



**PONTE (OAE) SOBRE O RIO ANDRADA - PROJETO DE PONTE RODOVIÁRIA  
EM CONCRETO ARMADO PROTENDIDO COM SEÇÃO TRANSVERSAL COM  
SEIS VIGAS PRINCIPAIS**

**CURITIBA  
2020**



HEINS HACKBARTH JUNIOR  
VICTOR FALCÃO DE MELO  
AGUINALDO LIMA DA SILVA

PONTE (OAE) SOBRE O RIO ANDRADA - PROJETO DE PONTE RODOVIÁRIA  
EM CONCRETO ARMADO PROTENDIDO COM SEÇÃO TRANSVERSAL COM  
SEIS VIGAS PRINCIPAIS

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Pós-Graduação em pontes e grandes estruturas viárias com ênfase em projetos, Pós-Graduação *lato sensu*, do IDD como requisito parcial para a obtenção do Grau de Especialista em Patologia nas Obras Civas.

**Orientador:** Prof. Esp. Mauer Egas.

CURITIBA  
2020  
**RESUMO**

O presente documento apresenta o projeto de obra arte especial (OAE) sobre o Rio Andrada afluente do Rio Iguaçu, com 3 vãos de 27,5 m contendo aparelhos de apoio tipo elastômero fretado, longarinas pré-moldadas de concreto protendido, transversina de concreto protendido moldado in-loco, elementos de pré-laje, barreiras de contenção tipo New-Jersey em concreto armado, cortinas e alas de retorno em concreto armado, lajes de aproximação em concreto armado, pavimentação asfáltica em CBUQ. A mesoestrutura em pórtico planos com dois pilares e uma viga travessa de concreto armado, berços de concreto armado e consolos para alteamento e manutenção da superestrutura.

**Palavras chave:** Concreto, Pontes, OAE, Projeto.

## LISTA DE FIGURAS

|                                                                                                                                                                   |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 1 - Tabela 6.1 da NBR 6118/2014 - Fonte: adaptado da NBR 6118/2014.<br>.....                                                                               | 11 |
| Figura 2 - Tabela de qualidade do concreto - adaptado da NBR 6118/2014. ....                                                                                      | 12 |
| Figura 3 - Cobrimento nominal dos elementos - adaptado da NBR 6118/2014                                                                                           | 13 |
| Figura 4 - Características das cordoalhas para protensão aderente - Fonte:<br>Catálogo Rudloff .....                                                              | 16 |
| Figura 5 - Esquema geral da ponte .....                                                                                                                           | 17 |
| Figura 6 - Pré-dimensionamento .....                                                                                                                              | 18 |
| Figura 7 - Seção Transversal .....                                                                                                                                | 18 |
| Figura 8 - Perfil longitudinal das longarinas .....                                                                                                               | 19 |
| Figura 9 - Seções transversais das longarinas ao meio do vão (esquerda) e nas<br>proximidades dos apoios (direita) com laje colaborante sem homogeneização.....   | 21 |
| Figura 10 - Seções transversais das longarinas ao meio do vão (esquerda) e nas<br>proximidades dos apoios (direita) com laje colaborante, sem homogeneização..... | 23 |
| Figura 11 - Tabuleiro de pontes em grelha.....                                                                                                                    | 26 |
| Figura 12 - Linha de repartição transversal para longarina L1, sendo análogo para<br>a L6 .....                                                                   | 28 |
| Figura 13 - Linha de repartição transversal para longarina L2, sendo análogo para<br>a L5 .....                                                                   | 30 |
| Figura 14 - Linha de repartição transversal para longarina L3, sendo análogo para<br>a L4 .....                                                                   | 33 |
| Figura 15 - Seções transversais das longarinas ao meio do vão (esquerda) e nas<br>proximidades dos apoios (direita). ....                                         | 35 |
| Figura 16 - Carregamento permanente longarinas externas L1 e L6 .....                                                                                             | 37 |
| Figura 17 - Carregamento permanente longarinas externas L1 e L6 .....                                                                                             | 37 |
| Figura 18 - Disposição das cargas estáticas conforme NBR 7188:2013.....                                                                                           | 38 |
| Figura 19 - Trem de carga para as longarinas L1 e L6.....                                                                                                         | 39 |
| Figura 20 - Trem de carga para as longarinas L2 e L5.....                                                                                                         | 40 |

|                                                                       |    |
|-----------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 21 - Trem de carga para as longarinas L3 e L4.....             | 41 |
| Figura 22 - Seções de cálculo .....                                   | 42 |
| Figura 23 - Vista lateral dos cabos de protensão nas longarinas ..... | 45 |
| Figura 24 - Excentricidade das cordoalhas na seção S6.....            | 45 |
| Figura 25 - Vista do tabuleiro com a identificação das lajes.....     | 61 |
| Figura 26 - Seção transversal laje em balanço .....                   | 62 |

## LISTA DE TABELAS

|                                                                                  |    |
|----------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tabela 1: Propriedades geométricas seção transversal (FASE FINAL) .....          | 50 |
| Tabela 2: Casos de carregamentos considerados.....                               | 51 |
| Tabela 3: Força e momento de protensão nos instantes $T_0$ e $T_\infty$ .....    | 52 |
| Tabela 4: Momento fletor combinações ELS e ELU (kN.m).....                       | 53 |
| Tabela 5: Esforço cortante combinações ELS e ELU (kN).....                       | 54 |
| Tabela 6: Verificação ELS-F ( $\sigma_c \leq 2.95$ MPa) .....                    | 55 |
| Tabela 7: Verificação ELS-D ( $\sigma_c \leq 0$ ) .....                          | 56 |
| Tabela 8: Verificação ELU-ATO ( $-23.1$ MPa $\leq \sigma_c \leq 3.16$ MPa) ..... | 56 |

## SUMÁRIO

|                                                                                                             |           |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>RESUMO .....</b>                                                                                         | <b>2</b>  |
| <b>LISTA DE FIGURAS .....</b>                                                                               | <b>4</b>  |
| <b>LISTA DE TABELAS.....</b>                                                                                | <b>6</b>  |
| <b>SUMÁRIO.....</b>                                                                                         | <b>7</b>  |
| <b>1. INTRODUÇÃO .....</b>                                                                                  | <b>9</b>  |
| 1.1. OBJETIVOS.....                                                                                         | 9         |
| 1.1.1. Objetivo Geral .....                                                                                 | 9         |
| 1.1.2. Objetivos Específicos .....                                                                          | 9         |
| 1.2. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS .....                                                                      | 9         |
| <b>2. PONTE SOBRE O RIO ANDRADAS .....</b>                                                                  | <b>10</b> |
| 2.1. Referências normativas .....                                                                           | 10        |
| 2.2. Programas computacionais utilizados .....                                                              | 10        |
| 2.3. Bibliografia de referência utilizada .....                                                             | 10        |
| 2.4. Características dos materiais utilizados .....                                                         | 11        |
| 2.4.1. Características do concreto armado .....                                                             | 11        |
| 2.4.2. Características dos aços CA-50 e CA-60. ....                                                         | 15        |
| 2.4.3. Características dos aços CP-190 .....                                                                | 16        |
| <b>3. DEFINIÇÃO DO MODELO ESTRUTURAL – SUPERESTRUTURA</b>                                                   | <b>16</b> |
| <b>4. GEOMETRIA DA OAE.....</b>                                                                             | <b>17</b> |
| <b>5. DETERMINAÇÃO DAS LINHAS DE REPARTIÇÃO TRANSVERSAL DE CARGAS ATRAVÉS DO MÉTODO GYON-MASSONET .....</b> | <b>26</b> |
| <b>6. DETERMINAÇÃO DOS CARREGAMENTOS PERMANENTES ....</b>                                                   | <b>34</b> |
| <b>7. DETERMINAÇÃO DOS CARREGAMENTOS MÓVEIS.....</b>                                                        | <b>38</b> |
| 7.1. Trem de carga para as longarinas externas L1 e L6.....                                                 | 39        |
| 7.2. Trem de carga para as longarinas internas L2 e L5 .....                                                | 40        |
| 7.3. Trem de carga para as longarinas internas L3 e L4 .....                                                | 41        |
| <b>8. ESFORÇOS LONGARINAS .....</b>                                                                         | <b>42</b> |
| 8.1. Carregamento permanente .....                                                                          | 42        |

|                                                                   |           |
|-------------------------------------------------------------------|-----------|
| 8.2. Carregamento acidental.....                                  | 43        |
| <b>9. DIMENSIONAMENTO LONGARINAS.....</b>                         | <b>45</b> |
| 9.1. Determinação da força de protensão inicial.....              | 45        |
| 9.2. Dimensionamento da armadura ativa.....                       | 47        |
| <b>Dados iniciais .....</b>                                       | <b>48</b> |
| <b>Seção transversal .....</b>                                    | <b>49</b> |
| <b>Ações consideradas .....</b>                                   | <b>51</b> |
| <b>Combinações.....</b>                                           | <b>51</b> |
| <b>Protensão .....</b>                                            | <b>52</b> |
| <b>Esforços solicitantes .....</b>                                | <b>53</b> |
| <b>Estado limite de formação de fissura (ELS-F) .....</b>         | <b>55</b> |
| <b>Estado limite de descompressão (ELS-D).....</b>                | <b>56</b> |
| <b>Estado limite de último no ato de protensão (ELU-ATO).....</b> | <b>56</b> |
| 9.3. Armadura passiva.....                                        | 57        |
| 9.4. Estado limite de deformação excessiva.....                   | 59        |
| <b>10. Cálculo das Lajes.....</b>                                 | <b>61</b> |
| 10.1. Laje em balanço L1 .....                                    | 61        |
| 10.2. Laje entre vigas (L2) .....                                 | 66        |
| 10.3. Dimensionamento da pré-laje .....                           | 71        |
| <b>11. APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS .....</b>                      | <b>73</b> |
| <b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>                            | <b>87</b> |
| <b>ANEXOS .....</b>                                               | <b>88</b> |

## **1. INTRODUÇÃO**

O Trabalho de conclusão de curso, consiste em desenvolver um projeto de engenharia em nível executivo de uma ponte sobre o rio Andrada, em concreto do tipo pré-moldado. Em sorteio, foram traçadas diretrizes para as características da ponte. Com estas diretrizes, foram determinados a classe da rodovia, número de pistas, acostamentos, e outros parâmetros. Assim, foi possível propor a geometria da ponte e suas características, onde sua estrutura será calculada e detalhada neste trabalho.

### **1.1. OBJETIVOS**

#### **1.1.1. Objetivo Geral**

Desenvolver um projeto de engenharia em nível executivo de uma ponte sobre o rio Andrada, em concreto do tipo pré-moldado.

#### **1.1.2. Objetivos Específicos**

Detalhar os elementos estruturais de uma Ponte sobre o rio Andradas.

### **1.2. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS**

Os cálculos e detalhamentos serão realizados de acordo com métodos de cálculo consagrados e programas computacionais.

## 2. PONTE SOBRE O RIO ANDRADAS

**Proprietário:** Instituto IDD

Obra: Construção de duas pontes em concreto armado de 14,10m de largura x 84,30 m de vão total e 7,50m de altura.

**Local:** Capitão Leônidas Marques – PR

**Coordenadas:** 25° 31' 07" S - 53° 31' 34" W

Neste memorial de cálculo serão apresentados todos os cálculos necessários à determinação das solicitações e as verificações dos estados limites, apresentados em sequência lógica e com um desenvolvimento tal que facilmente possam ser entendidos, Interpretados e verificados.

### 2.1. Referências normativas

- ABNT NBR - 6118/2014 - Projeto de estruturas de concreto - Procedimento;
- ABNT NBR - 6123/1988 – Forças devidas ao vento em edificações;
- ABNT NBR - 7480/2007 - Aço destinado a armaduras para estruturas de concreto armado – Especificação.
- ABNT NBR - 7187/2003 - Projeto e execução de pontes de concreto armado e protendido.
- ABNT NBR - 7188/2013 - Carga móvel rodoviária e de pedestres em pontes, viadutos, passarelas e outras estruturas.
- NBR 8681:2003 Ações e segurança nas estruturas - Procedimento.

### 2.2. Programas computacionais utilizados

Os softwares utilizados para modelagem, análise estrutural, detalhamentos, dimensionamentos e resumo dos dados obtidos:

- AutoCad 2018
- Microsoft Excel 2016
- Ftool – versão 3.01

### 2.3. Bibliografia de referência utilizada

Para o desenvolvimento dos modelos para análise estrutural dos elementos, também métodos desenvolvidos para o dimensionamento dos elementos. As referências utilizadas são as seguintes:

- Cálculo e detalhamento de estruturas usuais de concreto armado – Roberto Carvalho e Jasson Filho;

- Pontes de concreto armado – Oswaldemar Marchetti;
- Princípios básicos da construção de pontes de concreto – Fritz Leonhardt;
- Exercícios de fundações – Urbano Alonso;
- Cálculo e detalhamento de estruturas usuais de concreto armado Volume 2 – Roberto Carvalho e Libânio Pinheiro

## 2.4. Características dos materiais utilizados

### 2.4.1. Características do concreto armado

Segundo a NBR 6118/2014, quando o peso específico real do concreto armado não for conhecido deve-se adotar para o mesmo o valor de 25,0 kN/m<sup>3</sup>. Para efeito da análise estrutural, o coeficiente de dilatação térmica do concreto armado pode ser admitido como sendo igual a  $10^{-5} / ^\circ\text{C}$ .

A resistência à compressão do concreto foi estabelecida levando em conta a classe de agressividade ambiental a que estará sujeita a estrutura, conforme a NBR 6118/2014.

Utilizando a tabela 6.1 - Classe de agressividade ambiental (CAA), apesar das características do local da obra, uma ponte em local arborizado, sem indústrias que possam causar poluição a estrutura, é classificada na Classe I de agressividade fraca e classificação Rural ou Submersa, possuindo índice de deterioração insignificante será adotado Classe II de agressividade Moderada, por se tratar de uma obra de arte especial e pela estrutura ficar exposta a ações da natureza, conforme Figura 1.

**Tabela 6.1 – Classes de agressividade ambiental (CAA)**

| Classe de agressividade ambiental | Agressividade | Classificação geral do tipo de ambiente para efeito de projeto | Risco de deterioração da estrutura |
|-----------------------------------|---------------|----------------------------------------------------------------|------------------------------------|
| I                                 | Fraca         | Rural                                                          | Insignificante                     |
|                                   |               | Submersa                                                       |                                    |
| II                                | Moderada      | Urbana <sup>a, b</sup>                                         | Pequeno                            |
| III                               | Forte         | Marinha <sup>a</sup>                                           | Grande                             |
|                                   |               | Industrial <sup>a, b</sup>                                     |                                    |
| IV                                | Muito forte   | Industrial <sup>a, c</sup>                                     | Elevado                            |
|                                   |               | Respingos de maré                                              |                                    |

<sup>a</sup> Pode-se admitir um microclima com uma classe de agressividade mais branda (uma classe acima) para ambientes internos secos (salas, dormitórios, banheiros, cozinhas e áreas de serviço de apartamentos residenciais e conjuntos comerciais ou ambientes com concreto revestido com argamassa e pintura).

<sup>b</sup> Pode-se admitir uma classe de agressividade mais branda (uma classe acima) em obras em regiões de clima seco, com umidade média relativa do ar menor ou igual a 65 %, partes da estrutura protegidas de chuva em ambientes predominantemente secos ou regiões onde raramente chove.

<sup>c</sup> Ambientes quimicamente agressivos, tanques industriais, galvanoplastia, branqueamento em indústrias de celulose e papel, armazéns de fertilizantes, indústrias químicas.

Figura 1 - Tabela 6.1 da NBR 6118/2014 - Fonte: adaptado da NBR 6118/2014.

Assim definida a classe de agressividade ambiental a que estará sujeita a estrutura, na Figura 2, tabela 7.1 correspondentes a qualidade do concreto a ser utilizado, verifica-se qual a resistência mínima a compressão do concreto deve ser possuir, para a classe de agressividade II, o concreto armado deve ser maior ou igual a 25 MPa (Classe C25) para a estrutura que será de concreto armado e para a estrutura em concreto protendido a resistência mínima a compressão do concreto deve ser possuir é 30 MPa (Classe C30). A relação água/cimento em massa deve ser menor ou igual a 0,60 e 0,55 para o concreto C25 e C30 respectivamente.

**Tabela 7.1 – Correspondência entre a classe de agressividade e a qualidade do concreto**

| Concreto <sup>a</sup>                                                                                                                                                                                                                                                                                              | Tipo <sup>b, c</sup> | Classe de agressividade (Tabela 6.1) |        |        |        |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------|--------------------------------------|--------|--------|--------|
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |                      | I                                    | II     | III    | IV     |
| Relação água/cimento em massa                                                                                                                                                                                                                                                                                      | CA                   | ≤ 0,65                               | ≤ 0,60 | ≤ 0,55 | ≤ 0,45 |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | CP                   | ≤ 0,60                               | ≤ 0,55 | ≤ 0,50 | ≤ 0,45 |
| Classe de concreto (ABNT NBR 8953)                                                                                                                                                                                                                                                                                 | CA                   | ≥ C20                                | ≥ C25  | ≥ C30  | ≥ C40  |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | CP                   | ≥ C25                                | ≥ C30  | ≥ C35  | ≥ C40  |
| <sup>a</sup> O concreto empregado na execução das estruturas deve cumprir com os requisitos estabelecidos na ABNT NBR 12655.<br><sup>b</sup> CA corresponde a componentes e elementos estruturais de concreto armado.<br><sup>c</sup> CP corresponde a componentes e elementos estruturais de concreto protendido. |                      |                                      |        |        |        |

Figura 2 - Tabela de qualidade do concreto - adaptado da NBR 6118/2014.

Foram adotadas as seguintes classes de concreto:

- Para Laje:  $f_{ck} = 30 \text{ Mpa}$ ;
- Para Pilares:  $f_{ck} = 30 \text{ Mpa}$ ;
- Para as Transversinas:  $f_{ck} = 30 \text{ Mpa}$ ;
- Para as Cortinas:  $f_{ck} = 30 \text{ Mpa}$ ;
- Para as Longarinas:  $f_{ck} = 40 \text{ MPa}$ .

Com parâmetro a classe de agressividade ambiental já definido deve-se verificar os cobrimentos mínimos a serem adotados para cada tipo de elemento. Os valores mínimos especificados por norma devem atender o apresentado na Figura 3, tabela 7.2 classes de agressividade e o cobrimento nominal para proteção do concreto conforme sua utilização. A NBR 6118/2014 estabelece que para concretos de classe de resistência superior ao mínimo exigido, os cobrimentos definidos na Tabela 7.2 podem ser reduzidos em até 5 mm.

**Tabela 7.2 – Correspondência entre a classe de agressividade ambiental e o cobrimento nominal para  $\Delta c = 10$  mm**

| Tipo de estrutura                | Componente ou elemento                                   | Classe de agressividade ambiental (Tabela 6.1) |    |     |                 |
|----------------------------------|----------------------------------------------------------|------------------------------------------------|----|-----|-----------------|
|                                  |                                                          | I                                              | II | III | IV <sup>c</sup> |
|                                  |                                                          | Cobrimento nominal<br>mm                       |    |     |                 |
| Concreto armado                  | Laje <sup>b</sup>                                        | 20                                             | 25 | 35  | 45              |
|                                  | Viga/pilar                                               | 25                                             | 30 | 40  | 50              |
|                                  | Elementos estruturais em contato com o solo <sup>d</sup> | 30                                             |    | 40  | 50              |
| Concreto protendido <sup>a</sup> | Laje                                                     | 25                                             | 30 | 40  | 50              |
|                                  | Viga/pilar                                               | 30                                             | 35 | 45  | 55              |

<sup>a</sup> Cobrimento nominal da bainha ou dos fios, cabos e cordoalhas. O cobrimento da armadura passiva deve respeitar os cobrimentos para concreto armado.

<sup>b</sup> Para a face superior de lajes e vigas que serão revestidas com argamassa de contrapiso, com revestimentos finais secos tipo carpete e madeira, com argamassa de revestimento e acabamento, como pisos de elevado desempenho, pisos cerâmicos, pisos asfálticos e outros, as exigências desta Tabela podem ser substituídas pelas de 7.4.7.5, respeitado um cobrimento nominal  $\geq 15$  mm.

<sup>c</sup> Nas superfícies expostas a ambientes agressivos, como reservatórios, estações de tratamento de água e esgoto, condutos de esgoto, canaletas de efluentes e outras obras em ambientes química e intensamente agressivos, devem ser atendidos os cobrimentos da classe de agressividade IV.

<sup>d</sup> No trecho dos pilares em contato com o solo junto aos elementos de fundação, a armadura deve ter cobrimento nominal  $\geq 45$  mm.

Figura 3 - Cobrimento nominal dos elementos - adaptado da NBR 6118/2014

Conforme apresentado na tabela os cobrimentos mínimos para a classe de agressividade III devem ser:

- Elementos de laje deve ser de 3,0 cm;
- Elementos de Viga/pilar devem ser de 3,5 cm;
- E para os elementos em contato com o solo ou diretamente com a água, como a sapata corrida e blocos de fundação, será adotado o cobrimento de 5,0 cm.

Conforme o item 8.2.5 Resistência a tração, da NBR 6118/2014. Caso não possuía ensaios específicos de ensaio de tração pode-se considerar um valor apenas com o valor de  $f_{ck}$  estabelecido para os projetos relacionada à resistência característica a compressão do concreto através da seguinte expressão:

Para o concreto de 30 MPa:

$$f_{ct,m} = 0,3 \times \sqrt[3]{f_{ck}^2} = 0,3 \times \sqrt[3]{30^2} = 2,896 \text{ MPa}$$

Para o concreto de 40 MPa:

$$f_{ct,m} = 0,3 \times \sqrt[3]{f_{ck}^2} = 0,3 \times \sqrt[3]{40^2} = 3,509 \text{ MPa}$$

E como se trata de um valor médio, possui seu coeficiente de variação, possuindo limites superior e inferior dados pelas expressões:

Para o concreto de 30 MPa:

$$f_{ct,sup} = 1,3 f_{ct,m} = 1,3 \times 2,896 = 3,765 \text{ MPa}$$

$$f_{ct,inf} = 0,7 f_{ct,m} = 0,7 \times 2,896 = 2,027 \text{ MPa}$$

Para o concreto de 40 MPa:

$$f_{ct,sup} = 1,3 f_{ct,m} = 1,3 \times 3,509 = 4,561 \text{ MPa}$$

$$f_{ct,inf} = 0,7 f_{ct,m} = 0,7 \times 3,509 = 2,456 \text{ MPa}$$

Segundo o item 8.2.8 da NBR 6118/2014 para a determinação do módulo de elasticidade tangente inicial através de uma expressão que o relaciona ao valor da resistência característica a compressão do concreto, quando não forem realizados ensaios para a determinação para concreto de 20 MPa a 50 MPa.

Sendo para  $\alpha_E$  se refere ao tipo da rocha que será utilizado para a confecção da brita do concreto.

- 1,2 para basalto e diabásio;
- 1,0 para granitos e gnaisse;
- 0,9 para calcário;
- 0,7 para arenito.

Será adotado para  $\alpha_E$  o valor de 0,9 para calcário.

Para o concreto de 30 MPa:

$$E_{ci} = \alpha_E \times 5,6 \times \sqrt{f_{ck}} = 0,9 \times 5,6 \times \sqrt{30} = 27,605 \text{ GPa}$$

Para o concreto de 40 MPa:

$$E_{ci} = \alpha_E \times 5,6 \times \sqrt{f_{ck}} = 0,9 \times 5,6 \times \sqrt{40} = 31,876 \text{ GPa}$$

Para a determinação do módulo de elasticidade secante do concreto deve-se seguir as equações:

$$E_{cs} = \alpha_i \times E_{ci}$$

Sendo:

$$\alpha_i = 0,8 + 0,2 \times \frac{f_{ck}}{80} \leq 1,0$$

Assim para o concreto de 30 MPa:

$$\alpha_i = 0,8 + 0,2 \times \frac{30}{80} = 0,875 \leq 1,0$$

$$E_{cs} = 0,875 \times 27,605 = 24,155 \text{ GPa}$$

Para o concreto de 40 MPa:

$$\alpha_i = 0,8 + 0,2 \times \frac{40}{80} = 0,9 \leq 1,0$$

$$E_{cs} = 0,9 \times 31,876 = 28,688 \text{ GPa}$$

O módulo de elasticidade transversal (G) para coeficiente de Poisson ( $\nu$ ) igual a 0,2 estabelecido no item 8.2.9 da NBR 6118/2014 é dado pela seguinte equação:

$$G = \frac{E_{cs}}{2,4}$$

Assim para o concreto de 30 MPa:

$$G = \frac{24,155}{2,4} = 10,064 \text{ GPa}$$

Para o concreto de 40 MPa:

$$G = \frac{28,688}{2,4} = 11,953 \text{ GPa}$$

#### 2.4.2. Características dos aços CA-50 e CA-60.

Nos projetos de estruturas em concreto armado devem ser utilizados os fios ou barras de aço classificados pela NBR 7480/1996 de acordo com o valor característico de resistência ao escoamento nas categorias: CA-25 e CA-50 para barras de aço e CA-60 para fios de aço. Os diâmetros e seções transversais adotados devem ser os estabelecidos nominais de acordo com a norma citada. Foram empregados neste projeto os aços pertencentes as categorias:

Aço CA-50, que possui resistência característica ao escoamento da ordem de 500 MPa em barras providas de saliências ou mossas.

Aço CA-60, que possui resistência característica ao escoamento da ordem de 600 MPa em barras providas de saliências ou mossas.

A massa específica do aço é de 7,850 kg/m<sup>3</sup>, segundo a NBR 6118/2014. A mesma norma fornece o valor de 210 GPa para módulo de elasticidade do aço, e 10<sup>-5</sup>/°C para o coeficiente de dilatação térmica para intervalos de temperatura entre -20°C e 150°C.

### 2.4.3. Características dos aço CP-190

O sistema de protensão aderente no qual a injeção de nata de cimento nas bainhas garante a aderência mecânica da armadura de protensão ao concreto em todo o comprimento do cabo, além de assegurar a protensão das cordoalhas contra a corrosão.

O cabo de protensão é composto basicamente por uma ou mais cordoalhas de aço, ancoragens, bainha metálica e purgadores. As cordoalhas ficam inicialmente soltas dentro da bainha, o que permite a sua movimentação na ocasião da protensão. Após a concretagem da estrutura e a cura do concreto, os cabos são protendidos e é injetada nata de cimento no interior das bainhas.

As cordoalhas mais utilizadas neste sistema de protensão são compostas de sete fios e têm diâmetro de 12,7mm ou 15,5mm. São produzidas sempre na condição de relaxação baixa e fabricadas com seis fios de mesmo diâmetro nominal encordoados em torno de um fio central de diâmetro ligeiramente maior do que os demais. A Figura 4 informa características das cordoalhas para protensão aderente, podendo ser utilizado na execução do projeto cordoalhas de qualquer fabricante deste que respeite os parâmetros apresentado na Figura 4.

| CARACTERÍSTICAS DAS CORDOALHAS DE AÇO CP190 PARA PROTENSÃO ADERENTE                                                                                           |                                |                                 |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------|---------------------------------|
| ESPECIFICAÇÃO                                                                                                                                                 | Ø12,7 mm ou Ø1/2"              | Ø15,2 mm ou Ø5/8"               |
| Diâmetro nominal da cordoalha*                                                                                                                                | 12,7 mm                        | 15,2 mm                         |
| Área nominal da seção de aço da cordoalha*<br>(valor recomendado para cálculo estrutural)                                                                     | 100,9 mm <sup>2</sup>          | 143,4 mm <sup>2</sup>           |
| Massa nominal*                                                                                                                                                | 0,792 kg/m                     | 1,126 kg/m                      |
| Carga de ruptura mínima*                                                                                                                                      | 18730 kgf = 187,30 kN          | 26580 kgf = 265,80 kN           |
| Carga a 1% de deformação mínima*                                                                                                                              | 16860 kgf = 168,60 kN          | 23920 kgf = 239,20 kN           |
| Relaxação máxima após 1000h*                                                                                                                                  | 3,5%                           | 3,5%                            |
| Módulo de elasticidade**                                                                                                                                      | 202 kN/mm <sup>2</sup> , +/-3% | 202 kN/mm <sup>2</sup> , +/- 3% |
| * Conforme NBR 7483:2004      ** Conforme a NBR 7483:2004, este valor é fornecido pelo fabricante. Adotamos valor sugerido em Catálogo Belgo / Setembro 2003. |                                |                                 |

Figura 4 - Características das cordoalhas para protensão aderente - Fonte: Catálogo Rudloff

## 3. DEFINIÇÃO DO MODELO ESTRUTURAL – SUPERESTRUTURA

A ponte apresenta extensão total de 84,30 m, dividido em 3 vãos com longarinas de 27,50 m de comprimento, as longarinas externas apoiadas sobre as cortinas e as demais apoiadas sobre pórticos formados por pilares circulares e transversinas, conforme o esquema geral exposto na Figura 5. Além disso, conta com lajes de transição

de 4,0 m para o acesso. A seção transversal tem largura igual a 14,10 m é composta por seis longarinas pré- moldadas protendidas espaçadas igualmente entre si. Os aparelhos de apoio são de neoprene fretado. O tabuleiro tem inclinação de 2%, e capeamento asfáltico com espessura constante de 7 cm.

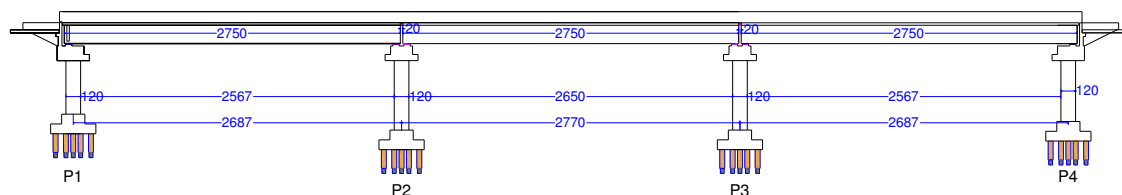


Figura 5 - Esquema geral da ponte

A superestrutura das pontes em viga é formada pelos seguintes elementos estruturais que serão dimensionados no decorrer deste projeto:

- Laje do tabuleiro, cuja função é servir de apoio direto para as cargas atuantes;
- Vigamento principal (longarinas) tem por função vencer o vão livre entre apoios;
- Vigamento secundário (transversinas), cuja função é ligar as vigas principais.

As transversinas de apoio são separadas da laje. Esta solução é adotada para uniformizar a armadura de flexão (longitudinal e transversal) da laje do tabuleiro, a qual passa a comportar-se como apoiada apenas em dois lados, ou seja, apenas sobre as longarinas. Sua função é promover o travamento das longarinas e impedir a rotação das mesmas em torno de seu eixo longitudinal.

A transição da ponte para o terrapleno se faz por meio de cortinas as quais serão apoiadas nas longarinas e após isso concretadas com uma viga para a ligação das mesmas.

O modelo da ponte com suas dimensões está na prancha da planta baixa.

#### 4. GEOMETRIA DA OAE

A NBR 7187/2003 conforme o item 9.1.1 Lajes Maciças determina que a espessura  $h$  para lajes maciças destinadas a passagem de tráfego rodoviário seja de no mínimo 15 cm. E o item 9.1.4.1 também determina que as vigas de seção retangular e as nervuras das vigas de seção T, duplo T ou celular concretadas no local não devem ter

largura de alma  $b_w$  menor do que 20 cm, para o projeto será adotada espessura de laje  $h = 21$  cm.

Para o pré-dimensionamento foi adotado recomendações sugeridas pelo Prof. Eduardo C. S. Thomaz do IME, conforme Figura 6.

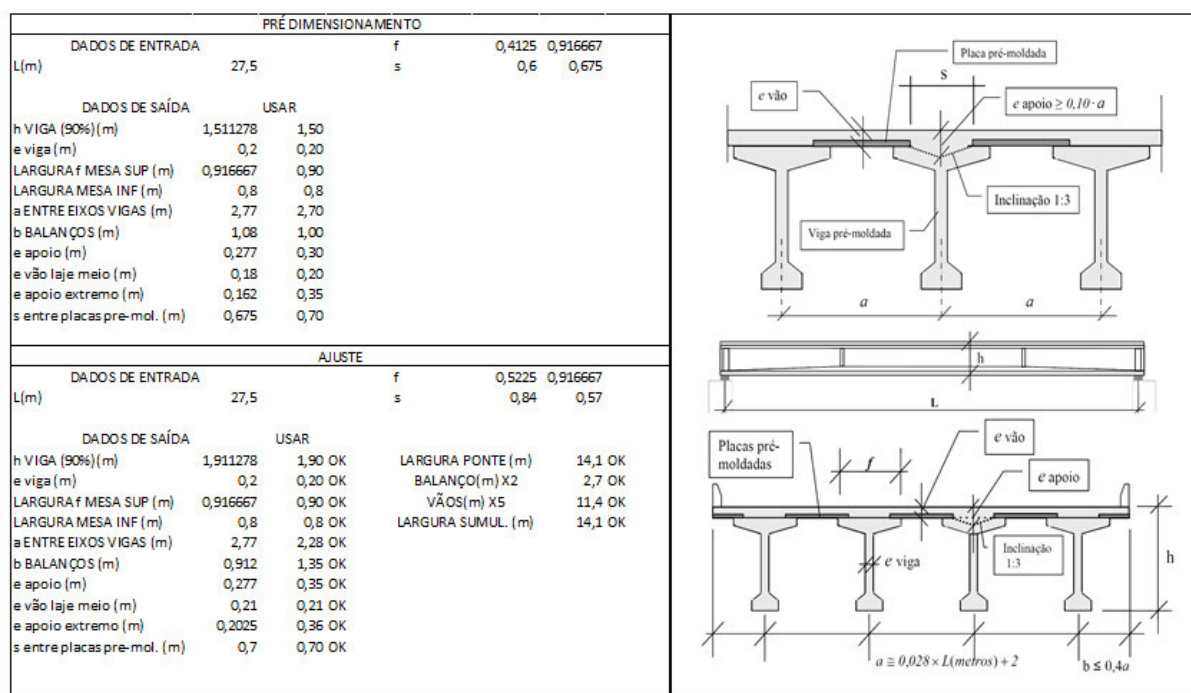


Figura 6 - Pré-dimensionamento

Através do pré-dimensionamento chegou-se à seção transversal apresentada na Figura 7, superestrutura composta por vigas longarinas pré-moldadas (L1 a L6) equiespaçadas em 2,28 m.

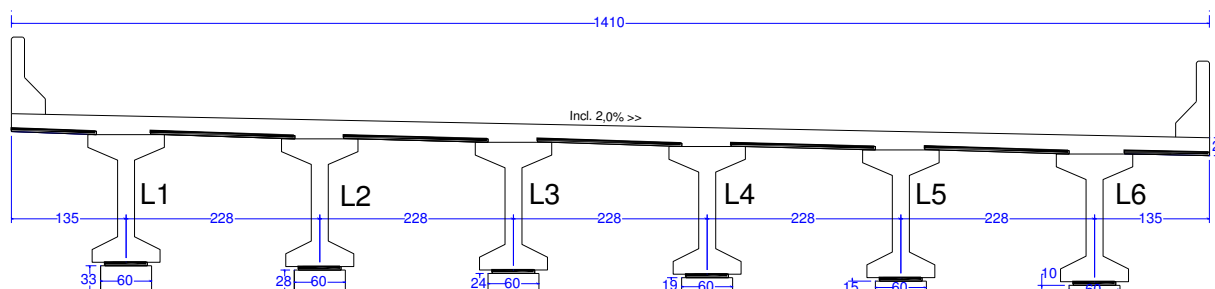


Figura 7 - Seção Transversal

Longarinas com extensão total de 27,50 m sendo 26,90 m de vão e 0,30 m de balanços em cada extremidade. Total de 18 longarinas.

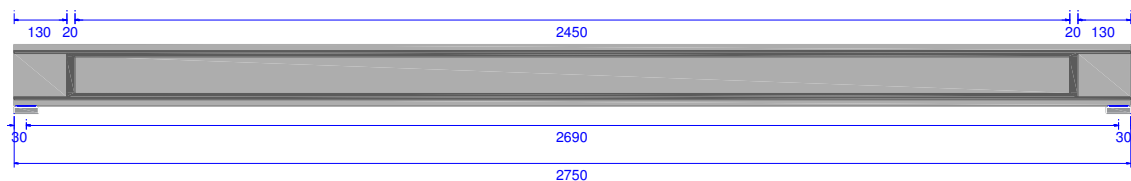
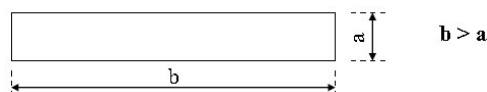


Figura 8 - Perfil longitudinal das longarinas

Características geométricas das longarinas considerando-as integradas com as lajes do tabuleiro, não considerou as barreiras pingadeiras, os dentes de encaixe das barreiras e a inclinação transversal do pavimento. As propriedades geométricas como área, altura do centro de gravidade e momento de inércia foram obtidos pelo Autocad, a determinação dos momentos de inércia de torção, vem da teoria de analogia de membrana. De acordo com essa teoria, a inércia torcional de um retângulo de comprimento  $b$  e largura  $a$  ( $b > a$ ) é dada por:

$$I_t = k \left( \frac{b}{a} \right) \cdot b \cdot a^3$$



$$\text{Onde: } k \left( \frac{b}{a} \right) = \frac{1}{3} - \frac{65}{\pi^5} \frac{a}{b} \tanh \left( \frac{\pi b}{2 a} \right)$$

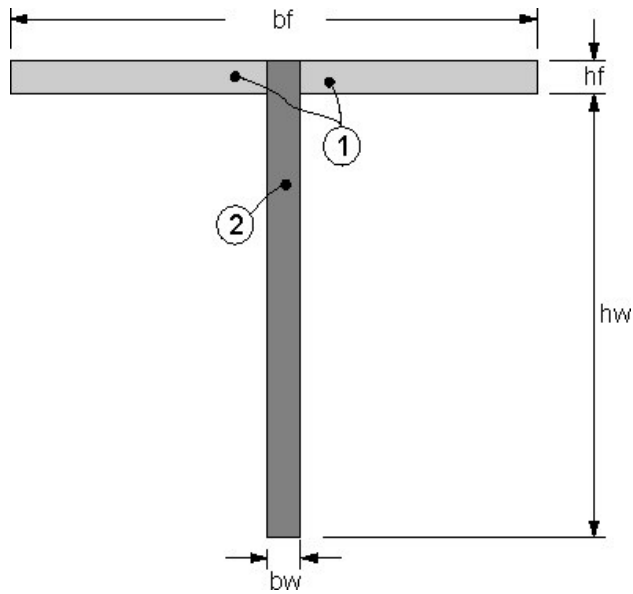
Para uma seção composta, a seção é decomposta em retângulos elementares e a inércia é obtida somando-as. Mas, no nosso caso, correções devem ser feitas na fórmula de  $I_t$  [7]:

- Para o núcleo das vigas, coeficiente  $k$  é calculado com uma altura dupla em relação à altura real.
- Para a mesa colaborante da laje e mesa superior da viga, o valor será apenas metade do valor fornecido pela fórmula.

Para uma seção T entre a laje colaborante e a transversina. A seção é dividida em 2 elementos. O momento de inércia de torção por retângulo é:

$$I_{T1} = \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{3} \cdot (b_f - b_w) \cdot h_f^3$$

$$I_{T2} = k \left( \frac{2 \cdot (h_f + h_w)}{b_w} \right) \cdot (h_f + h_w) \cdot b_w^3$$



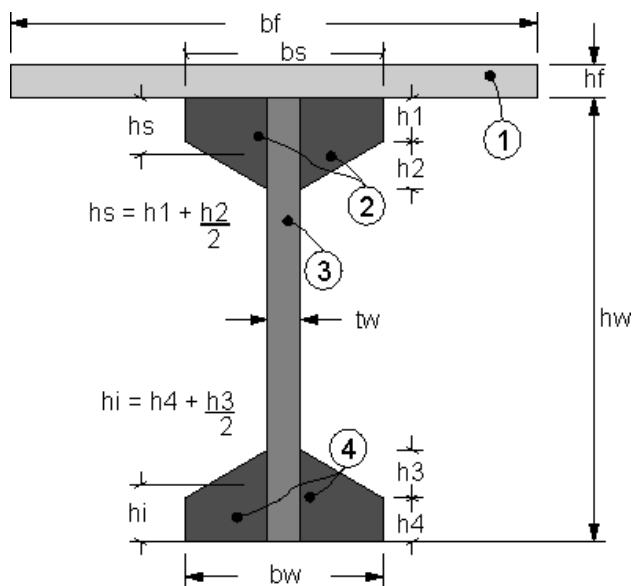
Para seções com as longarinas. A seção é dividida em 4 elementos. O momento de inércia de torção por retângulo é:

$$I_{T1} = \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{3} \cdot (b_f) \cdot h_f^3$$

$$I_{T2} = \frac{1}{2} k \left( \frac{b_s - t_w}{h_s} \right) \cdot (b_s - t_w) \cdot h_s^3$$

$$I_{T3} = k \left( \frac{2 \cdot h_w}{t_w} \right) \cdot h_w \cdot t_w^3$$

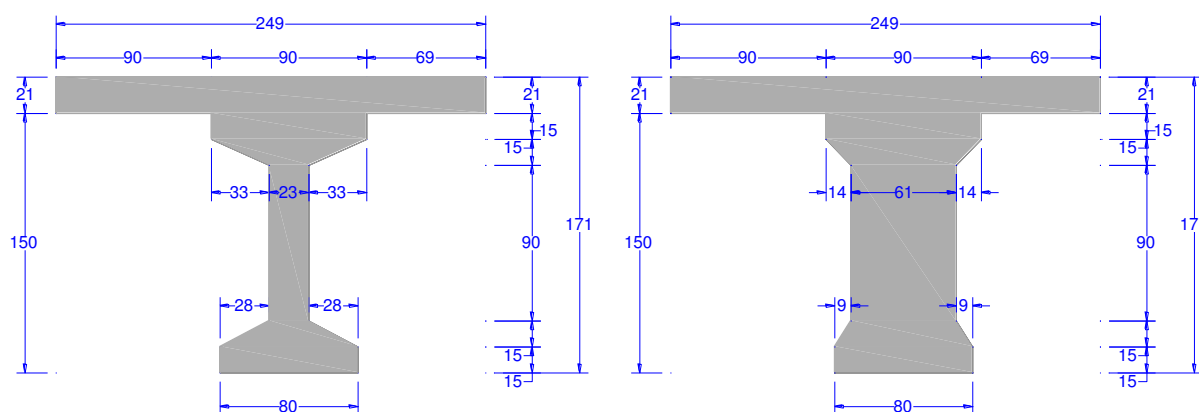
$$I_{T4} = k \left( \frac{b_w - t_w}{h_i} \right) \cdot (b_w - t_w) \cdot h_i^3$$



- Propriedades geométricas das Longarinas L1 e L6 com as lajes colaborantes:

Devido a diferença de resistência do concreto utilizado nas longarinas (C40) e nas lajes (C30), será feita a homogeneização da largura da laje colaborante para concreto C40, para isso:

$$n_{c30/c40} = \frac{E_{ci,C30}}{E_{ci,C40}} = \frac{27,605}{31,876} = 0,866$$



L1 / L6

Figura 9 - Seções transversais das longarinas ao meio do vão (esquerda) e nas proximidades dos apoios (direita) com laje colaborante sem homogeneização.

Seção meio do vão:

$$I_{Lt} = 0,0118 \text{ m}^4$$

Seção próximo dos apoios:

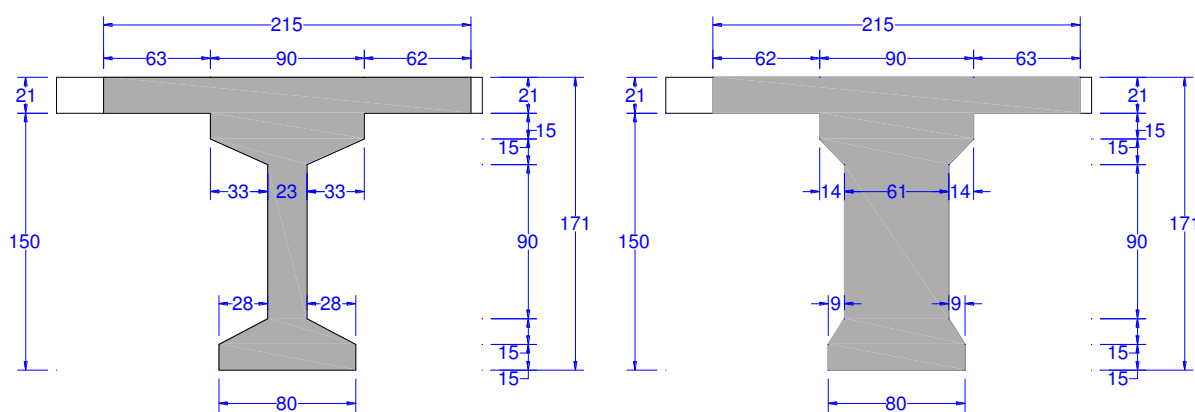
$$I_{Lt} = 0,0884 \text{ m}^4$$

$$I_{Lt, \text{méd}} = \frac{0,0118 \times 24,7 + 0,0884 \times 2,8}{24,7 + 2,8} = 0,0196 \text{ m}^4$$

|                    |                       |       |       |  |       |                         |  |
|--------------------|-----------------------|-------|-------|--|-------|-------------------------|--|
| Seção meio do vão: |                       |       |       |  |       |                         |  |
| Área 1             |                       |       |       |  |       |                         |  |
| bf =               | 2,49 m                |       |       |  | IT1 = | 0,003328 m <sup>4</sup> |  |
| hf =               | 0,21 m                |       |       |  |       |                         |  |
| n =                | 0,866                 |       |       |  |       |                         |  |
| Área 2             |                       |       |       |  |       |                         |  |
| bs =               | 0,9 m                 | b/a = | 3,0   |  | IT2 = | 0,001004 m <sup>4</sup> |  |
| hs =               | 0,225 m               | K2 =  | 0,263 |  |       |                         |  |
| Área 3             |                       |       |       |  |       |                         |  |
| tw =               | 0,23 m                | b/a = | 13,0  |  | IT3 = | 0,005791 m <sup>4</sup> |  |
| hw =               | 1,50 m                | K3 =  | 0,317 |  |       |                         |  |
| Área 4             |                       |       |       |  |       |                         |  |
| bw =               | 0,8 m                 | b/a = | 2,5   |  | IT4 = | 0,001629 m <sup>4</sup> |  |
| hi =               | 0,225 m               | K4 =  | 0,251 |  |       |                         |  |
| It =               | 0,0118 m <sup>4</sup> |       |       |  |       |                         |  |

|                           |                       |       |       |  |       |                         |  |
|---------------------------|-----------------------|-------|-------|--|-------|-------------------------|--|
| Seção próximo aos apoios: |                       |       |       |  |       |                         |  |
| Área 1                    |                       |       |       |  |       |                         |  |
| bw =                      | 2,49 m                |       |       |  | IT1 = | 0,003328 m <sup>4</sup> |  |
| hlaje =                   | 0,21 m                |       |       |  |       |                         |  |
| n =                       | 0,866                 |       |       |  |       |                         |  |
| Área 2                    |                       |       |       |  |       |                         |  |
| bwsup =                   | 0,9 m                 | b/a = | 4,9   |  | IT2 = | 0,000256 m <sup>4</sup> |  |
| h eq =                    | 0,183 m               | K2 =  | 0,291 |  |       |                         |  |
| Área 3                    |                       |       |       |  |       |                         |  |
| esp al =                  | 0,61 m                | b/a = | 2,5   |  | IT3 = | 0,084559 m <sup>4</sup> |  |
| h' =                      | 1,50 m                | K3 =  | 0,248 |  |       |                         |  |
| Área 4                    |                       |       |       |  |       |                         |  |
| bw inf =                  | 0,8 m                 | b/a = | 4,6   |  | IT4 = | 0,000293 m <sup>4</sup> |  |
| h eq =                    | 0,175 m               | K4 =  | 0,288 |  |       |                         |  |
| It =                      | 0,0884 m <sup>4</sup> |       |       |  |       |                         |  |

$$bf = 249 \times 0,866 = 215 \text{ cm}$$



L1 / L6

Seção meio do vão:

$$A = 1,0750 \text{ m}^2$$

$$Z_{cg} = 1,1221 \text{ m}$$

$$I_L = 0,3607 \text{ m}^4$$

$$I_{L_{méd}} = \frac{0,3607 \times 24,7 + 0,4385 \times 2,8}{24,7 + 2,8} = 0,3686 \text{ m}^4$$

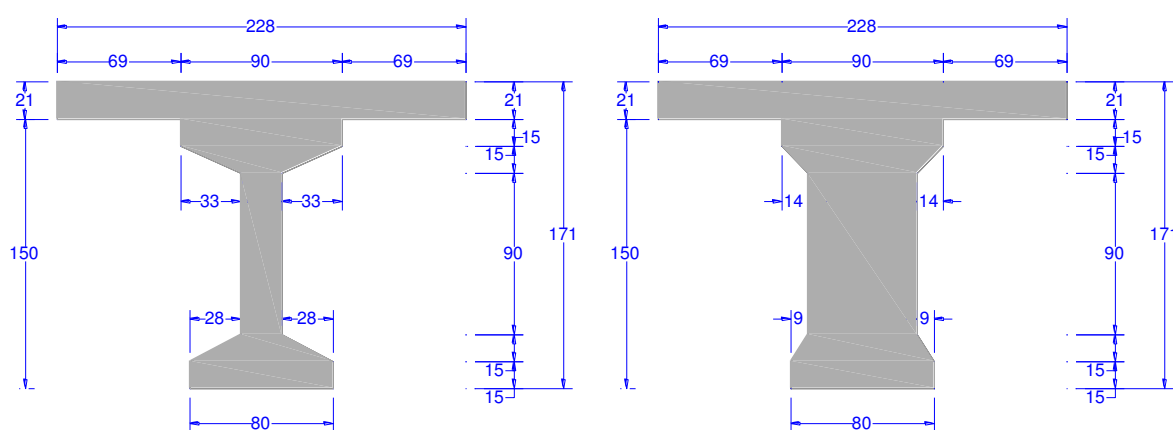
Seção próximo dos apoios:

$$A = 1,4745 \text{ m}^2$$

$$Z_{cg} = 1,0215 \text{ m}$$

$$I_L = 0,4385 \text{ m}^4$$

- Propriedades geométricas das Longarinas L2, L3, L4 e L5 com as lajes colaborantes:



L2 / L3 / L4 / L5

Figura 10 - Seções transversais das longarinas ao meio do vão (esquerda) e nas proximidades dos apoios (direita) com laje colaborante, sem homogeneização.

Seção meio do vão:

Seção próximo dos apoios:

$$IL_t = 0,0160 \text{ m}^4$$

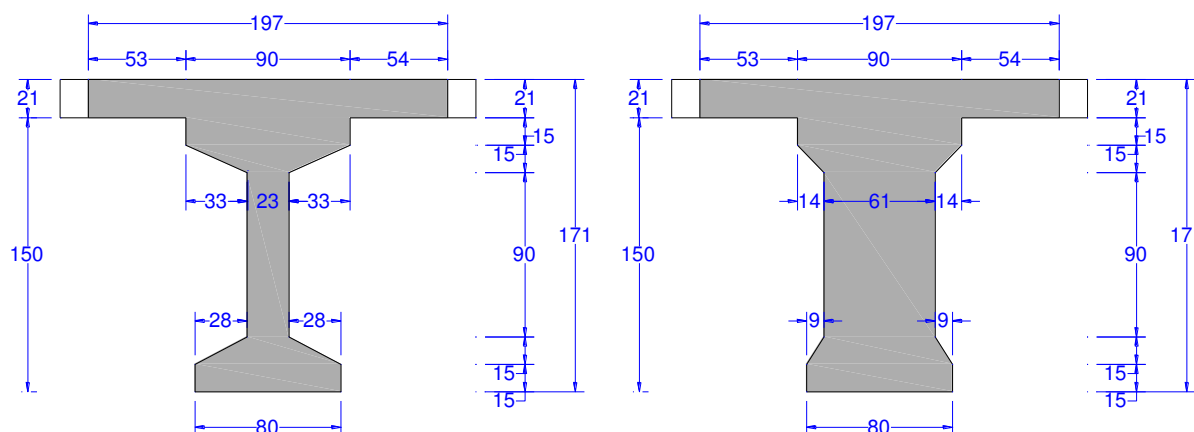
$$IL_t = 0,0496 \text{ m}^4$$

$$IL_{t,méd} = \frac{0,0115 \times 24,7 + 0,0882 \times 2,8}{24,7 + 2,8} = 0,0193 \text{ m}^4$$

|                    |                       |       |       |  |       |                         |  |
|--------------------|-----------------------|-------|-------|--|-------|-------------------------|--|
| Seção meio do vão: |                       |       |       |  |       |                         |  |
| Área 1             |                       |       |       |  |       |                         |  |
| bf =               | 2,28 m                |       |       |  | IT1 = | 0,003048 m <sup>4</sup> |  |
| hf =               | 0,21 m                |       |       |  |       |                         |  |
| n =                | 0,866                 |       |       |  |       |                         |  |
| Área 2             |                       |       |       |  |       |                         |  |
| bs =               | 0,9 m                 | b/a = | 3,0   |  | IT2 = | 0,001004 m <sup>4</sup> |  |
| hs =               | 0,225 m               | K2 =  | 0,263 |  |       |                         |  |
| Área 3             |                       |       |       |  |       |                         |  |
| tw =               | 0,23 m                | b/a = | 13,0  |  | IT3 = | 0,005791 m <sup>4</sup> |  |
| hw =               | 1,50 m                | K3 =  | 0,317 |  |       |                         |  |
| Área 4             |                       |       |       |  |       |                         |  |
| bw =               | 0,8 m                 | b/a = | 2,5   |  | IT4 = | 0,001629 m <sup>4</sup> |  |
| hi =               | 0,225 m               | K4 =  | 0,251 |  |       |                         |  |
| It =               | 0,0115 m <sup>4</sup> |       |       |  |       |                         |  |

|                           |                       |       |       |  |       |                         |  |
|---------------------------|-----------------------|-------|-------|--|-------|-------------------------|--|
| Seção próximo aos apoios: |                       |       |       |  |       |                         |  |
| Área 1                    |                       |       |       |  |       |                         |  |
| bw =                      | 2,28 m                |       |       |  | IT1 = | 0,003048 m <sup>4</sup> |  |
| hlaje =                   | 0,21 m                |       |       |  |       |                         |  |
| n =                       | 0,866                 |       |       |  |       |                         |  |
| Área 2                    |                       |       |       |  |       |                         |  |
| bwsup =                   | 0,9 m                 | b/a = | 4,9   |  | IT2 = | 0,000256 m <sup>4</sup> |  |
| h eq =                    | 0,183 m               | K2 =  | 0,291 |  |       |                         |  |
| Área 3                    |                       |       |       |  |       |                         |  |
| esp al =                  | 0,61 m                | b/a = | 2,5   |  | IT3 = | 0,084559 m <sup>4</sup> |  |
| h' =                      | 1,50 m                | K3 =  | 0,248 |  |       |                         |  |
| Área 4                    |                       |       |       |  |       |                         |  |
| bw inf =                  | 0,8 m                 | b/a = | 4,6   |  | IT4 = | 0,000293 m <sup>4</sup> |  |
| h eq =                    | 0,175 m               | K4 =  | 0,288 |  |       |                         |  |
| It =                      | 0,0882 m <sup>4</sup> |       |       |  |       |                         |  |

$$bf = 2,28 \times 0,866 = 197 \text{ cm}$$



### L2 / L3 / L4 / L5

Seção meio do vão:

$$A = 1,0377 \text{ m}^2$$

$$Z_{cg} = 1,1046 \text{ m}$$

$$I_L = 0,3515 \text{ m}^4$$

$$I_{L_{méd}} = \frac{0,3515 \times 24,7 + 0,4251 \times 2,8}{24,7 + 2,8} = 0,3590 \text{ m}^4$$

Seção próximo dos apoios:

$$A = 1,4367 \text{ m}^2$$

$$Z_{cg} = 1,0061 \text{ m}$$

$$I_L = 0,4251 \text{ m}^4$$

- Propriedades geométricas das transversinas:

Mesa colaborante na transversina, segundo seção 14.6.2.2 da NBR 6118/2014:

Longitudinalmente em relação a transversina:  $a = 0,6 \cdot 2,28 = 1,368 \text{ m}$

$$b_1 \leq 0,1 \cdot 1,368 \leq 0,137 \text{ m}$$

$$b_3 \leq 0,1 \cdot 1,368 \leq 0,137 \text{ m}$$

transversalmente em relação a transversina:

$$b_2 = 26,60 \text{ m}$$

$$b_4 = 0,25 \text{ m}$$

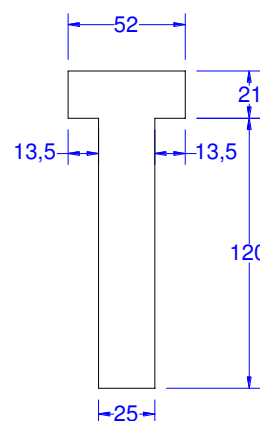
$$b_1 \leq 0,5 \cdot 26,60 \leq 13,30 \text{ m}$$

$$b_3 \leq 0,25 \text{ m}$$

Portanto será adotado  $b_1 = b_3 = 0,135 \text{ m}$  assim sendo  $b_f = 0,135 + 0,25 + 0,135$

$$b_f = 0,52 \text{ m e } h_f = 0,21 \text{ m}$$

$$b_w = 0,25 \text{ m e } h_w = 1,20 \text{ m}$$



$$IT = 0,0762 \text{ m}^4$$

$$ITt = 0,0074 \text{ m}^4$$

|        |        |  |       |       |  |       |          |                |
|--------|--------|--|-------|-------|--|-------|----------|----------------|
| Área 1 |        |  |       |       |  |       |          |                |
| bf =   | 0,52   |  |       |       |  | IT1 = | 0,000417 | m <sup>4</sup> |
| hf =   | 0,21   |  |       |       |  |       |          |                |
|        |        |  |       |       |  |       |          |                |
| Área 2 |        |  |       |       |  |       |          |                |
| bw =   | 0,25 m |  | b/a = | 11,3  |  | IT2 = | 0,006935 | m <sup>4</sup> |
| hw =   | 1,2 m  |  | K =   | 0,315 |  |       |          |                |

$$E = 0,85 \cdot 5600 \cdot \sqrt{30} \cdot 0,9 = 30,672 \text{ GPa} \rightarrow \text{agregado calcário}$$

$$G = 30,672 / 2,4 = 12,78 \text{ GPa}$$

## 5. DETERMINAÇÃO DAS LINHAS DE REPARTIÇÃO TRANSVERSAL DE CARGAS ATRAVÉS DO MÉTODO GYON-MASSONET

O Método de Guyon-Massonet consiste na assimilação da estrutura do tabuleiro de ponte como um todo, composto por laje, vigas principais e transversinas, a uma placa ortotrópica equivalente, atribuindo-lhe diferentes rigidezes nos sentidos longitudinal e transversal, para a determinação dos esforços e deslocamentos. A resolução da placa ortotrópica é feita por meio da interpolação entre os casos extremos: grelha ortotrópica sem resistência à torção e laje maciça isotrópica.

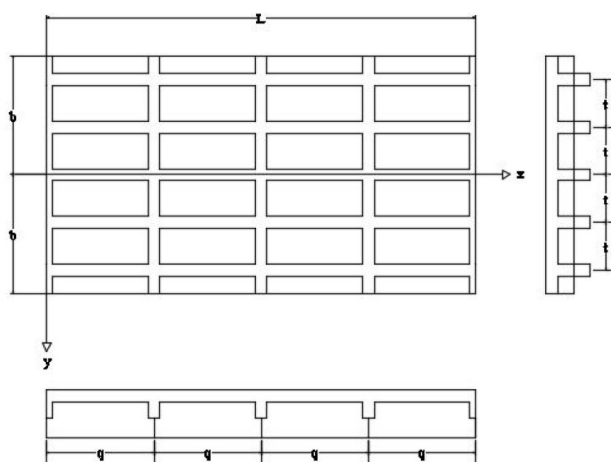


Figura 11 - Tabuleiro de pontes em grelha

Rigidez à flexão por unidade de largura:

$$\rho_L = \frac{EI_L}{t}$$

E = módulo de elasticidade;

$I_L$  = momento de inércia de uma longarina;

t = distância entre eixos das longarinas.

Rigidez à flexão por unidade de comprimento:

$$\rho_T = \frac{EI_T}{q}$$

$I_T$  = momento de inércia de uma transversina;

q = distância entre eixos das transversinas.

Rigidez à torção por unidade de largura:

$$\gamma_L = \frac{GI_{Lt}}{t}$$

$I_{Lt}$  = momento de inércia de torção de uma longarina;

G = módulo de elasticidade transversal.

Rigidez à torção por unidade de comprimento:

$$\gamma_T = \frac{GI_{Tt}}{q}$$

$I_{Tt}$  = momento de inércia de torção de uma transversina.

Parâmetro de torção ( $\alpha$ ):

$$\alpha = \frac{\gamma_L + \gamma_T}{2\sqrt{\rho_L\rho_T}}$$

com  $0 \leq \alpha \leq 1$  onde:

$\alpha = 0 \rightarrow$  grelha sem torção ( $K_0$ );

$\alpha = 1 \rightarrow$  placa ortotrópica ( $K_1$ ).

Parâmetro de travamento ( $\theta$ ):

$$\theta = \frac{b}{L} \sqrt[4]{\frac{\rho_L}{\rho_T}}$$

Quanto maior for o valor de  $\theta$ , mais fraco é o travamento.

Além dos parâmetros adimensionais acima descritos, a determinação dos índices de repartição transversal depende da posição da carga, que é definida pela sua excentricidade, e da posição da viga em que se quer obter o índice.

Os valores de  $K_0$  e  $K_1$  obtidos pelas tabelas são utilizados como se fossem as parcelas de carga nas vigas, uma vez que os dois valores são diretamente proporcionais.

Para obter os valores dos coeficientes de distribuição transversal referentes ao  $\alpha$  calculado, realiza-se a interpolação por meio das seguintes expressões:

$$K_\alpha = K_0 + (K_1 - K_0) \cdot \alpha^{0,05} \quad \text{quando:} \quad 0 \leq \theta < 0,1;$$

$$K_\alpha = K_0 + (K_1 - K_0) \cdot \alpha^{(1-e^{\theta_0})} \quad \text{quando:} \quad 0,1 \leq \theta \leq 1,0$$

$$\text{sendo: } \theta_0 = (0,065 - \theta) / 0,663 ;$$

$$K_\alpha = K_0 + (K_1 - K_0) \cdot \sqrt{\alpha} \quad \text{quando: } \theta > 1,0.$$

Os coeficientes tabelados dizem respeito a grandezas definidas para placas. Devemos, portanto, dividir os coeficientes  $K_\alpha$  pela largura do tabuleiro ( $2b$ ) e multiplicá-los pela largura de influência abrangida por cada viga longitudinal, então determinando as linhas de repartição transversal de cargas, assim sendo:

$$q_{i,e} = K_{\alpha(i,e)} \frac{L_{inf}}{2b}$$

Coeficientes de repartição para as longarinas L1 e L6:

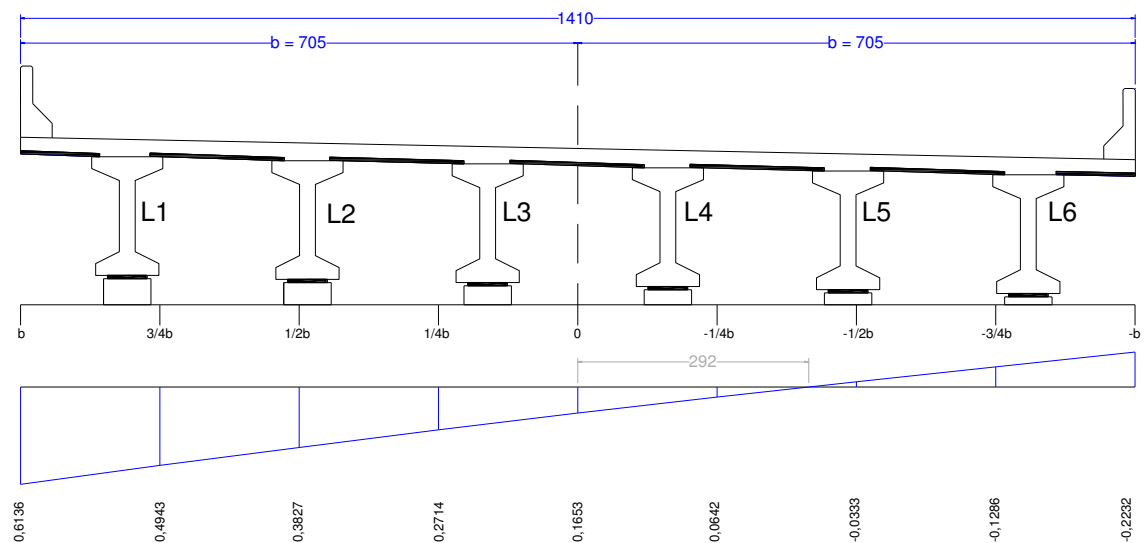


Figura 12 - Linha de repartição transversal para longarina L1, sendo análogo para a L6

|                                                |                                        |  |                          |        |                                              |  |
|------------------------------------------------|----------------------------------------|--|--------------------------|--------|----------------------------------------------|--|
| Longarinas Seção T:                            |                                        |  | Grelha                   |        |                                              |  |
| IL =                                           | 0,3686 m <sup>4</sup>                  |  | Transversal              |        |                                              |  |
| ILt =                                          | 0,0196 m <sup>4</sup>                  |  | t =                      | 2,28 m |                                              |  |
|                                                |                                        |  | L =                      | 14,1 m |                                              |  |
| Transversinas Seção T:                         |                                        |  | b =                      | 7,05 m |                                              |  |
| IT =                                           | 0,0762 m <sup>4</sup>                  |  |                          |        |                                              |  |
| ITt =                                          | 0,0074 m <sup>4</sup>                  |  | Longitudinal             |        |                                              |  |
|                                                |                                        |  | q =                      | 26,9 m |                                              |  |
|                                                |                                        |  | L =                      | 27,5 m |                                              |  |
| ρL =                                           | 4638,19 kNm                            |  |                          |        |                                              |  |
| ρT =                                           | 78,19 kNm                              |  |                          |        |                                              |  |
| γL =                                           | 102,55 kNm                             |  | α =                      | 0,088  |                                              |  |
| γT =                                           | 3,14 kNm                               |  | θ =                      | 0,356  |                                              |  |
| Localização Longarina                          |                                        |  |                          |        |                                              |  |
| xL =                                           | 5,7 m do centro da ponte               |  |                          |        |                                              |  |
| L inf =                                        | 2,49 m (Largura de influência da Viga) |  |                          |        |                                              |  |
| $K = K_0 + (K_1 - K_0) \alpha^{0,05}$          |                                        |  | $0 \leq \theta \leq 0,1$ |        |                                              |  |
| $K = K_0 + (K_1 - K_0) \alpha(1-e^{\theta_0})$ |                                        |  | $0,1 \leq \theta \leq 1$ |        | avec $\theta_0 = \frac{0,065-\theta}{0,663}$ |  |
| $K = K_0 + (K_1 - K_0)\sqrt{\alpha}$           |                                        |  | $\theta > 1$             |        |                                              |  |
| xL/b                                           | 0,809 b                                |  |                          |        |                                              |  |

|                 |                  |                  |         |            |        |               |        |        |        |        |  |
|-----------------|------------------|------------------|---------|------------|--------|---------------|--------|--------|--------|--------|--|
|                 |                  |                  |         | $\theta =$ | 0,35   | $\rightarrow$ | K0     |        |        |        |  |
| Posição da Viga |                  | Posição da Carga |         |            |        |               |        |        |        |        |  |
|                 |                  | -b               | -3b/4   | -b/2       | -b/4   | 0             | b/4    | b/2    | 3b/4   | b      |  |
| 3b/4 =          | 0,75             | -1,1765          | -0,6554 | -0,1311    | 0,4027 | 0,9532        | 1,5250 | 2,1176 | 2,7215 | 3,3228 |  |
|                 | 0,809            | -1,3320          | -0,7774 | -0,2190    | 0,3504 | 0,9397        | 1,5553 | 2,1987 | 2,8400 | 3,5309 |  |
| b =             | 1                | -1,8411          | -1,1765 | -0,5067    | 0,1793 | 0,8954        | 1,6545 | 2,4642 | 3,2280 | 4,2120 |  |
|                 |                  |                  |         |            |        |               |        |        |        |        |  |
|                 |                  |                  |         | $\theta =$ | 0,35   | $\rightarrow$ | K1     |        |        |        |  |
| Posição da Viga |                  | Posição da Carga |         |            |        |               |        |        |        |        |  |
|                 |                  | -b               | -3b/4   | -b/2       | -b/4   | 0             | b/4    | b/2    | 3b/4   | b      |  |
| 3b/4 =          | 0,75             | 0,6624           | 0,7255  | 0,7958     | 0,8781 | 0,9741        | 1,0824 | 1,1983 | 1,3115 | 1,4123 |  |
|                 | 0,809            | 0,6461           | 0,7107  | 0,7829     | 0,8678 | 0,9677        | 1,0820 | 1,2073 | 1,3351 | 1,4563 |  |
| b =             | 1                | 0,5926           | 0,6624  | 0,7408     | 0,8340 | 0,9466        | 1,0808 | 1,2369 | 1,4123 | 1,6001 |  |
|                 |                  |                  |         |            |        |               |        |        |        |        |  |
|                 |                  |                  |         | $\theta =$ | 0,4    | $\rightarrow$ | K0     |        |        |        |  |
| Posição da Viga |                  | Posição da Carga |         |            |        |               |        |        |        |        |  |
|                 |                  | -b               | -3b/4   | -b/2       | -b/4   | 0             | b/4    | b/2    | 3b/4   | b      |  |
| 3b/4 =          | 0,75             | -1,1286          | -0,6344 | -0,1350    | 0,3801 | 0,9225        | 1,5005 | 2,1128 | 2,7438 | 3,3702 |  |
|                 | 0,809            | -1,2712          | -0,7501 | -0,2229    | 0,3224 | 0,9002        | 1,5218 | 2,1894 | 2,8904 | 3,6009 |  |
| b =             | 1                | -1,7381          | -1,1286 | -0,5106    | 0,1337 | 0,8273        | 1,5916 | 2,4400 | 3,3702 | 4,3560 |  |
|                 |                  |                  |         |            |        |               |        |        |        |        |  |
|                 |                  |                  |         | $\theta =$ | 0,4    | $\rightarrow$ | K1     |        |        |        |  |
| Posição da Viga |                  | Posição da Carga |         |            |        |               |        |        |        |        |  |
|                 |                  | -b               | -3b/4   | -b/2       | -b/4   | 0             | b/4    | b/2    | 3b/4   | b      |  |
| 3b/4 =          | 0,75             | 0,5903           | 0,6613  | 0,7429     | 0,8420 | 0,9613        | 1,0994 | 1,2489 | 1,3940 | 1,5188 |  |
|                 | 0,809            | 0,5726           | 0,6447  | 0,7277     | 0,8289 | 0,9521        | 1,0970 | 1,2584 | 1,4232 | 1,5771 |  |
| b =             | 1                | 0,5148           | 0,5903  | 0,6778     | 0,7862 | 0,9220        | 1,0893 | 1,2893 | 1,5188 | 1,7680 |  |
|                 |                  |                  |         |            |        |               |        |        |        |        |  |
|                 |                  |                  |         | $\theta =$ | 0,356  |               |        |        |        |        |  |
| K               | Posição da Carga |                  |         |            |        |               |        |        |        |        |  |
|                 | -b               | -3b/4            | -b/2    | -b/4       | 0      | b/4           | b/2    | 3b/4   | b      |        |  |
| K0              | -1,3251          | -0,7742          | -0,2195 | 0,3472     | 0,9351 | 1,5515        | 2,1976 | 2,8458 | 3,5389 |        |  |
| K1              | 0,6376           | 0,7032           | 0,7766  | 0,8633     | 0,9659 | 1,0837        | 1,2132 | 1,3452 | 1,4701 |        |  |
| K $\alpha$      | -1,2639          | -0,7282          | -0,1884 | 0,3633     | 0,9361 | 1,5369        | 2,1670 | 2,7991 | 3,4745 |        |  |
| q <sub>i</sub>  | -0,2232          | -0,1286          | -0,0333 | 0,0642     | 0,1653 | 0,2714        | 0,3827 | 0,4943 | 0,6136 |        |  |

Coeficientes de repartição para as longarinas L2 e L5:

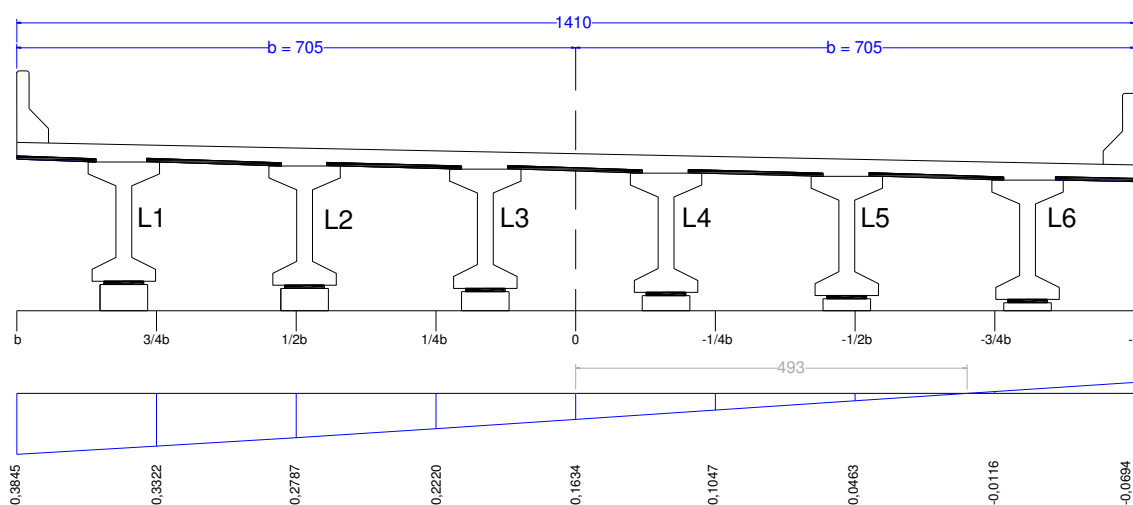


Figura 13 - Linha de repartição transversal para longarina L2, sendo análogo para a L5

|                                                 |         |                                   |                                                                       |       |   |
|-------------------------------------------------|---------|-----------------------------------|-----------------------------------------------------------------------|-------|---|
| Longarinas Seção T:                             |         |                                   | Grelha                                                                |       |   |
| IL =                                            | 0,3590  | m <sup>4</sup>                    | Transversal                                                           |       |   |
| ILt =                                           | 0,0193  | m <sup>4</sup>                    | t =                                                                   | 2,28  | m |
|                                                 |         |                                   | L =                                                                   | 14,1  | m |
| Transversinas Seção T:                          |         |                                   | b =                                                                   | 7,05  | m |
| IT =                                            | 0,0762  | m <sup>4</sup>                    | Longitudinal                                                          |       |   |
| ITt =                                           | 0,0074  | m <sup>4</sup>                    | q =                                                                   | 26,9  | m |
|                                                 |         |                                   | L =                                                                   | 27,5  | m |
| ρL =                                            | 4517,05 | kNm                               |                                                                       |       |   |
| ρT =                                            | 78,19   | kNm                               |                                                                       |       |   |
| ΥL =                                            | 101,08  | kNm                               | α =                                                                   | 0,088 |   |
| ΥT =                                            | 3,14    | kNm                               | θ =                                                                   | 0,353 |   |
| Localização Longarina                           |         |                                   |                                                                       |       |   |
| xL =                                            | 3,42    | m do centro da ponte              |                                                                       |       |   |
| L inf =                                         | 2,28    | m (Largura de influência da Viga) |                                                                       |       |   |
| $K = K_0 + (K_1 - K_0) \alpha^{0,05}$           |         |                                   | $0 \leq \theta \leq 0,1$                                              |       |   |
| $K = K_0 + (K_1 - K_0) \alpha(1-e^{-\theta_0})$ |         |                                   | $0,1 \leq \theta \leq 1$ avec $\theta_0 = \frac{0,065-\theta}{0,663}$ |       |   |
| $K = K_0 + (K_1 - K_0)\sqrt{\alpha}$            |         |                                   | $\theta > 1$                                                          |       |   |
| xL/b                                            | 0,485   | b                                 |                                                                       |       |   |

|                 |                  |                  |         |            |        |               |        |        |        |        |
|-----------------|------------------|------------------|---------|------------|--------|---------------|--------|--------|--------|--------|
|                 |                  |                  |         | $\theta =$ | 0,35   | $\rightarrow$ | K0     |        |        |        |
| Posição da Viga |                  | Posição da Carga |         |            |        |               |        |        |        |        |
|                 |                  | -b               | -3b/4   | -b/2       | -b/4   | 0             | b/4    | b/2    | 3b/4   | b      |
| b/4 =           | 0,25             | 0,1793           | 0,4027  | 0,6252     | 0,8437 | 1,0514        | 1,2369 | 1,3903 | 1,5250 | 1,6545 |
| 0,485           |                  | -0,4658          | -0,0993 | 0,2683     | 0,6382 | 1,0105        | 1,3812 | 1,7411 | 2,0823 | 2,4160 |
| b/2 =           | 0,5              | -0,5067          | -0,1311 | 0,2457     | 0,6252 | 1,0079        | 1,3903 | 1,7633 | 2,1176 | 2,4642 |
|                 |                  |                  |         |            |        |               |        |        |        |        |
|                 |                  |                  |         | $\theta =$ | 0,35   | $\rightarrow$ | K1     |        |        |        |
| Posição da Viga |                  | Posição da Carga |         |            |        |               |        |        |        |        |
|                 |                  | -b               | -3b/4   | -b/2       | -b/4   | 0             | b/4    | b/2    | 3b/4   | b      |
| b/4 =           | 0,25             | 0,8340           | 0,8781  | 0,9261     | 0,9777 | 1,0279        | 1,0659 | 1,0807 | 1,0824 | 1,0808 |
| 0,485           |                  | 0,7464           | 0,8007  | 0,8609     | 0,9292 | 1,0040        | 1,0798 | 1,1455 | 1,1914 | 1,2276 |
| b/2 =           | 0,5              | 0,7408           | 0,7958  | 0,8568     | 0,9261 | 1,0025        | 1,0807 | 1,1496 | 1,1983 | 1,2369 |
|                 |                  |                  |         |            |        |               |        |        |        |        |
|                 |                  |                  |         | $\theta =$ | 0,4    | $\rightarrow$ | K0     |        |        |        |
| Posição da Viga |                  | Posição da Carga |         |            |        |               |        |        |        |        |
|                 |                  | -b               | -3b/4   | -b/2       | -b/4   | 0             | b/4    | b/2    | 3b/4   | b      |
| b/4 =           | 0,25             | 0,1337           | 0,3801  | 0,6250     | 0,8637 | 1,0851        | 1,2696 | 1,4005 | 1,5005 | 1,5916 |
| 0,485           |                  | -0,4722          | -0,1043 | 0,2654     | 0,6392 | 1,0172        | 1,3927 | 1,7503 | 2,0763 | 2,3895 |
| b/2 =           | 0,5              | -0,5106          | -0,1350 | 0,2426     | 0,6250 | 1,0129        | 1,4005 | 1,7725 | 2,1128 | 2,4400 |
|                 |                  |                  |         |            |        |               |        |        |        |        |
|                 |                  |                  |         | $\theta =$ | 0,4    | $\rightarrow$ | K1     |        |        |        |
| Posição da Viga |                  | Posição da Carga |         |            |        |               |        |        |        |        |
|                 |                  | -b               | -3b/4   | -b/2       | -b/4   | 0             | b/4    | b/2    | 3b/4   | b      |
| b/4 =           | 0,25             | 0,7862           | 0,8420  | 0,9043     | 0,9733 | 1,0414        | 1,0914 | 1,1051 | 1,0994 | 1,0893 |
| 0,485           |                  | 0,6843           | 0,7488  | 0,8223     | 0,9084 | 1,0054        | 1,1043 | 1,1879 | 1,2400 | 1,2774 |
| b/2 =           | 0,5              | 0,6778           | 0,7429  | 0,8171     | 0,9043 | 1,0031        | 1,1051 | 1,1931 | 1,2489 | 1,2893 |
|                 |                  |                  |         |            |        |               |        |        |        |        |
|                 |                  |                  |         | $\theta =$ | 0,353  |               |        |        |        |        |
| K               | Posição da Carga |                  |         |            |        |               |        |        |        |        |
|                 | -b               | -3b/4            | -b/2    | -b/4       | 0      | b/4           | b/2    | 3b/4   | b      |        |
| K0              | -0,4663          | -0,0996          | 0,2681  | 0,6383     | 1,0109 | 1,3819        | 1,7417 | 2,0819 | 2,4142 |        |
| K1              | 0,7421           | 0,7972           | 0,8583  | 0,9278     | 1,0041 | 1,0815        | 1,1484 | 1,1947 | 1,2310 |        |
| K $\alpha$      | -0,4289          | -0,0719          | 0,2864  | 0,6472     | 1,0107 | 1,3727        | 1,7234 | 2,0545 | 2,3776 |        |
| q <sub>i</sub>  | -0,0694          | -0,0116          | 0,0463  | 0,1047     | 0,1634 | 0,2220        | 0,2787 | 0,3322 | 0,3845 |        |

Coeficientes de repartição para as longarinas L3 e L4:

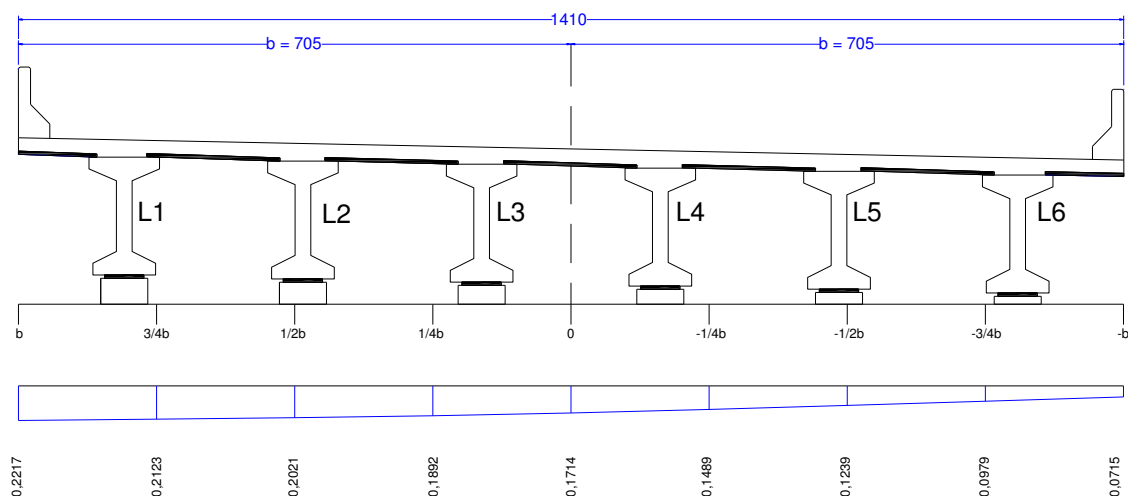


Figura 14 - Linha de repartição transversal para longarina L3, sendo análogo para a L4

|                                                  |         |                                   |                          |       |                                                |
|--------------------------------------------------|---------|-----------------------------------|--------------------------|-------|------------------------------------------------|
| Longarinas Seção T:                              |         |                                   | Grelha                   |       |                                                |
| IL =                                             | 0,3590  | m <sup>4</sup>                    | Transversal              |       |                                                |
| ILt =                                            | 0,0193  | m <sup>4</sup>                    | t =                      | 2,28  | m                                              |
|                                                  |         |                                   | L =                      | 14,1  | m                                              |
| Transversinas Seção T:                           |         |                                   | b =                      | 7,05  | m                                              |
| IT =                                             | 0,0762  | m <sup>4</sup>                    | Longitudinal             |       |                                                |
| ITt =                                            | 0,0074  | m <sup>4</sup>                    | q =                      | 26,9  | m                                              |
|                                                  |         |                                   | L =                      | 27,5  | m                                              |
| pL =                                             | 4517,05 | kNm                               |                          |       |                                                |
| pT =                                             | 78,19   | kNm                               |                          |       |                                                |
| YL =                                             | 101,08  | kNm                               | α =                      | 0,088 |                                                |
| YT =                                             | 3,14    | kNm                               | θ =                      | 0,353 |                                                |
| Localização Longarina                            |         |                                   |                          |       |                                                |
| xL =                                             | 1,14    | m do centro da ponte              |                          |       |                                                |
| L inf =                                          | 2,28    | m (Largura de influência da Viga) |                          |       |                                                |
| $K = K_0 + (K_1 - K_0) \alpha^{0,05}$            |         |                                   | $0 \leq \theta \leq 0,1$ |       |                                                |
| $K = K_0 + (K_1 - K_0) \alpha(1 - e^{\theta_0})$ |         |                                   | $0,1 \leq \theta \leq 1$ |       | avec $\theta_0 = \frac{0,065 - \theta}{0,663}$ |
| $K = K_0 + (K_1 - K_0) \sqrt{\alpha}$            |         |                                   | $\theta > 1$             |       |                                                |
| xL/b                                             | 0,162   | b                                 |                          |       |                                                |

|                 |                  |                  |        |            |        |               |        |        |        |        |
|-----------------|------------------|------------------|--------|------------|--------|---------------|--------|--------|--------|--------|
|                 |                  |                  |        | $\theta =$ | 0,35   | $\rightarrow$ | K0     |        |        |        |
| Posição da Viga |                  | Posição da Carga |        |            |        |               |        |        |        |        |
|                 |                  | -b               | -3b/4  | -b/2       | -b/4   | 0             | b/4    | b/2    | 3b/4   | b      |
| 0 =             | 0                | 0,8954           | 0,9532 | 1,0079     | 1,0514 | 1,0700        | 1,0514 | 1,0079 | 0,9532 | 0,8954 |
| 0,162           |                  | 0,4322           | 0,5971 | 0,7604     | 0,9171 | 1,0580        | 1,1714 | 1,2552 | 1,3230 | 1,3864 |
| b/4 =           | 0,25             | 0,1793           | 0,4027 | 0,6252     | 0,8437 | 1,0514        | 1,2369 | 1,3903 | 1,5250 | 1,6545 |
|                 |                  |                  |        |            |        |               |        |        |        |        |
|                 |                  |                  |        | $\theta =$ | 0,35   | $\rightarrow$ | K1     |        |        |        |
| Posição da Viga |                  | Posição da Carga |        |            |        |               |        |        |        |        |
|                 |                  | -b               | -3b/4  | -b/2       | -b/4   | 0             | b/4    | b/2    | 3b/4   | b      |
| 0 =             | 0                | 0,9466           | 0,9741 | 1,0025     | 1,0279 | 1,0399        | 1,0279 | 1,0025 | 0,9741 | 0,9466 |
| 0,162           |                  | 0,8738           | 0,9120 | 0,9531     | 0,9954 | 1,0321        | 1,0525 | 1,0531 | 1,0441 | 1,0334 |
| b/4 =           | 0,25             | 0,8340           | 0,8781 | 0,9261     | 0,9777 | 1,0279        | 1,0659 | 1,0807 | 1,0824 | 1,0808 |
|                 |                  |                  |        |            |        |               |        |        |        |        |
|                 |                  |                  |        | $\theta =$ | 0,4    | $\rightarrow$ | K0     |        |        |        |
| Posição da Viga |                  | Posição da Carga |        |            |        |               |        |        |        |        |
|                 |                  | -b               | -3b/4  | -b/2       | -b/4   | 0             | b/4    | b/2    | 3b/4   | b      |
| 0 =             | 0                | 0,8273           | 0,9225 | 1,0129     | 1,0851 | 1,1160        | 1,0851 | 1,0129 | 0,9225 | 0,8273 |
| 0,162           |                  | 0,3787           | 0,5717 | 0,7620     | 0,9419 | 1,0960        | 1,2044 | 1,2636 | 1,2964 | 1,3217 |
| b/4 =           | 0,25             | 0,1337           | 0,3801 | 0,6250     | 0,8637 | 1,0851        | 1,2696 | 1,4005 | 1,5005 | 1,5916 |
|                 |                  |                  |        |            |        |               |        |        |        |        |
|                 |                  |                  |        | $\theta =$ | 0,4    | $\rightarrow$ | K1     |        |        |        |
| Posição da Viga |                  | Posição da Carga |        |            |        |               |        |        |        |        |
|                 |                  | -b               | -3b/4  | -b/2       | -b/4   | 0             | b/4    | b/2    | 3b/4   | b      |
| 0 =             | 0                | 0,9220           | 0,9613 | 1,0031     | 1,0414 | 1,0601        | 1,0414 | 1,0031 | 0,9613 | 0,9220 |
| 0,162           |                  | 0,8342           | 0,8841 | 0,9392     | 0,9974 | 1,0480        | 1,0737 | 1,0691 | 1,0506 | 1,0302 |
| b/4 =           | 0,25             | 0,7862           | 0,8420 | 0,9043     | 0,9733 | 1,0414        | 1,0914 | 1,1051 | 1,0994 | 1,0893 |
|                 |                  |                  |        |            |        |               |        |        |        |        |
|                 |                  |                  |        | $\theta =$ | 0,353  |               |        |        |        |        |
| K               | Posição da Carga |                  |        |            |        |               |        |        |        |        |
|                 | -b               | -3b/4            | -b/2   | -b/4       | 0      | b/4           | b/2    | 3b/4   | b      |        |
| K0              | 0,4286           | 0,5954           | 0,7605 | 0,9187     | 1,0605 | 1,1736        | 1,2558 | 1,3212 | 1,3820 |        |
| K1              | 0,8711           | 0,9101           | 0,9521 | 0,9956     | 1,0332 | 1,0539        | 1,0542 | 1,0446 | 1,0332 |        |
| K $\alpha$      | 0,4423           | 0,6051           | 0,7664 | 0,9211     | 1,0597 | 1,1699        | 1,2496 | 1,3127 | 1,3712 |        |
| q <sub>i</sub>  | 0,0715           | 0,0979           | 0,1239 | 0,1489     | 0,1714 | 0,1892        | 0,2021 | 0,2123 | 0,2217 |        |

## 6. DETERMINAÇÃO DOS CARREGAMENTOS PERMANENTES

- Peso próprio das longarinas:

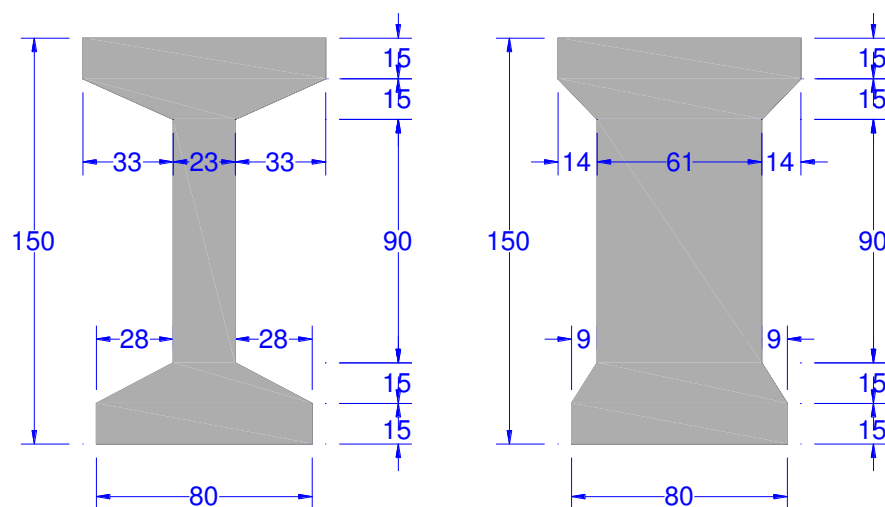


Figura 15 - Seções transversais das longarinas ao meio do vão (esquerda) e nas proximidades dos apoios (direita).

Para a seção I no meio do vão:

$$A = 0,624 \text{ m}^2 \rightarrow g_1 = 0,624 \times 25 = 15,60 \text{ kN/m (L1 a L6)}$$

Para a seção I nas proximidades dos apoios:

$$A = 1,001 \text{ m}^2 \rightarrow g_1 = 1,001 \times 25 = 25,03 \text{ kN/m (L1 a L6)}$$

Peso total de uma longarina para dimensionamento do guindaste:

$$P_{pL} = 25,03 \times 1,40 \times 2 + 15,60 \times 24,70 = 445,404 \text{ kN } (\approx 45 \text{ tf})$$

- Peso próprio das lajes:

Para as longarinas externas L1 e L6:

$$A = (1,35 + 1,14) \times 0,21 = 0,523 \text{ m}^2 \rightarrow g_2 = 0,523 \times 25 = 13,07 \text{ kN/m (L1 e L6)}$$

Para as longarinas internas L2 a L5:

$$A = 2,28 \times 0,21 = 0,479 \text{ m}^2 \rightarrow g_2 = 0,479 \times 25 = 11,97 \text{ kN/m (L2 a L5)}$$

- Peso próprio do pavimento e recapeamento:

Para as longarinas externas L1 e L6:

$$A = (2,49 - 0,40) \times 0,07 = 0,146 \text{ m}^2 \rightarrow g_3 = 0,146 \times 24 + 2,09 \times 2 = 7,69 \text{ kN/m}$$

Para as longarinas internas L2 a L5:

$$A = 2,28 \times 0,07 = 0,160 \text{ m}^2 \rightarrow g_3 = 0,160 \times 24 + 2,28 \times 2 = 8,39 \text{ kN/m}$$

- Peso próprio barreiras e pingadeiras:

$$\text{New Jersey} - A = 0,217 \text{ m}^2$$

$$\text{Pingadeira} - A = 0,038 \text{ m}^2$$

$$g = 0,255 \times 25 = 6,375 \text{ kN/m}$$

Para as longarinas externas L1 e L6:

$$LR_E = 0,6021 \rightarrow \text{para } e = 7,05 - 0,146 = 6,904 \text{ m}$$

$$LR_D = -0,2156 \rightarrow \text{para } e = - (7,05 - 0,146) = - 6,904 \text{ m}$$

$$g_4 = (0,6021 - 0,2156) \times 6,375 = 0,3864 \times 6,375 = 2,46 \text{ kN/m}$$

Para as longarinas internas L2 e L5:

$$LR_E = 0,3800 \rightarrow \text{para } e = 7,05 - 0,146 = 6,904 \text{ m}$$

$$LR_D = -0,0646 \rightarrow \text{para } e = - (7,05 - 0,146) = - 6,904 \text{ m}$$

$$g_4 = (0,3800 - 0,0646) \times 6,375 = 0,3154 \times 6,375 = 2,01 \text{ kN/m}$$

Para as longarinas internas L3 e L4:

$$LR_E = 0,2121 \rightarrow \text{para } e = 7,05 - 0,146 = 6,904 \text{ m}$$

$$LR_D = 0,0737 \rightarrow \text{para } e = - (7,05 - 0,146) = - 6,904 \text{ m}$$

$$g_4 = (0,2121 + 0,0737) \times 6,375 = 0,2946 \times 6,375 = 1,88 \text{ kN/m}$$

Por questões de simplificação a carga  $g_4$  para as longarinas L2 a L5 serão consideradas da seguinte forma:

$$g_4 = \left[ (1 - 0,3864) / 2 \right] \times 6,375 = 0,3071 \times 6,375 = 1,96 \text{ kN/m}$$

- Peso próprio transversinas

Para as longarinas L1 e L6, sendo a espessura das transversinas de 25 cm:

$$A = 2,1476 \text{ m}^2 \rightarrow G' = 2,1476 \times 0,25 \times 25 = 13,42 \text{ kN}$$

$$\text{Mísula} \rightarrow G'' = 0,15 \times 0,15 \times (0,65 + 1,14) \times 25 = 1,01 \text{ kN}$$

$$\text{Botão de protensão} \rightarrow A = 0,03 \text{ m}^2 \rightarrow G''' = 0,03 \times 0,25 \times 25 = 0,19 \text{ kN}$$

$$G_1 = 13,42 + 1,01 + 0,19 = 14,62 \text{ kN}$$

Para as longarinas L2 a L5, sendo a espessura das transversinas de 25 cm:

$$A = 2,7319 \text{ m}^2 \rightarrow G' = 2,7319 \times 0,25 \times 25 = 17,07 \text{ kN}$$

$$\text{Mísula} \rightarrow G'' = 0,15 \times 0,15 \times (1,14 + 1,14) \times 25 = 1,28 \text{ kN}$$

$$G_1 = 17,07 + 1,28 = 18,35 \text{ Kn}$$

- Laje de continuidade (e = 19 cm)

Para as longarinas L1 e L6

$$G_2 = (13,07 - 2,49 \times 0,02 \times 25) \times 0,40/2 = 2,37 \text{ kN}$$

Para as longarinas L2 a L5

$$G_2 = (11,97 - 2,28 \times 0,02 \times 25) \times 0,40/2 = 2,17 \text{ kN}$$

- Pavimentação e recapeamento sob laje de continuidade:

Para as longarinas externas L1 e L6:

$$G_3 = 7,69 \times 0,2 = 1,54 \text{ kN}$$

Para as longarinas internas L2 a L5:

$$G_3 = 8,39 \times 0,2 = 1,68 \text{ kN}$$

- Barreiras e pingadeiras sob laje de continuidade:

Para as longarinas externas L1 e L6:

$$G_4 = 2,73 \times 0,2 = 0,55 \text{ kN}$$

Para as longarinas internas L2 a L5:

$$G_4 = 1,82 \times 0,2 = 0,36 \text{ kN}$$

- Esquema de carregamentos permanentes para as longarinas externas L1 e L6:

$$q_1 = 15,60 + 13,07 + 7,69 + 2,46 = 38,82 \text{ kN/m}$$

$$q_2 = 25,03 + 13,07 + 7,69 + 2,46 = 48,25 \text{ kN/m}$$

$$P_1 = 14,62 \text{ kN}$$

$$P_2 = 2,37 + 1,54 + 0,55 = 4,46 \text{ kN}$$

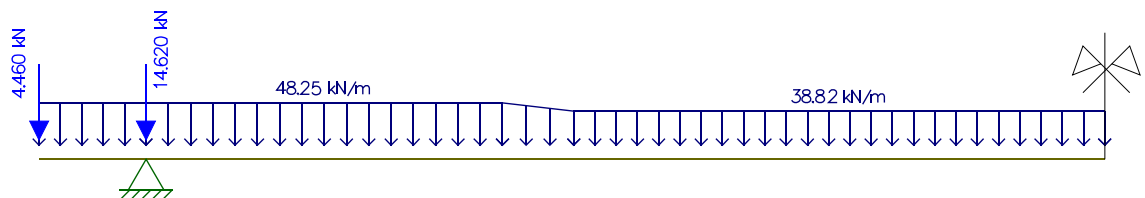


Figura 16 - Carregamento permanente longarinas externas L1 e L6

- Esquema de carregamentos permanentes para as longarinas internas L2 a L5:

$$q_1 = 15,60 + 11,97 + 8,39 + 1,96 = 37,11 \text{ kN/m}$$

$$q_2 = 25,03 + 11,97 + 8,39 + 1,96 = 47,35 \text{ kN/m}$$

$$P_1 = 18,35 \text{ kN}$$

$$P_2 = 2,17 + 1,68 + 0,36 = 4,21 \text{ kN}$$

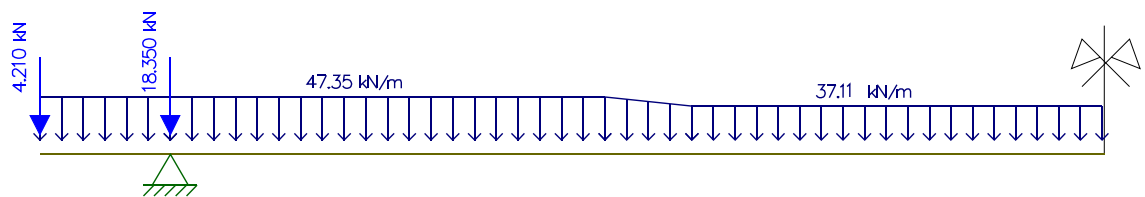


Figura 17 - Carregamento permanente longarinas externas L1 e L6

## 7. DETERMINAÇÃO DOS CARREGAMENTOS MÓVEIS

De acordo com a definição do memorial descritivo, a ponte é categorizada na classe 450. Segundo a NBR7188:2013, a esta classe corresponde um veículo-tipo de 450 kN de peso total, cuja configuração em planta e em corte é exposta adiante, e carga de multidão de  $p = 5 \text{ kN/m}^2$  disposta segundo a Figura 18. Carga característica por roda  $P = 450/6 = 75 \text{ kN}$ .

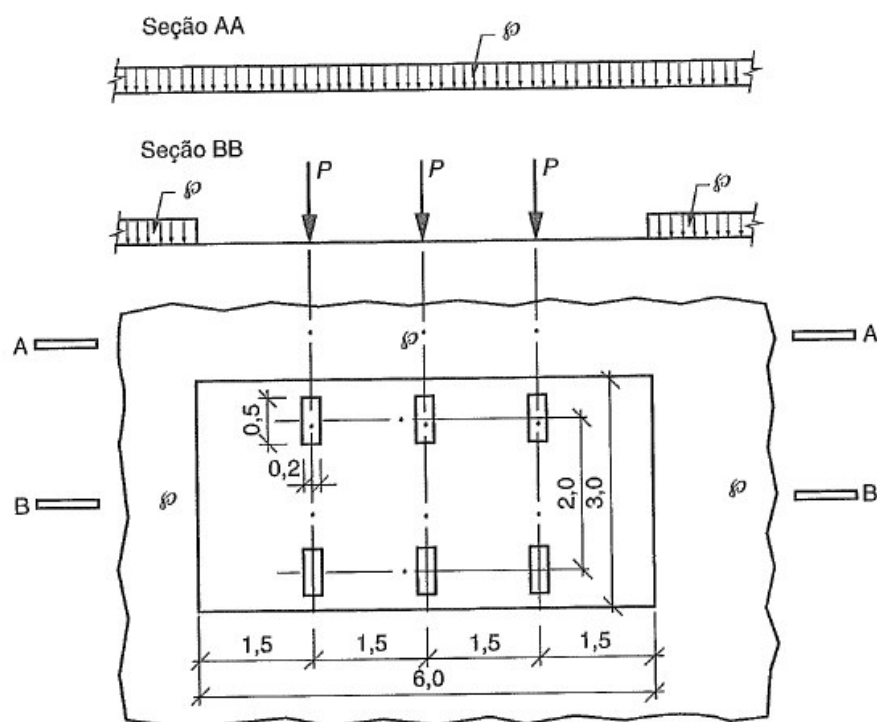
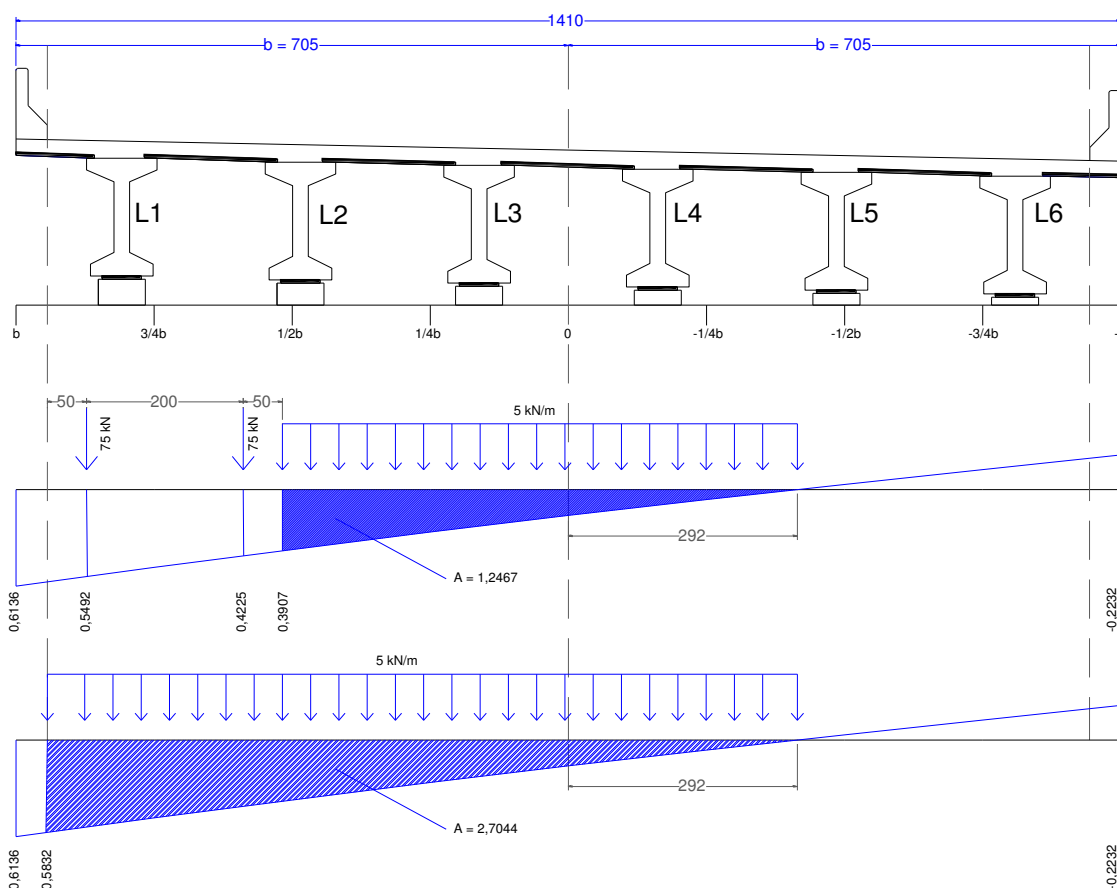


Figura 18 - Disposição das cargas estáticas conforme NBR 7188:2013

## 7.1. Trem de carga para as longarinas externas L1 e L6



$$P = (0,5492 + 0,4225) \times 75 = 72,877 \text{ kN}$$

$$q_{\text{interno}} = 1,2467 \times 5 = 6,234 \text{ kN/m}$$

$$q_{\text{externo}} = 2,7044 \times 5 = 13,522 \text{ kN/m}$$

$$CNF = 1 - 0,05 \times \left[ INT \left( \frac{6,65 + 2,92}{3,6} \right) - 2 \right] = 1,00 > 0,90 \rightarrow CNF = 1,00$$

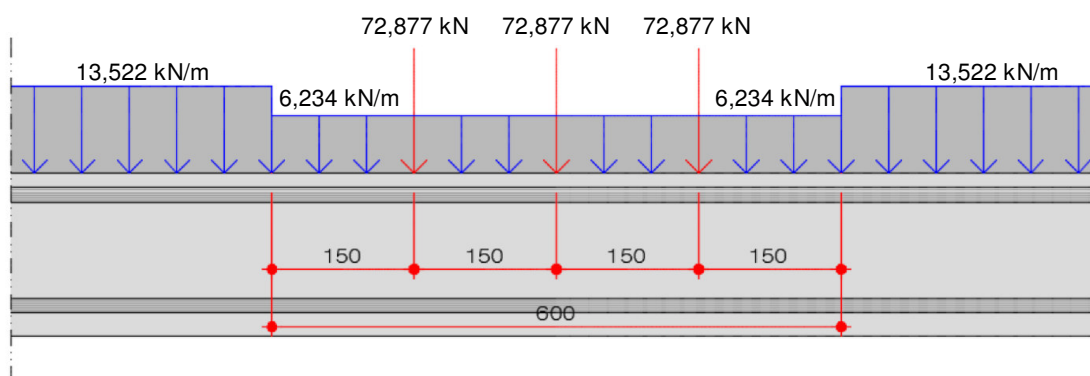
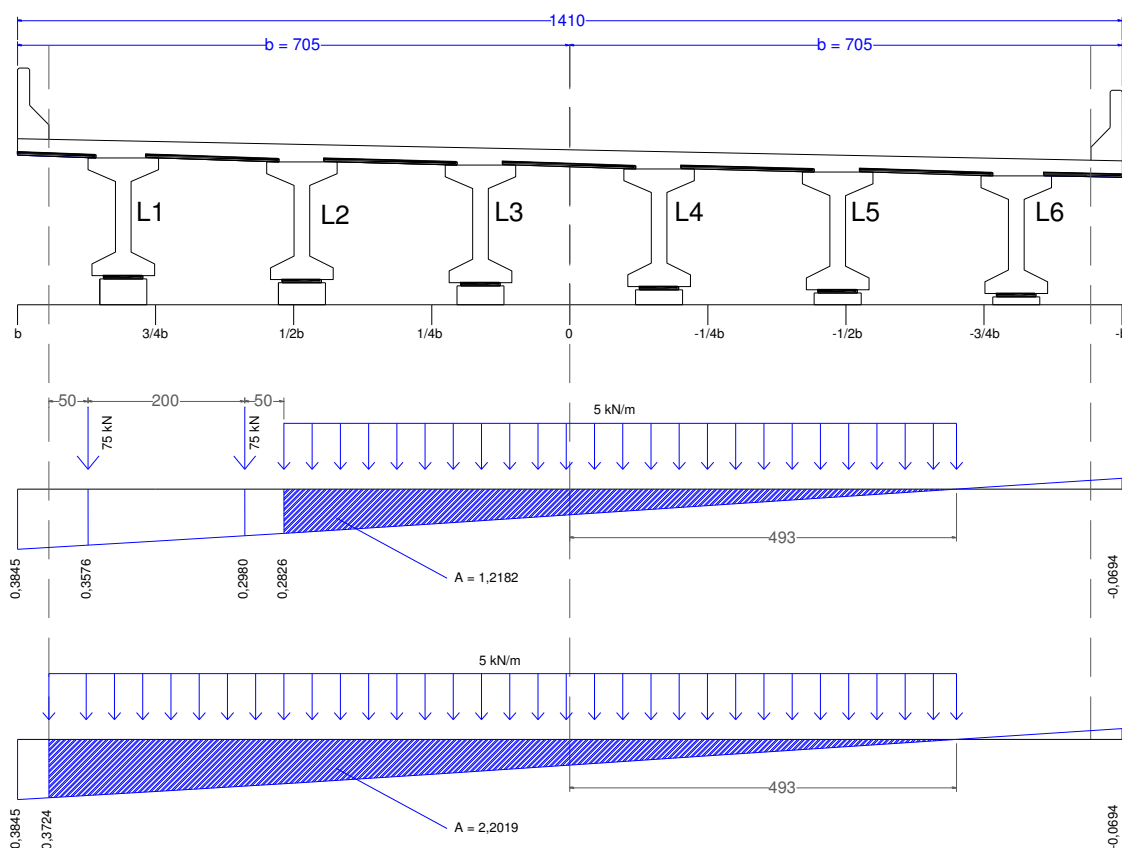


Figura 19 -Trem de carga para as longarinas L1 e L6

## 7.2. Trem de carga para as longarinas internas L2 e L5



$$P = (0,3576 + 0,2980) \times 75 = 49,170 \text{ kN}$$

$$q_{\text{interno}} = 1,2182 \times 5 = 6,091 \text{ kN/m}$$

$$q_{\text{externo}} = 2,2019 \times 5 = 11,009 \text{ kN/m}$$

$$CNF = 1 - 0,05 \times \left[ INT \left( \frac{6,65 + 4,93}{3,6} \right) - 2 \right] = 0,95 > 0,90 \rightarrow CNF = 0,95$$

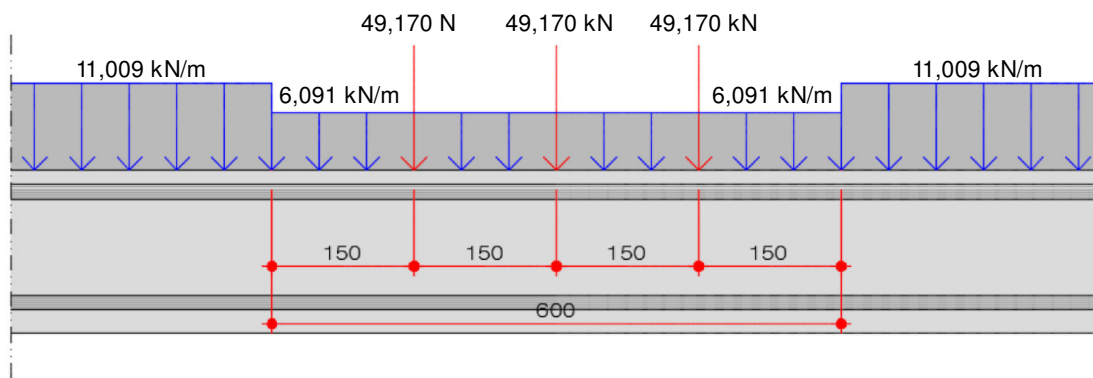
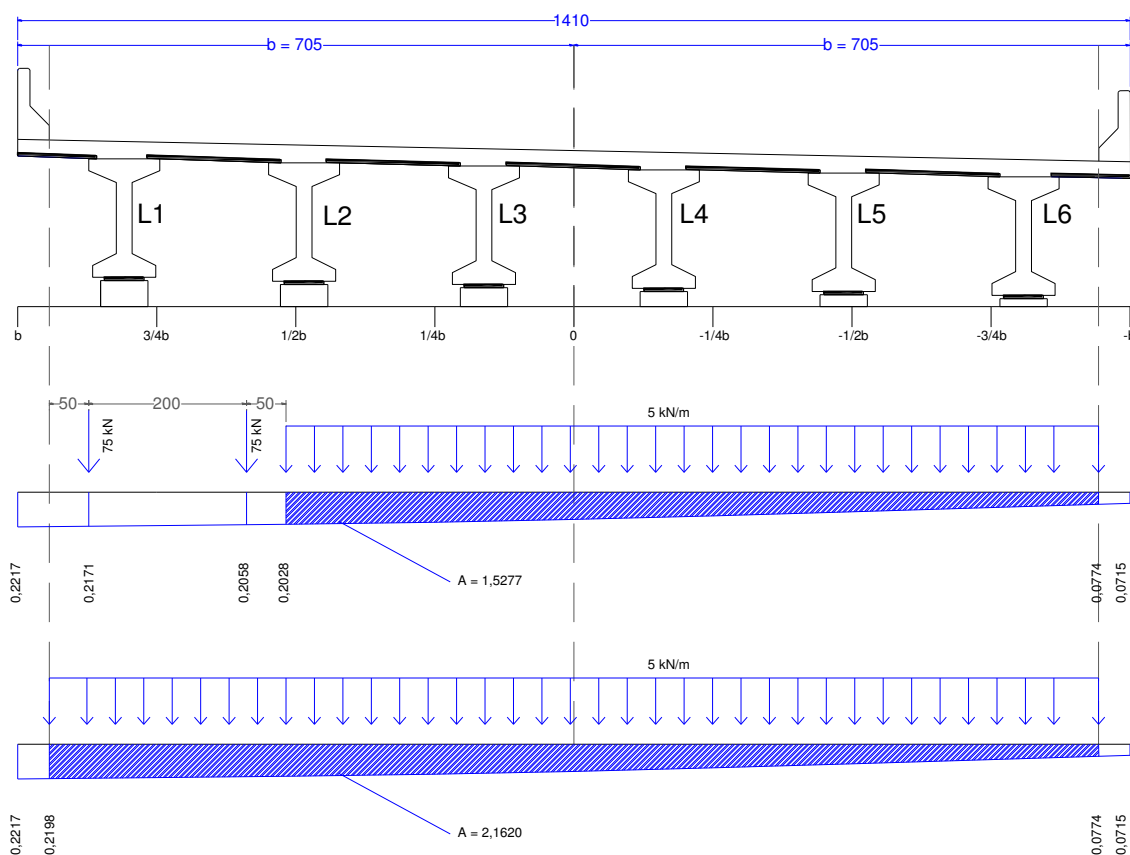


Figura 20 - Trem de carga para as longarinas L2 e L5

### 7.3. Trem de carga para as longarinas internas L3 e L4



$$P = (0,2171 + 0,2058) \times 75 = 31,718 \text{ kN}$$

$$q_{\text{interno}} = 1,5277 \times 5 = 7,638 \text{ kN/m}$$

$$q_{\text{externo}} = 2,1620 \times 5 = 10,810 \text{ kN/m}$$

$$CNF = 1 - 0,05 \times \left[ INT \left( \frac{6,65 + 6,65}{3,6} \right) - 2 \right] = 0,95 > 0,90 \rightarrow CNF = 0,95$$

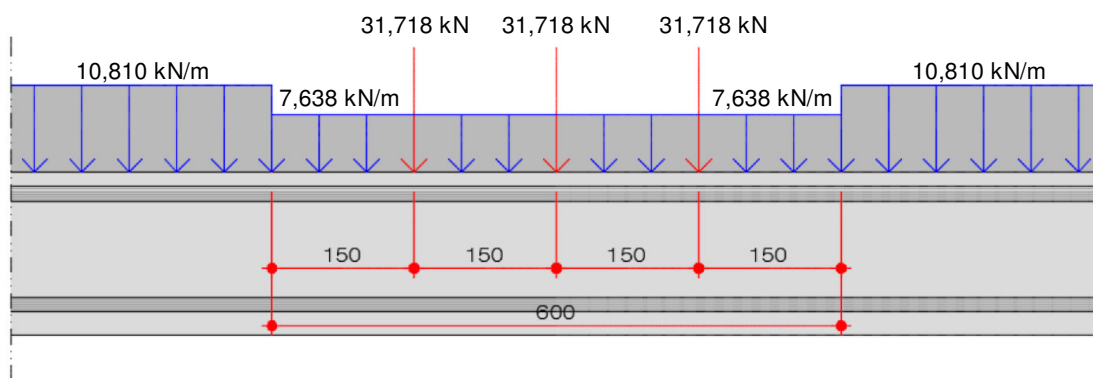


Figura 21 - Trem de carga para as longarinas L3 e L4

## 8. ESFORÇOS LONGARINAS

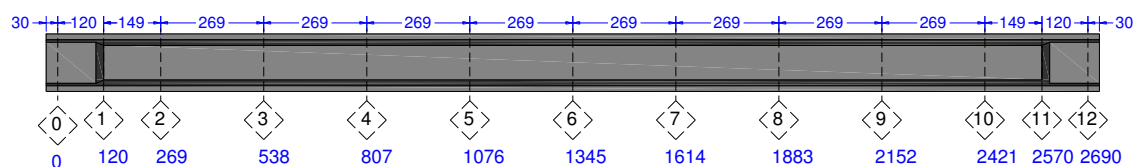
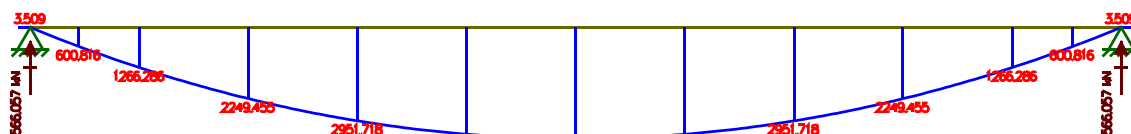


Figura 22 - Seções de cálculo

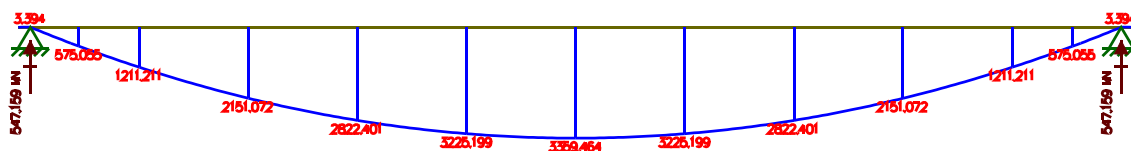
### 8.1. Carregamento permanente

#### Longarinas L1 e L6



| $\gamma_g =$ | 1,35       | (combinação normal) |
|--------------|------------|---------------------|
| SEÇÃO        | L1 e L6    |                     |
|              | Mgk (kN.m) | Mgd (kN.m)          |
| S0           | -3,509     | -4,737              |
| S1           | 600,816    | 811,102             |
| S2           | 1266,286   | 1709,486            |
| S3           | 2245,455   | 3031,364            |
| S4           | 2951,718   | 3984,819            |
| S5           | 3373,076   | 4553,653            |
| S6           | 3513,529   | 4743,264            |
| S7           | 3373,076   | 4553,653            |
| S8           | 2951,718   | 3984,819            |
| S9           | 2245,455   | 3031,364            |
| S10          | 1266,286   | 1709,486            |
| S11          | 600,816    | 811,102             |
| S12          | -3,509     | -4,737              |

#### Longarinas L2 a L5

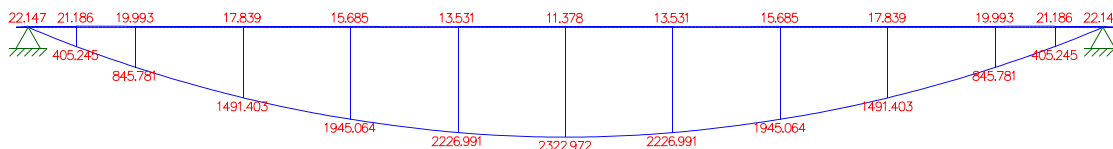


| SEÇÃO | L2 a L5    |            |
|-------|------------|------------|
|       | Mgk (kN.m) | Mgd (kN.m) |
| S0    | -3,394     | -4,582     |
| S1    | 575,055    | 776,324    |
| S2    | 1211,211   | 1635,135   |
| S3    | 2151,072   | 2903,947   |
| S4    | 2822,401   | 3810,241   |
| S5    | 3225,199   | 4354,019   |
| S6    | 3359,464   | 4535,276   |
| S7    | 3225,199   | 4354,019   |
| S8    | 2822,401   | 3810,241   |
| S9    | 2151,072   | 2903,947   |
| S10   | 1211,211   | 1635,135   |
| S11   | 575,055    | 776,324    |
| S12   | -3,394     | -4,582     |

## 8.2. Carregamento accidental

$$CIV = 1 - 1,06 \cdot \left( \frac{20}{50 + 26,9} \right) = 1,276$$

### Longarinas L1 e L6

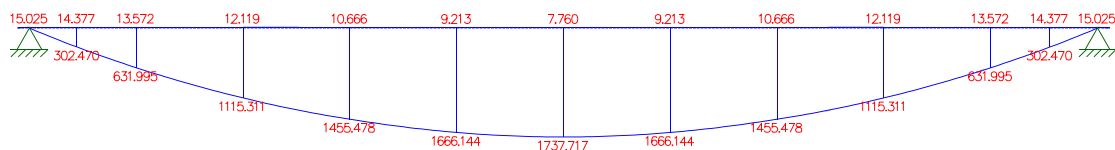


|       |       |                                             |  |  |  |  |  |  |  |
|-------|-------|---------------------------------------------|--|--|--|--|--|--|--|
| γg =  | 1,5   |                                             |  |  |  |  |  |  |  |
| CIV = | 1,276 | (Todas as seções)                           |  |  |  |  |  |  |  |
| CNF = | 1     | (Todas as seções)                           |  |  |  |  |  |  |  |
| CIA = | 1,25  | (Seções S0, S1, S2, S3, S9, S10, S11 e S12) |  |  |  |  |  |  |  |

| SEÇÃO | L1 e L6     |             |             |             |
|-------|-------------|-------------|-------------|-------------|
|       | Mqk+ (kN.m) | Mqd+ (kN.m) | Mqk- (kN.m) | Mqd- (kN.m) |
| S0    | 0,000       | 0,000       | 22,147      | 52,974      |
| S1    | 405,245     | 969,308     | 21,186      | 50,675      |
| S2    | 845,781     | 2023,028    | 19,993      | 47,821      |
| S3    | 1491,403    | 3567,294    | 17,839      | 42,669      |
| S4    | 1945,064    | 3721,927    | 15,685      | 30,014      |
| S5    | 2226,991    | 4261,401    | 13,531      | 25,892      |
| S6    | 2322,972    | 4445,063    | 11,378      | 21,772      |
| S7    | 2226,991    | 4261,401    | 13,531      | 25,892      |
| S8    | 1945,064    | 3721,927    | 15,685      | 30,014      |
| S9    | 1491,403    | 3567,294    | 17,839      | 42,669      |
| S10   | 845,781     | 2023,028    | 19,993      | 47,821      |
| S11   | 405,245     | 969,308     | 21,186      | 50,675      |
| S12   | 0,000       | 0,000       | 22,147      | 52,974      |

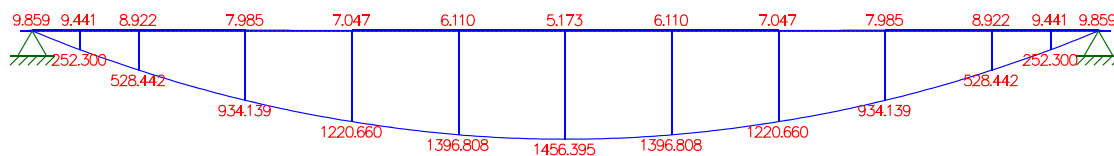
## Longarinas L2 e L5



|              |       |                                             |  |  |  |  |  |
|--------------|-------|---------------------------------------------|--|--|--|--|--|
| $\gamma_g =$ | 1,5   |                                             |  |  |  |  |  |
| $CIV =$      | 1,276 | (Todas as seções)                           |  |  |  |  |  |
| $CNF =$      | 0,95  | (Todas as seções)                           |  |  |  |  |  |
| $CIA =$      | 1,25  | (Seções S0, S1, S2, S3, S9, S10, S11 e S12) |  |  |  |  |  |
|              |       |                                             |  |  |  |  |  |

| SEÇÃO | L2 e L5     |             |             |             |
|-------|-------------|-------------|-------------|-------------|
|       | Mqk+ (kN.m) | Mqd+ (kN.m) | Mqk- (kN.m) | Mqd- (kN.m) |
| S0    | 0,000       | 0,000       | 14,527      | 34,747      |
| S1    | 302,470     | 687,306     | 13,900      | 33,247      |
| S2    | 631,995     | 1436,088    | 13,123      | 31,389      |
| S3    | 1115,311    | 2534,332    | 11,719      | 28,031      |
| S4    | 1455,478    | 2645,838    | 10,316      | 19,740      |
| S5    | 1666,144    | 3028,796    | 8,912       | 17,053      |
| S6    | 1737,717    | 3158,905    | 7,506       | 14,363      |
| S7    | 1666,144    | 3028,796    | 8,912       | 17,053      |
| S8    | 1455,478    | 2645,838    | 10,316      | 19,740      |
| S9    | 1115,311    | 2534,332    | 11,719      | 28,031      |
| S10   | 631,995     | 1436,088    | 13,123      | 31,389      |
| S11   | 302,470     | 687,306     | 13,900      | 33,247      |
| S12   | 0,000       | 0,000       | 14,527      | 34,747      |

## Longarinas L3 e L4



|              |       |                                             |  |  |  |  |  |
|--------------|-------|---------------------------------------------|--|--|--|--|--|
| $\gamma_g =$ | 1,5   |                                             |  |  |  |  |  |
| $CIV =$      | 1,276 | (Todas as seções)                           |  |  |  |  |  |
| $CNF =$      | 0,95  | (Todas as seções)                           |  |  |  |  |  |
| $CIA =$      | 1,25  | (Seções S0, S1, S2, S3, S9, S10, S11 e S12) |  |  |  |  |  |
|              |       |                                             |  |  |  |  |  |

| SEÇÃO | L3 e L4     |             |             |             |
|-------|-------------|-------------|-------------|-------------|
|       | Mqk+ (kN.m) | Mqd+ (kN.m) | Mqk- (kN.m) | Mqd- (kN.m) |
| S0    | 0,000       | 0,000       | 9,859       | 23,582      |
| S1    | 252,300     | 573,304     | 9,441       | 22,582      |
| S2    | 528,442     | 1200,784    | 8,922       | 21,341      |
| S3    | 934,139     | 2122,653    | 7,985       | 19,099      |
| S4    | 1220,660    | 2218,974    | 7,047       | 13,485      |
| S5    | 1396,808    | 2539,184    | 6,110       | 11,692      |
| S6    | 1456,395    | 2647,505    | 5,173       | 9,899       |
| S7    | 1396,808    | 2539,184    | 6,110       | 11,692      |
| S8    | 1220,660    | 2218,974    | 7,047       | 13,485      |
| S9    | 934,139     | 2122,653    | 7,985       | 19,099      |
| S10   | 528,442     | 1200,784    | 8,922       | 21,341      |
| S11   | 252,300     | 573,304     | 9,441       | 22,582      |
| S12   | 0,000       | 0,000       | 9,859       | 23,582      |

## 9. DIMENSIONAMENTO LONGARINAS

### 9.1. Determinação da força de protensão inicial

As longarinas serão dimensionadas para protensão completa, a verificação inicial será apenas para as longarinas de bordo (L1 e L6) na seção central (S6) com a laje colaborante, o momento característico será considerado multiplicado pelo CIV e CNF.

Inicialmente será verificado para 3 cabos de protensão, conforme Figura 23.

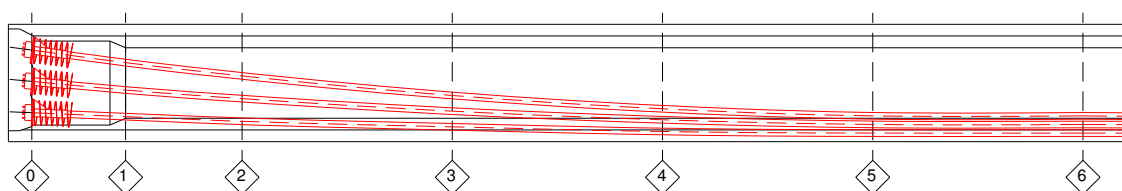


Figura 23 - Vista lateral dos cabos de protensão nas longarinas

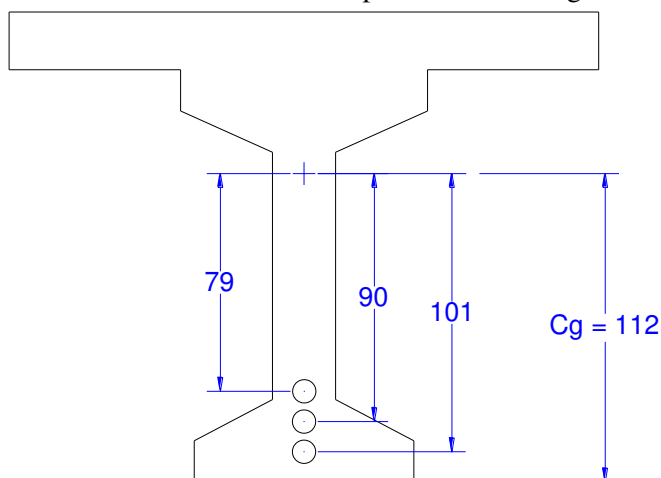


Figura 24 - Excentricidade das cordoalhas na seção S6

$$e_{p,méd} = \frac{101 + 90 + 79}{3} = 90 \text{ cm}$$

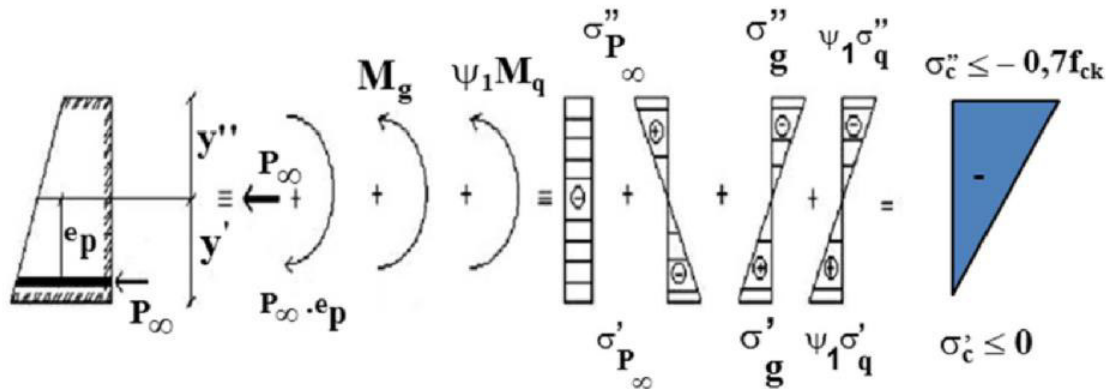
$$I = 0,3607 \text{ m}^4$$

$$A = 1,0750 \text{ m}^2$$

$$W_{inf} = \frac{0,3607}{1,1221} = 0,3215 \text{ m}^3$$

$$W_{sup} = \frac{0,3607}{1,71 - 1,1221} = 0,6135 \text{ m}^3$$

**PROTENSÃO COMPLETA**  
**Combinação Frequente → ELS - D**



$$M_{gk} = 3513,529 \text{ kNm}$$

$$M_{qk} = 2963,375 \text{ kNm}$$

$$\psi_1 = 0,5 \text{ (Pontes rodoviárias)}$$

$$-\sigma'_{P_\infty} - \sigma''_{P_\infty} + \frac{M_{gk}}{W_{inf}} + \psi_1 \frac{M_{qk}}{W_{inf}} \leq 0$$

$$-\frac{P_\infty}{1,1469} - \frac{P_\infty \cdot 0,93}{0,3279} + \frac{3513,529}{0,3279} + 0,5 \frac{2963,375}{0,3279} \leq 0$$

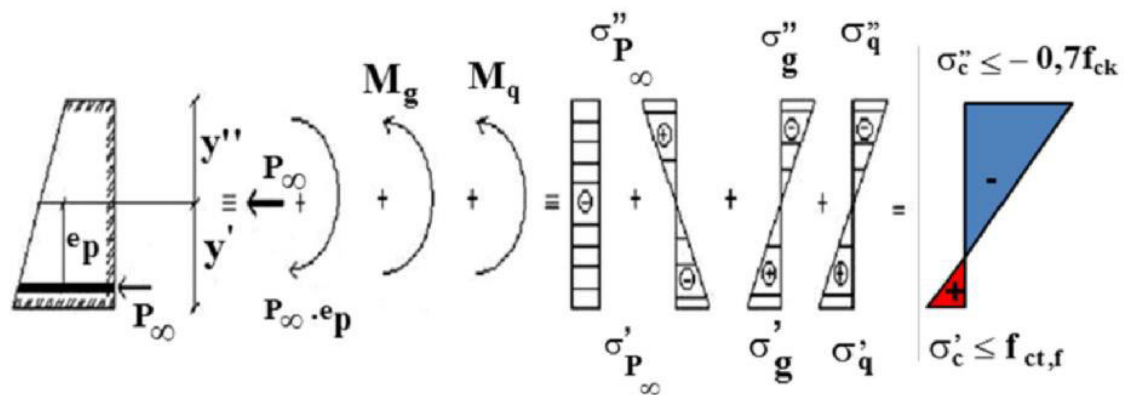
$$P_\infty \geq 4108,242 \text{ kN}$$

$$-\sigma'_{P_\infty} + \sigma''_{P_\infty} - \frac{M_{gk}}{W_{sup}} - \psi_1 \frac{M_{qk}}{W_{sup}} \leq 0,7 \cdot f_{ck}$$

$$-\frac{P_\infty}{1,1469} + \frac{P_\infty \cdot 0,93}{0,6731} - \frac{3513,529}{0,6731} - 0,5 \frac{2963,375}{0,6731} \leq 0,7 \times 40 \times 1000$$

$$P_\infty \leq 40370,254 \text{ kN}$$

### Combinação Rara → ELS - F



$$-\sigma'_{P_\infty} - \sigma''_{P_\infty} + \frac{M_{gk}}{W_{inf}} + \frac{M_{qk}}{W_{inf}} \leq f_{ct,t}$$

$$f_{ct,t} = \alpha \cdot 0,7 \cdot 0,3 \cdot f_{ck}^{2/3} \rightarrow \alpha = 1,3 \text{ para vigas de seção I}$$

$$f_{ct,t} = 1,3 \cdot 0,7 \cdot 0,3 \cdot 40^{2/3} = 3,193 \text{ MPa}$$

$$-\frac{P_\infty}{1,1469} - \frac{P_\infty \cdot 0,93}{0,3279} + \frac{3513,529}{0,3279} + \frac{2963,375}{0,3279} \leq 3,193 \times 1000$$

$$P_\infty \geq 4465,757 \text{ kN}$$

$$\sigma'_{P_\infty} + \sigma''_{P_\infty} - \frac{M_{gk}}{W_{sup}} - \frac{M_{qk}}{W_{sup}} \leq 0,7 \cdot f_{ck}$$

$$-\frac{P_\infty}{1,1469} + \frac{P_\infty \cdot 0,93}{0,6731} - \frac{3513,529}{0,6731} - \frac{2963,375}{0,6731} \leq 0,7 \times 40 \times 1000$$

$$P_\infty \leq 36051,895 \text{ kN}$$

Estima-se uma perda de protensão de  $\Delta = 40\%$

$$P_i = \frac{P_\infty}{1 - \Delta} = \frac{4465,757}{1 - 0,40} = 7442,928 \text{ kN}$$

$$3 \text{ cabos com } 13 \text{ cordoalhas } \Phi 15,2 \text{ mm} = 3 \times 2549,90 \rightarrow P_i = 7649,70 \text{ kN}$$

### 9.2. Dimensionamento da armadura ativa

Para o dimensionamento da protensão foi utilizado o aplicativo VPRO, segue memória de cálculo:



# Relatório:                      Viga

## protendida



16/10/2019 17:12:05

---

Cliente:

Obra:

Responsável técnico:

---

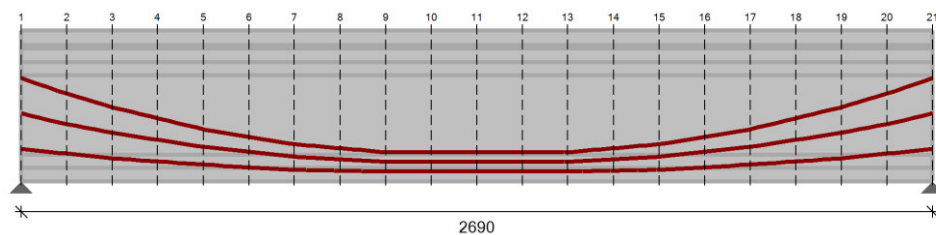
## Sumário

|                                                                       |    |
|-----------------------------------------------------------------------|----|
| <a href="#">Dados iniciais</a>                                        | 48 |
| <a href="#">Seção transversal</a>                                     | 49 |
| <a href="#">Ações consideradas</a>                                    | 51 |
| <a href="#">Combinações</a>                                           | 51 |
| <a href="#">Protensão</a>                                             | 52 |
| <a href="#">Esforços solicitantes</a>                                 | 53 |
| <a href="#">Estado limite de formação de fissura (ELS-F)</a>          | 55 |
| <a href="#">Estado limite de descompressão (ELS-D)</a>                | 56 |
| <a href="#">Estado limite de último no ato de protensão (ELU-ATO)</a> | 56 |

---

## Dados iniciais

Geometria:

**Concreto:**

$$f_{ck} = 40 \text{ MPa}$$

$$f_{ctm} = 3.51 \text{ MPa}$$

$$E_c = 31 \text{ GPa}$$

$$f_{cj} = 33 \text{ MPa}$$

$$f_{ctm,j} = 2.63 \text{ MPa}$$

$$E_{cj} = 25 \text{ GPa}$$

$$\gamma_c = 1.40$$

**Armadura ativa:**

$$f_{ptk} = 1900.00$$

$$f_{pyk} = 1710.00$$

$$E_p = 200 \text{ GPa}$$

$$\gamma_p = 1.15$$

**Armadura passiva:**

$$f_{yk} = 500.00$$

$$E_s = 210 \text{ GPa}$$

$$\gamma_s = 1.15$$

## Seção transversal

Tabela 1: Propriedades geométricas seção transversal (ATO de protensão)

| Seção | x (m) | h (m) | y <sub>i</sub> (m) | y <sub>s</sub> (m) | A <sub>c</sub> (m <sup>2</sup> ) | I <sub>c</sub> (m <sup>4</sup> ) | W <sub>i</sub> (m <sup>3</sup> ) | W <sub>s</sub> (m <sup>3</sup> ) |
|-------|-------|-------|--------------------|--------------------|----------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|
| 1     | 0     | 1.5   | 0.76393            | 0.73607            | 1.023                            | 0.21524                          | 0.28175                          | 0.29242                          |
| 2     | 1.345 | 1.5   | 0.77284            | 0.72716            | 0.624                            | 0.17771                          | 0.22994                          | 0.24438                          |
| 3     | 2.69  | 1.5   | 0.77284            | 0.72716            | 0.624                            | 0.17771                          | 0.22994                          | 0.24438                          |
| 4     | 4.035 | 1.5   | 0.77284            | 0.72716            | 0.624                            | 0.17771                          | 0.22994                          | 0.24438                          |
| 5     | 5.38  | 1.5   | 0.77284            | 0.72716            | 0.624                            | 0.17771                          | 0.22994                          | 0.24438                          |
| 6     | 6.725 | 1.5   | 0.77284            | 0.72716            | 0.624                            | 0.17771                          | 0.22994                          | 0.24438                          |

|    |        |     |         |         |       |         |         |         |
|----|--------|-----|---------|---------|-------|---------|---------|---------|
| 7  | 8.07   | 1.5 | 0.77284 | 0.72716 | 0.624 | 0.17771 | 0.22994 | 0.24438 |
| 8  | 9.415  | 1.5 | 0.77284 | 0.72716 | 0.624 | 0.17771 | 0.22994 | 0.24438 |
| 9  | 10.76  | 1.5 | 0.77284 | 0.72716 | 0.624 | 0.17771 | 0.22994 | 0.24438 |
| 10 | 12.105 | 1.5 | 0.77284 | 0.72716 | 0.624 | 0.17771 | 0.22994 | 0.24438 |
| 11 | 13.45  | 1.5 | 0.77284 | 0.72716 | 0.624 | 0.17771 | 0.22994 | 0.24438 |
| 12 | 14.795 | 1.5 | 0.77284 | 0.72716 | 0.624 | 0.17771 | 0.22994 | 0.24438 |
| 13 | 16.14  | 1.5 | 0.77284 | 0.72716 | 0.624 | 0.17771 | 0.22994 | 0.24438 |
| 14 | 17.485 | 1.5 | 0.77284 | 0.72716 | 0.624 | 0.17771 | 0.22994 | 0.24438 |
| 15 | 18.83  | 1.5 | 0.77284 | 0.72716 | 0.624 | 0.17771 | 0.22994 | 0.24438 |
| 16 | 20.175 | 1.5 | 0.77284 | 0.72716 | 0.624 | 0.17771 | 0.22994 | 0.24438 |
| 17 | 21.52  | 1.5 | 0.77284 | 0.72716 | 0.624 | 0.17771 | 0.22994 | 0.24438 |
| 18 | 22.865 | 1.5 | 0.77284 | 0.72716 | 0.624 | 0.17771 | 0.22994 | 0.24438 |
| 19 | 24.21  | 1.5 | 0.77284 | 0.72716 | 0.624 | 0.17771 | 0.22994 | 0.24438 |
| 20 | 25.555 | 1.5 | 0.77284 | 0.72716 | 0.624 | 0.17771 | 0.22994 | 0.24438 |
| 21 | 26.9   | 1.5 | 0.76393 | 0.73607 | 1.023 | 0.21524 | 0.28175 | 0.29242 |

x - abscissa da seção

h – altura da seção transversal

$y_i$  - distância do centro de gravidade da seção à fibra inferior

$y_s$  - distância do centro de gravidade da seção à fibra superior

$A_c$  - área da seção transversal

$I_c$  - momento de inércia seção transversal

$W_i$  - módulo resistente da seção em relação a fibra inferior

$W_s$  - módulo resistente da seção em relação a fibra superior

Tabela 1: Propriedades geométricas seção transversal (FASE FINAL)

| Seção | x (m)  | h (m) | $y_i$ (m) | $y_s$ (m) | $A_c$ (m <sup>2</sup> ) | $I_c$ (m <sup>4</sup> ) | $W_i$ (m <sup>3</sup> ) | $W_s$ (m <sup>3</sup> ) |
|-------|--------|-------|-----------|-----------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|
| 1     | 0      | 1.71  | 1.00241   | 0.70759   | 1.41955                 | 0.42469                 | 0.42367                 | 0.60018                 |
| 2     | 1.345  | 1.71  | 1.10109   | 0.60891   | 1.02055                 | 0.35192                 | 0.31961                 | 0.57795                 |
| 3     | 2.69   | 1.71  | 1.10109   | 0.60891   | 1.02055                 | 0.35192                 | 0.31961                 | 0.57795                 |
| 4     | 4.035  | 1.71  | 1.10109   | 0.60891   | 1.02055                 | 0.35192                 | 0.31961                 | 0.57795                 |
| 5     | 5.38   | 1.71  | 1.10109   | 0.60891   | 1.02055                 | 0.35192                 | 0.31961                 | 0.57795                 |
| 6     | 6.725  | 1.71  | 1.10109   | 0.60891   | 1.02055                 | 0.35192                 | 0.31961                 | 0.57795                 |
| 7     | 8.07   | 1.71  | 1.10109   | 0.60891   | 1.02055                 | 0.35192                 | 0.31961                 | 0.57795                 |
| 8     | 9.415  | 1.71  | 1.10109   | 0.60891   | 1.02055                 | 0.35192                 | 0.31961                 | 0.57795                 |
| 9     | 10.76  | 1.71  | 1.10109   | 0.60891   | 1.02055                 | 0.35192                 | 0.31961                 | 0.57795                 |
| 10    | 12.105 | 1.71  | 1.10109   | 0.60891   | 1.02055                 | 0.35192                 | 0.31961                 | 0.57795                 |
| 11    | 13.45  | 1.71  | 1.10109   | 0.60891   | 1.02055                 | 0.35192                 | 0.31961                 | 0.57795                 |
| 12    | 14.795 | 1.71  | 1.10109   | 0.60891   | 1.02055                 | 0.35192                 | 0.31961                 | 0.57795                 |
| 13    | 16.14  | 1.71  | 1.10109   | 0.60891   | 1.02055                 | 0.35192                 | 0.31961                 | 0.57795                 |
| 14    | 17.485 | 1.71  | 1.10109   | 0.60891   | 1.02055                 | 0.35192                 | 0.31961                 | 0.57795                 |

|    |        |      |         |         |         |         |         |         |
|----|--------|------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| 15 | 18.83  | 1.71 | 1.10109 | 0.60891 | 1.02055 | 0.35192 | 0.31961 | 0.57795 |
| 16 | 20.175 | 1.71 | 1.10109 | 0.60891 | 1.02055 | 0.35192 | 0.31961 | 0.57795 |
| 17 | 21.52  | 1.71 | 1.10109 | 0.60891 | 1.02055 | 0.35192 | 0.31961 | 0.57795 |
| 18 | 22.865 | 1.71 | 1.10109 | 0.60891 | 1.02055 | 0.35192 | 0.31961 | 0.57795 |
| 19 | 24.21  | 1.71 | 1.10109 | 0.60891 | 1.02055 | 0.35192 | 0.31961 | 0.57795 |
| 20 | 25.555 | 1.71 | 1.10109 | 0.60891 | 1.02055 | 0.35192 | 0.31961 | 0.57795 |
| 21 | 26.9   | 1.71 | 1.00241 | 0.70759 | 1.41955 | 0.42469 | 0.42367 | 0.60018 |

$x$  - abscissa da seção

$h$  - altura da seção transversal

$y_i$  - distância do centro de gravidade da seção à fibra inferior

$y_s$  - distância do centro de gravidade da seção à fibra superior

$A_c$  - área da seção transversal

$I_c$  - momento de inércia seção transversal

$W_i$  - módulo resistente da seção em relação a fibra inferior

$W_s$  - módulo resistente da seção em relação a fibra superior

## Ações consideradas

A tabela 1 apresenta os casos de carregamentos considerados, bem com os correspondentes coeficientes de ponderação e fatores de combinações das cargas variáveis.

Tabela 2: Casos de carregamentos considerados

| Caso                            | $\gamma_f$ | $\gamma_f$ (fav.) | $\psi_0$ | $\psi_1$ | $\psi_2$ |
|---------------------------------|------------|-------------------|----------|----------|----------|
| Peso próprio (G0)               | 1.35       | 1                 | -        | -        | -        |
| Hiperestático de protensão (HP) | 1.1        | 0.9               | -        | -        | -        |
| Permanente (G1)                 | 1.35       | 1                 | -        | -        | -        |
| Acidental (Q)                   | 1.5        | -                 | 0.7      | 0.5      | 0.3      |

$\gamma_f$  - coeficiente de ponderação para as ações

$\psi_0$  - fator de redução de combinação para ELU

$\psi_1$  - fator de redução de combinação frequente para ELS

$\psi_2$  - fator de redução de combinação quase permanente para ELS

## Combinações

A seguir são apresentadas as combinações de esforços solicitantes para os estados limites último e de serviço, obtidas de acordo com a NBR 8681.

### Combinações últimas das ações (ELU)

As combinações últimas normais são dadas pela seguinte expressão:

$$F_d = \sum_{i=1}^m \gamma_g F_{Gi,k} + \gamma_q \left( F_{Q1,k} + \sum_{j=2}^n \psi_{0j} F_{Qj,k} \right)$$

Onde:

$F_{G,k}$  é o valor característicos das ações permanentes;

$F_{Q1,k}$  é o valor característicos da ação variável admitida como principal;

$F_{Qj,k}$  é o valor característicos das ações variáveis secundárias.

### **Combinações de serviço das ações**

A seguir são definidas as combinações em serviço:

- Combinação quase permanente (CQPERM):  $F_{CQP} = \sum_{i=1}^m F_{Gi,k} + \sum_{j=1}^n \psi_{2j} F_{Qj,k}$

- Combinação frequente (CFREQ):  $F_{CF} = \sum_{i=1}^m F_{Gi,k} + \psi_1 F_{Q1,k} + \sum_{j=2}^n \psi_{2j} F_{Qj,k}$

- Combinação rara (CRARA):  $F_{CR} = \sum_{i=1}^m F_{Gi,k} + F_{Q1,k} + \sum_{j=2}^n \psi_{1j} F_{Qj,k}$

---

## **Protensão**

Tabela 3: Força e momento de protensão nos instantes  $T_0$  e  $T_\infty$

| Seção | x (m)  | P <sub>i</sub> (kN) | P <sub>o</sub> (kN) | MP <sub>o</sub> (kN.m) | P <sub>∞</sub> (kN) | MP <sub>∞</sub> (kN.m) |
|-------|--------|---------------------|---------------------|------------------------|---------------------|------------------------|
| 1     | 0      | 7056.00             | 6218.09             | 19.96                  | 5220.99             | 16.76                  |
| 2     | 1.345  | 7056.00             | 6208.10             | -760.48                | 4969.55             | -608.76                |
| 3     | 2.69   | 7056.00             | 6229.27             | -1398.06               | 4913.80             | -1102.83               |
| 4     | 4.035  | 7056.00             | 6248.98             | -1900.44               | 4869.29             | -1480.85               |
| 5     | 5.38   | 7056.00             | 6265.36             | -2403.98               | 4814.78             | -1847.40               |
| 6     | 6.725  | 7056.00             | 6284.14             | -2765.53               | 4781.93             | -2104.44               |
| 7     | 8.07   | 7056.00             | 6302.76             | -3129.83               | 4743.00             | -2355.28               |
| 8     | 9.415  | 7056.00             | 6328.30             | -3321.08               | 4738.77             | -2486.90               |
| 9     | 10.76  | 7056.00             | 6352.32             | -3512.78               | 4728.81             | -2614.99               |
| 10    | 12.105 | 7056.00             | 6385.12             | -3530.31               | 4756.60             | -2629.90               |
| 11    | 13.45  | 7056.00             | 6403.15             | -3540.29               | 4770.42             | -2637.56               |



x - abscissa da seção

$M_{CQP,max}$  – Momento fletor máximo para combinação quase permanente

$M_{CQP,min}$  – Momento fletor mínimo para combinação quase permanente

$M_{CF,max}$  – Momento fletor máximo para combinação frequente

$M_{CF,min}$  – Momento fletor mínimo para combinação frequente

$M_{CR,max}$  – Momento fletor máximo para combinação rara

$M_{CR,min}$  – Momento fletor mínimo para combinação rara

$M_{Sd,max}$  – Momento fletor máximo para combinação ELU

$M_{Sd,min}$  – Momento fletor mínimo para combinação ELU

Tabela 5: Esforço cortante combinações ELS e ELU (kN)

| Seção | x (m)  | $V_{CQP,max}$ | $V_{CQP,min}$ | $V_{CF,max}$ | $V_{CF,min}$ | $V_{CR,max}$ | $V_{CR,min}$ | $V_{Sd,max}$ | $V_{Sd,min}$ |
|-------|--------|---------------|---------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| 1     | 0      | 670.23        | 533.10        | 761.65       | 533.10       | 990.20       | 533.10       | 1405.34      | 533.10       |
| 2     | 1.345  | 596.72        | 468.32        | 681.25       | 467.26       | 892.59       | 464.60       | 1268.40      | 461.94       |
| 3     | 2.69   | 534.52        | 413.20        | 612.40       | 410.20       | 807.09       | 402.70       | 1147.98      | 395.19       |
| 4     | 4.035  | 472.66        | 356.86        | 544.11       | 351.11       | 722.74       | 336.74       | 1029.28      | 322.36       |
| 5     | 5.38   | 411.16        | 299.85        | 476.41       | 290.89       | 639.54       | 268.51       | 912.32       | 246.13       |
| 6     | 6.725  | 349.99        | 242.51        | 409.28       | 230.14       | 557.49       | 199.22       | 797.08       | 168.29       |
| 7     | 8.07   | 289.17        | 184.83        | 342.72       | 168.81       | 476.59       | 128.77       | 683.56       | 88.73        |
| 8     | 9.415  | 228.70        | 126.80        | 276.74       | 106.91       | 396.85       | 57.18        | 571.78       | 7.45         |
| 9     | 10.76  | 168.57        | 68.43         | 211.34       | 44.43        | 318.25       | -15.57       | 461.72       | -75.57       |
| 10    | 12.105 | 108.79        | 9.71          | 146.51       | -18.63       | 240.81       | -89.47       | 353.38       | -160.31      |
| 11    | 13.45  | 49.35         | -49.35        | 82.26        | -82.26       | 164.52       | -164.52      | 246.77       | -246.77      |
| 12    | 14.795 | -9.71         | -108.79       | 18.63        | -146.51      | 89.47        | -240.81      | 160.31       | -353.38      |
| 13    | 16.14  | -68.43        | -168.57       | -44.43       | -211.34      | 15.57        | -318.25      | 75.57        | -461.72      |
| 14    | 17.485 | -126.80       | -228.70       | -106.91      | -276.74      | -57.18       | -396.85      | -7.45        | -571.78      |
| 15    | 18.83  | -184.83       | -289.17       | -168.81      | -342.72      | -128.77      | -476.59      | -88.73       | -683.56      |
| 16    | 20.175 | -242.51       | -349.99       | -230.14      | -409.28      | -199.22      | -557.49      | -168.29      | -797.08      |
| 17    | 21.52  | -299.85       | -411.16       | -290.89      | -476.41      | -268.51      | -639.54      | -246.13      | -912.32      |
| 18    | 22.865 | -356.86       | -472.66       | -351.11      | -544.11      | -336.74      | -722.74      | -322.36      | -1029.28     |

|    |        |         |         |         |         |         |         |         |          |
|----|--------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|----------|
| 19 | 24.21  | -413.20 | -534.52 | -410.20 | -612.40 | -402.70 | -807.09 | -395.19 | -1147.98 |
| 20 | 25.555 | -468.32 | -596.72 | -467.26 | -681.25 | -464.60 | -892.59 | -461.94 | -1268.40 |
| 21 | 26.9   | -533.10 | -670.23 | -533.10 | -761.65 | -533.10 | -990.20 | -533.10 | -1405.34 |

x - abscissa da seção

$V_{CQP,max}$  – Esforço cortante máximo para combinação quase permanente

$V_{CQP,min}$  – Esforço cortante mínimo para combinação quase permanente

$V_{CF,max}$  – Esforço cortante máximo para combinação frequente

$V_{CF,min}$  – Esforço cortante mínimo para combinação frequente

$V_{CR,max}$  – Esforço cortante máximo para combinação rara

$V_{CR,min}$  – Esforço cortante mínimo para combinação rara

$V_{Sd,max}$  – Esforço cortante máximo para combinação ELU

$V_{Sd,min}$  – Esforço cortante mínimo para combinação ELU

## Estado limite de formação de fissura (ELS-F)

Tabela 6: Verificação ELS-F ( $\sigma_c \leq 2.95$  MPa)

| Seção | x (m)  | $\sigma_{c,min}$ (MPa) | $\sigma_{c,max}$ (MPa) |
|-------|--------|------------------------|------------------------|
| 1     | 0      | -5.16                  | -5.05                  |
| 2     | 1.345  | -8.19                  | -6.40                  |
| 3     | 2.69   | -8.10                  | -4.74                  |
| 4     | 4.035  | -7.77                  | -3.03                  |
| 5     | 5.38   | -7.63                  | -1.69                  |
| 6     | 6.725  | -7.68                  | -0.36                  |
| 7     | 8.07   | -7.62                  | 0.57                   |
| 8     | 9.415  | -7.89                  | 1.54                   |
| 9     | 10.76  | -7.93                  | 2.12                   |
| 10    | 12.105 | -8.27                  | 2.70                   |
| 11    | 13.45  | -8.39                  | 2.88                   |
| 12    | 14.795 | -8.27                  | 2.70                   |
| 13    | 16.14  | -7.93                  | 2.12                   |
| 14    | 17.485 | -7.89                  | 1.54                   |
| 15    | 18.83  | -7.62                  | 0.57                   |
| 16    | 20.175 | -7.68                  | -0.36                  |
| 17    | 21.52  | -7.63                  | -1.69                  |
| 18    | 22.865 | -7.77                  | -3.03                  |
| 19    | 24.21  | -8.10                  | -4.74                  |
| 20    | 25.555 | -8.19                  | -6.40                  |
| 21    | 26.9   | -5.16                  | -5.05                  |

$x$  - abscissa da seção

$\sigma_{c,min}$  - Tensão mínima nas fibras de concreto (negativo para compressão)

$\sigma_{c,max}$  - Tensão máxima nas fibras de concreto (negativo para compressão)

## Estado limite de descompressão (ELS-D)

Tabela 7: Verificação ELS-D ( $\sigma_c \leq 0$ )

| Seção | $x$ (m) | $\sigma_{c,min}$ (MPa) | $\sigma_{c,max}$ (MPa) |
|-------|---------|------------------------|------------------------|
| 1     | 0       | -5.16                  | -5.05                  |
| 2     | 1.345   | -8.19                  | -7.04                  |
| 3     | 2.69    | -8.10                  | -6.31                  |
| 4     | 4.035   | -7.77                  | -5.40                  |
| 5     | 5.38    | -7.63                  | -4.66                  |
| 6     | 6.725   | -7.30                  | -3.83                  |
| 7     | 8.07    | -7.18                  | -3.31                  |
| 8     | 9.415   | -6.85                  | -2.65                  |
| 9     | 10.76   | -6.75                  | -2.31                  |
| 10    | 12.105  | -6.61                  | -1.89                  |
| 11    | 13.45   | -6.71                  | -1.76                  |
| 12    | 14.795  | -6.61                  | -1.89                  |
| 13    | 16.14   | -6.75                  | -2.31                  |
| 14    | 17.485  | -6.85                  | -2.65                  |
| 15    | 18.83   | -7.18                  | -3.31                  |
| 16    | 20.175  | -7.30                  | -3.83                  |
| 17    | 21.52   | -7.63                  | -4.66                  |
| 18    | 22.865  | -7.77                  | -5.40                  |
| 19    | 24.21   | -8.10                  | -6.31                  |
| 20    | 25.555  | -8.19                  | -7.04                  |
| 21    | 26.9    | -5.16                  | -5.05                  |

$x$  - abscissa da seção

$\sigma_{c,min}$  - Tensão mínima nas fibras de concreto (negativo para compressão)

$\sigma_{c,max}$  - Tensão máxima nas fibras de concreto (negativo para compressão)

## Estado limite de último no ato de protensão (ELU-ATO)

Tabela 8: Verificação ELU-ATO ( $-23.1 \text{ MPa} \leq \sigma_c \leq 3.16 \text{ MPa}$ )

| Seção | $x$ (m) | $\sigma_{c,min}$ (MPa) | $\sigma_{c,max}$ (MPa) |
|-------|---------|------------------------|------------------------|
| 1     | 0       | -6.76                  | -6.61                  |
| 2     | 1.345   | -13.39                 | -8.64                  |
| 3     | 2.69    | -15.44                 | -6.78                  |
| 4     | 4.035   | -16.96                 | -5.42                  |
| 5     | 5.38    | -18.60                 | -3.93                  |
| 6     | 6.725   | -19.69                 | -2.97                  |

|    |        |        |       |
|----|--------|--------|-------|
| 7  | 8.07   | -20.91 | -1.89 |
| 8  | 9.415  | -21.44 | -1.48 |
| 9  | 10.76  | -22.09 | -0.95 |
| 10 | 12.105 | -22.05 | -1.10 |
| 11 | 13.45  | -22.06 | -1.15 |
| 12 | 14.795 | -22.05 | -1.10 |
| 13 | 16.14  | -22.09 | -0.95 |
| 14 | 17.485 | -21.44 | -1.48 |
| 15 | 18.83  | -20.91 | -1.89 |
| 16 | 20.175 | -19.69 | -2.97 |
| 17 | 21.52  | -18.60 | -3.93 |
| 18 | 22.865 | -16.96 | -5.42 |
| 19 | 24.21  | -15.44 | -6.78 |
| 20 | 25.555 | -13.39 | -8.64 |
| 21 | 26.9   | -6.76  | -6.61 |

x - abscissa da seção

$\sigma_{c,min}$  – Tensão mínima nas fibras de concreto (negativo para compressão)

$\sigma_{c,max}$  – Tensão máxima nas fibras de concreto (negativo para compressão)

| QUANTIDADE DE CABOS, BAINHAS E ANCORAGENS P/ 1 VIGA |                     |            |                  |       |                     |                     |                   |
|-----------------------------------------------------|---------------------|------------|------------------|-------|---------------------|---------------------|-------------------|
| CABO                                                | QUANTIDADE POR VIGA | CORDOALHAS | COMPRIMENTOS (m) |       | FORÇA DE PROT. (kN) | ALONG. DO CABO (mm) | PESO DO CABO (kg) |
|                                                     |                     |            | BAINHA           | CABO  |                     |                     |                   |
| C.1                                                 | 1                   | 12 Ø15.2   | 27.22            | 29.52 | 2352                | 170                 | 398.8             |
| C.2                                                 | 1                   | 12 Ø15.2   | 27.27            | 29.57 | 2352                | 170                 | 399.6             |
| C.3                                                 | 1                   | 12 Ø15.2   | 27.36            | 29.66 | 2352                | 171                 | 400.8             |

|                                   |        |
|-----------------------------------|--------|
| Comprimento total dos cabos (m)   | 88.75  |
| Peso total dos cabos (kg)         | 1199.2 |
| Comprimento total das bainhas (m) | 81.9   |
| Ancoragens ativas (unidades)      | 6      |

### 9.3. Armadura passiva

Resultados obtidos pelo VPRO:

- Armadura Longitudinal

**Armadura longitudinal (Detalhamento)**

|   | Armadura                | n barras | $\phi$ (mm) | As,det (cm <sup>2</sup> ) | As,nec (cm <sup>2</sup> ) |
|---|-------------------------|----------|-------------|---------------------------|---------------------------|
| ► | Armadura superior       | 4        | 10.0        | 3.120                     | 0.000                     |
|   | Armadura inferior       | 4        | 25.0        | 19.640                    | 0.000                     |
|   | Armadura de pele        | 8        | 10.0        | 6.240                     | 6.240                     |
|   | Grampo (Apoio esquerdo) | 9        | 12.5        | 22.140                    | 21.445                    |
|   | Grampo (Apoio direito)  | 9        | 12.5        | 22.140                    | 21.445                    |

Cancelar Ok

- Armadura transversal

**Armadura transversal (Detalhamento)**

+ -

|   | Faixa | x1 (cm) | x2 (cm) | Tipo   | Ramos | $\phi$ (mm) | c / (cm) | Asw,det (cm <sup>2</sup> /m) | Asw,nec (cm <sup>2</sup> /m) |
|---|-------|---------|---------|--------|-------|-------------|----------|------------------------------|------------------------------|
| ► | 1     | -30     | 120     | Normal | 4     | 10.0        | 9        | 34.667                       | 31.531                       |
|   | 2     | 120     | 269     | Normal | 2     | 8.0         | 12       | 8.333                        | 7.796                        |
|   | 3     | 269     | 2421    | Normal | 2     | 8.0         | 15       | 6.667                        | 5.839                        |
|   | 4     | 2421    | 2570    | Normal | 2     | 8.0         | 12       | 8.333                        | 7.796                        |
|   | 5     | 2570    | 2720    | Normal | 4     | 10.0        | 9        | 34.667                       | 31.531                       |

Cancelar Ok

- Quantitativo por viga

| RESUMO DA ARMAÇÃO |                    |               |               |      |
|-------------------|--------------------|---------------|---------------|------|
| BIT.<br>(mm)      | COMPR.<br>TOTAL(m) | PESO<br>UNIT. | PESO<br>TOTAL | TIPO |
| 8                 | 1284.52            | 0.40          | 507,38        | CA50 |
| 10                | 864.02             | 0.62          | 533.10        | CA50 |
| 12.5              | 41.58              | 0.96          | 40.04         | CA50 |
| 20                | 12.76              | 2.47          | 31.47         | CA50 |
| 25                | 123.46             | 3.85          | 475.69        | CA50 |
| PESO TOTAL        |                    |               | 1587.68 kg    |      |

|                                |                       |
|--------------------------------|-----------------------|
| Volume total:                  | 18.065 m <sup>3</sup> |
| Peso parcial:                  | 43356.3 kg            |
| Peso total:                    | 44944.0 kg            |
| Resistência de projeto (fck):  | 40 MPa                |
| Resistência de manuseio (fcj): | 35 MPa                |
| Cobrimento das armaduras:      | 25 mm                 |

#### 9.4. Estado limite de deformação excessiva

Calcula-se o carregamento para o estado limite de deformação excessiva, utilizando a combinação quase-permanente, obtido pelo aplicativo VPRO, para a seção 10, meio do vão:

$$M_{CQP,máx} = 4402,95 \text{ kN.m}$$

$$M_{P\infty} = -2629,90 \text{ kN.m}$$

$$M_{CQP} = 4402,95 - 2629,90 = 1773,05 \text{ kN.m}$$

- Momento de fissuração:

$$M_r = \frac{\alpha \cdot f_{ct} \cdot I_c}{y_t} = \frac{1,2 \cdot 3509 \cdot 0,3607}{1,1046} = 1374,94 \text{ kNm}$$

Onde  $\alpha = 1,2$  para seção T e  $f_{ct} = f_{ct,m}$  (deformação excessiva)

Como o momento de fissuração é menor que o momento no vão, a viga encontra-se no estágio II, portanto, será calculada a flecha considerando a seção fissurada.

- Flecha fissurada

$$\alpha_e = \frac{E_s}{E_{cs}} = \frac{210}{28,688} = 7,32$$

$$x_{II} = \frac{\alpha_e \cdot A_s}{b_w} \cdot \left( -1 + \sqrt{1 + \frac{2 \cdot b_w \cdot d}{\alpha_e \cdot A_s}} \right)$$

$$x_{II} = \frac{7,32 \cdot 19,64}{215} \cdot \left( -1 + \sqrt{1 + \frac{2 \cdot 215 \cdot 166}{7,32 \cdot 19,69}} \right) \rightarrow x_{II} = 14,263 \text{ cm} < h_{laje}$$

- Inércia Fissurada

$$I_{II} = \frac{b_w \cdot x_{II}^3}{3} + \alpha_e \cdot A_s \cdot (d - x_{II})^2 = \frac{215 \cdot 14,263^3}{3} + 7,32 \cdot 19,69 \cdot (166 - 14,263)^2$$

$$I_{II} = 3526469,603 \text{ cm}^4 \rightarrow I_{II} = 0,0353 \text{ m}^4$$

- Rigidez Equivalente

$$(EI)_{eq,t0} = E_{cs} \left\{ \left( \frac{M_r}{M_a} \right)^3 I_c + \left[ 1 - \left( \frac{M_r}{M_a} \right)^3 \right] I_{II} \right\} \leq E_{cs} I_c$$

$$E_{cs} I_c = 28,688 \times 10^6 \times 0,3607 = 1,035 \times 10^7 \text{ kN.m}^2$$

$$(EI)_{eq,t0} = 28,688 \times 10^6 \left\{ \left( \frac{1374,94}{1773,05} \right)^3 0,3607 + \left[ 1 - \left( \frac{1374,94}{1773,05} \right)^3 \right] 0,0353 \right\} \leq E_{cs} I_c$$

$$(EI)_{eq,t0} = 5,365 \times 10^6 \text{ kN.m}^2$$

- Carregamento equivalente

$$q_{eq} = \frac{8M}{l^2} = \frac{8 \times 1773,05}{26,9^2} \rightarrow q_{eq} = 19,602 \text{ kN/m}$$

- Flecha fissurada

$$f_{fiss} = \frac{5ql^4}{384(EI)_{eq,t0}} = \frac{5 \times 19,602 \times 26,90^4}{384 \times 5,365 \times 10^6} \rightarrow f_{fiss} = 0,0249 \text{ m} \rightarrow f_{fiss} = 2,49 \text{ cm}$$

- Flecha deferida

$$f_{def} = (1 + \alpha_f) f_{fiss}$$

$$\alpha_f = \frac{\Delta\xi}{1 + 50p'}$$

$$p' = \frac{As'}{bd} = \frac{3,12}{215 \times 166} \rightarrow p' = 8,742 \times 10^{-5}$$

$$\Delta\xi = \xi(t) - \xi(t_0) = 2 - 0,68 \rightarrow \Delta\xi = 1,38 \text{ para } \xi(t) \geq 70 \text{ meses e } \xi(t_0) = 1 \text{ mês}$$

$$\alpha_f = \frac{1,38}{1 + 50 \times 8,742 \times 10^5} \rightarrow \alpha_f = 1,317$$

$$f_{def} = (1 + 1,317) \times 2,49 \rightarrow f_{def} = 5,77 \text{ cm}$$

- Flecha admissível

$$f_{adm} = \frac{L}{250} = \frac{2690}{250} \rightarrow f_{adm} = 10,76 \text{ cm}$$

$$f_{def} \leq f_{adm} \rightarrow 5,77 \text{ cm} < 10,76 \text{ cm} - \text{OK}$$

## 10. Cálculo das Lajes

O cálculo das lajes se dá com o auxílio das tabelas de Rüsch (1965), obtidas a partir da metodologia de superfícies de influência. Para este projeto, considerando a simetria da estrutura, dividir-se-á o dimensionamento à flexão das lajes, expostas na Figura 25, em dois grupos de lajes.

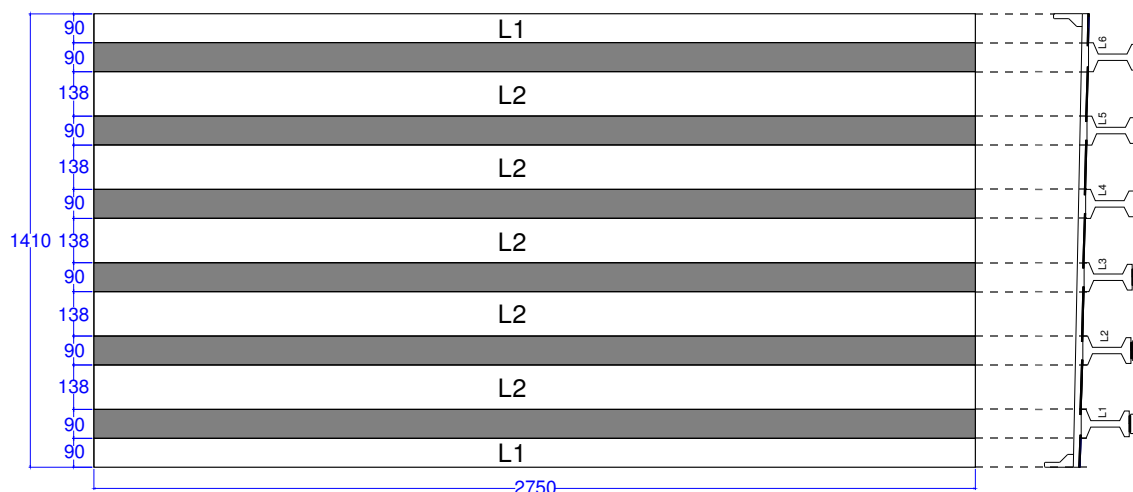


Figura 25 - Vista do tabuleiro com a identificação das lajes

$$\phi_{m\acute{a}x} = \frac{h}{8} = \frac{17}{8} = 2,125 \text{ cm} \rightarrow \phi_{m\acute{a}x} = 20 \text{ mm}$$

$$S_{m\acute{a}x} \leq \begin{cases} 20 \text{ cm} \\ 2 \cdot h = 2 \cdot 17 = 34 \text{ cm} \end{cases} \rightarrow S_{m\acute{a}x} = 20 \text{ cm}$$

### 10.1. Laje em balanço L1

$$d = h - c - \phi/2 = 17 - 2 - 1/2 \rightarrow d = 14,5 \text{ cm}$$

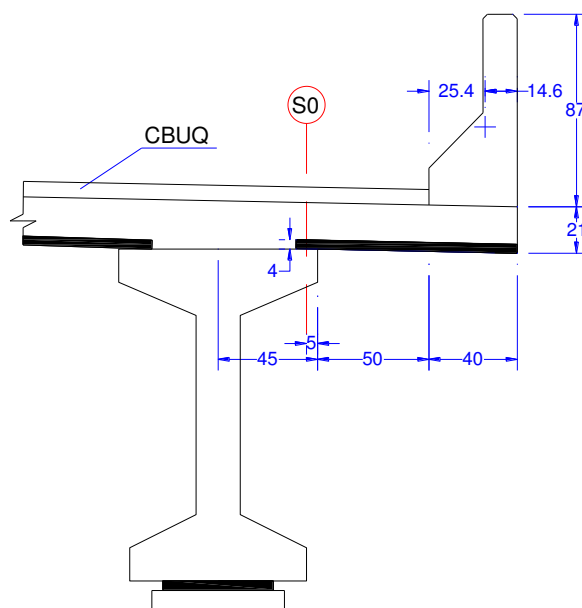


Figura 26 - Seção transversal laje em balanço

O vão efetivo considerado será:

$$a_1 = Menor(t_1/2; 0,3.h) = Menor(45/2; 0,3.17) = Menor(22,5; 5)$$

$$a_1 = 5 \text{ cm}$$

$$l_{ef} = 90 + 5 \rightarrow l_{ef} = 95 \text{ cm (Seção S0)}$$

- Peso próprio da laje:

$$g_1 = 0,95 \times 0,21 \times 25 = 4.99 \text{ kN/m}$$

- Peso próprio do pavimento e recapeamento:

$$g_2 = 0,55 \times 0,07 \times 24 + 2 \times 1 = 2,92 \text{ kN/m}$$

- Peso próprio da barreira:

$$G_1 = 6,375 \times 1 = 6,375 \text{ kN}$$

- Momento permanente característico na seção S0:

$$M_{g,k} = 4,99 \times 0,95 \times 0,475 + 2,92 \times 0,55 \times 0,275 + 6,375 \times 0,804$$

$$M_{q,k} = 7,82 \text{ kNm/m}$$

$$V_{g,k} = (4,99 + 2,92) \cdot 1 + 6,375 = 14,285 \text{ kN}$$

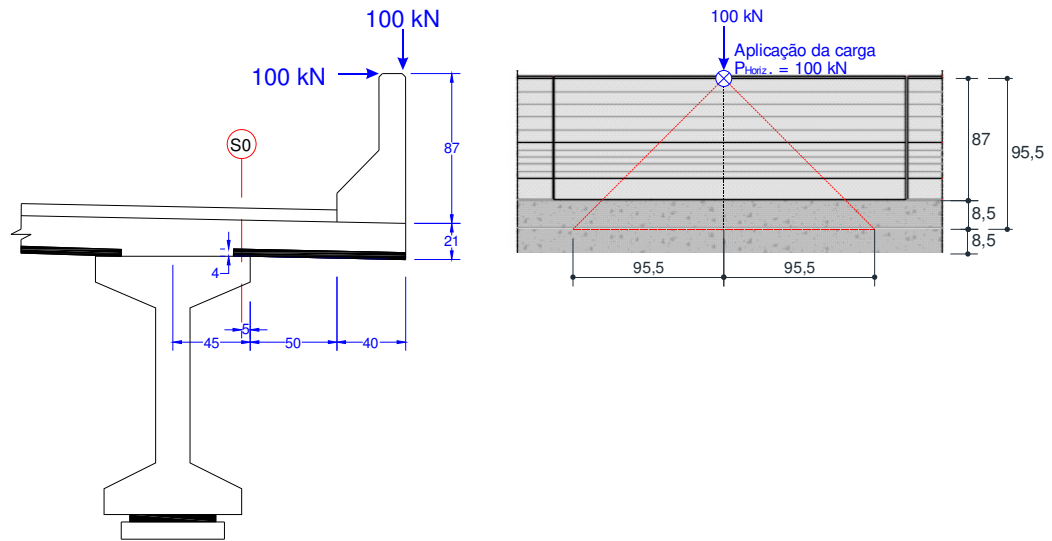
- Momento accidental característico na seção S0:

$$M_{q.k} = 5 \times 0,55 \times 0,275 = 0,76 \text{ kNm/m (carga distribuída)}$$

$$M_{q,k} = 75 \times 0,05 = 3,75 \text{ kNm/m (carga concentrada)}$$

$$V_{q,k} = 75 \text{ kN}$$

- Carregamento excepcional, colisão de veículo na barreira:



$$M_{q,exc} = \frac{100 \times 0,955}{2 \times 0,955} + \frac{100}{2 \times 0,955} \times 0,95 = 99,74 \text{ kNm/m}$$

$$V_{q,exc} = 100 \text{ kN}$$

$CIV = 1,35$  para vãos menores que 10 m

- Armadura flexão das lajes do balanço (combinação normal)



- Armadura flexão das lajes do balanço (combinação excepcional)

|                                     |          |                    |                 |  |  |  |
|-------------------------------------|----------|--------------------|-----------------|--|--|--|
| Concreto                            |          |                    |                 |  |  |  |
| fck =                               | 30       | MPa                |                 |  |  |  |
| γc =                                | 1,2      | (NBR 6118)         |                 |  |  |  |
| fcd =                               | 2,50     | kN/cm <sup>2</sup> |                 |  |  |  |
| λ =                                 | 0,8      |                    |                 |  |  |  |
| αc =                                | 0,85     |                    |                 |  |  |  |
| fctk,sup =                          | 3,765    | MPa                |                 |  |  |  |
| fctk,inf =                          | 2,028    | MPa                |                 |  |  |  |
|                                     |          |                    |                 |  |  |  |
| Aço                                 |          |                    |                 |  |  |  |
| fyk =                               | 500      | MPa                |                 |  |  |  |
| γs =                                | 1        | (NBR 6118)         |                 |  |  |  |
| fcd =                               | 50,00    | kN/cm <sup>2</sup> |                 |  |  |  |
|                                     |          |                    |                 |  |  |  |
| <b>Laje em Balanço S0</b>           |          |                    |                 |  |  |  |
| Colisão de veículo                  |          |                    | Armadura mínima |  |  |  |
| Mxe-,gk =                           | 7,82     | kNm/m              |                 |  |  |  |
| Mxe-,qk =                           | 99,74    | kNm/m              |                 |  |  |  |
| γg =                                | 1,2      | (NBR 6118)         |                 |  |  |  |
| γq =                                | 1        |                    |                 |  |  |  |
|                                     |          |                    |                 |  |  |  |
| <b>Armadura negativa direção x:</b> |          |                    |                 |  |  |  |
|                                     |          |                    |                 |  |  |  |
|                                     |          |                    |                 |  |  |  |
| Md,xe =                             | 109,12   | kNm/m              |                 |  |  |  |
|                                     |          |                    |                 |  |  |  |
| h =                                 | 17       | cm                 |                 |  |  |  |
| d =                                 | 14,2     | cm                 |                 |  |  |  |
| bw =                                | 100      | cm                 |                 |  |  |  |
| kc =                                | 0,254674 |                    |                 |  |  |  |
| kx =                                | 0,374418 |                    |                 |  |  |  |
| kz =                                | 0,850233 |                    |                 |  |  |  |
|                                     |          |                    |                 |  |  |  |
| As-,x =                             | 18,08    | cm <sup>2</sup> /m |                 |  |  |  |

- Armadura de cisalhamento

De acordo com a NBR 6118:2014, seção 19.4.1 Lajes sem armadura para força cortante, as lajes maciças podem prescindir de armadura transversal para resistir as forças de tração oriundas da força cortante, quando a força de cálculo, a uma distância d da face do apoio, obedecer à expressão:

$$V_{sd} \leq V_{Rd1} = \tau_{Rd} \cdot k \cdot (1,2 + 40 \cdot \rho_1) \cdot b_w \cdot d$$

$\tau_{Rd} = 0,25 \cdot f_{ctd}$  é a tensão cisalhante resistente de cálculo do concreto ao cisalhamento;

$$f_{ctd} = \frac{f_{ctk,inf}}{\gamma_c}$$

$k = |1,6 - d| \leq |1|$  é um coeficiente função da altura útil (d em metros);

$\rho_1 = \frac{A_{s1}}{b_w \cdot d} \leq |0,02|$  é a taxa da armadura de tração que se estende até não menos

que  $d + l_{b,nec}$  além da seção considerada.

## 10.2. Laje entre vigas (L2)

O vão efetivo transversal considerado será:

$$a_1 = a_2 = Menor \left( t_1/2; 0,3 \cdot h \right) = Menor \left( 45/2; 0,3 \cdot 17 \right) = Menor (22,5; 5)$$

$$a_1 = a_2 = 5 \text{ cm}$$

$$l_{ef} = 138 + 5 + 5 \rightarrow l_{ef} = 148 \text{ cm}$$

O vão efetivo longitudinal considerado será:

$$a_1 = a_2 = Menor \left( t_1/2; 0,3 \cdot h \right) = Menor \left( 20/2; 0,3 \cdot 17 \right) = Menor (10; 5)$$

$$a_1 = a_2 = 5 \text{ cm}$$

$$l_{ef} = 2690 + 5 + 5 \rightarrow l_{ef} = 2700 \text{ cm}$$

- Peso próprio da laje:

$$g_1 = 0,21 \times 25 = 5,25 \text{ kN/m}^2$$

- Peso próprio do pavimento e recapeamento:

$$g_2 = 0,07 \times 24 + 2 \times 1 = 3,68 \text{ kN/m}^2$$

- Carregamento permanente:

$$g = 5,25 + 3,68 = 8,93 \text{ kN/m}^2$$

$CIV = 1,35$  para vãos menores que 10 m (laje considerada armada em uma direção)

O cálculo da laje foi feito utilizando o aplicativo TRüsch 1.0, calculando a laje como totalmente apoiada e posteriormente engastada entre lajes (acima das longarinas) e apoiada nas transversinas, para então calcular o momento positivo no centro da laje e nos apoios engastados conforme MARCHETTI 2008, por engastamento elástico onde:

$$M_{\text{corrigido}} = 0,4 \cdot M_{\text{apoiada}} + 0,6 \cdot M_{\text{engastado}}$$

$$t' = \sqrt{0,2 \cdot b} = \sqrt{0,2 \cdot 0,5} = 0,316$$

$$t = t' + 2 \cdot e + h = 0,316 + 2 \cdot 0,07 + 0,17 = 0,626$$

$CIV = 1,35$  para vãos menores que 10 m (laje considerada armada em uma direção)

- Laje totalmente apoiada (Anexo 1)

Carga permanente:

$$M_{xm,gk} = 1,96 \text{ kN.m/m}$$

$$M_{ym,gk} = 0,65 \text{ kN.m/m}$$

Carga accidental:

$$M_{xm,qk} = 22,48 \text{ kN.m/m}$$

$$M_{ym,qk} = 11,84 \text{ kN.m/m}$$

- Laje engastada nas laterais em cima das longarinas (Anexo 2)

Carga permanente:

$$M_{xm,gk} = 0,82 \text{ kN.m/m}$$

$$M_{ym,gk} = 0,13 \text{ kN.m/m}$$

$$M_{xe,gk} = -1,63 \text{ kN.m/m}$$

Carga accidental:

$$M_{xm,qk} = 9,46 \text{ kN.m/m}$$

$$M_{ym,qk} = 6,61 \text{ kN.m/m}$$

$$M_{xe,qk} = -21,23 \text{ kN.m/m}$$

Engastamento elástico:

$$M_{xm,gk} = 0,4 \times 1,96 + 0,6 \times 0,82 = 1,28 \text{ kN.m/m}$$

$$M_{ym,gk} = 0,4 \times 0,65 + 0,6 \times 0,13 = 0,34 \text{ kN.m/m}$$

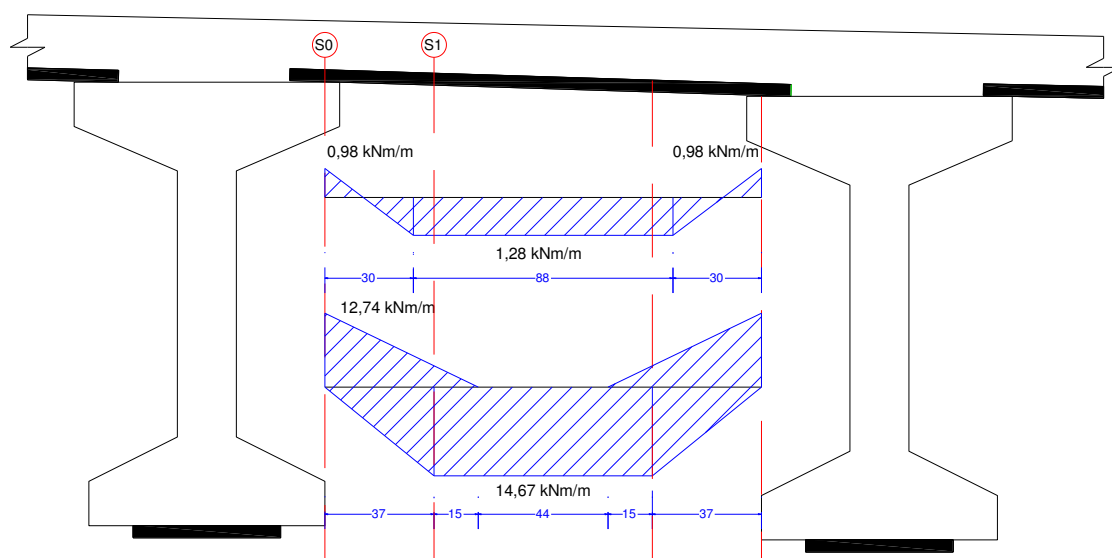
$$M_{xe,gk} = -0,6 \times 1,63 = -0,98 \text{ kN.m/m}$$

$$M_{xm,qk} = 0,4 \times 22,48 + 0,6 \times 9,46 = 14,67 \text{ kN.m/m}$$

$$M_{ym,qk} = 0,4 \times 11,84 + 0,6 \times 6,61 = 8,70 \text{ kN.m/m}$$

$$M_{xe,qk} = -0,6 \times 21,23 = -12,74 \text{ kN.m/m}$$

Armadura na direção x:





## Seção S1 – Armadura de flexão positiva

|                                         |                  |  |                                     |                  |  |                                     |                  |  |  |
|-----------------------------------------|------------------|--|-------------------------------------|------------------|--|-------------------------------------|------------------|--|--|
| Concreto                                |                  |  | Aço                                 |                  |  |                                     |                  |  |  |
| fck =                                   | 30 MPa           |  | fyk =                               | 500 MPa          |  |                                     |                  |  |  |
| Yc =                                    | 1,4              |  | Ys =                                | 1,15             |  |                                     |                  |  |  |
| fcd =                                   | 2,14 kN/cm²      |  | fcd =                               | 43,48 kN/cm²     |  |                                     |                  |  |  |
| λ =                                     | 0,8              |  | Δ <sub>fsd,fad</sub> =              | 85 MPa           |  |                                     |                  |  |  |
| αc =                                    | 0,85             |  |                                     |                  |  |                                     |                  |  |  |
| fctk,sup =                              | 3,765 MPa        |  |                                     |                  |  |                                     |                  |  |  |
| fctk,inf =                              | 2,028 MPa        |  |                                     |                  |  |                                     |                  |  |  |
|                                         |                  |  |                                     |                  |  |                                     |                  |  |  |
| <b>Laje entre longarinas - Seção S1</b> |                  |  |                                     |                  |  |                                     |                  |  |  |
| Mxm+,gk =                               | 1,28 kNm/m       |  | <b>Armadura positiva direção x:</b> |                  |  | <b>Armadura positiva direção y:</b> |                  |  |  |
| Mxm+,qk =                               | 18,84 kNm/m      |  | 5 m das extremidades com CIA        |                  |  | Mxm+,gk =                           | 0,34 kNm/m       |  |  |
| Mxm-,qk =                               | 4,76 kNm/m       |  | Md,xe =                             | 37,05 kNm/m      |  | Mxm+,qk =                           | 13,43 kNm/m      |  |  |
| Yg=                                     | 1,35             |  |                                     |                  |  | Yg=                                 | 1,35             |  |  |
| Yq=                                     | 1,5              |  | kc =                                | 0,07751419       |  | Yq=                                 | 1,5              |  |  |
| CIA =                                   | 1,25             |  | kx =                                | 0,10097077       |  | CIA =                               | 1,25             |  |  |
|                                         |                  |  | kz =                                | 0,959612         |  |                                     |                  |  |  |
| <b>Armadura positiva direção x:</b>     |                  |  |                                     |                  |  | Md,xe =                             | 20,60 kNm/m      |  |  |
|                                         |                  |  | As+,x =                             | 5,48 cm²/m       |  |                                     |                  |  |  |
| Md,xe =                                 | 29,99 kNm/m      |  |                                     |                  |  | h =                                 | 17 cm            |  |  |
|                                         |                  |  | Armadura mínima                     |                  |  | d =                                 | 14,6 cm          |  |  |
| h =                                     | 17 cm            |  |                                     |                  |  | bw =                                | 100 cm           |  |  |
| d =                                     | 16,2 cm          |  | Asmin =                             | 2,55 cm²/m       |  | kc =                                | 0,05638488       |  |  |
| bw =                                    | 100 cm           |  |                                     |                  |  | kx =                                | 0,07258874       |  |  |
| kc =                                    | 0,06273434       |  | As+,x =                             | 15,76 cm²/m      |  | kz =                                | 0,9709645        |  |  |
| kx =                                    | 0,08104526       |  | Até 5 m das extremidades            |                  |  |                                     |                  |  |  |
| kz =                                    | 0,9675819        |  |                                     |                  |  | As+,y =                             | 3,34 cm²/m       |  |  |
|                                         |                  |  | Verificação da fadiga               |                  |  |                                     |                  |  |  |
| As-,x =                                 | 4,40 cm²/m       |  | ψ1 =                                | 0,8              |  | Armadura mínima                     |                  |  |  |
|                                         |                  |  | M1 =                                | 20,12 kN.m/m     |  |                                     |                  |  |  |
| Armadura mínima                         |                  |  | M2 =                                | -3,48 kN.m/m     |  | W0 =                                | 4816,66667 cm³   |  |  |
|                                         |                  |  |                                     |                  |  | M <sub>d,min</sub> <sup>[-]</sup> = | 1450,94 kN.cm    |  |  |
| W0 =                                    | 4816,66667 cm³   |  | Δσ <sub>s</sub> =                   | 106.250,00 kN/m² |  |                                     |                  |  |  |
| M <sub>d,min</sub> <sup>[-]</sup> =     | 1450,94 kN.cm    |  | α <sub>fad</sub> =                  | 1,250            |  | kc =                                | 0,03737067       |  |  |
| kc =                                    | 0,03035334       |  |                                     |                  |  | kx =                                | 0,04762041       |  |  |
| kx =                                    | 0,03853568       |  | As+,x,fad =                         | 19,70 cm²/m      |  | kz =                                | 0,98095183       |  |  |
| kz =                                    | 0,98458573       |  | Φ 16 cd 10 cm - 20,11 cm²/m         |                  |  | As,Mdmin =                          | 2,33 cm²         |  |  |
|                                         |                  |  |                                     |                  |  | Ac =                                | 1700 cm²         |  |  |
| As,Mdmin =                              | 2,09 cm²         |  | <b>Armadura negativa direção x:</b> |                  |  | ρmín =                              | 0,150 %          |  |  |
| Ac =                                    | 1700 cm²         |  |                                     |                  |  |                                     |                  |  |  |
| ρmín =                                  | 0,150 %          |  | ρmín =                              | 0,150 %          |  | Asmin =                             | 2,55 cm²/m       |  |  |
|                                         |                  |  | Asmin =                             | 2,55 cm²/m       |  |                                     |                  |  |  |
| Asmin =                                 | 2,55 cm²/m       |  |                                     |                  |  | As+,y =                             | 3,34 cm²/m       |  |  |
|                                         |                  |  | As-,x =                             | 2,55 cm²/m       |  |                                     |                  |  |  |
| As+,x =                                 | 4,40 cm²/m       |  | Φ 6,3 cd 10 cm - 3,15 cm²/m         |                  |  | Verificação da fadiga               |                  |  |  |
|                                         |                  |  |                                     |                  |  | ψ1 =                                | 0,8              |  |  |
| Verificação da fadiga                   |                  |  | <b>Armadura negativa direção y:</b> |                  |  | M1 =                                | 11,08 kN.m/m     |  |  |
| ψ1 =                                    | 0,8              |  |                                     |                  |  | M2 =                                | 0,34 kN.m/m      |  |  |
| M1 =                                    | 16,35 kN.m/m     |  | Armadura mínima                     |                  |  |                                     |                  |  |  |
| M2 =                                    | -2,53 kN.m/m     |  |                                     |                  |  | Δσ <sub>s</sub> =                   | 253.029,25 kN/m² |  |  |
|                                         |                  |  | As-,y =                             | 2,55 cm²/m       |  | α <sub>fad</sub> =                  | 2,977            |  |  |
| Δσ <sub>s</sub> =                       | 304.467,64 kN/m² |  | Φ 6,3 cd 10 cm - 3,15 cm²/m         |                  |  |                                     |                  |  |  |
| α <sub>fad</sub> =                      | 3,582            |  |                                     |                  |  | As+,y,fad =                         | 9,95 cm²/m       |  |  |
|                                         |                  |  |                                     |                  |  | Φ16 cd 20 cm - 10,05 cm²/m          |                  |  |  |
| As+,x,fad =                             | 15,76 cm²/m      |  |                                     |                  |  |                                     |                  |  |  |
| Φ16 cd 12 cm - 16,76 cm²/m              |                  |  |                                     |                  |  |                                     |                  |  |  |

### 10.3. Dimensionamento da pré-laje

$$11. \phi_{m\acute{a}x} = \frac{h}{8} = \frac{4}{8} = 0,5 \text{ cm} \rightarrow \phi_{m\acute{a}x} = 5 \text{ mm}$$

$$12. S_{m\acute{a}x} \leq \begin{cases} 20 \text{ cm} \\ 2 \cdot h = 2 \cdot 4 = 8 \text{ cm} \end{cases} \rightarrow S_{m\acute{a}x} = 8 \text{ cm}$$

- Peso próprio da pré-laje:

$$g_1 = 0,04 \times 1,00 \times 25 = 1,00 \text{ kN/m}$$

- Peso próprio da capa:

$$g_2 = 0,17 \times 1,00 \times 25 = 4,25 \text{ kN/m}$$

- Carregamento permanente:

$$g = 1,00 + 4,25 = 5,25 \text{ kN/m}$$

- Carregamento de trabalho considerando 1 pessoa de 80 kg (0,8 kN) sobre a pré-laje.

$$P = 0,8 \text{ kN}$$

- Esforços devido a carga permanente, laje considerada bi-apoiada nas longarinas:

$$M_{m\acute{a}x} = \frac{5,25 \times 1,48^2}{8} = 1,43 \text{ kN.m}$$

$$V_{apoios} = \frac{5,25 \times 1,48}{2} = 3,89 \text{ kN}$$

- Esforços devido a carga accidental:

$$M_{m\acute{a}x} = \frac{0,8 \times 1,48}{4} = 0,30 \text{ kN.m (posicionado no meio do vão)}$$

$$V_{apoios} = 0,8 \text{ kN (posicionado próximo ao apoio)}$$

|                                     |                         |  |                                                                  |                              |  |
|-------------------------------------|-------------------------|--|------------------------------------------------------------------|------------------------------|--|
| Concreto                            |                         |  | Aço                                                              |                              |  |
| $f_{ck} =$                          | 40 MPa                  |  | $f_{yk} =$                                                       | 600 MPa                      |  |
| $\gamma_c =$                        | 1,2                     |  | $\gamma_s =$                                                     | 1,15                         |  |
| $f_{cd} =$                          | 3,33 kN/cm <sup>2</sup> |  | $f_{cd} =$                                                       | 52,17 kN/cm <sup>2</sup>     |  |
| $\lambda =$                         | 0,8                     |  | $\Delta_{f_{sd}, f_{ad}} =$                                      | 85 MPa                       |  |
| $\alpha_c =$                        | 0,85                    |  |                                                                  |                              |  |
| $f_{ctk, sup} =$                    | 4,561 MPa               |  |                                                                  |                              |  |
| $f_{ctk, inf} =$                    | 2,456 MPa               |  |                                                                  |                              |  |
|                                     |                         |  |                                                                  |                              |  |
| <b>Pré-laje - meio do vão</b>       |                         |  |                                                                  |                              |  |
| $M_{xm+, gk} =$                     | 1,43 kNm/m              |  | Armadura mínima                                                  |                              |  |
| $M_{xm+, qk} =$                     | 0,30 kNm/m              |  |                                                                  |                              |  |
| $\gamma_g =$                        | 1,3                     |  | $W_0 =$                                                          | 266,6667 cm <sup>3</sup>     |  |
| $\gamma_q =$                        | 1,2                     |  | $M_{d, mín} =$                                                   | 97,31 kN.cm                  |  |
|                                     |                         |  |                                                                  |                              |  |
| <b>Armadura positiva direção x:</b> |                         |  | $k_c =$                                                          | 0,044122                     |  |
|                                     |                         |  | $k_x =$                                                          | 0,056426                     |  |
| $M_{d, xe} =$                       | 2,22 kNm/m              |  | $k_z =$                                                          | 0,977429                     |  |
|                                     |                         |  |                                                                  |                              |  |
| $h =$                               | 4 cm                    |  | $A_{s, M_{d, mín}} =$                                            | 0,82 cm <sup>2</sup>         |  |
| $d =$                               | 2,79 cm                 |  | $A_c =$                                                          | 400 cm <sup>2</sup>          |  |
| $b_w =$                             | 100 cm                  |  | $\rho_{mín} =$                                                   | 0,205 %                      |  |
| $k_c =$                             | 0,100612                |  |                                                                  |                              |  |
| $k_x =$                             | 0,132822                |  | $A_{s, min} =$                                                   | 0,82 cm <sup>2</sup> /m      |  |
| $k_z =$                             | 0,946871                |  |                                                                  |                              |  |
|                                     |                         |  | <b><math>A_{s+, x} =</math></b>                                  | <b>1,61 cm<sup>2</sup>/m</b> |  |
| $A_{s-, x} =$                       | 1,61 cm <sup>2</sup> /m |  | $\Phi 4,2 \text{ cd } 8 \text{ cm} - 1,73 \text{ cm}^2/\text{m}$ |                              |  |

## **11. APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS**

A seguir, seguem pranchas do projeto executivo da ponte sobre o Rio Andradas.

## **REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

**CARVALHO R.; FILHO J., CALCULO E DETALHAMENTO DE ESTRUTURAS USUAIS DE CONCRETO ARMADO.**

**MARCHETTI O., PONTES DE CONCRETO ARMADO.**

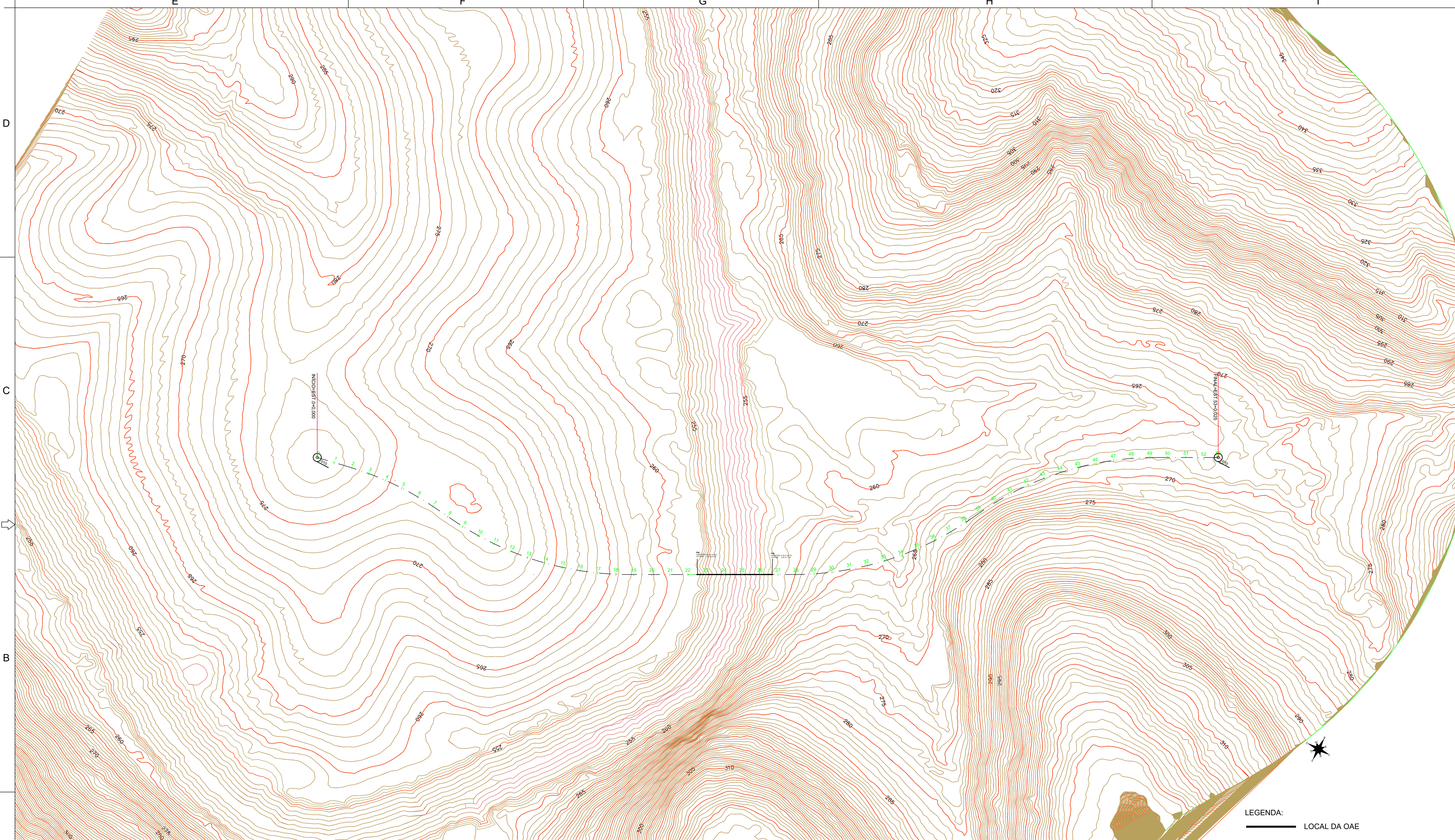
**LEONHARDT F., PRINCÍPIOS BÁSICOS DA CONSTRUÇÃO DE PONTES DE CONCRETO.**

**ALONSO U., EXERCÍCIOS DE FUNDAÇÕES.**

**CARVALHO R.; PINHEIRO L., CÁLCULO E DETALHAMENTO DE ESTRUTURAS USUAIS DE CONCRETO ARMADO VOLUME 2.**

## **ANEXOS**

A seguir são apresentados os anexos.

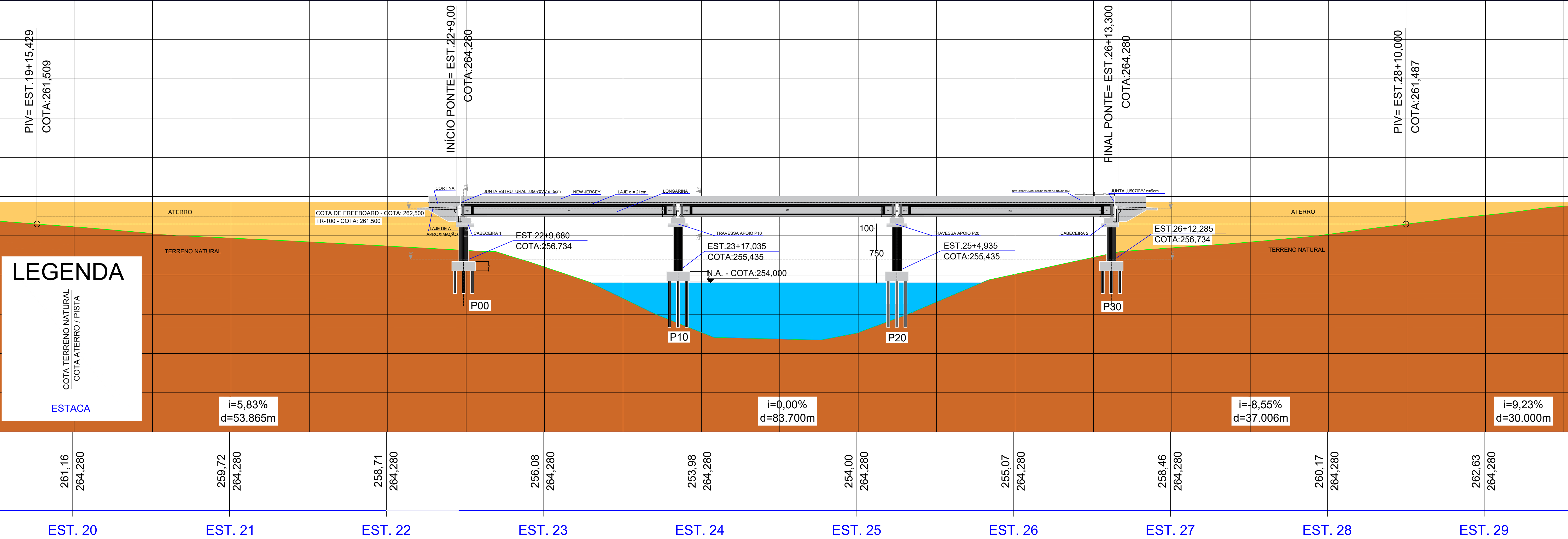


LOCALIZAÇÃO  
ESC 1:500

LEGENDA:  
LOCAL DA OAE

|                                                                                                                                          |                                            |                      |                |        |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------|----------------------|----------------|--------|
| 02                                                                                                                                       | INCLUSÃO DA LOCAÇÃO DOS EIXOS DE P00 E P30 | 28/06/2019           | HJ             | VF     |
| 01                                                                                                                                       | REVISÃO GERAL PARA SEMINÁRIO 2             | 14/11/2018           | HJ             | VF     |
| 00                                                                                                                                       | EMIÇÃO INICIAL                             | 03/08/2018           | HJ             | VF     |
| REVISÃO                                                                                                                                  | DESCRIÇÃO                                  | DATA                 | EXEC.          | VERIF. |
| <div><div><div>HEINS HACKBARTH JUNIOR</div><div>VICTOR FALCÃO DE MELO</div><div>AGUINALDO LIMA DA SILVA</div></div></div>                |                                            |                      |                |        |
| PROJETO:<br>OAE - OBRA DE ARTE ESPECIAL - PONTE SOBRE O RIO ANDRADA                                                                      |                                            | PROPRIETÁRIO:<br>IDD |                |        |
| ENDREÇO DA OBRA:<br>RIO ANDRADA - AFLUENTE DO RIO IGUAÇU - PR                                                                            |                                            |                      |                |        |
| REFERÊNCIA:<br>PLANTA DE LOCALIZAÇÃO                                                                                                     |                                            |                      |                |        |
| RESPONSÁVEL TÉCNICO:<br>AGUINALDO LIMA DA SILVA<br>HEINS HACKBARTH JUNIOR - CREA/SC 092.798-4<br>VICTOR FALCÃO DE MELO - CREA 0209198230 |                                            |                      | FOLHA<br>01/13 |        |
| DATA: 03/08/2018                                                                                                                         |                                            | ESCALA: INICADA      |                |        |

CORTE LONGITUDINAL  
ESC 1/200



**LEGENDA**

COTA TERRENO NATURAL  
COTA ATERRO / PISTA

ESTACA

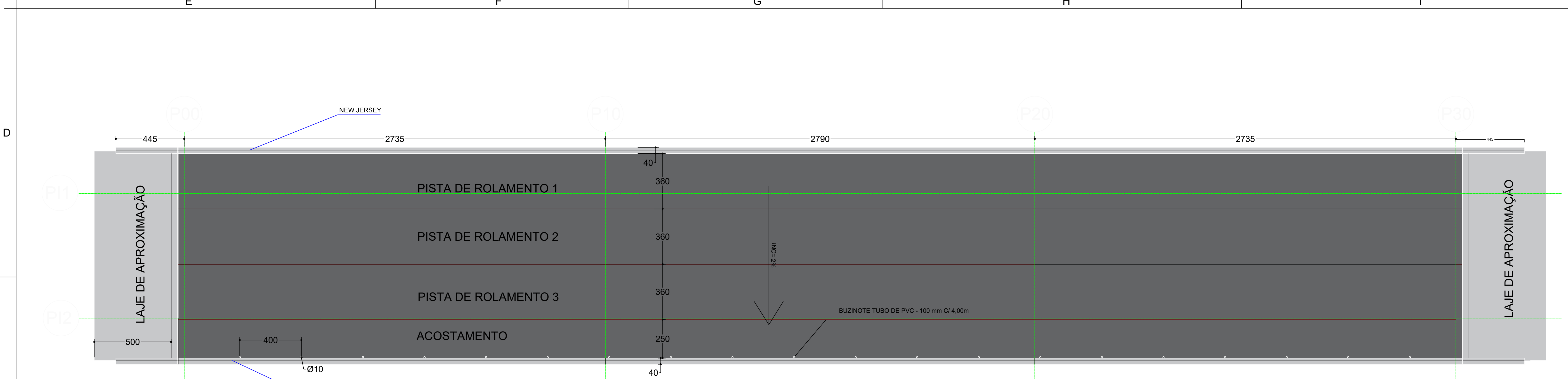
NOTAS GERAIS:

- Medidas das peças de concreto e armaduras em centímetros. Coordenadas e cotas de nível em metro. Medidas das peças de aço em milímetros (inserts, etc.).
- Todas as medidas, especificações e interferências deverão ser verificadas na obra e cotejadas com o projeto arquitetônico e demais projetos complementares.
- Para execução da estrutura de concreto, o construtor deverá obedecer as prescrições das Normas Brasileiras quanto à procedimentos, em especial a NBR-14931(2003) e NBR-9062(2001), e especificações, ensaios e controles tecnológicos, em especial às NBR-5739(1994), NBR-7480(1996), NBR-7481(1990), NBR-7483(1991) NBR-8522(1984), NBR-12654(1992).
- 3.1. A dosagem do concreto deverá ter resistência característica "fck" abaixo indicada, com dosagem volumétrica ou à peso, com controle de umidade dos agregados, com fator água/cimento inferior à 0,45 (salvo indicações em contrário) e controle do módulo de elasticidade.
- 3.2. O concreto à vista deve ter traço abundante em argamassa
- 3.3. O procedimento de cura térmica na usina deve ter adequado controle e é responsabilidade do construtor na obtenção final do "fck" e "Eci".
- Os moldes (fôrmas) e escoramentos deverão ser projetados pelo construtor de modo a satisfazer as condições e dimensões geométricas deste projeto, não sofrer deformações, garantir o peso do concreto a ser lançado e cargas acidentais de execução.
- Acessórios, equipamentos e artifícios executivos são de inteira responsabilidade e definição do construtor.
- Este projeto estrutural define os diversos elementos na sua geometria e concepção final, obra pronta.
- Este projeto impõem, e é responsabilidade do construtor, esmerado processo de execução em usina e na obra, com rigoroso controle de qualidade, princípios básicos para redução dos cobrimentos das armaduras e coeficientes de segurança sobre materiais, conforme impõem NBR-6118(2004).
- As quantidades dos materiais são teóricas, medidas sobre os desenhos, sem sobras ou quebras, trespasses ou ajustes de obra.

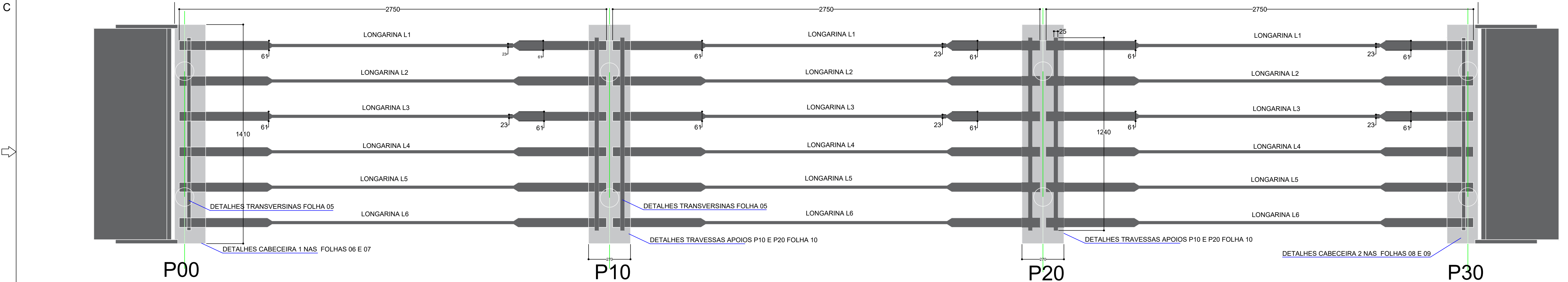
- Este projeto estrutural segue as prescrições da NBR-6118(2004), NBR-9062(2001), NBR-8681(2003), NBR-6120(1980). Foram considerados (salvo indicações em contrário) conforme item 8 da NBR6118:
  - Concreto: Massa específica concreto simples, gc = 2.400 kg/m³. Massa específica concreto armado, gc = 2.500 kg/m³. Resistência característica a compressão do concreto aos 28 dias,"fck"=conforme item 12. Resistência a tração média do concreto, fct,m= 0,3 fck²³ [MPa]. Módulo de elasticidade, Eci=5600 fck [MPa]. Módulo de elasticidade secante do concreto, Ecs = 0,85 Eci. Coeficiente de Poisson, n =0,2 Módulo de elasticidade transversal Gc = 0,4Ecs Coeficiente de dilatação térmica = 10/°C
  - Aço passivo (CA25, CA50 ou CA60): Massa específica, gs= 7.850 kg/m³ Coeficiente de dilatação térmica do aço =10/°C Módulo de elasticidade, Es= 210 GPa.
  - Aço Ativo para Protensão: (CP-190-RB) e Aço Ativo para Estais: (CP-177-RB) Massa específica gs= 7.850 kg/m³ Coeficiente de dilatação térmica do aço=10 /°C Módulo de elasticidade, Es= 200 GPa.
- Este projeto considera redução nos coeficientes de segurança sobre os materiais e cobrimento das armaduras, conforme admite NBR-6118 e NBR-9062, empregando à construção rigoroso controle de qualidade nos materiais, execução e procedimentos, que é de responsabilidade do construtor.
- A responsabilidade do projeto estrutural finda na edição dos documentos técnicos de projeto, sendo responsabilidade do construtor seguir as geometrias finais e demais definições deste projeto, sempre a luz das normas vigentes, com adequados procedimentos e controles de qualidade. Cabe ao proprietário da obra providenciar fiscalização adequada e competente, responsável pelo controle e averiguação do fiel cumprimento das premissas, definições de projeto normalizações impostas.
- Plano de Carga:
  - Cargas permanentes peso próprio [CP] = volume x massa específica definida acima.

- Carga Móvel: conf. NBR 7188-(1988) classe TB-450, Carga Móvel de projeto: Veículo tipo rodoviário de 45t, Carga distribuída (multidão) 0,5t/m².
- Todas as superfícies em contato com a terra, solo ou aterro devem ser pintadas com 2 (duas) demãos de hidro-asfalto.
- Os aterros e sua compactação deve ser executada de forma simétrica.
- Definições de Projeto (Salvo indicações em contrário)
- Concreto: fck= 30 MPa-Infraestrutura e mesoestrutura. fck= 40 MPa-Superestrutura.
- Aço CA50, Soldável, fyk= 5.000 kgf/cm² - Ø6.3, Ø8, Ø10, Ø12.5, Ø16, Ø20, Ø25.
- Aço CA60, fyk= 6.000 kgf/cm² - Ø4.2, Ø5.0, Ø6.0.
- Aço CA25, fyk=2.500 kgf/cm² - Ø12.5, Ø16, Ø20 liso p/ ligação por solda ou barra de transferência.
- Chapa de aço ASTM-A36, fy=250 MPa, salvo indicação em contrário.
- Indicação de telas soldadas de aço conforme código GG.
- Cobrimento das armaduras: c= 3,0 cm - Lajes. c= 3,0 cm - Elementos estruturais em concreto aparente. c= 4,0 cm - Infraestrutura Blocos.
- Coordenadas da ponte (UTM zona 22): Eixo: Inicia(P00): LONGITUDE O 53 31 35.414 LATITUDE S 25 31 8.377 Final (P30): LONGITUDE O 53 31 32.775 LATITUDE S 25 31 7.167

|                                                                                                                                                                                               |                                                |  |                      |       |                           |        |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------|--|----------------------|-------|---------------------------|--------|
| 02                                                                                                                                                                                            | ALTERAÇÃO NO TAMANHO DA FONTE DAS NOTAS GERAIS |  | 28/06/2019           | HJ    | VF                        | AS     |
| 01                                                                                                                                                                                            | REVISÃO GERAL PARA SEMINÁRIO 2                 |  | 14/11/2018           | HJ    | VF                        | AS     |
| 00                                                                                                                                                                                            | EMIÇÃO INICIAL                                 |  | 03/08/2018           | HJ    | VF                        | AS     |
| REVISÃO                                                                                                                                                                                       | DESCRIÇÃO                                      |  | DATA                 | EXEC. | VERIF.                    | ARPOV. |
| <div><div>HEINS HACKBARTH JUNIOR<br/>VICTOR FALCÃO DE MELO</div><div>AGUINALDO LIMA DA SILVA</div></div> |                                                |  |                      |       |                           |        |
| PROJETO:<br>OAE - OBRA DE ARTE ESPECIAL - PONTE SOBRE O RIO ANDARA                                                                                                                            |                                                |  | PROPRIETÁRIO:<br>IDD |       |                           |        |
| ENDREÇO DA OBRA:<br>RIO ANDARA - AFLUENTE DO RIO IGUAÇU - PR                                                                                                                                  |                                                |  |                      |       |                           |        |
| REFERÊNCIA:<br>CORTE LONGITUDINAL E NOTAS GERAIS                                                                                                                                              |                                                |  |                      |       |                           |        |
| RESPONSÁVEL TÉCNICO:<br>AGUINALDO LIMA DA SILVA<br>HEINS HACKBARTH JUNIOR - CREA/SC 092.798-4<br>VICTOR FALCÃO DE MELO - CREA 0209198230                                                      |                                                |  |                      |       | FOLHA<br><div>02/13</div> |        |
| DATA: 03/08/2018                                                                                                                                                                              |                                                |  | ESCALA: INICADA      |       |                           |        |



PLANTA BAIXA SUPERIOR  
ESC 1/125

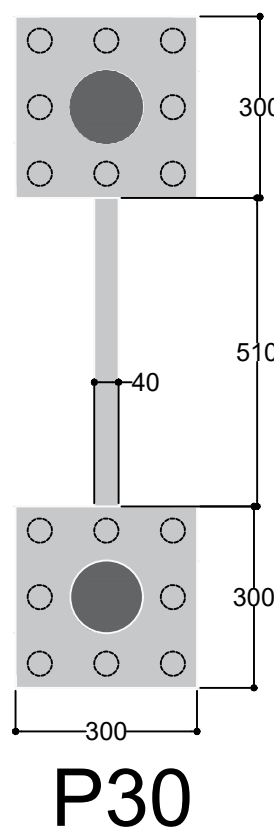
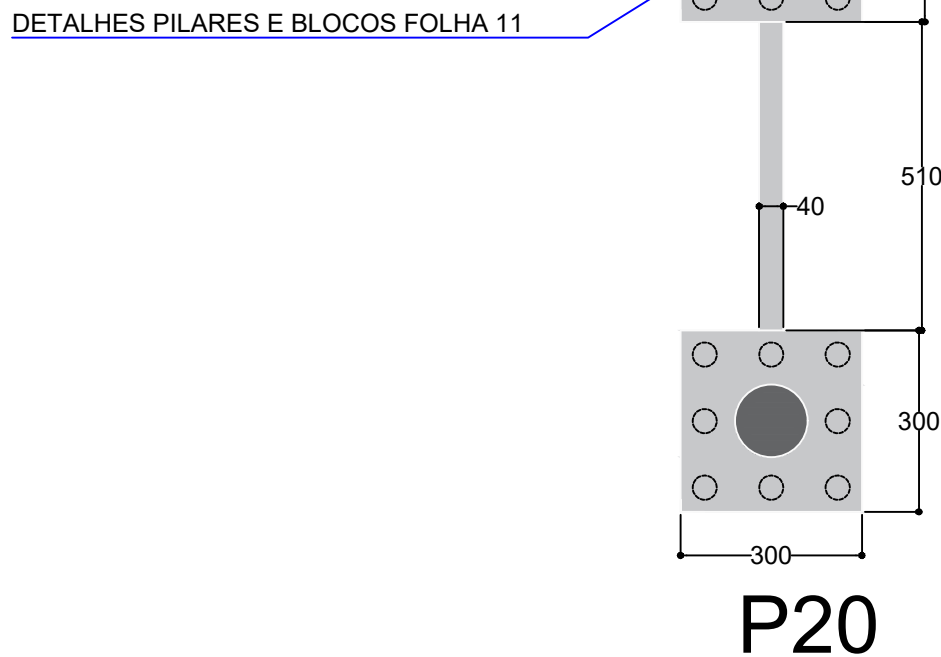
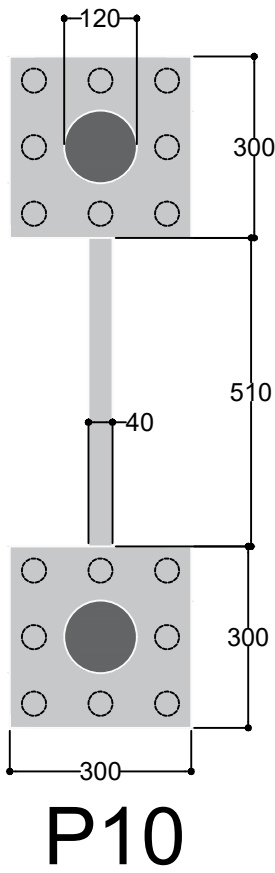
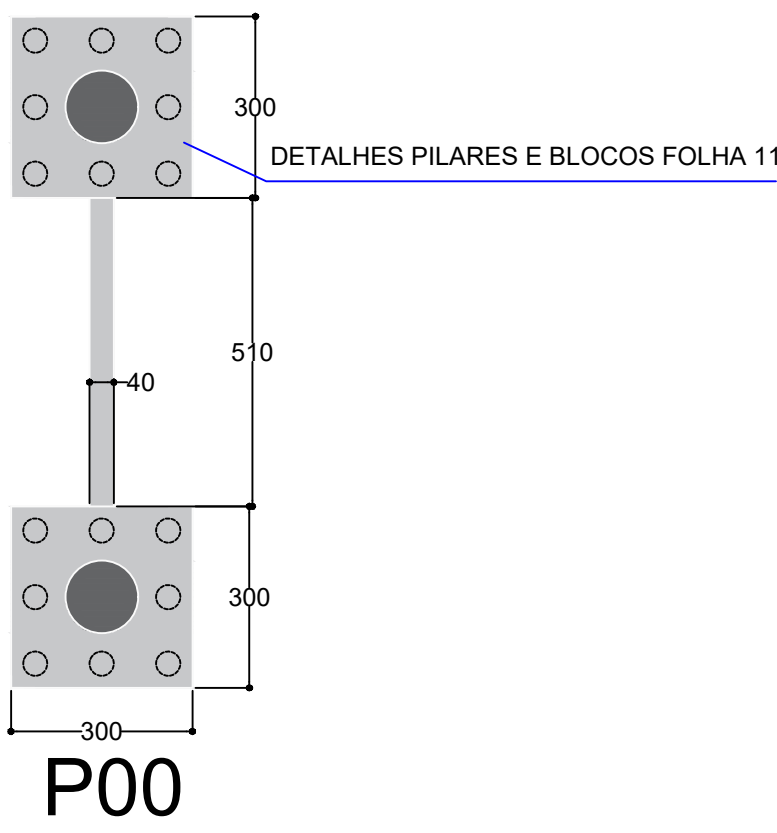


CORTE A1 - PLANTA SUPERESTRUTURA E MESOESTRUTURA  
ESC 1/200

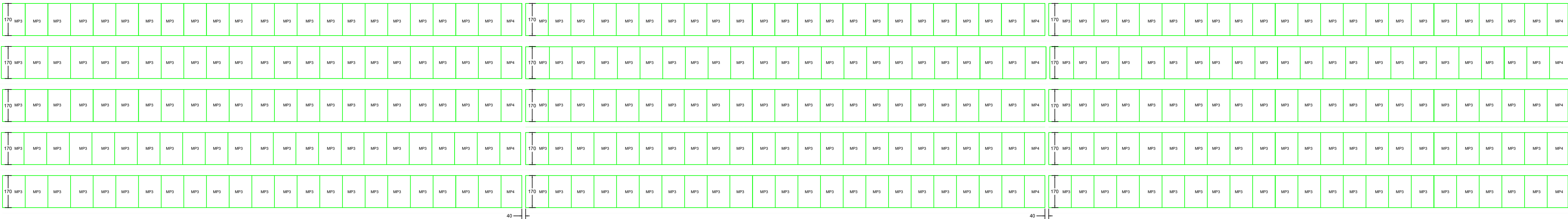
VOLUME DE CONCRETO LAJE= 152,71m³

|                                                                                                                                          |                                |            |                      |                |        |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------|------------|----------------------|----------------|--------|
| 01                                                                                                                                       | REVISÃO GERAL PARA SEMINÁRIO 2 | 14/11/2018 | HJ                   | VF             | AS     |
| 00                                                                                                                                       | EMIÇÃO INICIAL                 | 03/08/2018 | HJ                   | VF             | AS     |
| REVISÃO                                                                                                                                  | DESCRIÇÃO                      | DATA       | EXEC.                | VERIF.         | ARPOV. |
| <div><div><div></div></div><div>HEINS HACKBARTH JUNIOR<br/>VICTOR FALCÃO DE MELO AGUINALDO LIMA DA SILVA</div></div>                     |                                |            |                      |                |        |
| PROJETO:<br>OAE - OBRA DE ARTE ESPECIAL - PONTE SOBRE O RIO ANDRADA                                                                      |                                |            | PROPRIETÁRIO:<br>IDD |                |        |
| ENDREÇO DA OBRA:<br>RIO ANDRADA - AFLUENTE DO RIO IGUAÇU - PR                                                                            |                                |            |                      |                |        |
| REFERÊNCIA:<br>PERFIL LONGITUDINAL<br>PLANTA BAIXA SUPERIOR<br>CORTE A1 - PLANTA SUPERESTRUTURA E MESOESTRUTURA                          |                                |            |                      |                |        |
| RESPONSÁVEL TÉCNICO:<br>AGUINALDO LIMA DA SILVA<br>HEINS HACKBARTH JUNIOR - CREA/SC 092.798-4<br>VICTOR FALCÃO DE MELO - CREA 0209198230 |                                |            |                      | FOLHA<br>03/13 |        |
| DATA: 03/08/2018                                                                                                                         |                                |            | ESCALA: INICADA      |                |        |

D



CORTE A2 - PLANTA MESORESTRUTURA E INFRAESTRUTURA  
ESC 1/200



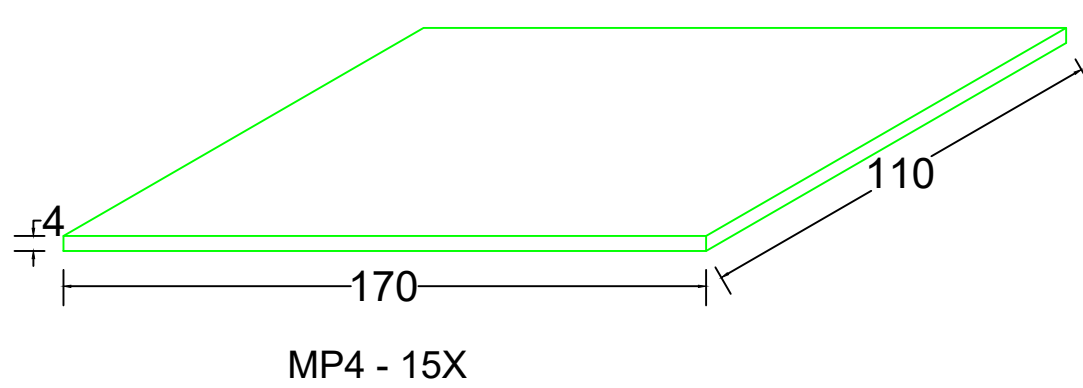
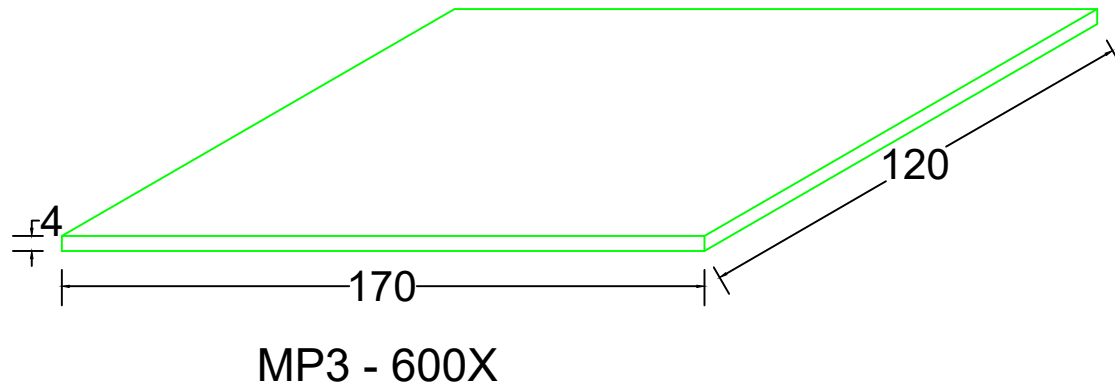
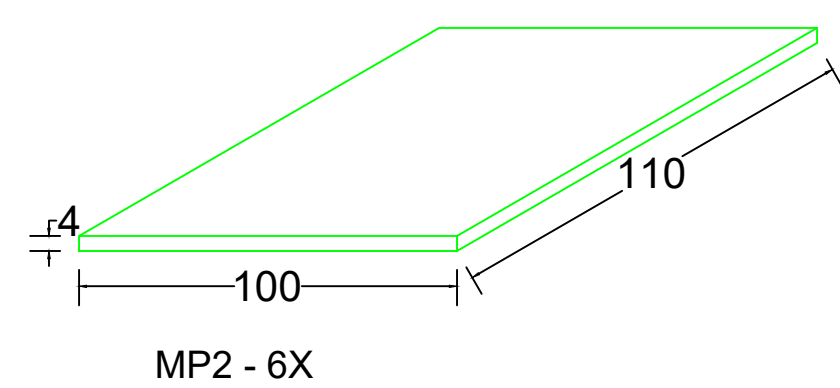
P00

P10

P20

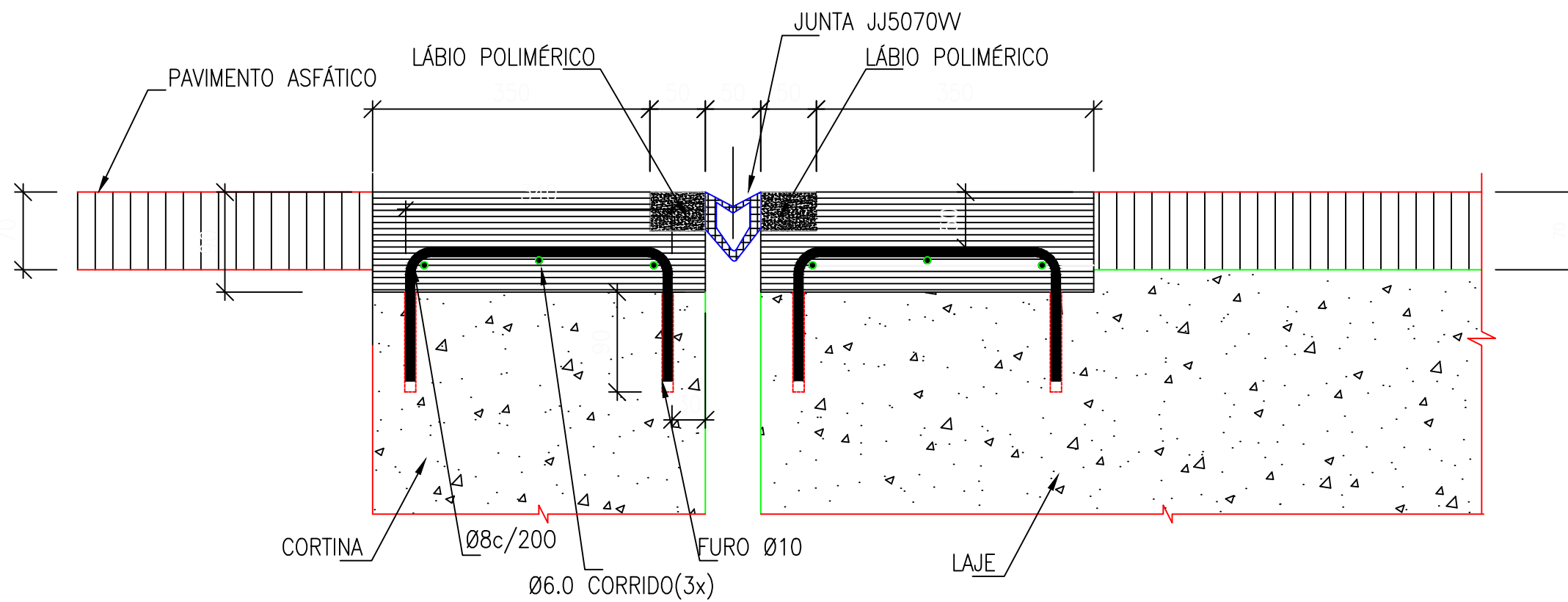
P30

PLANTA DISTRIBUIÇÃO DAS PRÉ-LAJES (MINI PAINÉIS - MP)  
ESC 1/125

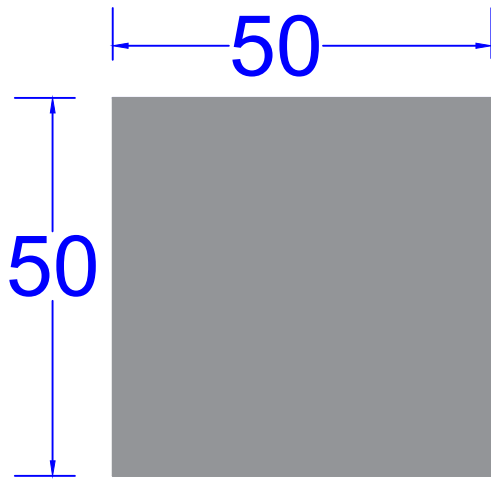
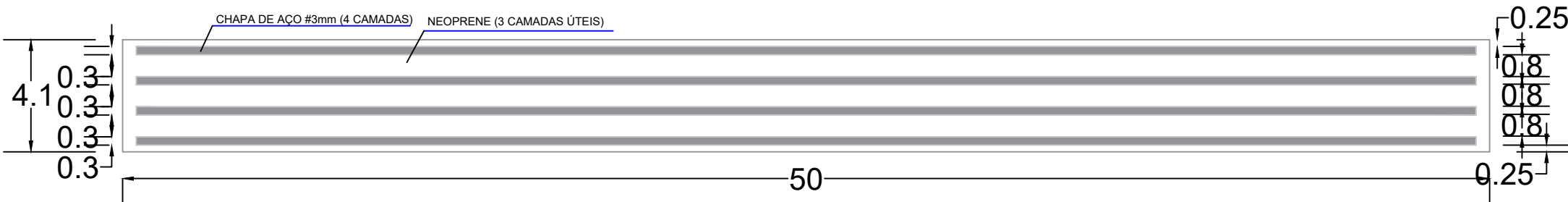


DETALHE GEOMETRIA MINI PAINÉIS (MP)  
ESC 1/20

VOLUME DE CONCRETO PRÉ LAJES (1X)= 50,35m³



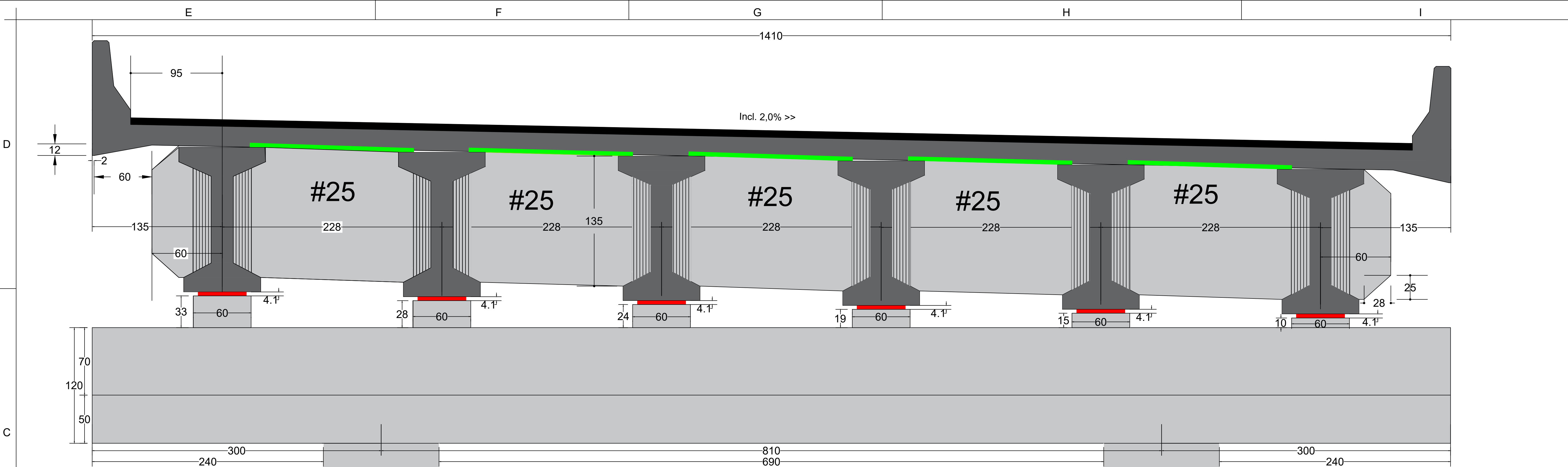
DETALHE JUNTA DE DILAÇÃO  
ESC 1/10



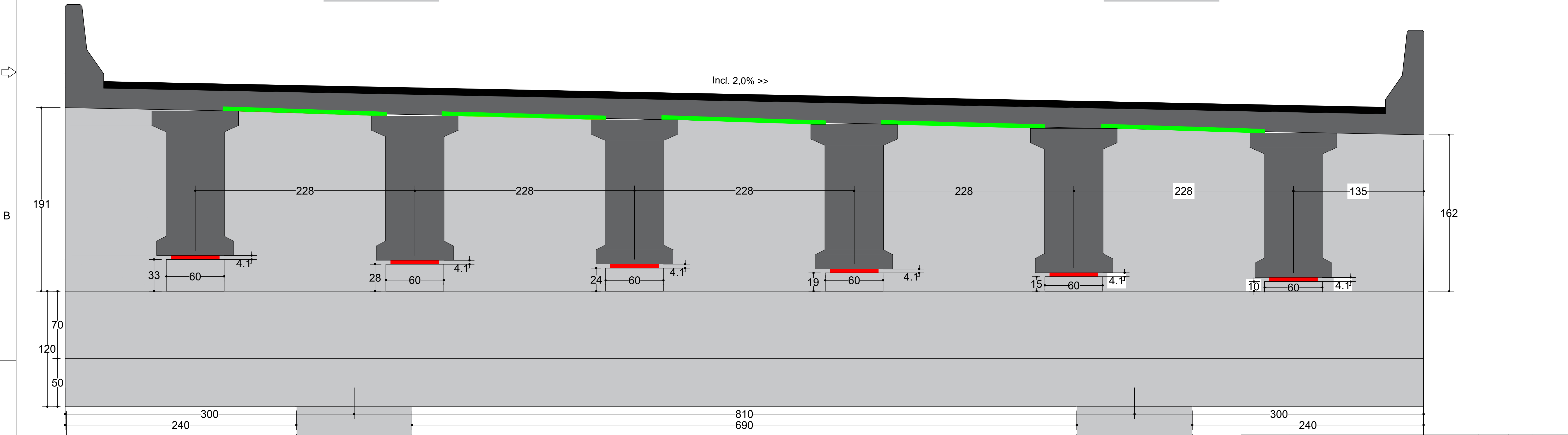
PLANTA BAIXA ELASTÔMERO  
ESC 1/100

DETALHE ELASTRÔMERO - 36X  
ESC 1/20

|                                                                                                                                                                                                          |                                              |  |                                                |       |                           |        |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------|--|------------------------------------------------|-------|---------------------------|--------|
| 02                                                                                                                                                                                                       | ALTERAÇÃO DA ESCALA DO DETALHE DOS NEOPRENES |  | 14/11/2018                                     | HJ    | VF                        | AS     |
| 01                                                                                                                                                                                                       | REVISÃO GERAL PARA SEMINÁRIO 2               |  | 03/08/2018                                     | HJ    | VF                        | AS     |
| 00                                                                                                                                                                                                       | EMIÇÃO INICIAL                               |  | DATA                                           | EXEC. | VERIF.                    | ARPOV. |
| REVISÃO                                                                                                                                                                                                  | DESCRIÇÃO                                    |  |                                                |       |                           |        |
| <div><div><div>HEINS HACKBARTH JUNIOR<br/>VICTOR FALCÃO DE MELO</div></div><div>AGUINALDO LIMA DA SILVA</div></div> |                                              |  |                                                |       |                           |        |
| PROJETO:<br>OAE - OBRA DE ARTE ESPECIAL - PONTE SOBRE O RIO ANDRADA                                                                                                                                      |                                              |  | PROPRIETÁRIO:<br>IDD                           |       |                           |        |
| ENDREÇO DA OBRA:<br>RIO ANDRADA - AFLUENTE DO RIO IGUAÇU - PR                                                                                                                                            |                                              |  |                                                |       |                           |        |
| REFERÊNCIA:<br>CORTE A1 - PLANTA SUPERESTRUTURA E MESOESTRUTURA<br>PLANTA DE DISTRIBUIÇÃO DOS MINI-PAINÉIS (MP)<br>DETALHE GEOMETRIA DOS MINI-PAINÉIS                                                    |                                              |  | DETALHE JUNTA DE DILAÇÃO<br>DETALHE ELASTÔMERO |       |                           |        |
| RESPONSÁVEL TÉCNICO:<br>AGUINALDO LIMA DA SILVA<br>HEINS HACKBARTH JUNIOR - CREA/SC 092.798-4<br>VICTOR FALCÃO DE MELO - CREA 0209198230                                                                 |                                              |  |                                                |       | FOLHA<br><div>04/13</div> |        |
| DATA: 03/08/2018                                                                                                                                                                                         |                                              |  | ESCALA: INICADA                                |       |                           |        |



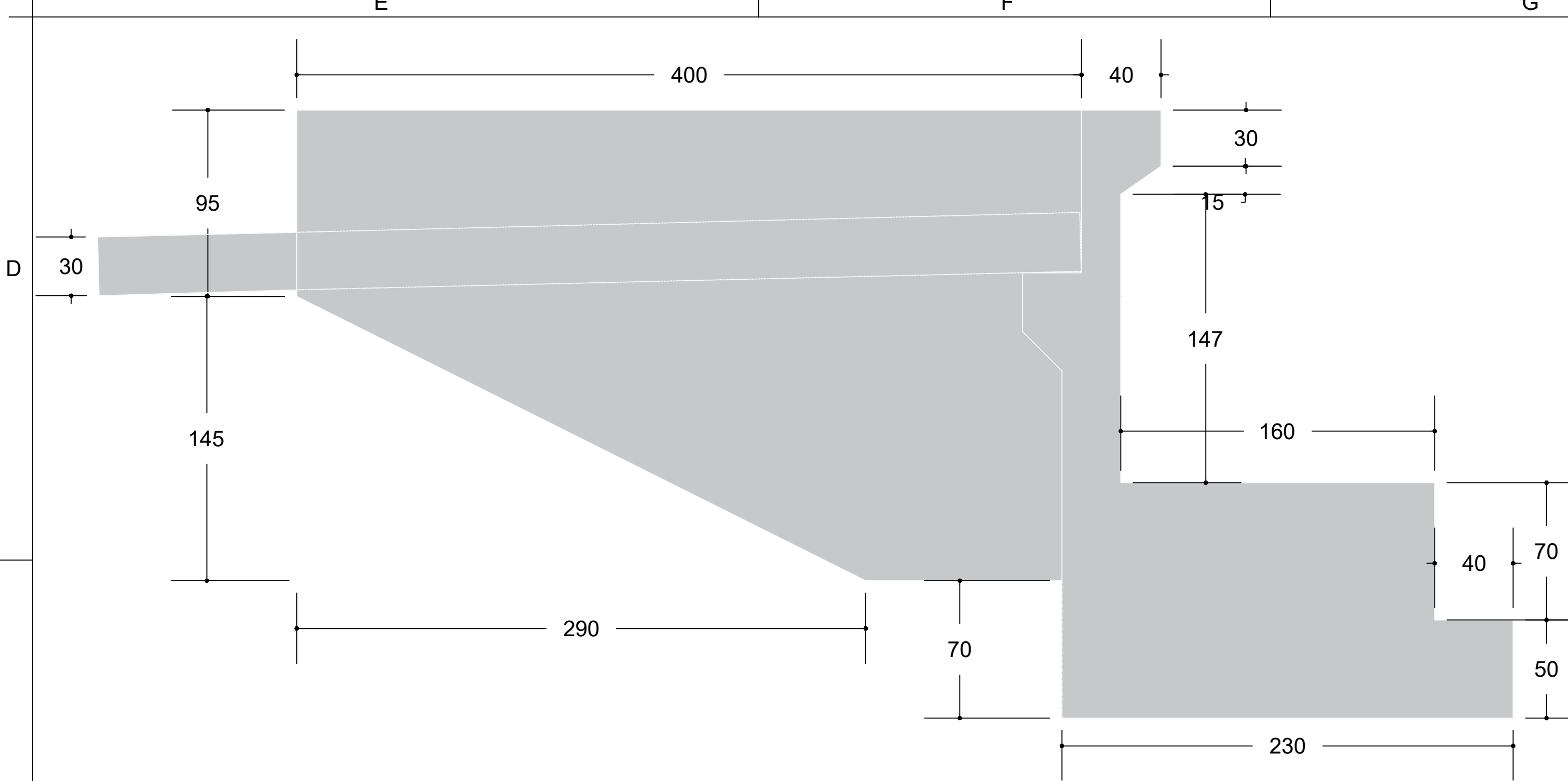
VISTA TRANSVERSAL - CORTE A3  
ESC 1/20



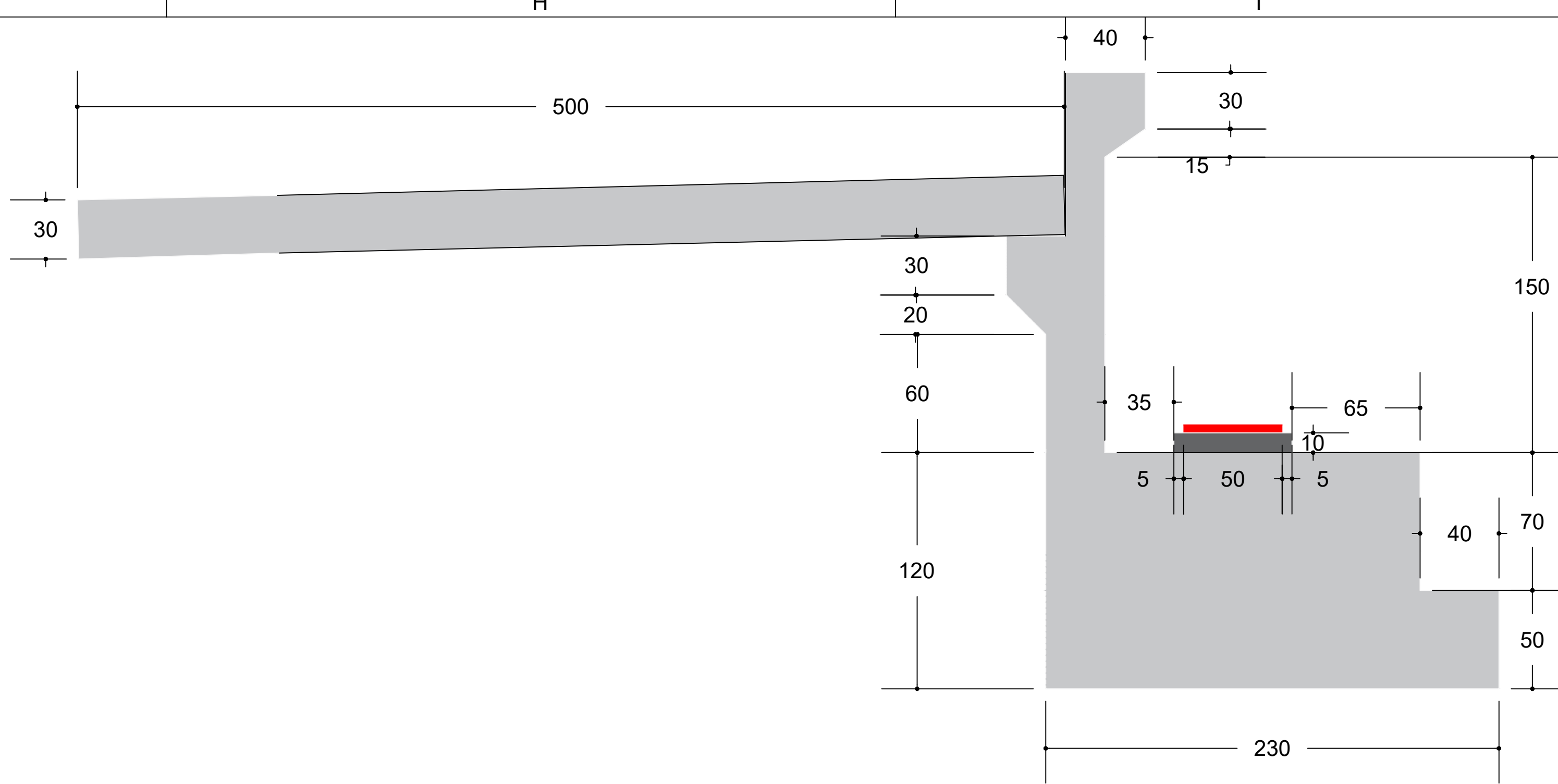
VISTA TRANSVERSAL - CORTE A4  
ESC 1/20

VOLUME DE CONCRETO BARREIRAS= 41,98m³  
VOLUME DE CONCRETO TRANSVERSINA (1X)= 3,36m³

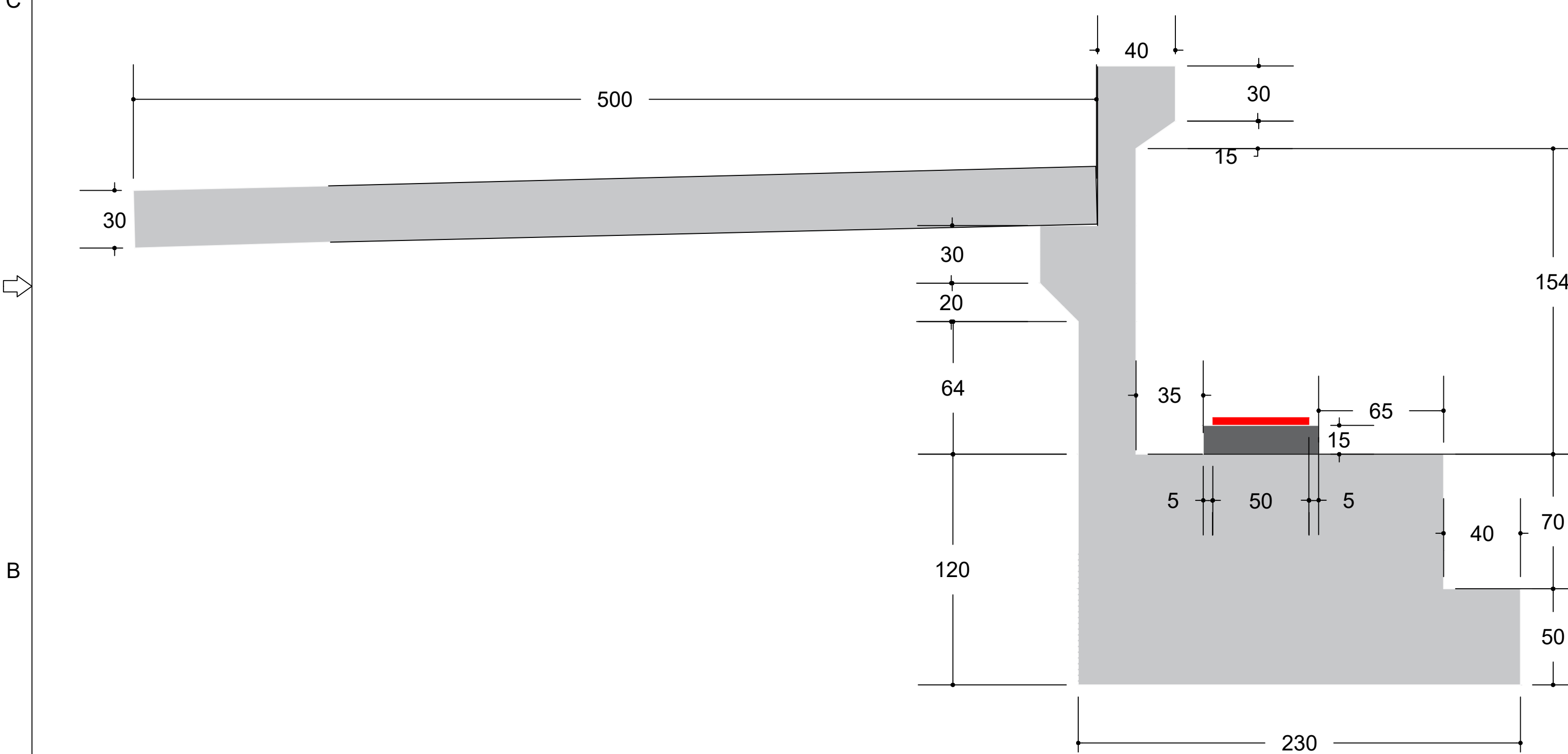
|                                                                                                                                          |                                |            |                      |                |        |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------|------------|----------------------|----------------|--------|
| 01                                                                                                                                       | REVISÃO GERAL PARA SEMINÁRIO 2 | 14/11/2018 | HJ                   | VF             | AS     |
| 00                                                                                                                                       | EMISSÃO INICIAL                | 03/08/2018 | HJ                   | VF             | AS     |
| REVISÃO                                                                                                                                  | DESCRIÇÃO                      | DATA       | EXEC.                | VERIF.         | ARPOV. |
| <div><div><div>HEINS HACKBARTH JUNIOR</div><div>VICTOR FALCÃO DE MELO</div><div>AGUINALDO LIMA DA SILVA</div></div></div>                |                                |            |                      |                |        |
| PROJETO:<br>OAE - OBRA DE ARTE ESPECIAL - PONTE SOBRE O RIO ANDRADA                                                                      |                                |            | PROPRIETÁRIO:<br>IDD |                |        |
| ENDREÇO DA OBRA:<br>RIO ANDRADA - AFLUENTE DO RIO IGUAÇU - PR                                                                            |                                |            |                      |                |        |
| REFERÊNCIA:<br>VISTA TRANSVERSAL - CORTE A3<br>VISTA TRANSVERSAL - CORTE A4                                                              |                                |            |                      |                |        |
| RESPONSÁVEL TÉCNICO:<br>AGUINALDO LIMA DA SILVA<br>HEINS HACKBARTH JUNIOR - CREA/SC 092.798-4<br>VICTOR FALCÃO DE MELO - CREA 0209198230 |                                |            |                      | FOLHA<br>05/13 |        |
| DATA: 03/08/2018                                                                                                                         |                                |            | ESCALA: INICADA      |                |        |



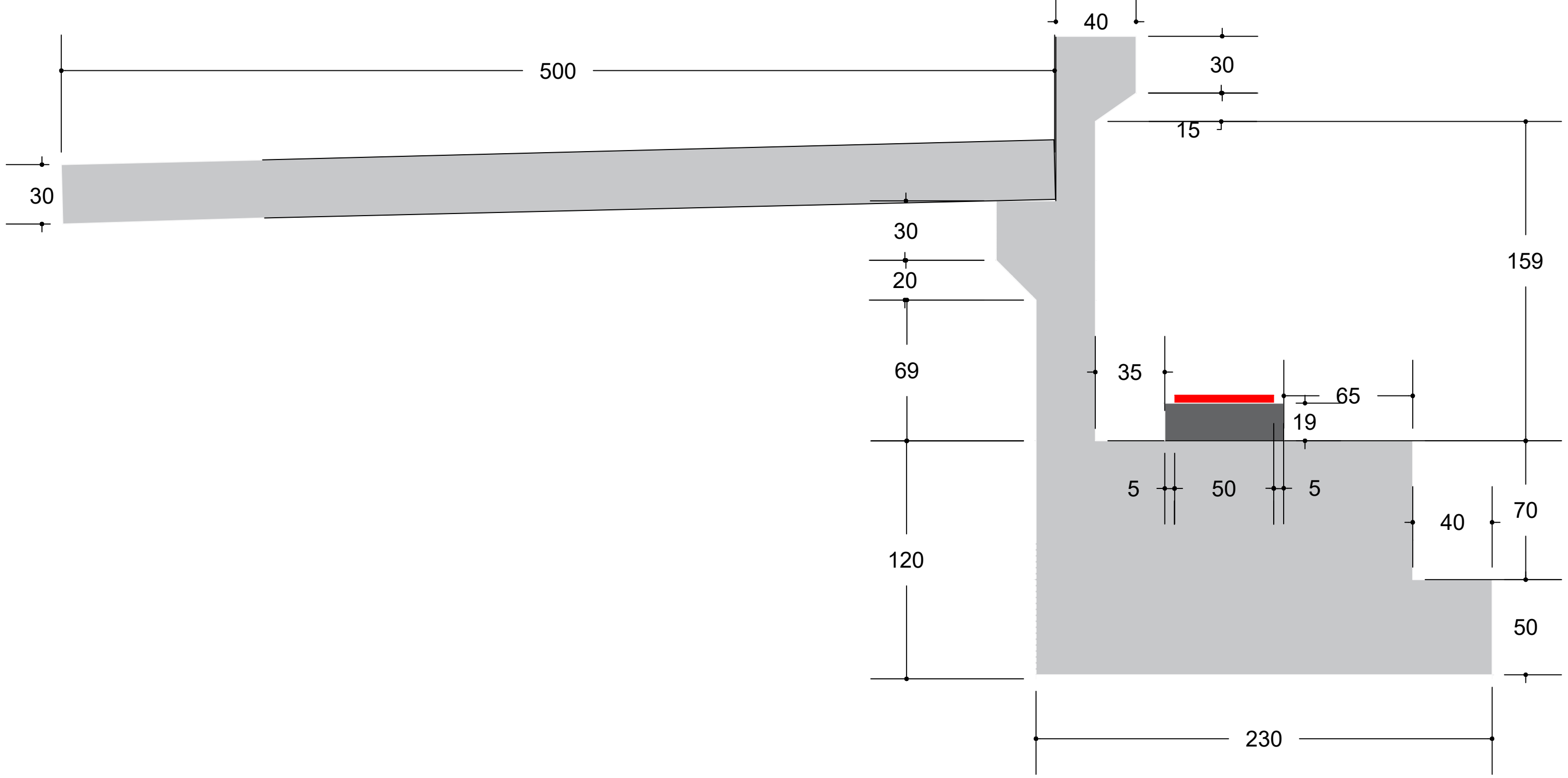
CORTE C1  
ESC 1/20



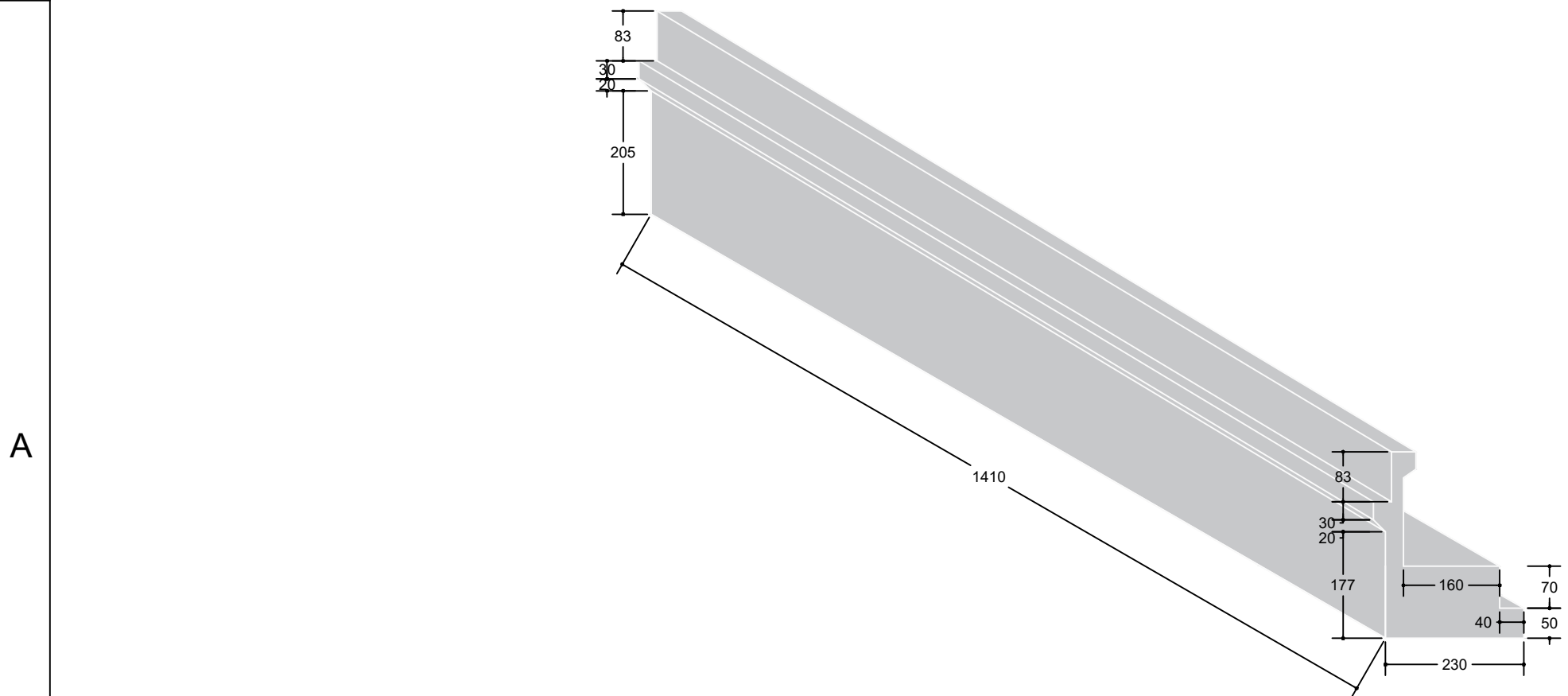
CORTE C2  
ESC 1/20



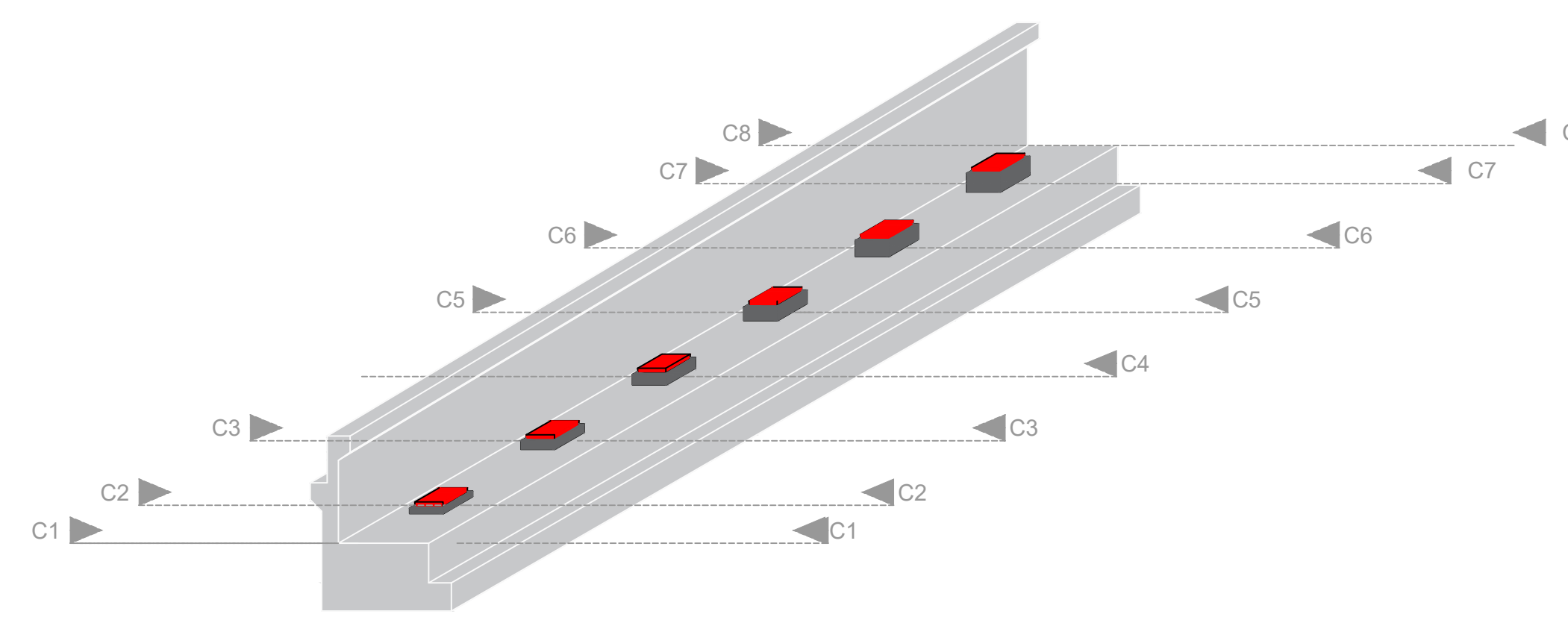
CORTE C3  
ESC 1/20



CORTE C4  
ESC 1/20



CABECEIRA 1 - PERSPECTIVA 01  
ESC 1/100



CABECEIRA 1 - PERSPECTIVA 02  
ESC 1/100

|                                                                                                                                                                                                                           |                                |            |                      |        |                |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------|------------|----------------------|--------|----------------|
| 01                                                                                                                                                                                                                        | REVISÃO GERAL PARA SEMINÁRIO 2 | 14/11/2018 | HJ                   | VF     | AS             |
| 00                                                                                                                                                                                                                        | EMISSÃO INICIAL                | 03/08/2018 | HJ                   | VF     | AS             |
| REVISÃO                                                                                                                                                                                                                   | DESCRIÇÃO                      | DATA       | EXEC.                | VERIF. | ARPOV.         |
| <div><div><div>BRUNO</div><div></div></div><div>HEINS HACKBARTH JUNIOR<br/>VICTOR FALCÃO DE MELO AGUINALDO LIMA DA SILVA</div></div> |                                |            |                      |        |                |
| PROJETO:<br>OAE - OBRA DE ARTE ESPECIAL - PONTE SOBRE O RIO ANDRADA                                                                                                                                                       |                                |            | PROPRIETÁRIO:<br>IDD |        |                |
| ENDREÇO DA OBRA:<br>RIO ANDRADA - AFLUENTE DO RIO IGUAÇU - PR                                                                                                                                                             |                                |            |                      |        |                |
| REFERÊNCIA:<br>PERSPECTIVA CABECEIRA 1 - P00<br>CORTES - C1 A C4                                                                                                                                                          |                                |            |                      |        |                |
| RESPONSÁVEL TÉCNICO:<br>AGUINALDO LIMA DA SILVA<br>HEINS HACKBARTH JUNIOR - CREA/SC 092.798-4<br>VICTOR FALCÃO DE MELO - CREA 0209198230                                                                                  |                                |            |                      |        | FOLHA<br>06/13 |
| DATA: 03/08/2018                                                                                                                                                                                                          |                                |            | ESCALA: INICADA      |        |                |

D

C

B

A

CORTE C5  
ESC 1/20



CORTE C6  
ESC 1/20



CORTE C7  
ESC 1/20

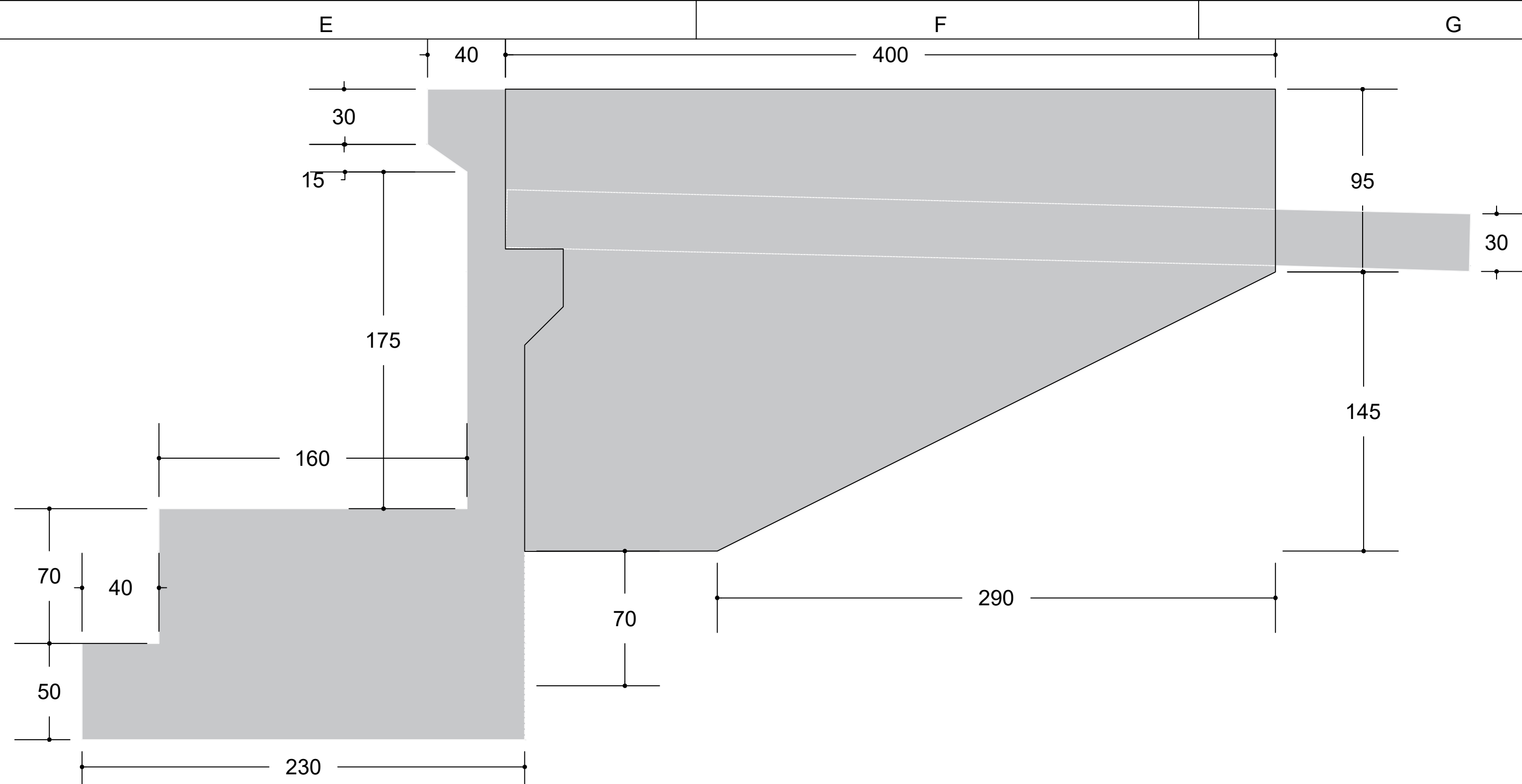
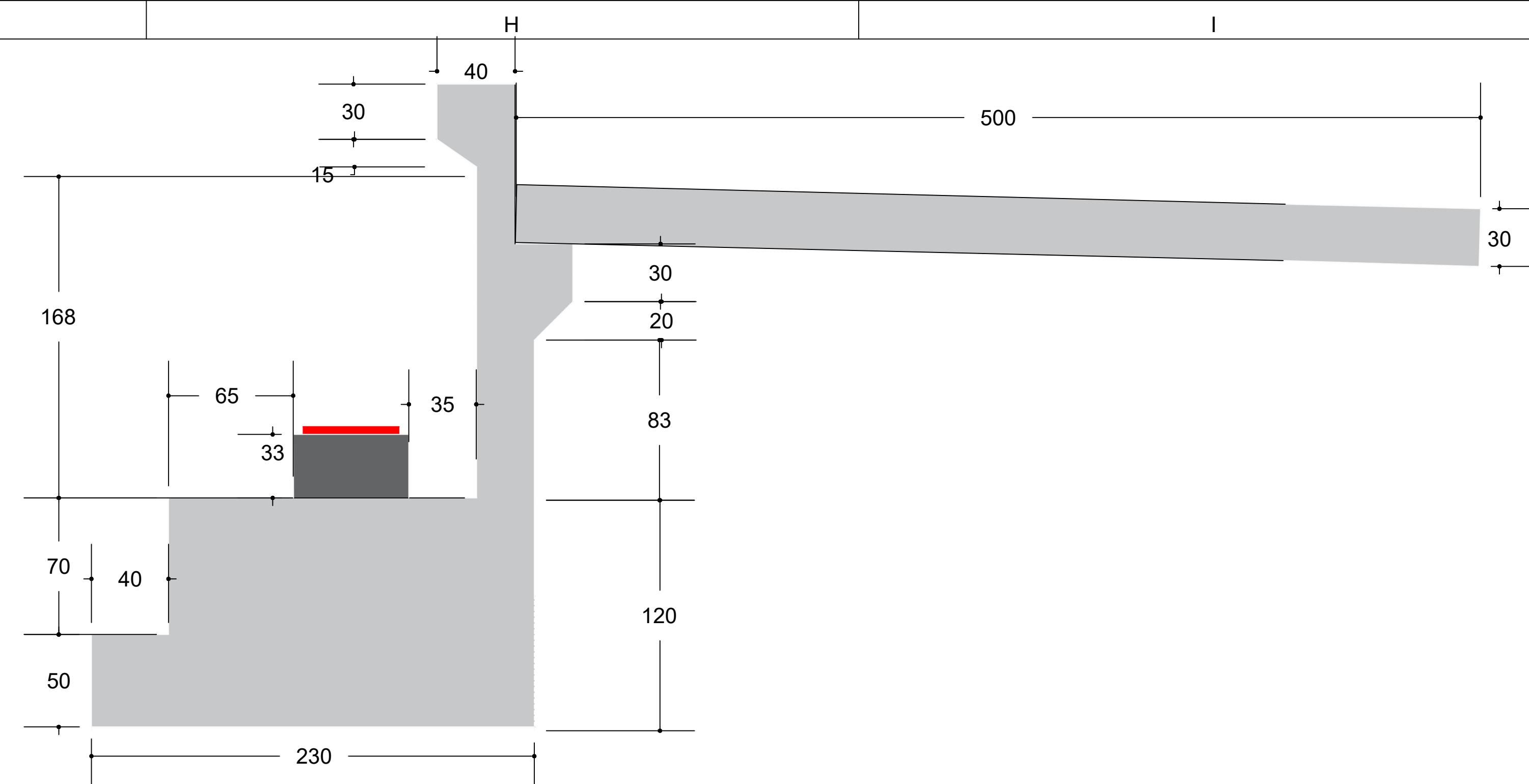


CORTE C8  
ESC 1/20

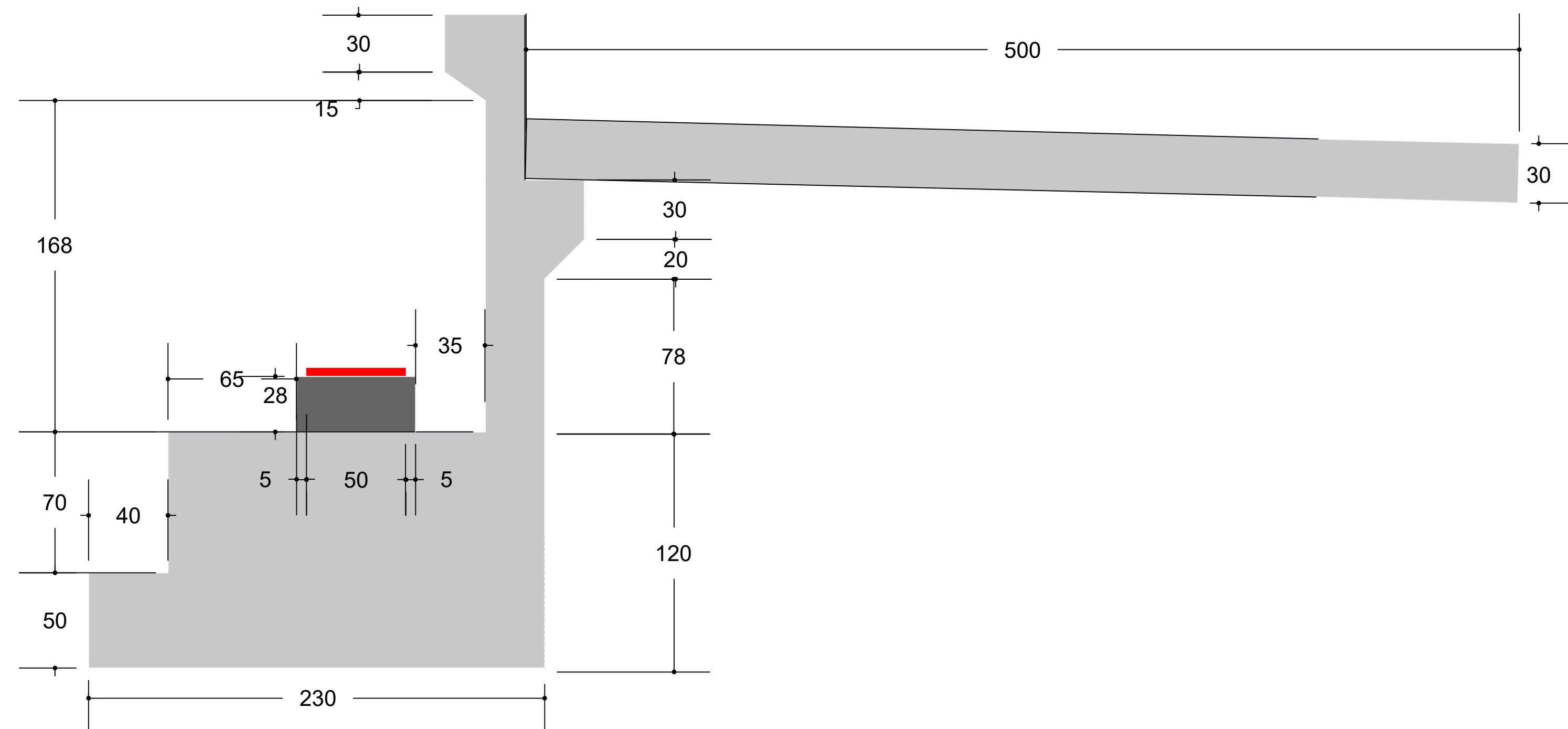
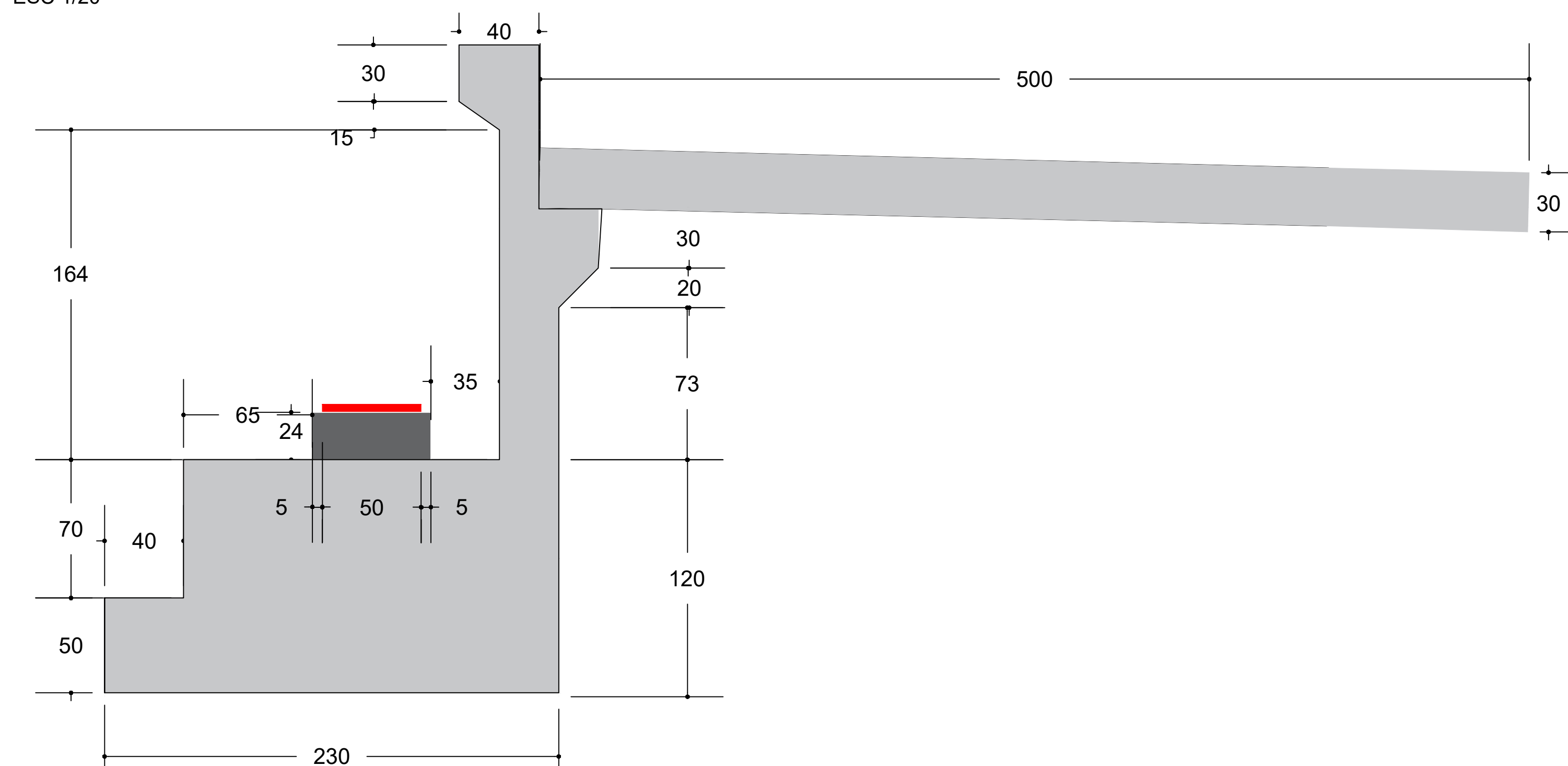


VOLUME POR TRAVESSA (1X)= 33,94 m³  
VOLUME POR CORTINA (1X)= 10,13 m³  
VOLUME POR ALA (1X)= 1,82 m³  
VOLUME LAJE DE APROXIMAÇÃO (1X)= 20,40 m³

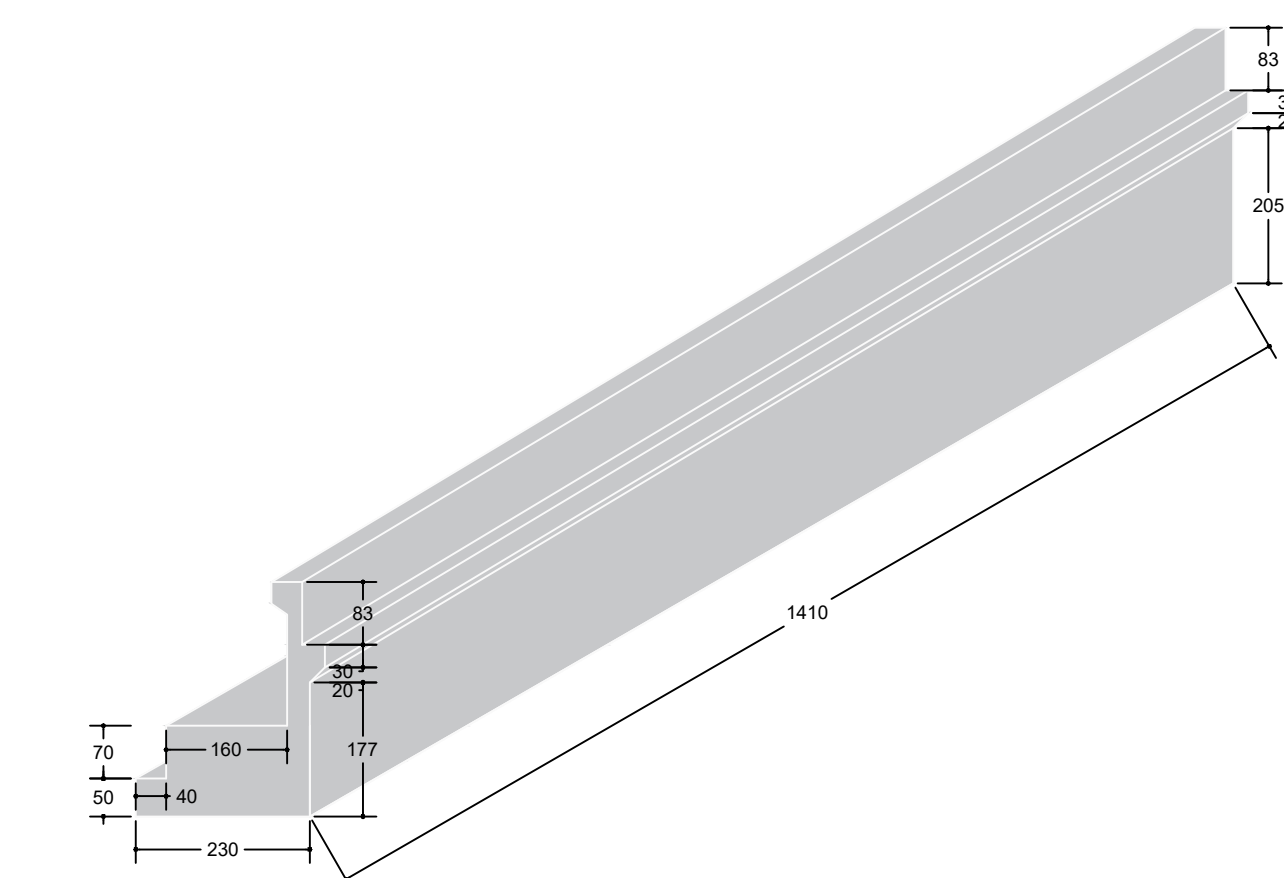
|                                                                                                                                          |                                |            |                      |                |        |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------|------------|----------------------|----------------|--------|
| 01                                                                                                                                       | REVISÃO GERAL PARA SEMINÁRIO 2 | 14/11/2018 | HJ                   | VF             | AS     |
| 00                                                                                                                                       | EMIÇÃO INICIAL                 | 03/08/2018 | HJ                   | VF             | AS     |
| REVISÃO                                                                                                                                  | DESCRIÇÃO                      | DATA       | EXEC.                | VERIF.         | ARPOV. |
| <div><div><div>HEINS HACKBARTH JUNIOR</div><div>VICTOR FALCÃO DE MELO</div><div>AGUINALDO LIMA DA SILVA</div></div></div>                |                                |            |                      |                |        |
| PROJETO:<br>OAE - OBRA DE ARTE ESPECIAL - PONTE SOBRE O RIO ANDRADA                                                                      |                                |            | PROPRIETÁRIO:<br>IDD |                |        |
| ENDREÇO DA OBRA:<br>RIO ANDRADA - AFLUENTE DO RIO IGUAÇU - PR                                                                            |                                |            |                      |                |        |
| REFERENCIA:<br>CORTES - C5 A C8                                                                                                          |                                |            |                      |                |        |
| RESPONSÁVEL TÉCNICO:<br>AGUINALDO LIMA DA SILVA<br>HEINS HACKBARTH JUNIOR - CREA/SC 092.798-4<br>VICTOR FALCÃO DE MELO - CREA 0209198230 |                                |            |                      | FOLHA<br>07/13 |        |
| DATA: 03/08/2018                                                                                                                         |                                |            | ESCALA: INICADA      |                |        |

CORTE D1  
ESC 1/20

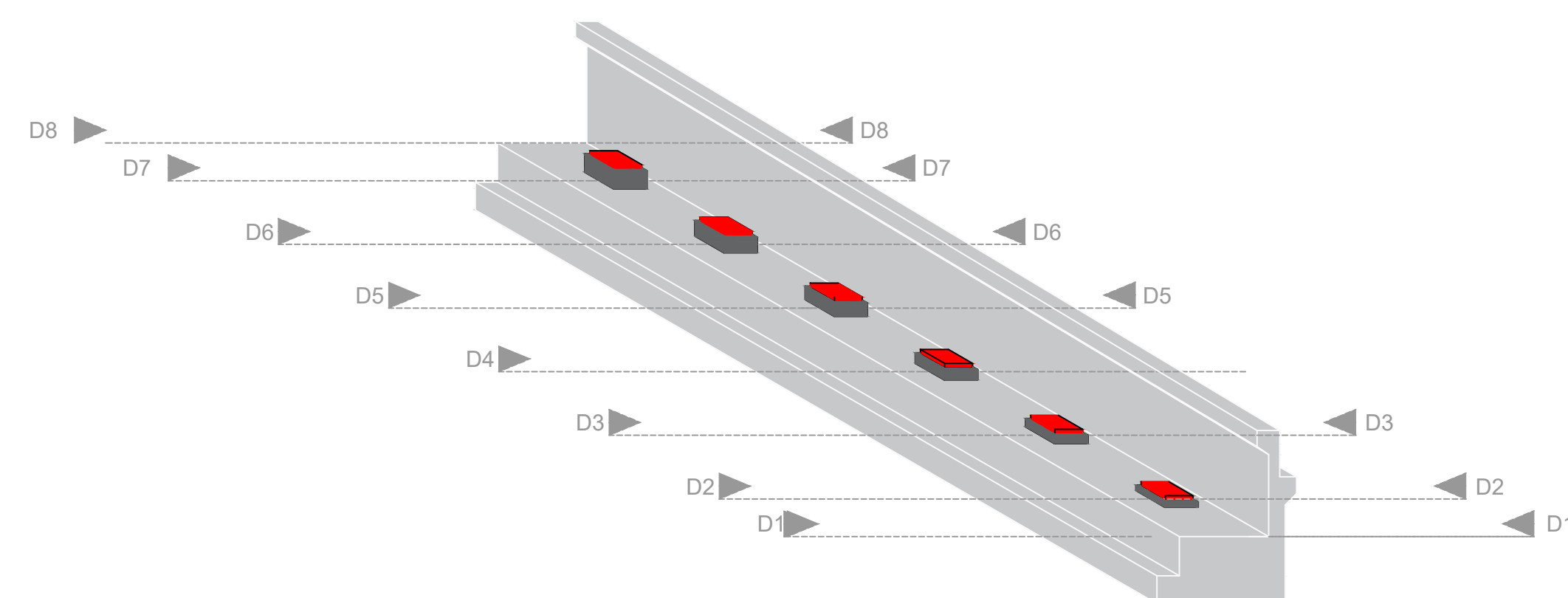
CORTE D2  
ESC 1/20

CORTE D3  
ESC 1/20

CORTE D4  
ESC 1/20

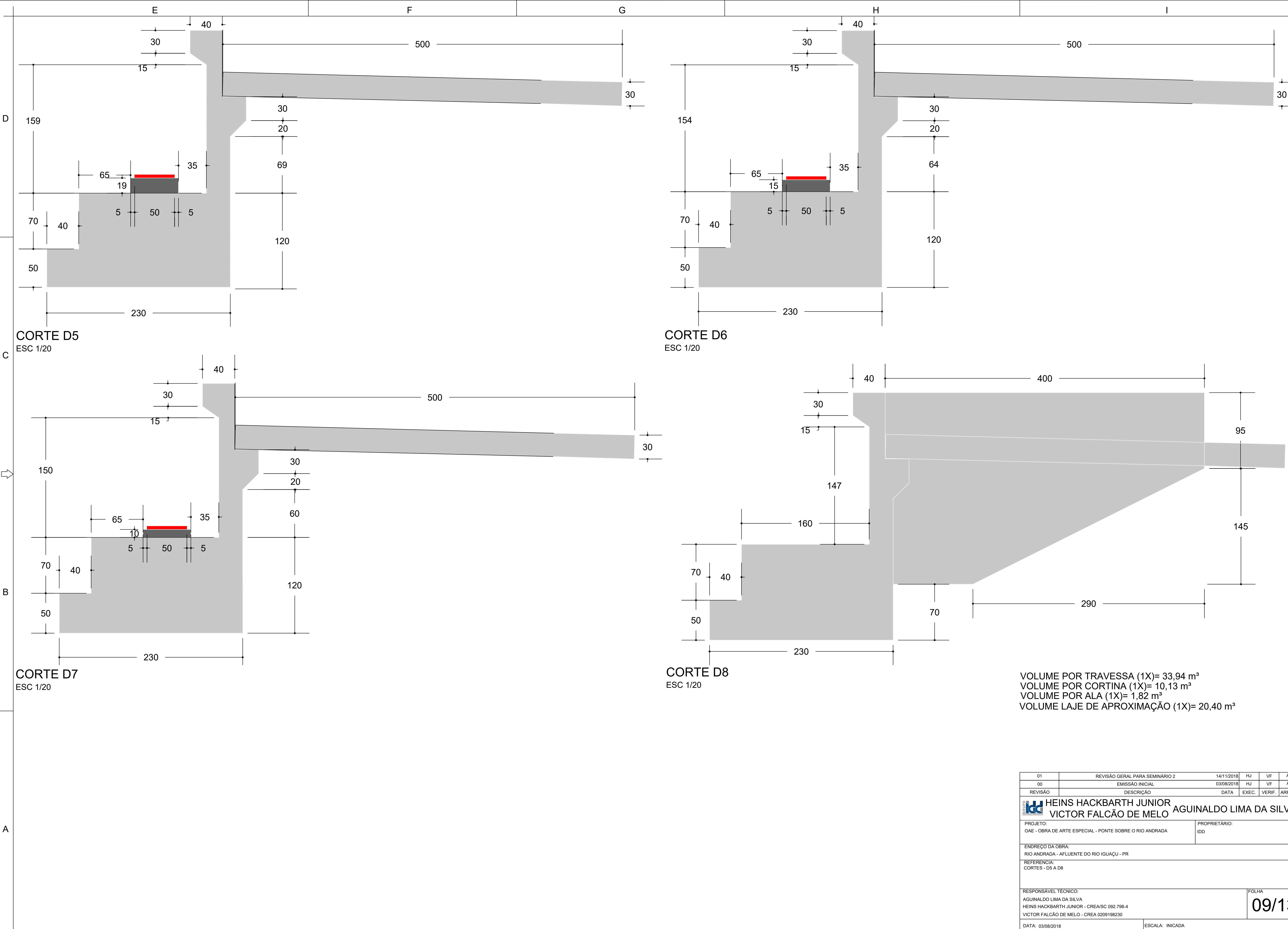


CABECEIRA 1 - PERSPECTIVA 01  
ESC 1/100



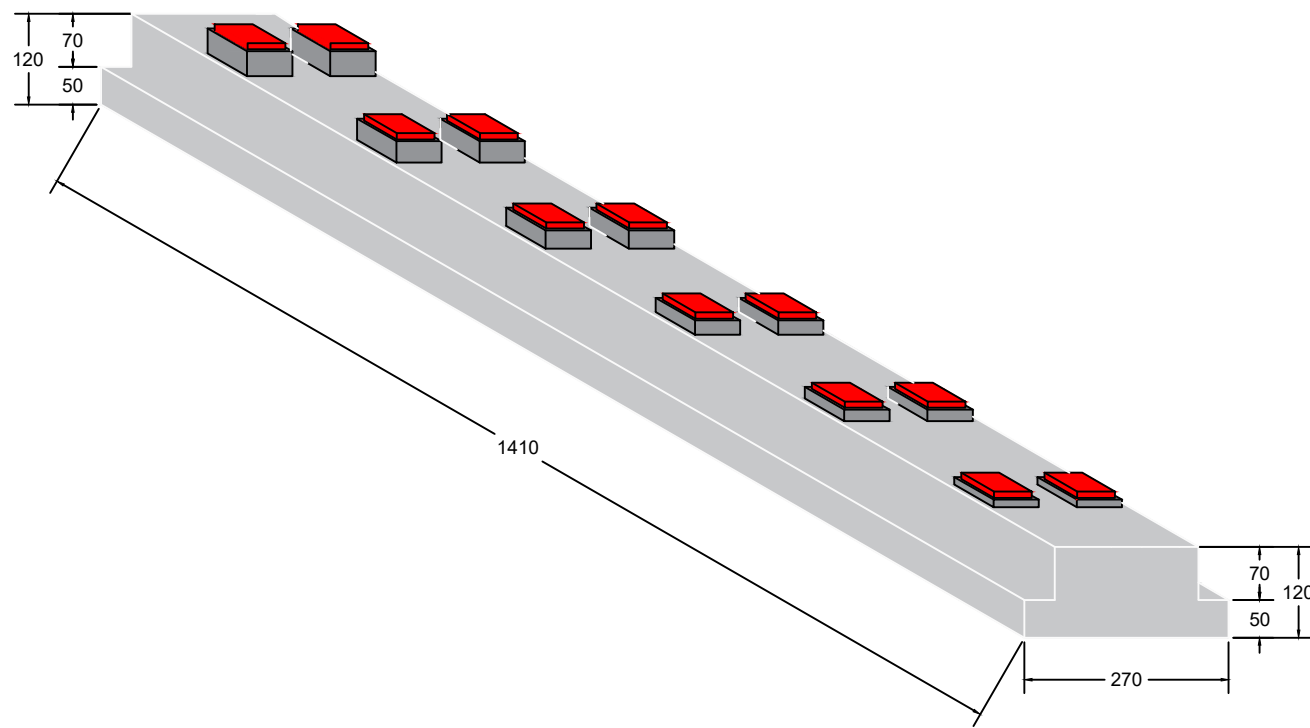
CABECEIRA 1 - PERSPECTIVA 02  
ESC 1/100

|                                                                                                                                                     |                                |            |                      |                           |        |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------|------------|----------------------|---------------------------|--------|
| 01                                                                                                                                                  | REVISÃO GERAL PARA SEMINÁRIO 2 | 14/11/2018 | HJ                   | VF                        | AS     |
| 00                                                                                                                                                  | EMISSION INICIAL               | 03/08/2018 | HJ                   | VF                        | AS     |
| REVISÃO                                                                                                                                             | DESCRIÇÃO                      | DATA       | EXEC.                | VERIF.                    | ARPOV. |
|  <b>HEINS HACKBARTH JUNIOR</b><br><b>VICTOR FALCÃO DE MELO</b> |                                |            |                      |                           |        |
| AGUINALDO LIMA DA SILVA                                                                                                                             |                                |            |                      |                           |        |
| PROJETO:<br>OAE - OBRA DE ARTE ESPECIAL - PONTE SOBRE O RIO ANDRADA                                                                                 |                                |            | PROPRIETÁRIO:<br>IDD |                           |        |
| ENDREÇO DA OBRA:<br>RIO ANDRADA - AFLUENTE DO RIO IGUAÇU - PR                                                                                       |                                |            |                      |                           |        |
| REFERENCIA:<br>PERSPECTIVA CABECEIRA 2 - P30<br>CORTES - D1 A D4                                                                                    |                                |            |                      |                           |        |
| RESPONSÁVEL TÉCNICO:<br>AGUINALDO LIMA DA SILVA<br>HEINS HACKBARTH JUNIOR - CREA/SC 092.798-4<br>VICTOR FALCÃO DE MELO - CREA 0209198230            |                                |            |                      | FOLHA<br><div>08/13</div> |        |
| DATA: 03/08/2018                                                                                                                                    |                                |            | ESCALA: INICIADA     |                           |        |

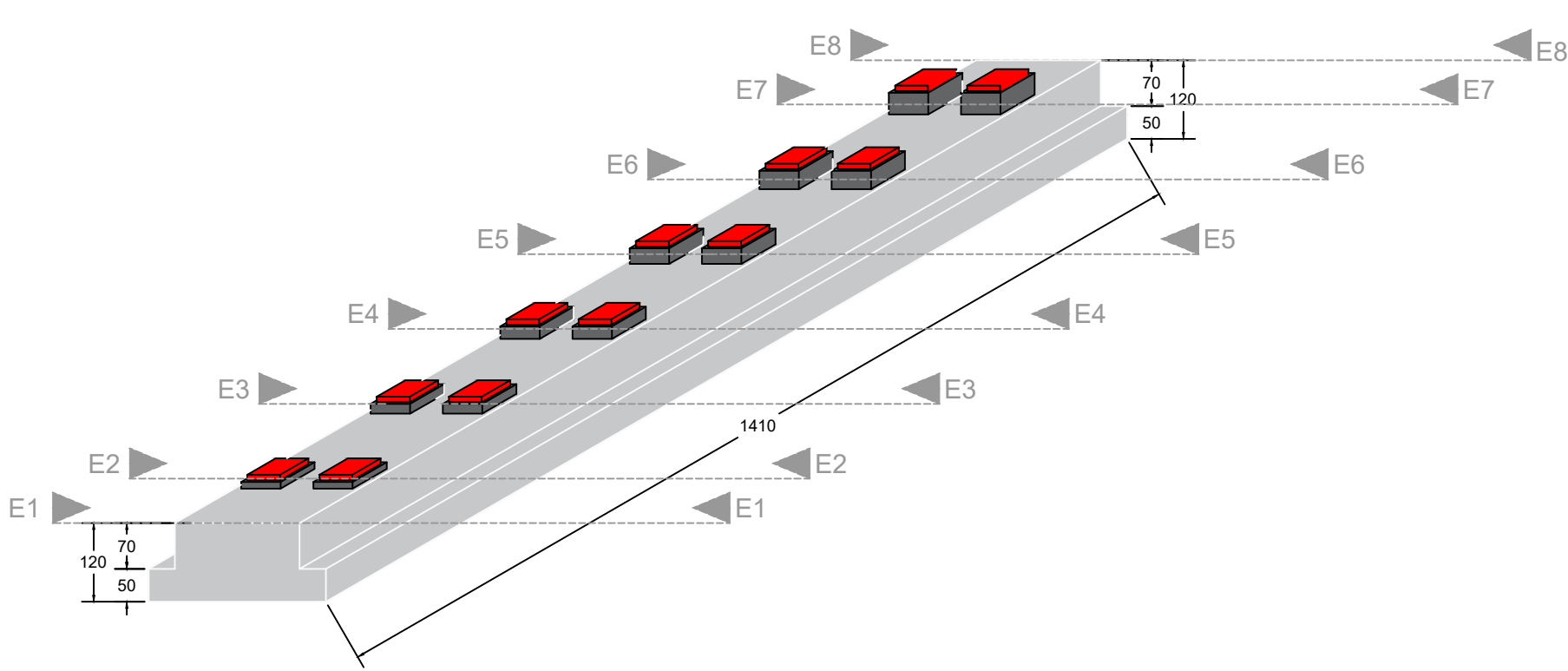


VOLUME POR TRAVESSA (1X)= 33,94 m³  
VOLUME POR CORTINA (1X)= 10,13 m³  
VOLUME POR ALA (1X)= 1,82 m³  
VOLUME LAJE DE APROXIMAÇÃO (1X)= 20,40 m³

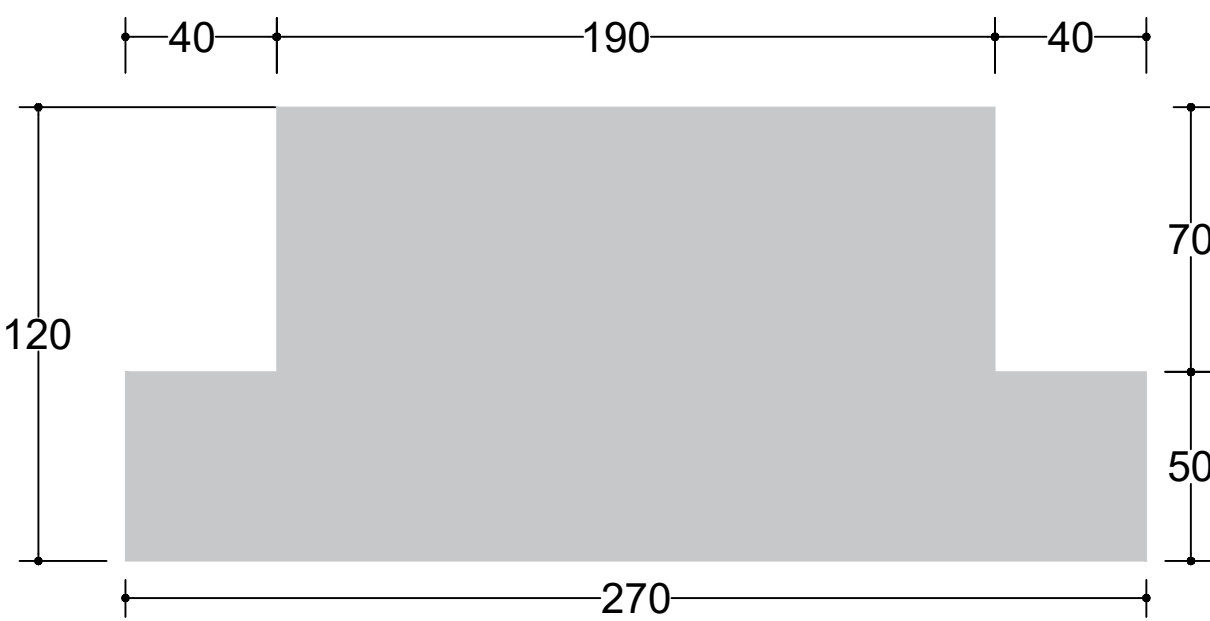
|                                                                                                                                                                                                                                           |  |                                |  |                 |  |                      |                           |        |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--|--------------------------------|--|-----------------|--|----------------------|---------------------------|--------|
| 01                                                                                                                                                                                                                                        |  | REVISÃO GERAL PARA SEMINÁRIO 2 |  | 14/11/2018      |  | HJ                   | VF                        | AS     |
| 00                                                                                                                                                                                                                                        |  | EMISSÃO INICIAL                |  | 03/08/2018      |  | HJ                   | VF                        | AS     |
| REVISÃO                                                                                                                                                                                                                                   |  | DESCRIÇÃO                      |  | DATA            |  | EXEC.                | VERIF.                    | ARPOV. |
| <div><div><div>BRUNO</div><div></div></div><div>HEINS HACKBARTH JUNIOR</div><div>VICTOR FALCÃO DE MELO</div><div>AGUINALDO LIMA DA SILVA</div></div> |  |                                |  |                 |  |                      |                           |        |
| PROJETO:<br>OAE - OBRA DE ARTE ESPECIAL - PONTE SOBRE O RIO ANDRADA                                                                                                                                                                       |  |                                |  |                 |  | PROPRIETÁRIO:<br>IDD |                           |        |
| ENDREÇO DA OBRA:<br>RIO ANDRADA - AFLUENTE DO RIO IGUAÇU - PR                                                                                                                                                                             |  |                                |  |                 |  |                      |                           |        |
| REFERÊNCIA:<br>CORTES - D5 A D8                                                                                                                                                                                                           |  |                                |  |                 |  |                      |                           |        |
| RESPONSÁVEL TÉCNICO:<br>AGUINALDO LIMA DA SILVA<br>HEINS HACKBARTH JUNIOR - CREA/SC 092.798-4<br>VICTOR FALCÃO DE MELO - CREA 0209198230                                                                                                  |  |                                |  |                 |  |                      | FOLHA<br><div>09/13</div> |        |
| DATA: 03/08/2018                                                                                                                                                                                                                          |  |                                |  | ESCALA: INICADA |  |                      |                           |        |



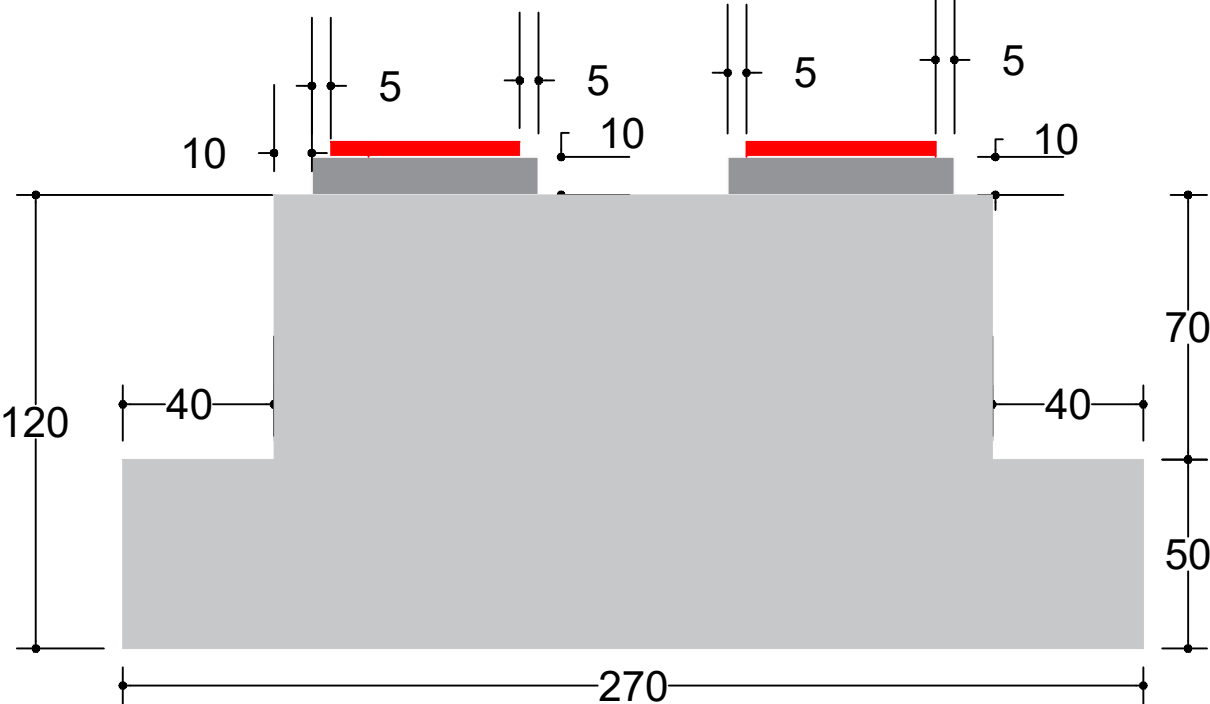
TRAVESSAS APOIOS P10 E P20 - PERSPECTIVA 01 - 2X TRAVESSAS APOIOS P10 E P20 - PERSPECTIVA 02 - 2X  
ESC 1/10  
VOLUME DE CONCRETO POR TRAVESSA (1X) = 37,79m³



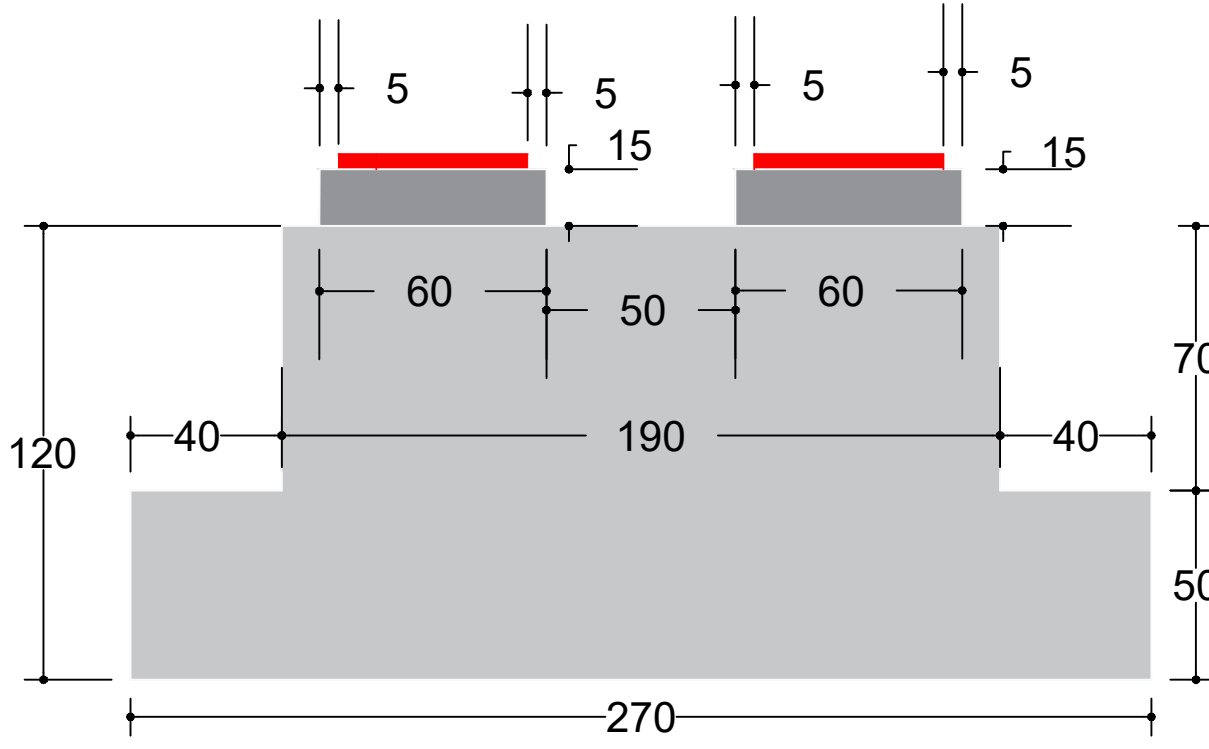
ESC 1/10  
VOLUME DE CONCRETO POR TRAVESSA (1X) = 37,79m³



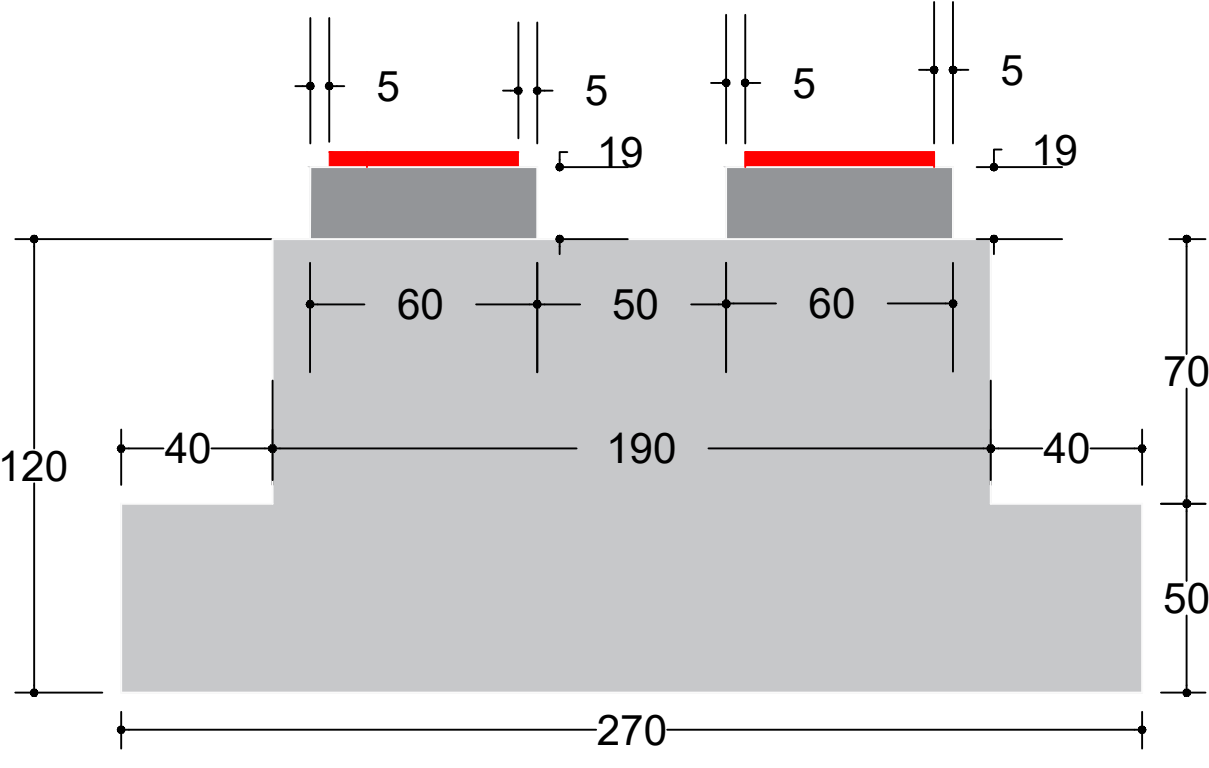
CORTE E1  
ESC 1/20



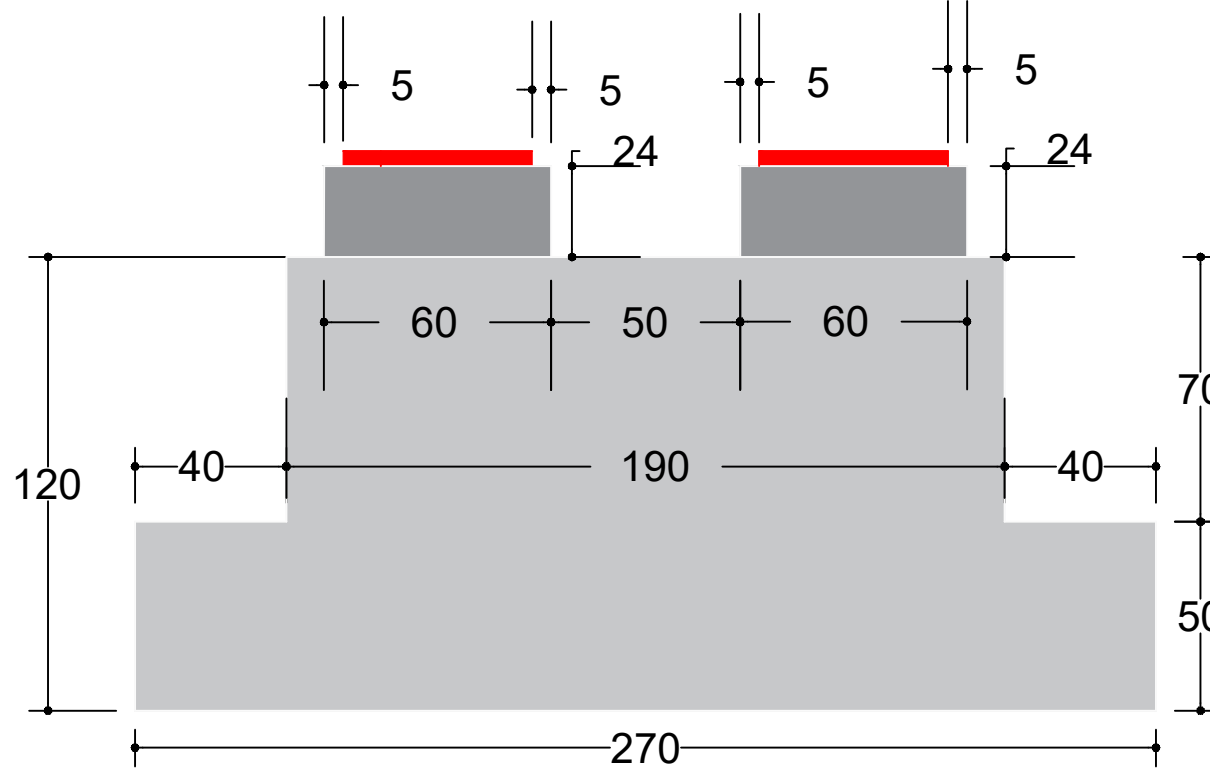
CORTE E2  
ESC 1/20



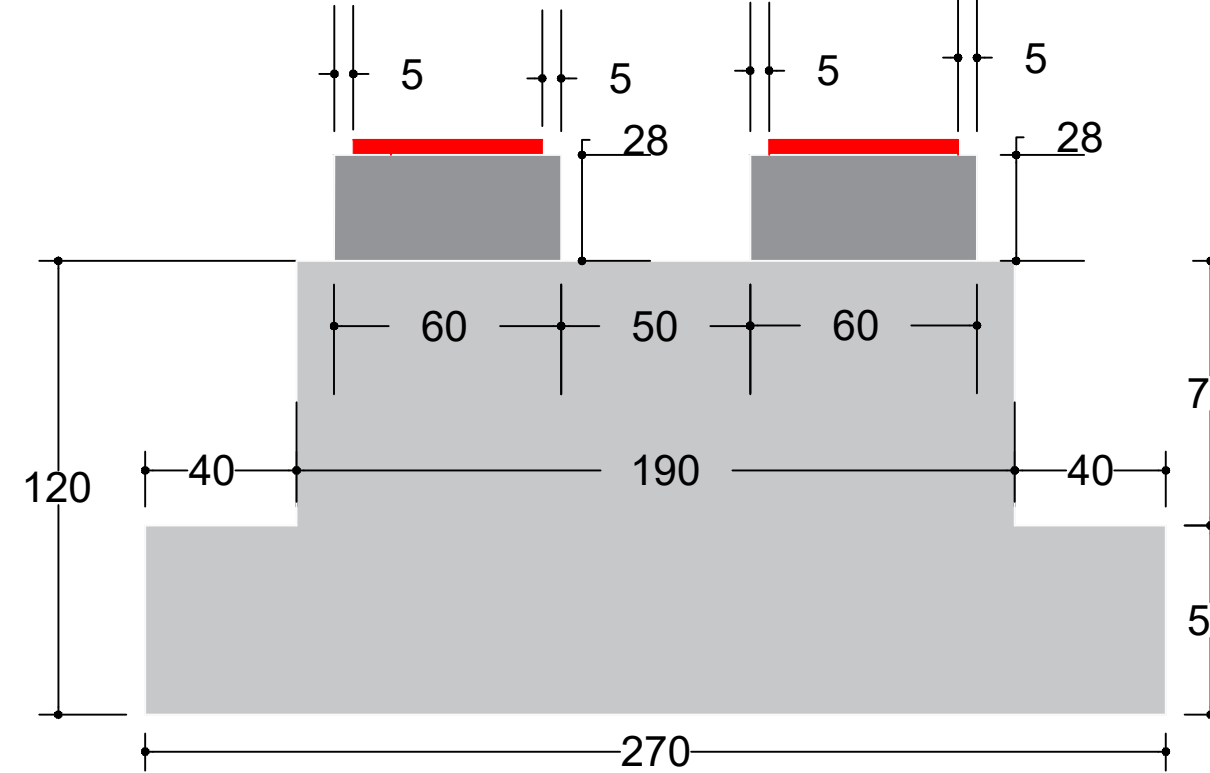
CORTE E3  
ESC 1/20



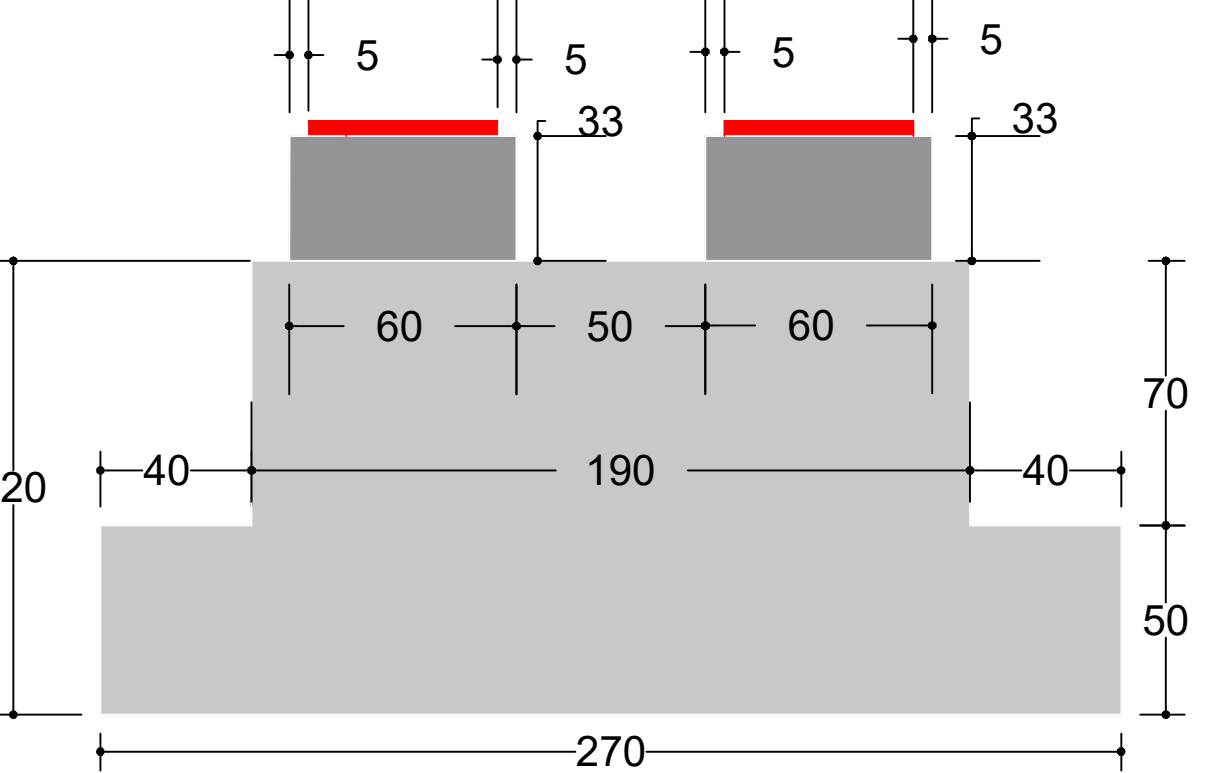
CORTE E4  
ESC 1/20



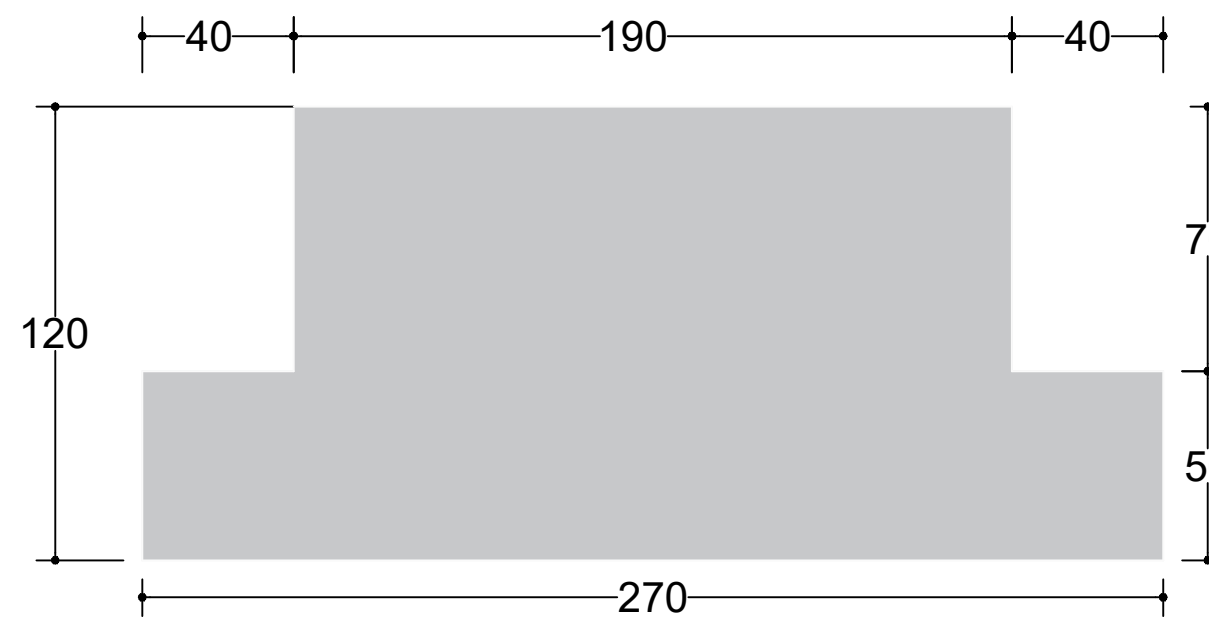
CORTE E5  
ESC 1/20



CORTE E6  
ESC 1/20



CORTE E7  
ESC 1/20



CORTE E8  
ESC 1/20

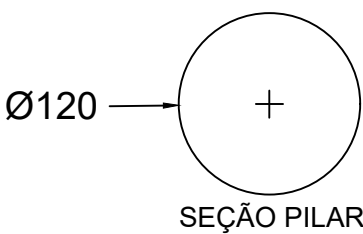
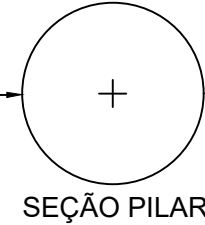
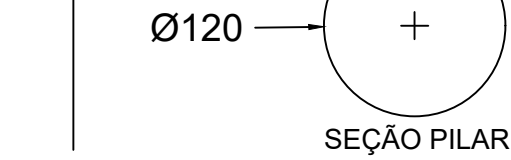
|                                                                                                                                                                                                                                           |                                |            |                      |                           |        |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------|------------|----------------------|---------------------------|--------|
| 01                                                                                                                                                                                                                                        | REVISÃO GERAL PARA SEMINÁRIO 2 | 14/11/2018 | HJ                   | VF                        | AS     |
| 00                                                                                                                                                                                                                                        | EMIÇÃO INICIAL                 | 03/08/2018 | HJ                   | VF                        | AS     |
| REVISÃO                                                                                                                                                                                                                                   | DESCRIÇÃO                      | DATA       | EXEC.                | VERIF.                    | ARPOV. |
| <div><div><div>BRUNO</div><div></div></div><div>HEINS HACKBARTH JUNIOR</div><div>VICTOR FALCÃO DE MELO</div><div>AGUINALDO LIMA DA SILVA</div></div> |                                |            |                      |                           |        |
| PROJETO:<br>OAE - OBRA DE ARTE ESPECIAL - PONTE SOBRE O RIO ANDRADA                                                                                                                                                                       |                                |            | PROPRIETÁRIO:<br>IDD |                           |        |
| ENDREÇO DA OBRA:<br>RIO ANDRADA - AFLUENTE DO RIO IGUAÇU - PR                                                                                                                                                                             |                                |            |                      |                           |        |
| REFERÊNCIA:<br>TRAVESSAS CENTRAIS - APOIOS P10 E P20 - PERSPECTIVAS<br>CORTES - E1 A E8                                                                                                                                                   |                                |            |                      |                           |        |
| RESPONSÁVEL TÉCNICO:<br>AGUINALDO LIMA DA SILVA<br>HEINS HACKBARTH JUNIOR - CREA/SC 092.798-4<br>VICTOR FALCÃO DE MELO - CREA 0209198230                                                                                                  |                                |            |                      | FOLHA<br><div>10/13</div> |        |
| DATA: 03/08/2018                                                                                                                                                                                                                          |                                |            | ESCALA: INICADA      |                           |        |

D

C

B

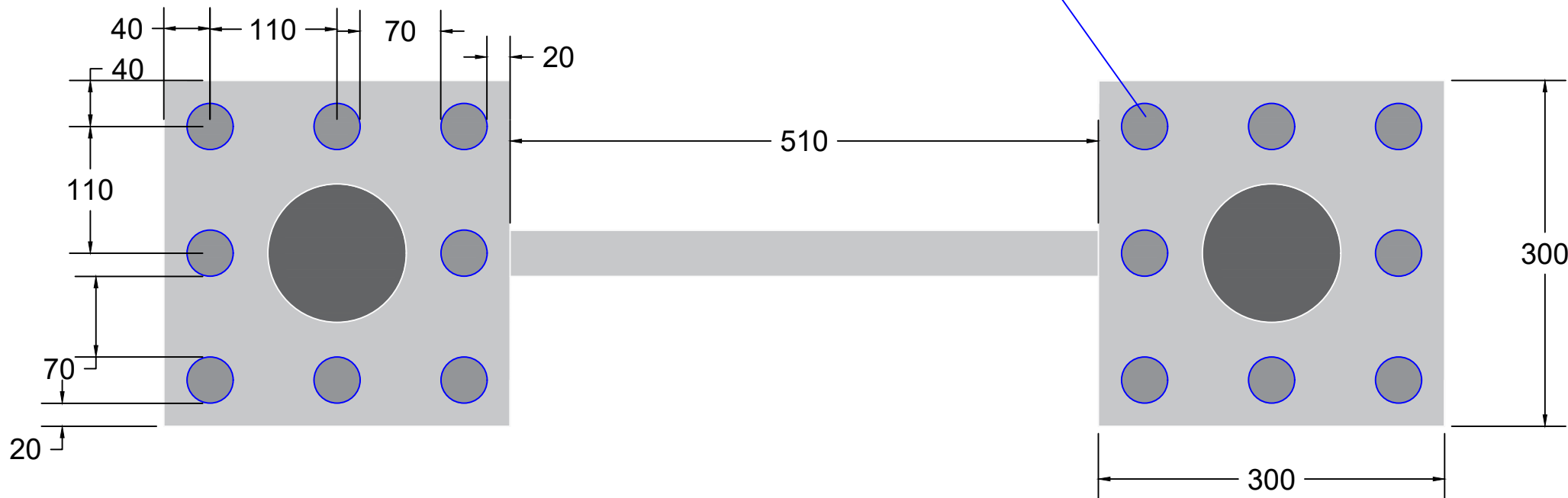
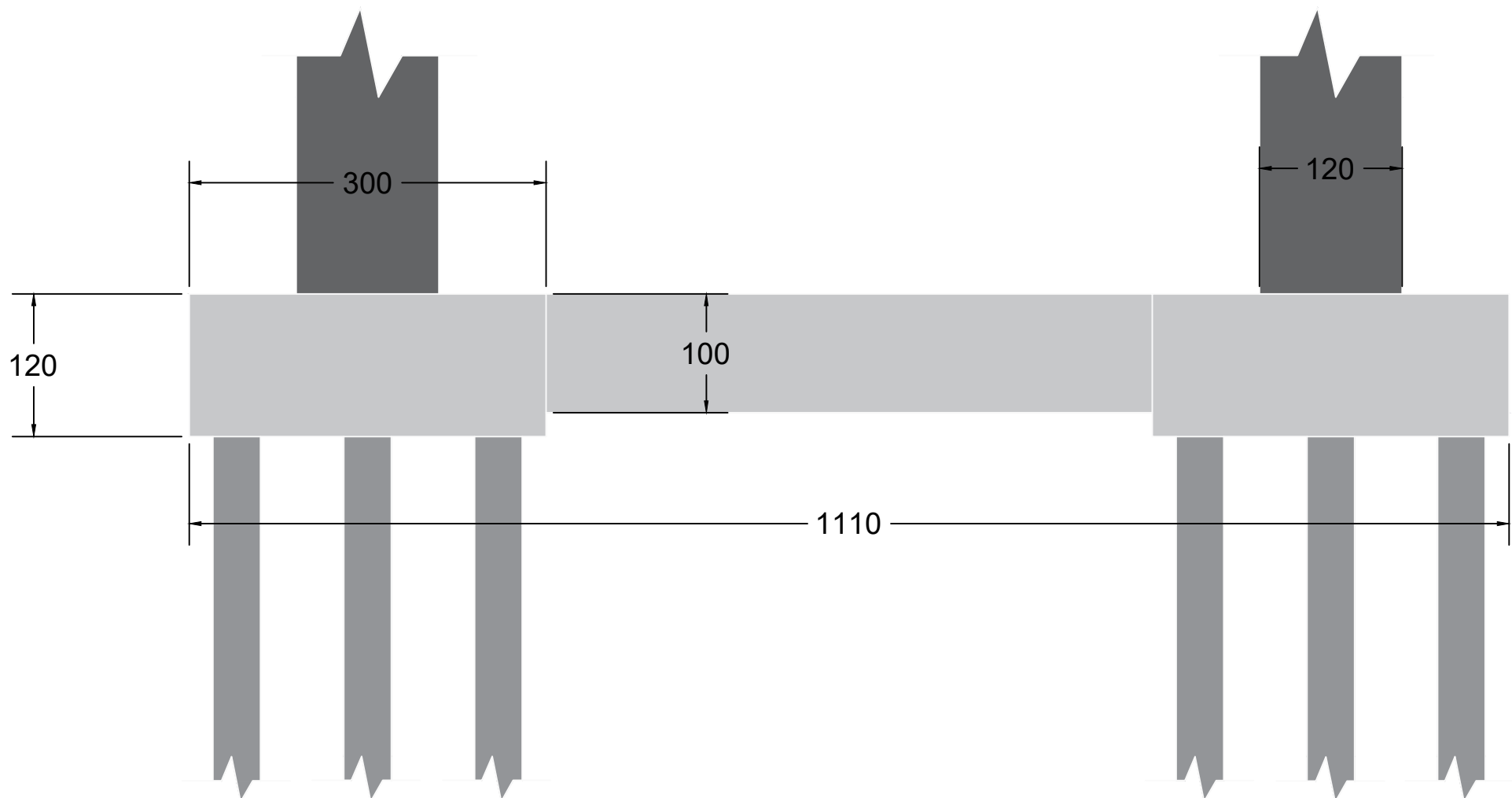
A



PILARES P00 - 2X  
ESC 1/50  
VOLUME DE CONCRETO P00 (1X) = 4,95m³

PILAR P10 E P20 - 4X  
ESC 1/50  
VOLUME DE CONCRETO P10 E P20 (1X) = 6,42m³

PILAR P30 - 2X  
ESC 1/50  
VOLUME DE CONCRETO P30 (1X) = 4,95m³



DETALHE BLOCOS DE FUNDAÇÃO - P00,  
P10, P20 E P30 - 4X  
ESC 1/50

VOLUME DE CONCRETO POR BLOCO (1X) = 10,80m³

|                                                                                                                                                                                                                                           |                                |                 |       |        |        |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------|-----------------|-------|--------|--------|
| 01                                                                                                                                                                                                                                        | REVISÃO GERAL PARA SEMINÁRIO 2 | 14/11/2018      | HJ    | VF     | AS     |
| 00                                                                                                                                                                                                                                        | EMIÇÃO INICIAL                 | 03/08/2018      | HJ    | VF     | AS     |
| REVISÃO                                                                                                                                                                                                                                   | DESCRIÇÃO                      | DATA            | EXEC. | VERIF. | ARPOV. |
| <div><div><div>HEINS</div><div></div></div><div>HEINS HACKBARTH JUNIOR</div><div>VICTOR FALCÃO DE MELO</div><div>AGUINALDO LIMA DA SILVA</div></div> |                                |                 |       |        |        |
| PROJETO:                                                                                                                                                                                                                                  |                                | PROPRIETÁRIO:   |       |        |        |
| OAE - OBRA DE ARTE ESPECIAL - PONTE SOBRE O RIO ANDRADA                                                                                                                                                                                   |                                | IDD             |       |        |        |
| ENDREÇO DA OBRA:                                                                                                                                                                                                                          |                                |                 |       |        |        |
| RIO ANDRADA - AFLUENTE DO RIO IGUAÇU - PR                                                                                                                                                                                                 |                                |                 |       |        |        |
| REFERÊNCIA:                                                                                                                                                                                                                               |                                |                 |       |        |        |
| PILARES P00, P10 ,P20 E P30                                                                                                                                                                                                               |                                |                 |       |        |        |
| DETALHES BLOCOS DE FUNDAÇÃO                                                                                                                                                                                                               |                                |                 |       |        |        |
| RESPONSÁVEL TÉCNICO:                                                                                                                                                                                                                      |                                |                 |       | FOLHA  |        |
| AGUINALDO LIMA DA SILVA                                                                                                                                                                                                                   |                                |                 |       | 11/13  |        |
| HEINS HACKBARTH JUNIOR - CREA/SC 092.798-4                                                                                                                                                                                                |                                |                 |       |        |        |
| VICTOR FALCÃO DE MELO - CREA 0209198230                                                                                                                                                                                                   |                                |                 |       |        |        |
| DATA: 03/08/2018                                                                                                                                                                                                                          |                                | ESCALA: INICADA |       |        |        |

ESC. 1:50



|                                |            |
|--------------------------------|------------|
| Volume total:                  | 18.065 m3  |
| Peso parcial:                  | 43356.3 kg |
| Peso total:                    | 44944.0 kg |
| Resistência de projeto (fck):  | 40 MPa     |
| Resistência de manuseio (fcj): | 35 MPa     |
| Cobrimento das armaduras:      | 25 mm      |

CONCRETO FCK 40 Mpa

COBRIMENTO DA ARMADURA = 3,00 cm

VOLUME DE CONCRETO POR VIGA = VC= 18,21 m3

VOLUME DE CONCRETO TOTAL = VC= 327,83 m3

**GRUPO**  
**kd**  
KODICORP

**HEINS HACKBARTH JUNIOR**  
**VICTOR FALCÃO DE MELO**

**AGUINALDO LIMA DA SILVA**

|                                                                     |                      |
|---------------------------------------------------------------------|----------------------|
| PROJETO:<br>OAE - OBRA DE ARTE ESPECIAL - PONTE SOBRE O RIO ANDRADA | PROPRIETÁRIO:<br>IDD |
|---------------------------------------------------------------------|----------------------|

ENDREÇO DA OBRA:  
RIO ANDRADA - AFLUENTE DO RIO IGUAÇU - PR

REFERENCIA:  
DETALHAMENTO LONGARINAS L1 A L6 - ARMADURA PASSIVA

|                                                                                                                                          |                           |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------|
| RESPONSÁVEL TÉCNICO:<br>AGUINALDO LIMA DA SILVA<br>HEINS HACKBARTH JUNIOR - CREA/SC 092.798-4<br>VICTOR FALCÃO DE MELO - CREA 0209198230 | FOLHA<br><div>12/13</div> |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------|

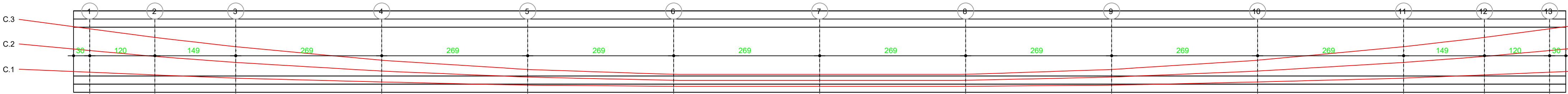
|                  |                 |
|------------------|-----------------|
| DATA: 03/08/2018 | ESCALA: INICADA |
|------------------|-----------------|

DETALHE LONGARINAS L1 A L6 (18X)

ESC 1/50

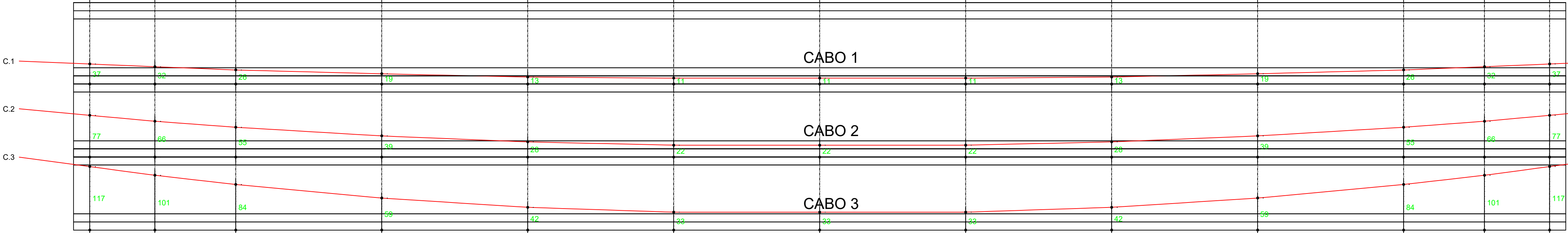
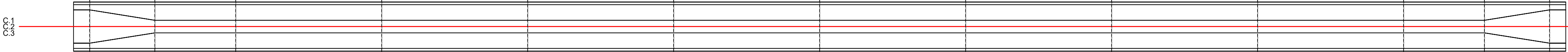
TRAÇADO LONGITUDINAL DOS CABOS

ESC. 1:50



TRAÇADO HORIZONTAL DOS CABOS

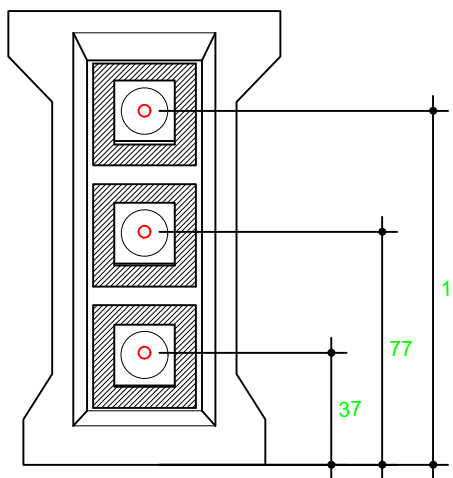
ESC. 1:50



- NOTAS:
- A) NUMERO DE LONGARINAS = 18 un = COMPRIMENTO =27.50 m
- B) CONCRETO FCK 40 Mpa
- C) VOLUME DE CONCRETO POR VIGA = VC= 18,21 m3
- D) VOLUME DE CONCRETO TOTAL = VC= 327,83 m3
- E) FORÇA DE PROTENSÃO MÁXIMA NA PROTENSÃO FINAL: 192/CORDOALHA
- F) ENCUNHAMENTO MÁXIMO CONSIDERADO= 5 mm
- G) OS CABOS DEVERÃO SER PROTENDIDOS ATÉ QUE A FORÇA TEÓRICA DE PROTENSÃO SEJA ATINGIDA PELO MACACO DE PROTENSÃO ( O EQUIPAMENTO DEVE SER TARADO DE ACORDO COM O ALCANCE RETO CONSTATANTE NESSE PROJETO). A FORÇAS TEÓRICAS DE PROTENSÃO, EM HIPÓTESE ALGUMA, PODERÁ SER ULTRAPASSADA DURANTE A PROTENSÃO
- H) NO CASO DE OCORRÊNCIA DE DISCREPÂNCIAS SUPERIORES A 10% DO ALCANCE DO CABO, DEVERÃO SER ENCAMINHADAS A ESTE PROJETISTA AS TABELAS DE PROTENSÃO CONTENDO OS DADOS VERIFICADOS IN-LOCO (O ALCANCE VERIFICADO PARA CADA CABO NO INSTANTE EM QUE A FORÇA TEÓRICA DE PROTENSÃO FOI ATINGIDA) APÓS ANÁLISE E APROVAÇÃO SERÁ LIBERADA A INJEÇÃO DE NATA DE CIMENTO NAS BAINHAS E CORTE DAS PONTAS
- I) A PROTENSÃO FINAL DOS CABOS DEVERÁ SER FEITA SOMENTE APÓS 28 DIAS DA ÚLTIMA CONCRETAGEM DA VIGA OU APÓS O CONCRETO TER ATINGIDO FCK= 40 Mpa
- J) PESO DA VIGA = 45,52t
- K) APENAS SERÃO PERMITIDAS REPROTENSÕES COM FITO DE SE Atingir o ALCANCE TEÓRICO COM A AUTORIZAÇÃO DESTRE PROJETISTA
- L) PARA UMA BOA CONCRETAGEM, RECOMENDA-SE: EXECUTAR CONCRETO COM BRITA 1 (DIÂMETRO MÁXIMO DO AGREGADO); UTILIZAR CONCRETO COM SLUMP MÍNIMO DE 10 cm

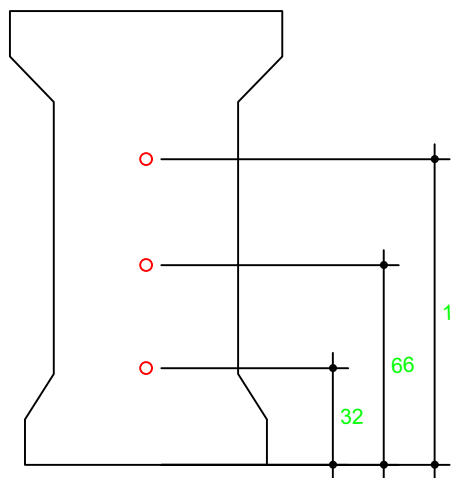
SEÇÃO 0

ESC. 1:25



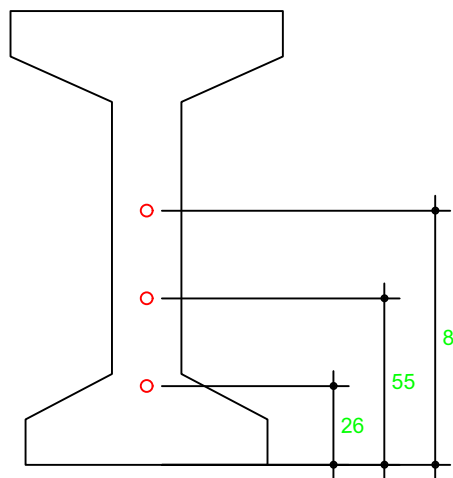
SEÇÃO 1

ESC. 1:25



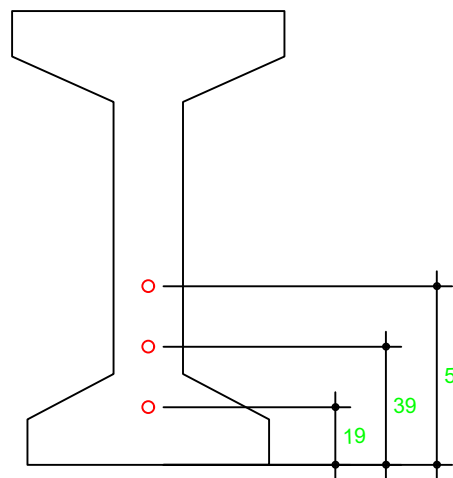
SEÇÃO 2

ESC. 1:25



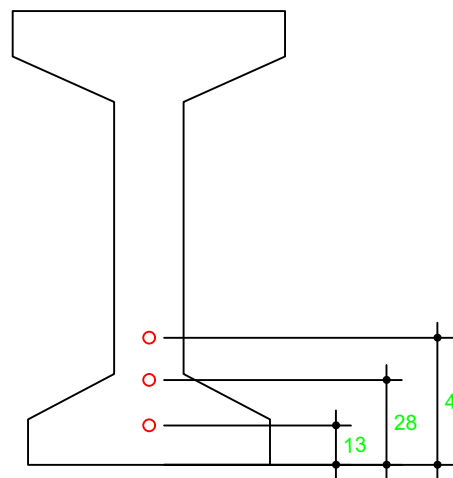
SEÇÃO 3

ESC. 1:25



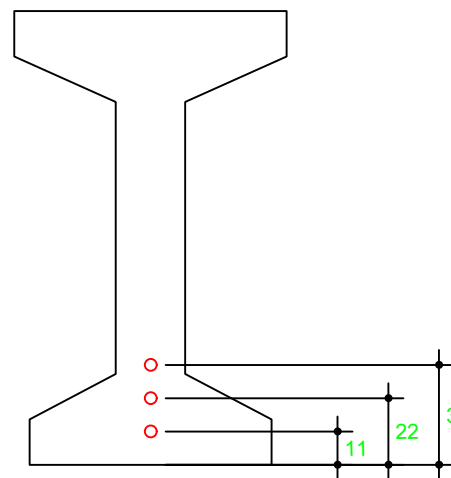
SEÇÃO 4

ESC. 1:25



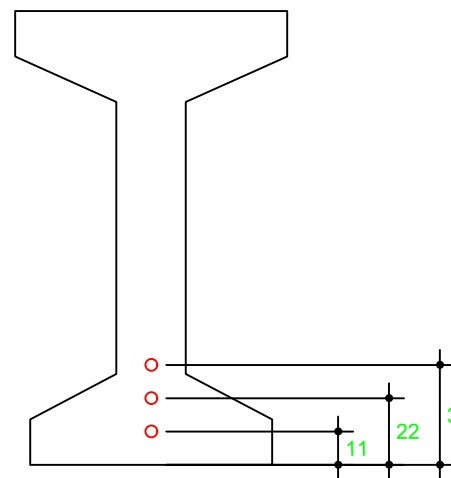
SEÇÃO 5

ESC. 1:25



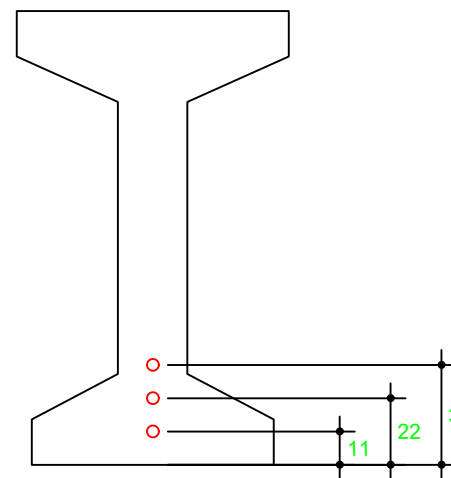
SEÇÃO 6

ESC. 1:25



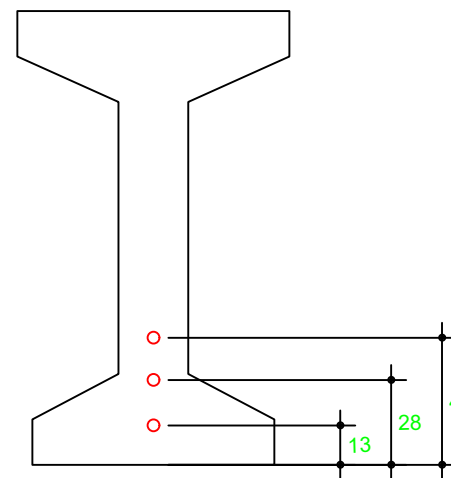
SEÇÃO 7

ESC. 1:25



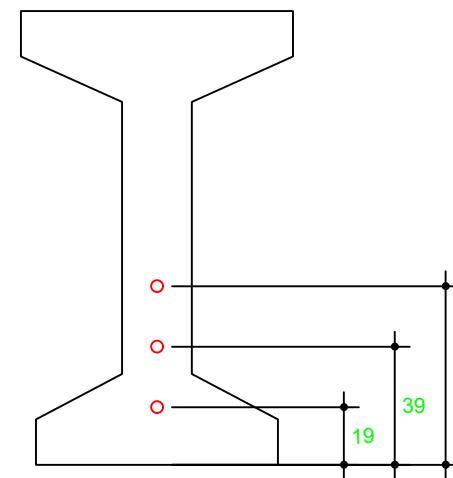
SEÇÃO 8

ESC. 1:25



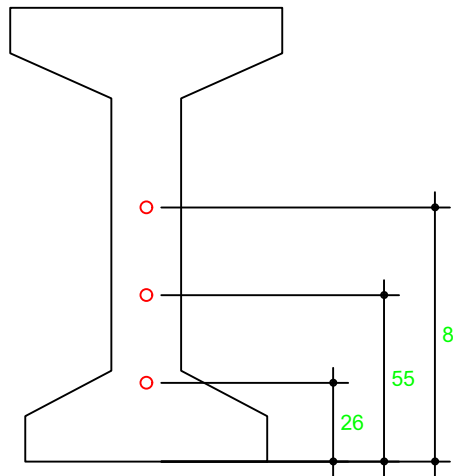
SEÇÃO 9

ESC. 1:25



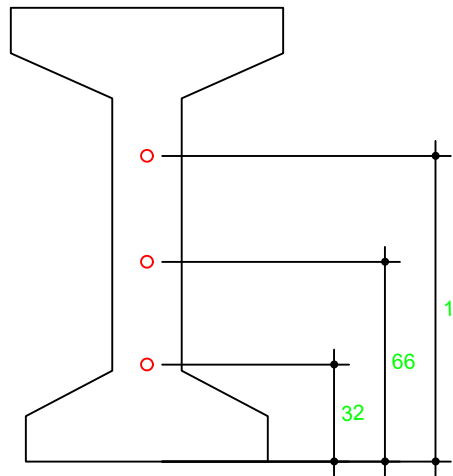
SEÇÃO 10

ESC. 1:25



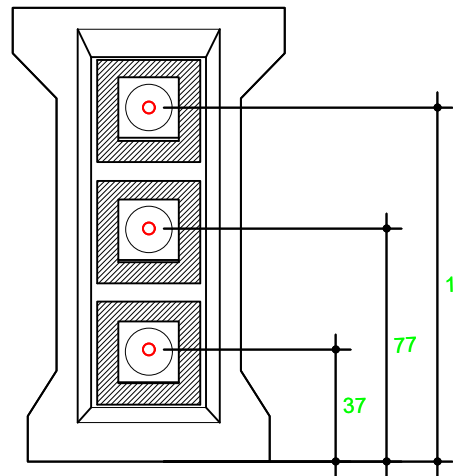
SEÇÃO 11

ESC. 1:25



SEÇÃO 12

ESC. 1:25



QUANTIDADE DE CABOS, BAINHAS E ANCORAGENS P/ 1 VIGA

| CABO | QUANTIDADE POR VIGA | CORDOALHAS | COMPRIMENTOS (m) |       | FORÇA DE PROT. (kN) | ALONG. DO CABO (mm) | PESO DO CABO (kg) |
|------|---------------------|------------|------------------|-------|---------------------|---------------------|-------------------|
|      |                     |            | BAINHA           | CABO  |                     |                     |                   |
| C.1  | 1                   | 12 Ø15.2   | 27.22            | 29.52 | 2352                | 170                 | 398.8             |
| C.2  | 1                   | 12 Ø15.2   | 27.27            | 29.57 | 2352                | 170                 | 399.6             |
| C.3  | 1                   | 12 Ø15.2   | 27.36            | 29.66 | 2352                | 171                 | 400.8             |

|                                   |        |
|-----------------------------------|--------|
| Comprimento total dos cabos (m)   | 88.75  |
| Peso total dos cabos (kg)         | 1199.2 |
| Comprimento total das bainhas (m) | 81.9   |
| Ancoragens ativas (unidades)      | 6      |

- NOTAS:
- CONCRETO FCK 40 Mpa
- COBRIMENTO DA ARMADURA = 3,00 cm
- VOLUME DE CONCRETO POR VIGA = VC= 18,21 m3
- VOLUME DE CONCRETO TOTAL = VC= 327,83 m3

TAXA DE ARMADURA PASSIVA = 100,83 kg/m3

TAXA DE PROTENSÃO = 73,38 Kg/m3

|                                                                                                                                                                                                          |                                                          |            |                      |                           |        |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------|------------|----------------------|---------------------------|--------|
| 03                                                                                                                                                                                                       | REVISÃO GERAL                                            | 02/03/2020 | HJ                   | VF                        | AS     |
| 02                                                                                                                                                                                                       | DIVISÃO EM DUAS PRANCHAS DAS ARMADURAS PASSIVAS E ATIVAS | 28/06/2019 | HJ                   | VF                        | AS     |
| 01                                                                                                                                                                                                       | REVISÃO GERAL PARA SEMINÁRIO 2                           | 14/11/2018 | HJ                   | VF                        | AS     |
| 00                                                                                                                                                                                                       | EMISSIONAL INICIAL                                       | 03/08/2018 | HJ                   | VF                        | AS     |
| REVISÃO                                                                                                                                                                                                  | DESCRIÇÃO                                                | DATA       | EXEC.                | VERIF.                    | ARPOV. |
| <div><div><div>HEINS HACKBARTH JUNIOR<br/>VICTOR FALCÃO DE MELO</div></div><div>AGUINALDO LIMA DA SILVA</div></div> |                                                          |            |                      |                           |        |
| PROJETO:<br>OAE - OBRA DE ARTE ESPECIAL - PONTE SOBRE O RIO ANDRADA                                                                                                                                      |                                                          |            | PROPRIETÁRIO:<br>IDD |                           |        |
| ENDREÇO DA OBRA:<br>RIO ANDRADA - AFLUENTE DO RIO IGUAÇU - PR                                                                                                                                            |                                                          |            |                      |                           |        |
| REFERÊNCIA:<br>DETALHAMENTO LONGARINAS L1 A L6 - ARMADURA ATIVA                                                                                                                                          |                                                          |            |                      |                           |        |
| RESPONSÁVEL TÉCNICO:<br>AGUINALDO LIMA DA SILVA<br>HEINS HACKBARTH JUNIOR - CREA/SC 092.798-4<br>VICTOR FALCÃO DE MELO - CREA 0209198230                                                                 |                                                          |            |                      | FOLHA<br><div>13/13</div> |        |
| DATA: 03/08/2018                                                                                                                                                                                         |                                                          |            | ESCALA: INICADA      |                           |        |

## **REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

**CARVALHO R.; FILHO J., CALCULO E DETALHAMENTO DE ESTRUTURAS USUAIS DE CONCRETO ARMADO.**

**MARCHETTI O., PONTES DE CONCRETO ARMADO.**

**LEONHARDT F., PRINCÍPIOS BÁSICOS DA CONSTRUÇÃO DE PONTES DE CONCRETO.**

**ALONSO U., EXERCÍCIOS DE FUNDAÇÕES.**

**CARVALHO R.; PINHEIRO L., CÁLCULO E DETALHAMENTO DE ESTRUTURAS USUAIS DE CONCRETO ARMADO VOLUME 2.**

## **ANEXOS**

A seguir são apresentados os anexos.



# Cálculo de Esforços em laje de ponte

## pelo método de Rüsch

[www.pcalc.com.br/trusch](http://www.pcalc.com.br/trusch)

12/11/2019 15:10:02

## Sumário

- [Parâmetros de entrada](#)
- [Esforços devido às cargas móveis](#)
  - [M<sub>xm</sub>](#)
  - [M<sub>ym</sub>](#)
  - [Diagramas Envoltórios](#)
    - [M<sub>x</sub> devido à p](#)
    - [M<sub>y</sub> devido à p](#)
- [Esforços devido às cargas permanentes](#)
  - [M<sub>xm</sub>](#)
  - [M<sub>ym</sub>](#)
  - [Diagramas Envoltórios](#)
    - [M<sub>x</sub> devido à g](#)
    - [M<sub>y</sub> devido à g](#)

## Parâmetros de entrada

$$I_y/I_x=18,24$$

Condições de apoio:

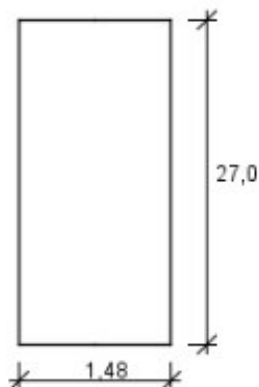
Direção do tráfego:



Tabela: 76

$$I_x/a=0,74$$

$$t/a=0,31$$



## Esforços devido às cargas móveis

**M<sub>xm</sub>** (Tabela 7.1 e 8.1)

| lx/a | t/a   |       |       |       | Para todos os valores de t/a |      |
|------|-------|-------|-------|-------|------------------------------|------|
|      | 0,125 | 0,250 | 0,5   | 1,0   |                              |      |
|      | L     | L     | L     | L     | p                            | p'   |
| 0,50 | 0,2   | 0,17  | 0,112 | 0,065 | 0,0                          | 0,0  |
| 1,0  | 0,351 | 0,3   | 0,237 | 0,176 | 0,0                          | 0,15 |
| 1,5  | 0,431 | 0,4   | 0,351 | 0,305 | 0,1                          | 0,23 |
| 2,0  | 0,52  | 0,491 | 0,461 | 0,421 | 0,25                         | 0,4  |
| 2,5  | 0,62  | 0,59  | 0,56  | 0,53  | 0,58                         | 0,96 |
| 3,0  | 0,72  | 0,69  | 0,67  | 0,63  | 1,0                          | 1,35 |
| 4,0  | 0,87  | 0,85  | 0,82  | 0,8   | 2,2                          | 2,85 |
| 5,0  | 0,99  | 0,98  | 0,95  | 0,93  | 3,46                         | 5,65 |
| 6,0  | 1,08  | 1,07  | 1,04  | 1,02  | 4,7                          | 8,0  |
| 7,0  | 1,15  | 1,14  | 1,11  | 1,1   | 5,75                         | 11,8 |
| 8,0  | 1,2   | 1,19  | 1,17  | 1,15  | 6,9                          | 16,4 |
| 9,0  | 1,24  | 1,23  | 1,21  | 1,2   | 8,0                          | 22,1 |
| 10,0 | 1,27  | 1,26  | 1,24  | 1,23  | 9,12                         | 28,7 |

$M_L=0,22$

$M_p=0,0$

$M_{p'}=0,07$

$M_{xm} = \varphi \times (P \times M_L + p \times M_p + p' \times M_{p'})$

$M_{xm}=1,35 \times (75,0 \times 0,22 + 5,0 \times 0,0 + 5,0 \times 0,07)$

$M_{xm}=22,48 \text{ kN.m/m}$

**M<sub>ym</sub>** (Tabela 7.2 e 8.2)

| lx/a | t/a   |       |       |       | Para todos os valores de t/a |       |
|------|-------|-------|-------|-------|------------------------------|-------|
|      | 0,125 | 0,250 | 0,5   | 1,0   |                              |       |
|      | L     | L     | L     | L     | p                            | p'    |
| 0,50 | 0,155 | 0,095 | 0,069 | 0,028 | 0,0                          | 0,0   |
| 1,0  | 0,223 | 0,158 | 0,11  | 0,063 | 0,0                          | 0,03  |
| 1,5  | 0,267 | 0,22  | 0,16  | 0,118 | 0,02                         | 0,07  |
| 2,0  | 0,322 | 0,263 | 0,228 | 0,179 | 0,04                         | 0,12  |
| 2,5  | 0,382 | 0,338 | 0,29  | 0,253 | 0,1                          | 0,24  |
| 3,0  | 0,457 | 0,408 | 0,361 | 0,323 | 0,17                         | 0,4   |
| 4,0  | 0,58  | 0,53  | 0,472 | 0,433 | 0,37                         | 1,03  |
| 5,0  | 0,69  | 0,64  | 0,58  | 0,53  | 0,58                         | 2,03  |
| 6,0  | 0,77  | 0,73  | 0,66  | 0,62  | 0,78                         | 3,06  |
| 7,0  | 0,84  | 0,8   | 0,73  | 0,7   | 0,92                         | 4,54  |
| 8,0  | 0,9   | 0,86  | 0,8   | 0,76  | 1,29                         | 6,28  |
| 9,0  | 0,96  | 0,91  | 0,85  | 0,82  | 1,3                          | 8,25  |
| 10,0 | 1,02  | 0,95  | 0,9   | 0,87  | 1,46                         | 10,67 |

$M_L=0,12$

$$M_p=0,0$$

$$M_p=0,01$$

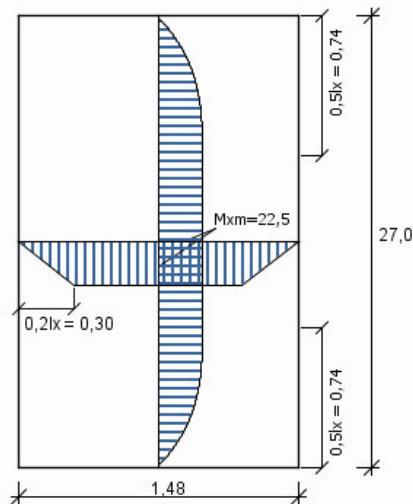
$$M_{ym} = \varphi \times (P \times M_L + p \times M_p + p' \times M_{p'})$$

$$M_{ym} = 1,35 \times (75,0 \times 0,12 + 5,0 \times 0,0 + 5,0 \times 0,01)$$

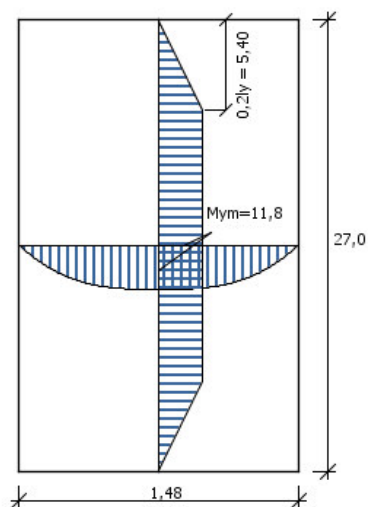
$$M_{ym} = 11,84 \text{ kN.m/m}$$

## Diagramas Envoltórios

### $M_x$ devido à p



### $M_y$ devido à p



## Esforços devido às cargas permanentes

**$M_{xm}$**

$$k=0,10$$

$$M_{xm}=k \times g \times l_x^2$$

$$M_{xm}=0,10 \times 8,93 \times 2,19$$

$$M_{xm}=1,96 \text{ kN.m/m}$$

**$M_{ym}$**

$$k=0,03$$

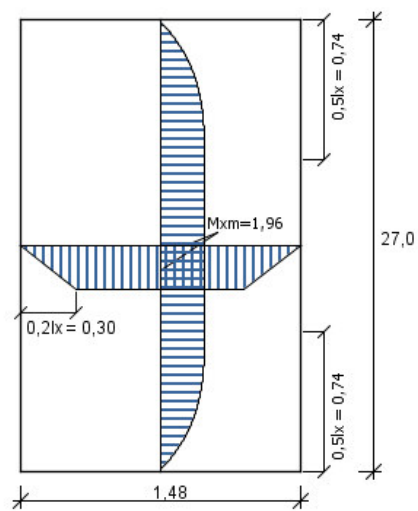
$$M_{ym}=k \times g \times l_x^2$$

$$M_{ym}=0,03 \times 8,93 \times 2,19$$

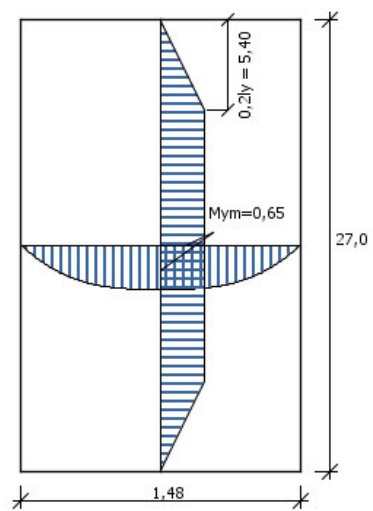
$$M_{ym}=0,65 \text{ kN.m/m}$$

## Diagramas Envoltórios

**$M_x$  devido à g**



**$M_y$  devido à g**





# Cálculo de Esforços em laje de ponte

## pelo método de Rüsch

[www.pcalc.com.br/trusch](http://www.pcalc.com.br/trusch)

12/11/2019 17:08:31

## Sumário

- [Parâmetros de entrada](#)
- [Esforços devido às cargas móveis](#)
  - [M<sub>xm</sub>](#)
  - [M<sub>ym</sub>](#)
  - [M<sub>xe</sub>](#)
  - [Diagramas Envoltórios](#)
    - [M<sub>x</sub> devido à p](#)
    - [M<sub>y</sub> devido à p](#)
- [Esforços devido às cargas permanentes](#)
  - [M<sub>xm</sub>](#)
  - [M<sub>ym</sub>](#)
  - [M<sub>xe</sub>](#)
  - [Diagramas Envoltórios](#)
    - [M<sub>x</sub> devido à g](#)
    - [M<sub>y</sub> devido à g](#)

## Parâmetros de entrada

$$l_y/l_x=18,24$$

Condições de apoio:

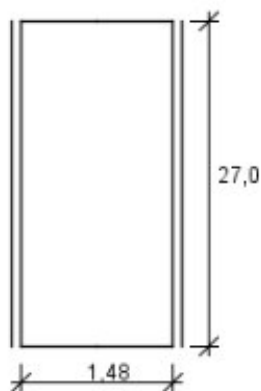
Direção do tráfego:



Tabela:93

$$l_x/a=0,74$$

$$t/a=0,31$$



## Esforços devido às cargas móveis

**M<sub>xm</sub>** (Tabela 9.1 e 10.1)

| lx/a | t/a   |       |       |       | Para todos os valores de t/a |       |
|------|-------|-------|-------|-------|------------------------------|-------|
|      | 0,125 | 0,250 | 0,5   | 1,0   |                              |       |
|      | L     | L     | L     | L     | p                            | p'    |
| 0,50 | 0,118 | 0,083 | 0,041 | 0,02  | 0,0                          | 0,0   |
| 1,0  | 0,171 | 0,129 | 0,078 | 0,061 | 0,0                          | 0,0   |
| 1,5  | 0,227 | 0,18  | 0,131 | 0,127 | 0,0                          | 0,05  |
| 2,0  | 0,289 | 0,241 | 0,2   | 0,185 | 0,0                          | 0,2   |
| 2,5  | 0,347 | 0,305 | 0,265 | 0,235 | 0,0                          | 0,45  |
| 3,0  | 0,4   | 0,358 | 0,322 | 0,291 | 0,0                          | 0,85  |
| 4,0  | 0,51  | 0,468 | 0,431 | 0,395 | 0,05                         | 1,72  |
| 5,0  | 0,6   | 0,56  | 0,53  | 0,48  | 0,14                         | 2,84  |
| 6,0  | 0,69  | 0,66  | 0,62  | 0,57  | 0,26                         | 4,5   |
| 7,0  | 0,76  | 0,73  | 0,7   | 0,63  | 0,4                          | 6,9   |
| 8,0  | 0,82  | 0,8   | 0,76  | 0,69  | 0,56                         | 9,4   |
| 9,0  | 0,87  | 0,84  | 0,81  | 0,73  | 0,7                          | 12,2  |
| 10,0 | 0,9   | 0,87  | 0,83  | 0,75  | 0,9                          | 15,85 |

M<sub>L</sub>=0,09

M<sub>p</sub>=0,0

M<sub>p'</sub>=0,0

M<sub>xm</sub>= φ x (P x M<sub>L</sub> + p x M<sub>p</sub> + p' x M<sub>p'</sub>)

M<sub>xm</sub>=1,35 x (75,0 x 0,09 + 5,0 x 0,0 + 5,0 x 0,0)

M<sub>xm</sub>=9,46 kN.m/m

**M<sub>ym</sub>** (Tabela 9.2 e 10.2)

| lx/a | t/a   |       |       |       | Para todos os valores de t/a |      |
|------|-------|-------|-------|-------|------------------------------|------|
|      | 0,125 | 0,250 | 0,5   | 1,0   |                              |      |
|      | L     | L     | L     | L     | p                            | p'   |
| 0,50 | 0,095 | 0,054 | 0,032 | 0,005 | 0,0                          | 0,0  |
| 1,0  | 0,148 | 0,092 | 0,058 | 0,02  | 0,0                          | 0,0  |
| 1,5  | 0,203 | 0,147 | 0,081 | 0,045 | 0,0                          | 0,02 |
| 2,0  | 0,257 | 0,206 | 0,116 | 0,079 | 0,0                          | 0,05 |
| 2,5  | 0,296 | 0,248 | 0,156 | 0,118 | 0,0                          | 0,11 |
| 3,0  | 0,331 | 0,284 | 0,2   | 0,166 | 0,02                         | 0,22 |
| 4,0  | 0,401 | 0,352 | 0,287 | 0,254 | 0,08                         | 0,45 |
| 5,0  | 0,46  | 0,416 | 0,367 | 0,333 | 0,18                         | 0,74 |
| 6,0  | 0,52  | 0,482 | 0,44  | 0,411 | 0,32                         | 1,17 |
| 7,0  | 0,58  | 0,54  | 0,51  | 0,475 | 0,54                         | 1,78 |
| 8,0  | 0,64  | 0,6   | 0,57  | 0,53  | 0,8                          | 2,37 |
| 9,0  | 0,68  | 0,65  | 0,62  | 0,58  | 1,04                         | 3,13 |
| 10,0 | 0,73  | 0,7   | 0,65  | 0,62  | 1,28                         | 3,96 |

$M_L=0,07$

$M_p=0,0$

$M_{p'}=0,0$

$M_{ym} = \varphi \times (P \times M_L + p \times M_p + p' \times M_{p'})$

$M_{ym}=1,35 \times (75,0 \times 0,07 + 5,0 \times 0,0 + 5,0 \times 0,0)$

$M_{ym}=6,61 \text{ kN.m/m}$

| lx/a | t/a   |       |      |       | Para todos os valores de t/a |      |
|------|-------|-------|------|-------|------------------------------|------|
|      | 0,125 | 0,250 | 0,5  | 1,0   |                              |      |
|      | L     | L     | L    | L     | p                            | p'   |
| 0,50 | 0,25  | 0,19  | 0,12 | 0,05  | 0,0                          | 0,05 |
| 1,0  | 0,32  | 0,26  | 0,18 | 0,09  | 0,0                          | 0,1  |
| 1,5  | 0,47  | 0,43  | 0,35 | 0,23  | 0,0                          | 0,35 |
| 2,0  | 0,64  | 0,61  | 0,54 | 0,398 | 0,0                          | 0,8  |
| 2,5  | 0,76  | 0,74  | 0,69 | 0,55  | 0,01                         | 1,45 |
| 3,0  | 0,87  | 0,85  | 0,81 | 0,71  | 0,05                         | 2,1  |
| 4,0  | 1,05  | 1,05  | 1,01 | 0,97  | 0,1                          | 3,4  |
| 5,0  | 1,21  | 1,21  | 1,18 | 1,15  | 0,33                         | 4,7  |
| 6,0  | 1,34  | 1,34  | 1,31 | 1,28  | 0,8                          | 7,0  |
| 7,0  | 1,44  | 1,44  | 1,42 | 1,39  | 1,4                          | 10,3 |
| 8,0  | 1,52  | 1,52  | 1,5  | 1,47  | 2,1                          | 15,0 |
| 9,0  | 1,57  | 1,57  | 1,56 | 1,53  | 3,0                          | 20,4 |
| 10,0 | 1,59  | 1,59  | 1,58 | 1,56  | 3,74                         | 25,9 |

$M_L=0,20$

$M_p=0,0$

$M_{p'}=0,07$

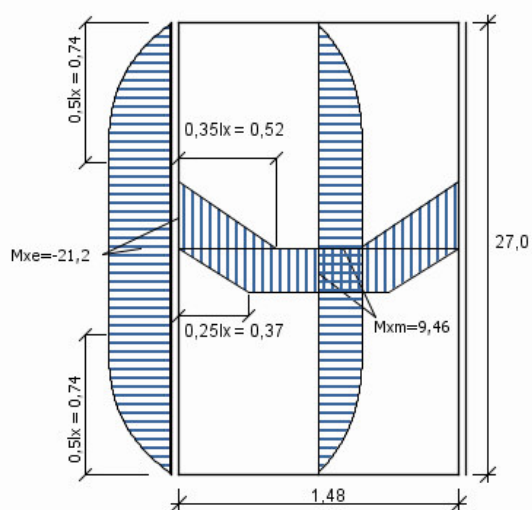
$M_{xe} = \varphi \times (P \times M_L + p \times M_p + p' \times M_{p'})$

$M_{xe}=1,35 \times (75,0 \times 0,20 + 5,0 \times 0,0 + 5,0 \times 0,07)$

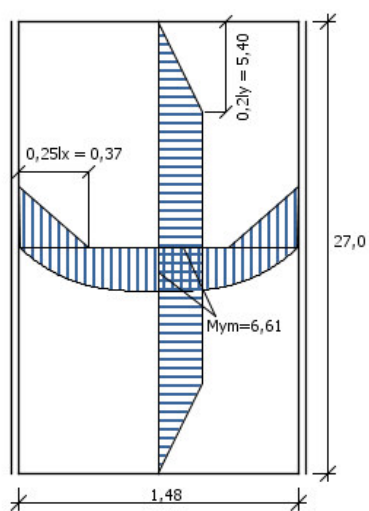
$M_{xe}=-21,23 \text{ kN.m/m}$

## Diagramas Envoltórios

**$M_x$  devido à p**



**$M_y$  devido à p**



**Esforços devido às cargas permanentes**

**$M_{xm}$**

$k=0.04$

$M_{xm}=k \times g \times l_x^2$

$M_{xm}=0,04 \times 8,93 \times 2,19$

$M_{xm}=0,82 \text{ kN.m/m}$

---

**M<sub>ym</sub>**

$k=0,01$

$M_{ym}=k \times g \times l_x^2$

$M_{ym}=0,01 \times 8,93 \times 2,19$

$M_{ym}=0,13 \text{ kN.m/m}$

---

**M<sub>xe</sub>**

$k=0,08$

$M_{xe}=k \times g \times l_x^2$

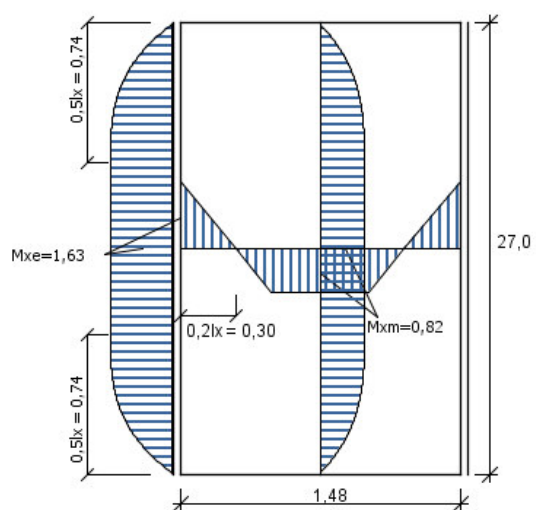
$M_{xe}=0,08 \times 8,93 \times 2,19$

$M_{xe}=1,63 \text{ kN.m/m}$

---

**Diagramas Envolvórios**

**M<sub>x</sub> devido à g**



**$M_y$  devido à g**

