

**V SBPE
2025**

V Seminário Brasileiro
de Pontes e Estruturas



12 de Setembro
PUCRS
Porto Alegre - RS

Realização



PONTE ESTAIADA DE GUARATUBA PROJETO – CONSTRUÇÃO – BIM

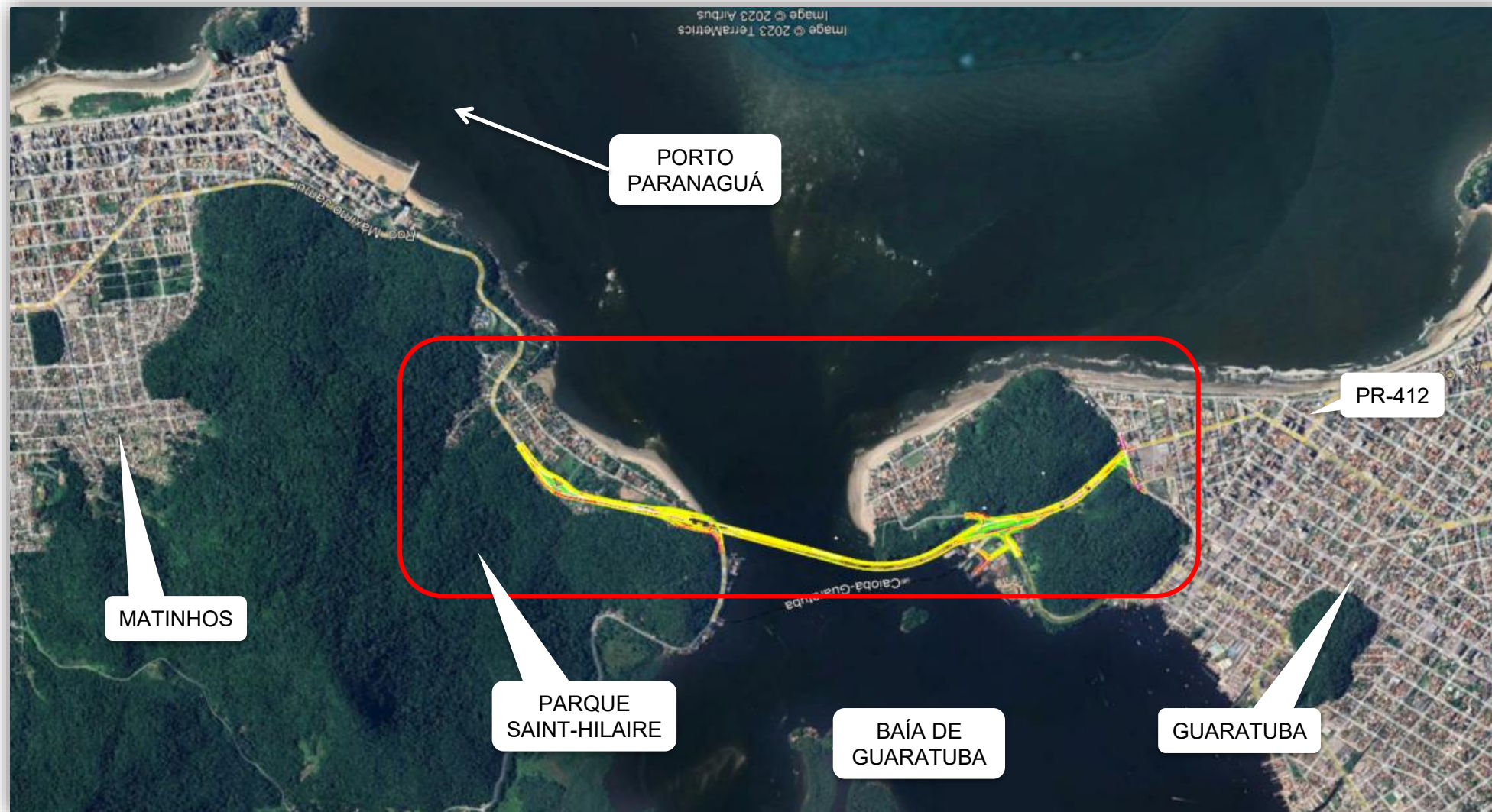
**RUI OYAMADA
MARCIO MENDONÇA
ALVARO CAVALCANTI**

Porto Alegre, setembro de 2025

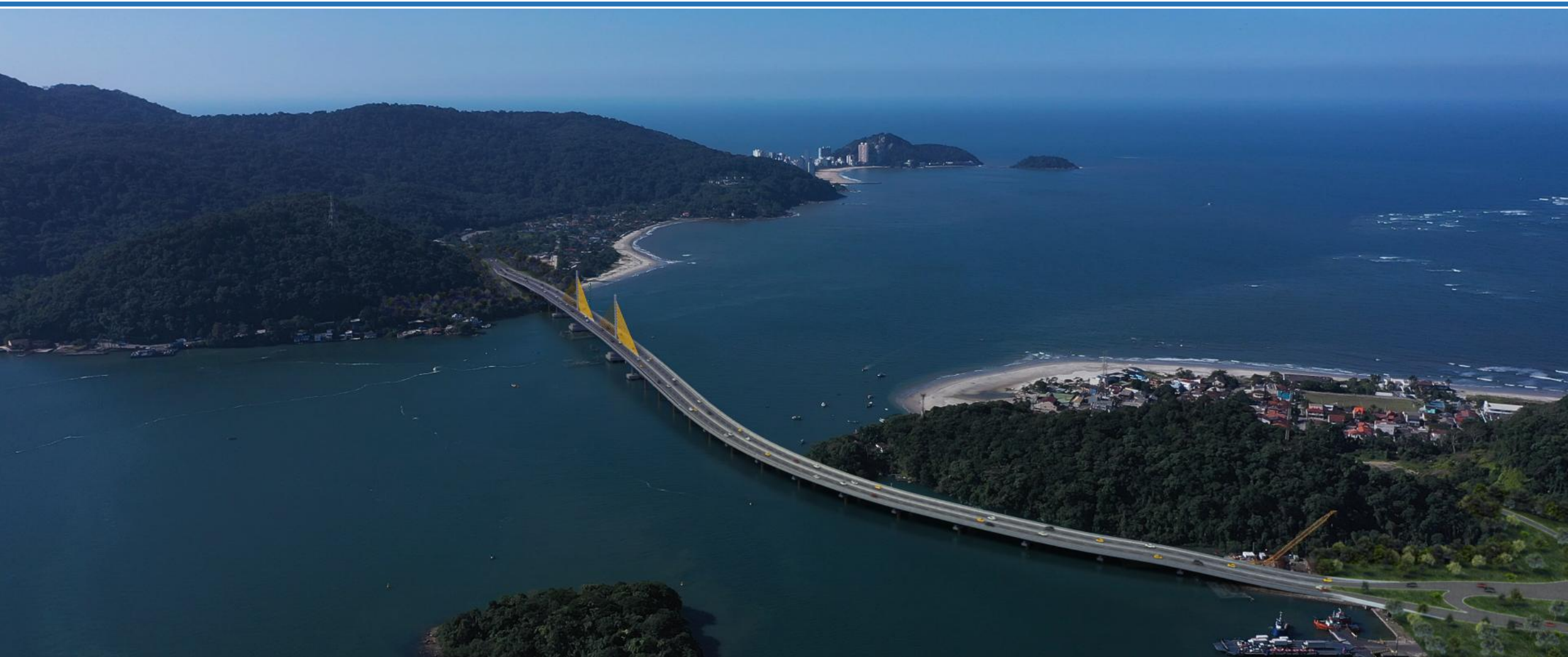


- **Cliente:** DER – Departamento de Estradas de Rodagem PR
- **Construção:** Consórcio Nova Ponte  **OEC** Odebrecht Engenharia & Construção  **CARIOCA** engenharia  **GEL** GOETZE LOBATO ENGENHARIA LTDA
- **Prazo:** Entrega Abril/26
- **Modalidade:** RDCI Concorrência com Regime de Contratação Integrada nº 01/2022 DER/DT
- **Projetos :**  **OÜTEC** ENGENHARIA (Projeto Estrutural) e Intertechne (Projeto Geometrico)
- **Fonte de Recurso:** Tesouro do Estado – Recurso empenhado
- **Valor do Contrato:** R\$ 386,9 MM (base fev/22)

Localização



Implantação



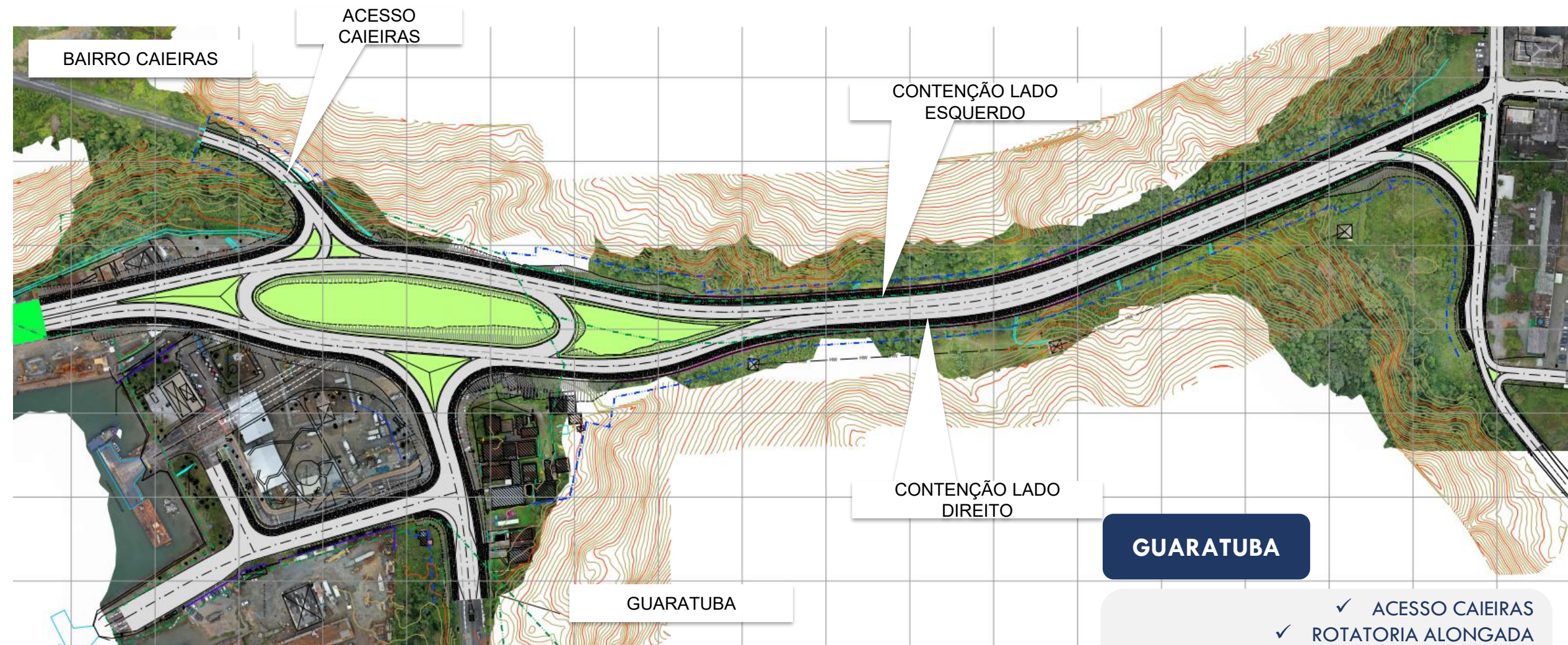
Acesso Matinhos



MATINHOS

- ✓ ACESSO CABARAGUARA
- ✓ RETORNO MESMO NIVEL
- ✓ TAPER FISCALIZAÇÃO
- ✓ 4x PONTOS DE ONIBUS
- ✓ 4 FAIXAS + CICLOVIA AMBOS LADOS

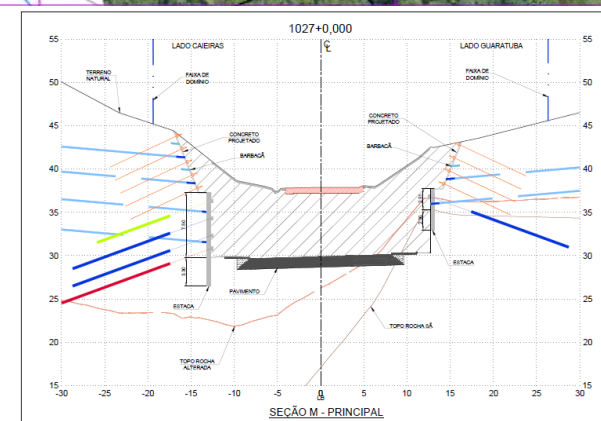
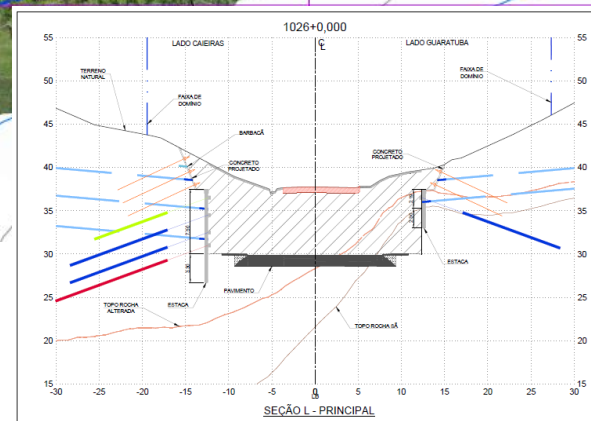
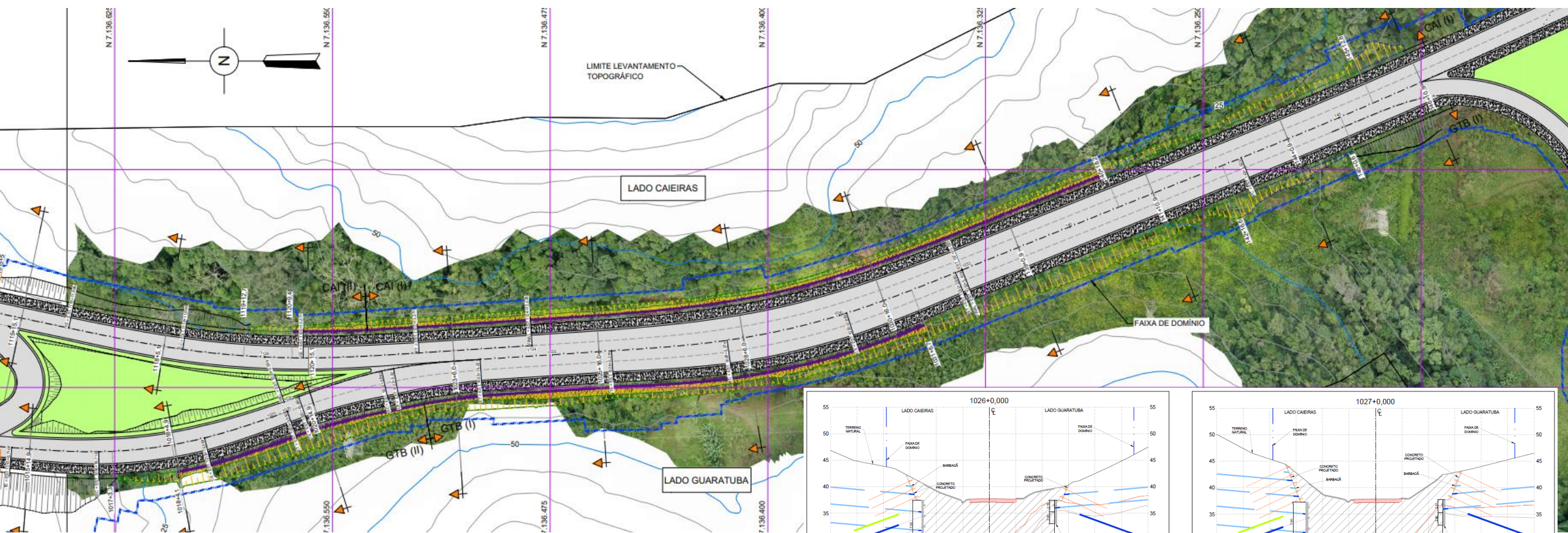
Acesso Guaratuba



GUARATUBA

- ✓ ACESSO CAIEIRAS
- ✓ ROTATORIA ALONGADA
- ✓ CONTENÇÃO
- ✓ ACESSO CENTRO
- ✓ 4 FAIXAS + CICLOVIA AMBOS LADOS

Acesso Guaratuba - Contenção



OAE - Trecho 01 Viga pré-moldado (x3 vãos) – Matinhos

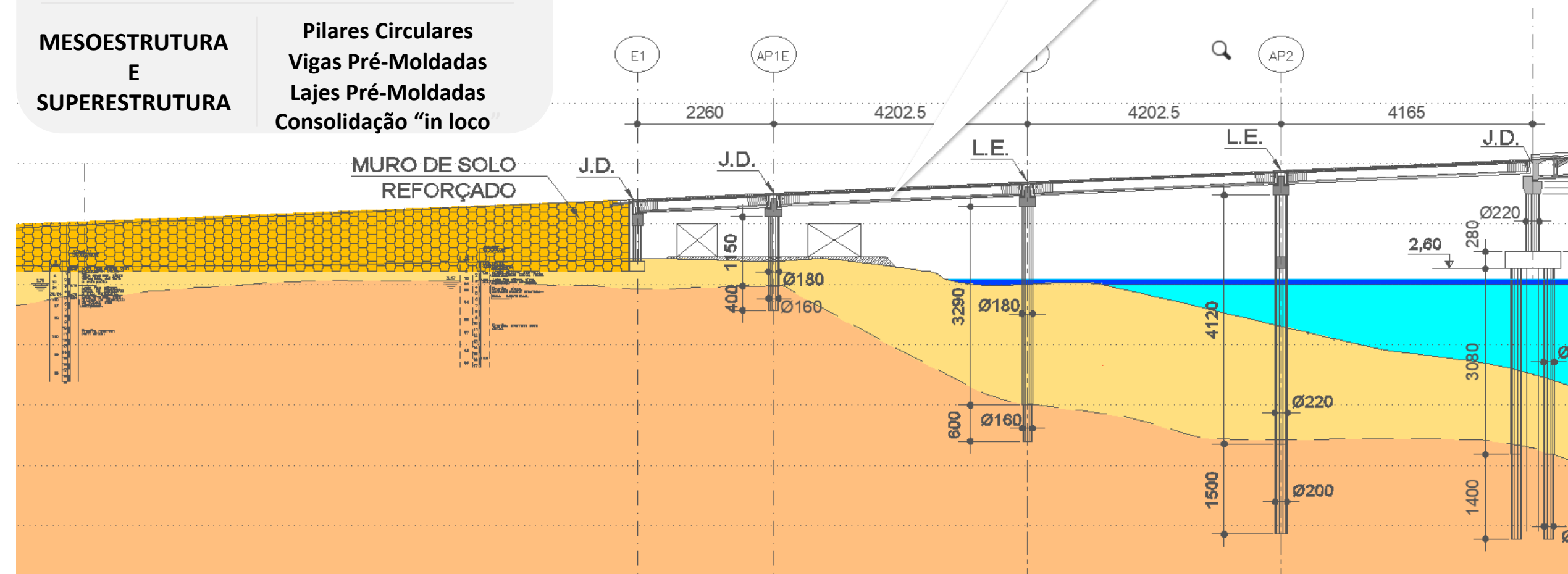
FUNDAÇÕES (5 Apoios)

1 Apoio: 4x Ø180cm
1 Apoio: 2x Ø220cm
1 Apoio: 2x Ø180cm
1 Apoio: E. Raiz
1 Apoio: F. Direta

MESOESTRUTURA E SUPERESTRUTURA

Pilares Circulares
Vigas Pré-Moldadas
Lajes Pré-Moldadas
Consolidação "in loco"

LADO MATINHOS – 3 vãos
de 41m + 1 vão de 20,50m



OAE - Vão Estaiado

**FUNDAÇÕES
(2 Apoios)**

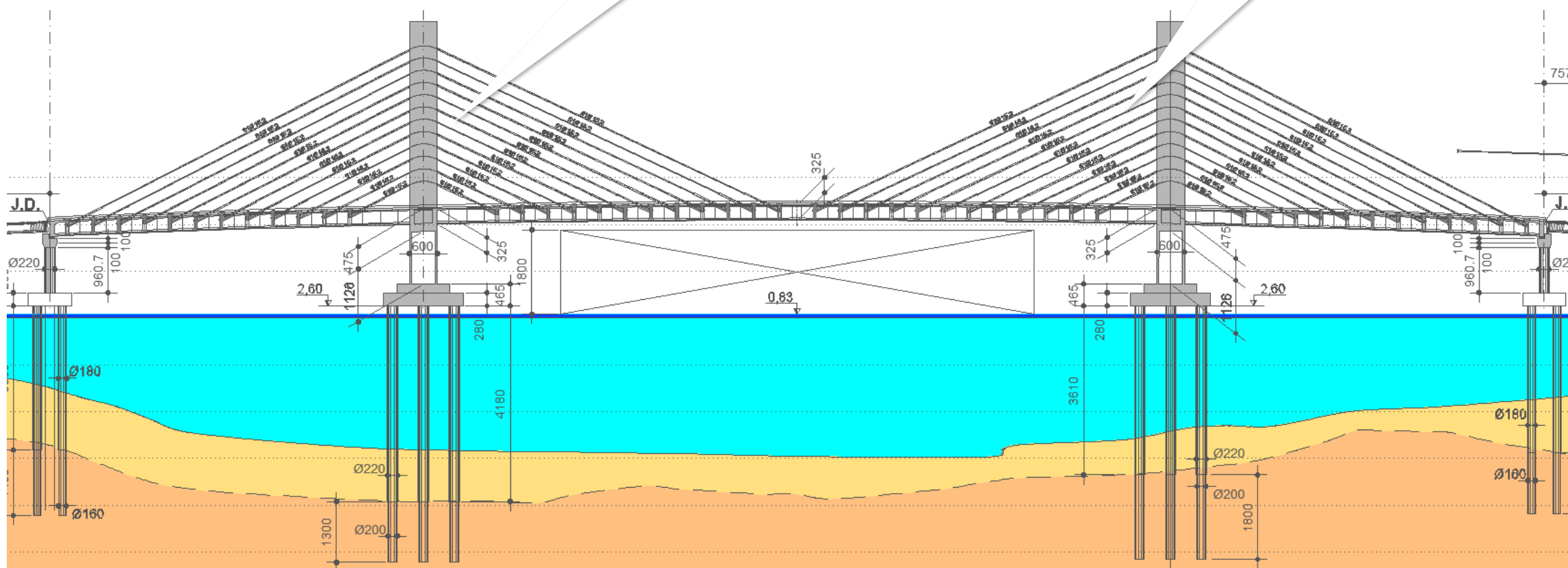
**2 Mastros
8 Estacas Escavadas
Ø220cm / Mastro**

**TRECHO
ESTAIADO**

**56 Aduelas
Sucessivas**

ESTAIADO MASTRO 1

ESTAIADO MASTRO 2



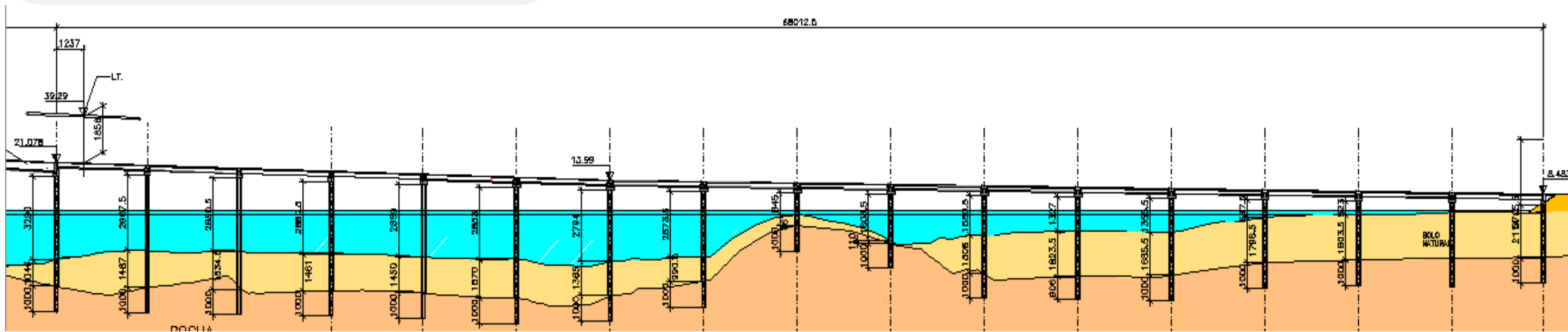
OAE - Trecho 02 Viga Pré-moldada (x16 vãos) - Guaratuba

FUNDAÇÕES (17 Apoios)

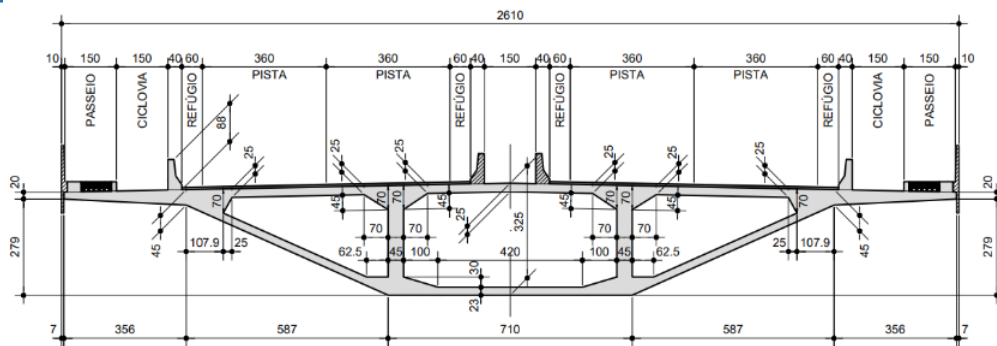
1 Apoio: 4x Ø180cm
9 Apoios: 2x Ø180cm
7 Apoios: 2x Ø220cm

MESOESTRUTURA E SUPERESTRUTURA

Pilares Circulares
Vigas Pré-Moldadas
Lajes Pré-Moldadas
Consolidação "in loco"

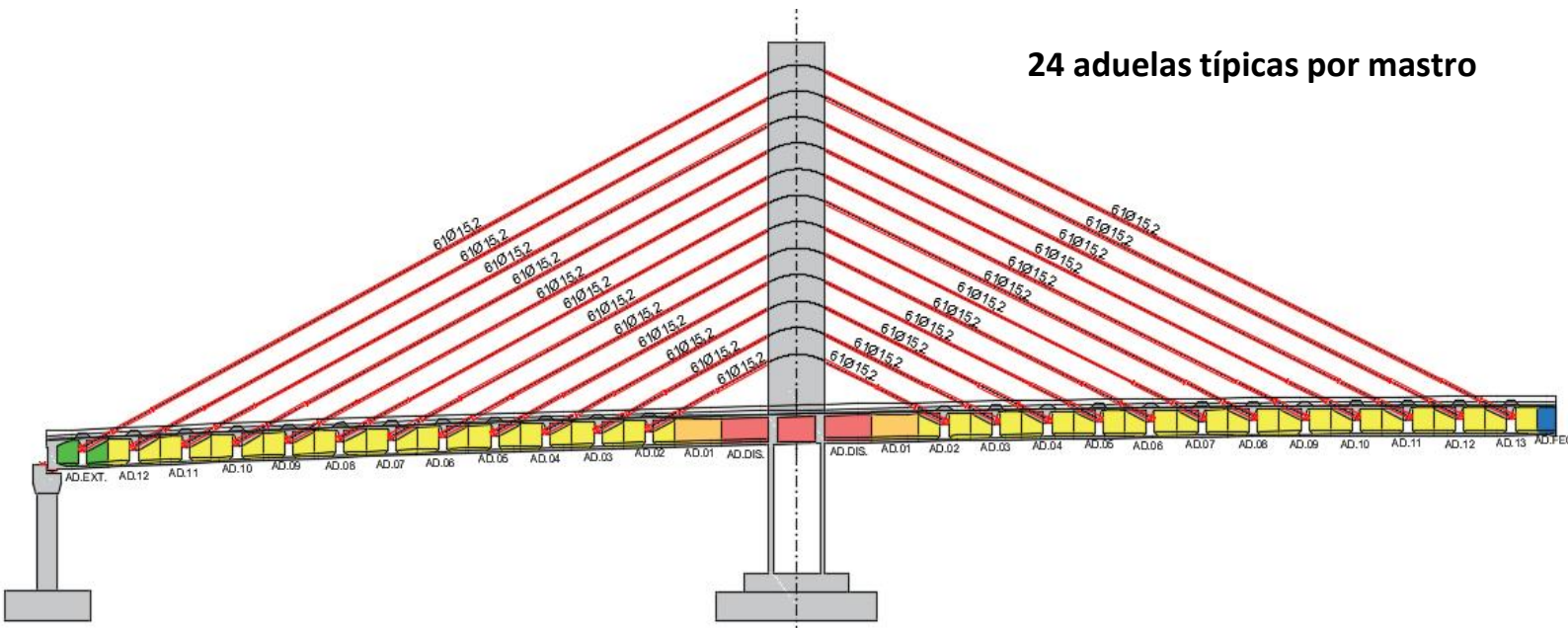


OAE - Vão Estaiado - Tabuleiro



Seção transversal trecho estaiado

24 aduelas típicas por mastro



Seção longitudinal do trecho estaiado

ADUELAS

01 aduelas de disparo por mastro

02 aduelas em BS por mastro

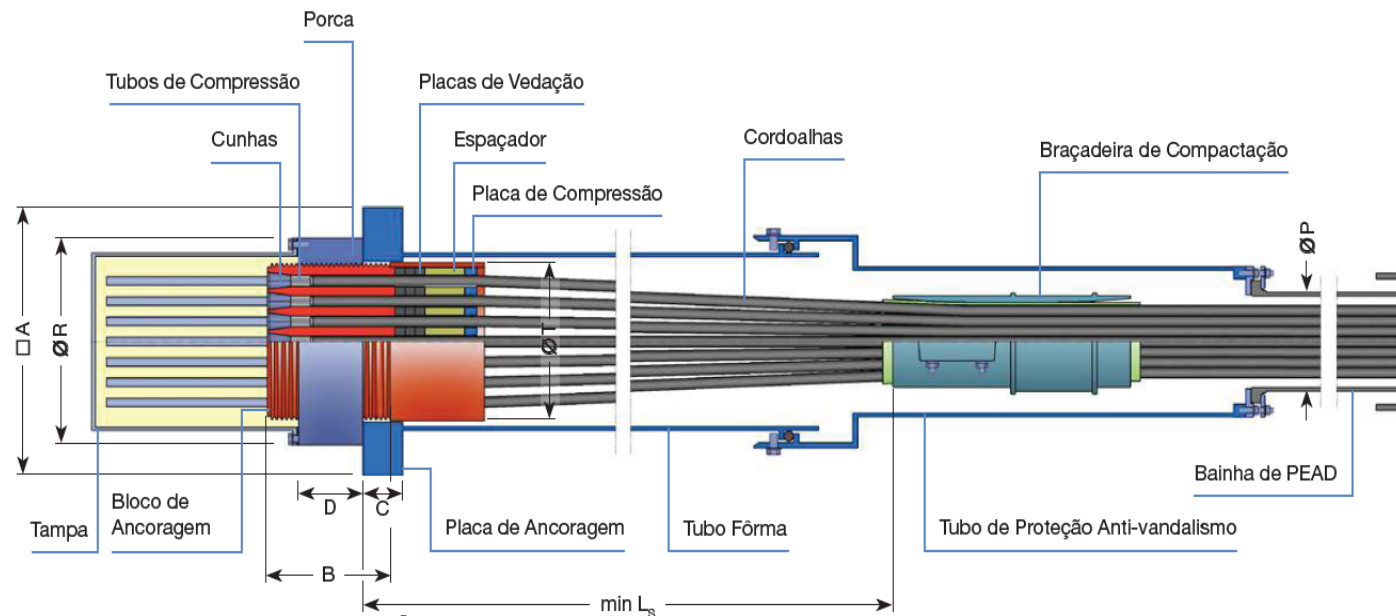
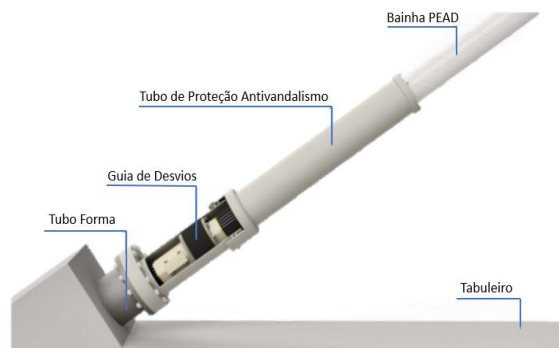
24 aduelas típicas estaiadas por mastro

01 aduela de fechamento central

Comp. da aduela típica: 5,50 metros

Volume: 100 m³

Peso: 240 toneladas



ANCORAGEM REGULÁVEL

Possibilidade de ajuste do comprimento do cabo de +/- 55 mm como padrão (pode ser expandido ou reduzido)

ESTAIS

Peso: 180 toneladas

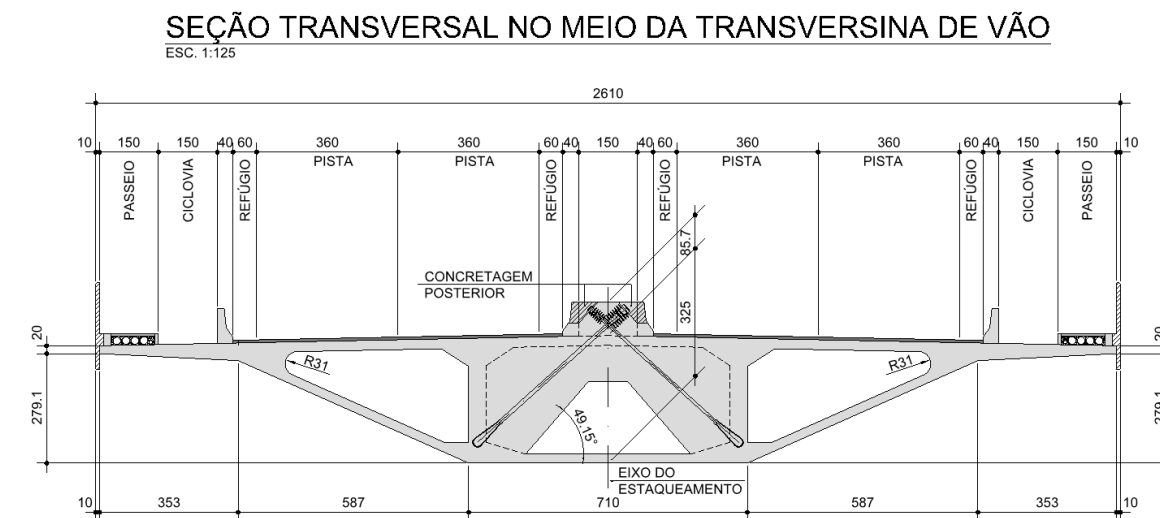
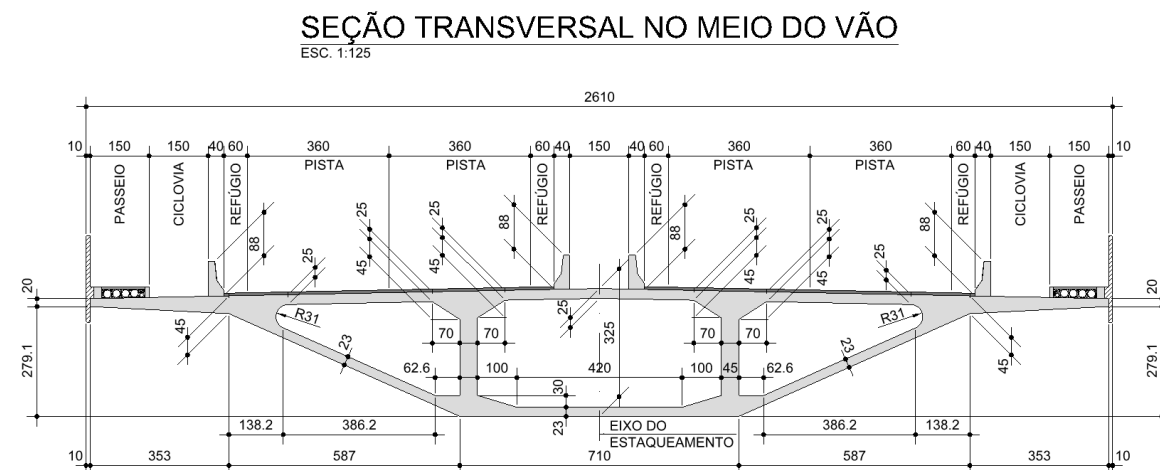
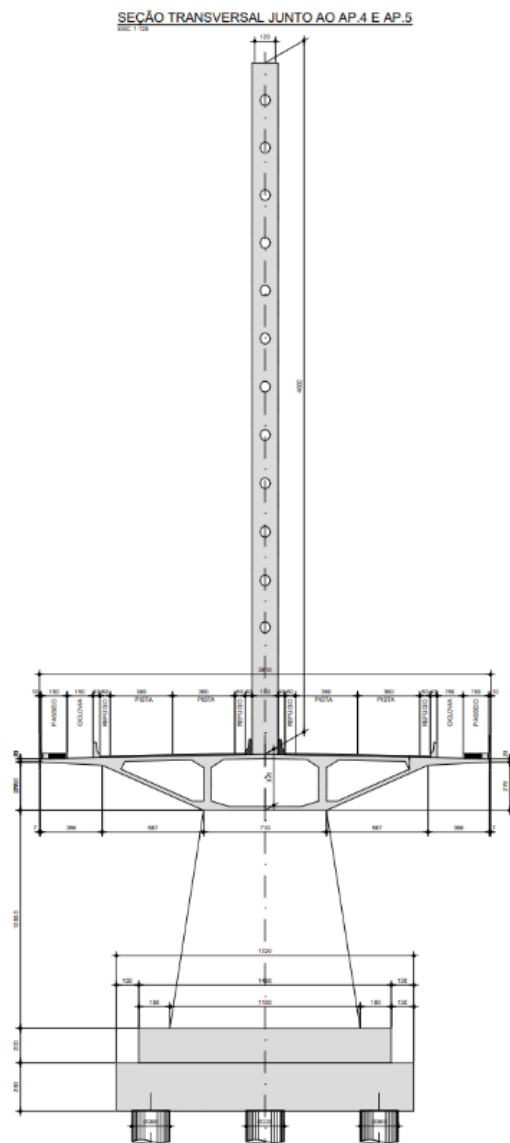
24 estais por mastro

61 cordoalhas Ø15,7 mm por estai

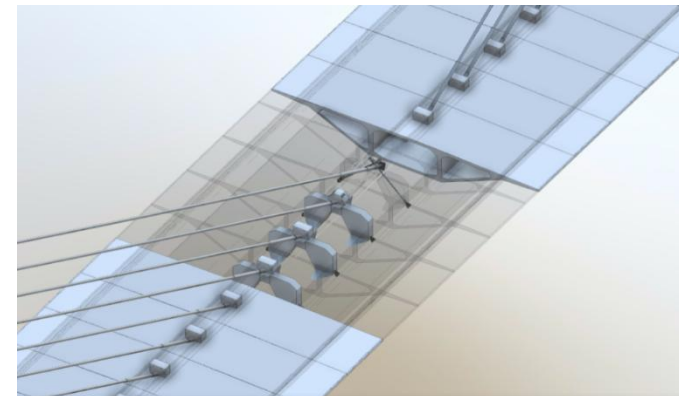
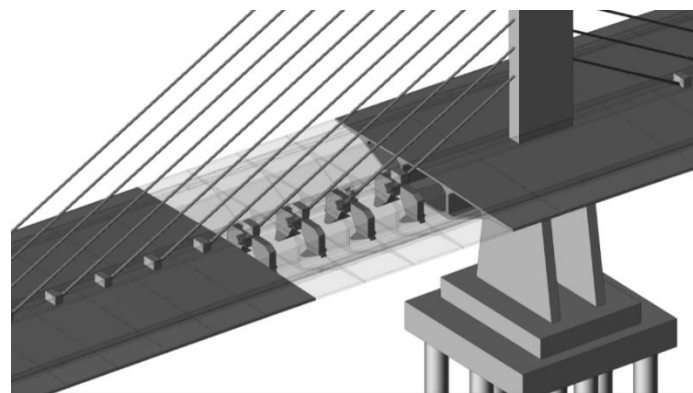
Menor estai: 11,90 m

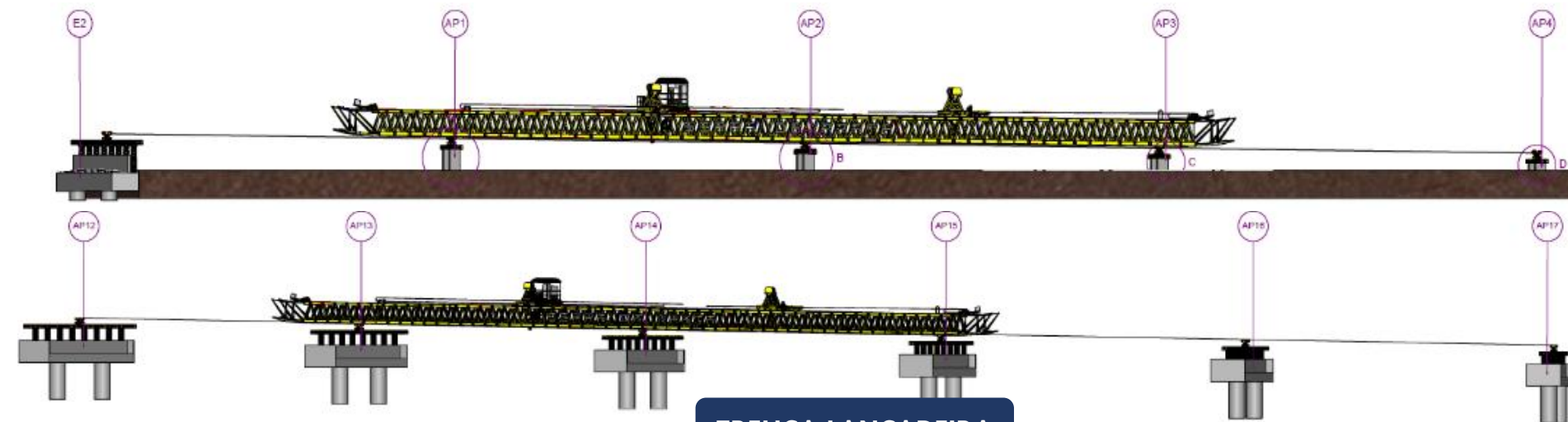
Maior estai: 78,55 m

OAE - Vão Estaiado (Seção Transversal Típica)

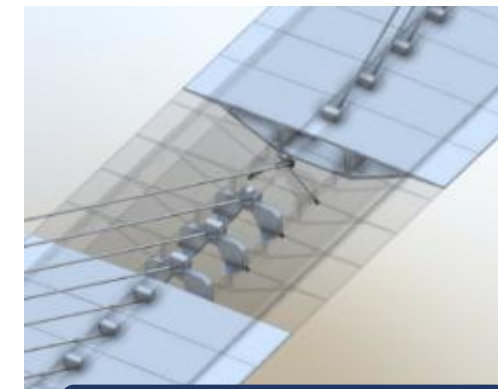


FERRAMENTAS DE PLANEJAMENTO

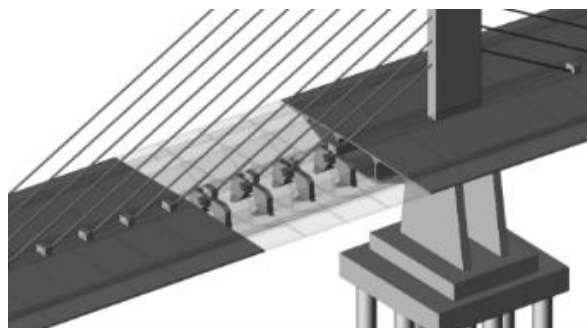




TRELIÇA LANÇADEIRA

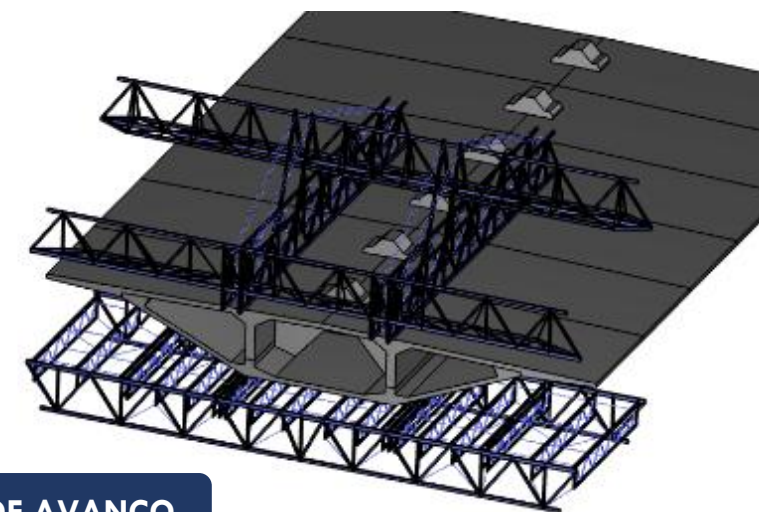
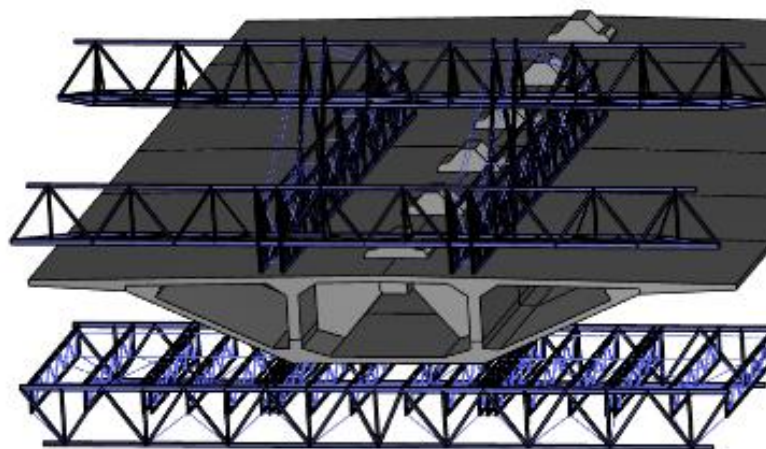


ETAPAS DE
CONCRETAGEM



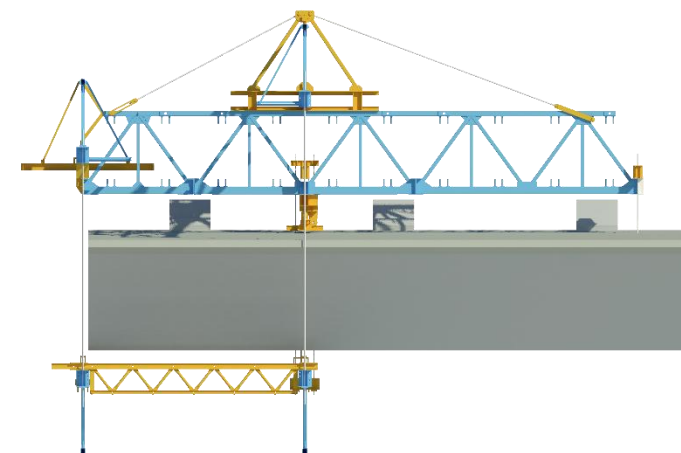
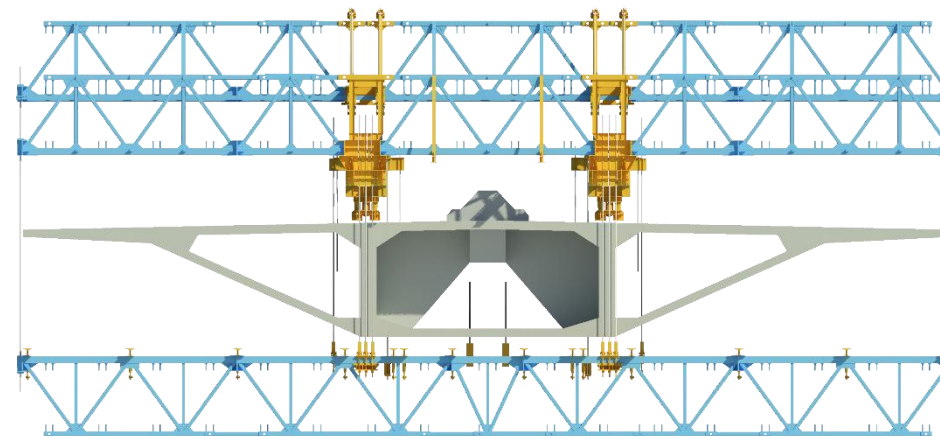
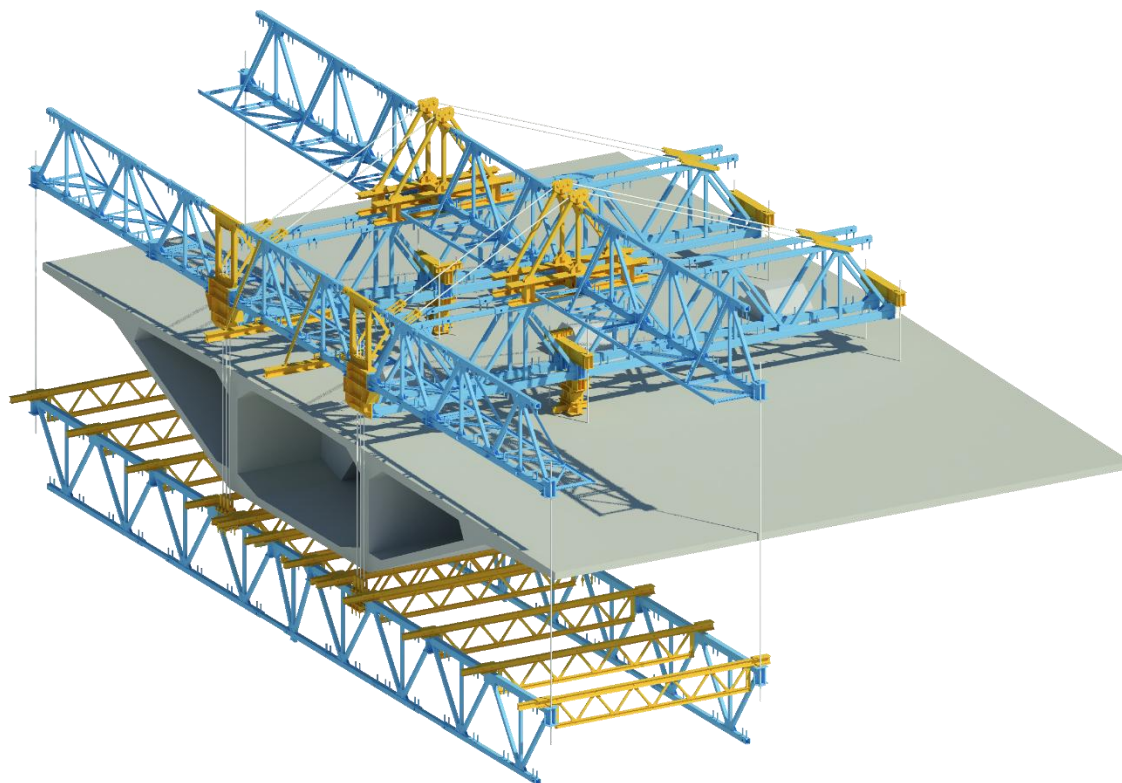
MODELO BIM

- ✓ INTERFACE COM O CARRO DE AVANÇO
- ✓ INTERFACE COM A METODOLOGIA EXECUTIVA DA TRELIÇA LANÇADEIRA

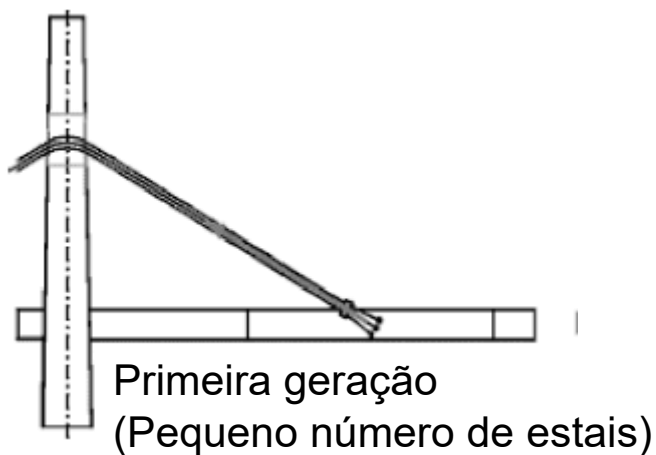


CARRO DE AVANÇO

CARRO DE AVANÇO



Desenvolvimento Histórico



Disposições dos estais conforme gerações
Fonte: Adaptado de Gimsing (2012).



Ponte estaiada de concreto armado sobre o canal Donzère, construída na França em 1952.

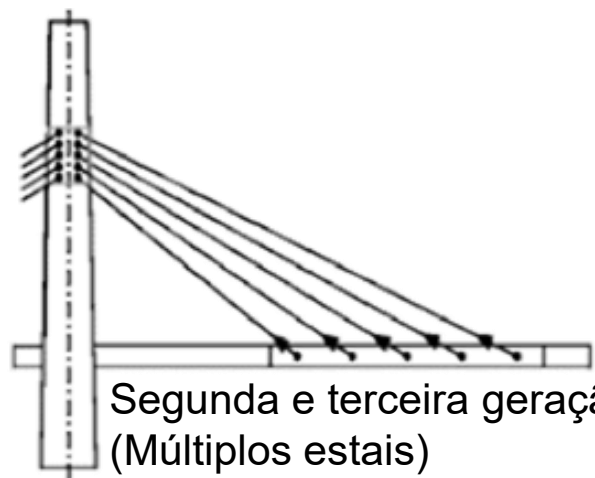
Fonte: *International Database and Gallery of Structures*.



Ponte estaiada Strömsund, construída em 1956 na Suécia.

Fonte: *International Database and Gallery of Structures*.

Desenvolvimento Histórico



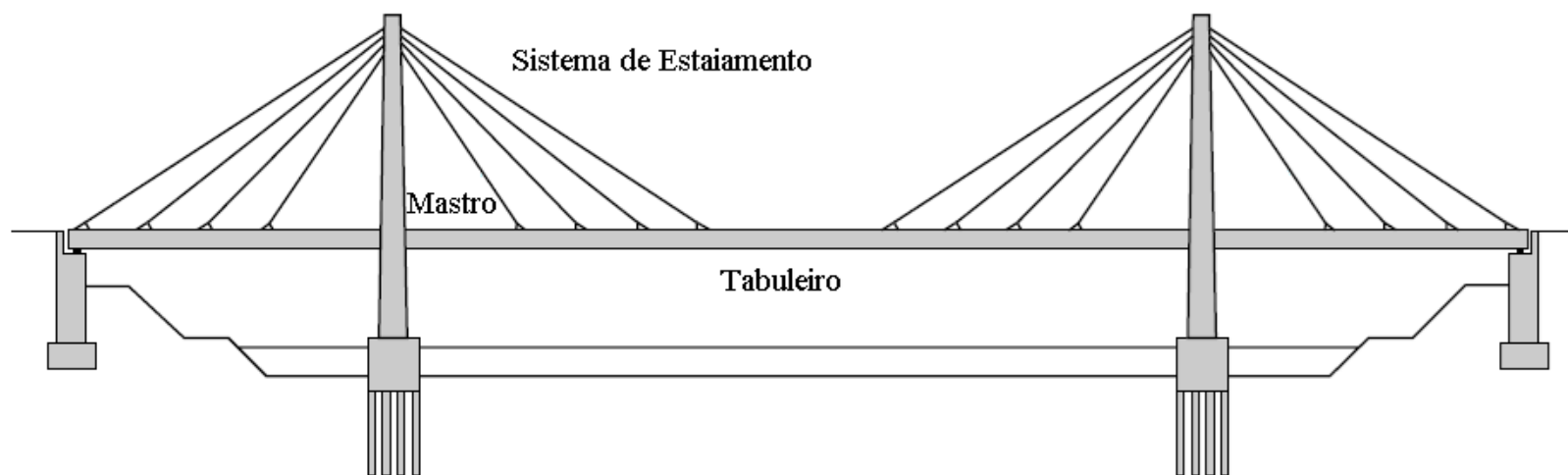
Disposições dos estais conforme gerações
Fonte: Adaptado de Gimsing (2012).



Segunda geração: Ponte de Friedrich Ebert, construída em 1967, na Alemanha.

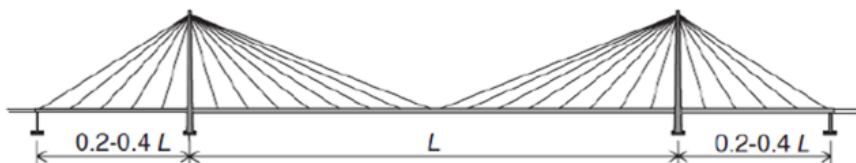
Fonte: *International Database and Gallery of Structures*.

Sistemas de Estaiamento

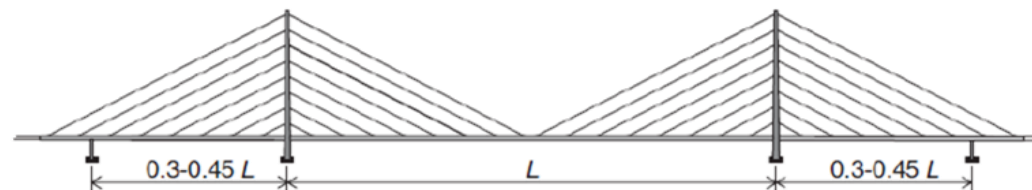


Principais componentes de uma ponte estaiada .
Fonte: Adaptado de Chung C. Fu e Shuqing Wang (2014).

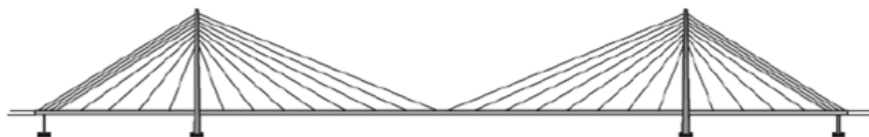
Configuração Longitudinal



Sistemas de disposição dos estais em Leque.
Fonte: Gimsing (2012).

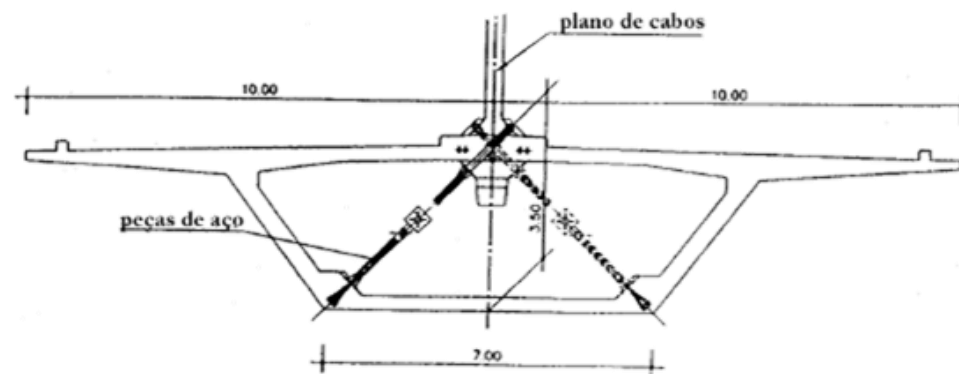


Sistemas de disposição dos estais em Harpa
Fonte: Gimsing (2012).

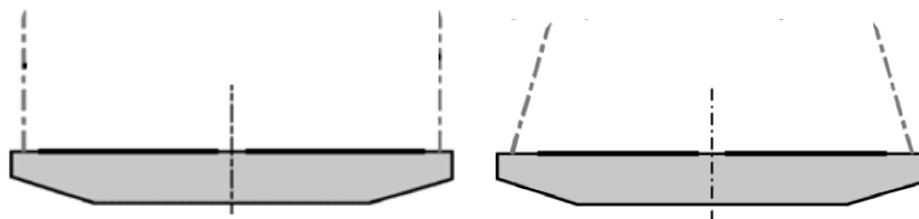


Sistemas de disposição dos estais em Semi Leque/ Semi Harpa
Fonte: Gimsing (2012).

Configuração Transversal

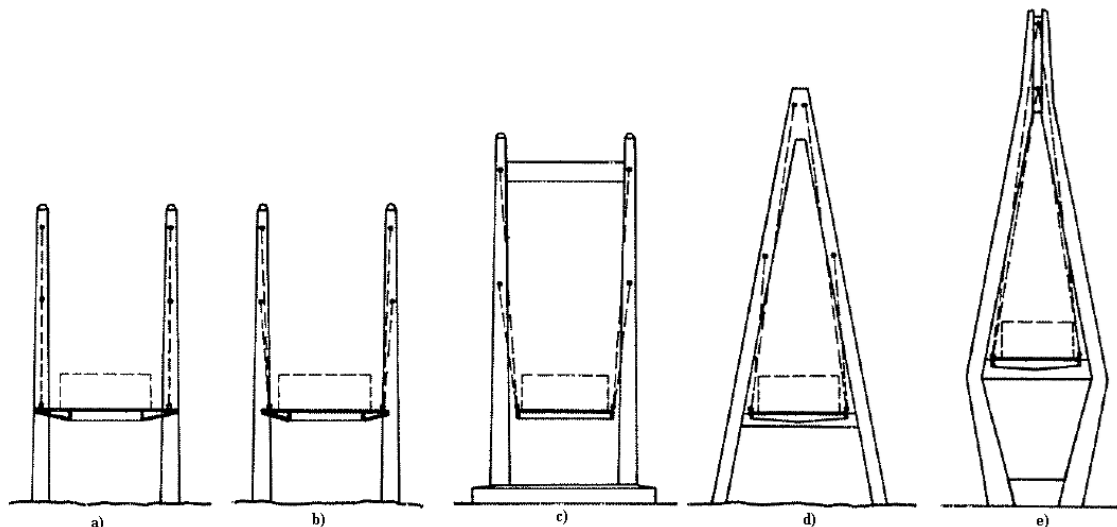


Sistemas estruturais do tabuleiro para configuração transversal do cabo de plano único.
Fonte: Ferreira, 1994, apud Torneri, 2002.

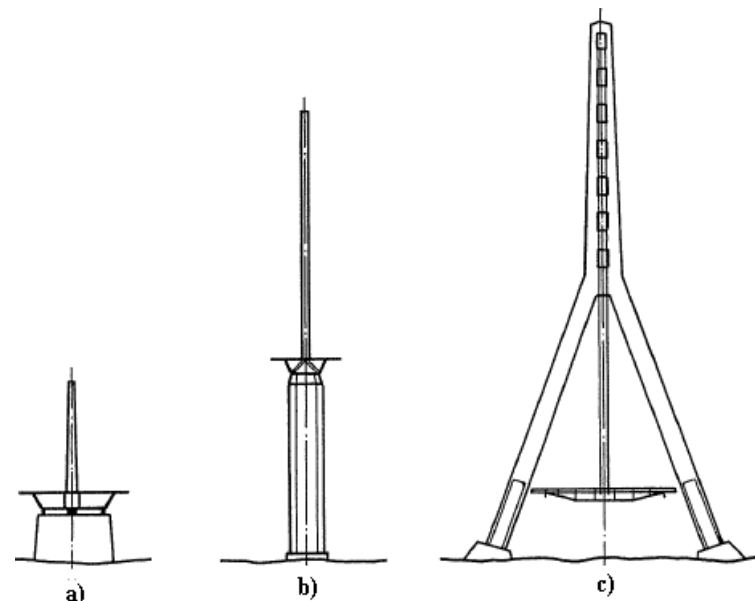


Seções para tabuleiros com dois planos de estais.
Fonte: Gimsing (2012).

Mastro

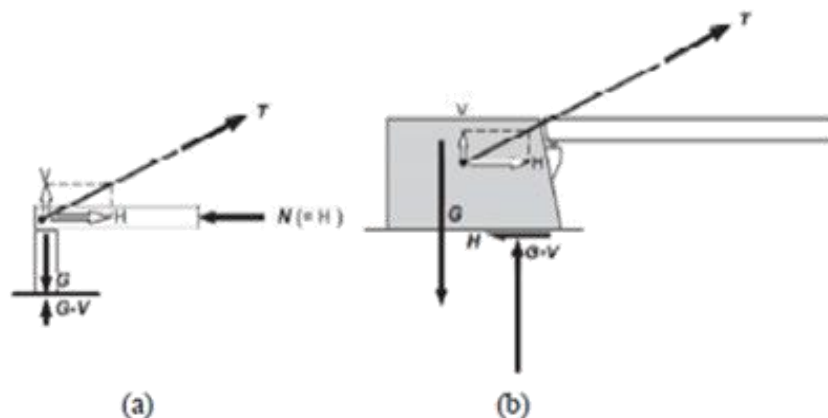


Configuração transversal do mastro com dois planos de estais.
Fonte: Walther (1999).



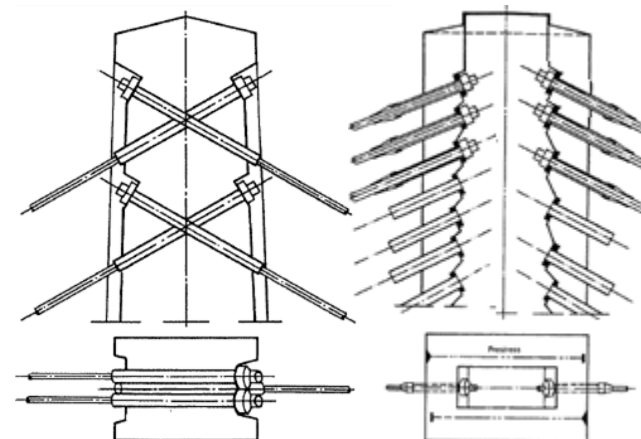
Configuração transversal do mastro com plano central de estais.
Fonte: Walther (1999).

Fixações

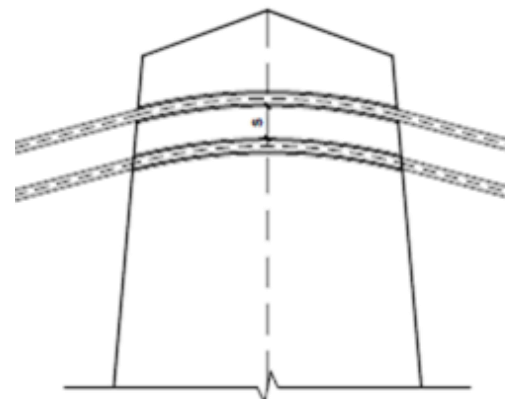


Sistema Auto ancorado (a) e externamente ancorado (b).

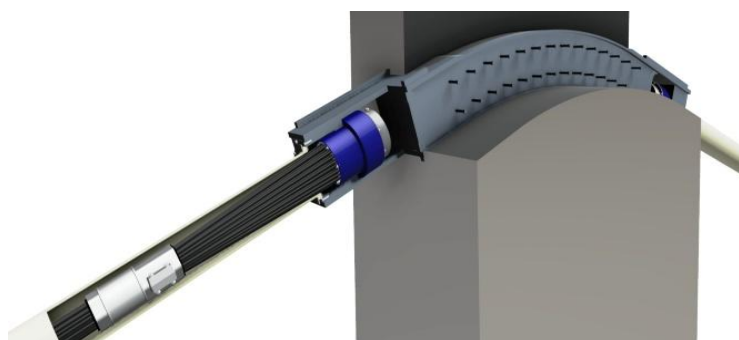
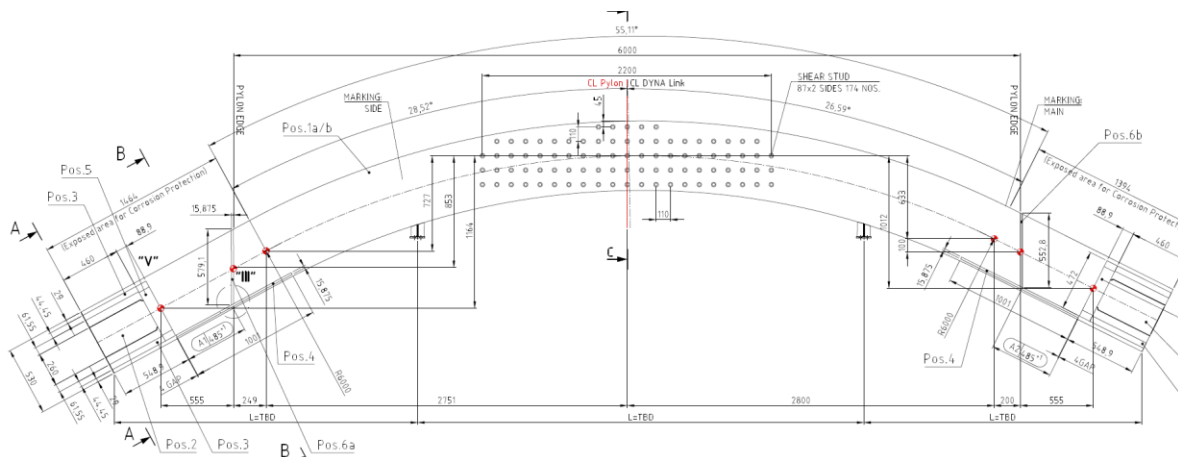
Fonte: Gimsing (2012).



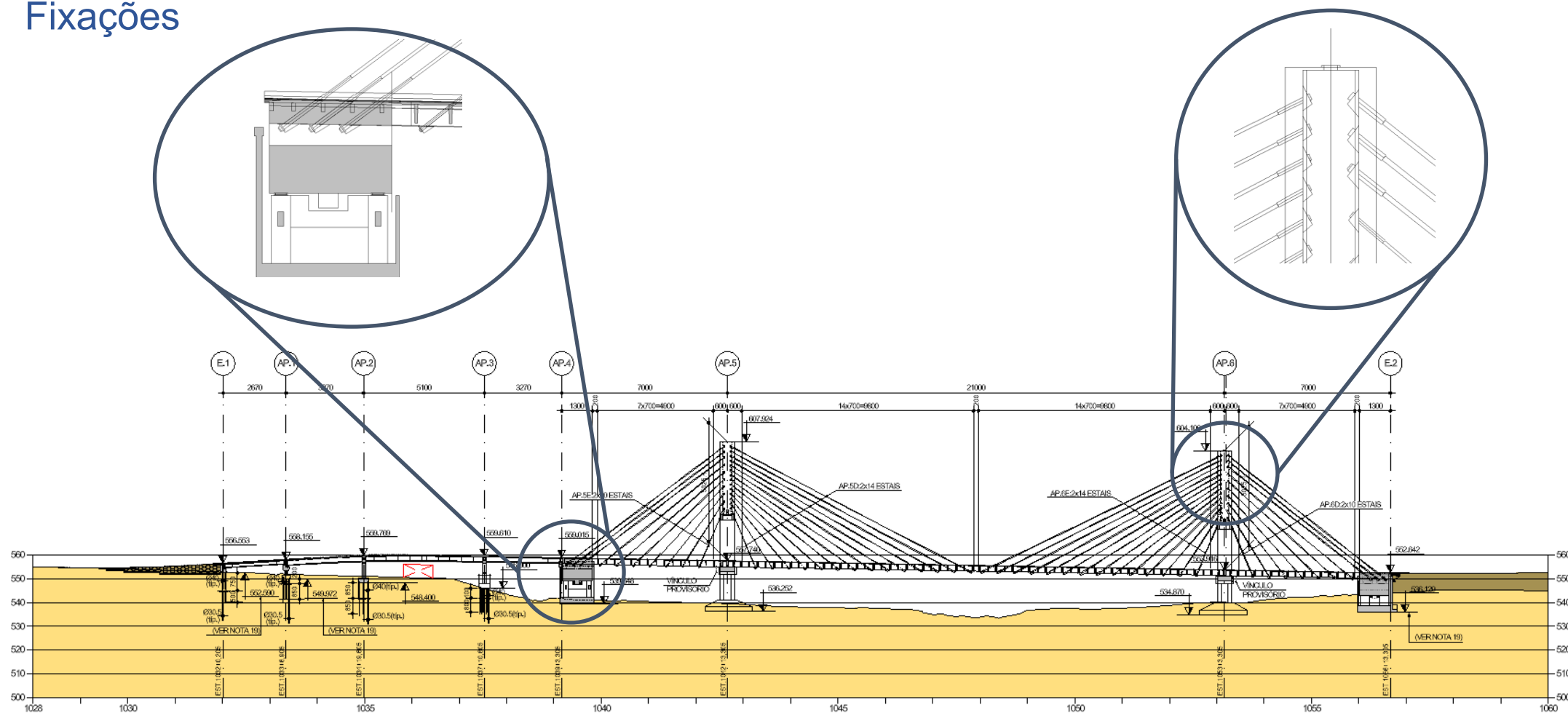
Detalhes de fixações individuais dos estais no mastro
Fonte: Adaptado de Walther (1999).



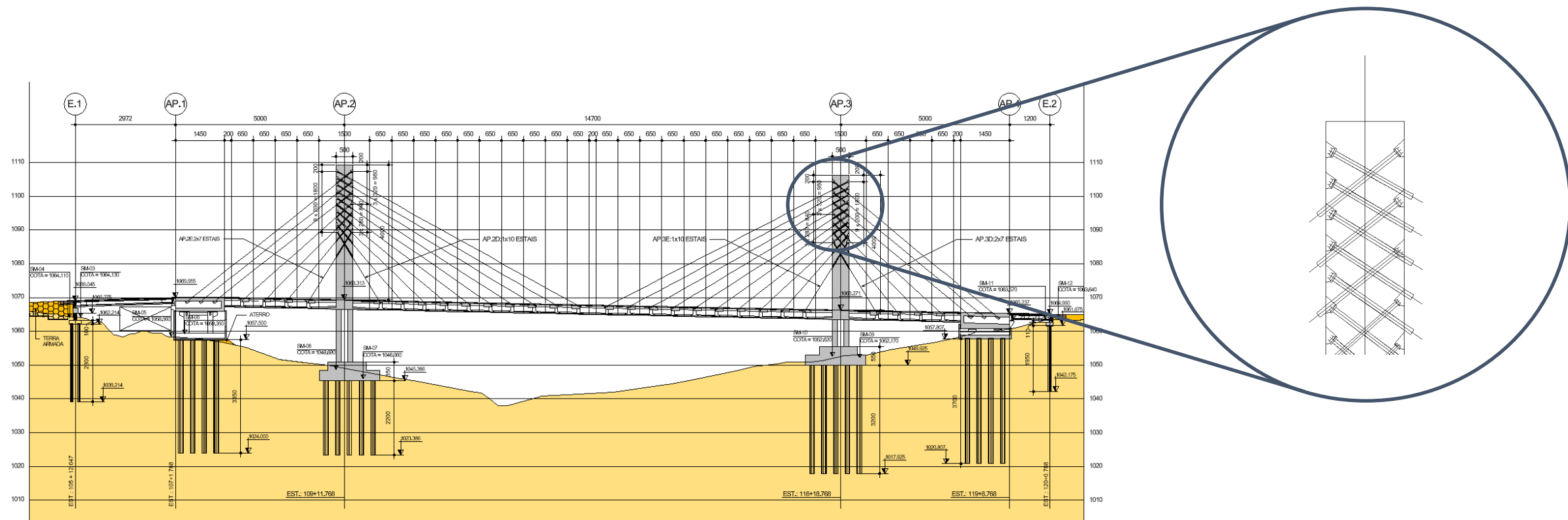
Detalhe de fixação em sela dos estais no mastro
Fonte: Ishii (2006).



Fixações



Fixações



DETERMINAÇÃO DAS FORÇAS NOS ESTAIS

O conhecimento das forças de implantação dos estais é de extrema importância no controle do greide final e garantia do adequado desempenho estrutural de uma ponte estaiada.

MTA – método do tabuleiro articulado

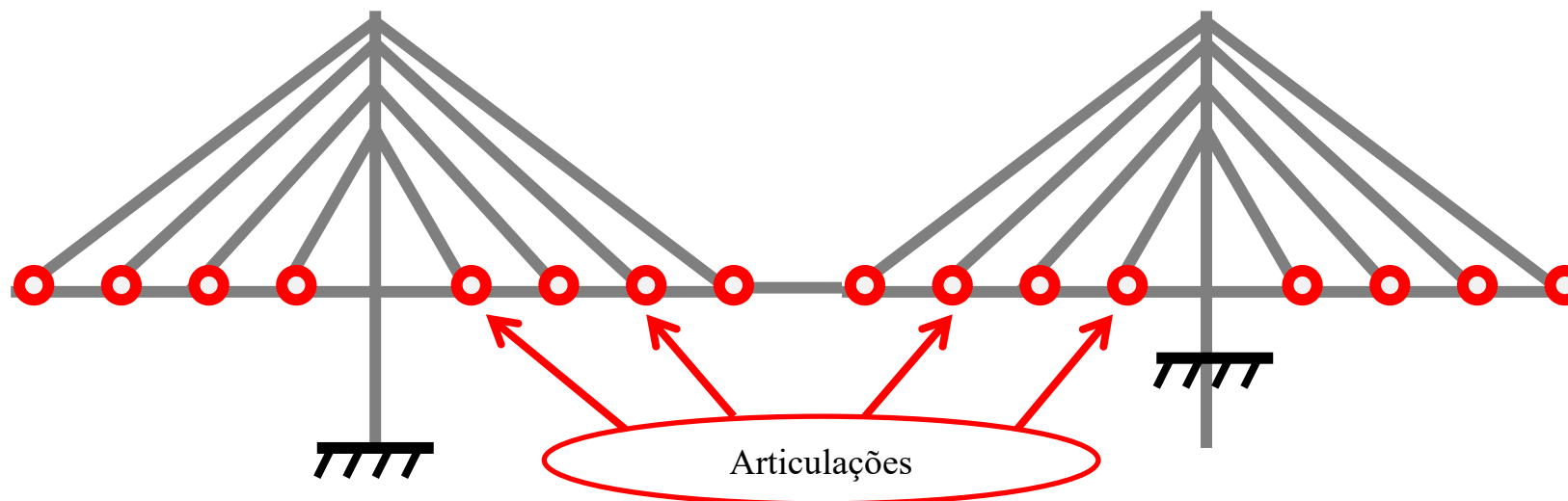
MAR – método da anulação das reações

MAD – método da anulação dos deslocamentos

MADF – método da anulação dos deslocamentos ao longo do faseamento da obra

Determinação das forças de instalação a partir da configuração final

- MTA – método do tabuleiro articulado



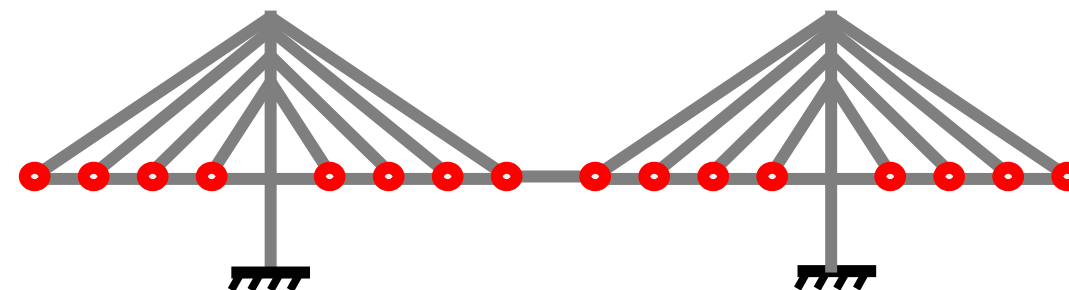
Determinação das forças de instalação a partir da configuração final

- MTA – método do tabuleiro articulado
- Estais modelados como barra;
- Elástico linear
- Força implantadas

$$\Delta l = \frac{F \cdot l}{E^* \cdot A}$$

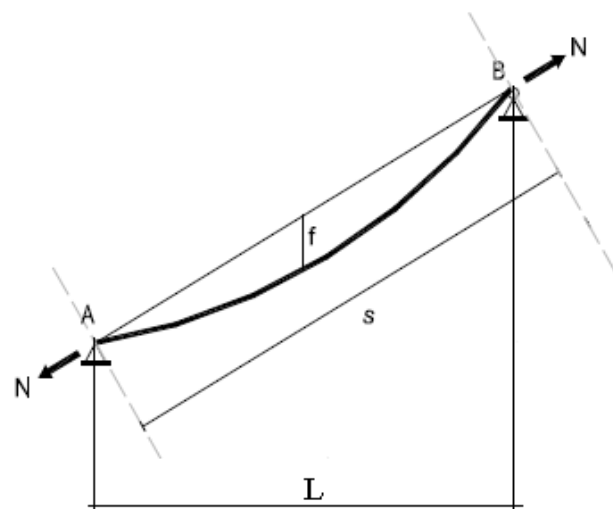
$$\Delta l = \alpha \cdot l \cdot \Delta T$$

$$\Delta T = \frac{F}{\alpha \cdot E^* \cdot A}$$



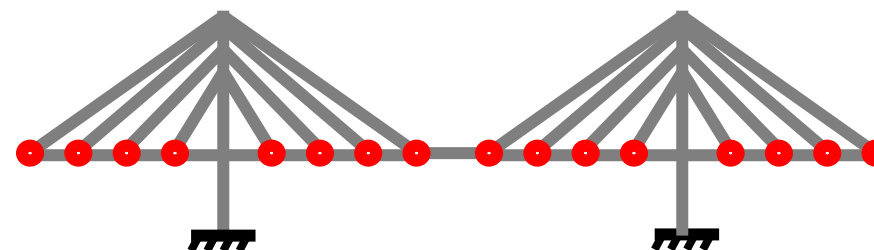
Determinação das forças de instalação a partir da configuração final

- MTA – método do tabuleiro articulado
- Forma geométrica de uma catenária
- Depende da força pré- instalada



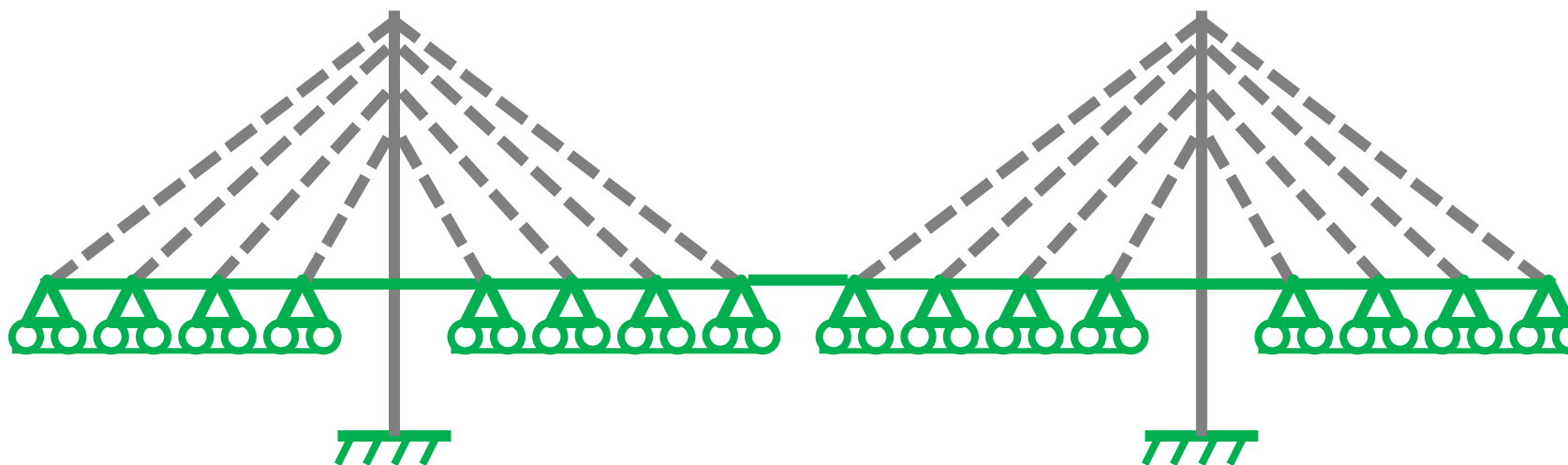
Comportamento geométrico do cabo
Fonte: Adptado de Vargas (2009).

$$E^* = \frac{E}{1 + \frac{\gamma^2 L^2 E}{12 \sigma^3}}$$



Determinação das forças de instalação a partir da configuração final

- MAR – método da anulação das reações



Determinação das forças de instalação a partir da configuração final

- MAR – método da anulação das reações**

$$[R] =$$

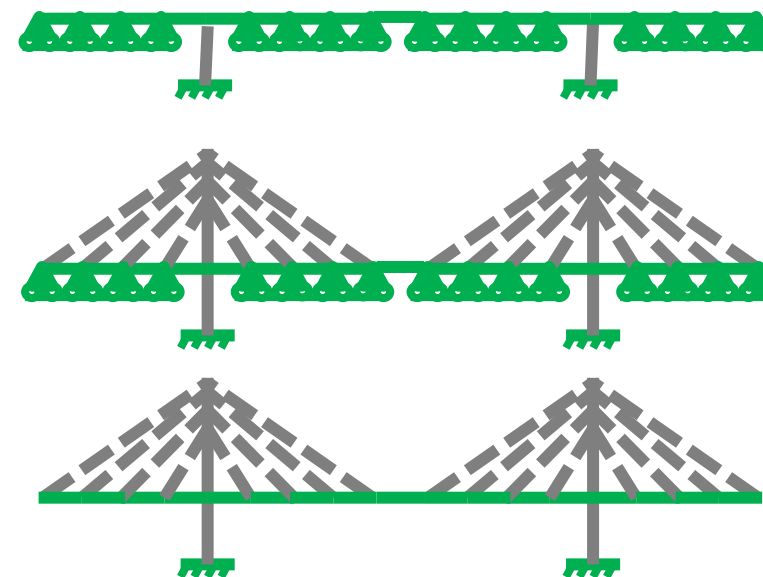
Ponto	Reação de apoio
	Configuração Final
P1	r_1
P2	r_2
...	$\vdots$
Pn	r_n

$$[K] =$$

Apoio	ΔT_{E1}	ΔT_{E2}	$\Delta T_{E...}$	ΔT_{En}
	Estai	Estai	Estai	Estai
	E1	E2	E...	En
P1	k_{11}	k_{12}	...	k_{1n}
P2	k_{21}	k_{22}	$\ddots$	k_{2n}
...	$\vdots$	$\ddots$	$\ddots$	$\vdots$
Pn	k_{i1}	k_{i2}	...	k_{in}

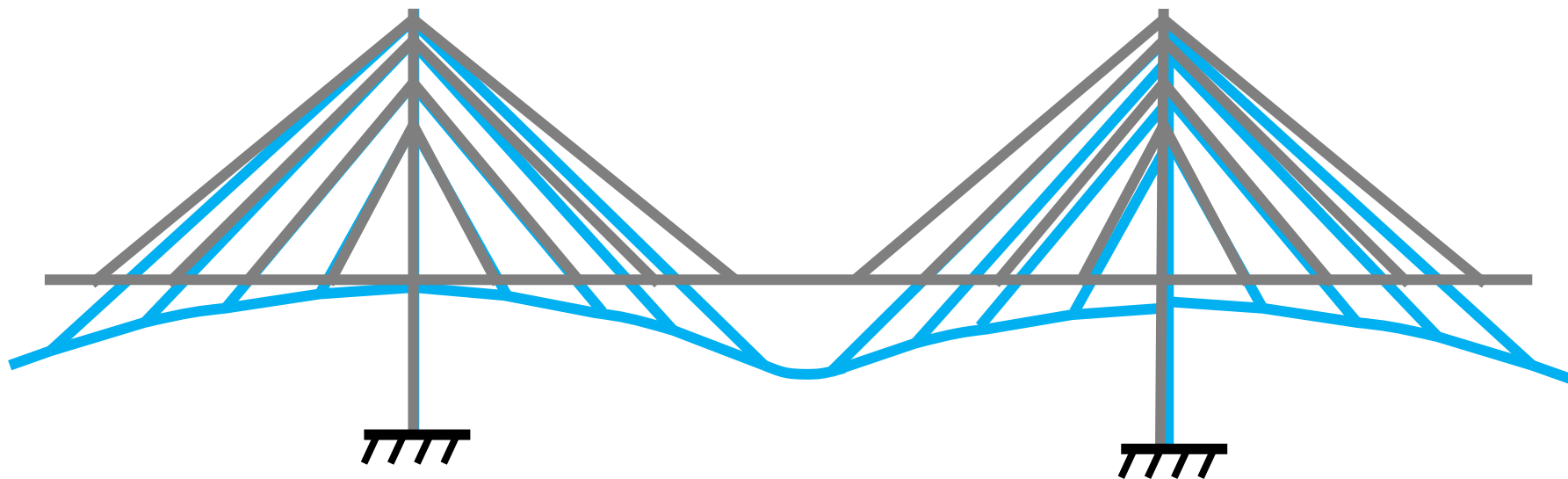
$$[K][T] = [R]$$

$$[T] = [K]^{-1}[R]$$



Determinação das forças de instalação a partir da configuração final

- MAD – método da anulação dos deslocamentos



$$\delta_i(T) + \delta_i(g) = [\delta] = 0$$

Determinação das forças de instalação a partir da configuração final

- MAD – método da anulação dos deslocamentos**

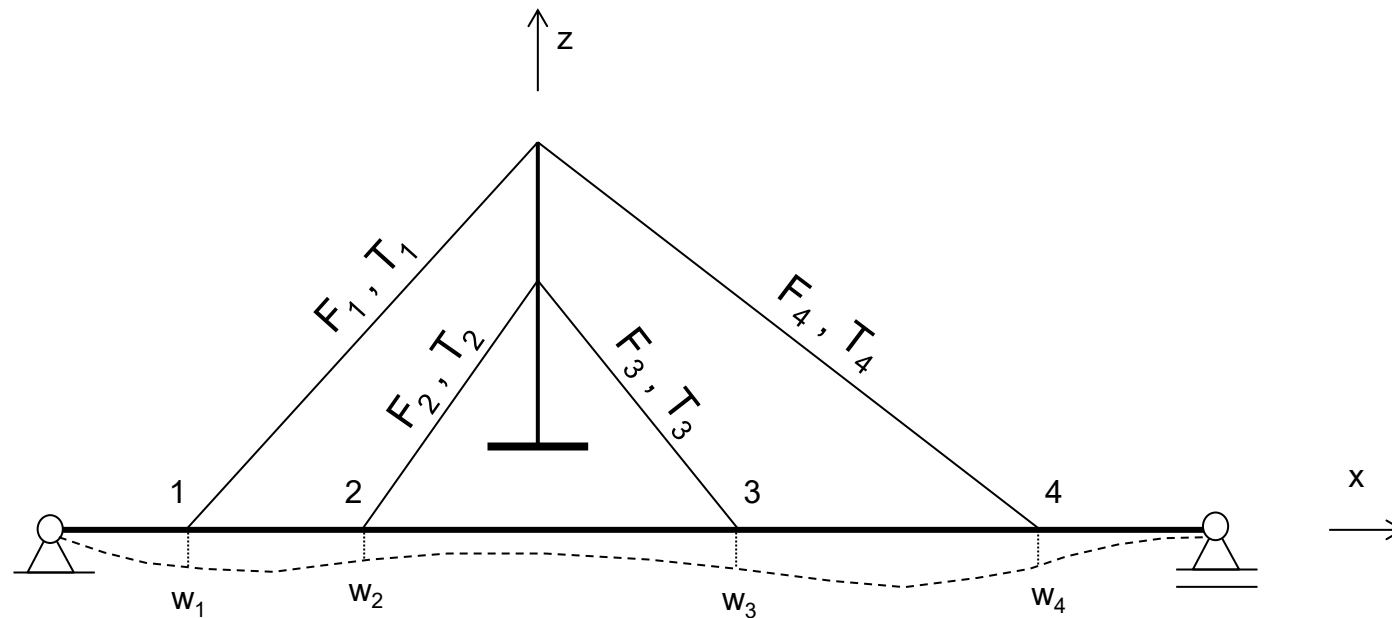
$$-[\delta_g] = [D_T] \cdot [\Delta T]$$

$$[\Delta T] = -[D_T]^{-1} \cdot [\delta_g]$$

	Ponto	ΔT_{E1}	ΔT_{E2}	$\Delta T_{E...}$	ΔT_{En}
		Estai	Estai	Estai	Estai
		E1	E2	E...	<u>En</u>
[D _T] =	P1	δ_{11}	δ_{12}	...	δ_{1n}
	P2	δ_{21}	δ_{22}	\	δ_{2n}
	...	\	\	\	\
	<u>Pn</u>	δ_{n1}	δ_{n2}	...	δ_{nn}

Determinação das forças de instalação a partir da configuração final

- MAD – método da anulação dos deslocamentos



Determinação das forças de instalação a partir da configuração final

- MAD – método da anulação dos deslocamentos**

$$[f] [T] = [w] \quad \begin{cases} f_{11}T_1 + f_{12}T_2 + f_{13}T_3 + f_{14}T_4 = w_1 \\ f_{21}T_1 + f_{22}T_2 + f_{23}T_3 + f_{24}T_4 = w_2 \\ f_{31}T_1 + f_{32}T_2 + f_{33}T_3 + f_{34}T_4 = w_3 \\ f_{41}T_1 + f_{42}T_2 + f_{43}T_3 + f_{44}T_4 = w_4 \end{cases}$$

$[f]$ pode ser determinado fazendo-se $T_j=1$ e $T_k=0$ ($k \neq j$)

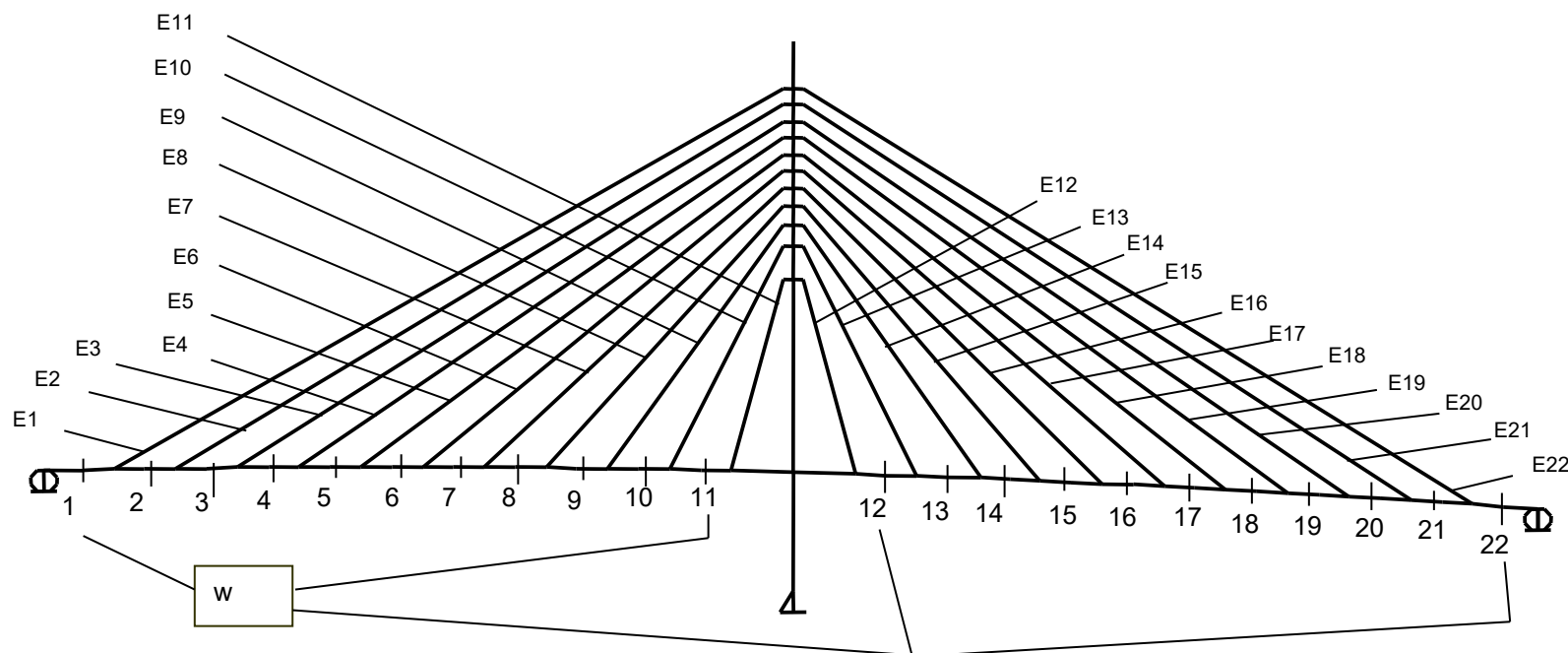
$$f_{ij}=w_i$$

$$[f] [T] = [w_o]$$

$$[T] = [f]^{-1} [w_o]$$

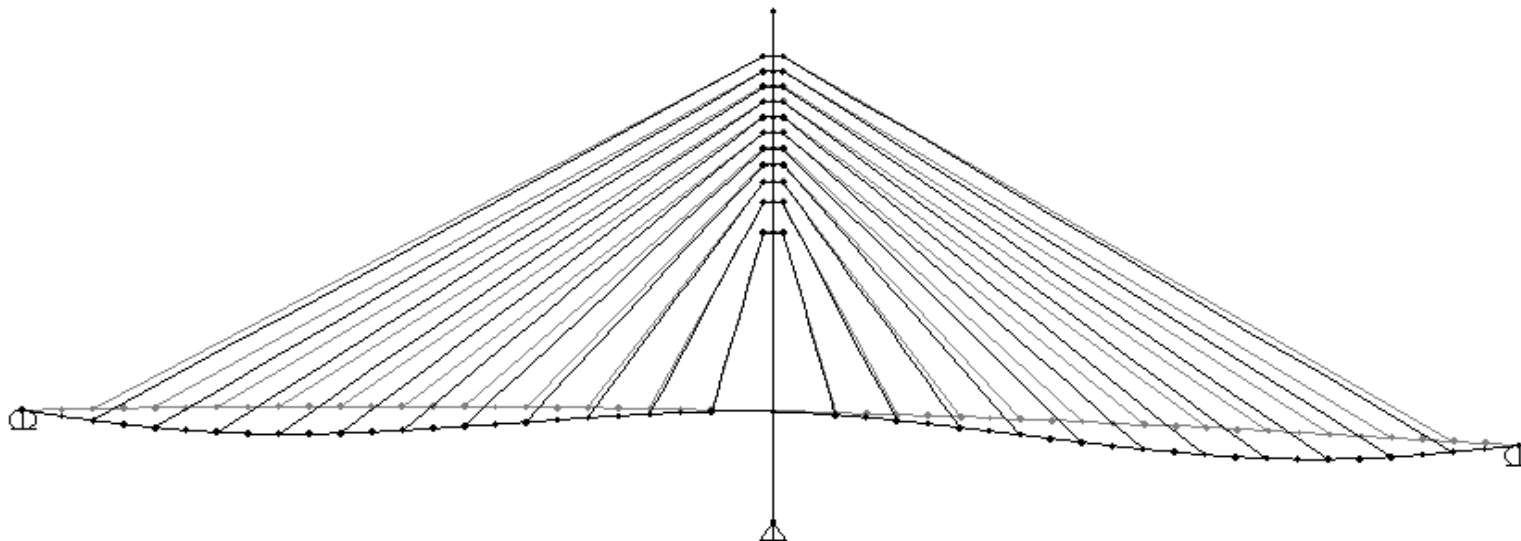
Determinação das forças de instalação a partir da configuração final

- MAD – método da anulação dos deslocamentos



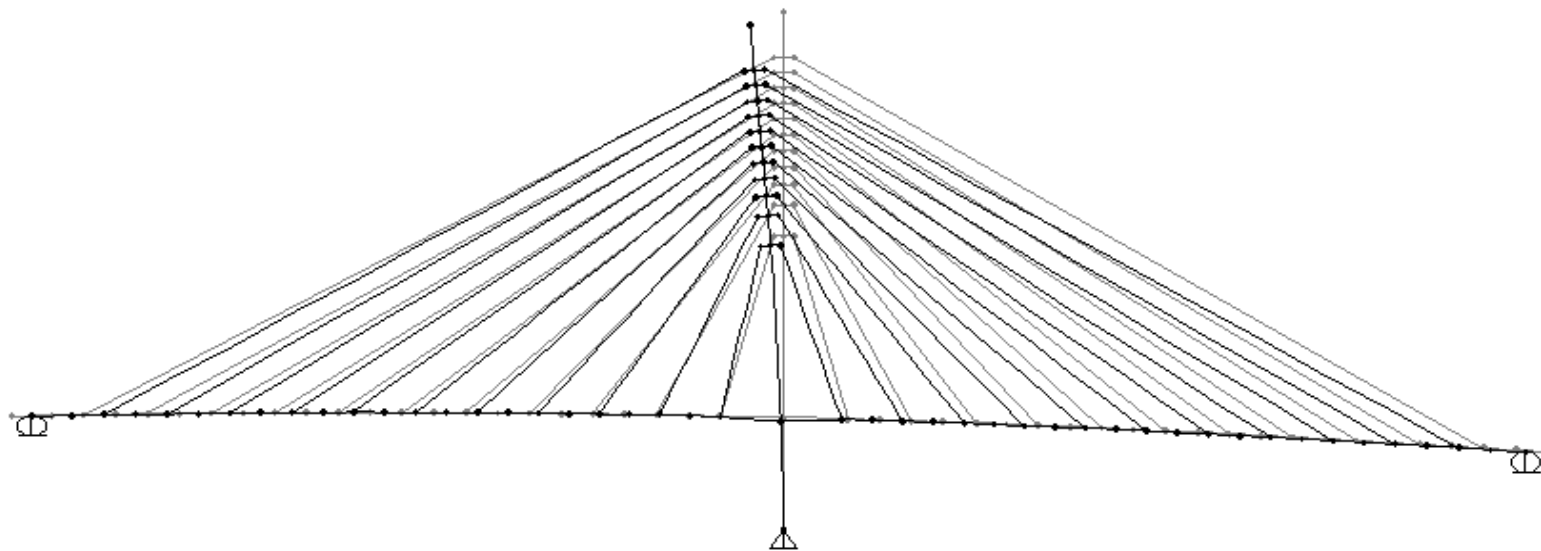
Determinação das forças de instalação a partir da configuração final

- MAD – método da anulação dos deslocamentos



Determinação das forças de instalação a partir da configuração final

- MAD – método da anulação dos deslocamentos



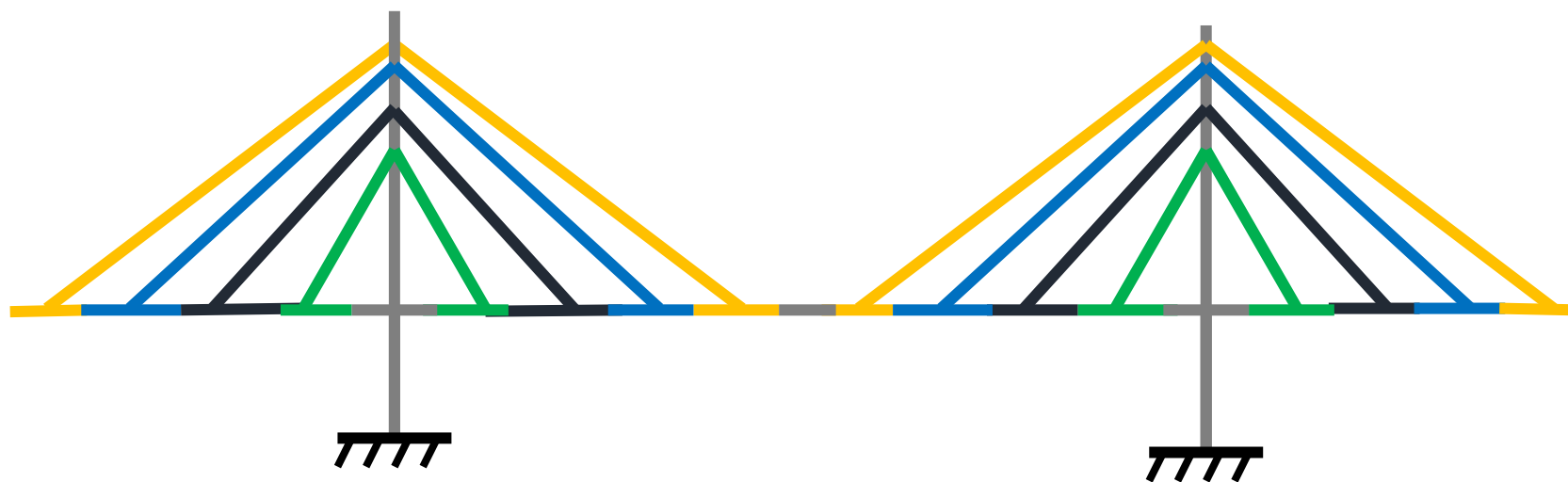
Determinação das forças de instalação a partir da configuração final

- MAD – método da anulação dos deslocamentos

Ponto	[wg](m)	F(kN)	w(g+To)
1	-0.0776	5700	-2E-15
2	-0.1854	1859	-6.2E-15
3	-0.2634	4898	-9.8E-15
4	-0.3061	2005	-9.2E-15
5	-0.3148	3795	-1.2E-14
6	-0.295	2237	-1.3E-14
7	-0.2544	2634	-1.3E-14
8	-0.2016	2531	-1.2E-14
9	-0.144	1561	-9.4E-15
10	-0.0881	1819	-5.3E-15
11	-0.0394	3473	-1.9E-15
12	-0.0411	4300	2.68E-15
13	-0.091	542	3.14E-15
14	-0.148	3181	5.63E-15
15	-0.2062	1159	4.39E-15
16	-0.259	3566	3.16E-15
17	-0.2984	2057	3.28E-15
18	-0.316	3618	3.94E-15
19	-0.3043	2733	4.88E-15
20	-0.2582	4149	4.83E-15
21	-0.177	2917	3.52E-15
22	-0.0672	4871	1.36E-15

Determinação das forças de instalação a partir da configuração final

Plano de estaiamento - Desmontagem

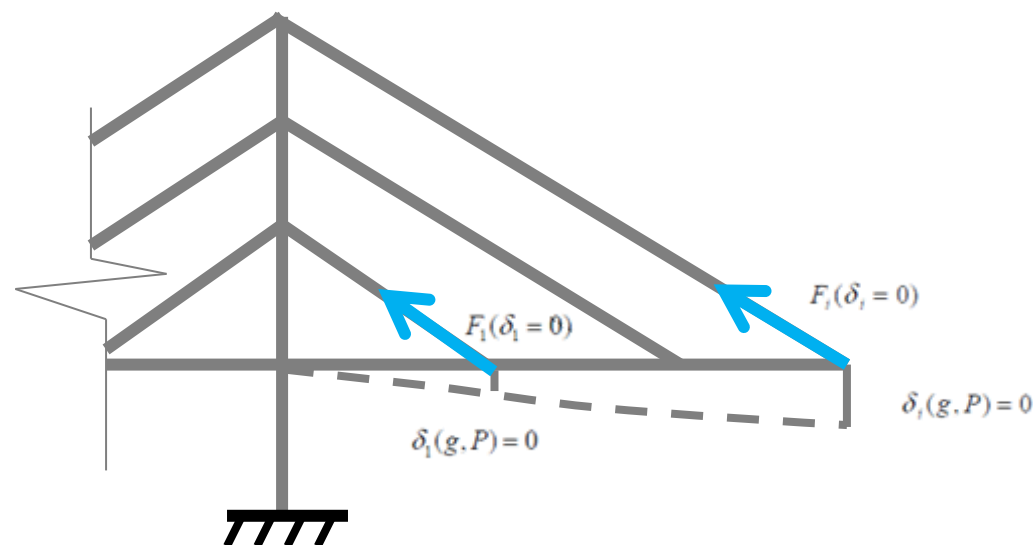


Determinação das Forças de Instalação Considerando o Processo Construtivo

Método da anulação dos deslocamentos ao longo do processo construtivo.
(Ytza 2009)

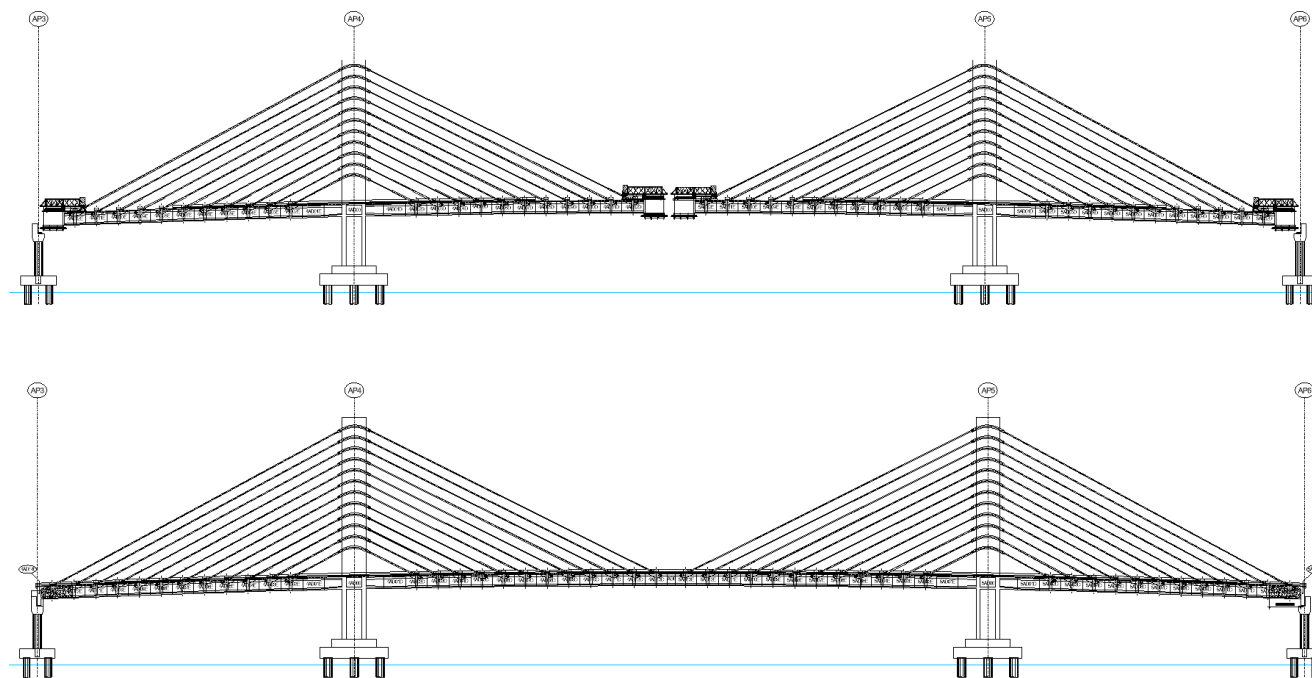
$$\delta_i + d_i \Delta T_i = 0$$

$$\Delta T_i = \frac{-\delta_i}{d_i}$$



Determinação das Forças de Instalação Considerando o Processo Construtivo

Método da anulação dos deslocamentos na fase anterior à execução da aduela de fechamento (**MADF**)



Determinação das Forças de Instalação Considerando o Processo Construtivo

Método da anulação dos deslocamentos na fase anterior à execução da aduela de fechamento (**MADF**)

$$[D] =$$

Fase/ Ponto	ΔT_{E1} Estai E1	ΔT_{E2} Estai E2	$\Delta T_{E\ldots}$ Estai E...	ΔT_{En} Estai En
P1	δ_{11}	δ_{12}	$\cdots$	δ_{1n}
P2	δ_{21}	δ_{22}	$\ddots$	δ_{2n}
...	$\vdots$	$\ddots$	$\ddots$	$\vdots$
Pn		δ_{n1}		$\delta_{n2} \quad \cdots \quad \delta_{nn}$

$\Delta T = 1 \rightarrow$ modelo faseado

$$[d] = [D][\Delta T] + [d^*]$$

$$[\Delta T] = -[D]^{-1}[d^*]$$

$$[d^*] =$$

Ponto	Deslocamento Acumulado na fase analisada
P1	δ_1
P2	δ_2
...	$\vdots$
Pn	δ_n

Modelo faseado
Deslocamentos devido carregamentos ao longo da construção

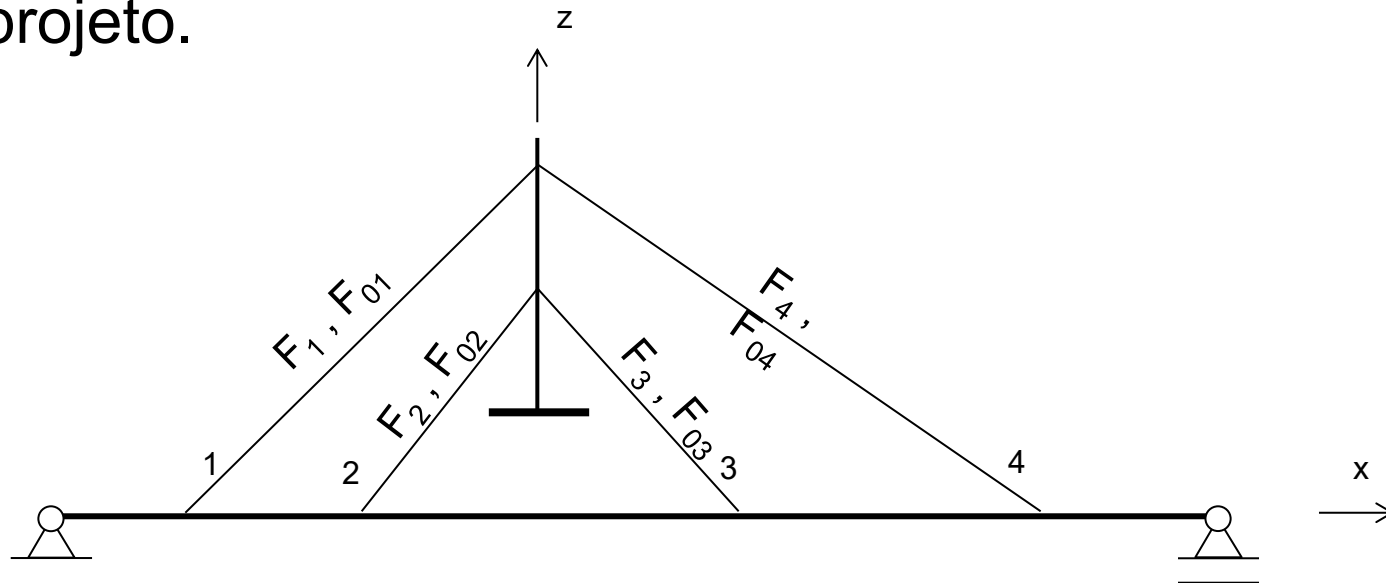
Determinação das Forças de Instalação Considerando o Processo Construtivo

Análise dos métodos

MAD	MADF
- Anulação dos deslocamentos na fase de tensionamento; - Não considera o efeito do tensionamento dos estais anteriormente executados; - Método mais simples;	- Anulação na fase anterior à execução das aduelas de fecham.; - Considera o efeito do tensionamento nos anteriormente executados; - Método com análise matricial;.

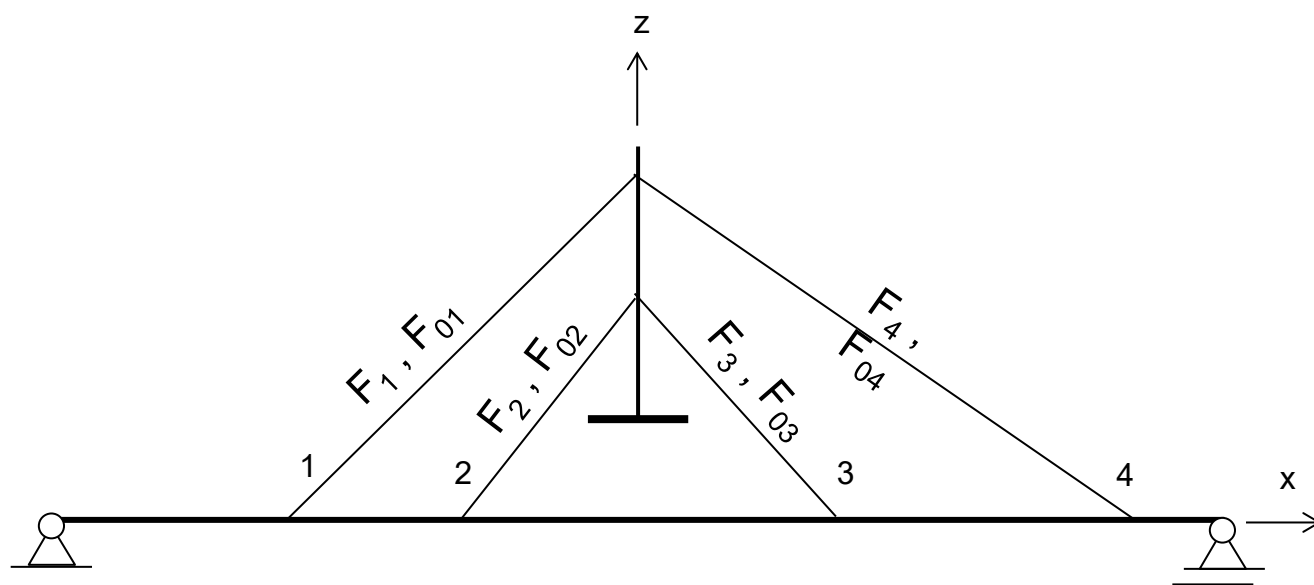
AJUSTE DAS FORÇAS NOS ESTAIS

Em função do programa de tensionamento dos estais estabelecido para a obra, pode ser tornar necessário a aplicação de um correção sequencial de forças nos estais, para se chegar às forças previstas no projeto.



$$[e] \cdot [F] = [F_o] \quad [F] = [e]^{-1} \cdot [F_o]$$

AJUSTES DAS FORÇAS NOS ESTAIS



$$[e] \cdot [F] = [F_o]$$

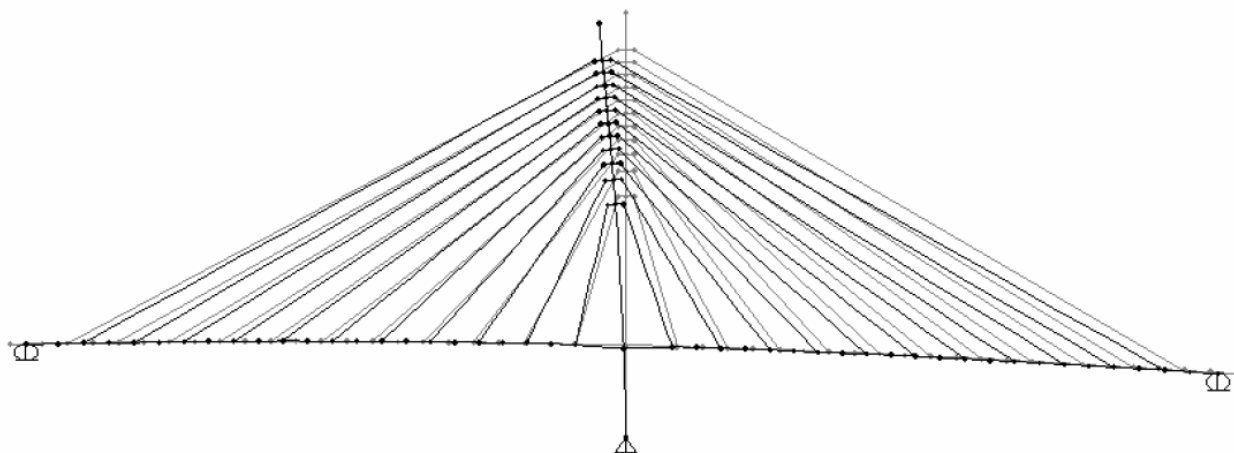
$$\begin{bmatrix} 1 & e_{12} & e_{13} & e_{14} \\ e_{21} & 1 & e_{23} & e_{24} \\ e_{31} & e_{32} & 1 & e_{34} \\ e_{41} & e_{42} & e_{43} & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} F_1 \\ F_2 \\ F_3 \\ F_4 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} F_{o1} \\ F_{o2} \\ F_{o3} \\ F_{o4} \end{bmatrix}$$

sendo e_{ij} são coeficientes de força obtidos com $F_j=1$ e $F_k=0$ ($k \neq j$)

Resultam, assim, os valores procurados

$$[F] = [e]^{-1} \cdot [F_o]$$

AJUSTES DAS FORÇAS NOS ESTAIS



Estai	Fo(kN)	F(kN)
E1	57	94
E2	19	82
E3	49	138
E4	20	142
E5	38	162
E6	22	165
E7	26	176
E8	25	159
E9	16	132
E10	18	79
E11	35	56
E12	43	60
E13	5	60
E14	32	133
E15	12	134
E16	36	168
E17	21	149
E18	36	147
E19	27	135
E20	41	121
E21	29	82
E22	49	78

Limites para definição dos estais

- Em serviço, as tensões no cabo devem ser inferiores a 50% da tensão de ruptura (item 3.2.1 do boletim 89 do FIB), contanto que o sistema tenha sido testado de acordo com os procedimentos do Capítulo 6 do mesmo boletim.
- O item 3.2.2.3 do boletim 89 apresenta a Tabela 3-2, que define as variações máximas permitidas para cabos que trabalhem com tensão máxima de 45% ou 55% da tensão de ruptura. Além disso, recomenda também que os limites propostos sejam reduzidos por um coeficiente de segurança de 1,25
- O item 3.2.3 do boletim 89 recomenda um fator de segurança de 1,35 para o dimensionamento em ELU.
- Fonte: Boletim 89 do FIB

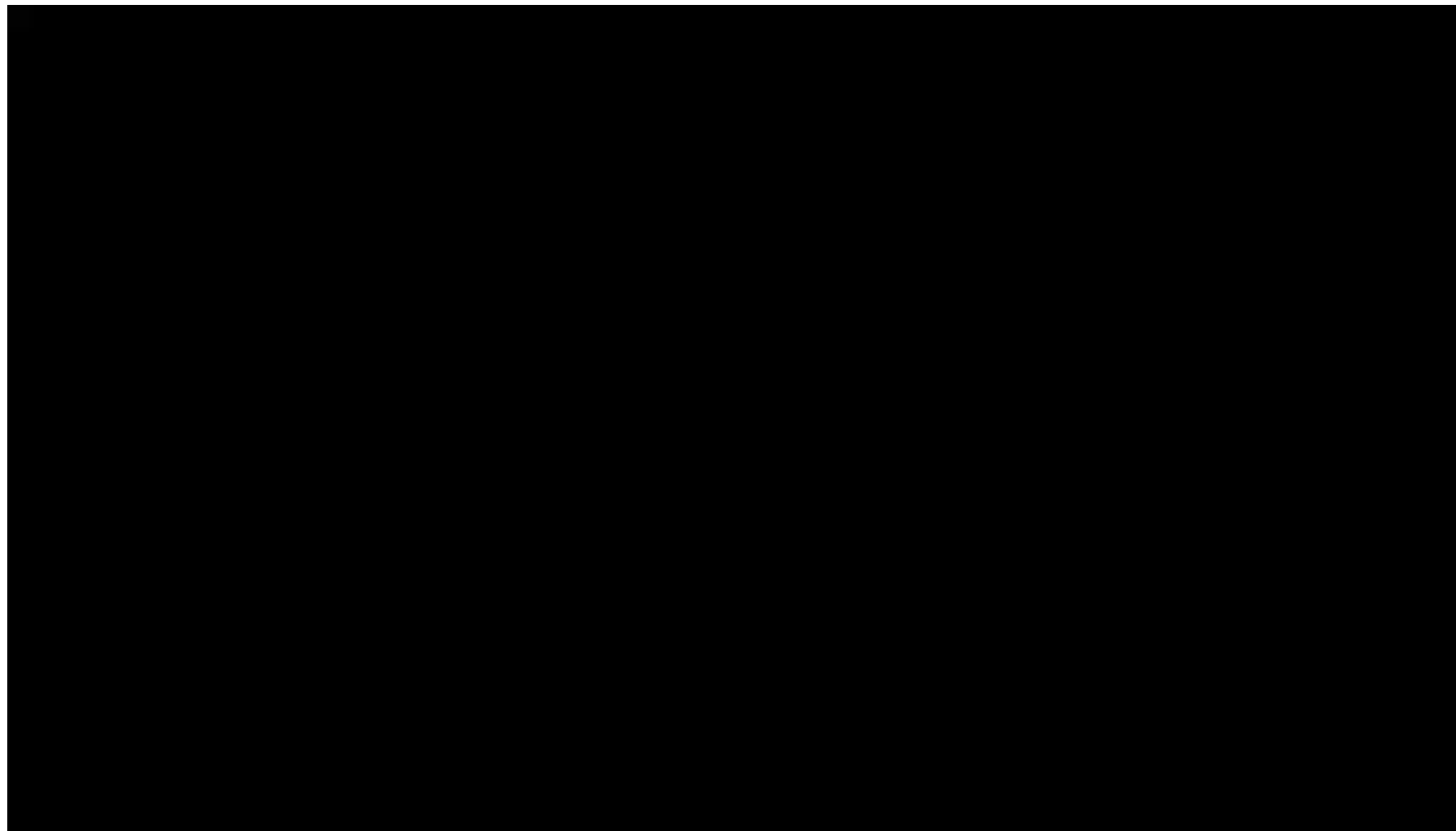
Table 3-2 Minimum performance requirements - S-N values for tensile elements and cable systems shown in Fig. 3-2

		K_1	K_2	Upper stress σ_{max}	Stress range $\Delta\sigma$ (MPa) at $2 \cdot 10^6$ load cycles
WIRE	A	$\approx 6^{1)}$	8	45% AUTS	370
	B _{stay cable} ³⁾	5	7	45% GUTS	285
	B _{extradosed} ³⁾	5	7	55% GUTS	200
	C _{stay cable}	4	6	45% GUTS	200 ²⁾
	C _{extradosed}	4	6	55% GUTS	140 ²⁾
STRAND	A	$\approx 6^{1)}$	8	45% AUTS	300
	B _{stay cable}	5	7	45% GUTS	250
	B _{extradosed}	5	7	55% GUTS	180
	C _{stay cable}	4	6	45% GUTS	200 ²⁾
	C _{extradosed}	4	6	55% GUTS	140 ²⁾

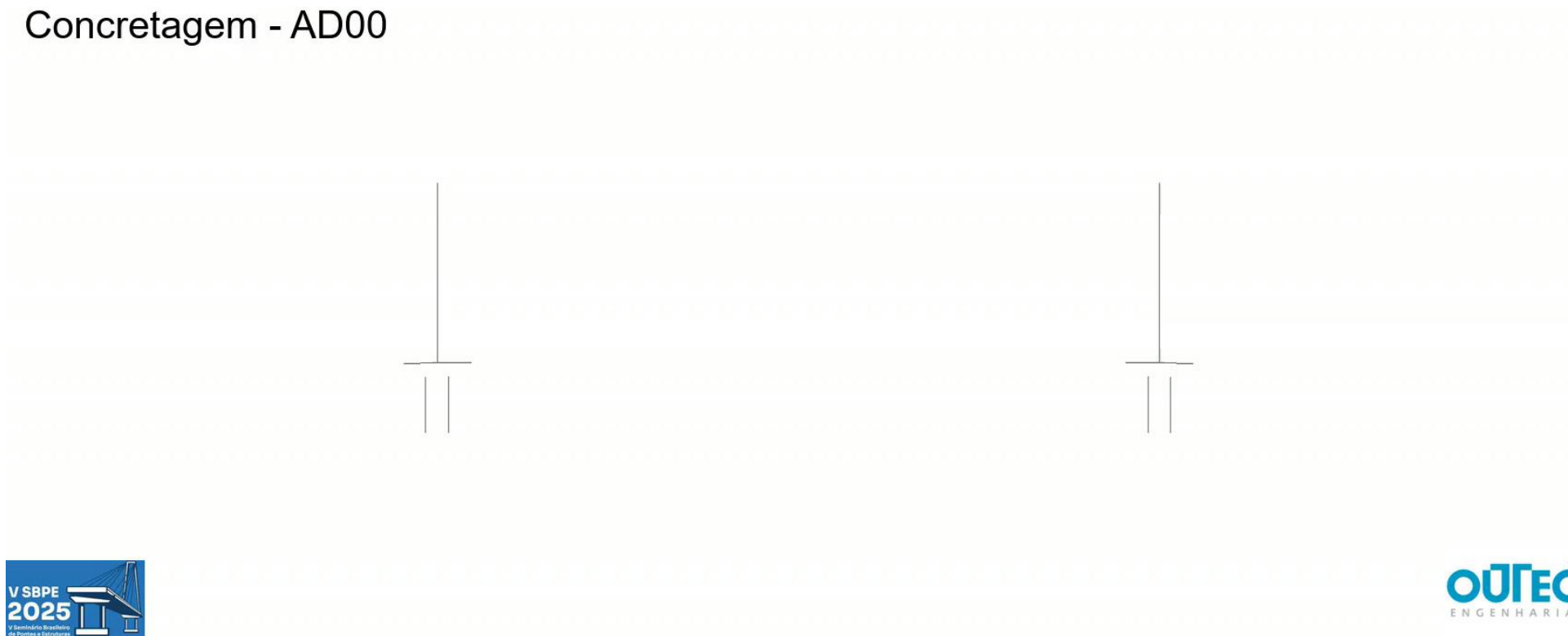
¹⁾ Exact slope is given by stress range values at 10^5 , $5 \cdot 10^5$ and $2 \cdot 10^6$ cycles

²⁾ At design stage, material safety factor may be considered on the characteristic stress variation. For example^{S1} specifies 1.25

³⁾ Applicable only for systems with individual wire anchoring



Concretagem - AD00

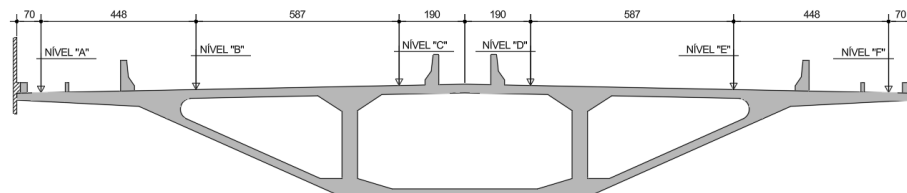
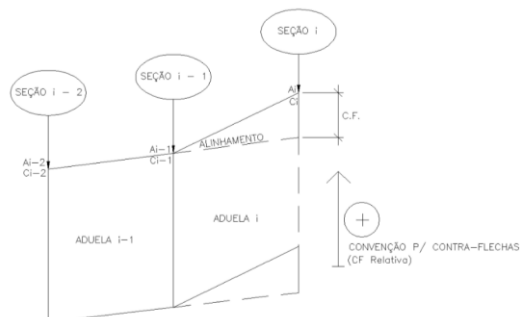


CONTROLE DE FLECHAS EM OBRAS CONSTRUIDAS POR SEGMENTOS SUCESSIVOS

$$f^n = \sum_{i=1}^n \left[\frac{X_n - X_{cgi}}{I_i} \Delta X_i \left(\sum_{j=1}^m \frac{M_j^i}{E_{j-i+1}} \left(1 + \phi_{j-i+1} \frac{E_{j-i+1}}{E_{c28}} \right) \right) \right]$$

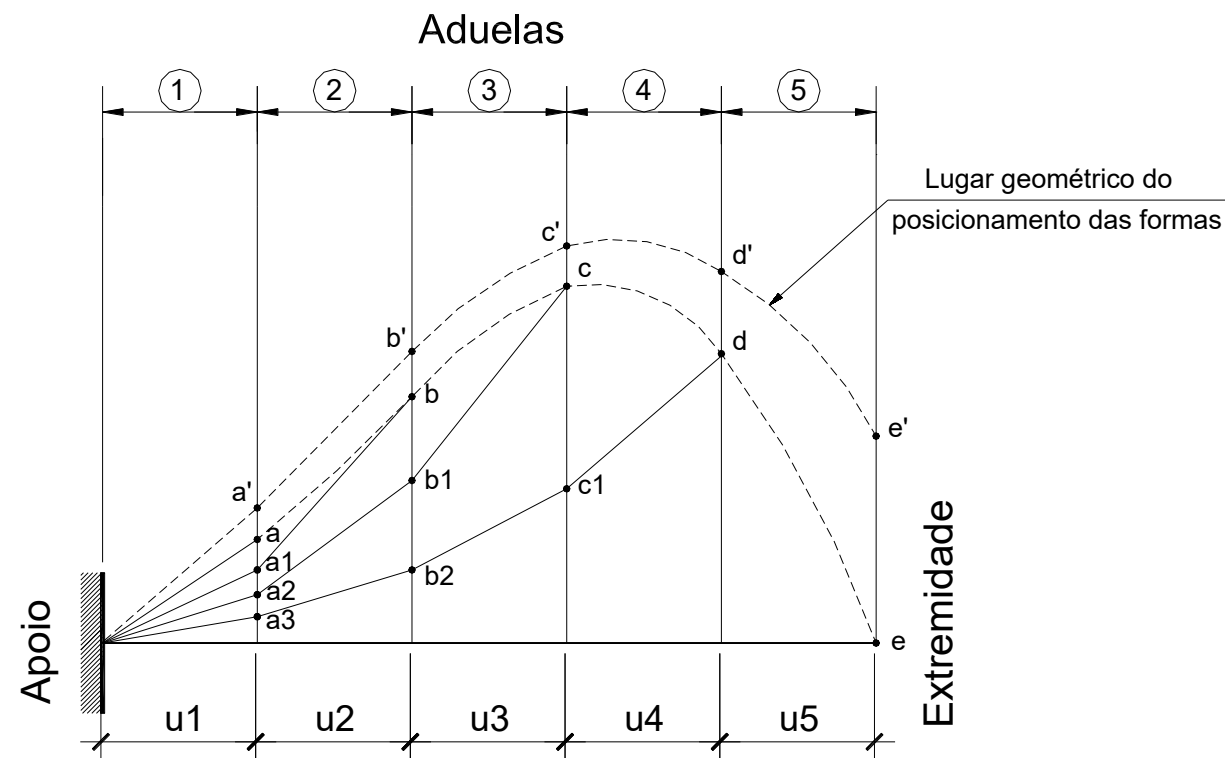
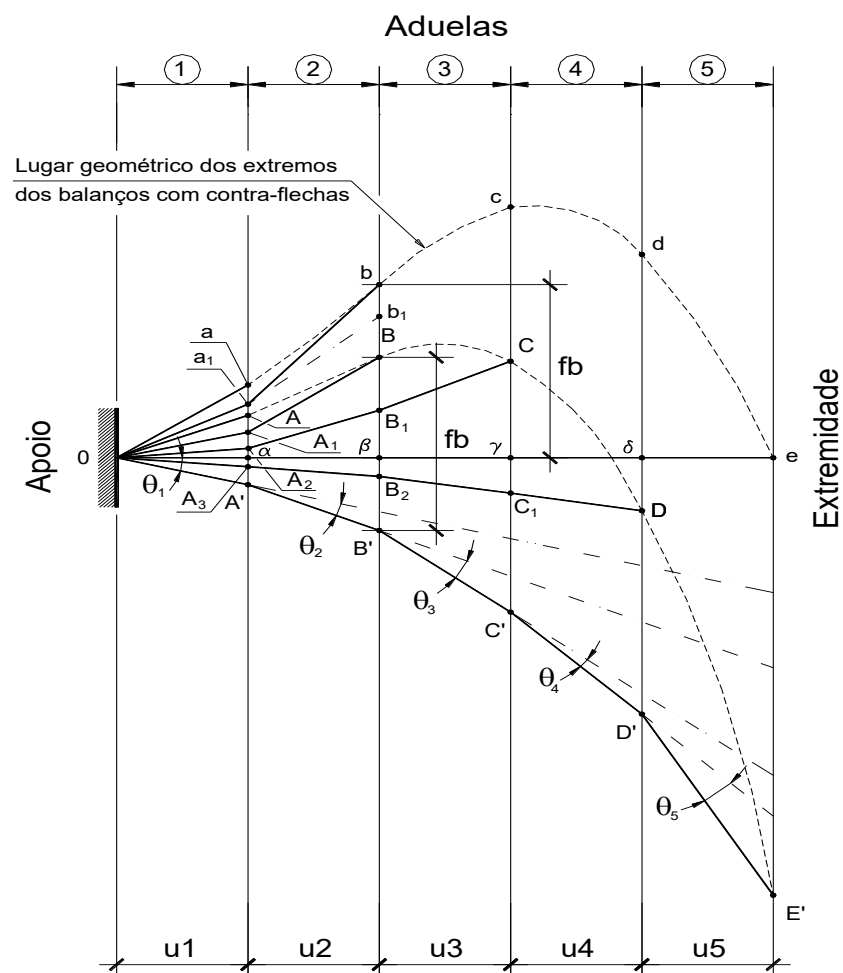
Ciclo	1º	2º	3º	4º	5º
Aduela					
A1	f_1^1	f_2^1	f_3^1	f_4^1	f_5^1
A2		f_2^2	f_3^2	f_4^2	f_5^2
A3			f_3^3	f_4^3	f_5^3
A4				f_4^4	f_5^4
A5					f_5^5

DATA DO LEVANTAMENTO =							
HORA =							
COTAS DOS PONTOS DE CONTROLE PARA DEFINIÇÃO DOS NÍVEIS COM CONTRA FLECHA							
ADUELA	LADO	A	B	C	D	E	F
AP4AD04E	ESQ						
AP4AD03E	ESQ						
AP4AD02E	ESQ						
AP4AD01E	ESQ						
AP4AD00E	ESQ						
AP4AD00D	DIR						
AP4AD01D	DIR						
AP4AD02D	DIR						
AP4AD03D	DIR						
AP4AD04D	DIR						



- | | |
|--|---|
| | COTAS A SEREM PREENCHIDAS ANTES DO AJUSTE |
| | COTAS ABSOLUTAS PARA AJUSTE DAS FORMAS |
| | COTAS SUPRIMIDAS |
| | POSICÃO DA ADUELA A SER CONCRETADA |

CONTROLE DAS FLECHAS

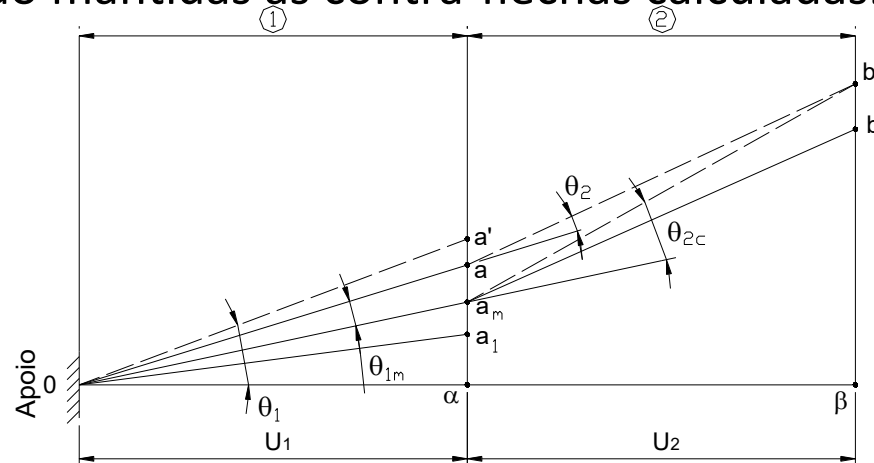


CONTROLE DAS FLECHAS

APOIO AP.5 - Leituras Finais Consolidadas

ADUELA	LADO	5AD02																							
		CONCRETAGEM						DEPOIS DA PROTENSÃO						DEPOIS AVANÇO DA TRELIÇA						DEPOIS DO ESTAIAMENTO					
		HORA:	08:00					HORA:	19:00					HORA:	09:10					HORA:	15:00				
		DATA:	18/08/2025					DATA:	18/08/2025					DATA:	20/08/2025					DATA:	10/09/2025				
		TEMP:	18°					TEMP:	19°					TEMP:	18°					TEMP:	22°				
		COTA A	COTA B	COTA C	COTA D	COTA E	COTA F	COTA A	COTA B	COTA C	COTA D	COTA E	COTA F	COTA A	COTA B	COTA C	COTA D	COTA E	COTA F	COTA A	COTA B	COTA C	COTA D	COTA E	COTA F
5AD13E	ESQ																								
5AD12E	ESQ																								
5AD11E	ESQ																								
5AD10E	ESQ																								
5AD09E	ESQ																								
5AD08E	ESQ																								
5AD07E	ESQ																								
5AD06E	ESQ																								
5AD05E	ESQ																								
5AD04E	ESQ																								
5AD03E	ESQ																								
5AD02E	ESQ	23.342	23.417	23.525	23.527	23.385	23.305	23.344	23.421	23.529	23.537	23.386	23.307	23.340	23.423	23.525	23.531	23.383	23.305	23.345	23.430	23.527	23.540	23.385	23.310
5AD01E	ESQ	23.240	23.297	23.482	23.452	23.308	23.235	23.239	23.299	23.483	23.453	23.306	23.234	23.238	23.297	23.480	23.451	23.305	23.233	23.239	23.298	23.481	23.453	23.307	23.236
5AD00E	ESQ	23.140	23.236	23.336	23.354	23.233	23.149	23.139	23.236	23.337	23.357	23.235	23.153	23.139	23.237	23.336	23.355	23.235	23.150	23.139	23.240	23.336	23.356	23.236	23.150
5AD00	APOIO	*OBS: Não foi possível fazer a visada no eixo						*OBS: Não foi possível fazer a visada no eixo						*OBS: Não foi possível fazer a visada no eixo						*OBS: Não foi possível fazer a visada no eixo					
5AD00D	DIR	22.849	22.932	23.063	23.060	22.930	22.868	22.852	22.935	23.064	23.063	22.935	22.872	22.853	22.934	23.062	23.061	22.933	22.873	22.854	22.933	23.067	23.063	22.932	22.876
5AD01D	DIR	22.680	22.770	22.918	22.925	22.730	22.668	22.688	22.771	22.920	22.925	22.735	22.702	22.687	22.770	22.919	22.925	22.733	22.705	22.690	22.772	22.921	22.925	22.737	22.700
5AD02D	DIR	22.600	22.665	22.759	22.784	22.635	22.546	22.604	22.670	22.763	22.789	22.640	22.549	22.610	22.669	22.770	22.785	22.641	22.547	22.620	22.670	22.780	22.783	22.650	22.553
5AD03D	DIR																								
5AD04D	DIR																								
5AD05D	DIR																								
5AD06D	DIR																								
5AD07D	DIR																								
5AD08D	DIR																								
5AD09D	DIR																								
5AD10D	DIR																								
5AD11D	DIR																								
5AD12D	DIR																								
5AD13D	DIR																								

- a) Se $a_m = a$, serão mantidas as contra-flechas calculadas.



$$cf_2 = \theta_2 u_2$$

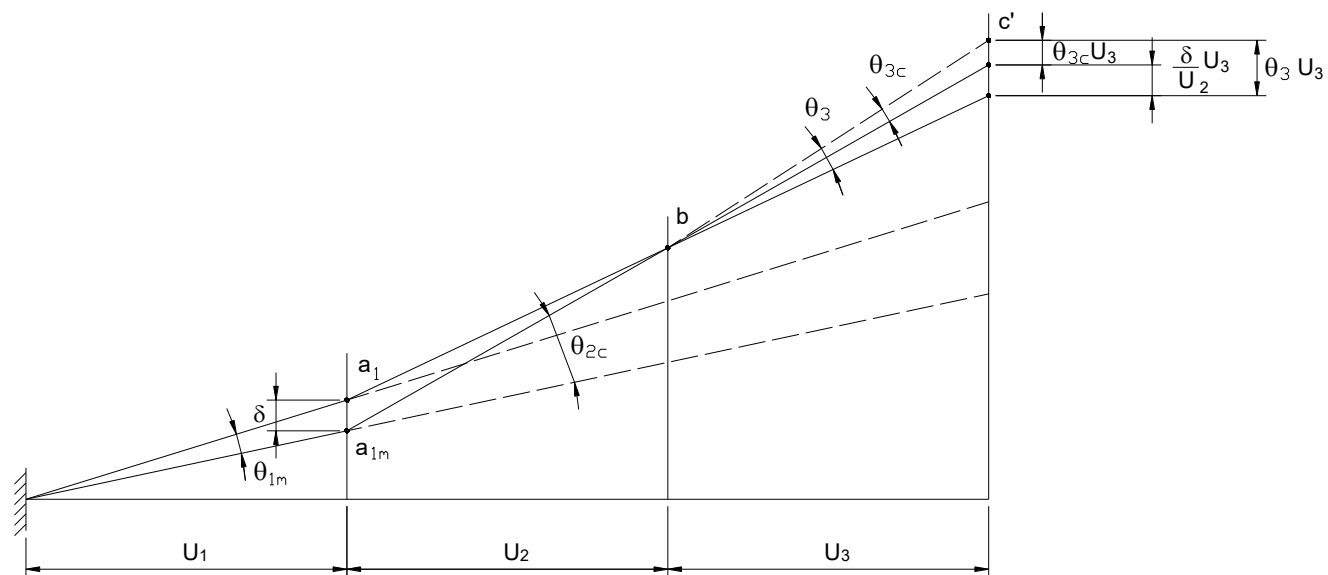
- b) Se $a_m \neq a$, as contra-flechas deverão ser corrigidas.

Caso a diferença seja pequena a correção será efetuada na aduela subsequente.

$$\theta_{2c} = \frac{\theta_2 u_2 + \theta_{1m} (u_1 + u_2)}{u_2}$$

$$cf_2 = \theta_{2c} u_2$$

CONTROLE DAS FLECHAS



$$\theta_{3c} = \theta_3 - \theta_{1m} \frac{u_1}{u_2}$$

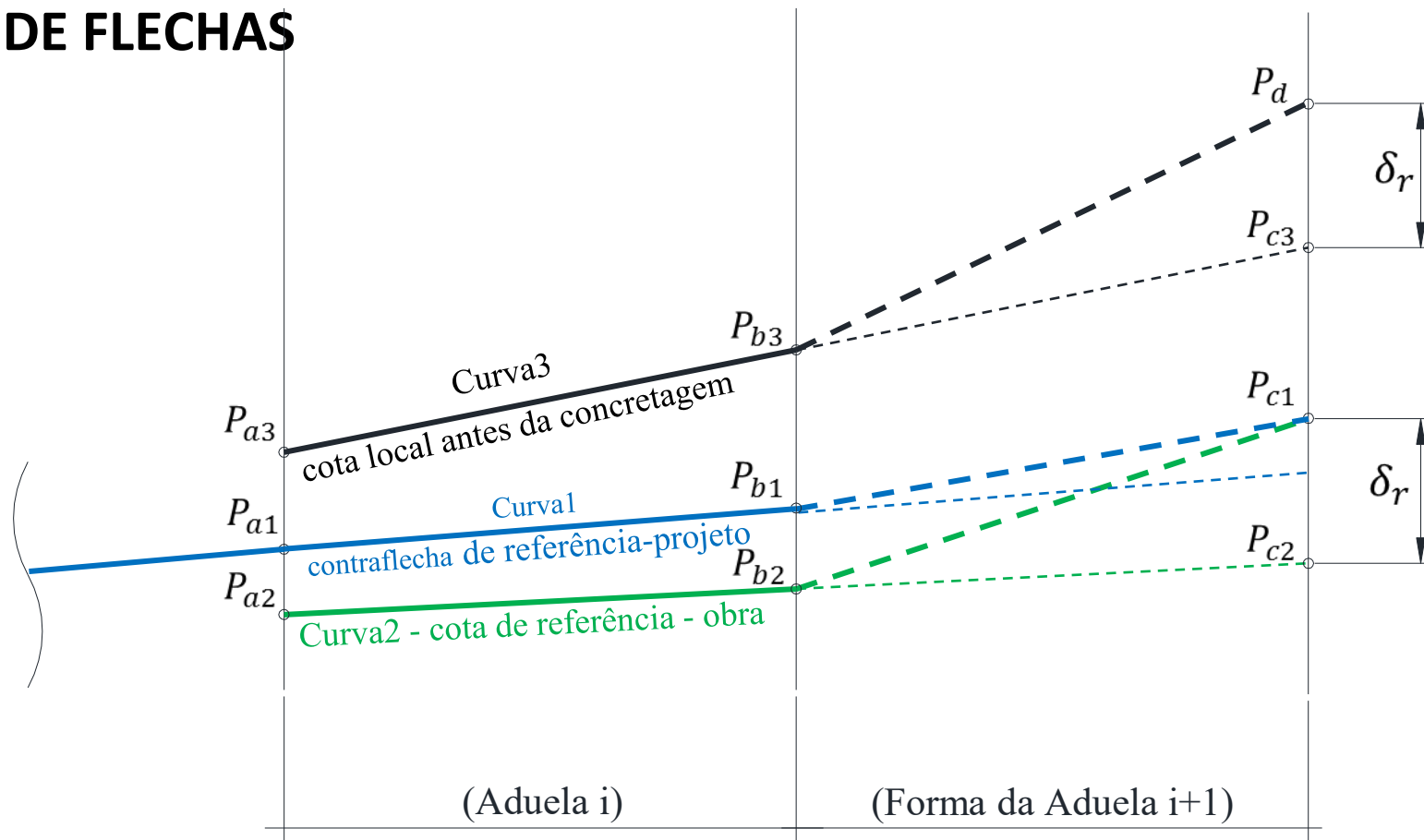
$$cf_3 = \theta_{3c} u_3$$

DETERMINAÇÃO DAS CONTRAFLECHAS

FATORES ADICIONAIS QUE DEVEM SER CONSIDERADOS NO CÁLCULO DA CONTRAFLECHA

- DEFORMAÇÃO DA TRELIÇA
- CONTRAFLECHA ROTACIONAL (OBRAS CURVAS EM PLANTA)
- SUPERELEVAÇÃO (CONTROLE DAS COTAS NAS BORDAS DA ESTRUTURA)

ATO – ACOMPANHAMENTO TÉCNICO DE OBRA CONTROLE DE FLECHAS



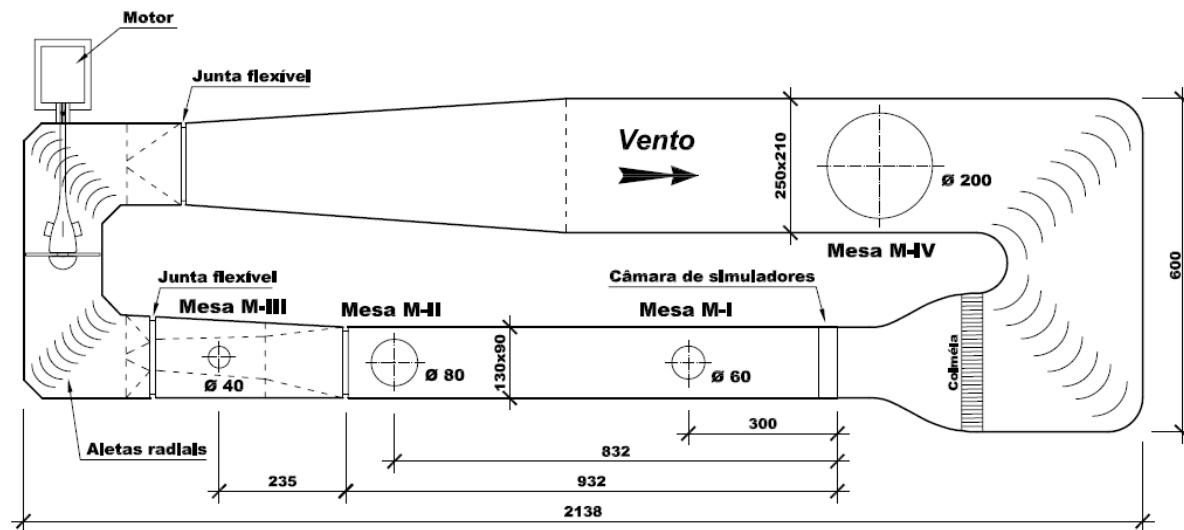
ATO – ACOMPANHAMENTO TÉCNICO DE OBRA CONTROLE DE FLECHAS - RETROANÁLISE

Durante a execução da obra fez-se o levantamento topográfico ao longo de todas as etapas: concretagem da aduela, protensão longitudinal, avanço da treliça e estaiamento.

Essas informações são utilizadas para retroalimentar o modelo de análise estrutural com o objetivo de melhorar a precisão das deformações inicialmente previstas.

Como os maiores deslocamentos ocorrem ao final da construções das aduelas em balanço sucessivo essa metodologia se mostra bastante eficaz.

TUNEL DE VENTO



Túnel de Vento Prof. Joaquim Blessmann
Dimensões em [cm]



Vista do Túnel de Vento Prof. Joaquim Blessmann.

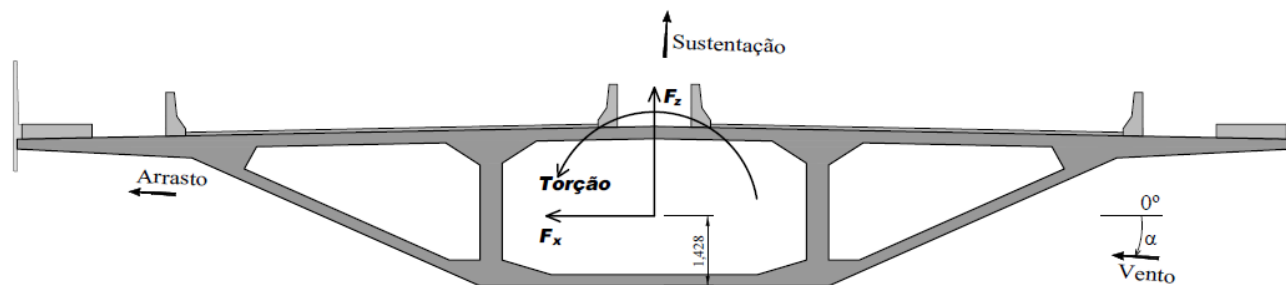


Vento Turbulento 0°



Vento Turbulento +10°

TUNEL DE VENTO



Tab. 1 - Coeficientes aerodinâmicos estáticos (médios) - Ponte Estaiada de Guaratuba.
Rodovia PR-412, entre Matinhos/PR e Guaratuba/PR.

Ângulo	Escoamento Suave					Escoamento Turbulento				
	Cx	Ca	Cz	Cs	Ct	Cx	Ca	Cz	Cs	Ct
10°	0.19	0.25	0.34	0.30	0.11	0.19	0.28	0.54	0.50	0.15
9°	0.19	0.23	0.30	0.26	0.11	0.18	0.26	0.47	0.44	0.15
8°	0.19	0.22	0.26	0.23	0.11	0.19	0.24	0.40	0.37	0.15
7°	0.18	0.21	0.23	0.21	0.10	0.18	0.22	0.34	0.31	0.14
6°	0.17	0.19	0.20	0.18	0.10	0.18	0.20	0.25	0.23	0.14
5°	0.19	0.20	0.13	0.11	0.08	0.20	0.22	0.17	0.15	0.13
4°	0.18	0.19	0.09	0.08	0.08	0.19	0.19	0.07	0.06	0.12
3°	0.18	0.18	0.06	0.05	0.08	0.18	0.18	-0.03	-0.03	0.11
2°	0.17	0.17	0.00	-0.01	0.08	0.18	0.18	-0.12	-0.13	0.09
1°	0.16	0.16	-0.08	-0.08	0.07	0.17	0.17	-0.21	-0.21	0.08
0°	0.15	0.15	-0.19	-0.19	0.06	0.17	0.17	-0.30	-0.30	0.05
-1°	0.13	0.14	-0.34	-0.34	0.04	0.15	0.16	-0.40	-0.39	0.03
-2°	0.12	0.14	-0.48	-0.47	0.01	0.15	0.17	-0.48	-0.47	0.00
-3°	0.12	0.16	-0.76	-0.75	-0.01	0.13	0.17	-0.77	-0.77	-0.02
-4°	0.09	0.15	-0.86	-0.86	-0.04	0.10	0.17	-0.88	-0.87	-0.05
-5°	0.07	0.15	-0.97	-0.96	-0.07	0.09	0.17	-0.97	-0.95	-0.07
-6°	0.05	0.16	-1.07	-1.06	-0.09	0.07	0.18	-1.07	-1.06	-0.10
-7°	0.03	0.18	-1.22	-1.20	-0.13	0.05	0.19	-1.19	-1.17	-0.13
-8°	0.01	0.19	-1.32	-1.31	-0.17	0.03	0.21	-1.28	-1.26	-0.16
-9°	0.00	0.22	-1.39	-1.37	-0.17	0.02	0.23	-1.35	-1.33	-0.18
-10°	0.02	0.26	-1.40	-1.38	-0.16	-0.02	0.24	-1.45	-1.43	-0.19

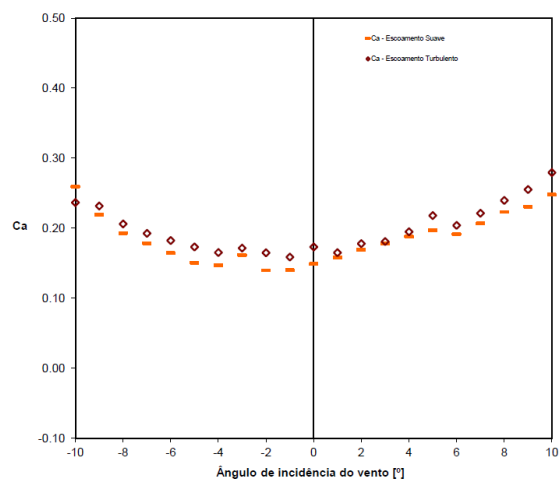
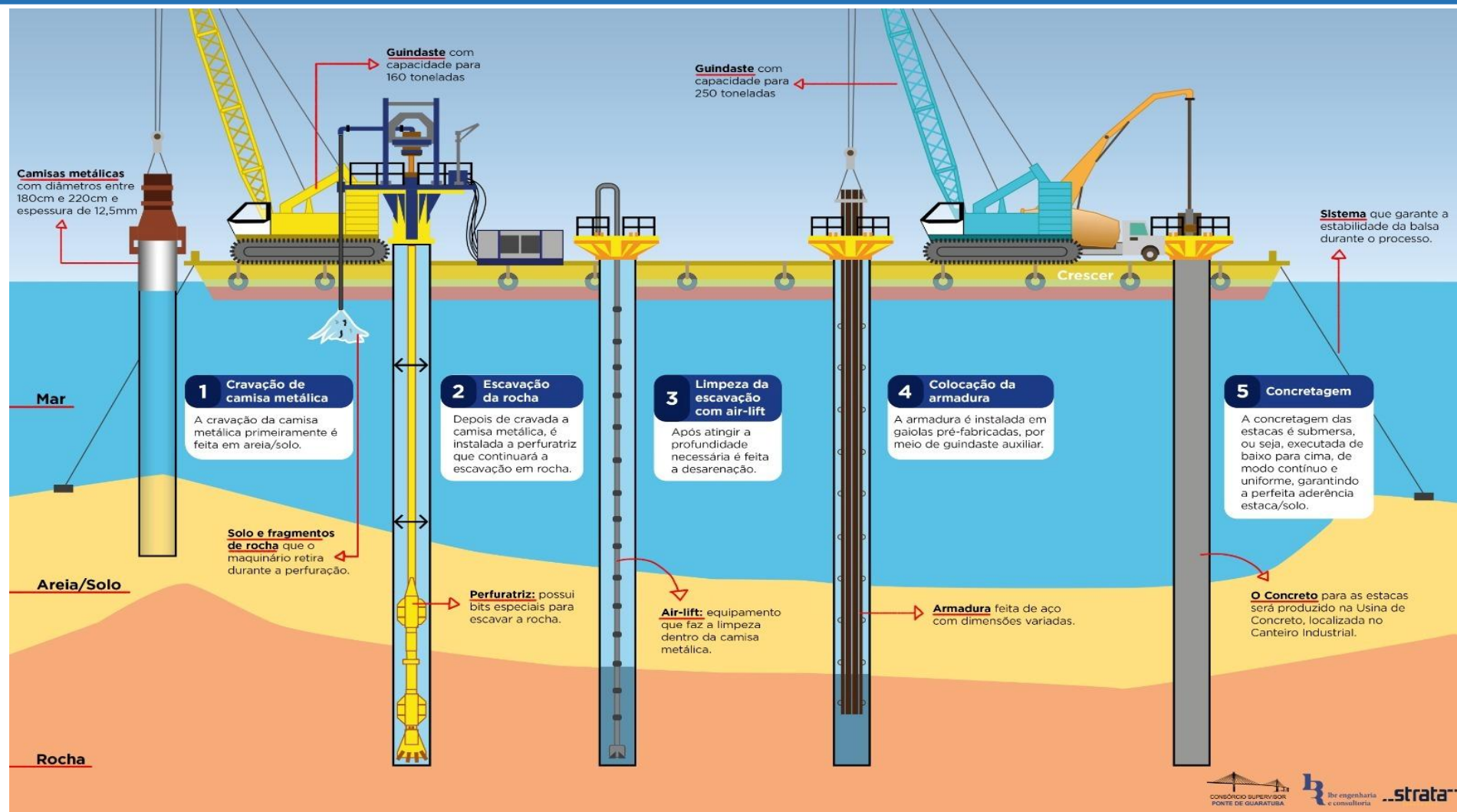


Figura 2 - Coeficiente de arrasto Ca - Ponte Estaiada de Guaratuba.

Ponte Estaiada de Guaratuba
Seção transversal do tabuleiro
Referência para aplicação das forças e momento torção
Dimensões em [m]



PROJETO | Fundação – Metodologia executiva



VIGAS PRÉ-MOLDADAS

Comprimento: 41 m/viga

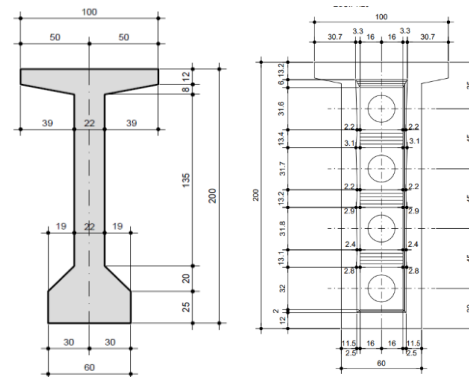
Volume: 29 m³/viga

160 unidades

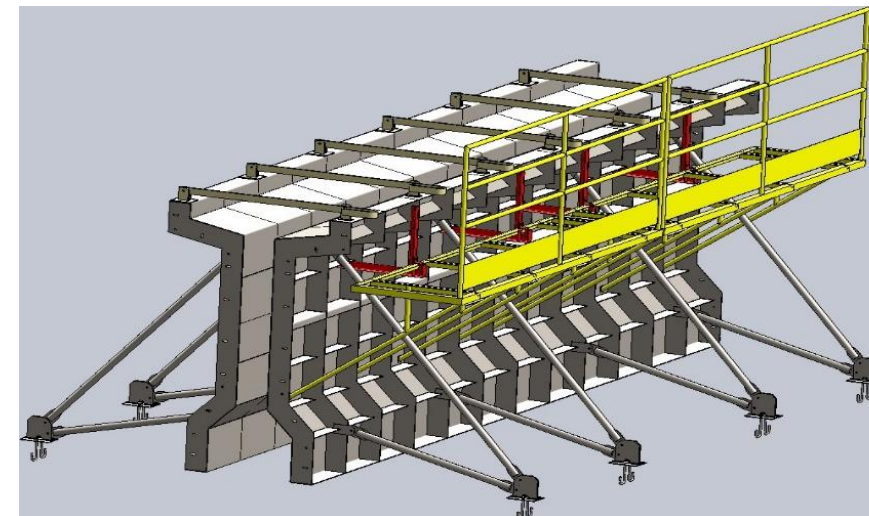
8 vigas por vão

Fabricação de 03 unidades/semana

Lançamento com Treliça Lançadeira



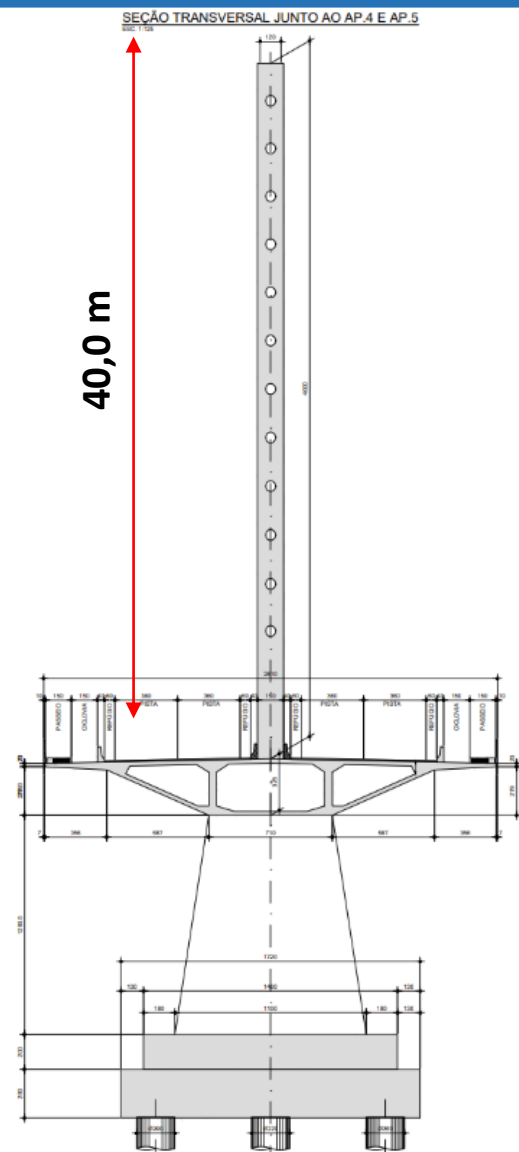
Seção transversal da viga pré-moldada



Forma metálica para vigas pré-moldada

PROJETO | Trecho Pré-moldado – Treliça Lançadeira TR120/45





Seção transversal do mastro

MASTRO

Altura: 40 metros

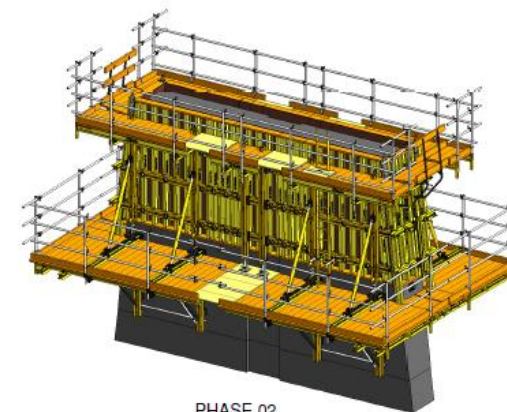
Volume: 290 m3

Forma trepante

15 etapas de concretagem

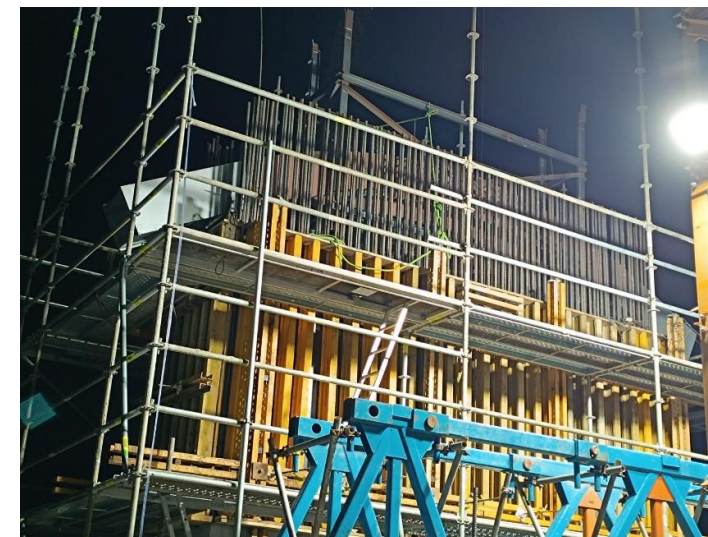
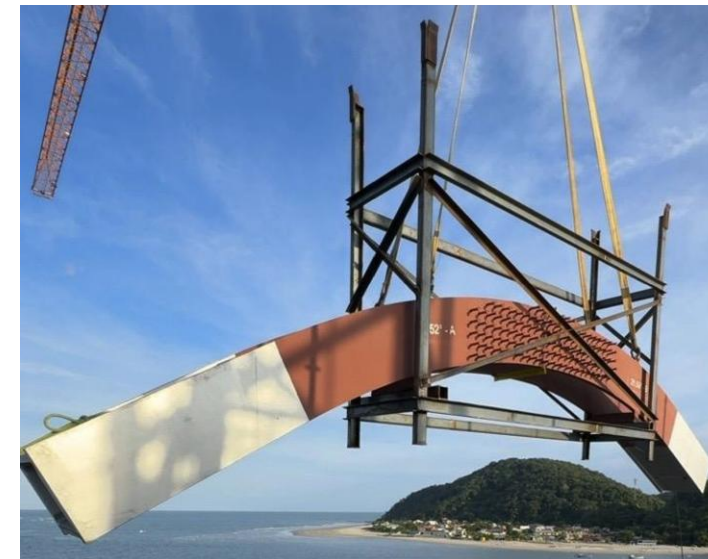
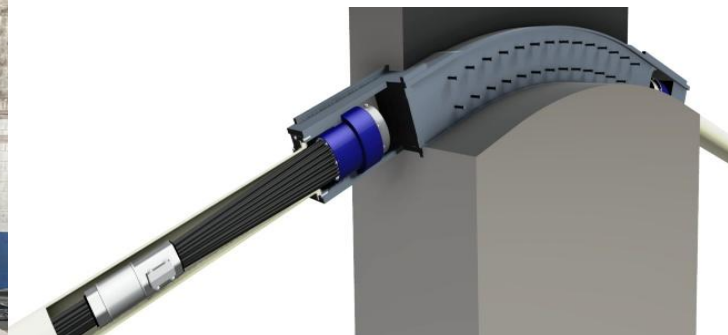
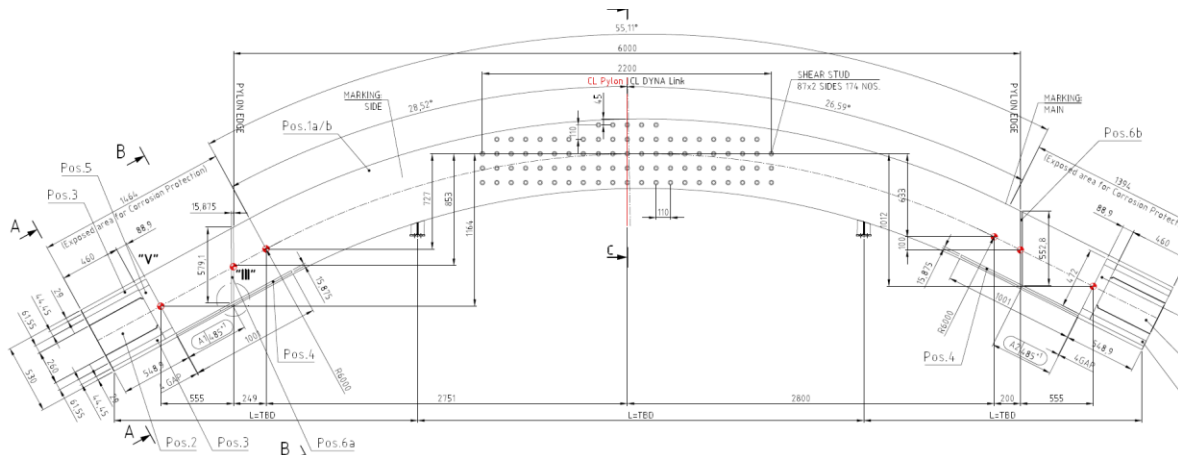


PHASE 03

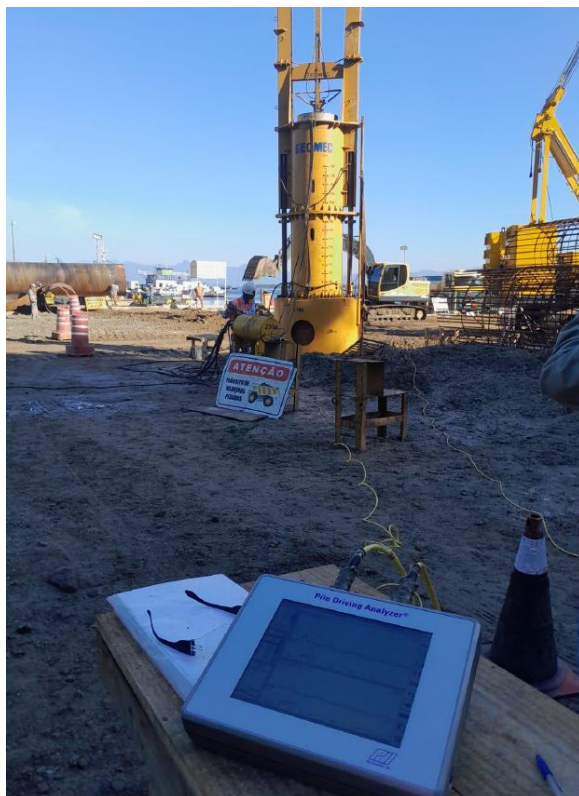


PHASE 02

Forma trepante



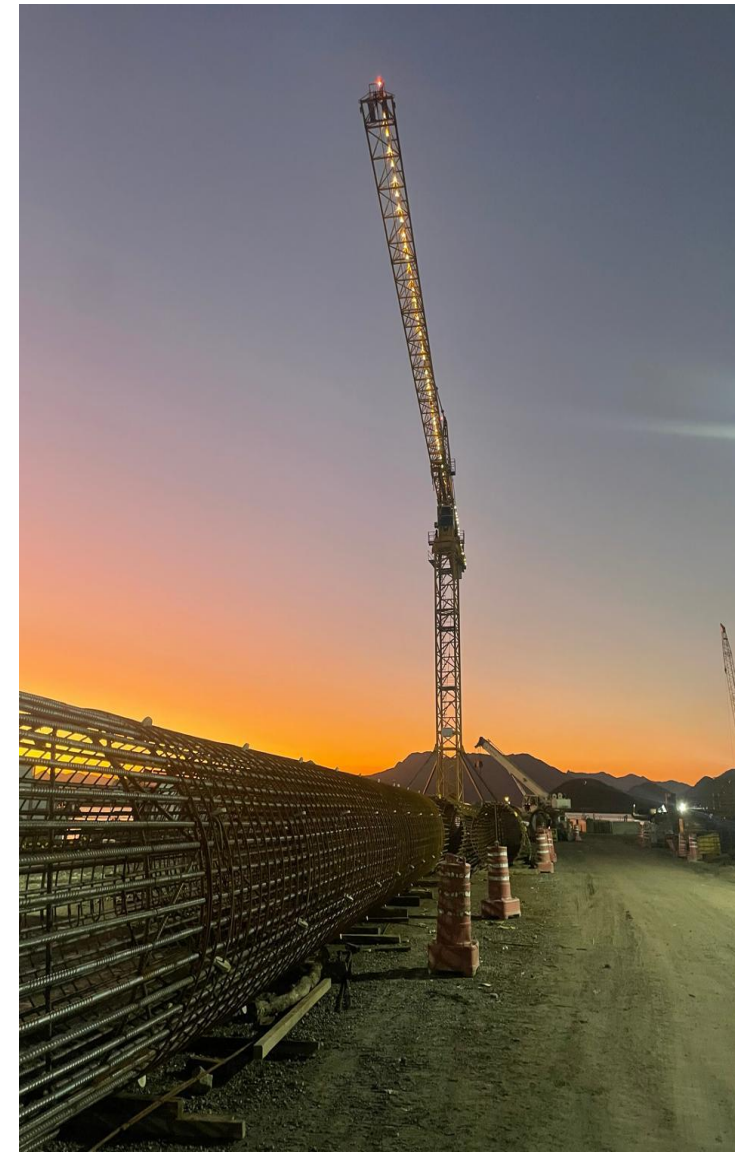
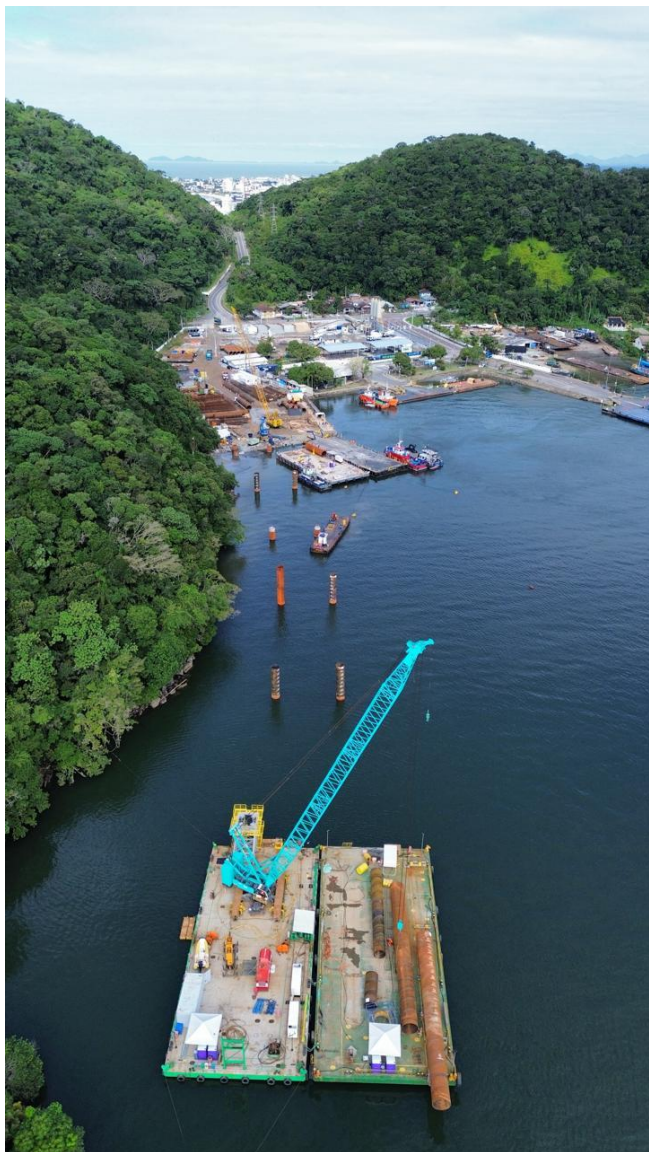




Prova de carga dinâmica

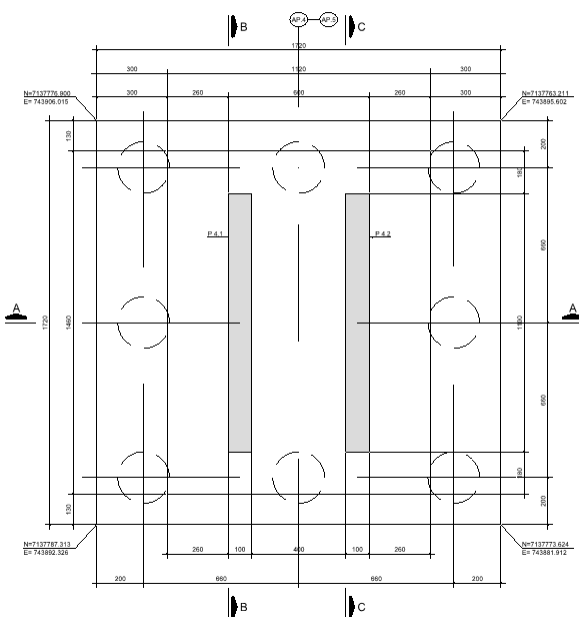


Prova de carga com célula de carga

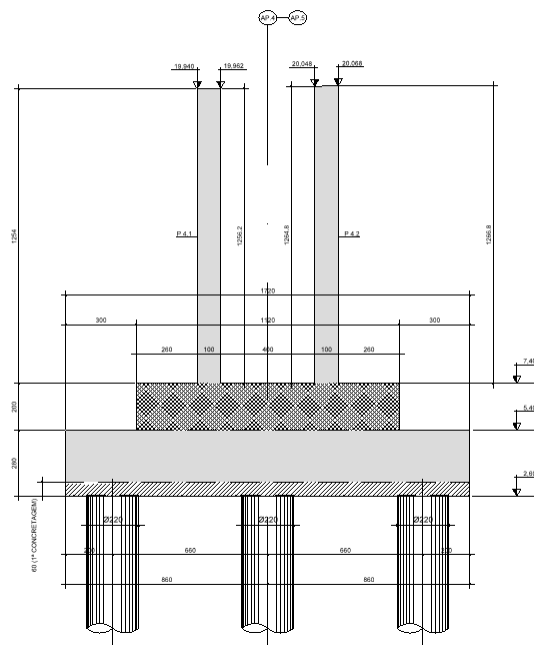




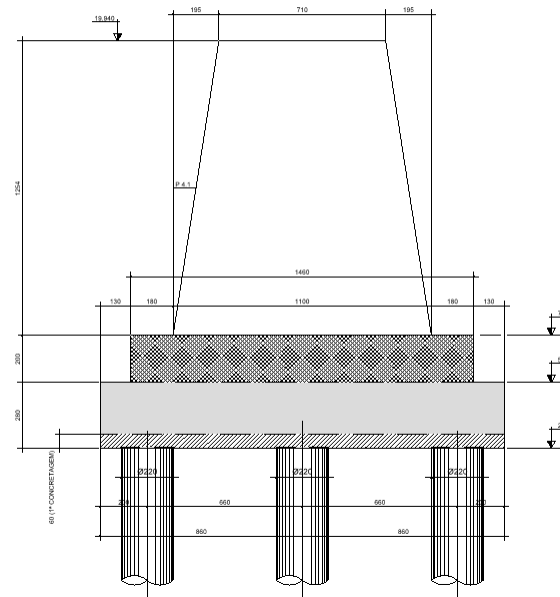
BLOCO NO EIXO AP.4 - PLANTA
ESC: 1:100



CORTE A - A
ESC: 1:100



CORTE B - B
ESC: 1:100



Volume bloco de fundação – 1.160m³



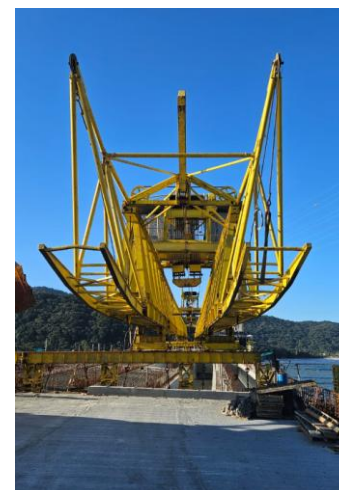


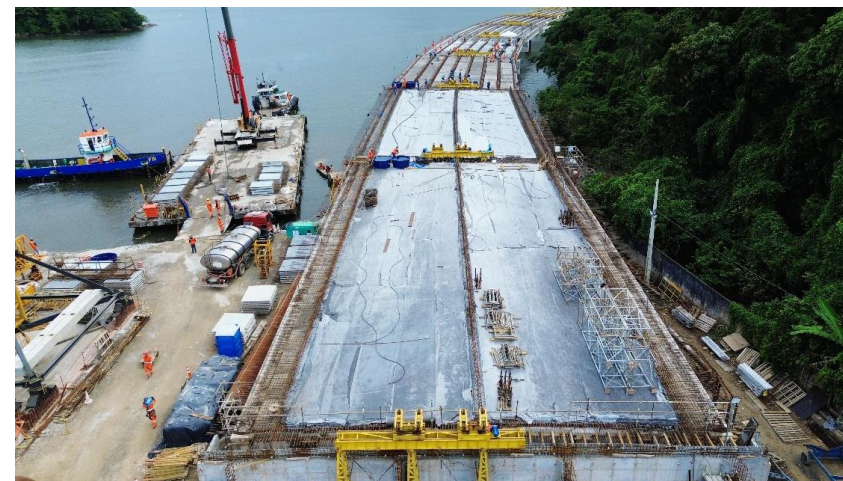
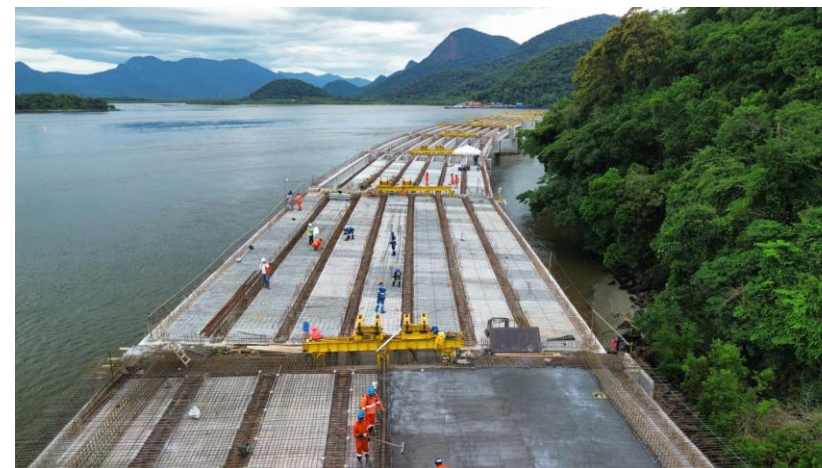
EXECUÇÃO



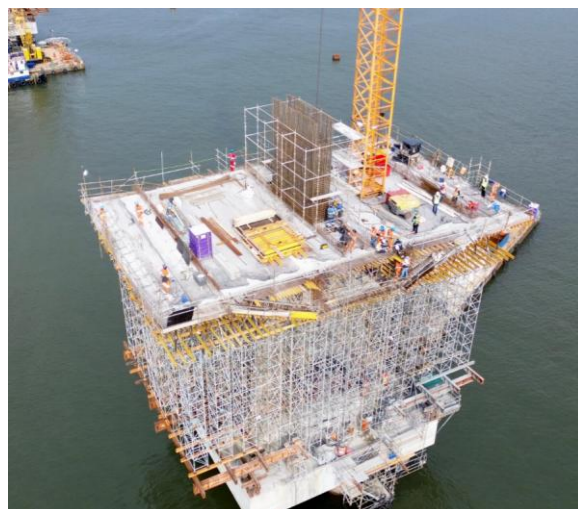
PROJETO/Trecho Pré-moldado – Treliza Lançadeira TR120/45

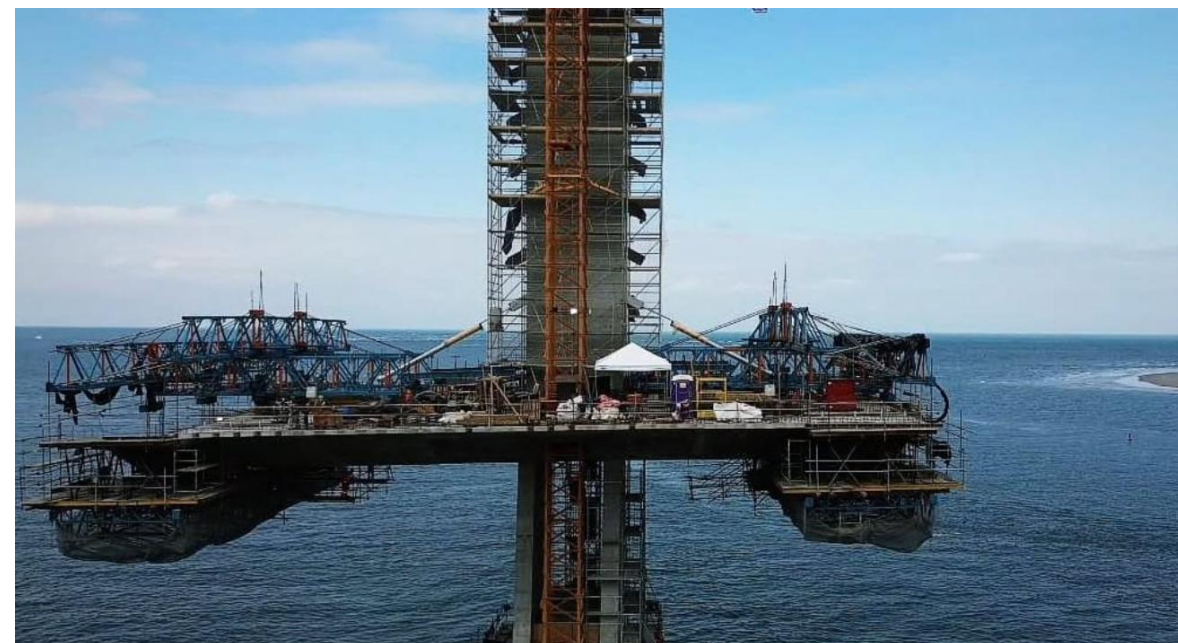


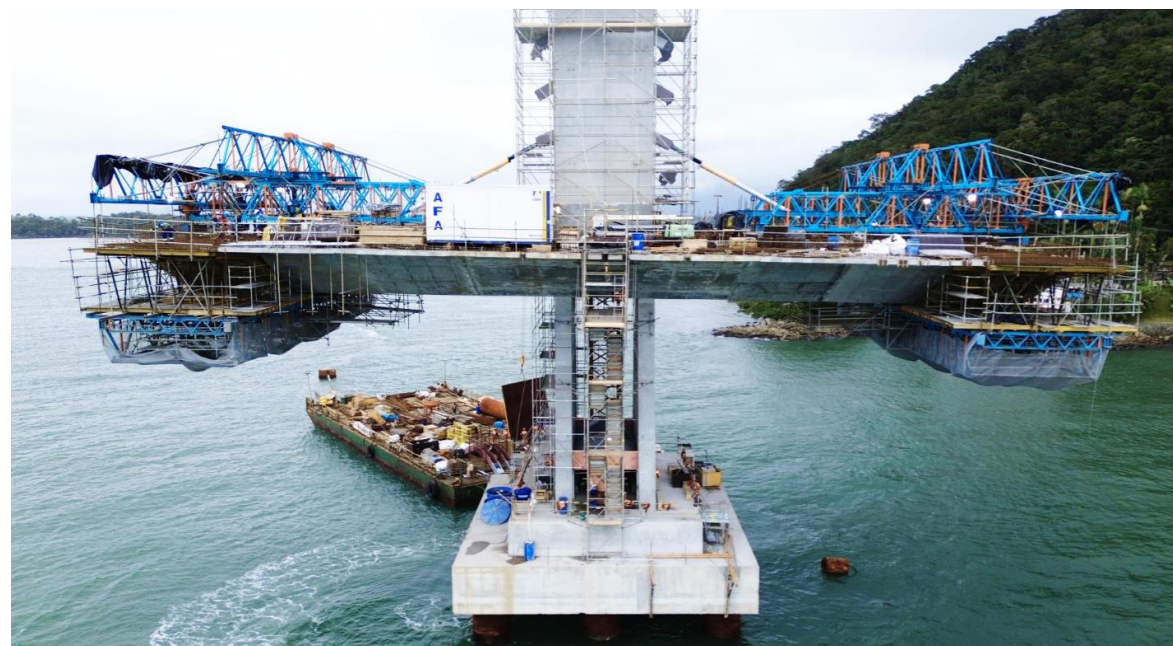












VIDEO INSTITUCIONAL



Modelagem BIM Vs Obra





OBRIGADO