posição correcta e devidamente nivelados, através de maciços de madeira, estes estão fixos ao tabuleiro através de varões roscados.

Nesta fase, procede-se à montagem dos “bogies” dianteiros auxiliares e dos respectivos contraventamentos (Figura 119). Os “bogies” dianteiros auxiliares são constituídos por duas barras com o “bogie” acoplado. Os contraventamentos são constituídos por duas barras cruzadas que unem a estrutura dos “bogies” auxiliares. Estes “bogies” são montados unicamente para permitir o equilíbrio, a estabilidade, e permitirem o avanço dos carros quando o “cross-member” for desmontado.

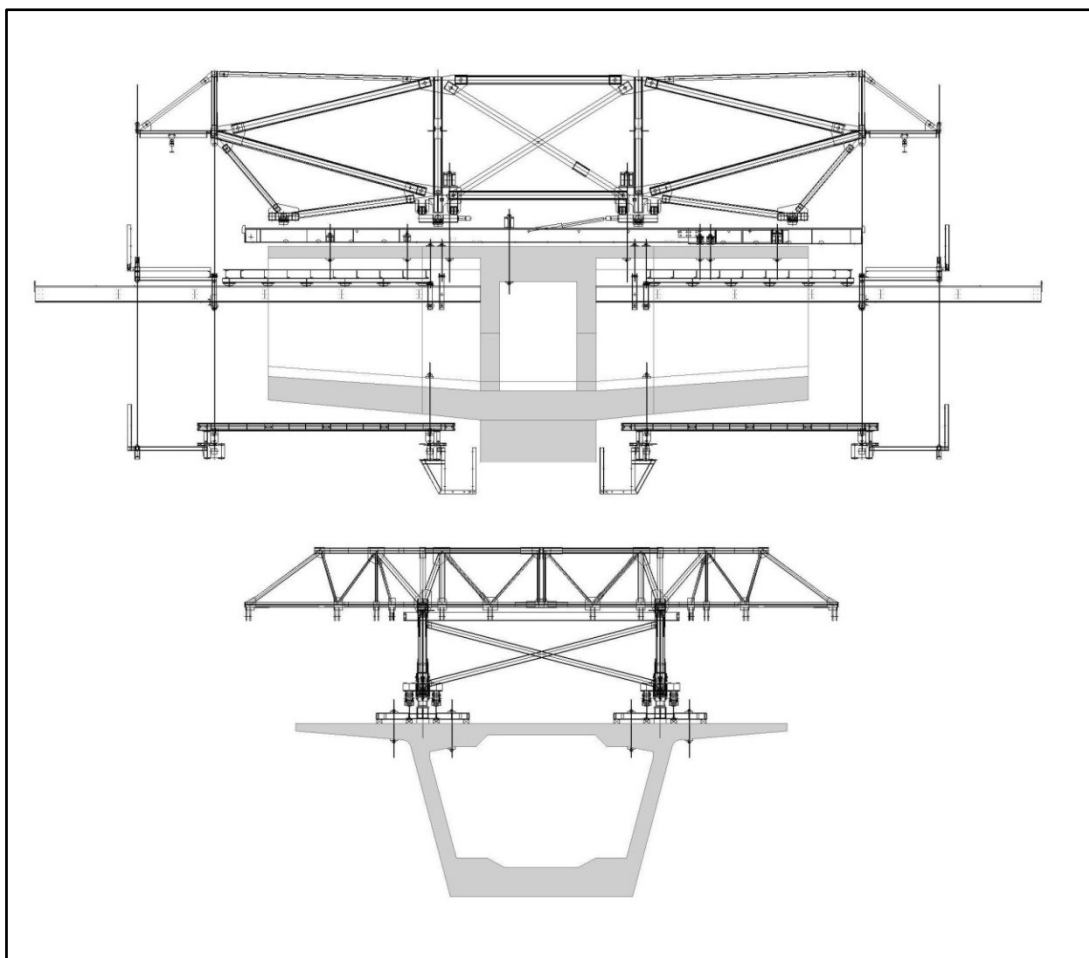


Figura 119 - Montagem dos “bogies” dianteiros auxiliares e contraventamentos; Vista lateral (em cima) e vista frontal (em baixo)

Com os “bogies” dianteiros auxiliares devidamente montados, desmontam-se as quatro barras correspondentes ao “cross-member”, separando assim os carros de avanço. De seguida e já com os “bogies” apoiados nos carris principais, afastam-se os carros um do outro através do accionamento dos cilindros longitudinais. Este avanço é feito até o

“bogie” dianteiro auxiliar atingir a extremidade do carril. Este processo é efectuado apenas para um carro de cada vez e de maneira a que os carros quando não estejam a ser movimentados com o auxílio do macaco longitudinal estejam amarrados com diferenciais impedindo deste modo o seu movimento.

Seguidamente, monta-se a traseira de um dos carros de avanço, que inclui a traseira da treliça principal, o “bogie” traseiro e a garra puxa-empurra. Nesta fase, os “bogies” dianteiros são removidos porque a traseira dos carros vai permitir o equilíbrio e a estabilidade da estrutura. O primeiro carro a ter a traseira montada avança a através do cilindro longitudinal até ao fim do carril principal, fazendo com que haja espaço para a montagem da traseira do outro carro de avanço. Após o avanço do carro, afastam-se os “bogies” do carril principal e efectua-se a amarração do mesmo ao tabuleiro para evitar movimentos longitudinais. Repete-se na totalidade o processo de montagem da traseira para o outro carro de avanço e assim termina a montagem da estrutura dos carros de avanço (Figura 120).

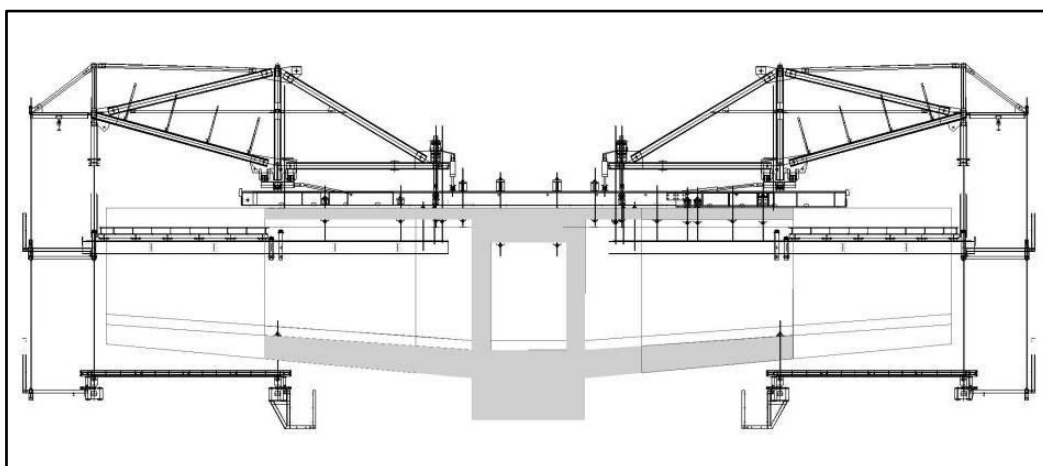


Figura 120 - Esquema dos carros separados

6.6.5 Apoio dos carros de avanços em carris principais independentes

Com o par de carros devidamente montados, procede-se à betonagem das aduelas 2. Para isso, pode ser necessário fazer um ajuste à posição longitudinal dos carros. Após a betonagem das mesmas, o comprimento do tabuleiro aumentou mais 4 m para cada aduela, num aumento total de 8 m.

O carril principal que se encontra no tabuleiro é movimentado sobre a última aduela betonada, através dos cilindros longitudinais, para permitir a montagem de outro carril principal e a desmontagem dos carris secundários. Com os carris principais

correctamente posicionados, o par de carros de avanço está correctamente montado para os ciclos de betonagem das seis aduelas restantes (Figura 121).

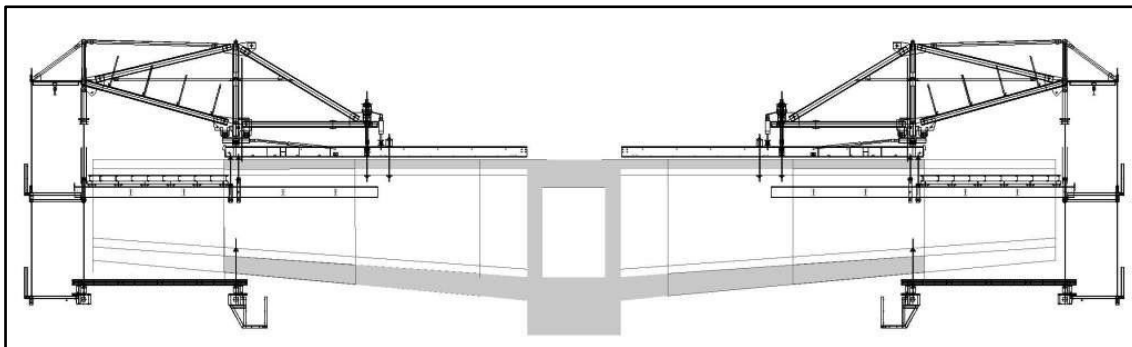


Figura 121 - Esquema dos carros separados e apoiados em carris independentes

6.7 Ciclo de betonagem

O ciclo de betonagem é o conjunto das diferentes operações que são desencadeadas com o objectivo de betonar um par de aduelas, ou seja, uma aduela de cada lado do tabuleiro. Portanto, um ciclo de betonagem inicia-se após a betonagem de uma aduela, até ao fim da betonagem da aduela seguinte.

6.7.1 Período de cura de betão

Os dias seguintes à betonagem da aduela correspondem ao período de cura e de secagem do betão, cerca de 30 a 48 horas, e consequente ganho de resistência mecânica da aduela betonada. Durante este período de tempo, retiram-se a cofragem dos topos da aduela betonada que correspondem à junta de betonagem da próxima aduela. Após se retirarem os topos da cofragem, esta zona encontra-se perfeitamente lisa e procede-se à picagem da respectiva junta com o objectivo desta ficar com a superfície rugosa para que a próxima aduela ao ser betonada fique perfeitamente ligada ao betão antigo da aduela anterior. Durante esta fase, fazem-se os preparativos para a posterior aplicação de pré-esforço que consiste em passar os cabos de pré-esforço nas respectivas bainhas.

6.7.2 Aplicação do pré-esforço

No final do 2º dia do ciclo de betonagem aplica-se o pré-esforço na aduela betonada. A aplicação de pré-esforço consiste em aplicar um tensionamento aos cabos através de um macaco de pré-esforço. Posteriormente, é injectada a calda de cimento com o objectivo de envolver todos os cordões de aço e os proteger da corrosão. Ao ser feita a injeção da

calde de cimento, é necessário expulsar o ar dentro das bainhas e, para isso, é usado um tubo na zona mais alta da respectiva bainha de pré-esforço para permitir a saída de ar das mesmas. Este pré-esforço é aplicado na laje superior, entre as duas juntas de betonagem existentes nas extremidades do tabuleiro, sempre que é betonada uma aduela (Figura 122). O pré-esforço é aplicado em quatro bainhas distribuídas ao longo da laje superior (Figura 125) e assim sucessivamente em todas as aduelas até à aduela de fecho (Figura 123 e Figura 124). Este pré-esforço tem o objectivo de contrariar os momentos negativos presentes na laje superior do tabuleiro.

Após a construção da aduela zero e o consecutivo fecho do tabuleiro, é então aplicado o pré-esforço na laje inferior. Este pré-esforço corresponde a quatro bainhas de pré-esforço (duas de cada lado do tabuleiro) que são deixadas na laje inferior do tabuleiro e nas aduelas centrais (Figura 125 e Figura 126).

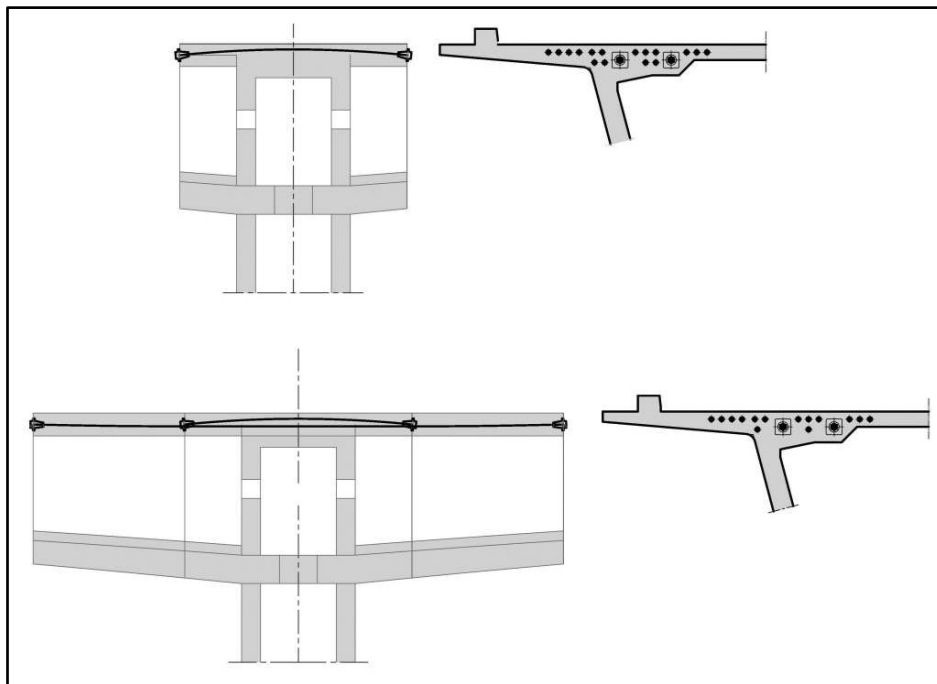


Figura 122 - Esquema do traçado dos cabos de pré-esforço e respectivas juntas de betonagem da primeira aduela (em cima) e da segunda aduela (em baixo)

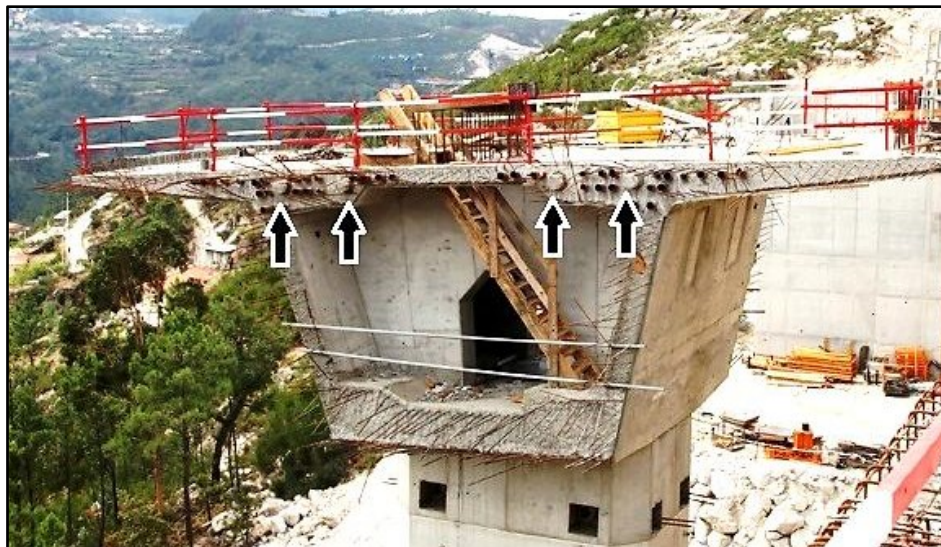


Figura 123 - Vista da junta de betonagem da primeira aduela e respectivas ancoragens e bainhas de pré-esforço



Figura 124 - Vista da junta de betonagem da aduela anterior à de fecho e respectivas ancoragens e bainhas de pré-esforço

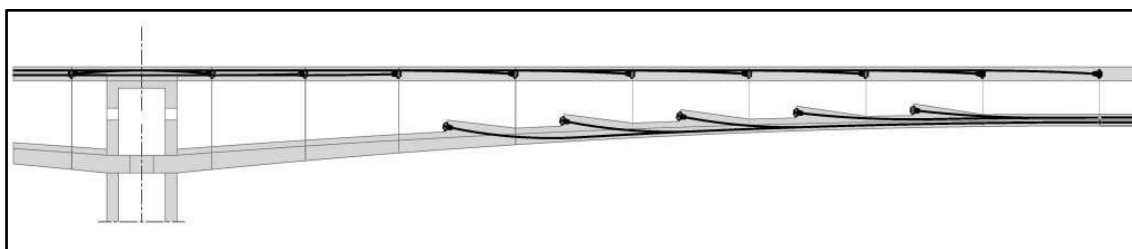


Figura 125 - Esquema do traçado longitudinal dos cabos de pré-esforço

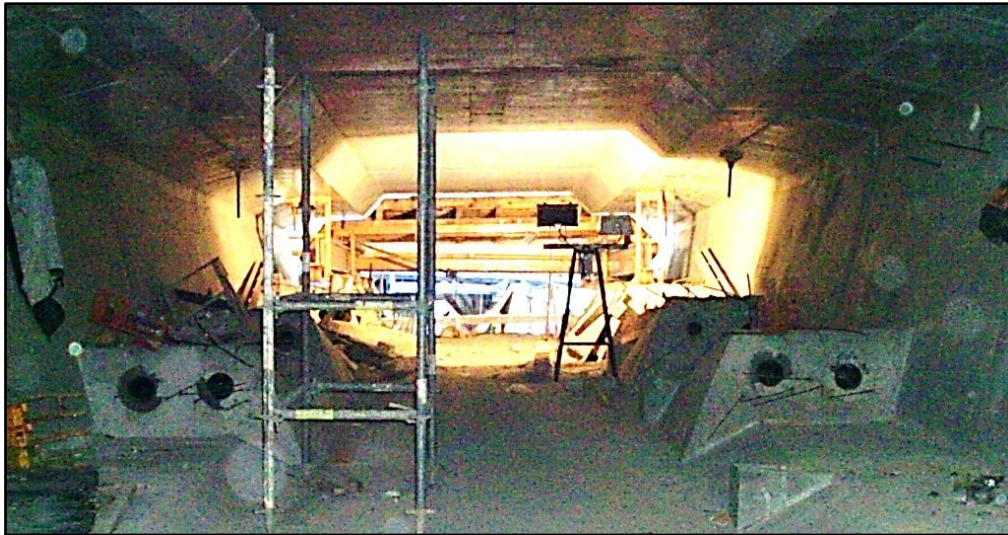


Figura 126 - Vista das extremidades das bainhas de pré-esforço na laje inferior do tabuleiro

6.7.3 Avanço dos carris principais

Nesta fase, os carros de avanço encontram-se na posição de betonagem da última aduela. Para os carros de avanço avançarem, é necessário avançar os carris principais para depois os carros poderem avançar em cima do respectivo carril até ao fim da aduela.

No 3º dia do ciclo, dá-se início à fase de avanço dos carris. Para se avançarem os carris principais é necessário desmontar as vigas inferiores e superiores de amarração que servem para fixar os carris ao tabuleiro. Os carris principais vão avançar através do accionamento do cilindro longitudinal. Para isso, solta-se o patim de deslize e abre-se o cilindro longitudinal até se atingir o seu curso máximo e fixa-se o patim de deslize ao carril através de cavilhas. Ao recolher o êmbolo do cilindro, o carril irá avançar sobre calços de madeira que vão sendo colocados à medida que estes vão avançando, mantendo os carris principais horizontais e diminuindo o atrito. Quando o êmbolo do cilindro longitudinal estiver todo recolhido, repete-se este processo até o carril atingir a extremidade do tabuleiro. Efectua-se a mesma operação nos dois carros de avanço e nos dois carris principais (esquerdo e direito), fazendo avançar um carril de cada vez.

Terminado o avanço dos carris principais, montam-se novamente as vigas de amarração, inferior e superior, através de varões roscados que são fixos ao tabuleiro para que

quando for necessário avançar os carros, os carris principais se mantenham fixos ao tabuleiro (Figura 127).



Figura 127 - Carril principal amarrado após o avanço do mesmo (Caso de Estudo 2)

6.7.4 Descofragem

Antes de avançar os carros para a aduela seguinte, é necessário proceder a uma correcta descofragem e afastamento desta do tabuleiro para evitar que esta possa causar algum atrito durante a fase de avanço e por estar encostada à aduela betonada. O processo de descofragem da plataforma de fundo, da cofragem exterior e da cofragem interior, consiste em baixar o nível das mesmas (processo de arriamento das cofragens) afastando-se assim da aduela já betonada para posteriormente poder avançar. Estas cofragens são arriadas através do arriamento dos carros de avanço, pois estas cofragens estão suspensas na estrutura dos respectivos carros. Antes de se iniciar a descofragem destes elementos, começa-se por descofrar as almas, para isso, é necessário retirar os varões roscados que passam através das almas e que ligam a cofragem exterior e interior das almas.

De seguida, retiram-se os varões roscados entre a traseira da plataforma de fundo e a aduela antiga, assim como, os varões roscados entre a cofragem exterior e o tabuleiro,

ficando estas apenas suspensas nos varões exteriores da treliça traseira dos carros. Seguidamente, soltam-se os varões roscados da zona exterior do tabuleiro, entre a treliça traseira e a plataforma de fundo, de forma a permitir que esta baixe cerca de 10 cm.

A seguir é necessário efectuar uma série de procedimentos de arriamento dos carros de avanço que irá permitir o arreamento de todo o conjunto (estrutura dos carros e cofragem). Abre-se o macaco principal localizado debaixo do “bogie” dianteiro, retiram-se os anéis de travamento do macaco principal e fecha-se o mesmo, que vai permitir que o “bogie” dianteiro baixe e se apoie no carril principal através dos seus roletes (Figura 128). Deste modo, a plataforma de fundo está ligeiramente afastada do tabuleiro. Pode ser necessário calçar os roletes do “bogie” dianteiro com cunhas de madeira evitando deste modo o seu movimento.



Figura 128 - Fecho do macaco principal e consequente apoio das rodas do “bogie”
dianteiro no carril principal



Figura 129 - Abertura do cilindro da garra puxa-empurra e apoio das rodas do “bogie” traseiro nos banzos do carril principal

Nesta fase, tem-se a plataforma da laje de fundo e a cofragem exterior ligeiramente afastada da zona betonada na zona dianteira, e afastada de 10 cm da zona betonada na zona traseira. Para a zona dianteira dos carros arriar, e de forma a que as cofragens fiquem a uma distância segura do betão, é necessário o uso do “bogie” traseiro. Este terá que ser elevado de forma que a zona dianteira do conjunto possa arriar e as cofragens fiquem a uma distância segura do betão. Certifica-se que o carril principal está devidamente fixo através das vigas de amarração. Através do fecho do cilindro da garra puxa-empurra faz-se com que este fique a sustentar a traseira da viga e afrouxamos as porcas dos varões roscados da viga de amarração traseira que constitui o “bogie” traseiro cerca de 10 cm. De seguida, o cilindro da garra puxa-empurra abre de forma a lentamente apoiar as rodas do “bogie” traseiro nos banzos do carril principal (Figura 129). A folga de 10 cm que foi dada anteriormente da traseira da plataforma de fundo serviu de margem de segurança para ser possível elevar a traseira do carro.

Pelo facto da estrutura das cofragens estar suspensa à estrutura principal, ao se arriar o conjunto, vai permitir a correcta descofragem da plataforma de fundo, da cofragem externa e da cofragem interna, na zona dianteira (Figura 130).

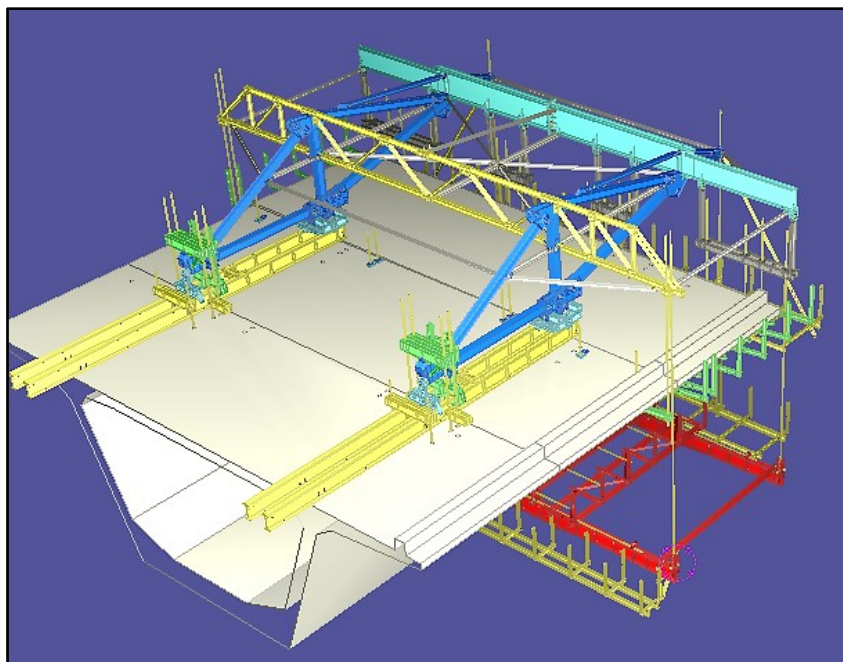


Figura 130 - Vista da suspensão das cofragens através de varões roscados à estrutura principal

A zona traseira da cofragem interna é arriada afrouxando os varões roscados que sustentam os roletes que, por sua vez, sustentam as vigas principais longitudinais da cofragem interna. A cofragem interna fica suspensa nos roletes da retaguarda e os roletes frontais são transferidos para a extremidade da última aduela a ser betonada, ficando numa posição mais à frente.

Os varões da viga de amarração traseira do “bogie” traseiro são removidos. Desta forma, toda a estrutura dos carros fica apoiada nos carris principais, pois é deste modo que todo o conjunto vai posteriormente poder avançar até à aduela seguinte.

6.7.5 Avanço dos carros de avanços

No início do 4º dia começa-se a avançar os carros de avanço. Para avançar os carros é necessário certificar-se que o conjunto pode avançar livremente (sem obstáculos que possa impedir ou causar algum tipo de atrito tais como varões roscados ou alguma cofragem que esteja a tocar no tabuleiro). Os “bogies” dianteiro e traseiro devem estar perfeitamente apoiados no carril principal para que seja possível uma correcta movimentação.



Figura 131 - Fase de avanço do conjunto (Caso de Estudo 2)

O avanço dos carros é processado com recurso ao sistema de movimentação através do patim de deslize e do cilindro longitudinal. Com os cilindros longitudinais fechados, fixam-se os patins de deslize aos carris principais através de cavilhas. Os cilindros ao abrirem em simultâneo, vão fazer com que o carro avance em esquadria (Figura 131). Cada vez que o êmbolo dos cilindros atinge o seu curso máximo, as bombas que activam o cilindro são colocadas em pausa. Aplicam-se cunhas de madeira nos roletes dos carros impedindo o seu movimento. Retiram-se as cavilhas do patim. O êmbolo do cilindro longitudinal recupera o seu curso de forma a poder repetir todo este processo de forma a avançar os carros até à posição correcta.

A cofragem interna encontra-se suspensa na zona dianteira à estrutura principal dos carros e, por isso, avança com o conjunto. Na retaguarda da mesma, existem roletes suspensos na laje superior do tabuleiro, através de varões roscados, nos quais a cofragem interna se apoia para avançar (Figura 132).

Os carros devem avançar até atingirem a extremidade dos carris principais que coincide com a extremidade da última aduela betonada.



Figura 132 - Vista dos roletes para apoio da cofragem interna (Caso de Estudo 2)

6.7.6 Bloqueio dos carros de avanços

Para se bloquearem os carros de avanço é necessário que estes fiquem apoiados nos cilindros principais, na zona dianteira, e bloqueados com a viga de amarração do “bogie” traseiro. Começa-se por colocar os macacos principais em cima dos calços e estes, por sua vez, nos plintos do tabuleiro. Seguidamente, accionam-se os cilindros hidráulicos principais que ao abrirem e ao apoiarem nos calços, vão elevar a parte frontal dos carros (Figura 133). Quando estiverem na posição correcta, com os roletes ligeiramente afastados dos carris, ajusta-se o anel de travamento do cilindro hidráulico principal e retiram-se as bombas que accionaram os respectivos macacos. Para bloquear a zona traseira dos carros é necessário afastar as rodas do “bogie” traseira através do accionamento do cilindro do respectivo “bogie” e de forma a nivelar a treliça traseira. Quando esta estiver devidamente nivelada, fixa-se a viga de amarração traseira do “bogie” através dos quatro varões roscados fixos à laje superior do tabuleiro (Figura 134).



Figura 133 - Abertura do cilindro hidráulico principal e afastamento das rodas do "bogie" dianteiro dos carris principais



Figura 134 - Vista da viga de amarração do bogie traseiro e respectivos varões roscados

6.7.7 Posicionamento da cofragem

As plataformas externas de cofragens são elevadas individualmente na traseira através de diferenciais colocados na treliça traseira. Quando estiverem na sua correcta posição são amarradas através dos varões roscados instalados na treliça traseira e na aduela

anterior do tabuleiro. É necessário deixar alguma folga para poderem ser alinhadas posteriormente na dianteira.

A plataforma da cofragem interna é elevada na traseira através dos varões roscados dos respectivos roletes. Quando estiver na sua posição correcta é amarrada através de varões roscados instalados na aduela anterior do tabuleiro e também prevendo alguma folga para poderem ser alinhadas posteriormente na dianteira.

A plataforma da laje de fundo das cofragens é elevada individualmente na traseira através de diferenciais colocados na treliça traseira. Quando esta estiver devidamente encostada à aduela anterior é amarrada através de varões roscados instalados na treliça traseira e na laje inferior da aduela anterior do tabuleiro (prevendo-se também uma folga suficiente para poder ser alinhada posteriormente na dianteira).

A zona dianteira das cofragens é alinhada e elevada através de diferenciais instalados na viga dianteira e nas vigas transversais. Para serem alinhadas horizontalmente os diferenciais são colocados na diagonal. Este alinhamento e posicionamento devem ser efectuados com a ajuda de uma equipa topográfica, garantindo que as diferentes cofragens fiquem correctamente posicionadas, para que o tabuleiro possa ser correctamente desenvolvido. Após o correcto alinhamento, as diferentes plataformas de cofragem são devidamente bloqueadas e pré-esforçadas através dos varões roscados existentes na dianteira e na retaguarda do conjunto. As cofragens internas das almas do tabuleiro só são aplicadas após a montagem das armaduras e de forma a facilitar a montagem das mesmas. As cofragens dos topos são montadas nesta fase com a correcta furação para o prolongamento das armaduras e das bainhas de pré-esforço.

Todos os varões roscados, que bloqueiam as diferentes estruturas das cofragens às lajes da aduela anterior ou à estrutura dos carros de avanço, são tencionados com recurso a um cilindro hidráulico de haste oca (Figura 135).

Nesta fase e após o correcto posicionamento das cofragens, é necessária a aplicação de contraflechas nos varões roscados que sustentam as cofragens e de forma a assegurar o correcto desenvolvimento do tabuleiro. As contraflechas são introduzidas nos elementos estruturais através do aumento do tensionamento dos varões roscados. Este tensionamento obedece a um plano de contraflechas existente para todo tabuleiro da ponte e pode sofrer alterações ao longo da construção do tabuleiro. A aplicação das

contraflechas tem como objectivo compensar as deformações elásticas da estrutura devido às cargas permanentes.



Figura 135 - Exemplo do tensionamento de varões roscados através do accionamento de cilindros de haste oca

6.7.8 Montagem das armaduras

As armaduras começam a ser montadas a partir da laje inferior e das almas do tabuleiro (Figura 136), e só posteriormente são montadas as armaduras da laje superior do tabuleiro. À medida que vão sendo montadas as armaduras, vão sendo instaladas as bainhas de pré-esforço e os negativos das lajes do tabuleiro (que servem para que os varões roscados passem pelas mesmas), e em conformidade com o respectivo projecto.



Figura 136 - Montagem das armaduras ordinárias na laje inferior do tabuleiro (Caso de Estudo 2)

Após a montagem destas armaduras, é montada a cofragem interna das almas, que é fixada à cofragem exterior através de varões roscados e de esticadores existentes dentro dos negativos, e de forma a posteriormente não ficarem fixos ao betão (Figura 137).



Figura 137 - Vista da cofragem interna das almas do tabuleiro (Caso de Estudo 2)

Seguidamente são montadas as armaduras da laje superior do tabuleiro juntamente com os negativos e as bainhas de pré-esforço. Após a correcta montagem de todas as armaduras, negativos e bainhas de pré-esforço, a aduela encontra-se preparada para a fase de betonagem. A Figura 138 é relativa à betonagem da aduela 2 (com os carros a partilharem ainda a viga carril) mas ainda é possível observar as armaduras, os negativos e as bainhas de pré-esforço, que são idênticas às aplicadas nas outras aduelas.



Figura 138 - Vista da armadura da laje superior, e das bainhas de pré-esforço e dos negativos

6.7.9 Betonagem

No último dia do ciclo é realizada a betonagem das aduelas, Figura 139. Esta é feita de forma alternada entre as duas aduelas e com o objectivo de evitar uma excentricidade de carga no tabuleiro e devido ao peso próprio do betão fresco.



Figura 139 - Laje inferior betonada (Caso de Estudo 2)

A betonagem do tabuleiro deve ser feita pela seguinte ordem: laje inferior, almas e, por fim, a laje superior. Contudo, é importante que a velocidade de betonagem seja relativamente lenta de forma a evitar que o peso do betão fresco das almas faça subir o betão da laje inferior. Durante toda a betonagem, o betão deve ser correctamente vibrado. Para isso, é necessário recorrer a vários vibradores em simultâneo. É conveniente que no final da betonagem da laje superior esta fique com a superfície correctamente regularizada e de forma a facilitar as diferentes etapas de avanços ao longo do ciclo seguinte.

A Figura 139 e Figura 140 são também relativas à betonagem da aduela 2, onde se pode observar a fase de betonagem.



Figura 140 - Betonagem da laje superior e uso de vibradores (Caso de Estudo 2)

6.8 Fases críticas e inspecções

A utilização de carros de avanço para a construção do tabuleiro de uma ponte deverá ter em conta situações críticas que estão relacionadas directamente com a construção do tabuleiro, com a utilização dos carros de avanço e com a interação destes dois aspectos técnicos.

6.8.1 Pré-esforço

As operações relacionadas com a aplicação do pré-esforço realizam-se em duas fases distintas. A primeira fase é correspondente à montagem das armaduras nas aduelas a betonar e a segunda fase é referente à aplicação das cargas de pré-esforço nos cabos. Durante a montagem das armaduras em cada aduela são montadas as bainhas de pré-esforço relativas ao tensionamento daquela aduela e das seguintes até à aduela de fecho. As precauções a ter em conta relativamente a esta fase são idênticas às indicadas no capítulo 5, onde já foram desenvolvidas. De uma forma genérica correspondem a:

- As uniões nos prolongamentos nas bainhas de pré-esforço devem ser as mais perfeitas possíveis e estanques;
- Os cabos a usar devem estar em perfeito estado de conservação, limpos e isentos de sujidade visível que possam por em causa uma correcta aderência com a calda de cimento;

- Os tubos de purga das bainhas de pré-esforço devem ficar previamente montados na zona das ancoragens e nas zonas mais elevadas por forma a permitir a expulsão do ar do seu interior e o correcto enchimento com a calda de cimento;
- Durante as operações de injeção das bainhas com calda de cimento deve haver nas imediações das operações dispositivos de água sob pressão e de ar comprimido para o caso de ser necessário a limpeza das bainhas quando não se poderem finalizar as operações de injeção de calda dentro dos tempos previstos;
- As operações de tensionamento dos cabos não devem ser efectuadas com temperaturas inferiores a 0° C;
- Devem ser efectuadas medições do alongamento dos cabos após o seu tensionamento para aprovação do processo de pré-esforço pela direcção de obra e antes de estes serem cortados;
- Os cabos só poderão ser cortados após a aprovação das operações de pré-esforço e exclusivamente através de meios mecânicos.

Além das precauções referidas anteriormente também é necessário após a fase de aplicação do pré-esforço, efectuar um levantamento altimétrico do respectivo par de aduelas recentemente betonadas e pré-esforçadas. Este levantamento é fundamental para recolher informação relativa à certificação do correcto desenvolvimento do tabuleiro da ponte.

6.8.2 Betonagem

A operação de betonagem das aduelas constitui uma fase crítica do ciclo porque corresponde à fase de solicitação máxima da estrutura e das cofragens do cimbra. Tal como em outras fases, a questão do bloqueio do movimento dos carros é essencial. Durante as fases em que o cimbra não está a ser usado, quando se procede ao avanço da viga carril, durante as operações de betonagem e durante a aplicação do pré-esforço, deve, portanto, todo o conjunto dos carros de avanço estar devidamente bloqueado e de modo a evitar a ocorrência de qualquer movimento descontrolado e imprevisto, e devido à influência da inclinação longitudinal do tabuleiro. Nestas fases, a estrutura dos carros

deve estar apoiada na zona do “bogie” dianteiro, em cima do macaco principal e, na retaguarda, deve estar bloqueada através do tensionamento dos varões roscados existentes entre a viga transversal do “bogie” traseiro e o tabuleiro.

Durante a fase de betonagem é essencial efectuar levantamentos altimétricos do par de aduelas. Estes levantamentos são feitos antes e após a fase de betonagem. Antes da fase de betonagem, para o correcto posicionamento das cofragens, quando este for betonado. E após a fase de betonagem de cada aduela, por forma a recolher informações sobre as deformações ocorridas nos carros de avanço e a geometria do tabuleiro. Para este tipo de tabuleiro desenvolvido pela construção de aduelas sucessivas, este procedimento é fundamental para controlar a geometria do tabuleiro em consola e tendo em vista a sua união na aduela de fecho.

No dimensionamento da ponte do Caso de Estudo 2, foi tido em conta o desequilíbrio provocado na fase de betonagem das aduelas. A betonagem das aduelas é feita de forma alternada e faseada, permitindo no máximo 8 m³ de betão fresco a mais em cada uma das extremidades do tabuleiro em consola.

Em relação à temperatura, não é permitida a betonagem a temperaturas inferiores a 0° C ou caso hajam previsões que tais condições climáticas adversas possam ocorrer nos cinco dias seguintes à betonagem.

6.8.3 Avanço da viga carril e dos carros de avanços

Na fase precedente ao avanço da estrutura principal dos carros de avanço e suas cofragens, é necessário avançar a viga carril até à extremidade do tabuleiro, que corresponde à última aduela betonada. Tal como foi descrito anteriormente, no ciclo deste método construtivo, a viga carril avança através do acionamento do cilindro longitudinal e com a ajuda do respectivo patim. A viga carril avança progressivamente apoiada nos calços de madeira que vão sendo colocados à medida que esta vai avançando. Durante este procedimento, é necessário que a viga avança centrada nos respectivos calços, fazendo com que seja um avanço controlado para não provocar danos no cilindro longitudinal. No final deste avanço, a viga carril deve continuar limpa e isenta de detritos na zona dos banzos superiores para que posteriormente os roletes do “bogie” dianteiro e as rodas do “bogie” traseiro possam rolar livremente na zona superior e inferior do banzo, respectivamente. Da mesma forma, os roletes do “bogie”

dianteiro e as rodas do “bogie” traseiro devem ser verificados. Estas devem estar em perfeitas condições de rolamento e também isentas de sujidade ou produtos que façam aumentar o seu atrito.

Relativamente ao uso dos “bogies” dianteiros, é dada especial importância ao facto de não poderem ser acionados os seus cilindros hidráulicos de forma a elevar a estrutura na zona dianteira e na retaguarda, se a plataforma da cofragem de fundo se encontrar encostada à laje inferior do tabuleiro ou, isso vir a acontecer durante o accionamento dos respectivos cilindros hidráulicos. Portanto, deve ser tido em conta o afastamento necessário entre a plataforma da cofragem de fundo e a laje inferior do tabuleiro, para que não seja posta a causa a segurança da estrutura dos carros de avanço.

6.8.4 Desequilíbrio permitidos no tabuleiro

Os desequilíbrios que são permitidos dos dois lados do tabuleiro é uma questão técnica muito importante para assegurar o equilíbrio do tabuleiro enquanto que este não seja fechado (até ser betonada a aduela de fecho e ser aplicado o pré-esforço). Os desequilíbrios possíveis de ocorrer no tabuleiro podem ser resultantes de depósito de materiais, de cargas temporárias relativas a maquinaria, do posicionamento dos carros de avanço em desequilíbrio com o pilar ou como já foi referido pelo peso de betão fresco na fase de betonagem. Deve portanto ser tido em conta que os desequilíbrios máximos admissíveis são equivalentes a 8 m^3 de betão, que equivale a aproximadamente 20 toneladas. Também não é permitido que um dos carros de avanço seja retirado do tabuleiro, mesmo na fase da construção da aduela de fecho.

6.8.5 Acção do vento

A velocidade do vento actuante é um aspecto técnico muito importante a ter em conta neste tipo de obras de arte. Deve ser dada especial relevância ao facto de muitos deste tipo de pontes serem localizadas em zonas montanhosas e, por vezes, de elevada altitude, estando por isso mais susceptíveis à acção do vento.

A velocidade crítica do vento é determinada com base na máxima rajada de vento à cota dos carros de avanço. Durante a movimentação longitudinal, a velocidade máxima de vento permitida é de 20 m/s (72 km/h). Na fase de betonagem, a velocidade máxima de vento permitida é de 32 m/s (115km/h). Quando se registarem ventos com velocidade superiores a 20 m/s os carros de avanço devem permanecer amarrados na sua posição de

segurança e as cofragens não podem estar apenas suspensas à estrutura dos carros. Devem também estar amarradas ao tabuleiro através dos carros de avanço.

A presença de um anemómetro na estrutura dos carros de avanço permite aos operadores dos carros de avanço receber avisos sonoros sempre que a velocidade máxima de vento é atingida (20 m/s). Sempre que este limite for atingido, durante a fase de betonagem, deve o operador ajustar o anemómetro para velocidade de vento limite superior de (32 km/h). Apesar da existência do anemómetro na estrutura, devem também ser tidas sempre as previsões climatéricas durante a utilização do cembre e de forma a reduzir o risco de utilização do mesmo. Para previsão de ocorrência ventos fortes, os carros de avanço devem permanecer amarrados ao tabuleiro e em segurança.

6.8.6 Inspecções ao cembre

Durante a utilização dos carros de avanço, desde a fase de montagem até à fase cíclica, é necessário proceder a inspecções regulares por parte de técnicos especialistas representantes do projectista do cembre e do construtor, e de forma a garantir que todos os componentes estruturais são correctamente montados e que este pode ser usado para o seu devido efeito. As inspecções devem ser bastante rigorosas, pois qualquer anomalia ou funcionamento deficitário, poderá por em risco vidas humanas, a estrutura da obra de arte, os carros de avanço e outras consequências nefastas.

As inspecções a realizar ao cembre são essencialmente processadas após a montagem dos carros de avanço com recurso ao sistema “cross-over”, após a separação dos carros para a utilização de forma cíclica e sempre que haja indícios de algum defeito em algum dos componentes dos carros de avanço. As inspecções abrangem todos os componentes da estrutura metálica incluindo cavilhas, parafusos, porcas, equipamento oleohidráulico e consumíveis (necessários à montagem e à utilização dos carros de avanço).

Durante a utilização dos carros de avanço, deve ser mantida uma apertada vigilância do estado de conservação e do funcionamento de todo o equipamento dos carros de avanço, como por exemplo:

- Equipamento oleohidráulico, que deve permanecer sem fugas, sem danos visíveis nos êmbolos e com os níveis de óleo correctos;

- Varões roscados, que devem ser utilizados após um correcto acondicionamento, ser isentos de empenos ou de imperfeições nas roscas;
- Parafuso ou cavilhas, garantindo que devem permanecer sem danos visíveis e que devem ser montadas com o aperto necessário.

6.9 Considerações finais

Através deste capítulo foi possível descrever detalhadamente o processo de utilização de carros de avanço na construção de uma ponte cujo tabuleiro foi construído por avanços sucessivos (Caso de Estudo 2). A identificação desta ponte foi processada assim como a descrição do sistema estrutural constituinte do cembre utilizado. Este sistema estrutural é constituído essencialmente pela estrutura principal, pelo dispositivo de movimentação, pelas cofragens e pelas plataformas de acesso a trabalhadores.

Aspectos técnicos relativos ao processo de montagem deste cembre foram identificados e descritos.

As fases críticas e os trabalhos de inspecção inerentes à utilização deste tipo de sistema estrutural provisório e móvel também foram realçados.

Todos estes aspectos técnicos foram complementados com a apresentação de fotografias recolhidas em obra e durante o processo de construção do tabuleiro da ponte usada como Caso de Estudo 2.

CAPÍTULO 7 - CONCLUSÕES

7 Conclusões

A fase inicial de investigação dos métodos construtivos de pontes de betão armado e/ou pré-esforçado permitiu identificar, descrever e exemplificar os cimbres mais utilizados na construção de pontes. Deste modo dividiram-se os cimbres em duas categorias e que são os cimbres ao solo e os cimbres aéreos.

Ao estudar os diferentes tipos de cimbres, constata-se que a opção do cembre a adoptar não é uma decisão linear, pelo facto de cada obra ter as suas especificidades e requerer um tipo de cembre também específico. Apesar da especificidade de cada cembre, de modo geral, estes são constituídas por elementos metálicos, de fácil montagem e desmontagem, de fácil transporte e que podem ser reutilizados. Os cimbres, apesar de serem estruturas provisórias, podem ser bastante complexos e estarem sujeitos a cargas diferenciadas, fenómenos de instabilidade relevantes e a acções dinâmicas.

O estudo mais aprofundado dos cimbres autolançáveis veio esclarecer algumas diferenças na utilização de cimbres autolançáveis superior e inferior. Por sua vez, foi resumido o sistema tecnológico OPS, que integrado nos cimbres autolançáveis veio alargar o leque de vãos máximos admissíveis.

Aprofundou-se também o estudo sobre os processos construtivos de tabuleiros de pontes do tipo avanços sucessivos. Durante o qual, identificaram-se e descreveram-se os aspectos técnicos relevantes deste processo construtivo tais como, por exemplo, os desequilíbrios do tabuleiro em relação ao pilar passíveis de ocorrer, assim como, os métodos que visam combater esses desequilíbrios.

O conhecimento mais aprofundado acerca dos cimbres autolançáveis e acerca do processo construtivo de tabuleiros de pontes do tipo avanços sucessivos é importante e é fundamental para uma melhor compreensão e consciencialização, e tendo em conta o posterior acompanhamento em obra da utilização destes tipos cimbres e destes métodos construtivos de tabuleiros de pontes.

O acompanhamento em obra durante as várias fases construtivas de tabuleiros de pontes com recurso a cimbres autolançáveis e a carros de avanço foi crucial para a compreensão do seu funcionamento e da interação destes dois tipos de cimbres com a obra de arte durante a fase construtiva. O acompanhamento real da utilização destes dois tipos de cimbres permitiu também entender as dificuldades sentidas em obra, conhecer e

quantificar temporalmente as distintas fases de utilização dos cimbres, assim como identificar as fases críticas, os trabalhos de inspecção e as tarefas de verificação necessárias desenvolver durante o processo construtivo.

Bibliografia

- [1] – Menn, Christian, Prestressed Concrete Bridges, Birkhäuser Verlag AG Basel, 1990.
- [2] – Manterola J., *Puentes*, Rugarte, S.L., 2006.
- [3] – Bape, C., Execução de Estruturas de Betão, Instituto Superior Técnico, 2005.
- [4] – Morin, M., Estudo do Tabuleiro de um Viaduto com Betão Pré-esforçado Construído Tramo a Tramo com Vãos de 90 Metros - Relatório de Projecto submetido para satisfação parcial dos requisitos do grau de Mestre em Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia Civil do Porto, Porto, 2008.
- [5] – <http://www.ulma-c.com.br>.
- [6] – Paulo, P., Brito, J., - Escoramentos, Cimbres e Cofragens, Departamento de Engenharia Civil do Instituto Superior Técnico, Lisboa, 2003.
- [7] - <http://www.peri.pt>.
- [8] – Silva, R., - Pontes em Viga Caixão em Betão Armado Pré-esforçado com Vãos de Aproximadamente 100 Metros, Dissertação submetida para satisfação parcial dos requisitos do grau de Mestre em Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia Civil do Porto, Porto, 2009.
- [9] - <http://www.strukturas.com/bridge-building-equipment>.
- [10] – Mathivat, J., Construcción de Puentes, Editores Técnicos Asociados, s.a., 1980.
- [11] - http://www.masterbuilders.co.za/news/2009/December/flying_saucer_interchange.htm.
- [12] - http://de.wikipedia.org/wiki/Datei:Itztalbruecke_2005-07-24.jpg.
- [13] – Rodrigues, F., - Estudo Económico de Processos Construtivos de Tabuleiros Betonados *In Situ* em Pontes de Pequeno e Médio Vão, Dissertação submetida para satisfação parcial dos requisitos do grau de Mestre em Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia Civil do Porto, Porto, 2008.
- [14] - <http://www.springerlink.com/content/r777377227j3r877/>
- [15] – Pacheco, P., - Pré-esforço Orgânico – Um Exemplo de Sistema Efectivo, Dissertação para obtenção do grau de Doutor em Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia Civil do Porto, Porto, 1998

.

[16] - <http://www.berd.eu>.

[17] - <http://www.alpisea.com/>.

[18] – Software Google Earth.